

**REGIONE PIEMONTE**

**PROVINCIA DI CUNEO**



**COMUNE DI GARESSIO**



Unione Europea

*Finanziato dall'Unione europea -  
NextGenerationEU*



*PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA PNRR - INVESTIMENTO 2.1.B MISSIONE 2  
COMPONENTE 4 - FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NEXGENERATIONEU*

**"MANUTENZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE NEVA E  
SISTEMAZIONE VERSANTE STRADA COMUNALE DI  
ACCESSO ALLA FRAZIONE CERISOLA"**

*CUP: I18H22000140001 CIG: 965778939B*

**PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO**

## **4. RELAZIONE GEOLOGICA**

**REDATTA DAL GEOL. ALDO ACQUARONE**

Garessio, lì Novembre 2023

Redatto da:

**ing. Alberto FERRERI**



ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI CUNEO

A862

Dott. Ing. Alberto Ferreri

STUDIO TECNICO FERRERI - ing. Alberto FERRERI - Tel 0174 / 81109  
Piazza Vittorio Veneto n°2 - Garessio - (CN)

REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI CUNEO

## COMUNE DI GARESSIO

- alluvionale dell'ottobre 2020 -

### *INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DI MOVIMENTI FRANOSI IN FRAZIONE CERISOLA PER IL RIPRISTINO DELLA VIABILITÀ*

RELAZIONE GEOLOGICA	<b>Data</b> Settembre 2023
<b>Committente:</b> <i>Comune di Garessio</i> Piazza Carrara n° 137 12075 – GARESSIO (CN)	<b>Elaborato</b>  1/1
<b>Geologo incaricato:</b> <b>Geol. Aldo ACQUARONE</b> Via Aleramo, 129 - GARESSIO (CN) Tel. 335/62.14.395 E-mail: aldo.acquarone@gmail.com	

## INDICE

1.	<b>PREMESSA</b>	1
2.	<b>INDAGINI IN SITO PER LA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO</b>	2
3.	<b>- CARATTERIZZAZIONE TECNICA DEI TERRENI SCIOLTI</b>	2
1.1.	PROVA Nr.1	3
1.2.	PROVA ... Nr.2	5
1.3.	PROVA ... Nr.3	6
4.	<b>- INDICAZIONI SULLE CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEL BASAMENTO ROCCIOSO</b>	8
1.4.	Hoek Brown Classification	8
5.	<b>CONSIDERAZIONI SULLA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO</b>	10
6.	<b>INDICAZIONI GEOLOGICO TECNICHE SUI LAVORI</b>	11
7.	<b>REPORT DELLE INDAGINI IN SITO</b>	13

### 1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dal Comune di GARESSIO, in merito alla progettazione degli INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DI MOVIMENTI FRANOSI IN FRAZIONE CERISOLA PER IL RIPRISTINO DELLA VIABILITÀ conseguenti agli eventi alluvionali dell'autunno 2020, lo scrivente nella primavera 2023 si è occupato di eseguire l'indagine geologico-tecnica a corredo della progettazione preliminare, parte integrante del progetto in questione.

Come approfondimento in quella sede sono state ritenute necessarie indagini geognostiche in sito realizzate poi nell'estate 2023 i cui risultati qui presentati permettono di aggiornare la relazione preliminare con dati oggettivi che chiariscono compiutamente gli aspetti geologico – tecnici per addivenire ad una progettazione definitiva / esecutiva degli interventi di consolidamento in questione.

Nella presente relazione sono quindi integrati i dati preliminari con le risultanze delle indagini geognostiche in sito. Per l'inquadramento geologico e geomorfologico generale del sito si rimanda alla precedente rapporto a corredo del progetto preliminare.

## **2. INDAGINI IN SITO PER LA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO**

L'assetto stratigrafico locale è stato evidenziato tramite:

- ✓ rilievo di superficie,
- ✓ indagine sismica con metodologia M.A.S.W.;
- ✓ indagine sismica a rifrazione / tomografia sismica;
- ✓ prova HVSR;
- ✓ n° 1 sondaggio geognostico spinto a 14 m dal piano campagna con esecuzione di prove S.P.T.

Per quanto riguarda il consolidamento della sede stradale le opere di fondazione indiretta (pali), come si vedrà nel seguito, dovranno essere estesi fino ad ammorsarsi nel substrato roccioso ed inoltre, in considerazione della situazione geologica locale non favorevole, si ritengono necessari anche tiranti di ancoraggio.

## **3. - CARATTERIZZAZIONE TECNICA DEI TERRENI SCIOLTI**

La caratterizzazione geotecnica dei depositi detritici superficiali è stata effettuata con riferimento ai rilievi condotti ed in particolare alle risultanze delle prove SPT in foro nell'ambito dei sondaggi realizzati.

Si è tenuto conto che il deposito è variabile lateralmente e con la profondità come granulometria, grado di addensamento, alterazione.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori dei parametri geotecnici derivati dalle prove SPT in foro, utilizzando le correlazioni geotecniche terreni incoerenti proposte da vari Autori.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo Dynamic Probing della GeoStru Software.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).



Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

### 1.1. PROVA Nr.1

Strumento utilizzato...

PROVE SPT IN FORO

Prova eseguita in data

25/09/2023

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
1,65	14
1,80	24
1,95	21

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	45	1,95	74,66	100	100	76,31

##### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza a falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIF	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki

**INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DI MOVIMENTO FRANOSO IN STRADA FRAZIONE CERISOLA**  
**Evento alluvionale novembre 2020**

											ICATIO N)			
[1] -	45	1,95	45	39,86	32,86	40,6	34,49	42,07	42	35-38	40,98	40,5	51,41	45

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze- Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	45	1,95	45	478,82	360,00	531,70	517,50	300,00

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman- Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	45	1,95	45	270,00	119,90	319,50	238,70

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	45	1,95	45	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] -	45	1,95	45	Terzaghi-Peck 1948	1,82

**Peso unità di volume saturo**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] -	45	1,95	45	Terzaghi-Peck 1948	2,13

**Modulo di Poisson**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	45	1,95	45	(A.G.I.)	0,26

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	45	1,95	45	2327,73	1279,45

**Velocità onde di taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	45	1,95	45	Ohta & Goto (1978) Limi	131,52

**Liquefazione**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	45	1,95	45	Seed e Idriss (1971)	--

**Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] -	45	1,95	45		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

**INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DI MOVIMENTO FRANOSO IN STRADA FRAZIONE CERISOLA**  
**Evento alluvionale novembre 2020**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] -	45	1,95	45		---

## 1.2. PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...  
 Prova eseguita in data  
 Falda non rilevata

PROVE SPT IN FORO  
 25/09/2023

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
3,15	9
3,30	9
3,45	9

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	18	3,45	47,22	87,52	90,65	48,14

#### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	18	3,45	18	32,14	25,14	33,04	32,05	36,45	40,25	30-32	31,43	32,4	42,95	33,97

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	18	3,45	18	302,84	144,00	213,10	315,00	165,00

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	18	3,45	18	108,00	64,44	127,80	118,28

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	18	3,45	18	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] -	18	3,45	18	Terzaghi-Peck 1948	1,57

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato	Nspt corretto per	Correlazione	Peso Unità Volume
--	------	--------------	-------------------	--------------	-------------------

**INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DI MOVIMENTO FRANOSO IN STRADA FRAZIONE CERISOLA**  
**Evento alluvionale novembre 2020**

		(m)	presenza falda		Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] -	18	3,45	18	Terzaghi-Peck 1948	1,98

**Modulo di Poisson**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	18	3,45	18	(A.G.I.)	0,32

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	18	3,45	18	983,72	730,94

**Velocità onde di taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	18	3,45	18	Ohta & Goto (1978) Limi	125,31

**Liquefazione**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	18	3,45	18	Seed e Idriss (1971)	--

**Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] -	18	3,45	18		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] -	18	3,45	18		---

### 1.3. PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato...  
 Prova eseguita in data  
 Falda non rilevata

PROVE SPT IN FORO  
 25/09/2023

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
5,15	9
5,30	14
5,45	21

**TERRENI INCOERENTI**

**Densità relativa**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	35	5,45	58,75	100	100	68,2

**Angolo di resistenza al taglio**

NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per	Peck- Hanson- Thornb	Meyerh of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerh of (1965)	Schmert mann (1977)	Mitchell & Katti (1981)	Shioi- Fukuni 1982	Japanes e Nationa	De Mello	Owasak i & Iwasaki
------	------------------------	-------------------------	----------------------------	------------------------	------------------	------------------	------------------------	---------------------------	-------------------------------	--------------------------	-------------------------	-------------	--------------------------

**INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DI MOVIMENTO FRANOSO IN STRADA FRAZIONE CERISOLA**  
**Evento alluvionale novembre 2020**

			presenza a falda	urn- Meyerh of 1956					Sabbie		(ROAD BRIDGE E SPECIFIC ICATION N)	1 Railway		
[1] -	35	5,45	35	37	30	37,8	31,89	40,67	42	32-35	37,91	37,5	47,78	41,46

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze- Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	35	5,45	35	422,28	280,00	413,70	442,50	250,00

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman- Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	35	5,45	35	210,00	99,36	248,50	194,10

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	35	5,45	35	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] -	35	5,45	35	Terzaghi-Peck 1948	1,74

**Peso unità di volume saturo**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] -	35	5,45	35	Terzaghi-Peck 1948	2,08

**Modulo di Poisson**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	35	5,45	35	(A.G.I.)	0,28

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	35	5,45	35	1837,97	1097,33

**Velocità onde di taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	35	5,45	35	Ohta & Goto (1978) Limi	153,56

**Liquefazione**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	35	5,45	35	Seed e Idriss (1971)	--

**Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0

[1] -	35	5,45	35		---
-------	----	------	----	--	-----

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] -	35	5,45	35		---

In particolare, vista la situazione stratigrafica eterogenea, con presenza di lenti sabbiose o sabbioso limose, i parametri geotecnici fondamentali indicati per il dimensionamento strutturale delle opere di sostegno sono i seguenti.

Parametri geotecnici	Depositi alluvionali: sabbie e ghiaie con ciottoli
$\gamma$ [kN m <sup>-3</sup> ]	16÷17
$\phi$ [ ° ]	30÷32
Cu [kPa]	0

I valori riportati in tabella sono valori medi indicativi.

#### **4. - INDICAZIONI SULLE CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEL BASAMENTO ROCCIOSO**

##### **1.4. Hoek Brown Classification**

Substrato roccioso: Quarziti

Per la classificazione geomeccanica di seguito riportata è stato utilizzato il software RocLab di RocScience, considerando anche quanto riportato in Geoingegneria di Luis. I. Gonzalez de Vallejo – Pearson Prentice Hall (in collaborazione con il Consiglio Nazionale dei Geologi).

I parametri di calcolo impiegati sono i seguenti:

Hoek Brown Classification

sigci 35 MPa (resistenza a compressione uniassiale della roccia integra)

GSI 43 (considerando Very blocky)

mi 20 (quarziti mediamente fratturate e poco alterate)

D 0.7 (considerando escavazione meccanica)

Hoek Brown Criterion

mb 0.872724

s 0.000258434

a 0.509269

#### Failure Envelope Range

Application Slopes

sig3max 1.04009 MPa

Unit Weight 0.026 MN/m3

Slope Height 50 m

#### Mohr-Coulomb Fit

c 0.320553 MPa

phi 42.6681 degrees

#### Rock Mass Parameters

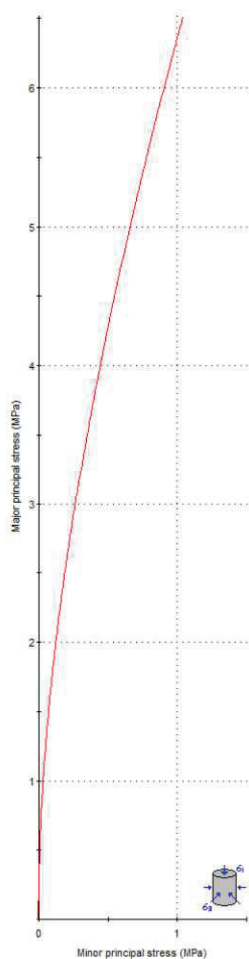
sigt -0.0103643 MPa

sigc 0.52118 MPa

sigcm 4.19533 MPa

Em 2570.08 MPa

Analysis of Rock Strength using RocLab



#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 35 MPa  
GSI = 43 mi = 20 Disturbance factor = 0.7

#### Hoek-Brown Criterion

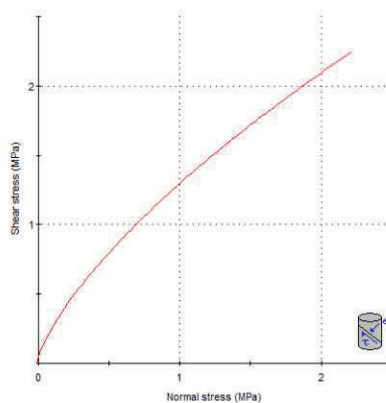
mb = 0.873 s = 0.0003 a = 0.509

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.321 MPa friction angle = 42.67 deg

#### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.010 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.521 MPa  
global strength = 4.195 MPa  
modulus of deformation = 2570.08 MPa







**Foto n° 1:** Foto ammasso roccioso – notare i vari sistemi di discontinuità e la presenza di fratturazione a franapoggio

## **5. CONSIDERAZIONI SULLA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO**

Nella relazione tecnica redatta dal dott. Francesco D'Adamo a corredo delle indagini geofisiche per la caratterizzazione stratigrafica, sismica e geotecnica dei siti sono riportate le classificazioni sismiche del sottosuolo in corrispondenza dei punti dove sono state effettuate sezioni sismiche a rifrazione / tomografia e prove MASW.

