



# COMUNE DI TORNIMPARTE PROVINCIA DELL'AQUILA (AQ)



***"Interventi di messa in sicurezza del territorio a rischio di dissesto idrogeologico del bacino del Raio in località Palombaia"***

**CUP: B84D24000030001 - CIG: B351F0668C**

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

art. 41 c.6 D.Lgs 36/2023



**(Mandataria)**  
**C&C Engineering s.r.l.**

Via Nazionale 96-98050 Terme Vigliatore (ME)  
Tel. 090 9782254  
www.ccecengineering.it  
e-mail: info@cecengineering.it  
Pec: ccecengineeringsrl@pec.it

C&C ENGINEERING s.r.l.  
Il Direttore Tecnico  
(Dott. Ing. Carmelo Caliri)

**Gruppo di progettazione**

**Dott. Geologo Domenico Femino**



**(Mandanti)**

**Dott. Archeologo Alberto D'Agata**

Dott. Alberto D'Agata  
Archeologo  
P.N.A. 00466710877

**RESPONSABILE UNICO PROGETTO:**

**Arch. Maria Cristina Deli**

**RESPONSABILE DEL COORDINAMENTO E DELLE PRESTAZIONI:**

**Ing. Carmelo Caliri (Direttore Tecnico)**

**C&C Engineering s.r.l.**

**Elaborato**

### RELAZIONE INDAGINI

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	17/03/2026	PRIMA EMISSIONE	F.C.	Dott. Geol. FEMINO DOMENICO n. 3329 Sez. A DATA 17/03/2026	C.C.
ARCHIVIO	05-25		SCALA		ELAB. N° SSG 03



STUDIO

Geologia Tecnica e Ambientale

(+39) 334.7564040 - E-mail k8filippo@gmail.com

geol. filippo cappotto



## COMUNE DI TORNIMPARTE (AQ)

**“Interventi di messa in sicurezza del territorio a rischio di dissesti idrogeologici del Bacino del Raio in Località Palombaia” - CUP: B84D24000030001 - CIG: B351F0668C.**

## RELAZIONE INDAGINI

Ficarra, 29 marzo 2025



geol. filippo cappotto





## Sommario

1	PREMESSA .....	2
2	SISMICA ATTIVA “MASW” .....	4
2.1	DESCRIZIONE E FINALITA’ DEL METODO MASW .....	4
2.2	ATTREZZATURA UTILIZZATA E METOLOGIA DI ESECUZIONE.....	5
2.3	INTERPRETAZIONE DELLE PROVE MASW.....	6
3	TOMOGRAFIA SISMICA .....	27
3.1	PRINCIPI E CONSIDERAZIONI GENERALI .....	27
3.2	ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DI SISMICA A RIFRAZIONE .....	27
4	INDAGINE SISMICA HVSR .....	49

**Appendice A - report Indagini Georadar (GPR)**

**Appendice B - report indagini geognostiche e geotecniche**

## 1 PREMESSA

Nei mesi di febbraio/marzo 2025, su incarico del gruppo di progettazione affidatario **C & C Engineering** capogruppo, affidatario da parte dell'Amministrazione comunale di Tornimparte, della progettazione di fattibilità tecnico ed economica (PFTE) degli “**Interventi di messa in sicurezza del territorio a rischio di dissesto idrogeologico del Bacino del Raio in Località Palombaia**” - CUP: B84D24000030001 - CIG: B351F0668C., sono state realizzate a corredo del progetto, le seguenti indagini geologiche e geofisiche:

- N°4 Indagini geofisiche di sismica attiva MASW;
- N°2 Indagini geofisiche di sismica passiva HVSR;
- N°4 Indagini geofisiche di sismica a rifrazione;
- Prospezioni georadar G.P.R. .
- N°2 perforazioni di sondaggi;

### *Sondaggio n.1 (S.1):*

- Profondità raggiunta: 15 metri rispetto al piano campagna
- Esecuzione di n° 3 prove S.P.T. in foro
- Prova di permeabilità in foro: 1
- Condizionamento: Piezometro

### *Sondaggio n.2 (S.2):*

- Profondità raggiunta: 15 metri rispetto al piano campagna
- Esecuzione di n° 3 prove S.P.T. in foro
- Prova di permeabilità in foro: 1
- Condizionamento: Piezometro

Nella presente relazione sono riassunti i risultati della campagna di indagini geofisiche, con particolare riferimento alla strumentazione e alle tecniche d'indagine utilizzate, inoltre in calce sono compendiate le appendici A e B, relative alle indagini Georadar e alle indagini a carotaggio.

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 17 gennaio 2018.

Nei Capitoli che seguono viene approfondita la caratterizzazione stratigrafica e sismostratigrafica dei terreni, attraverso l'analisi delle prove effettuate.

La dislocazione planimetrica di tutte le indagini previste ed eseguite viene riportata nella planimetria che segue (fig. 1).

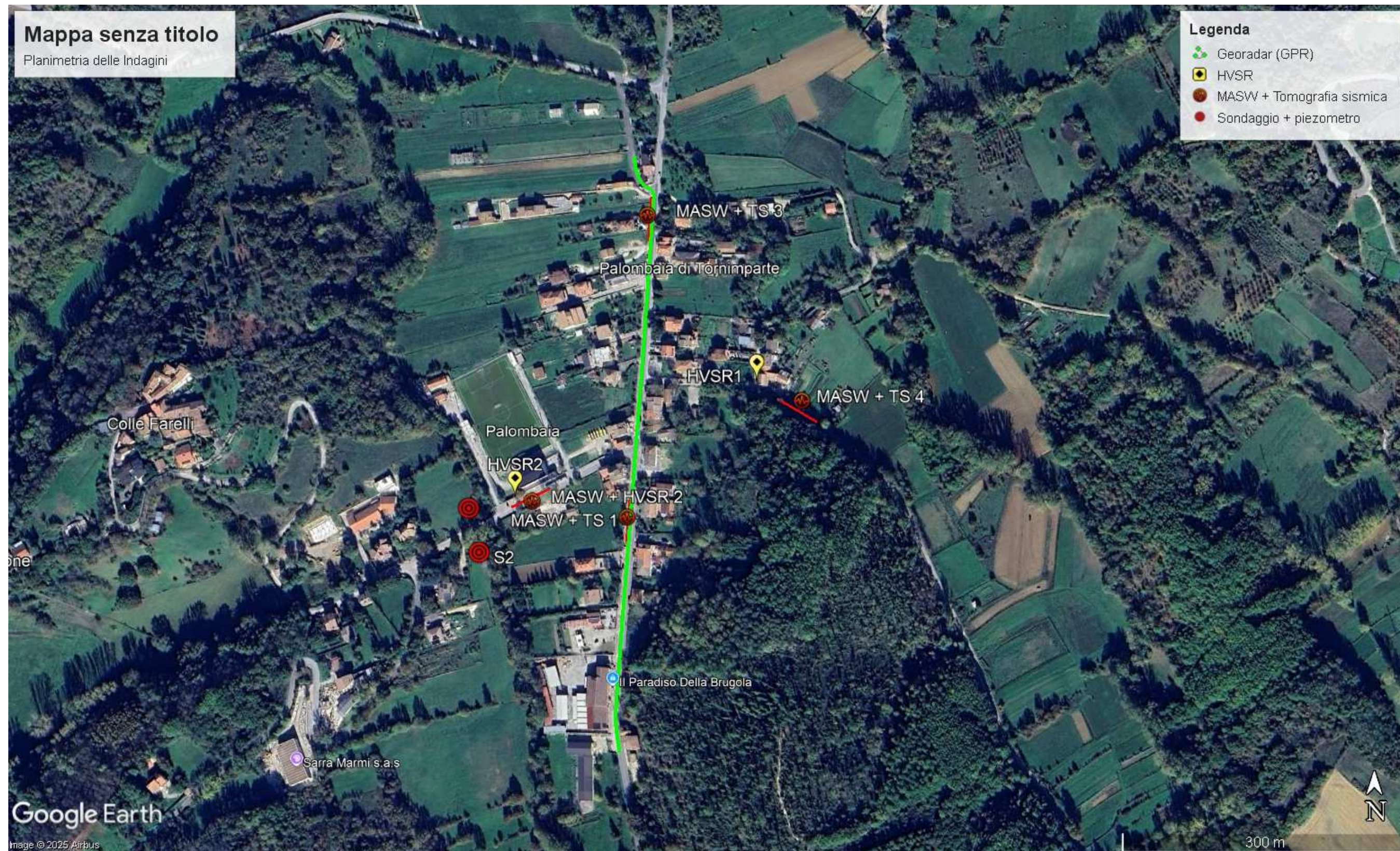
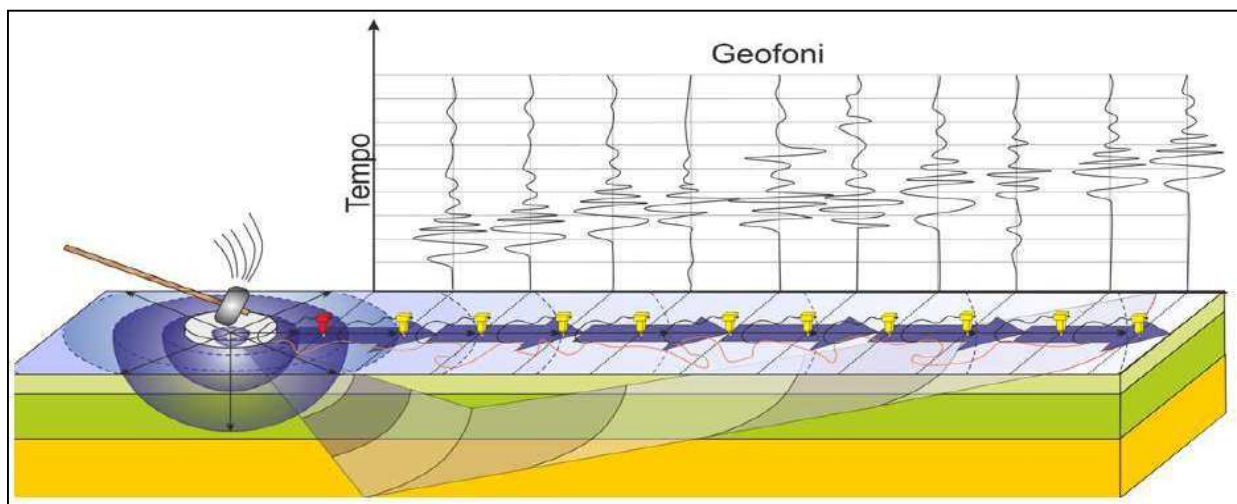


Figura 1 – Planimetria delle indagini

## 2 SISMICA ATTIVA “MASW”

### 2.1 DESCRIZIONE E FINALITA' DEL METODO MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), messo a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999), è una tecnica di indagine non invasiva per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  studiando, attraverso un array lineari di sensori, le caratteristiche di propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase, anche se influenzate dalla  $V_p$  (Velocità delle onde P) e della densità, esse sono strettamente correlate alla  $V_s$  (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito e negli studi di amplificazione dello scuotimento sismico).



La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile dal fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

In questo metodo le onde superficiali generate in un punto, sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Che permettono di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, dando così, informazioni sui primi 30m-50m di profondità di indagine, in funzione della rigidità del suolo.

## 2.2 ATTREZZATURA UTILIZZATA E METODOLOGIA DI ESECUZIONE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati prevede un sismografo a 24 canali (mod. MAE ST24 SISMOGRAFO 24 CANALI, 24 BIT) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5 Hz (spaziatura tra geofoni 2m, 1s di acquisizione, frequenza 5.000 Hz), una mazza battente di 8 kg, a sua volta dotata di uno starter da accoppiare al circuito trigger del sismografo.



**Figura 2 Strumentazione utilizzata – MAE ST24**

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

## 2.3 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE MASW

### Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

### Onde di Rayleigh - "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

### Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni

trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### **Modellizzazione**

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### **Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre

grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

### MASW\_01

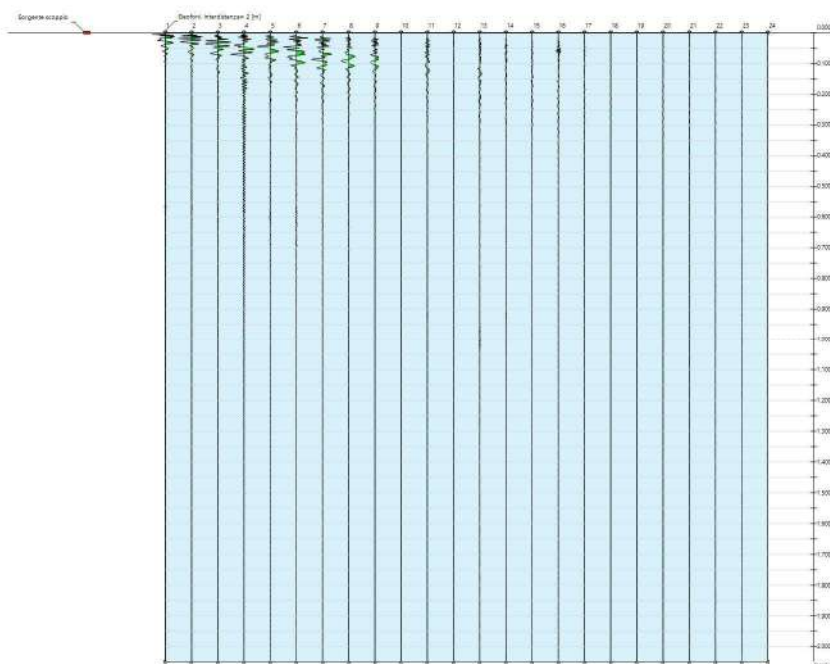


#### Dati generali

Data | 24/02/2025 05:29

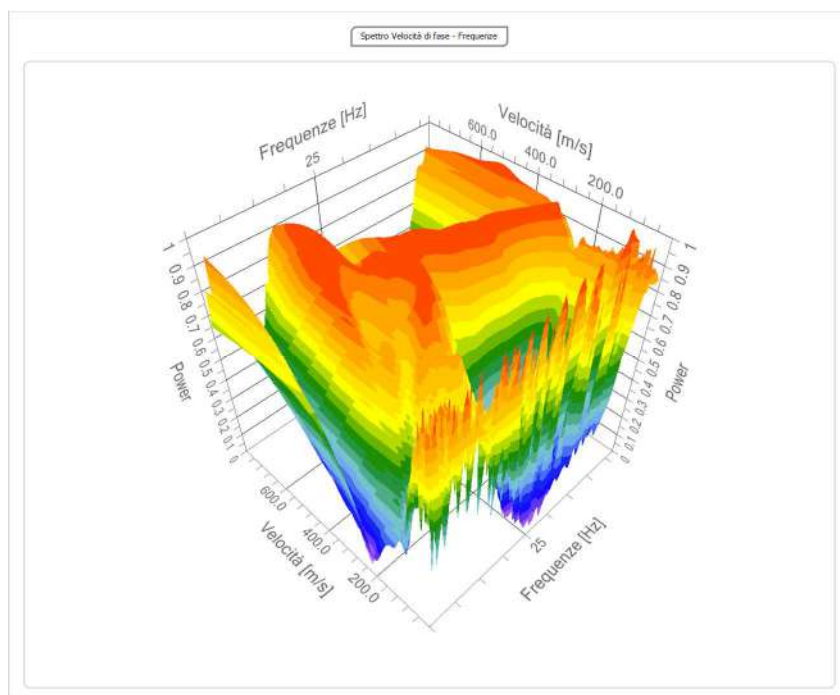
#### Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



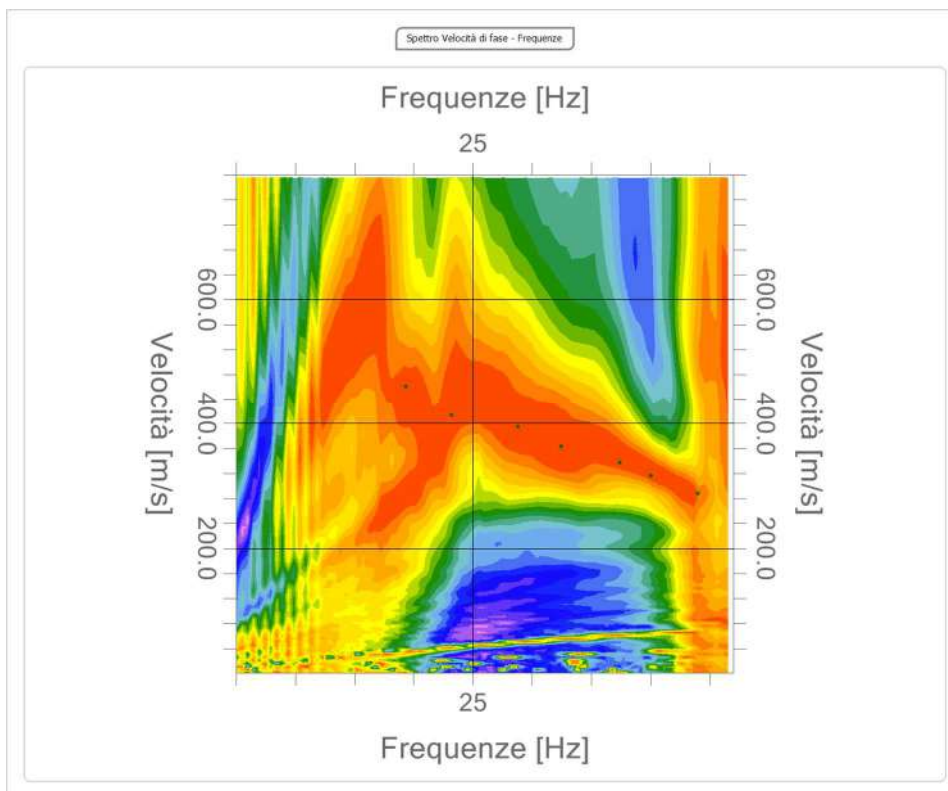
**Analisi spettrale**

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	5
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	47
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



**Curva di dispersione**

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	19.3	461.0	0
2	23.2	413.5	0
3	28.8	394.6	0
4	32.4	363.8	0
5	37.4	337.7	0
6	40.0	316.3	0
7	44.0	287.9	0



### Inversione

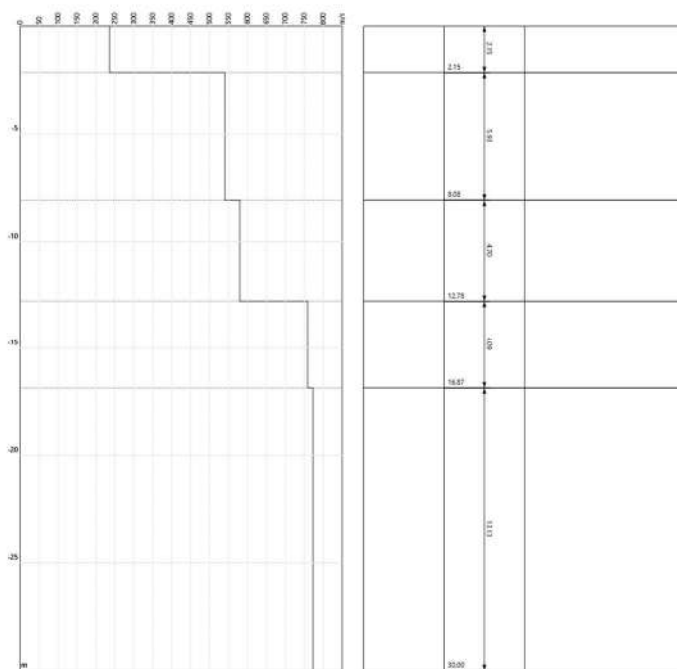
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.15	2.15	1800.0	0.20	No	384.9	235.7
2		8.08	5.93	1800.0	0.20	No	882.1	540.2
3		12.78	4.70	1800.0	0.20	No	946.5	579.6
4		16.87	4.09	1800.0	0.20	No	1239.1	758.8
5		oo	oo	1800.0	0.20	No	1262.4	773.1

Percentuale di errore

0.016 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.012



## Risultati

Profondità piano di posa [m] 0.00  
 Vs,eq [m/sec] 592.97  
 (H=30.00 m)  
 Categoria del suolo B

Suolo di tipo 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.