In particolare la classificazione sismica, in funzione dell'approfondimento delle fondazioni potrà essere una **classe di suolo B**:

*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.*



## **6. INDICAZIONI GEOLOGICO TECNICHE SUI LAVORI**

In base a quanto emerso nel corso dei sopralluoghi e dei rilievi effettuati in situ, tenendo conto della dinamica evolutiva dei versanti oggetti di intervento, delle caratteristiche geologico tecniche dei terreni interessati e della tipologia delle opere in progetto, si propongono le seguenti indicazioni esecutive:

- ✓ i muri / cordoli in progetto dovranno essere dotati di più file di barbacani;
- ✓ I pali di fondazione dovranno raggiungere la roccia ed essere ammorsati per almeno 2 m.
- ✓ Per quanto riguarda la realizzazione dei pali di fondazione si consiglia la predisposizione della fila del lato di monte con marcata inclinazione rispetto alla verticale in modo da essere il più possibile ortogonale alla superficie di stratificazione / scistosità. In questo modo i pali potranno costituire anche valido contrasto al potenziale scivolamento planare di banchi di roccia.
- ✓ In funzione della giacitura delle discontinuità principali a franapoggio Si consiglia inoltre la valutazione di predisporre una fila di tiranti.
- ✓ Si ritiene quindi, in base a quanto precedentemente illustrato, di effettuare i lavori di consolidamento con la costruzione di un muro in c.a. di fasciatura di quello esistente fondato su pali ed intirantato.
- ✓ Per quanto riguarda le scarpate a valle del muro stradale si sottolinea l'importanza di una generale cura nella sistemazione di tutte le superfici interessate dagli scavi, tale da agevolare l'attecchimento di specie erbacee, soprattutto in funzione dell'azione erosiva superficiale delle acque meteoriche sui materiali sciolti rimaneggiati;
- ✓ si consiglia di evitare riporti od accumuli di materiali provenienti dagli scavi in settori non ritenuti idonei dalla D.L. sentito anche il parere del geologo, e di rispettare le sezioni di deflusso della rete idrografica esistente, senza quindi creare restringimenti di sezione;
- ✓ la regimazione delle acque superficiali nel contesto geologico esaminato riveste un carattere prioritario. Si consiglia, successivamente alla realizzazione degli interventi previsti in progetto, una costante loro manutenzione, al fine di

garantirne la funzionalità nel tempo evitando la formazione di ruscellamenti ed erosioni in settori non idonei ed in particolare nell'intero ambito in dissesto;

- ✓ nell'ambito del rimodellamento dell'area in frana a valle della strada dove rimarranno scarpate potenzialmente instabili queste dovranno essere stabilizzate mediante l'utilizzo di palificate semplici (palizzata), fascinate od opere affini;
- ✓ qualora in corso d'opera vengano riscontrate variazioni stratigrafiche oppure, apportate modificazioni sostanziali alle opere in progetto, si renderanno necessari ulteriori approfondimenti d'indagine.

In base a quanto fin qui esposto si ritiene fattibile l'intervento a progetto sotto l'aspetto geomorfologico e geologico - tecnico, ferma restando la necessità di attenersi ai contenuti della presente.

Nel tempo dovrà essere valutata l'efficienza di tutte le opere realizzate ed eventualmente dovranno essere predisposte prontamente le necessarie manutenzioni e ripristini.

Si riportano in allegato le risultanze delle indagini in sito.

Garessio, Settembre 2023



## **7. REPORT DELLE INDAGINI IN SITO**


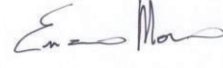



# COMUNE DI GARESSIO

CANTIERE: STRADA PER CERISOLA  
GARESSIO (CN)

## INDAGINE GEOGNOSTICA

Note tecnico – esecutive

Rev.	Data	Redazione	Verifica	Approvazione	Descrizione
Ø	15/09/2023	dott. Stellato S. 	dott. geol. Mosso E. 	dott. geol. Chiesa G. 	Prima Emissione

# Comune di Garessio

## INDAGINE GEOGNOSTICA

### Strada per Cerisola – Garessio (CN)

Su incarico del “*Comune di Garessio*” è stata eseguita, nelle giornate dal 30 al 31 agosto 2023, una indagine geognostica costituita da n° 1 sondaggio ed una indagine geofisica di superficie (Rifrazione + MASW + HVSr), ubicata lungo la Strada Comunale di accesso alla fraz. Cerisola nei pressi dell’intersezione con la S.P. 582 (Fig. 1 e 2), nel territorio comunale di Garessio (CN); tale indagine aveva lo scopo di valutare l’assetto litostratigrafico e di acquisire i parametri geotecnici necessari alla valutazione di fattibilità ed alla progettazione degli interventi di manutenzione idraulica del torrente Neva e di sistemazione del versante della strada comunale di accesso alla frazione Cerisola.

#### SONDAGGI

Il sondaggio è stato eseguito a rotazione con carotaggio continuo utilizzando una sonda idraulica tipo CMV “MK 600 D” montata su carro cingolato; per tutta la lunghezza si sono utilizzati carotieri semplici aventi Ø 127 e 101 mm e carotieri doppi tipo T6 Ø 101 mm muniti di corona diamantata. Per stabilizzare in corso d’opera le pareti del foro sono stati impiegati rivestimenti metallici provvisori Ø 127 mm.

Il sondaggio *S1*, ubicato sul margine di valle della sede stradale in corrispondenza ad un fenomeno di dissesto del versante sottostante, è stato spinto fino alla profondità di m 14.00 dal piano campagna ed in corso d’opera sono state eseguite n° 4 prove SPT (Standard Penetration Test); le risultanze e le quote di esecuzione sono riportate nella stratigrafia allegata.

Durante l’esecuzione della perforazione di *S1* (limitatamente alla profondità raggiunta) la falda è risultata assente.

**Certificato n° 1464 del 15/09/2023**

I testimoni del carotaggio sono stati riposti in n° 3 cassette catalogatrici, opportunamente classificate e ricoverate presso un deposito nel capoluogo, a disposizione della Committenza.

**PROVE IN FORO - SPT**

Le prove SPT sono state eseguite secondo le prescrizioni stabilite dalle specifiche AGI 1977 e approfondite dalla norma UNI EN ISO 22476-3:2012.

La sottostante **Tabella 1** riporta le caratteristiche del dispositivo di battuta con maglio a sganciamento automatico (tipo “Nenzi”) utilizzato per l’esecuzione delle prove in foro di tipo SPT:

<b>CARATTERISTICHE TECNICHE DEL MARTINO A SGANCIO AUTOMATICO (PROVE “SPT”)</b>	
Peso totale dispositivo di battitura	115,00 kg
Massa maglio	63,50 kg
Altezza di caduta libera	760,00 mm
Diametro esterno aste di infissione	50,00 mm
Peso aste di infissione (tipo B)	7,00 kg/m
Lunghezza campionatore Raymond (comprendente scarpa e raccordo per le aste)	813,00 mm
Diametro esterno campionatore Raymond	51,00 mm
Diametro interno campionatore Raymond	35,00 mm
Angolo di spoglia della punta aperta	20°
Angolo di apertura della punta conica	60°

**Tabella 1**

Le risultanze e le quote di esecuzione delle prove SPT eseguite sono riportate nella stratigrafia allegata.

### **RIEPILOGO SONDAGGI**

Le coordinate approssimate, la profondità di perforazione dei sondaggi, il numero di prove SPT eseguite in ciascuno sono riepilogati nella **Tabella 2** seguente:

Sondaggio n°	Coordinate del punto di indagine (GPS – gradi decimali)	Metodologia di perforazione	Inclinazione	Profondità (m)	N° prove SPT
S1	44.149990, 8.072480	Carotaggio continuo	Verticale	14.00	4

**Tabella 2**

### **INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE – MASW E RIFRAZIONE**

L'indagine geofisica è consistita nella realizzazione di una stesa di sismica a rifrazione successivamente rielaborata in modalità tomografica e di una prova sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sullo stesso allineamento.

Le indagini geofisiche di superficie sono state affidate ad un professionista esterno di comprovata esperienza nel settore (Dott. Geol. Francesco D'Adamo - Bordighera).

I segnali sono stati registrati con un sismografo DoReMi di Sara Electronic Instruments a 24 bit, con 24 canali modulari con geofoni verticali ad alta sensibilità da 4,5 Hz, verticali per lo studio delle onde P, orizzontali per le S; per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza da 8 kg con battuta su piastra metallica.

L'elaborazione dei dati di velocità di propagazione delle onde di taglio hanno condotto a determinare i seguenti risultati:

- Stesa MASW:  $V_{s30}$  (NTC 2008) = **562 m/s** -  $V_{SEq}$  (NTC 2018) = **520 m/s**

che portano ad inserire il sito nella **categoria B** ai sensi della classificazione prevista dalle N.T.C. 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018) come riportato nella sottostante **Tabella 3**:

**Certificato n° 1464 del 15/09/2023**

**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 – Depositati 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 – Depositati 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.

**Tabella 3:** Categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II delle N.T.C. 2018)

Si trasmettono in allegato separato i risultati, i diagrammi delle prove e le sezioni grafico interpretative delle indagini geofisiche.

### **INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE – HVSR**

L'indagine geofisica con il metodo dei microtremiti è stata affidata ad un professionista esterno di comprovata esperienza nel settore (Dott. Geol. Francesco D'Adamo - Bordighera) ed è consistita nella realizzazione di n° 1 acquisizione utilizzando lo strumento THEREMINO ed elaborata con i software Theremino-Dolfrang (per visionare e acquisire i dati in tempo reale), Geopsy (per l'elaborazione del diagramma H/V-frequenza) e Dinver (per l'elaborazione di stratigrafie indicative delle onde S, P e della densità sismica dei terreni investigati). (D'ADAMO)

L'elaborazione della prova ha permesso di determinare i seguenti risultati:

- HVSR:  $V_{s30}$  (NTC 2008) = 679 m/s

che portano ad inserire il sito nella **categoria B** come riportato nella sovrastante **Tabella 3**.

Si trasmettono in allegato separato le elaborazioni della prova HVSR.



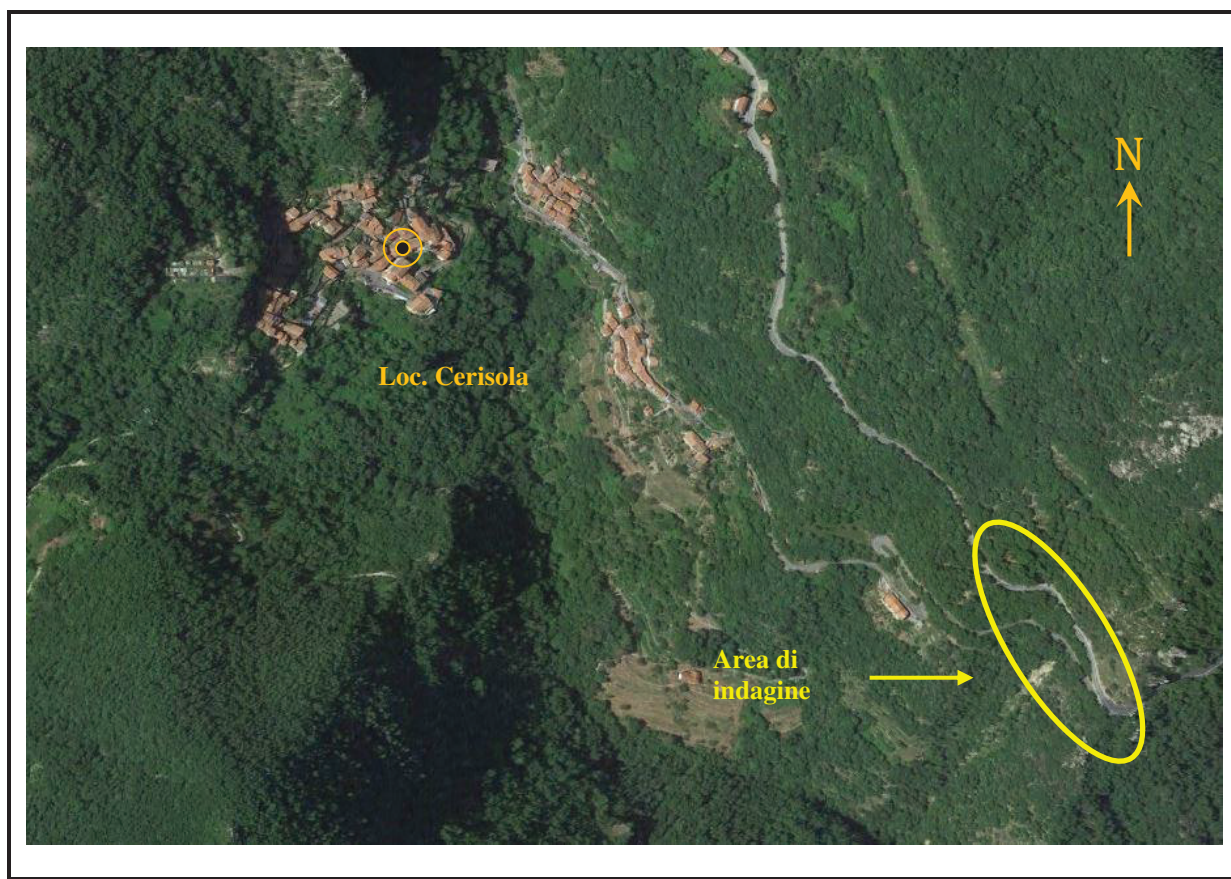
**Certificato n° 1464 del 15/09/2023**

Si trasmette in allegato la documentazione tecnica relativa all'indagine eseguita.