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.15	2.15	235.70	384.89	1800.00	0.20	100.00	266.66	133.33	239.99	N/A	N/A
2	8.08	5.93	540.18	882.11	1800.00	0.20	525.23	1400.62	700.31	1260.56	N/A	N/A
3	12.78	4.70	579.63	946.53	1800.00	0.20	604.74	1612.64	806.32	1451.38	N/A	N/A
4	16.87	4.09	758.76	1239.06	1800.00	0.20	1036.30	2763.47	1381.74	2487.12	N/A	N/A
5	oo	oo	773.05	1262.39	1800.00	0.20	1075.69	2868.51	1434.26	2581.66	NaN	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

## MASW\_02



## Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

## Dati generali

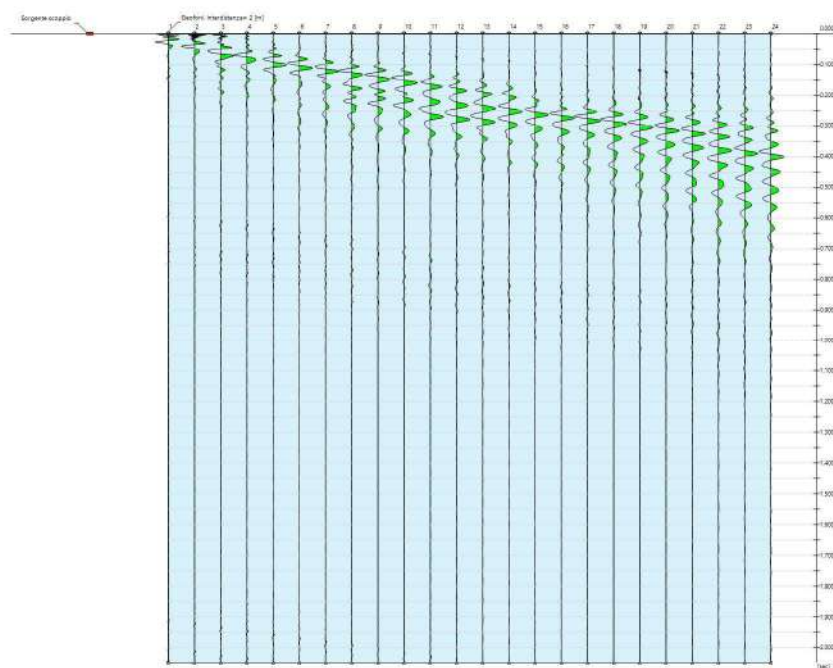
Data | 24/02/2025 05:32



**STUDIO**

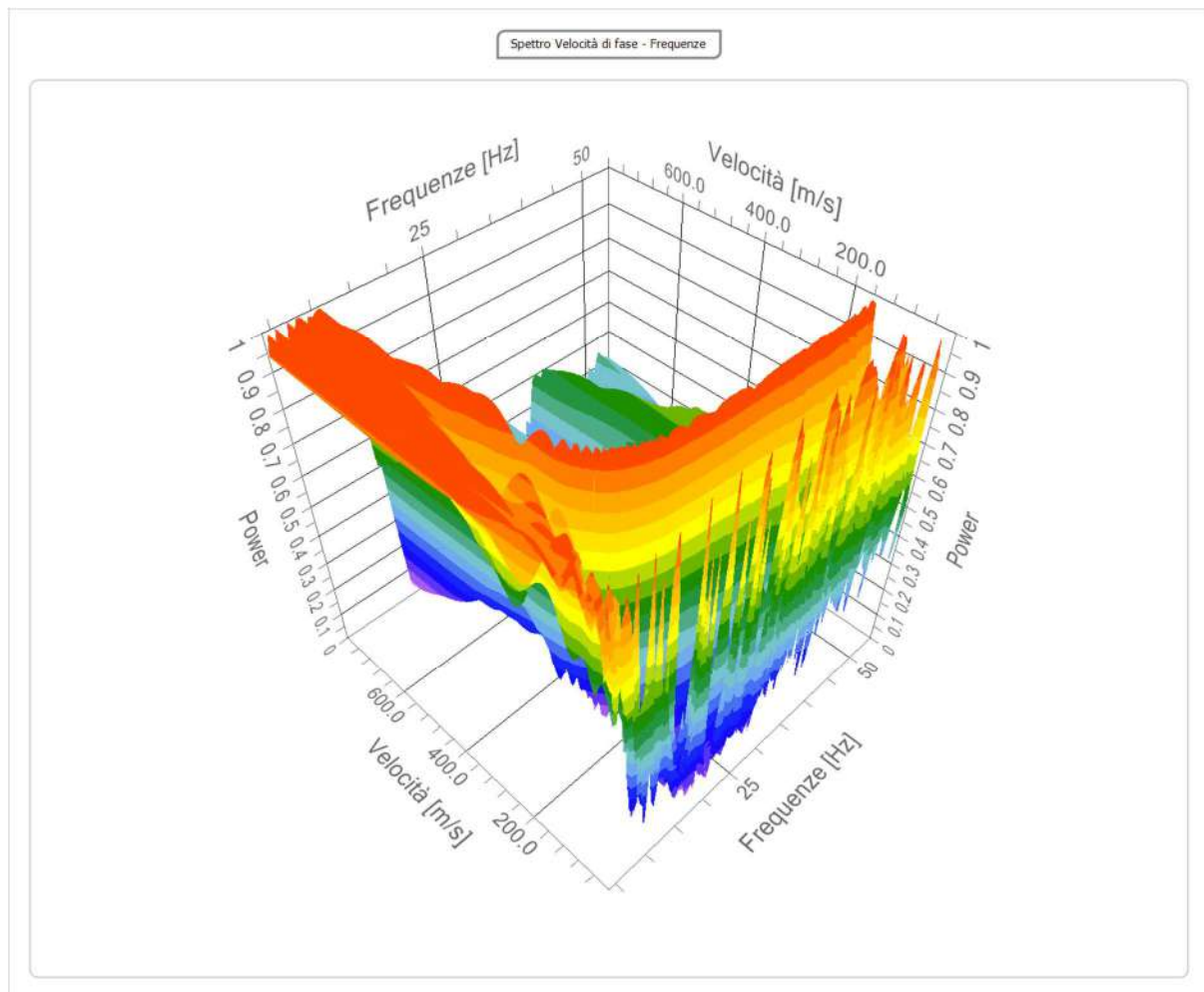
Geologia tecnica e ambientale

(+39) 334 7564040 – E-mail [k8filippo@gmail.com](mailto:k8filippo@gmail.com)



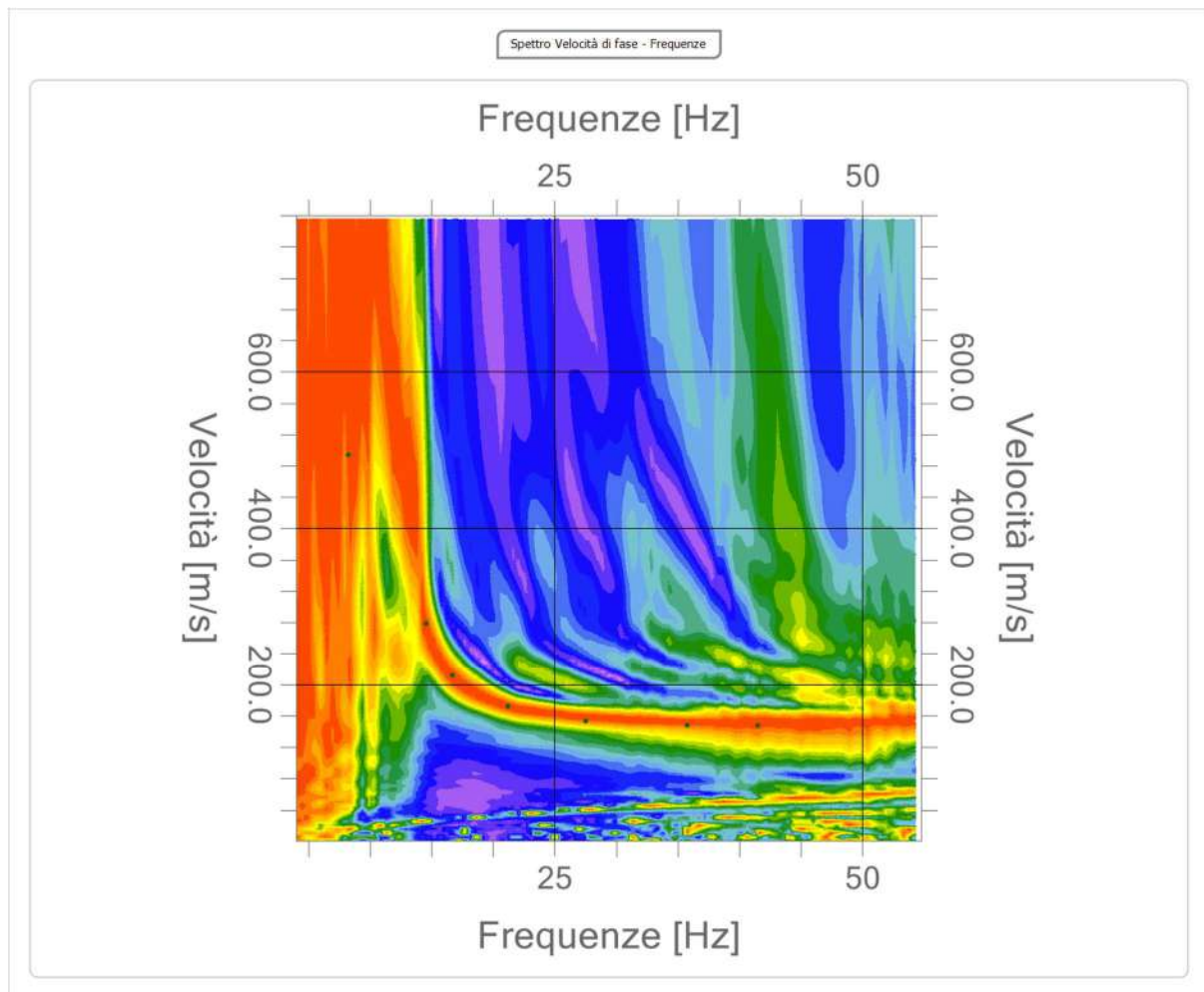
### Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	4
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	55
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	8.2	494.2	0
2	14.5	278.4	0
3	16.7	212.0	0
4	21.2	171.7	0
5	27.5	152.7	0
6	35.8	148.0	0
7	41.5	148.0	0



### Inversione

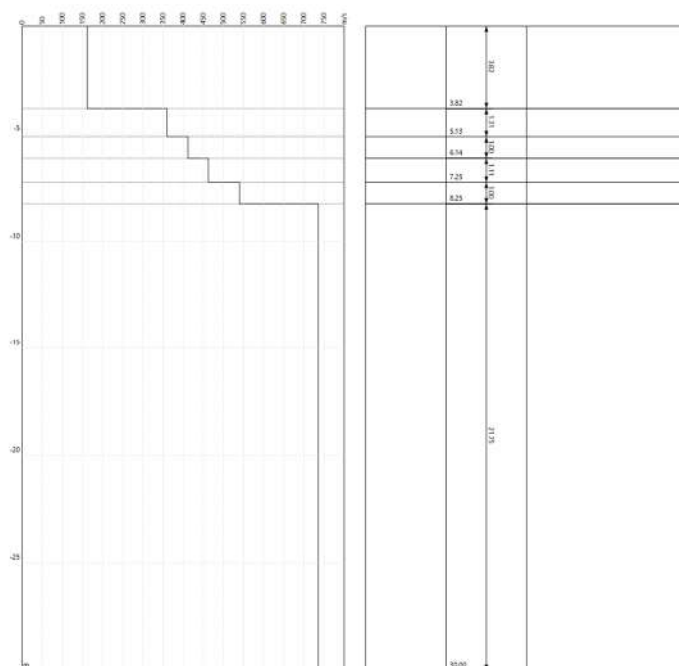
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.82	3.82	1800.0	0.20	No	264.0	161.6
2		5.13	1.31	1800.0	0.20	No	586.8	359.3
3		6.14	1.00	1800.0	0.20	No	672.6	411.9
4		7.25	1.11	1800.0	0.20	No	755.2	462.5
5		8.25	1.00	1800.0	0.20	No	882.2	540.2
6		oo	oo	1800.0	0.20	No	1201.5	735.8

Percentuale di errore

0.005 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.010



## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	472.02
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.82	3.82	161.64	263.95	1800.00	0.20	47.03	125.41	62.70	112.87	70	260.80
2	5.13	1.31	359.32	586.76	1800.00	0.20	232.40	619.73	309.86	557.75	N/A	N/A
3	6.14	1.00	411.88	672.60	1800.00	0.20	305.36	814.30	407.15	732.87	N/A	N/A
4	7.25	1.11	462.48	755.22	1800.00	0.20	384.99	1026.64	513.32	923.98	N/A	N/A
5	8.25	1.00	540.22	882.18	1800.00	0.20	525.31	1400.83	700.41	1260.75	N/A	N/A
6	oo	oo	735.77	1201.51	1800.00	0.20	974.44	2598.51	1299.26	2338.66	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

## MASW\_03



## Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione	2048.0
[msec]	
Interdistanza geofoni	2.0
[m]	
Periodo di	1.00
campionamento	
[msec]	

## Dati generali

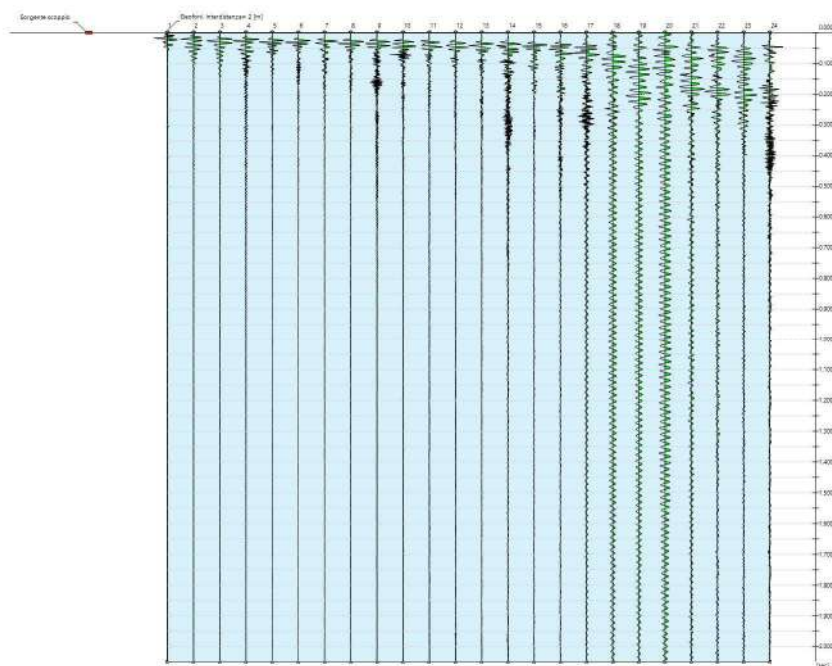
Data | 24/02/2025 05:35



STUDIO

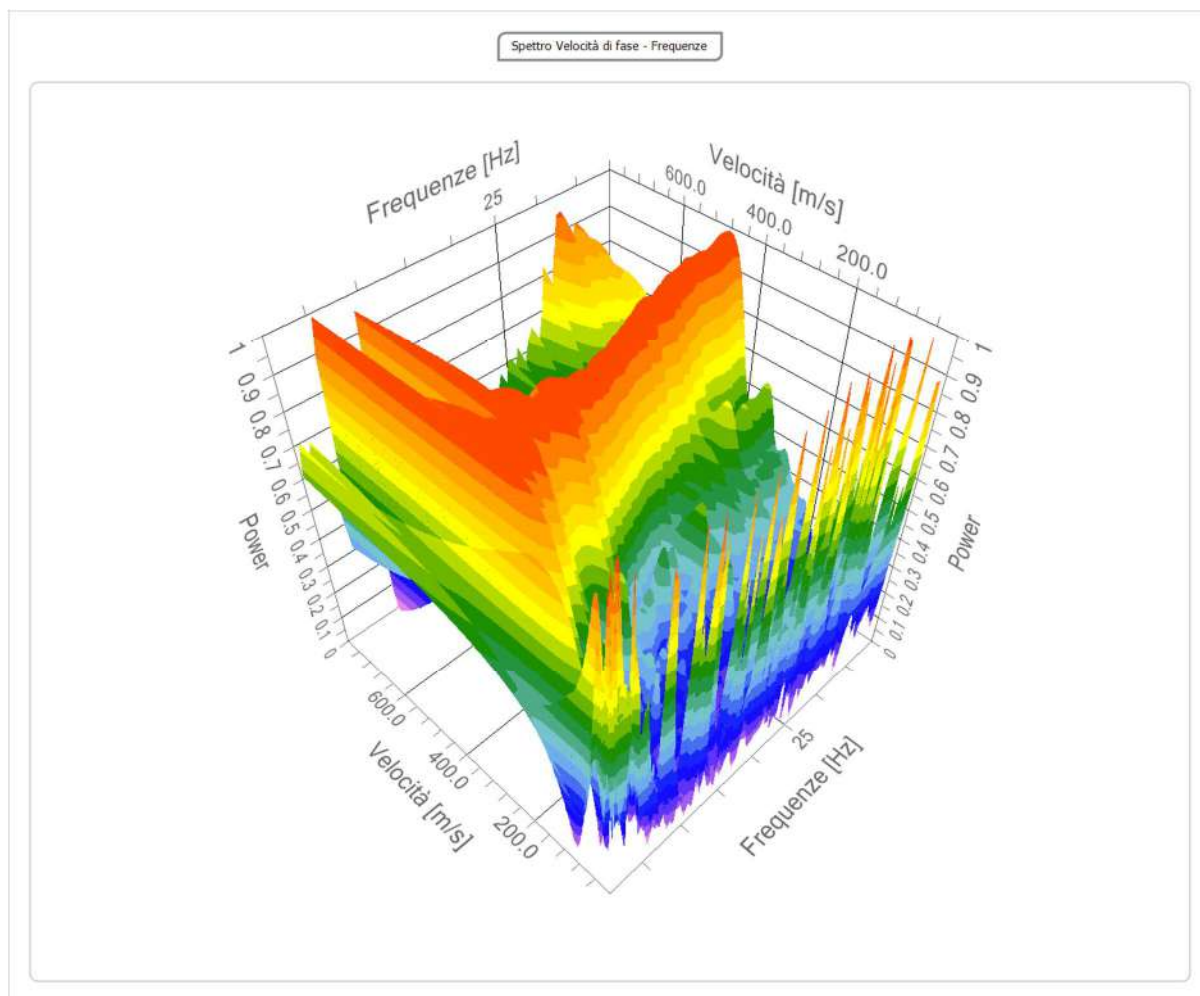
Geologia tecnica e ambientale

(+39) 334 7564040 – E-mail [k8filippo@gmail.com](mailto:k8filippo@gmail.com)



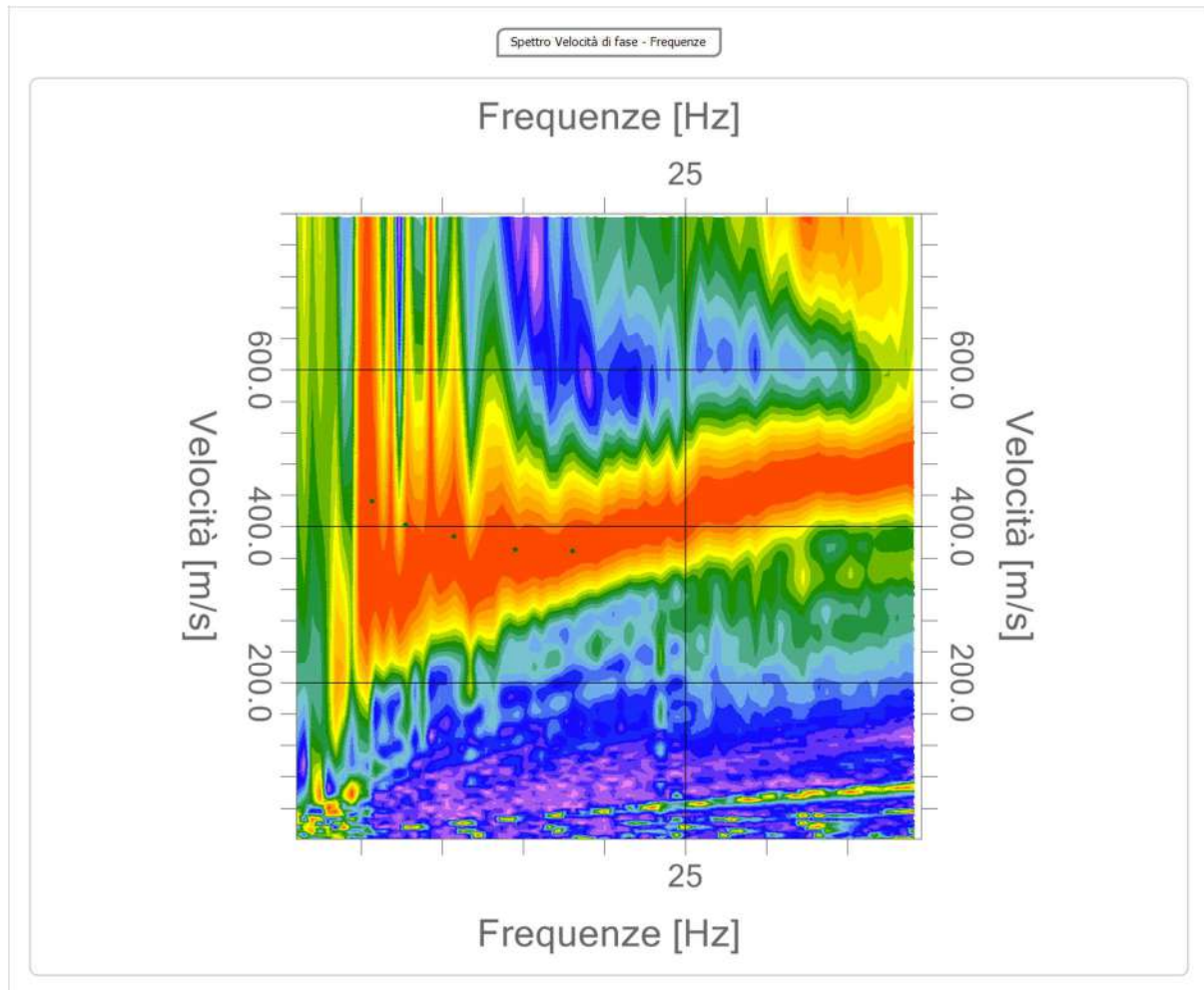
### Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	40
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	5.7	432.5	0
2	10.7	387.5	0
3	14.5	370.9	0
4	18.1	368.5	0
5	7.8	401.7	0



### Inversione

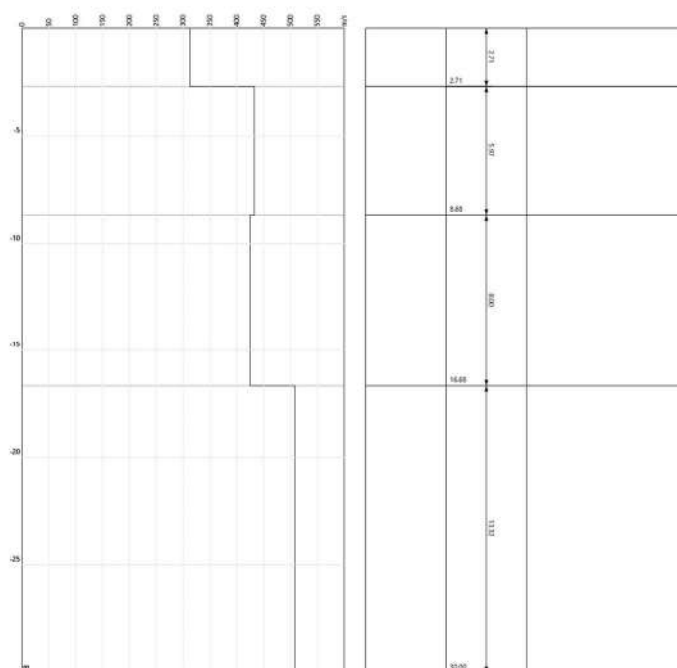
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.71	2.71	1800.0	0.20	No	510.6	312.7
2		8.68	5.97	1800.0	0.20	No	706.4	432.6
3		16.68	8.00	1800.0	0.20	No	693.9	424.9
4		oo	oo	1800.0	0.20	No	829.7	508.1

Percentuale di errore

0.021 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.014



## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	442.88
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.71	2.71	312.66	510.58	1800.00	0.20	175.97	469.24	234.62	422.32	N/A	N/A
2	8.68	5.97	432.61	706.44	1800.00	0.20	336.87	898.31	449.15	808.48	N/A	N/A
3	16.68	8.00	424.94	693.92	1800.00	0.20	325.03	866.76	433.38	780.08	N/A	N/A
4	oo	oo	508.09	829.71	1800.00	0.20	464.69	1239.16	619.58	1115.25	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

## MASW\_04



## Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

## Dati generali

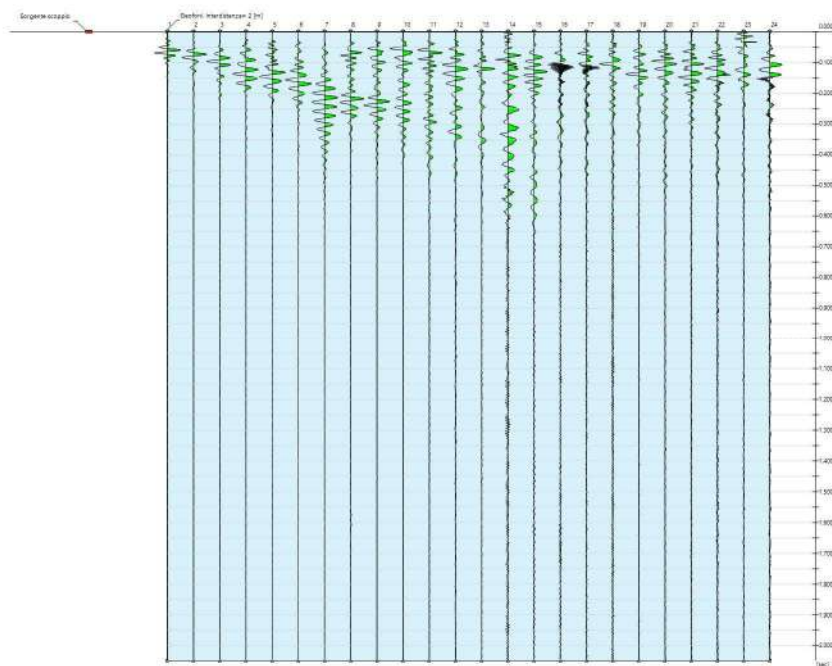
Data | 24/02/2025 05:44



STUDIO

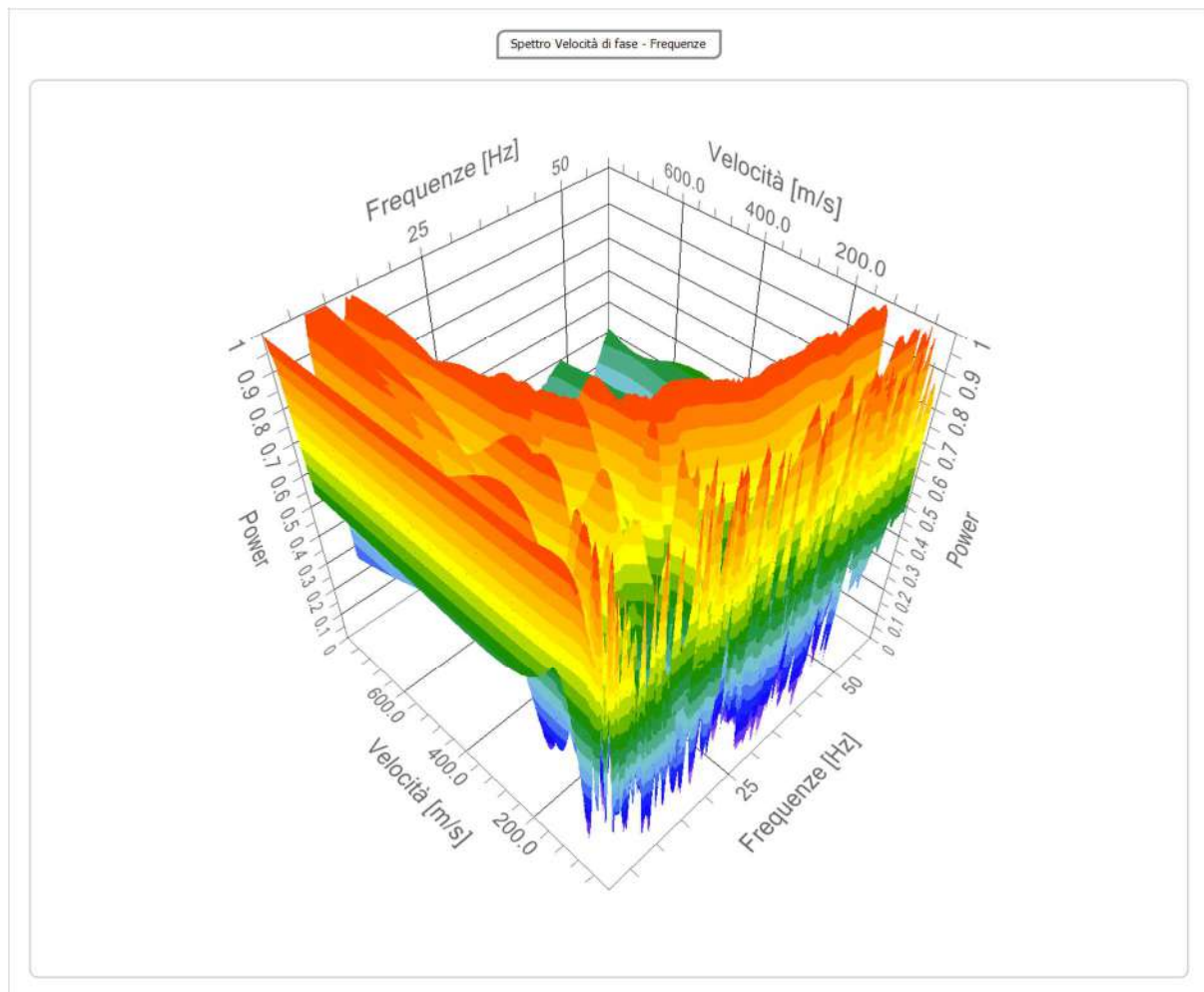
Geologia tecnica e ambientale

(+39) 334 7564040 – E-mail [k8filippo@gmail.com](mailto:k8filippo@gmail.com)



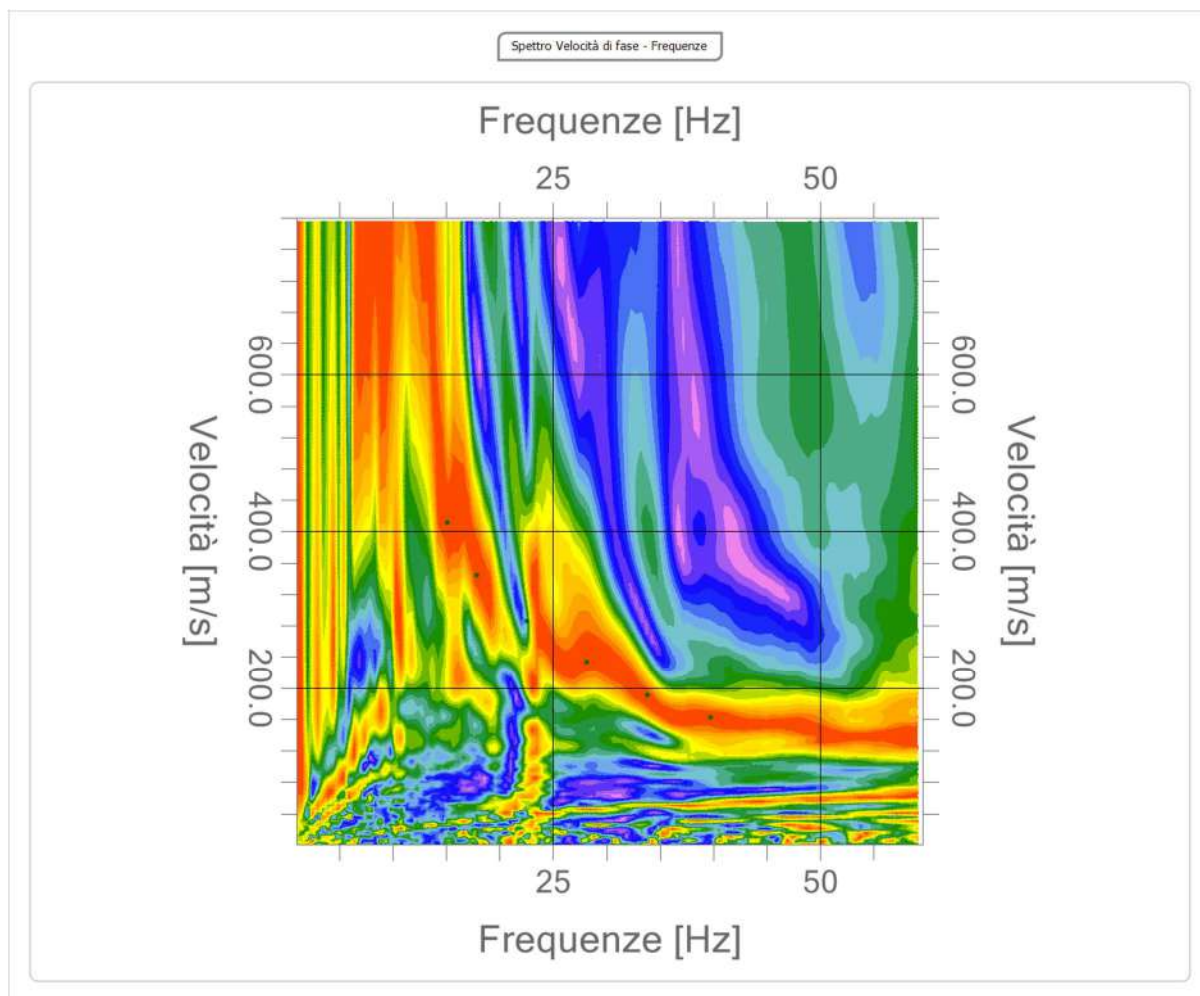
### Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.1	411.2	0
2	17.9	344.8	0
3	22.6	285.5	0
4	28.1	233.4	0
5	33.9	190.7	0
6	39.8	162.2	0



### Inversione

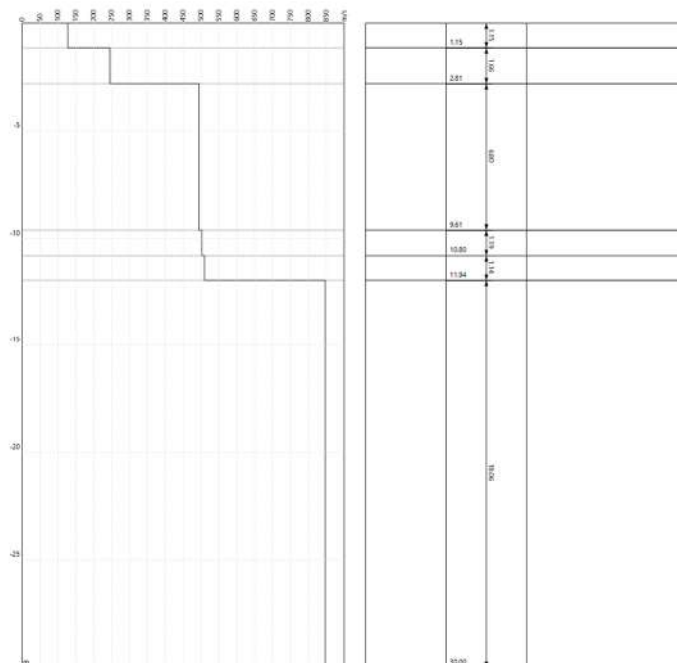
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.15	1.15	1800.0	0.20	No	208.3	127.6
2		2.81	1.66	1800.0	0.20	No	400.3	245.1
3		9.61	6.80	1800.0	0.20	No	806.8	494.0
4		10.80	1.19	1800.0	0.20	No	819.8	502.0
5		11.94	1.14	1800.0	0.20	No	832.4	509.7
6		oo	oo	1800.0	0.20	No	1383.2	847.0

Percentuale di errore

0.000 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.001



## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=0.00 m)	0.00
Categoria del suolo	E

Suolo di tipo 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.