**Fig. 1:** Inquadramento area di indagine.

*(immagine satellitare estratta da Google Earth Pro)*



**Fig. 2:** Inquadramento area di indagine.

*(immagine satellitare estratta da Google Earth Pro)*






**Fig. 3:** Ubicazione delle indagini eseguite.

*(immagine satellitare estratta da Google Earth Pro)*

**Allegato  
stratigrafico**

## Certificato n° 1464 del 15/09/2023

	Committente	Comune di Garessio	SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	Strada Comunale per Cerisola	<b>S1</b>	<b>1/1</b>
	Località	Cerisola - Garessio (CN)	Quota (p.c.)	
	Data Inizio	30/08/23	Data Fine	31/08/23

Profondità	Potenza	Scala 1:75	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Perforazione	Rivestimento	% Carotaggio	RQD	Piezometro	Inclinometro	Prove S.P.T.	Campioni
0.10	0.10			Conglomerato bituminoso.									
0.60	0.50			Soletta in calcestruzzo di buona qualità.									
		1		Terreno di riporto di riempimento retro muro costituito da ghiaia spigolosa di natura quarzifica (colore biancastro) in matrice limoso sabbiosa fine, debolmente ossidata (colore bianco giallo rossiccio).		127						1.50	
	3.50	2										14-24-21 p.a.	
		3										3.00	
		4										9-9-9 p.a.	
4.10		5		Limo e limo argilloso, derivante da alterazione di quarziti sericitiche, con scaglie di quarziti e scisti sericitici; colore bianco azzurrognolo.		127						5.00	
	3.50	6				100		90				9-14-21 p.a.	
		7										7.00	
7.60		8		Quarziti intensamente alterate e disgregate; colore bianco giallastro.								R p.a.	
	1.20	9											
8.80		10		Quarziti litoidi, intensamente fratturate, con presenza di diverse famiglie di fratture variamente inclinate ed orientate, aperte e con riempimenti argillosi e cementazioni carbonatiche; colore bianco giallastro.		101							
	2.90	11				101							
		12				101							
11.70		13		Sabbia eterometrica limos< derivante da quarziti estremamente alterate ed argillificate; colore bianco giallastro.		101							
	2.30	14				101		50					
14.00						100							

Perforazione eseguita con:  
 - carotiere semplice diam. 127 mm (cod. 127);  
 - carotiere semplice diam. 101 mm (cod. 100);  
 - carotiere doppio tipo T6 diam. 101 mm munito di corona diamantata (cod. 101).

**Allegato  
fotografico**



**Certificato n° 1464 del 15/09/2023**

**Foto 1:** Sondaggio S1 - cassa 1 - da 0.00 m a 5.00 m.



**Foto 2:** Sondaggio S1 - cassa 2 - da 5.00 m a 10.00 m.



**Certificato n° 1464 del 15/09/2023**

**Foto 3:** Sondaggio S1 - cassa 3 - da 10.00 m a 14.00 m.



**Foto 4:** Ubicazione sondaggio S1.



## COMUNE DI GARESSIO (CN)

### INDAGINI SISMICHE AI SENSI DELLE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (NTC 2018)



**LOCALITA':** Frazione Cerisola di Garessio (CN)

**COMMITTENTE:** Sondeco s.r.l. – Via della Commenda, 11 – 10149 Torino (TO)

**Dott. Geol. Francesco D'Adamo**

**Strada Rivaira snc (senza numero civico)**

**18012 Bordighera (IM)**

**Cell. 3283398511 – mail: fradadamo@libero.it**



## **Descrizione delle indagini geofisiche eseguite in Località Cerisola del Comune di Garessio (CN)**

### **1. Premessa**

Le indagini geofisiche eseguite sono costituite da:

- da n. 1 stesa sismica a rifrazione (coordinate WGS84: energizzazione di andata Lat. 44,15004 – Lon. 8,07239. energizzazione di ritorno Lat. 44,14992 – Lon. 8,07257), elaborata con il metodo Tomografico;
- da n. 1 acquisizione Masw;
- da n. 1 acquisizione HVSR (coordinate WGS84: Lat. 44,14943 – Lon. 8,07252).

### **1.1 Stesa sismica a rifrazione elaborata con la procedura tomografica**

In corrispondenza dell'allineamento predisposto per l'acquisizione Masw (di seguito descritta), è stata eseguita un'indagine sismica a rifrazione, per definire l'andamento delle velocità delle onde P (longitudinali).

L'allineamento sismico ha una lunghezza di 25 metri, con una distanza intergeofonica di 1 metro. Sono state fatte delle energizzazioni a 0 metri, a 4,5 metri, a 12,5 m, a 20,5 metri e a 25 metri.

Per le prove in situ è stata utilizzata un'apparecchiatura costituita da un sismografo DoReMi di Sara Electronic Instruments a 24 bit, con 24 canali modulari con geofoni verticali ad alta sensibilità da 4,5 Hz. Frequenze selezionabili dal sismografo da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms). La durata dell'acquisizione per la stesa sismica a rifrazione è stata pari a 0,250 s, per l'acquisizione Masw pari a 2 s.

Per l'energizzazione è utilizzata una mazza da 8 kg con battuta su piastra metallica.

Il sismografo è collegato ad un pc Windows compatibile, tramite porta USB, su cui è installato il software di gestione omonimo DoReMi che consente di controllare le numerose possibilità di acquisizione dello strumento.

La prospezione sismica a rifrazione si basa sulla determinazione delle velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) nel terreno.

Le onde generate da una massa battente si propagano nel terreno e vengono rilevate dai geofoni, mentre i tempi di arrivo delle onde sono registrati e visualizzati sul sismografo.

Dall'elaborazione matematica dei dati si risale alla geometria dei mezzi attraversati e quindi si opera l'interpretazione grafica mediante sezioni interpretative. La profondità di investigazione è pari a circa 1/3 dello stendimento, quindi corrisponde ad una profondità di 6-7 metri dal piano di campagna visibile nella foto 1.

La procedura tomografica consente di evidenziare nel dettaglio le variazioni locali delle velocità delle onde P (o longitudinali) e di individuare anche le inversioni di velocità (ovvero la presenza in profondità di livelli a minore velocità delle onde P rispetto agli strati sovrastanti).

In particolare la tecnica tomografica prevede la creazione di un modello sintetico del sottosuolo e la sua perturbazione alla ricerca del minimo scarto tra le misure eseguite sul terreno e le misure "virtuali" (o ipotizzate) ottenute con il modello sintetico con una procedura iterativa che prevede le seguenti fasi:

- Nella fase "diretta" vengono calcolati sul modello sintetico di tempi di arrivo dell'impulso sismico (si mette in evidenza che il programma utilizzato SmartTomo si basa sul lavoro di Moser, T.J. "Shortest path calculation of seismic rays." Geophysics 56.1 (1991): 59-67). Il modello di velocità iniziale è suddiviso in una griglia le cui celle hanno assegnato un

modello di velocità iniziale. Sui lati di tale cella sono presenti più nodi (il cui numero è scelto dall'utente) che costituiscono i nodi della rete di ipotetici raggi sismici che connettono tutte le sorgenti sismiche e tutti i geofoni che sono anch'essi dei nodi. Ogni nodo è connesso con quello delle celle adiacenti.

- Nella fase "inversa" i tempi sintetici calcolati nella fase precedente sono confrontati con i tempi misurati; le differenze tra i due tempi sono usate per aggiornare il modello sintetico (smartTomo impiega un algoritmo riconducibile alla famiglia delle "Simultaneous Iterative Reconstruction Technique").

Nella figura sottostante relativa all'andamento delle velocità  $V_p$ , si nota la presenza, al di sotto del piano stradale, di materiale detritico di natura eterogenea con locali variazioni della velocità delle onde P (come le aree in arancione al centro dello stendimento che potrebbero indicare la presenza di "trovanti"). In corrispondenza della porzione di destra del grafico, la presenza di una zona caratterizzata da una maggiore velocità delle onde P (superiore a 1000 m/s), potrebbe essere dovuto al "cappellaccio" (o al substrato roccioso molto alterato e fratturato costituito dalle Unità metasedimentarie calcaree Brianzoni delle Alpi Occidentali – Giurassico medio-sup. – affiorante a monte della strada – vedere foto 2). Quindi si confermano, viste anche le risultanze dell'acquisizione Masw di seguito riportata, le indicazioni scaturite dal sondaggio geognostico a carotaggio continuo eseguito a cura della committenza che ha mostrato la presenza del substrato roccioso a circa 8 m di profondità del piano stradale.