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.15	1.15	127.57	208.33	1800.00	0.20	29.30	78.12	39.06	70.31	68	79.40
2	2.81	1.66	245.12	400.29	1800.00	0.20	108.15	288.41	144.21	259.57	N/A	2113.89
3	9.61	6.80	494.04	806.77	1800.00	0.20	439.34	1171.57	585.78	1054.41	N/A	N/A
4	10.80	1.19	501.99	819.75	1800.00	0.20	453.59	1209.58	604.79	1088.62	N/A	N/A
5	11.94	1.14	509.72	832.36	1800.00	0.20	467.66	1247.09	623.54	1122.38	N/A	N/A
6	oo	oo	847.02	1383.18	1800.00	0.20	1291.40	3443.73	1721.86	3099.35	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

## 3 TOMOGRAFIA SISMICA

### 3.1 PRINCIPI E CONSIDERAZIONI GENERALI

L'indagine di sismica a rifrazione consiste nel generare un'onda sismica di compressione nel terreno attraverso un adeguato sistema di energizzazione (es.: caduta di un maglio su un piattello metallico, fucile sismico, esplosivo, ecc....) e nel misurare il tempo impiegato da questa a percorrere il tragitto sorgente-sensore (geofono) propagandosi nel rispetto delle leggi di Snell e cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra mezzi caratterizzati da valori dei moduli elastici crescenti con la profondità.

Osservando quindi i primi arrivi dell'onda generata su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza chiamata dromocrona. Dall'analisi congiunta delle dromocrone relative a tutti gli scoppi effettuati risulta possibile ricostruire le velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali  $V_p$  nei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nei vari litotipi attraversati dipende da vari fattori, tra cui il grado di alterazione, lo stato di fratturazione, presenza o meno di stratificazione. Inoltre la velocità di propagazione delle onde P, diversamente da quelle trasversali che non si propagano nei fluidi, è fortemente influenzata dalla presenza di falde acquifere e dal grado di saturazione del mezzo. Questo implica che litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche e di conseguenza si può verificare che l'interpretazione sismostratigrafica produca modelli con caratteristiche geometriche non strettamente correlate con la reale situazione litostratigrafica del sottosuolo.

L'interpretazione dei dati sismici con metodi di elaborazione come il Generalized Reciprocal Method GRM (Palmer 1980) consente di ricostruire le geometrie dei rifrattori sepolti anche in presenza di morfologie articolate e variazioni laterali di velocità. L'affidabilità dei modelli ottenuti, specie se vincolati da sondaggi di taratura, diventa un valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

Inoltre l'elaborazione tomografica dei dati sismici permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo ed offre la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse. Questa tecnica migliora i risultati ottenibili con la sismica a rifrazione tradizionale e limita i problemi interpretativi dovuti a inversione di velocità o alla presenza di strati di ridotto spessore.

### 3.2 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DI SISMICA A RIFRAZIONE

I geofoni sono stati disposti lungo le linee sismiche con distanza intergeofonica pari a 2.00 m, per

la registrazione delle indagini di sismica a rifrazione è stata utilizzata una finestra di acquisizione pari a 500 ms e sono stati acquisiti in totale n° 3 scoppi per ciascun stendimento.

#### Parametri di acquisizione

Numero Ricevitori	Lunghezza sezione (m)	Step Geofoni (m)	Offset (m) scoppi esterni	Finestra di acquisizione (sec)	Time samples
24	48 m	2,0	2.0	0,500	256

Per l'analisi e l'interpretazione dei dati sismici è stato utilizzato un software completo per l'analisi di dati di sismica a rifrazione che si compone di diversi moduli tra cui:

- 2-D Data Analysis per il processamento completo di profili bidimensionali;
- Modelling per la modellazione, basata su approssimazione alle differenze finite, della propagazione delle onde sismiche in un mezzo, incluso l'inversione tomografica attraverso un algoritmo che, simulando il percorso seguito dalle onde attraverso un modello di partenza definito dall'utente, ricava i tempi di primo arrivo e, confrontandoli con quelli reali, stima iterativamente il modello tomografico che minimizza gli scarti.
- Traveltime Analysis 2-D per l'analisi e l'interpretazione dei primi arrivi (sismica a rifrazione). I dati acquisiti e registrati nel formato \*.sgy sono stati elaborati con secondo le seguenti fasi:
  - a) Importazione e definizione della geometria dello stendimento;
  - b) Filtraggio 1D dei dati in funzione delle frequenze del rumore ambientale;
  - c) Analisi dei sismogrammi e Picking dei primi arrivi (figura 3)
  - d) Rappresentazione grafica dei primi arrivi (dromocrone) (figura 3) ed Assegnazione traveltime agli strati
  - e) Applicazione di eventuali correzioni topografiche;
  - f) Inversione dati
  - g) Analisi dei risultati e salvataggio dei modelli sismostratigrafici ottenuti.

### Indagine Tomografica attiva RF1 24 CANALI

#### Coordinate geografiche Vertici

Geo 1) 4687304.31 m N- 358487.93 m E

Geo 24) 4687254.90 m N- 358483.13 m E

Frequenza di campionamento 256  
hz

Tempo di acquisizione 0.5 sec

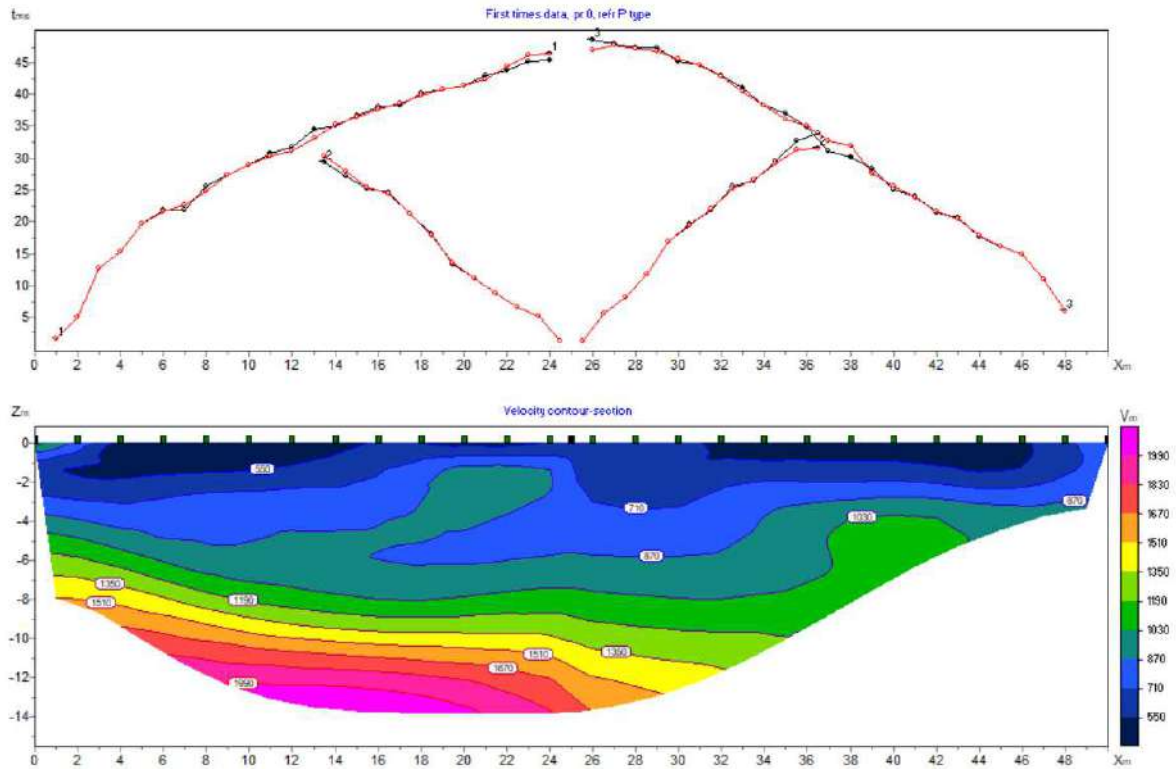
Spaziatura intergeofonica 2 m

Lunghezza stendimento 46 m

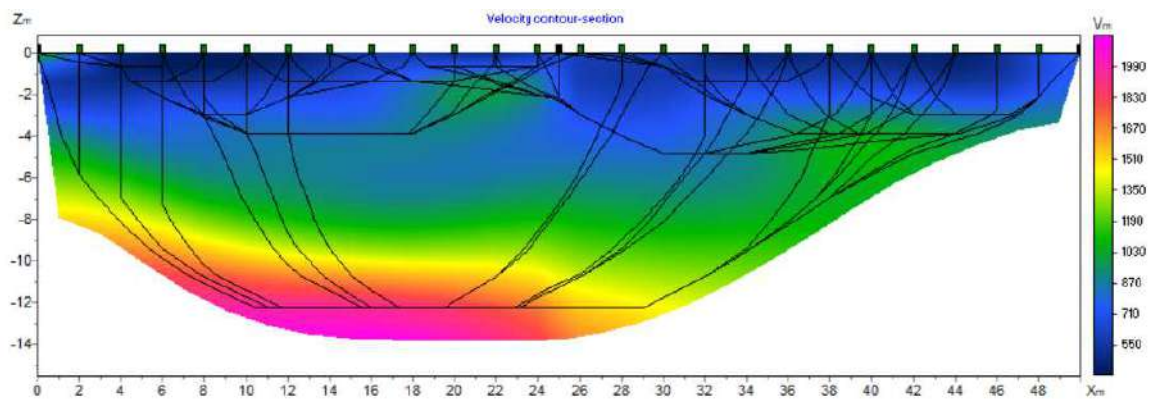


## Elaborazione dati e risultati linea sismica a rifrazione R.F.1

### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA RF1 - ONDE P - Dromocrone / tempi e sezione tomografica



### Tomo sismica VP RF 1 -Ray path



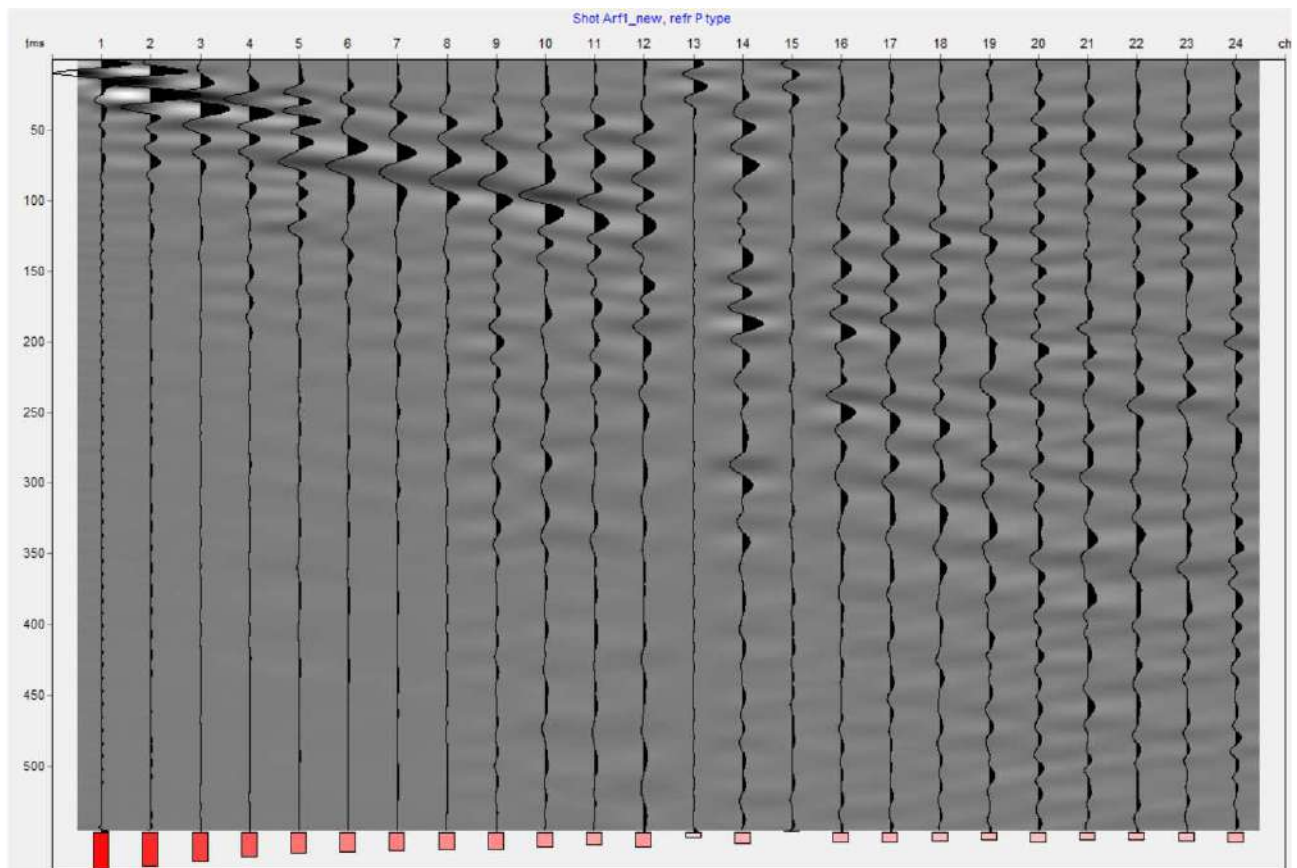
## Sismogrammi di campagna Sismica a rifrazione RF1

Parametri di acquisizione

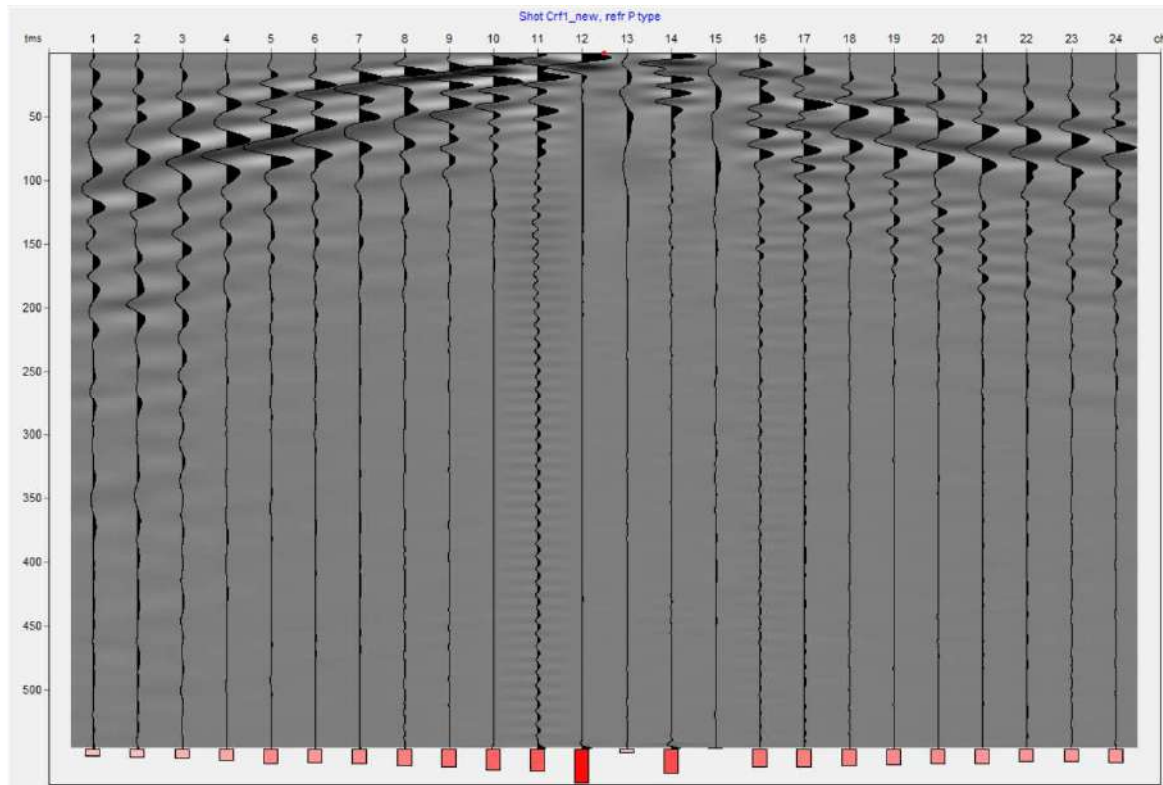
Sampling frequency	dt	N samples	Duration
7500.01875	0.000133333	4096	0.546132s