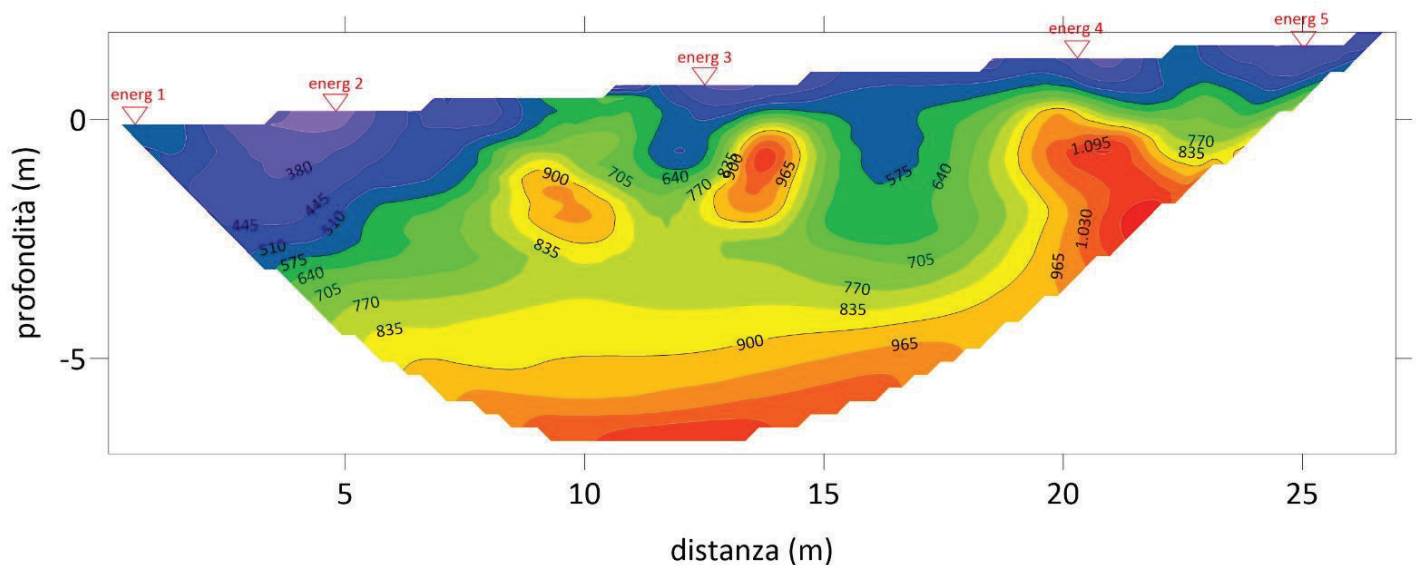


Fig. 1 - Sezione tomografica delle onde P con isolinee



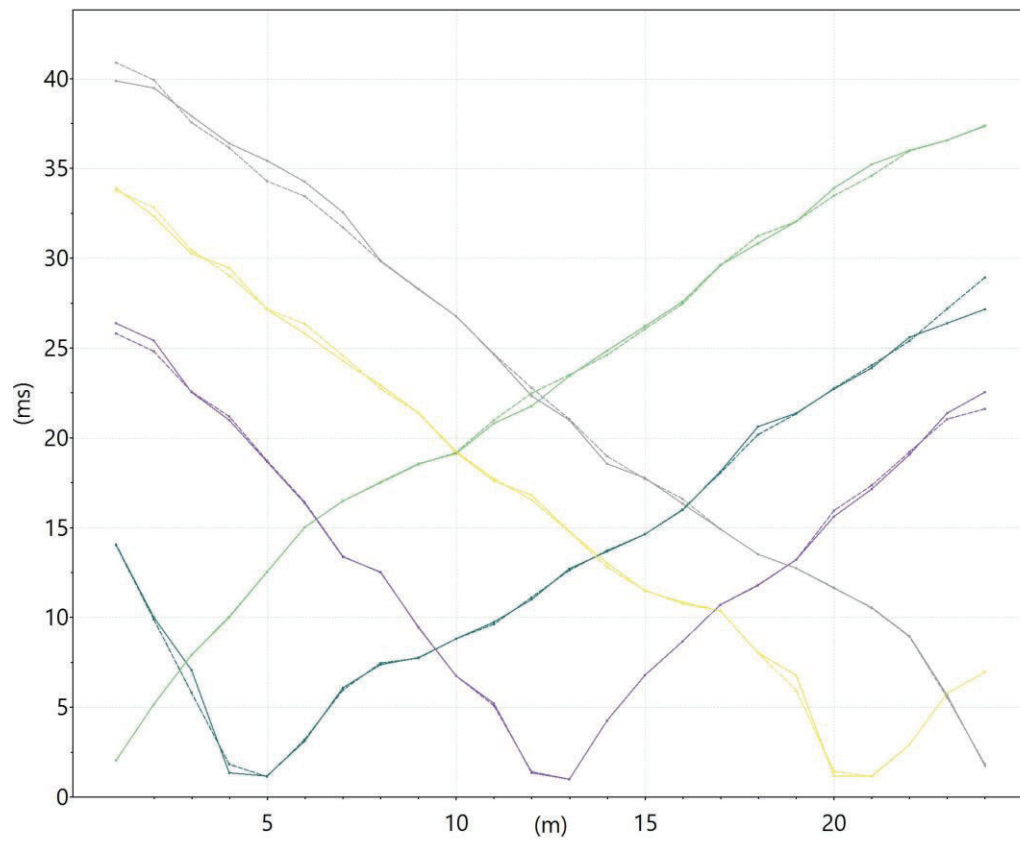


Fig. 2 - Dromocrone

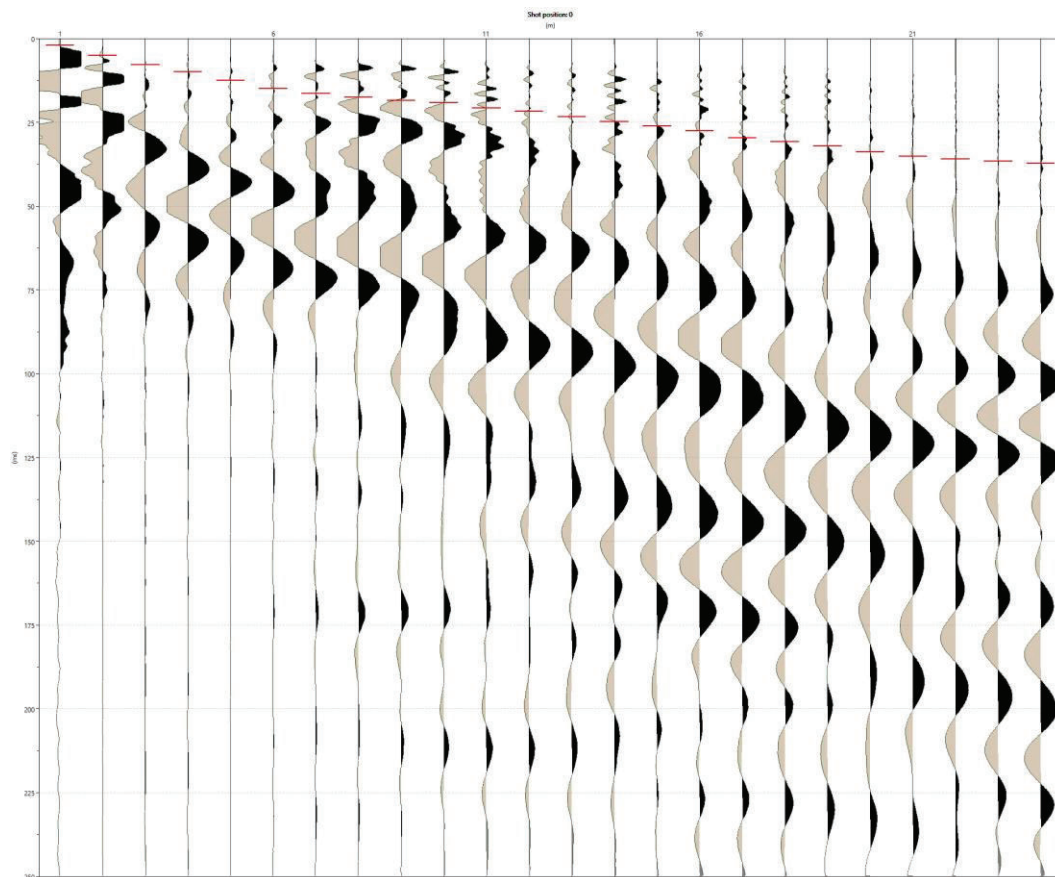


Fig. 3 – Sismogramma con energizzazione a 0 metri

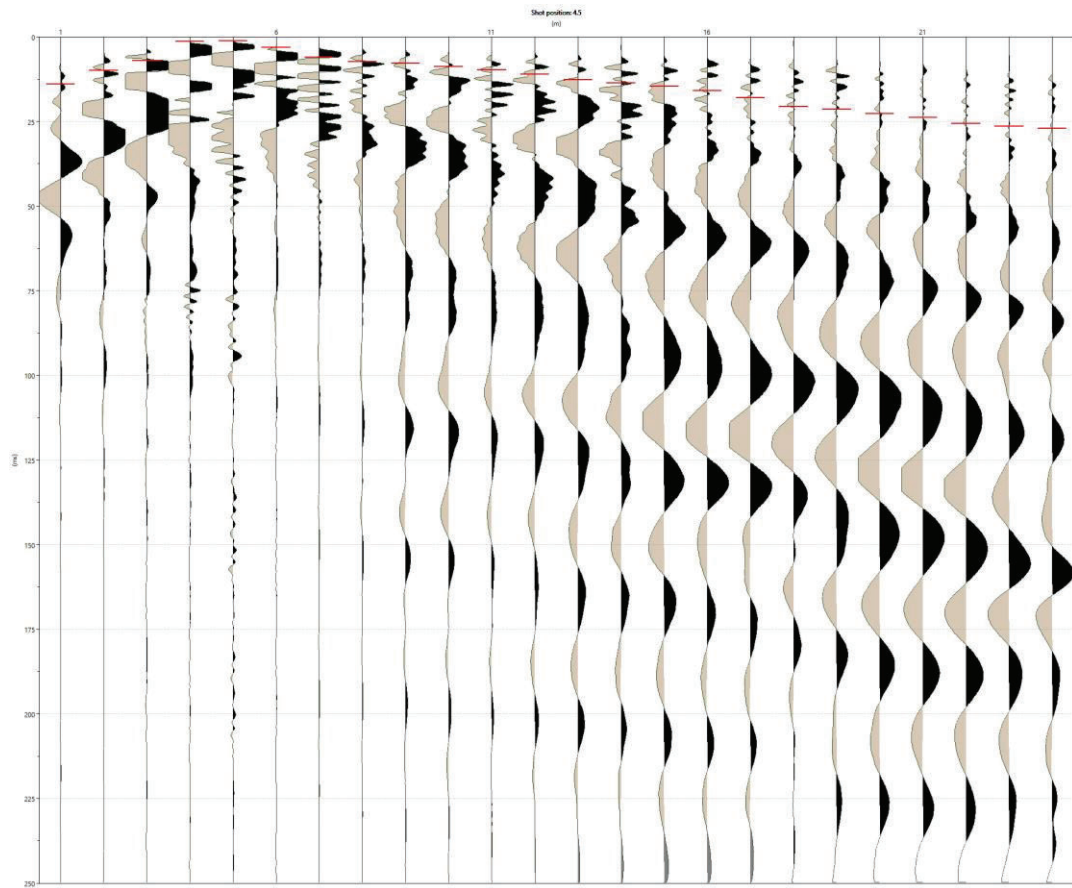


Fig. 4 – Sismogramma con energizzazione a 4,5 metri

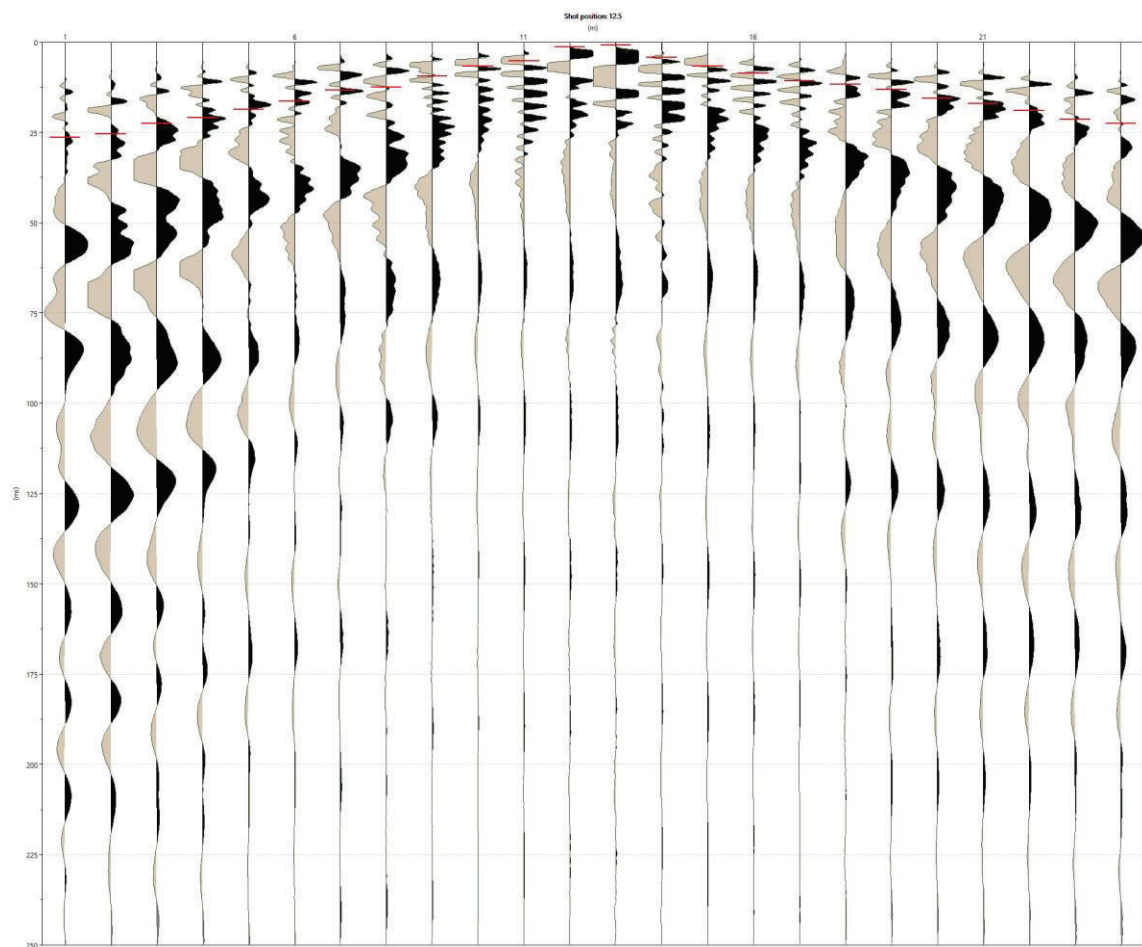


Fig. 5 – Sismogramma con energizzazione a 12,5 metri

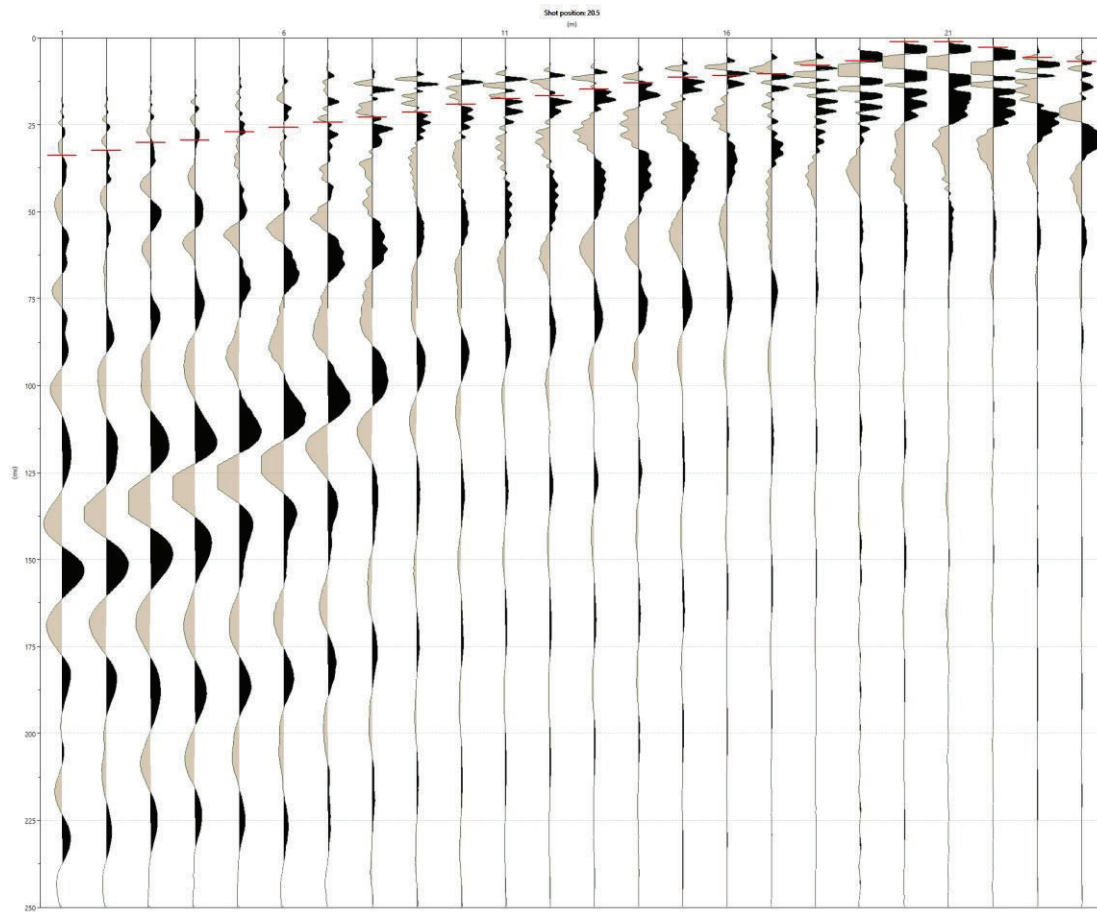


Fig. 6 – Sismogramma con energizzazione a 20,5 metri

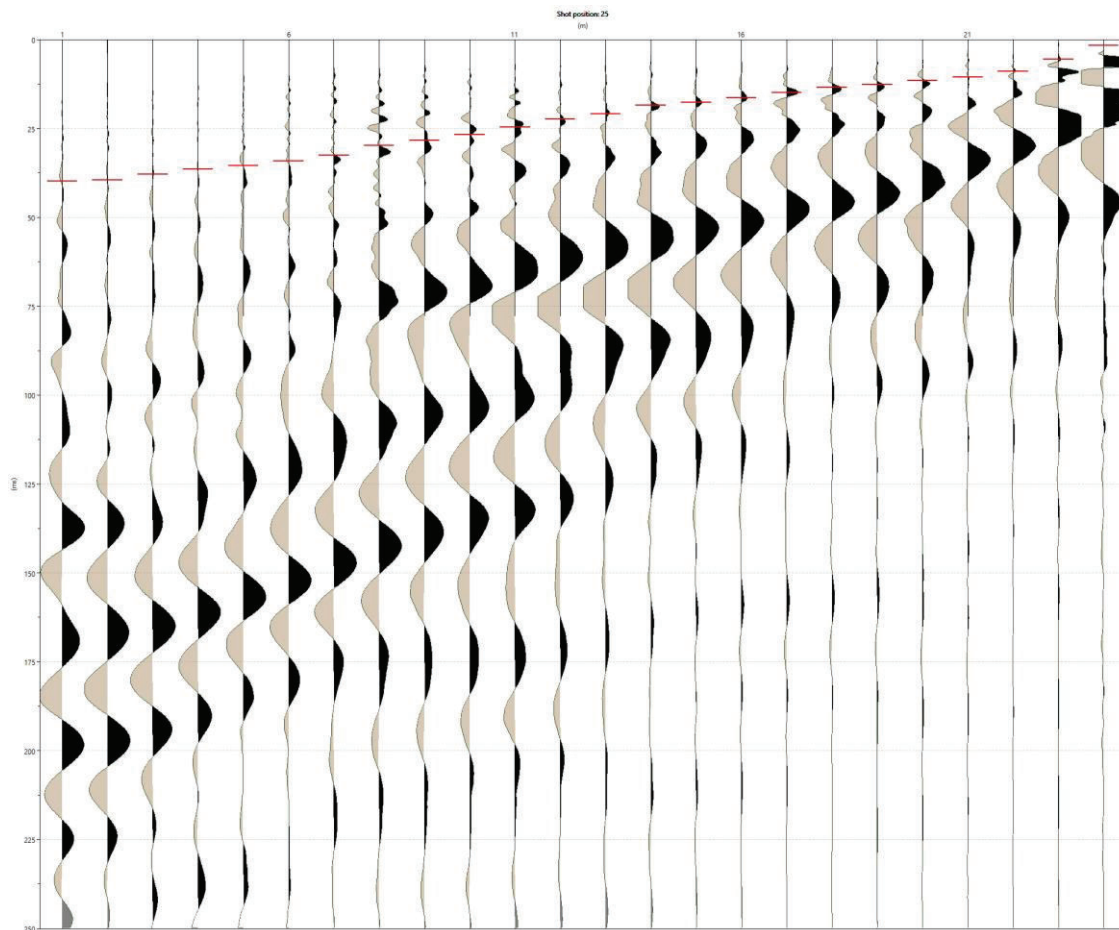


Fig. 7 – Sismogramma con energizzazione a 25 metri





*Foto 1 – Esecuzione tomografia sismica a rifrazione e acquisizione Masw*



*Foto 2 – Affioramento substrato roccioso costituito dalle Unità metasedimentari calcaree Brianzonesi delle Alpi Occidentali (Giurassico medio-sup.) a monte della strada*





Fig. 8 -Ubicazione tomografia sismica a rifrazione, acquisizione Masw e acquisizione HVSR

## 1.2 Acquisizione Masw

Per una valutazione della velocità delle onde sismiche trasversale ( $V_s$ ) nei primi 30 metri di profondità (a partire dalla quota 0 m visibile nella foto 1), sono state eseguite delle acquisizioni Masw.

L'apparecchiatura impiegata è quella descritta nel precedente paragrafo, mentre le registrazioni sono state eseguite in corrispondenza dell'andata e del ritorno della prospezione sismica a rifrazione.

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè le onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che le onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. Il metodo MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo, nel nostro caso è stato considerato il metodo attivo, ovvero eseguendo una energizzazione tramite mazza battente.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW (attivo) consiste in tre fasi (Roma 2002): la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando

opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo assegnato.

Per l'elaborazione è stato impiegato il software "MASW" dell'Ing. Vitantonio Roma, per una dettagliata descrizione del metodo Masw e del programma fare riferimento a "Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) di Vitantonio Roma (Libri Tecnici Professionali Editrice – 2006).

Nel dettaglio sono state eseguite circa quattro registrazioni MASW (in seguito, in fase di elaborazione è stata effettuata una scelta della registrazione migliore), in corrispondenza di entrambi gli estremi delle stese, energizzando con la mazza per una durata ciascuna pari a due secondi.

Di seguito si riporta parte dell'elaborazione di una acquisizione di ritorno:

### **"1 - Dati sperimentali"**

Nome del file delle tracce: G:\Altri computer\Il mio MacBook Pro\Relazioni\sondeco\garessio 06062023\25\2023-06-06\_09-59-44\_05000\_00200\_024\_Acq v2.drm

Numero di ricevitori.....	24
Distanza tra i sensori:.....	1m
Numero di campioni temporali .....	10000
Passo temporale di acquisizione.....	0.2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi .....	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....	1999.8ms
I ricevitori sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)	

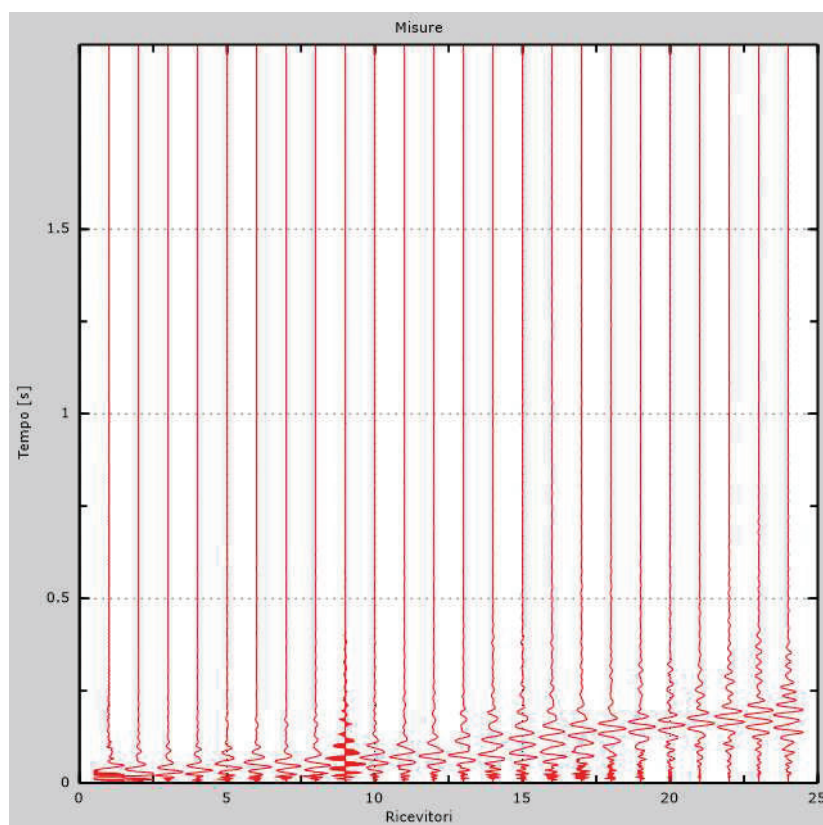


Figura 1: Tracce sperimentali

### **2 - Risultati delle analisi**

Frequenza finale .....	70Hz
------------------------	------

Frequenza iniziale..... 2Hz

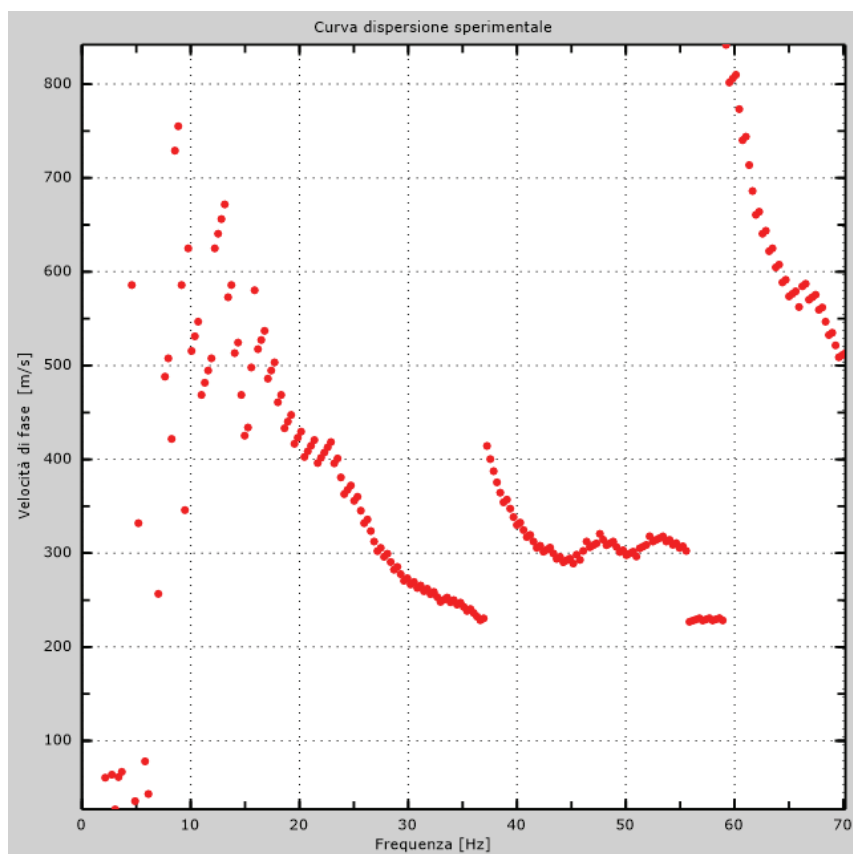


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

### 3 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

<i>Freq. [Hz]</i>	<i>V. fase [m/s]</i>	<i>V. fase min [m/s]</i>	<i>V. fase Max [m/s]</i>
11.3265	850.869	822.709	879.03
13.1659	648.112	619.951	676.273
18.0348	450.987	428.459	473.516
28.422	287.655	253.862	321.448
40.3239	287.655	282.023	293.287
47.8978	287.655	169.38	405.93

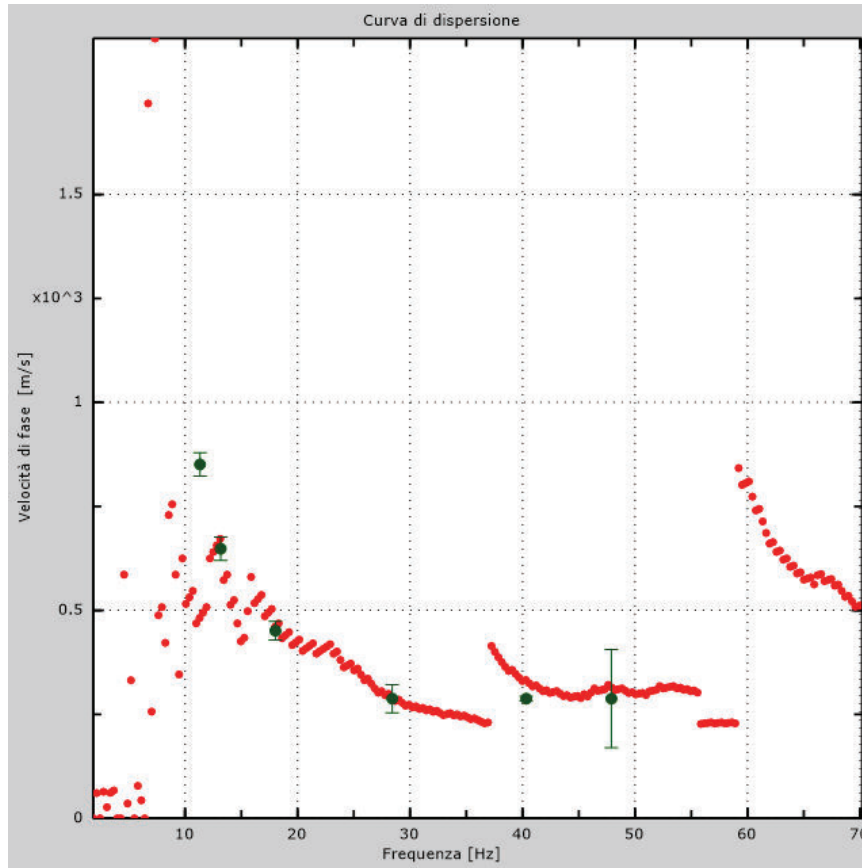


Figura 3: Curva di dispersione

#### 4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) .....	9
Spaziatura ricevitori [m] .....	1m
Numero ricevitori .....	24
Numero modi .....	1
<b>Strato 1</b>	
$h$ [m] .....	2
$z$ [m] .....	-2
Densità [ $\text{kg/m}^3$ ] .....	1800
Poisson .....	0.2
$V_s$ [m/s] .....	220
$V_p$ [m/s] .....	359
$V_s$ min [m/s] .....	160
$V_s$ max [m/s] .....	330
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
$V_s$ fin. [m/s] .....	220
<b>Strato 2</b>	
$h$ [m] .....	3
$z$ [m] .....	-5
Densità [ $\text{kg/m}^3$ ] .....	2000
Poisson .....	0.3
$V_s$ [m/s] .....	320
$V_p$ [m/s] .....	599
$V_s$ min [m/s] .....	160
$V_s$ max [m/s] .....	639
$V_s$ fin. [m/s] .....	320
<b>Strato 3</b>	
$h$ [m] .....	3

$z$ [m] .....	-8
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2100
Poisson.....	0.30
$V_s$ [m/s].....	508
$V_p$ [m/s] .....	950
$V_s$ min [m/s].....	160
$V_s$ max [m/s] .....	762
$V_s$ fin.[m/s].....	508

**Strato 4**

$h$ [m] .....	4
$z$ [m].....	-12
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2500
Poisson.....	0.36
$V_s$ [m/s].....	725
$V_p$ [m/s] .....	1550
$V_s$ min [m/s].....	251
$V_s$ max [m/s] .....	1088
$V_s$ fin.[m/s].....	725

**Strato 5**

$h$ [m] .....	4
$z$ [m].....	-16
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2500
Poisson.....	0.36
$V_s$ [m/s].....	702
$V_p$ [m/s] .....	1501
$V_s$ min [m/s].....	251
$V_s$ max [m/s] .....	1053
$V_s$ fin.[m/s].....	702

**Strato 6**

$h$ [m] .....	4
$z$ [m].....	-20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2500
Poisson.....	0.36
$V_s$ [m/s].....	720
$V_p$ [m/s] .....	1539
$V_s$ min [m/s].....	360
$V_s$ max [m/s] .....	1440
$V_s$ fin.[m/s].....	720

**Strato 7**

$h$ [m] .....	5
$z$ [m].....	-25
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2500
Poisson.....	0.36
$V_s$ [m/s].....	720
$V_p$ [m/s] .....	1539
$V_s$ min [m/s].....	360
$V_s$ max [m/s] .....	1440
$V_s$ fin.[m/s].....	720

**Strato 8**

$h$ [m] .....	6
$z$ [m].....	-31
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2500
Poisson.....	0.36
$V_s$ [m/s].....	945
$V_p$ [m/s] .....	2020
$V_s$ min [m/s].....	473

$V_s \text{ max [m/s]}$ .....	1891
$V_s \text{ fin. [m/s]}$ .....	945
<b>Strato 9</b>	
$h \text{ [m]}$ .....	0
$z \text{ [m]}$ .....	-00
Densità $[\text{kg/m}^3]$ .....	2500
Poisson .....	0.36
$V_s \text{ [m/s]}$ .....	1490
$V_p \text{ [m/s]}$ .....	3186
$V_s \text{ min [m/s]}$ .....	473
$V_s \text{ max [m/s]}$ .....	2235
$V_s \text{ fin. [m/s]}$ .....	1490

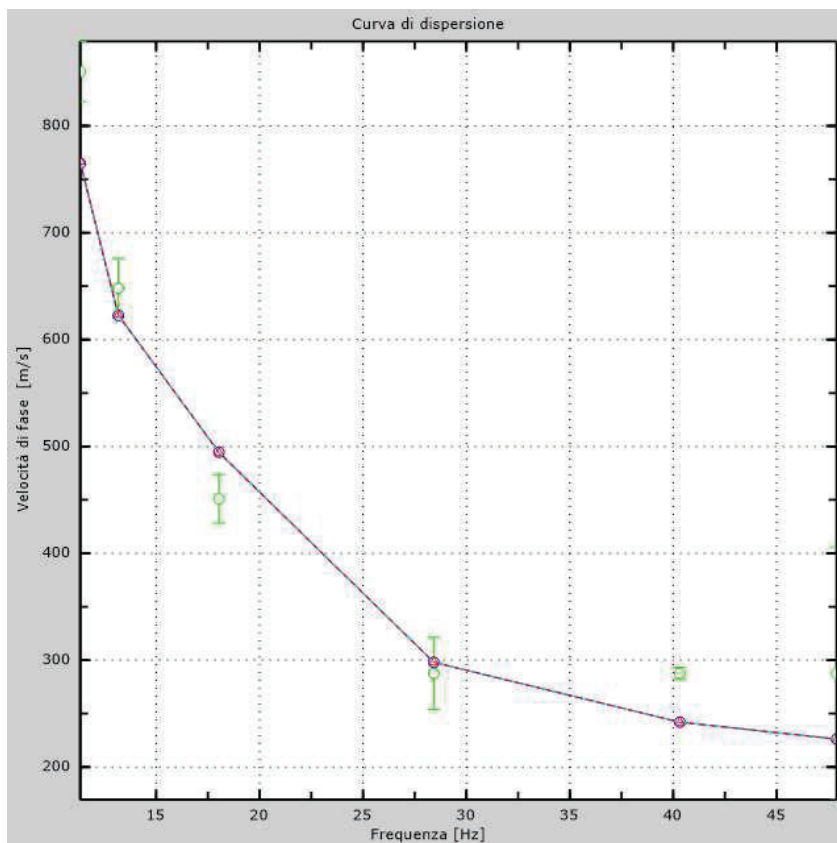


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)



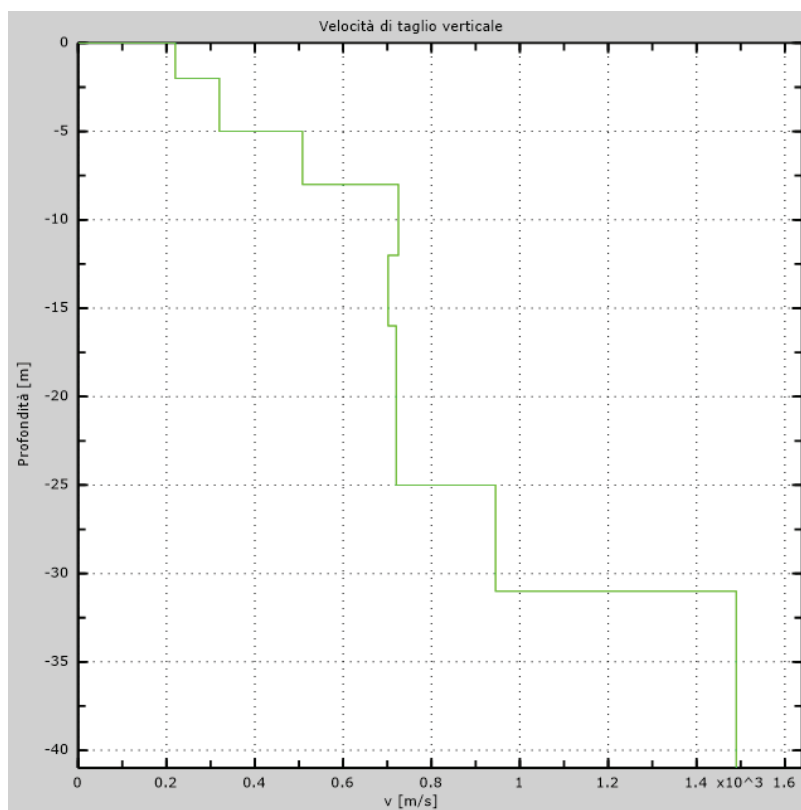


Figura 5: Profilo Vs numerico

### 5 - Risultati finali

Piano di riferimento $z=0$ [m].....	0
$V_{s30}$ (NTC 2008) [m/s] .....	562
$V_{seivalenti}$ (NTC 2018) [m/s] .....	520".

## 2. Acquisizione con tromografo digitale "Theremino"

Il metodo HVSR, come tutti gli altri metodi geofisici, ha bisogno di essere interpretato dall'utente sulla base delle conoscenze geologiche dell'area. Esso si basa sulla misura dei microtremori ambientali (derivanti ad esempio da attività antropica, dal moto ondoso del mare, dal vento, ecc.), misurati nelle tre componenti (due orizzontali e una verticale). Come tutte le indagini indirette hanno il vantaggio di misurare i parametri geofisici del terreno in sito ma non è sempre facile risalire al profilo geologico reale.

La tecnica HVSR consente di valutare la frequenza di risonanza di uno strato soffici a partire dalle sole registrazioni di superficie. In particolare, Nakamura (1989) ha ipotizzato che la componente verticale del rumore sismico ambientale (di varia origine, come sopra indicato) fosse relativamente non influenzata dai sedimenti. Per cui il rapporto H/V tra lo spettro di Fourier delle componenti orizzontale e verticali è stato messo in evidenza come una stima affidabile della risposta di sito alle onde S, non solo per la frequenza di risonanza, ma anche per la relativa amplificazione, partendo dall'ipotesi che la divisione della componente verticale assunta come riferimento, permettesse di rimuovere gli effetti della sorgente, oltre a quelli dovuti alle onde di Rayleigh.

Se ad esempio consideriamo la struttura geologica di un deposito sedimentario (ad esempio depositi alluvionali in una valle fluviale), si nota che il tremore misurato in superficie può essere considerato come costituito da onde superficiali e da onde di volume (come le onde longitudinali). Queste sono modificate dall'azione filtrante operata dallo strato soffici.



In base a questo si possono definire due spettri relativi alle misure del moto superficiale orizzontale (misurati dai due geofoni orizzontali) e verticale (misurati dal geofono verticale).

**Il software open source Geopsy permette di definire il rapporto H/V, secondo i criteri di attendibilità stabiliti dal progetto SESAME (che sono verificati dal software in maniera automatica), partendo dalle registrazioni delle vibrazioni misurate sui tre assi dal tromografo digitale. Nel caso in cui Geopsy riscontrasse una non perfetta corrispondenza dell'acquisizione effettuata con i criteri SESAME, lo evidenzerebbe riportando un'area tratteggiata nel grafico H/V – frequenza (o grafico di ellitticità) negli intervalli di frequenza che non soddisfano tali criteri.**

I metodi d'inversione tendono a comparare i dati acquisiti con quelli calcolati fino a quando non si riesce a trovare la migliore sovrapposizione (come nel caso del programma Dinver, collegato al programma open source Geopsy). Quindi è eseguita una serie di tentativi, sulla base di algoritmi di calcolo, al fine di ottenere la sovrapposizione migliore con i dati sperimentali (ovvero quelli acquisiti durante le registrazioni dei microtrempi).