### Sismogrammi di campagna - trace power

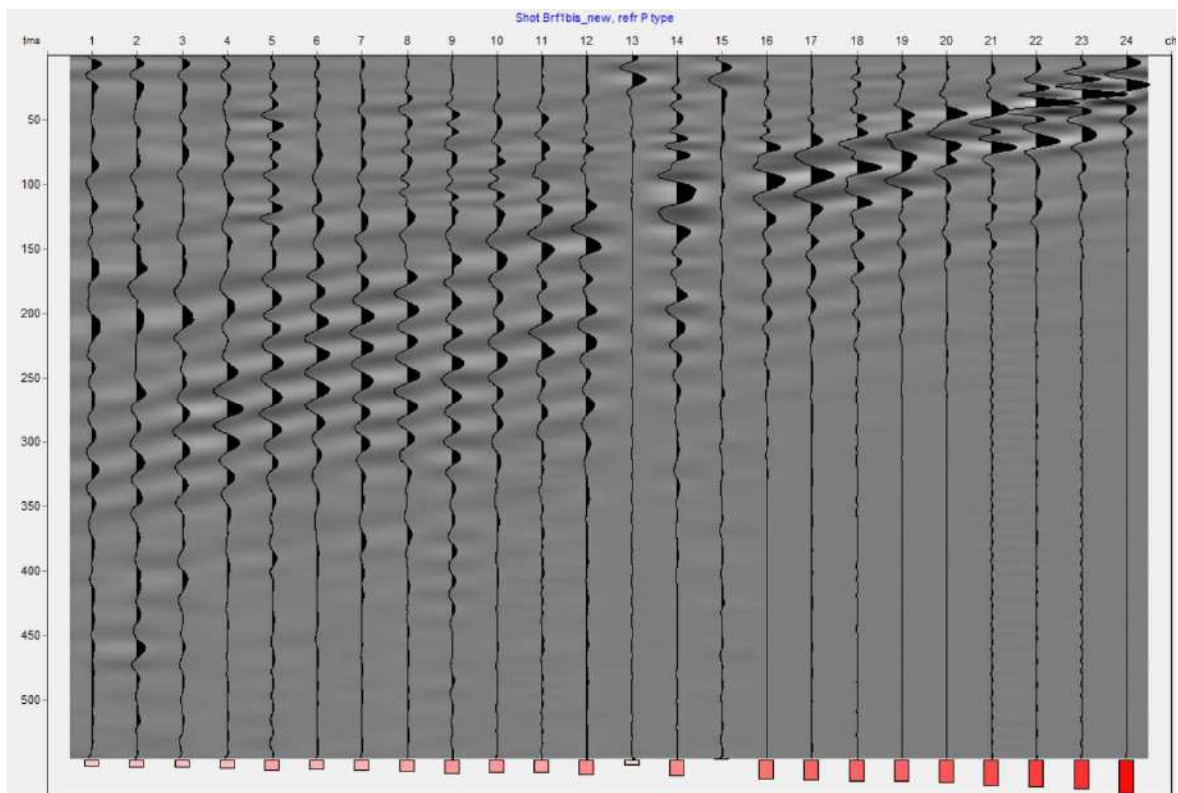
*shot point A*



**shot point C**



**shot point B**



La sezione tomografica RF1 presenta una distribuzione delle velocità delle onde P non sempre regolare orizzontalmente e subito crescente con la profondità. Il modello mostra una profondità massima indagata di circa -14 m, con velocità delle onde P ( $V_p$ ) crescenti con la profondità e gradienti verticali piuttosto regolari.

L'analisi della distribuzione delle  $V_p$  nella sezione tomografica RF1 permette di distinguere più interfacce ondulate individuate da contrasti di velocità talvolta netti, che separano sismo-strati che al loro interno presentano una distribuzione delle velocità piuttosto omogenea.

- Dalla superficie sino a circa 6.00 m di profondità (parte centrale dello stendimento) decrescenti verso valle (geof. 1) e verso monte (geof. 24), l'unità è caratterizzata da un sismostrato con  $V_p$  comprese tra 300 e 800 m/s è rappresenta una copertura di depositi alluvionali (ghiaie, sabbie e limi argillosi), man mano più addensati in profondità.
- I sismostrati sottostanti, riferibili a substrato, appaiono piuttosto regolari sia lateralmente che verticalmente raggiungendo verso la base dello strato  $V_p \approx 2000$  m/sec.

### Indagine Tomografica attiva RF2 24 CANALI

#### Coordinate geografiche Vertici

Geo 1) 4687316.39 m N - 358402.96 m E

Geo 24) 4687295.25 m N- 358360.26 m E

Frequenza di campionamento 256  
hz

Tempo di acquisizione 0.5 sec

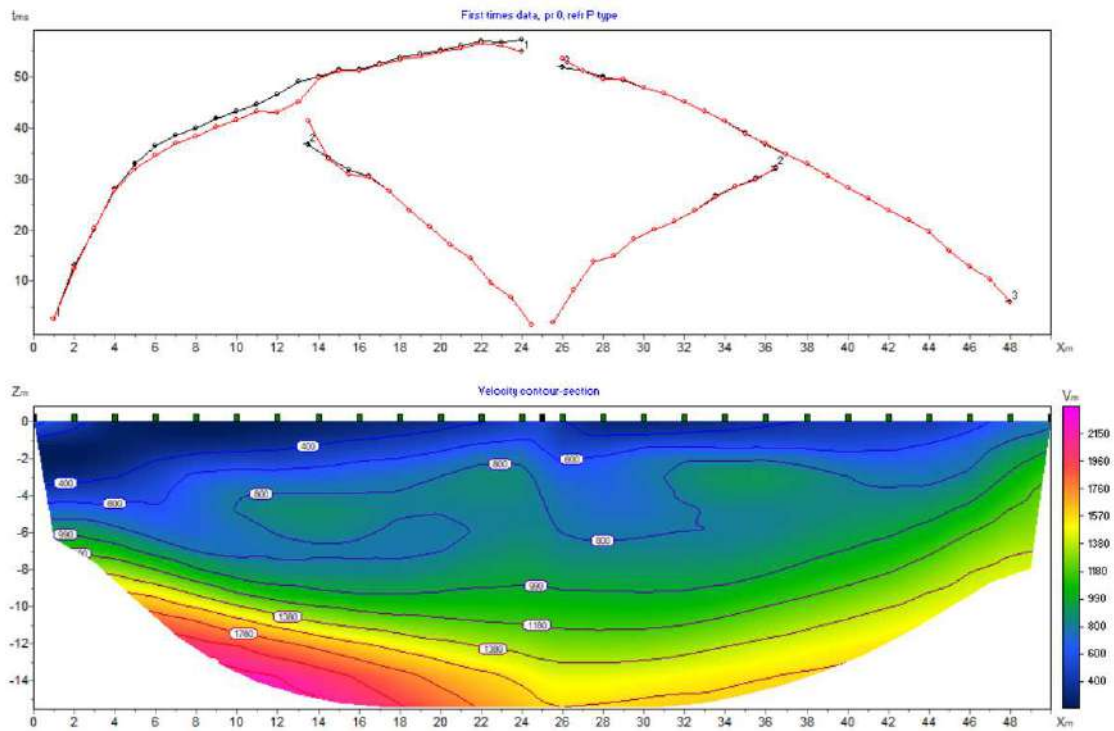
Spaziatura intergeofonica 2 m

Lunghezza stendimento 48 m

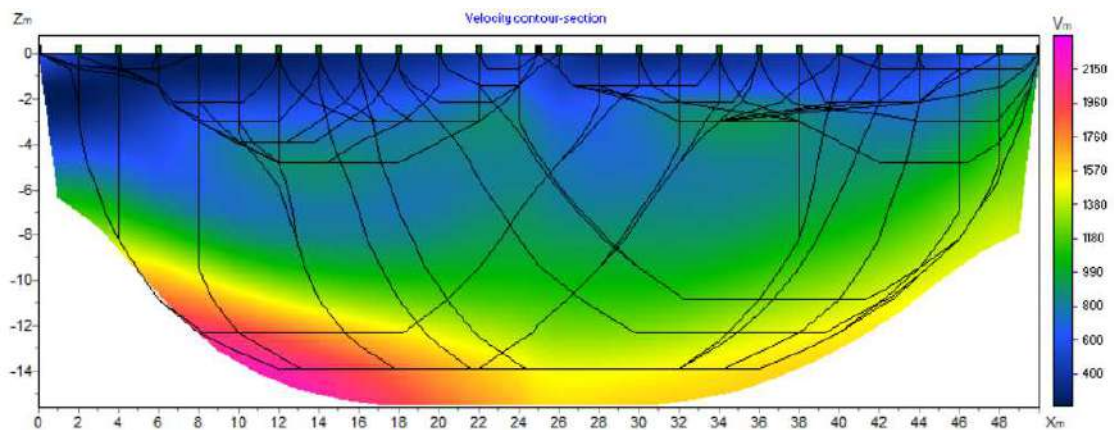


## Elaborazione dati e risultati linea sismica a rifrazione R.F.2

### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA RF2 - ONDE P - Dromocrone / tempi e sezione tomografica



### Tomo sismica VP RF 2 -Ray path



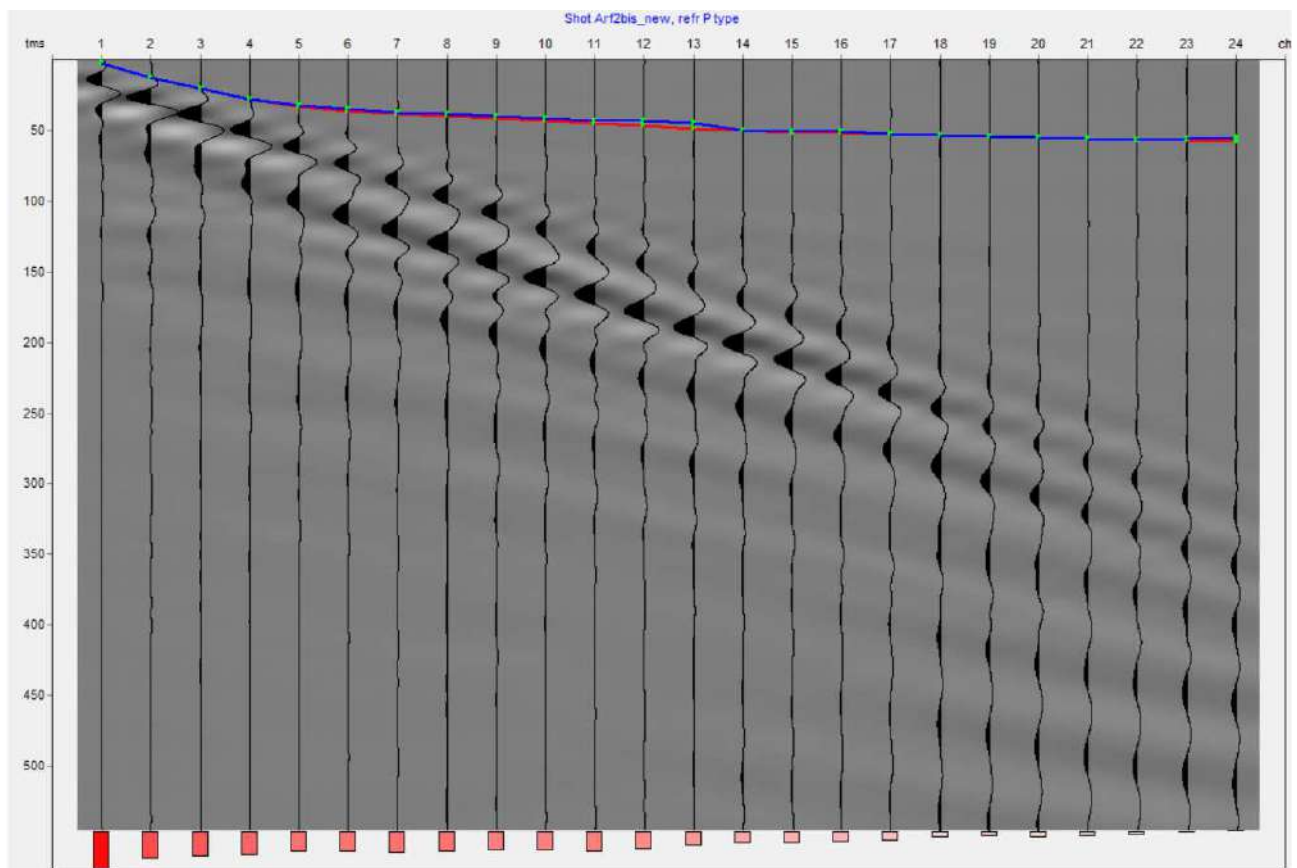
## Sismogrammi di campagna Sismica a rifrazione RF2

### Parametri di acquisizione

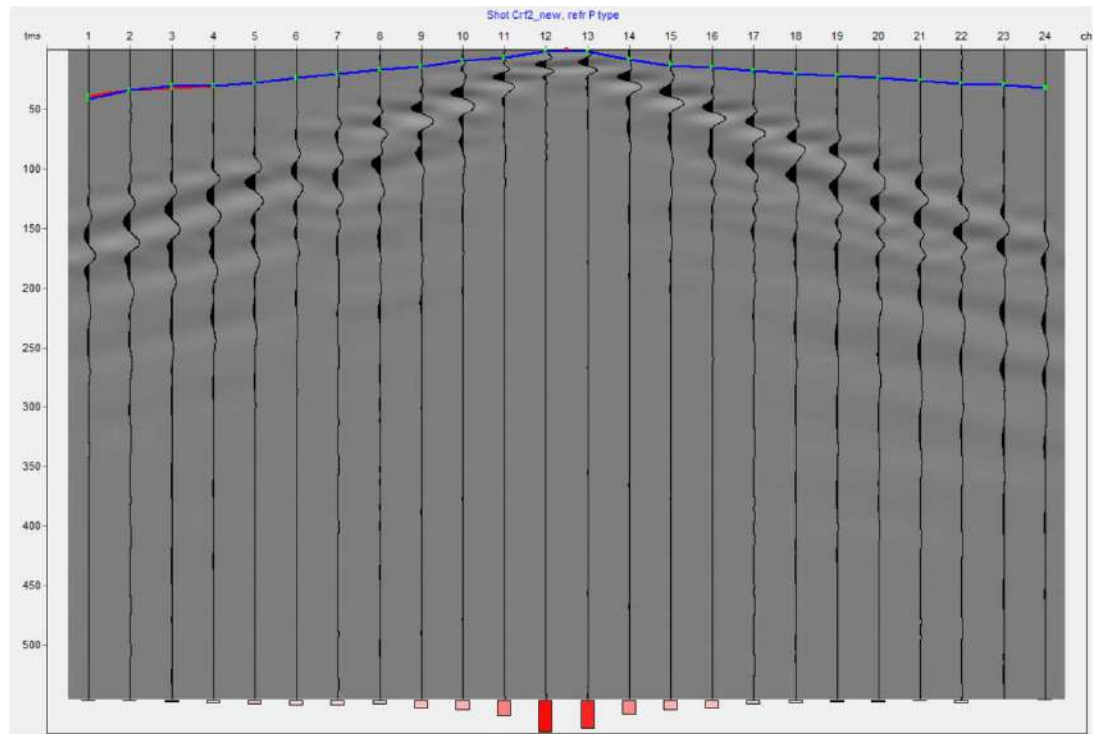
Sampling frequency	dt	N samples	Duration
7500.01875	0.000133333	4096	0.546132s

### Sismogrammi di campagna - trace power

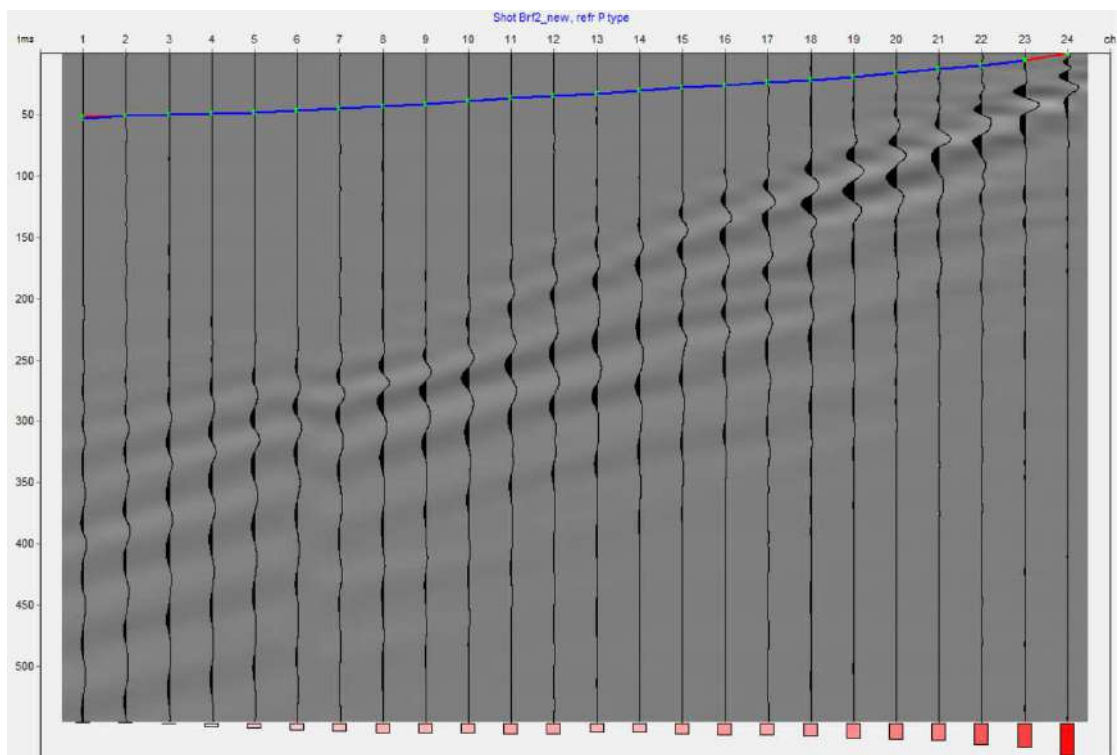
#### shot point A



### shot point C



### shot point B



La sezione tomografica RF2 presenta una distribuzione delle velocità delle onde P non sempre regolare orizzontalmente e subito crescente con la profondità. Il modello mostra una profondità massima indagata di circa -16 m, con velocità delle onde P ( $V_p$ ) crescenti con la profondità e gradienti verticali piuttosto regolari.

L'analisi della distribuzione delle  $V_p$  nella sezione tomografica RF2 permette di distinguere più interfacce ondulate individuate da contrasti di velocità talvolta netti, che separano sismo-strati che al loro interno presentano una distribuzione delle velocità piuttosto omogenea.

- Dalla superficie sino a circa 6.00 m di profondità decrescenti verso monte (Geof. 24), l'unità è caratterizzata da un sismostrato con  $V_p$  comprese tra 200 e 600 m/s è rappresenta una copertura di depositi alluvionali (ghiaie, sabbie e limi argillosi), man mano più addensati in profondità.
- I sismostrati sottostanti, riferibili a substrato, appaiono piuttosto regolari sia lateralmente che verticalmente raggiungendo verso la base dello strato  $V_p > 2000$  m/sec.

### Indagine Tomografica attiva RF3 24 CANALI

#### Coordinate geografiche Vertici

Geo 1) 4687623.29 m N - 358516.72 m E

Geo 24) 4687576.16 m N - 358517.00 m E

Frequenza di campionamento 256  
hz

Tempo di acquisizione 0.5 sec

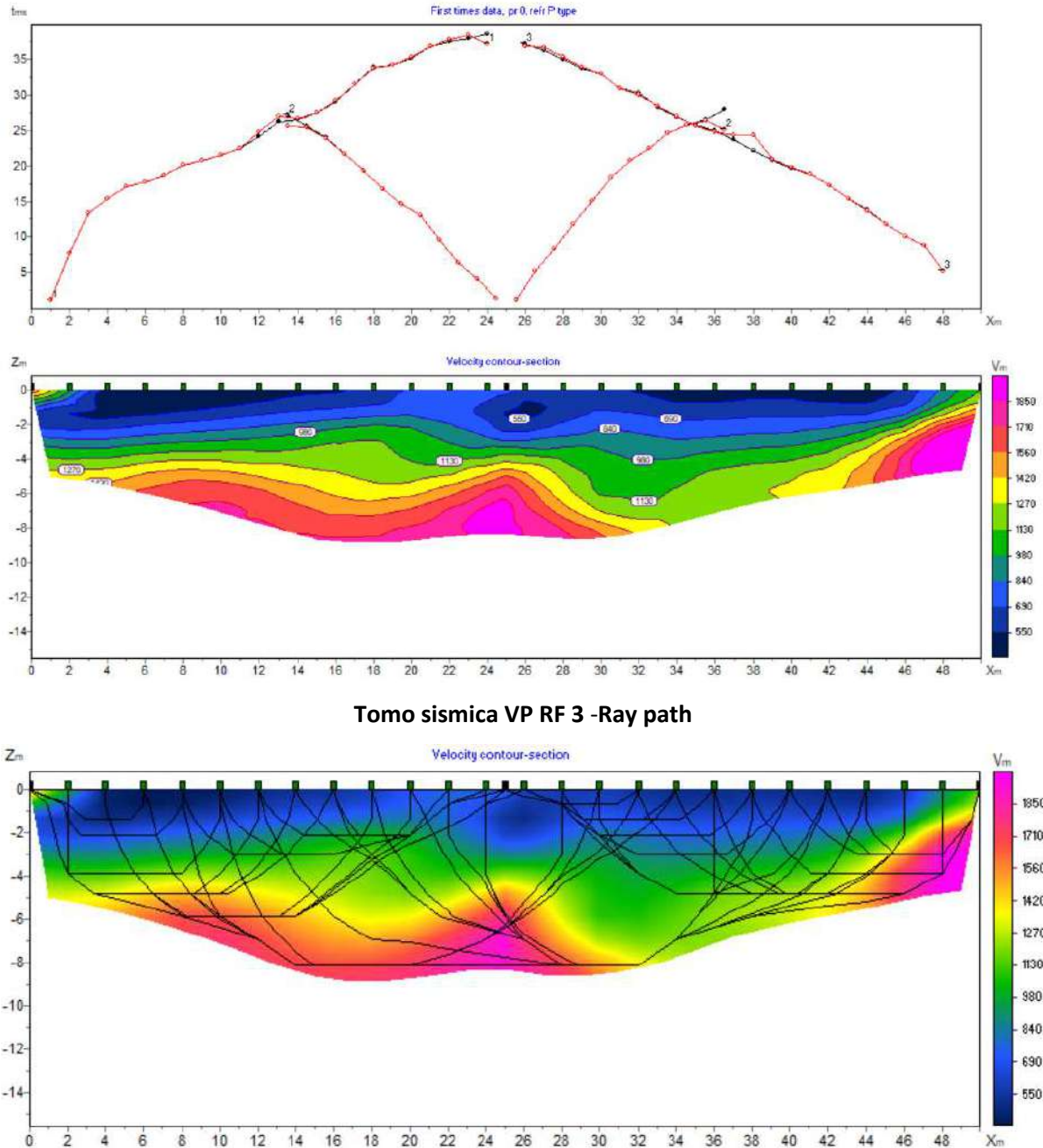
Spaziatura intergeofonica 2 m

Lunghezza stendimento 48 m



**SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA - ONDE P - Dromocrone / tempi e sezione tomografica**

**Elaborazione dati e risultati linea sismica a rifrazione R.F.3**



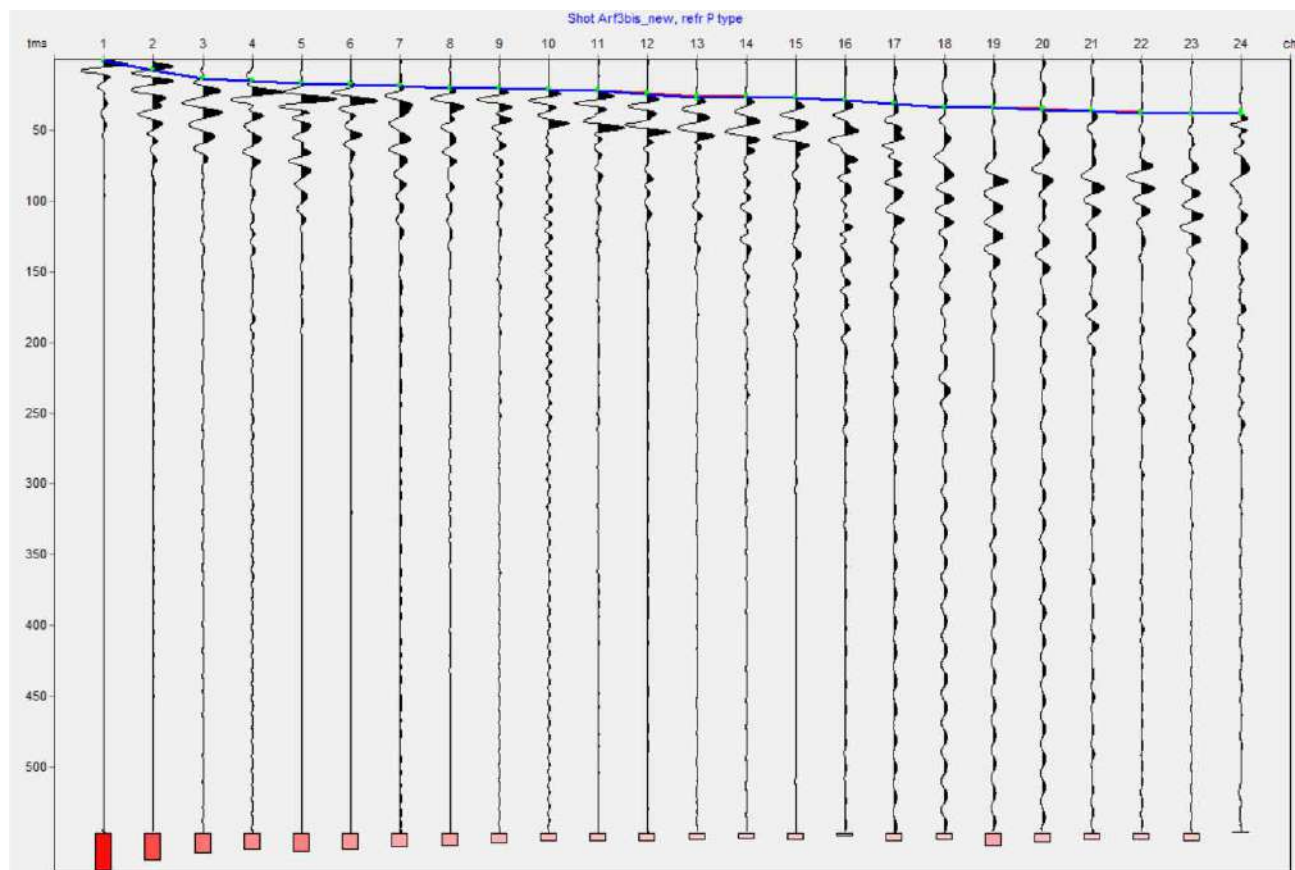
## Sismogrammi di campagna Sismica a rifrazione RF3

### Parametri di acquisizione

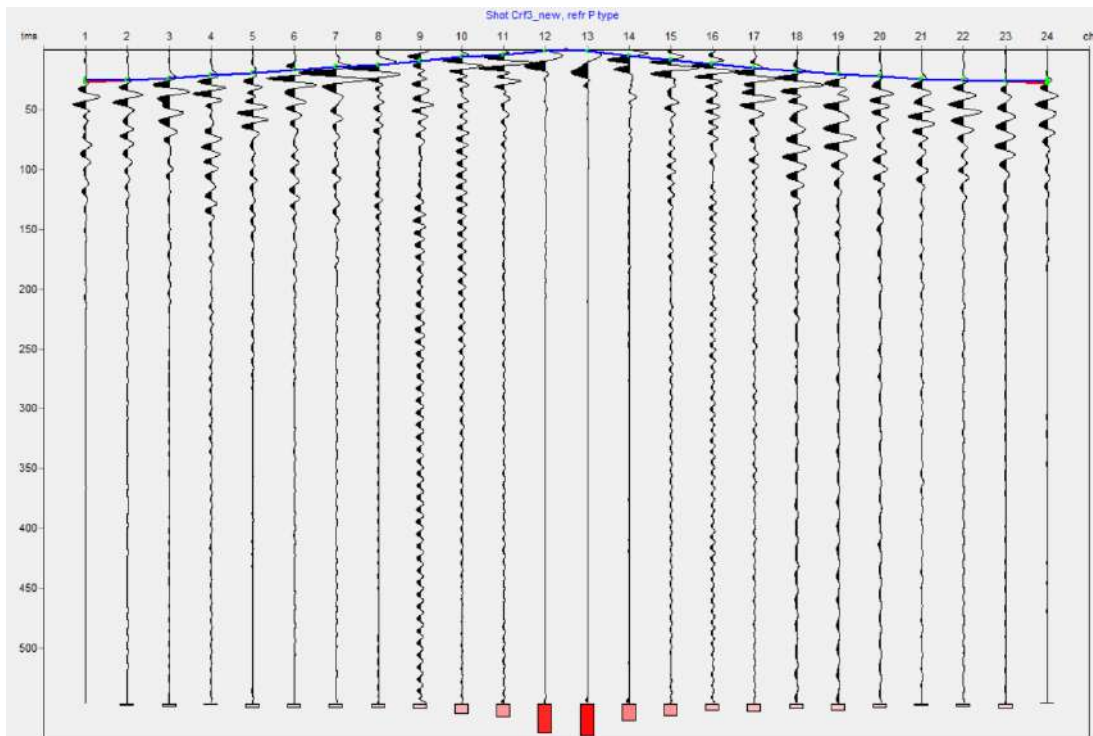
Sampling frequency	dt	N samples	Duration
7500.01875	0.000133333	4096	0.546132s

### Sismogrammi di campagna - trace power

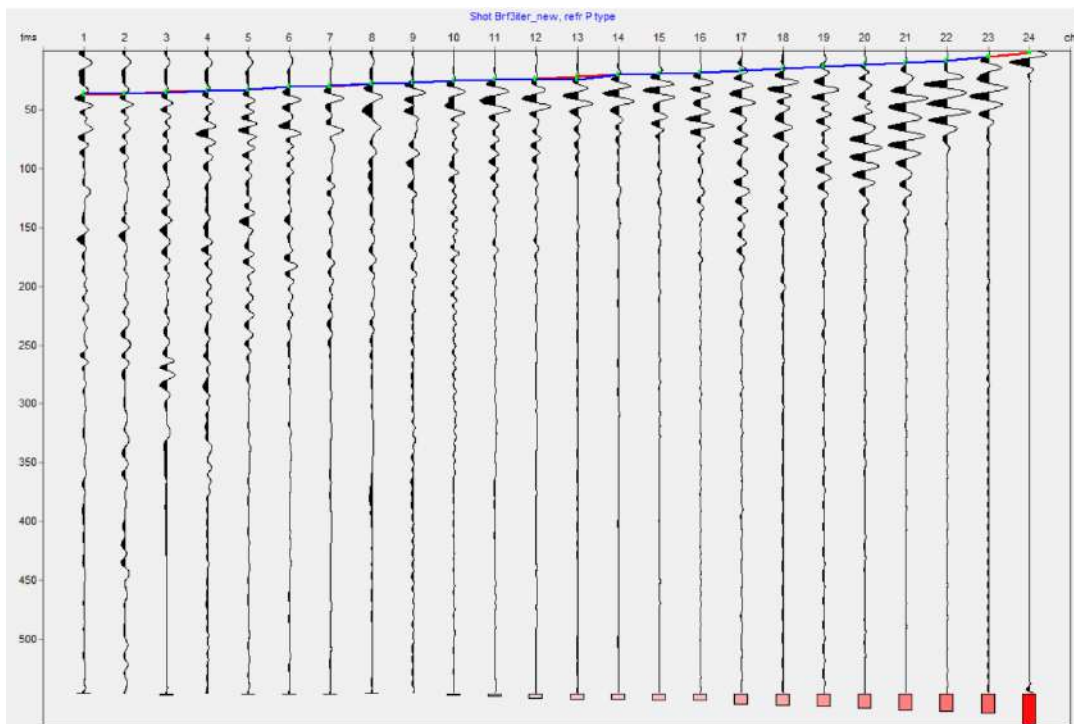
#### shot point A



**shot point C**



**shot point B**



La sezione tomografica RF3 presenta una distribuzione delle velocità delle onde P non sempre regolare orizzontalmente e subito crescente con la profondità. Il modello mostra una profondità massima indagata di circa -8 m, con velocità delle onde P ( $V_p$ ) crescenti con la profondità e gradienti verticali piuttosto regolari.

L'analisi della distribuzione delle Vp nella sezione tomografica RF3 permette di distinguere più interfacce ondulate individuate da contrasti di velocità talvolta netti, che separano sismo-strati che al loro interno presentano una distribuzione delle velocità piuttosto omogenea.

- Dalla superficie sino a circa 4.00 m di profondità decrescenti verso monte (Geof. 24), l'unità è caratterizzata da un sismostrato con Vp comprese tra 350 e 650 m/s è rappresenta una copertura di depositi alluvionali (ghiaie, sabbie e limi argillosi), man mano più addensati in profondità.

## Indagine Tomografica attiva RF4 24 CANALI

### Coordinate geografiche Vertici

Geo 1) 4687405.41 m N - 358649.51 m E

Geo 24) 4687380.24 m N - 358687.50 m E

Frequenza di campionamento 256  
hz

Tempo di acquisizione 0.5 sec

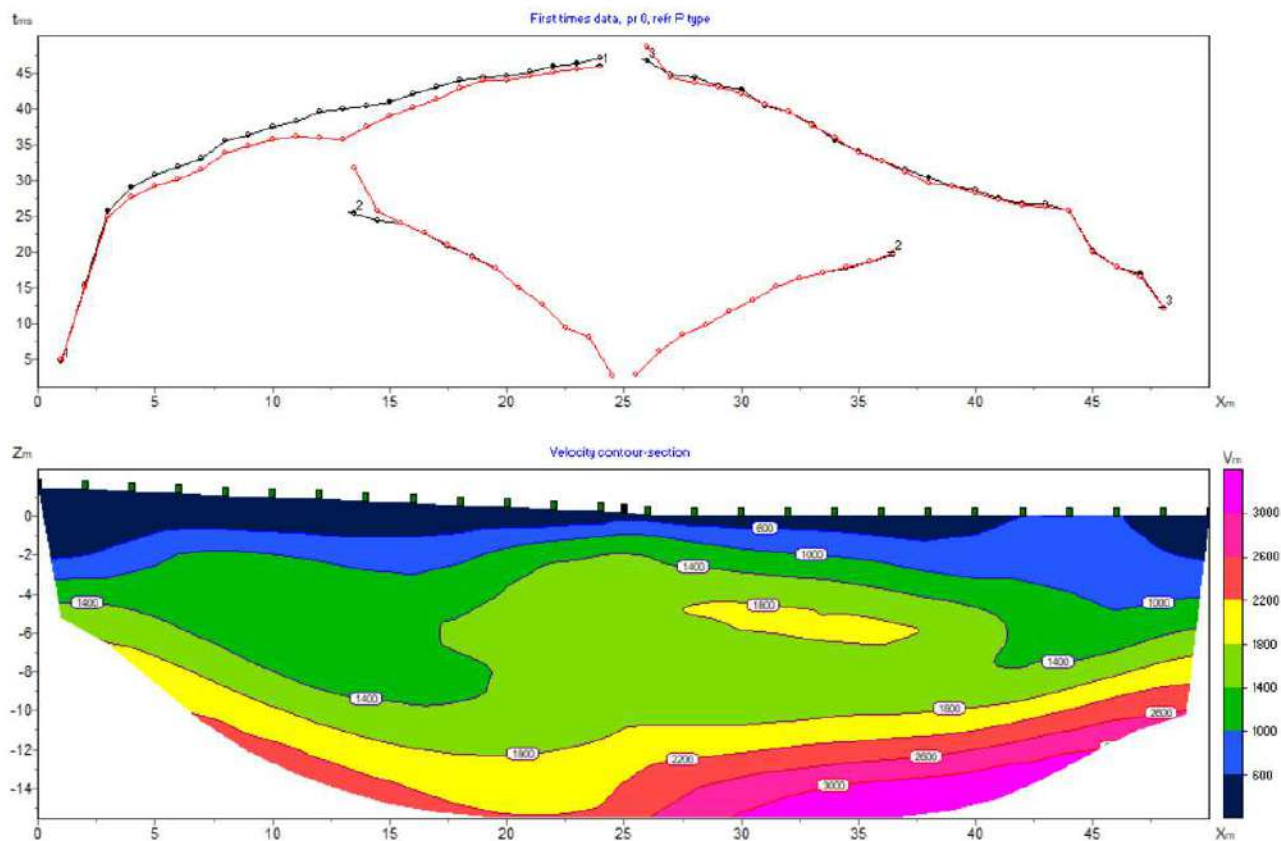
Spaziatura intergeofonica 2 m

Lunghezza stendimento 48 m

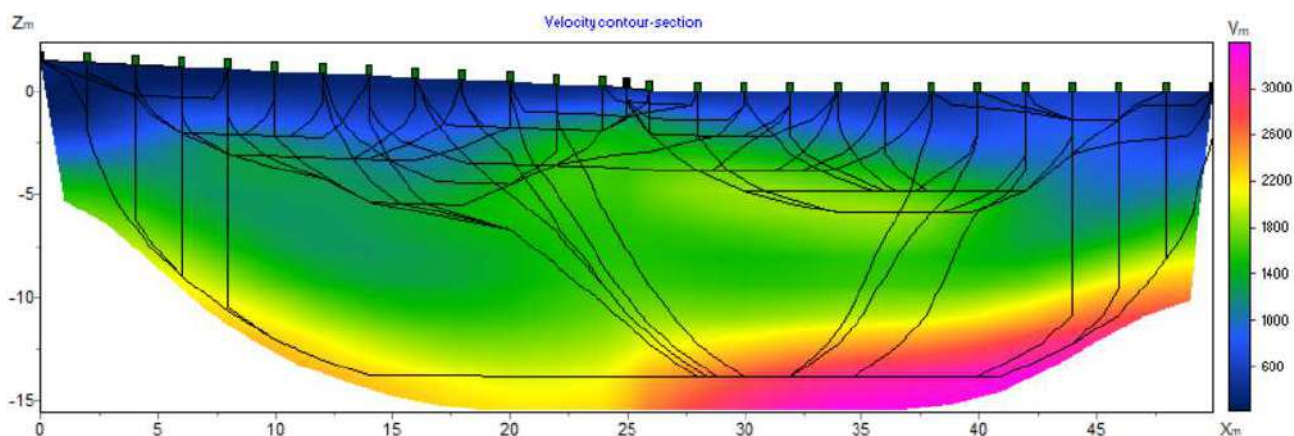


## Elaborazione dati e risultati linea sismica a rifrazione R.F.4

### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA RF4 - ONDE P - Dromocrone / tempi e sezione tomografica