Sulla base di queste sovrapposizioni e di calcoli il software Dinver permette di ottenere una stima dell'andamento delle velocità delle onde P (longitudinali) e delle onde S (di taglio o seconde) in base alla profondità (e quindi di determinare il valore delle Vs30 richiesto dalla normativa italiana), previa la definizione di una modellazione del terreno investigato. Quindi i calcoli sono vincolati alla preliminare conoscenza della stratigrafia di massima del terreno investigato (nel nostro caso grazie alle altre indagini geofisiche eseguite). Questo al fine di evitare di ottenere delle stratigrafie sismiche delle onde P e S non veritiere rispetto al modello geologico che si sta analizzando.

Nel caso di situazioni stratigrafiche consone con il metodo utilizzato generalmente si ottengono dati molto simili alla situazione geologica reale.

La strumentazione e il software utilizzati in questo caso sono costituiti da:

- scheda madre Theremino master, con uscita USB;
- ADC 24 bit;
- n. 2 geofoni orizzontali da 4,5 hz;
- n. 1 geofono verticale da 4,5 hz;
- Frequenza di campionamento 125, 150, 200, 250, 333, 500 Hz;
- Durata acquisizione 10, 20, 30 minuti;
- Registrazione dei dati acquisiti in formato \*.SAF;
- pc Windows compatibile con software Theremino-Dolfrang (per visionare e acquisire i dati in tempo reale);
- software open source “geopsy”, per l'elaborazione del diagramma H/V-frequenza;
- software open source “dinver”, per l'elaborazione di stratigrafie indicative delle onde S, P e della densità sismica dei terreni investigati.

## PARAMETRI DI ACQUISIZIONE:

CONDIZIONI METEO	Assenza di vento e assenza di pioggia
FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO	500 Hz
DURATA ACQUISIZIONE	20 minuti
ORIENTAMENTO STRUMENTO	Nord dello strumento parallelo alle curve di livello
CONDIZIONI DI RUMOROSITA' DEL SITO	Bassa rumorosità
VERIFICA DEI CRITERI SESAME	Positiva, in quanto, nel grafico H/V – frequenza, non sono presenti aree tratteggiate



*Foto 2 – Ubicazione acquisizione HVSR eseguita a valle dell'opera di sostegno del piano stradale in corrispondenza del quale sono state eseguite la stesa sismica a rifrazione e l'acquisizione Masw*

Il segnale è stato elaborato con il software Geopsy per definire la frequenza propria del terreno (vedere figura sottoriportata).

Una prima stima dello spessore del livello detritico superficiale può essere eseguita con l'uso della tabella sotto riportata (da <http://comunitadigeologia.blogspot.it/2015/03/4-correlazione-vs-hz-per-hvsr.html>).

### **CORRELAZIONE VS - Hz per HVSR - (Calcolo empirico per determinare la stratigrafia tramite un sondaggio HVSR)**

In presenza di sedimenti granulari si può ipotizzare che la Vs dipenda principalmente dal carico della colonna stratigrafica soprastante.

Se il sedimento risponde a tale legge si può considerare valida la seguente relazione che lega la frequenza di risonanza con la profondità.



La tabella sottostante riporta la frequenza di risonanza (prima colonna) con la profondità di tre tipi di terreni:

- 1) terreni coesivi
- 2) sabbie
- 3) terreni rimaneggiati

Tali tabelle sono state ricavate sperimentalmente calcolando la funzione interpolatrice di un certo numero di sondaggi, pertanto i dati così calcolati sono puramente indicativi ed utili per valutare le profondità corrispondenti ai principali picchi di un sondaggio HVSr per avere una idea di massima della stratigrafia del sito. Nel caso in esame, per quanto il picco relativo a 12 Hz potrebbe essere dovuto alla presenza di un livello di materiale di riporto e di coltre detritica dello spessore di circa 5-6 m al di sopra del substrato roccioso fratturato costituito dalla Unità metasedimentarie calcaree Brianzoni delle Alpi Occidentali (Giurassico medio-sup.). Il picco a circa 50 Hz è probabilmente dovuto alla presenza di materiale di riporto superficiale.

**Tabella 1**

	terreni coesivi	sabbie	terreni rimaneggiati coesivi		terreni coesivi	sabbie	terreni rimaneggiati coesivi
Vo=	190,0	170,0	110,0	Vo=	190,0	170,0	110,0
a=	0,20	0,25	0,40	a=	0,20	0,25	0,40
Hz	H	H	H	Hz	H	H	H
100,00	0,50	0,45	0,29	4,80	14	14	11
95,00	0,52	0,47	0,31	4,50	16	15	12
90,00	0,55	0,50	0,32	4,20	17	17	13
85,00	0,59	0,53	0,34	4,00	18	18	14
80,00	0,63	0,56	0,37	3,80	19	19	15
75,00	0,67	0,60	0,39	3,60	20	20	17
70,00	0,72	0,65	0,42	3,40	22	22	18
65,00	0,78	0,70	0,46	3,30	23	22	19
60,00	0,85	0,76	0,50	3,10	24	24	21
55,00	0,93	0,84	0,55	3,00	25	25	22
50,00	1,03	0,93	0,61	2,90	26	26	23
45,00	1,1	1,0	0,7	2,80	27	28	24
43,00	1,2	1,1	0,7	2,70	29	29	25
40,00	1,3	1,2	0,8	2,60	30	30	50
37,00	1,4	1,3	0,8	2,50	32	32	
34,00	1,6	1,4	0,9	2,40	33	34	
32,00	1,7	1,5	1,0	2,30	35	36	
30,00	1,8	1,6	1,1	2,20	37	38	
28,00	1,9	1,8	1,2	2,10	39	40	
27,00	2,0	1,8	1,2	2,00	41	42	
25,00	2,2	2,0	1,3	1,90	44	45	
24,00	2,3	2,1	1,4	1,80	47	49	
23,00	2,4	2,2	1,5	1,70	50	52	
22,00	2,5	2,3	1,5	1,60	54	57	
21,00	2,6	2,4	1,6	1,50	59	62	
20,00	2,8	2,6	1,7	1,40	64	67	
19,00	2,9	2,7	1,8	1,30	70	74	
18,00	3,1	2,9	2,0	1,20	77	82	
17,00	3,3	3,1	2,1	1,10	86	92	
16,00	3,6	3,3	2,3	1,00	96	104	
15,00	3,8	3,6	2,4	0,95	103	112	
14,00	4,2	3,9	2,7	0,90	110	120	
13,00	4,5	4,2	2,9	0,85	118	129	
12,00	5,0	4,6	3,2	0,80	127	140	
11,00	5,5	5,1	3,6	0,75	138	152	
10,00	6,1	5,7	4,1	0,70	150	166	
9,00	6,9	6,5	4,7	0,65	164	183	
8,50	7,4	7,0	5,0	0,60	181	204	
8,00	7,9	7,5	5,5	0,55	202	228	
7,50	8,5	8,1	6	0,50	227	259	
7,00	9,2	8,8	7				
6,50	10,1	9,7	7				
6,00	11	11	8				
5,30	13	12	10				
5,10	13	13	10				

La tabella sopra indicata è ricavata da quanto riportato nell'articolo "INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE A SUPPORTO DELLA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO" - Dario Albarello - Università di Siena (Italy).

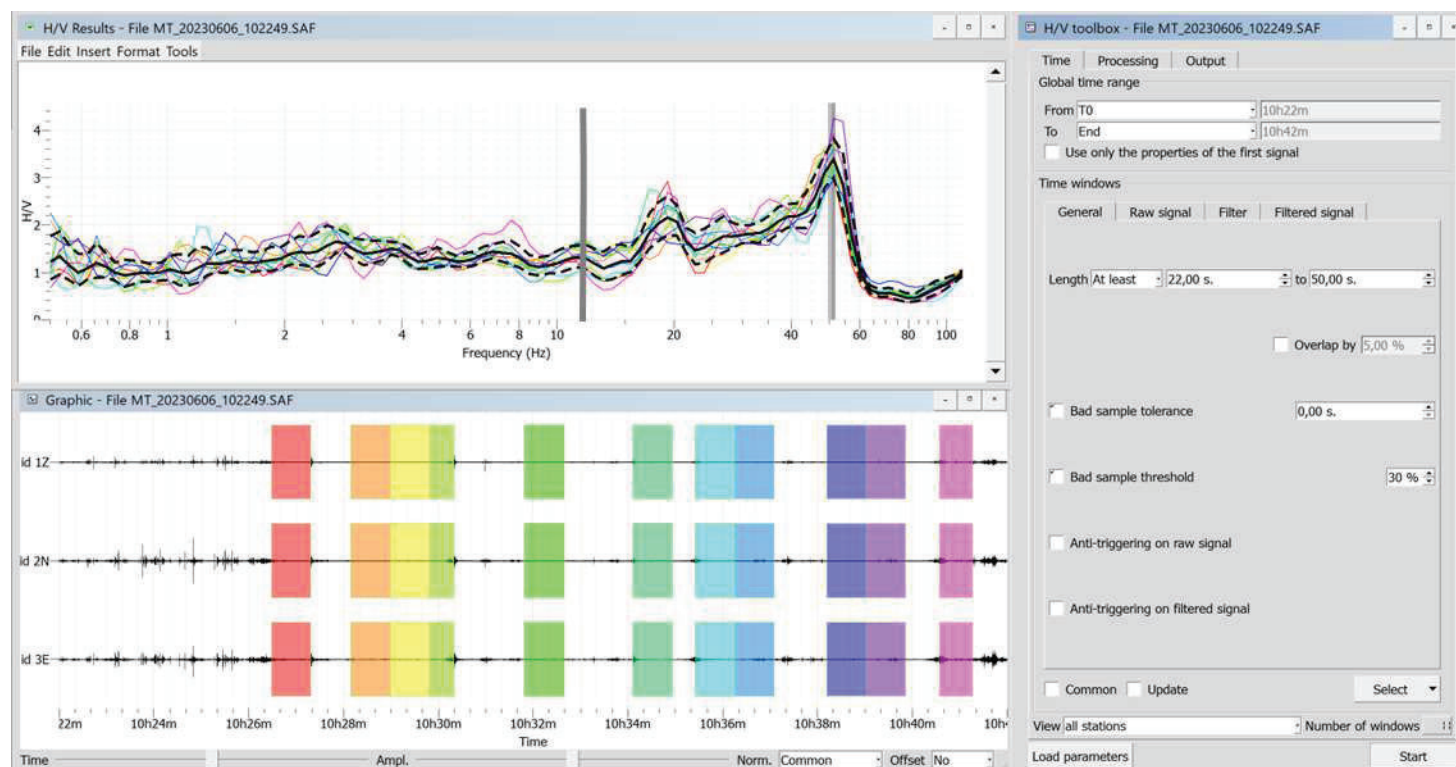


Figura 1 - Grafico H/V-frequenza della registrazione (o ellitticità)