### Tomo sismica VP RF 4 -Ray path



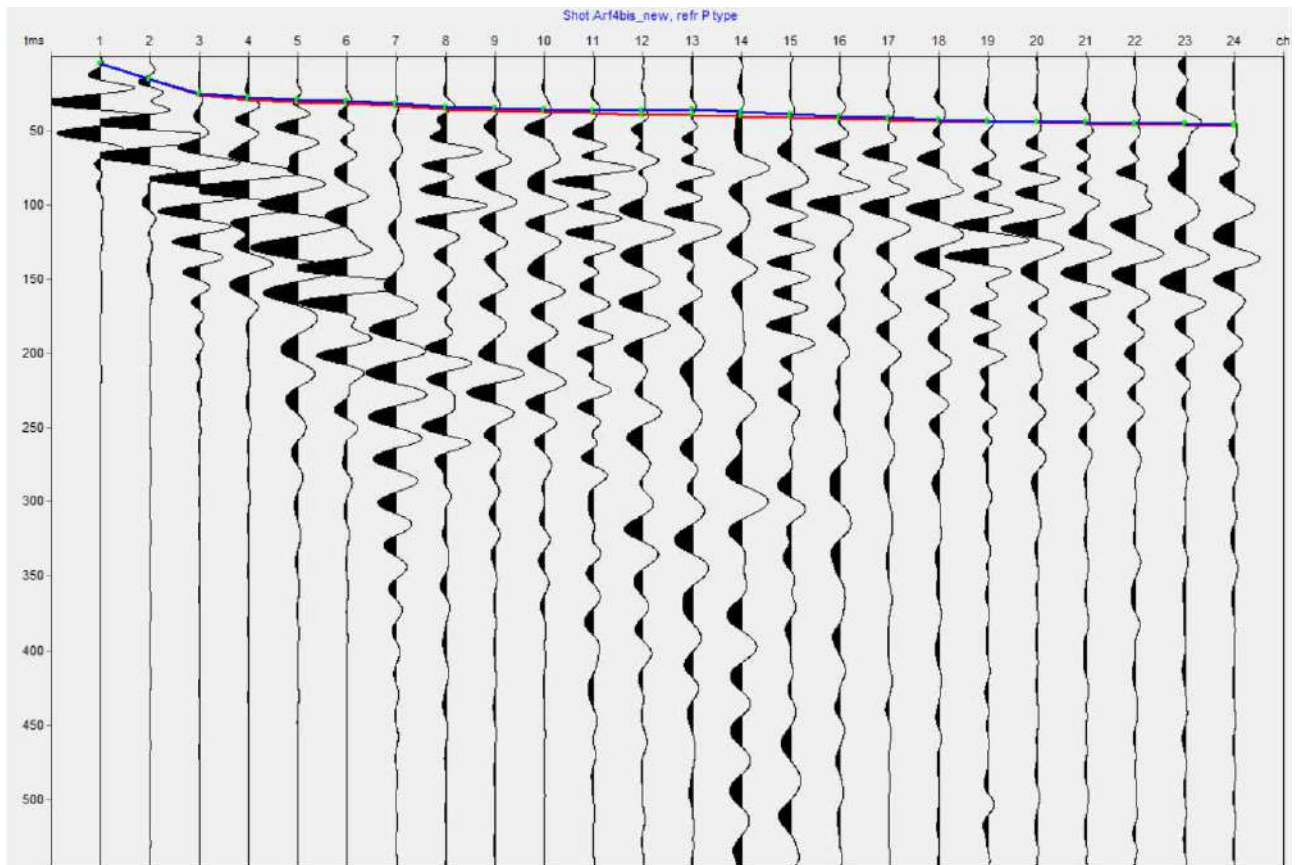
## Sismogrammi di campagna Sismica a rifrazione RF4

Parametri di acquisizione

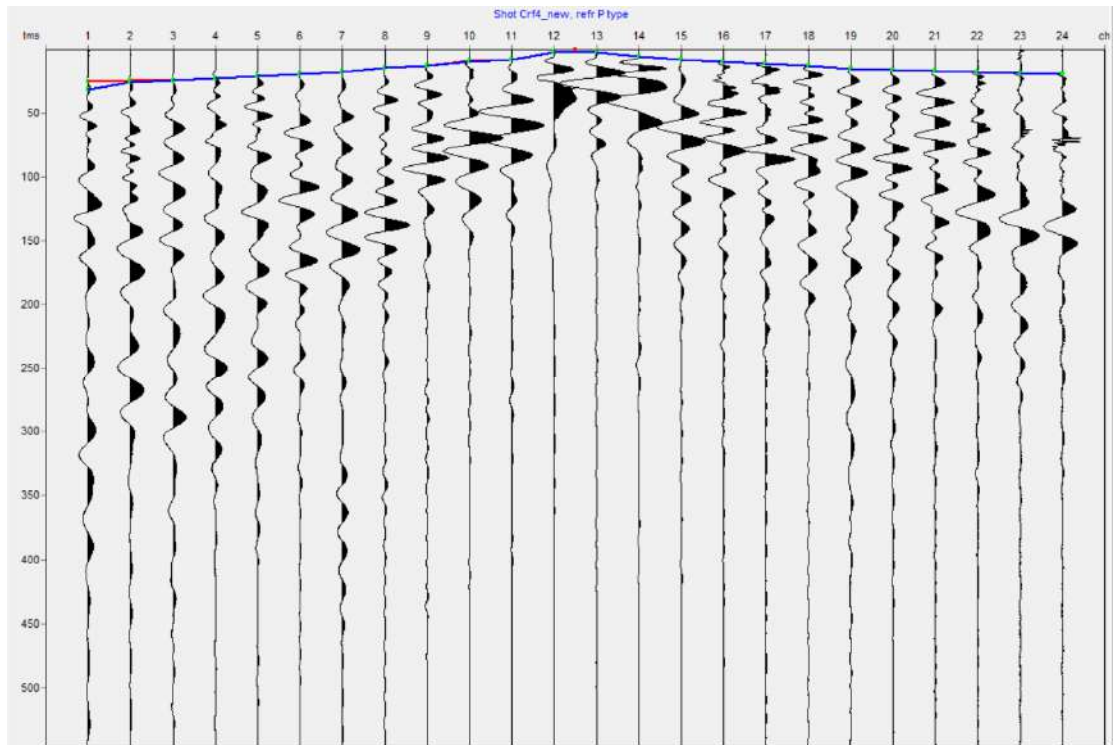
Sampling frequency	dt	N samples	Duration
7500.01875	0.000133333	4096	0.546132s

Sismogrammi di campagna - trace power

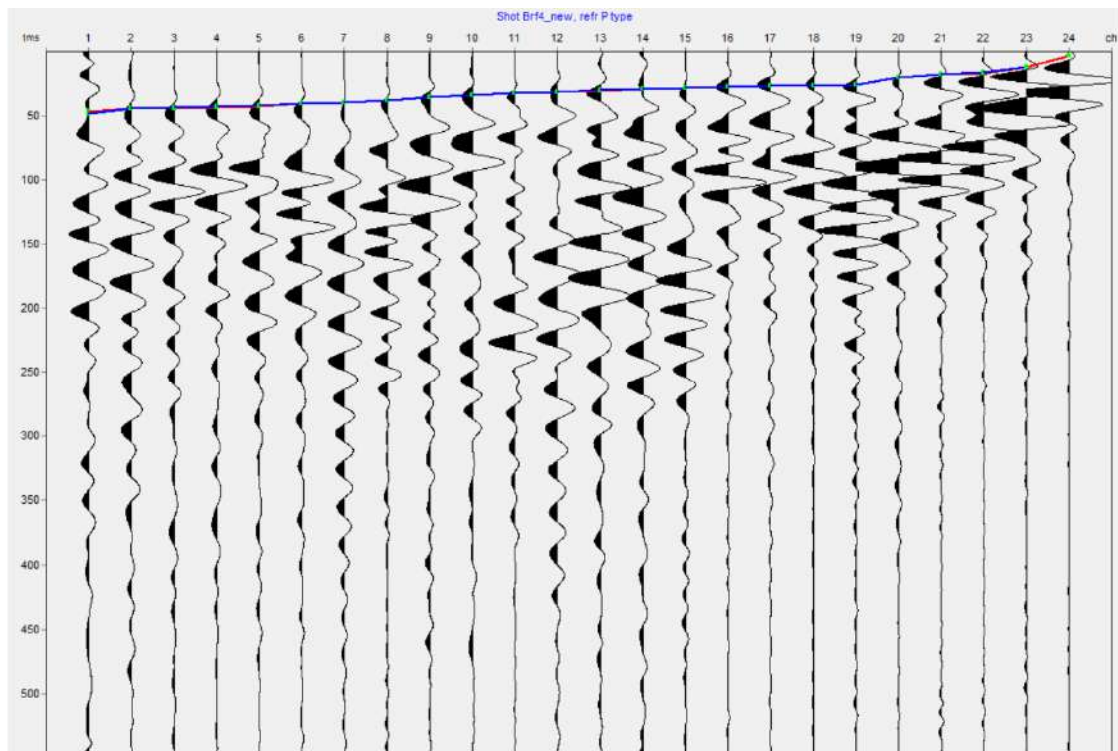
**shot point A**



**shot point C**



**shot point B**



La sezione tomografica RF4 presenta una distribuzione delle velocità delle onde P non sempre regolare orizzontalmente e subito crescente con la profondità. Il modello mostra una profondità

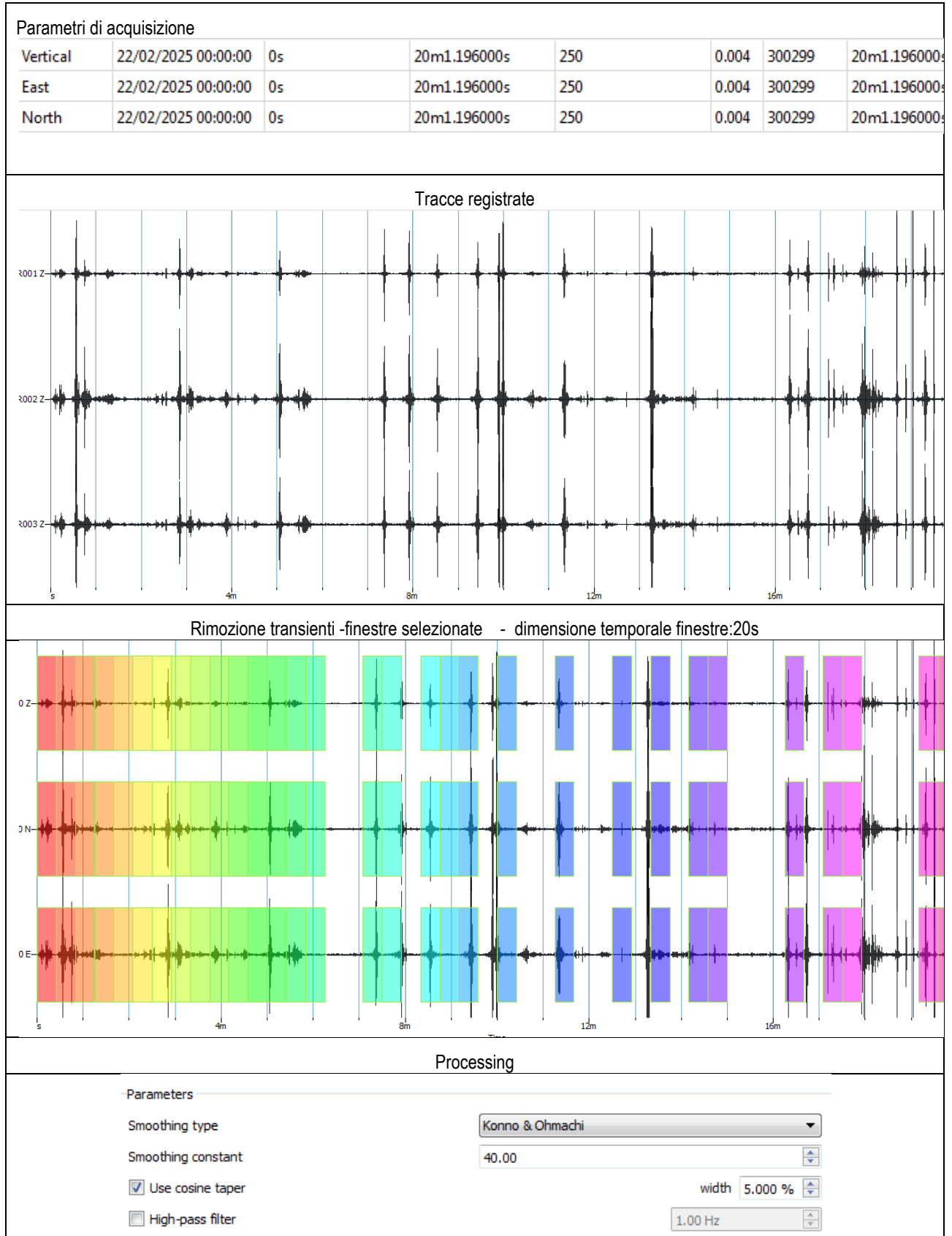
massima indagata di circa -16 m, con velocità delle onde P ( $V_p$ ) crescenti con la profondità e gradienti verticali irregolari.

L'analisi della distribuzione delle  $V_p$  nella sezione tomografica RF4 permette di distinguere più interfacce individuate da contrasti di velocità talvolta netti, che separano sismo-strati che al loro interno presentano una distribuzione delle velocità non sempre omogenea.

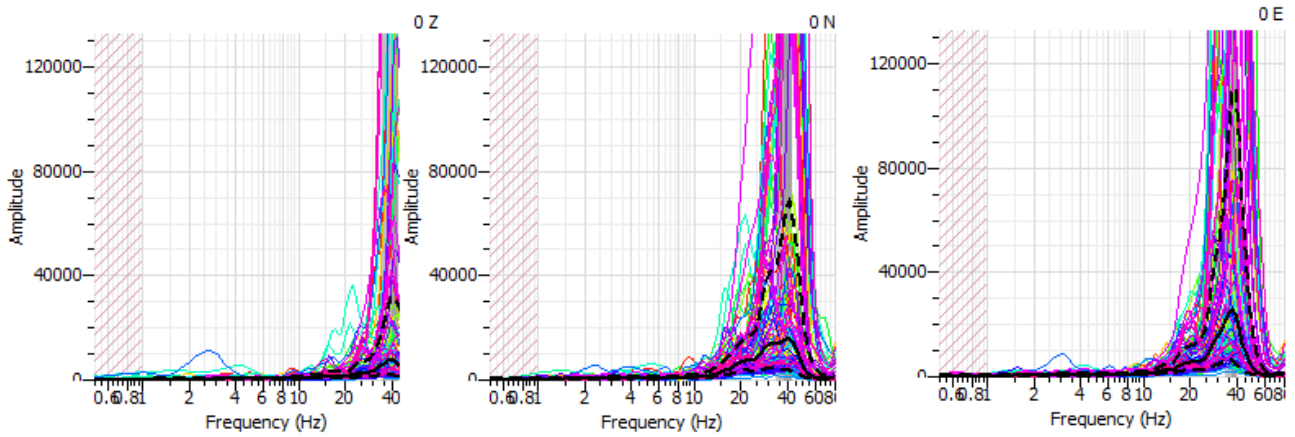
- Dalla superficie sino alla profondità massima di circa 3.00 m di profondità che si assottiglia nella parte centrale tra i geofono 12 e 17, l'unità è caratterizzata da un sismostrato con  $V_p$  comprese tra 400 e 1000 m/s è rappresenta una copertura di depositi detritici e substrato aletarto.
- I sismostrati sottostanti, riferibili a substrato compatto, appaiono anchessi irregolarui sia lateralmente sia verticalmente con velocità comprese tra 1000 e 4000.