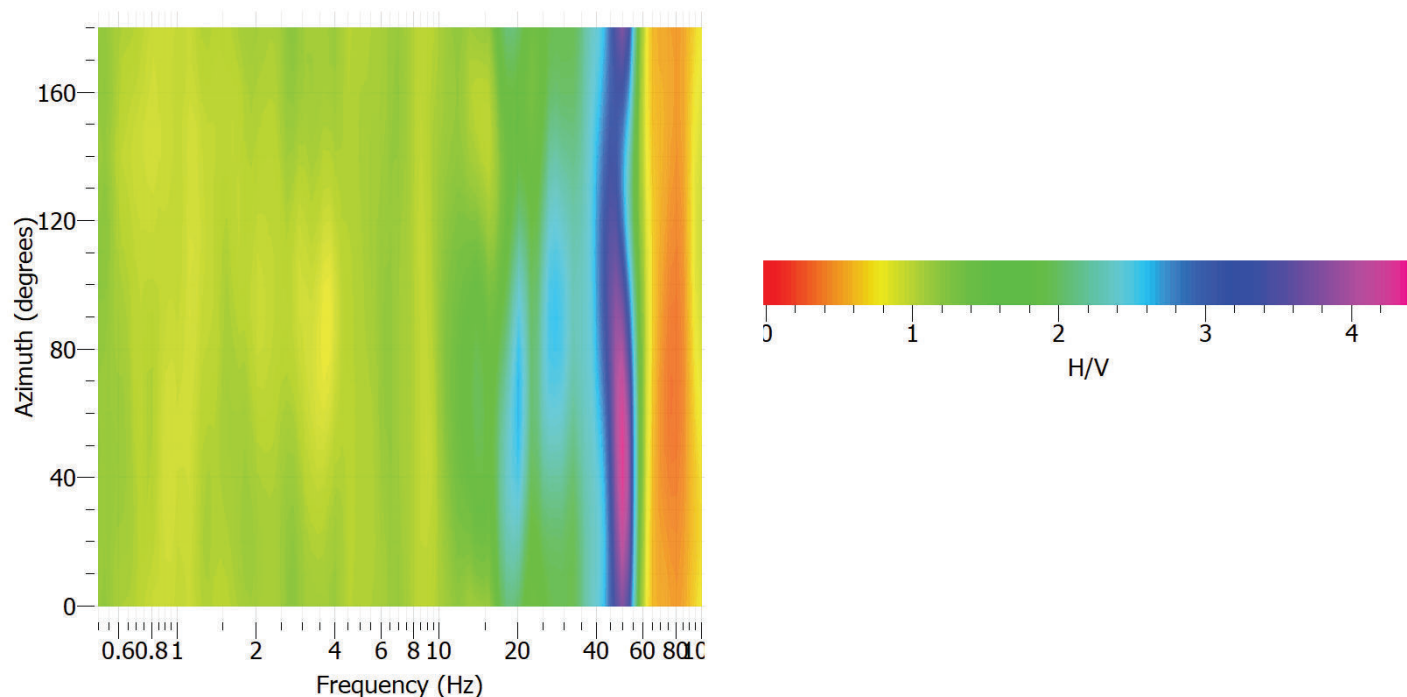


Figura 2 - Grafico HV/Rotate della registrazione con direzionalità del segnale

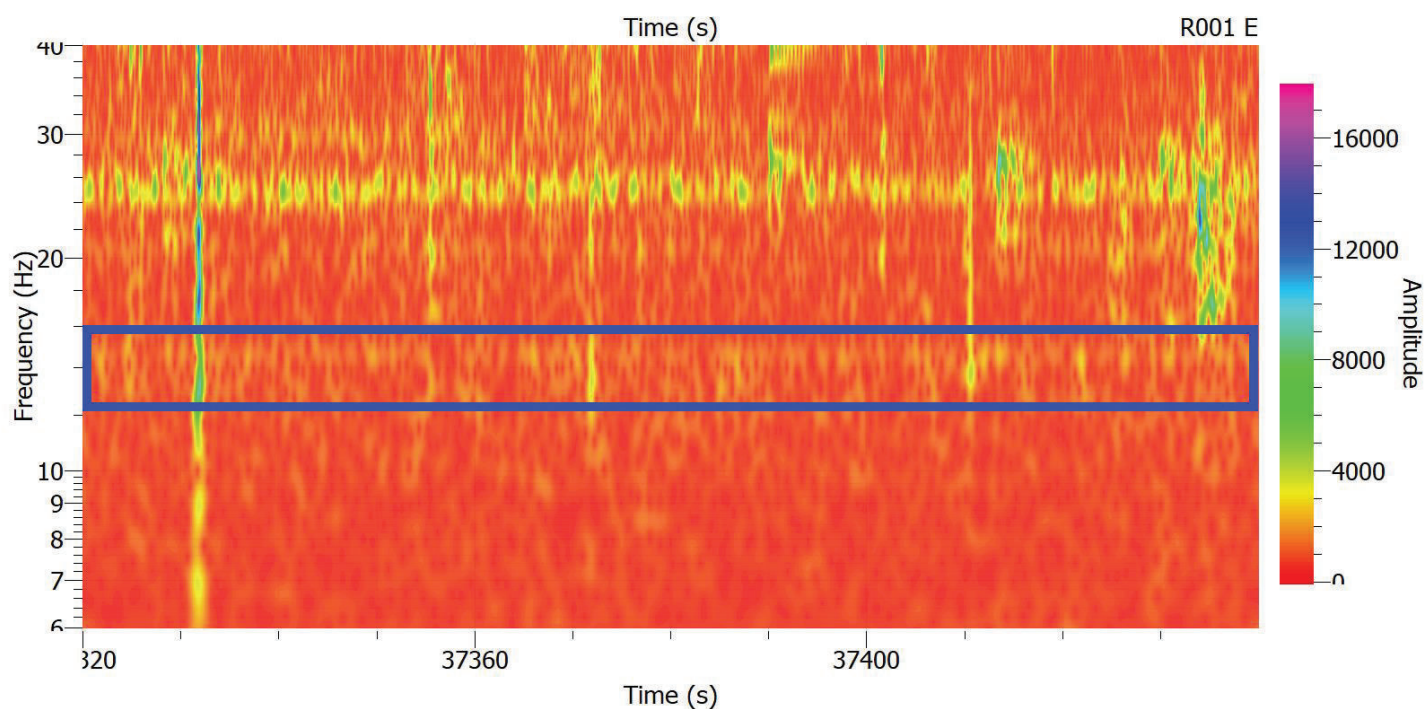


Figura 3 - Grafico della stazionarietà del segnale nell'acquisizione, si noti in particolare il picco a circa 12-15 Hz

### **Stima delle velocità delle onde P e delle onde S attraverso l'uso delle registrazioni effettuate con il theremino**

Attraverso il programma Dinver precedentemente indicato è stata ricavata una stima preliminare ed indicativa delle velocità delle onde di taglio S e delle onde longitudinali P, per quanto riguarda l'acquisizione HVSR, come sotto riportato:

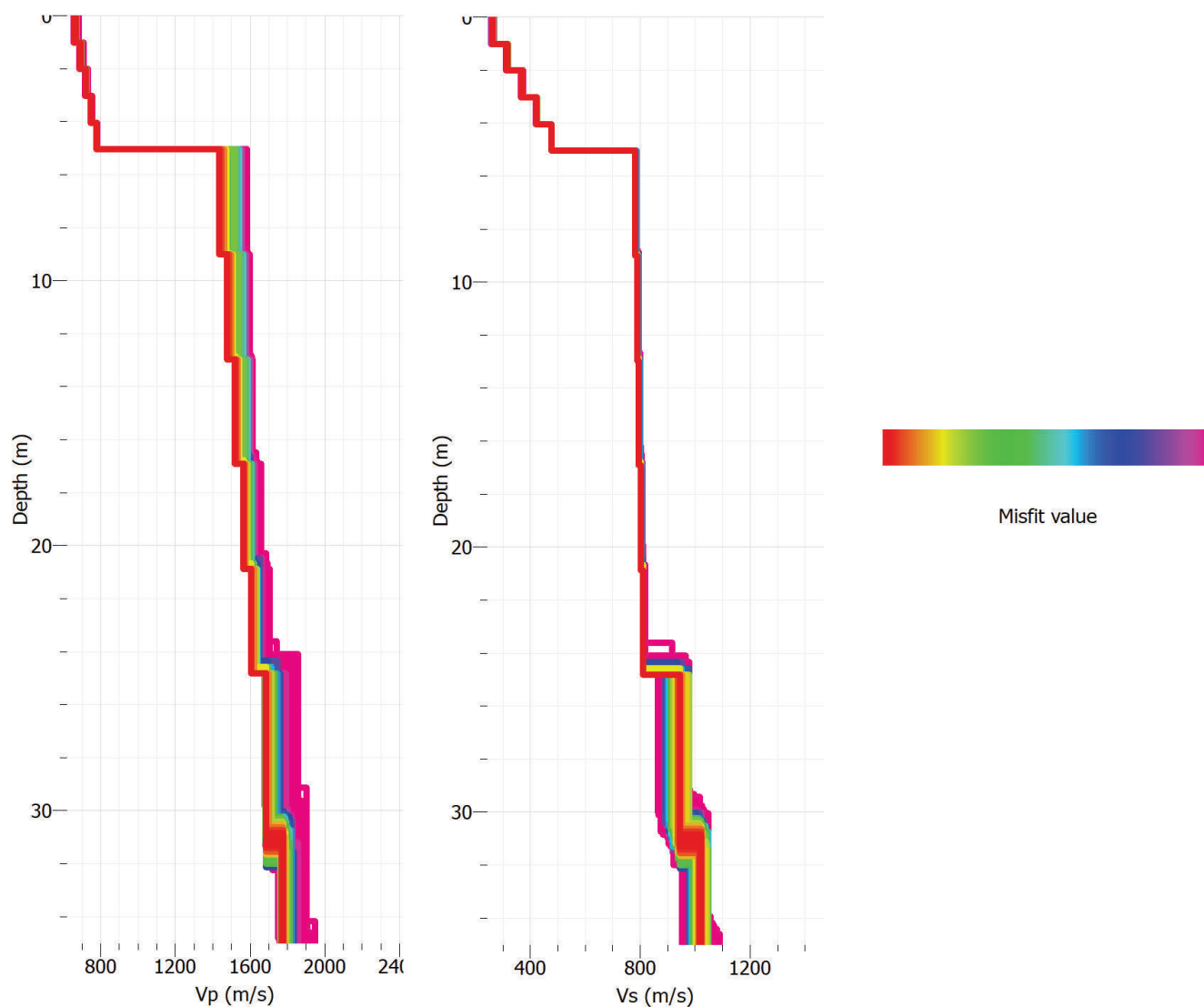


Figura 4 - Elaborazione con Dinver della prova con il theminino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)



Figura 5 – Valore dell'errore nel calcolo della curva di inversione con Dinver

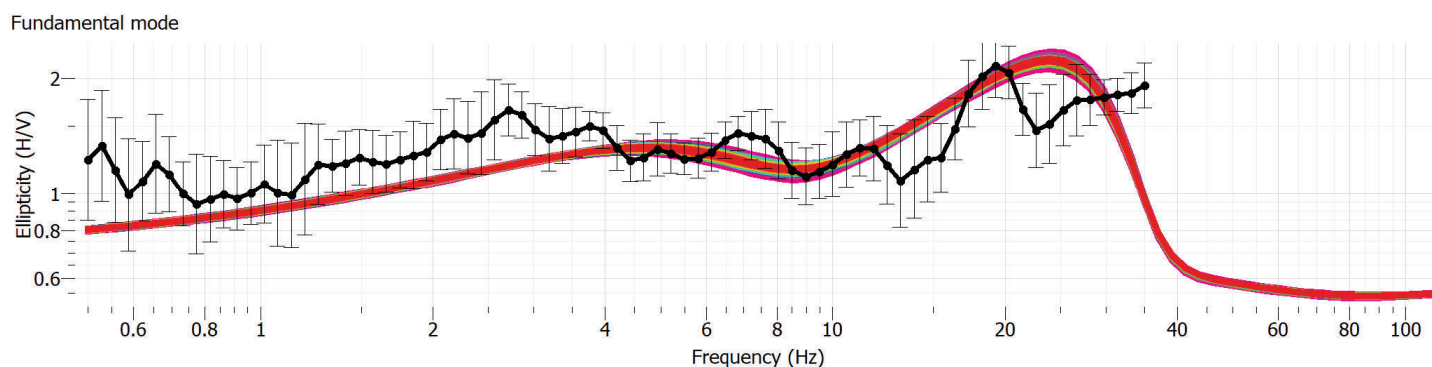


Figura 6 – Sovrapposizione tra la curva sintetica (calcolata dal software e con diversi colori) e curva sperimentale H/V



(derivante dall'acquisizione con il tromografo, di colore nero)

Figura 7 – Parametri utilizzati nel programma Dinver per la definizione della curva sintetica

**Velocità delle onde Longitudinali (onde P):**

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a -5,01	697
da -5,01a -24,98	1522
da -24,98 a – 30,00	1712

**Velocità delle onde Trasversali (onde S):**

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a -5,01	368
da -5,01a -24,98	789
da -24,98 a – 30,00	952

Come si può notare il preliminare e indicativo valore di Vs30 (ai sensi delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione sopra riportata, è pari a 679 m/s. Per quanto riguarda il valore delle Vseivalenti (Decreto del 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni), esso è pari a 642 m/s.

### 3. Conclusioni

Nei paragrafi precedenti sono stati illustrati i risultati delle indagini geofisiche eseguite in località Cerisola del Comune

di Garessio (CN).

Nella zona oggetto di studio sono presenti, come riportato nelle informazioni geologiche visionabili nel sito internet di Arpa Piemonte, le Unità metasedimentarie calcaree Brianzonesi delle Alpi Occidentali (Giurassico medio-superiore).

In base alle indagini sismiche precedentemente descritte, il suolo di fondazione, ai sensi delle NTC 2018, rispetto al piano di campagna visibile nella foto 1 (in corrispondenza del quale sono state eseguite la stesa sismica a rifrazione elaborata con la procedura tomografica e l'acquisizione Masw) e viste le risultanza del sondaggio geognostico a carotaggio continuo eseguito a cura della committenza, si può classificare come appartenente alla Categoria B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti.

Infine, risulterà opportuna una “taratura” delle prove eseguite e descritte nella presente anche attraverso il controllo con ulteriori indagini geognostiche (ad esempio pozzetti geognostici esplorativi, rilevati geomeccanici, prove penetrometriche, ecc.) e con rilevamento geologico/geomorfologico di dettaglio a cura del committente.

Bordighera, 05-09-2023

Dott. Geol. Francesco D'Adamo