## 4 INDAGINE SISMICA HVSR

### Elaborati HVSR1

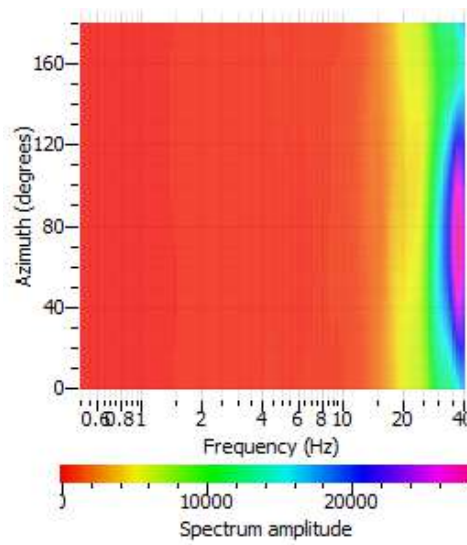
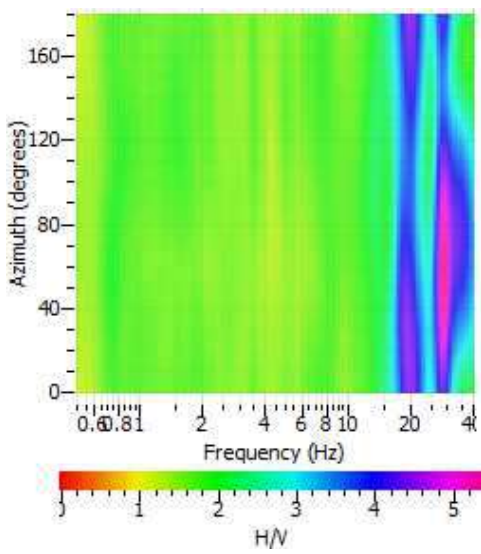


Spettri di risposta singole componenti

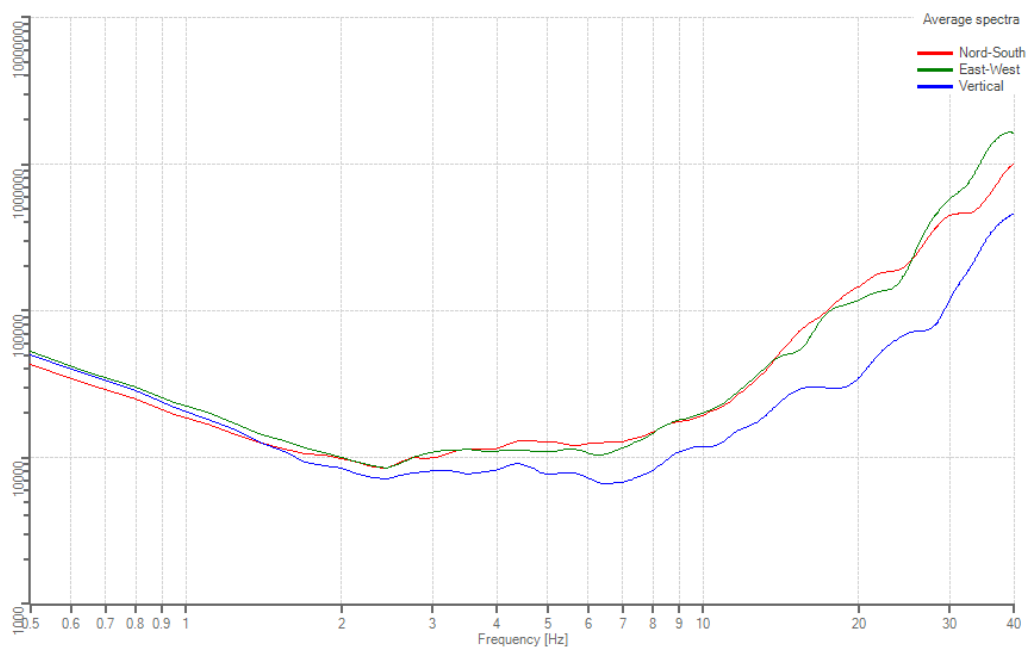


HV rotate results

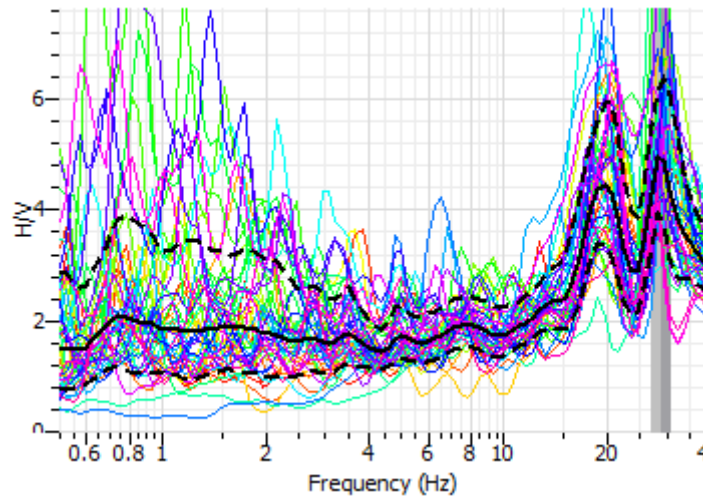
horizontal spectrum rotate results



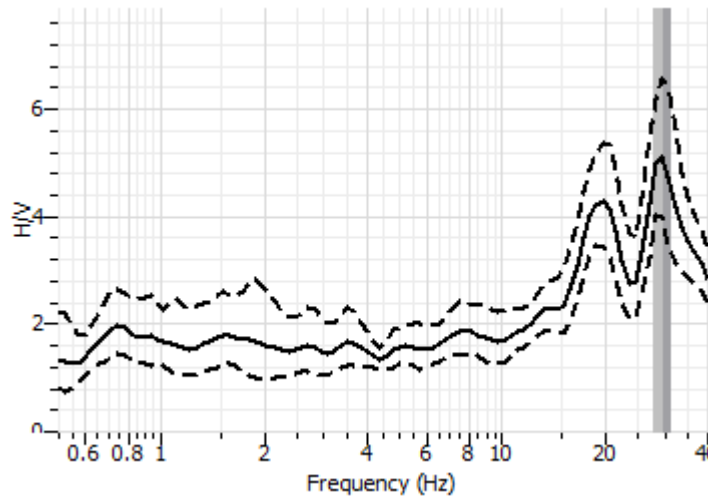
Spettri Medi



Curva H/V registrata



Curva risultante dopo filtraggio e rimozione finestre temporali



Nella misura si riconosce un picco di risonanza a frequenza di circa 28.5 Hz .

La curva non mostra nel range di frequenza 0.5-20Hz picchi di risonanza elevati o caratteristici.

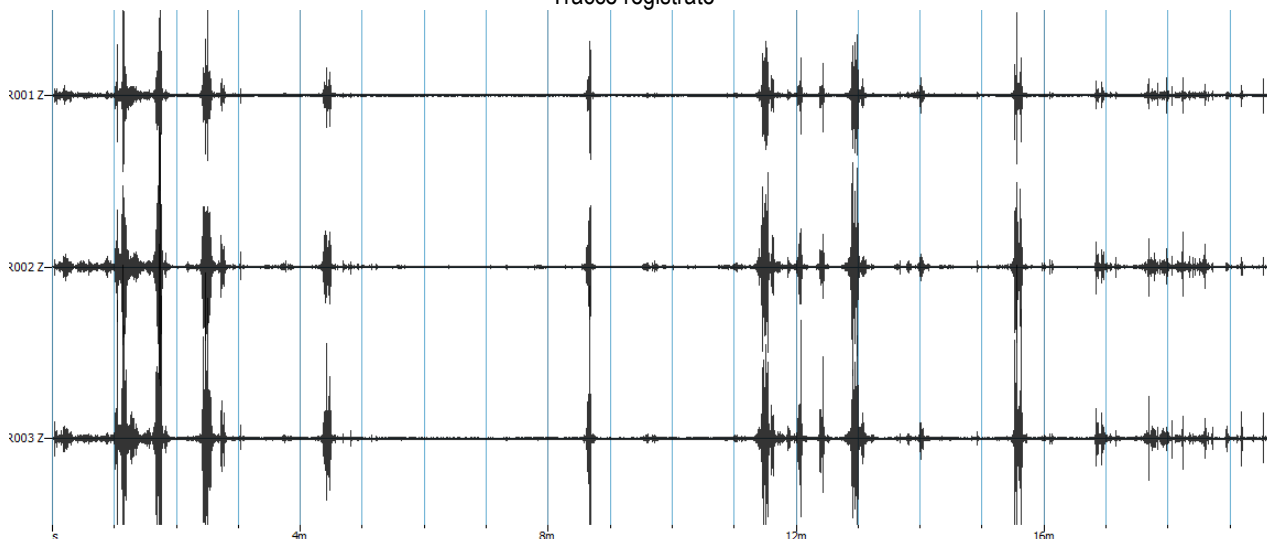
Verifiche SESAME:	Esito
Affidabilità curva	
$F_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Ok
Affidabilità Picco	
$\exists f \in (f_0/4, f_0) / A_{h/v}(f) < A_0/2$	Ok
$\exists f^* \in (f_0, 4 f_0) / A_{h/v}(f^*) < A_0/2$	No
$A_0 > 2$	Ok
$F_{\text{picco}}(A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f) < \theta(f_0)$	Ok

## Elaborati HVSR2

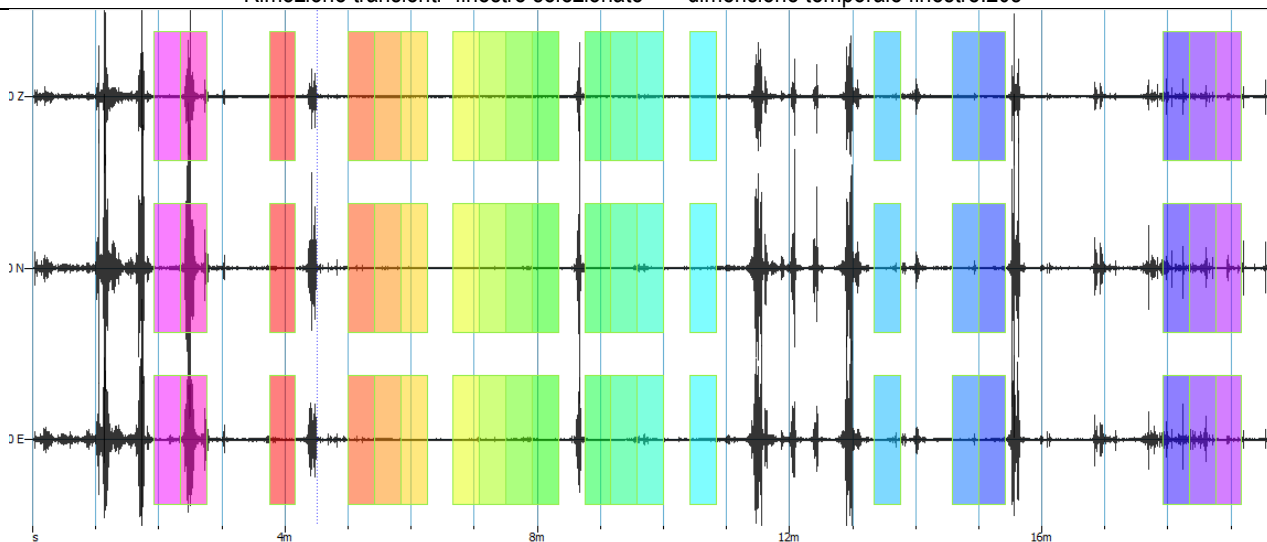
### Parametri di acquisizione

Vertical	22/02/2025 00:00:00	0s	20m1.196000s	250	0.004	300299	20m1.196000s
East	22/02/2025 00:00:00	0s	20m1.196000s	250	0.004	300299	20m1.196000s
North	22/02/2025 00:00:00	0s	20m1.196000s	250	0.004	300299	20m1.196000s

### Tracce registrate



### Rimozione transienti -finestre selezionate - dimensione temporale finestre:20s



### Processing

#### Parameters

Smoothing type

Konno & Ohmachi

Smoothing constant

40.00

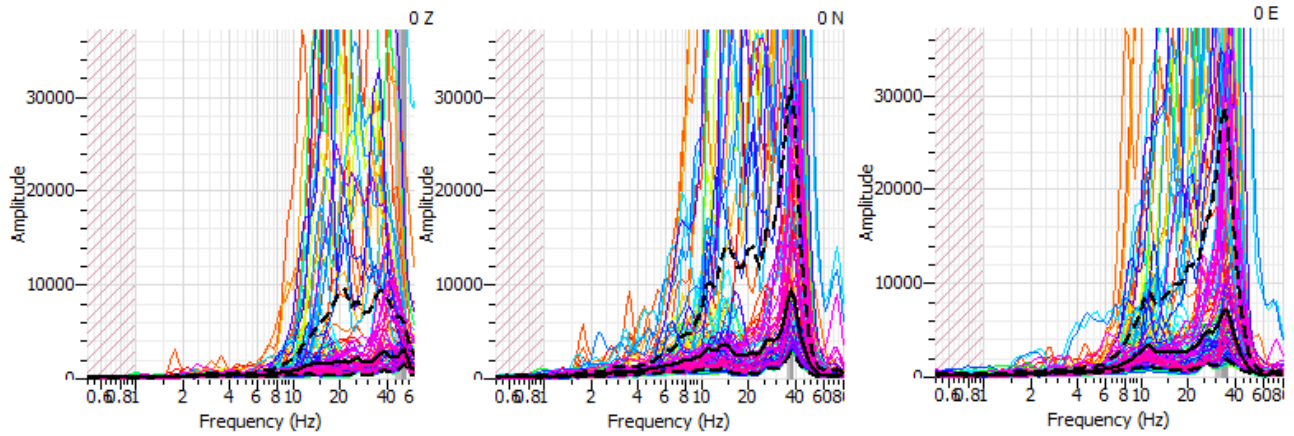
☒ Use cosine taper

width 5.000 %

☐ High-pass filter

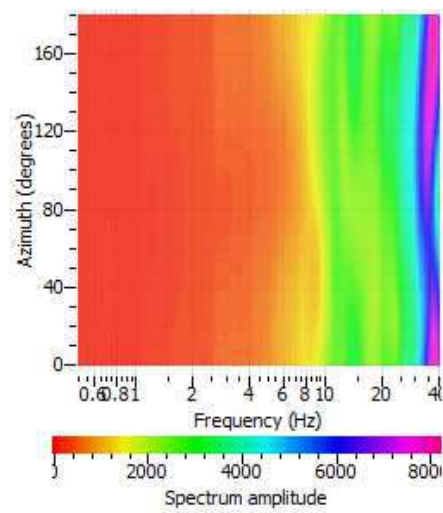
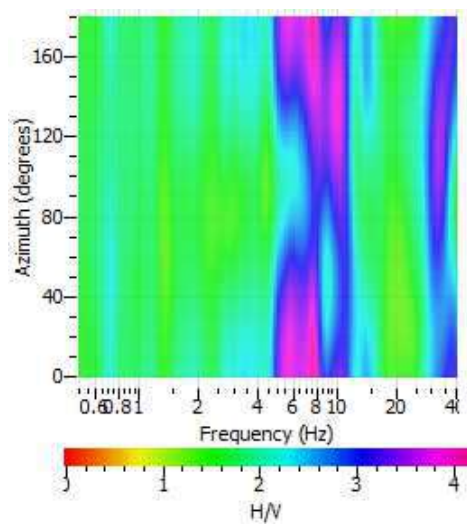
1.00 Hz

Spettri di risposta singole componenti

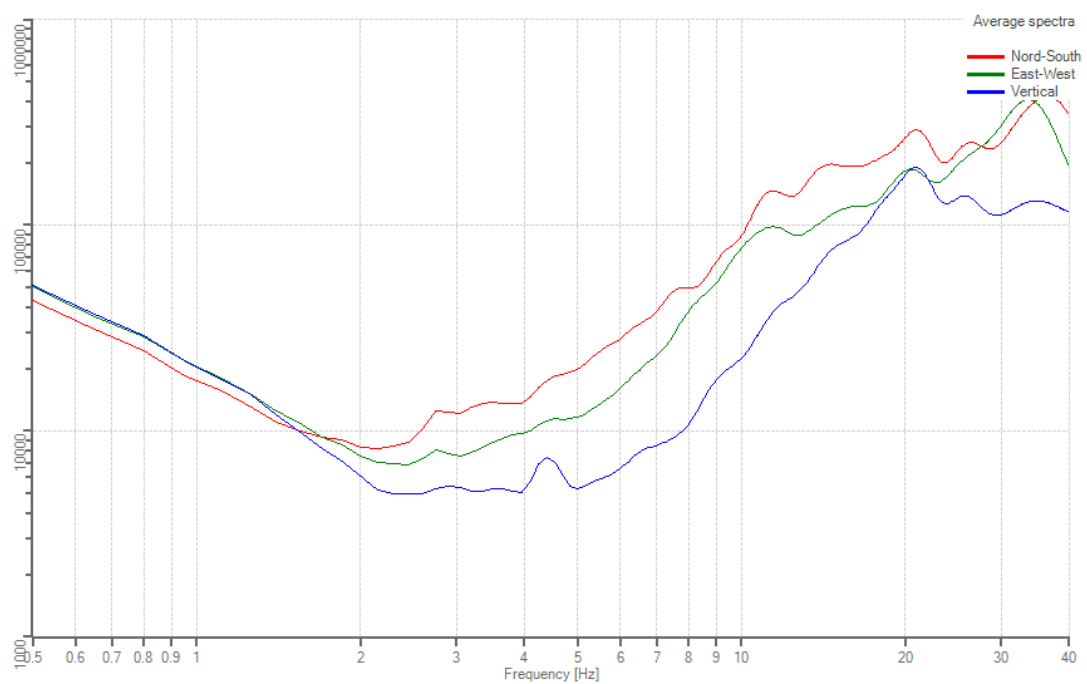


HV rotate results

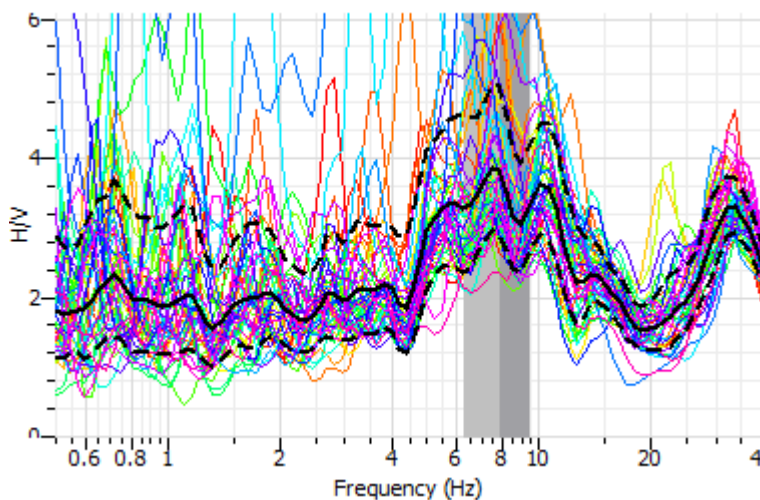
horizontal spectrum rotate results



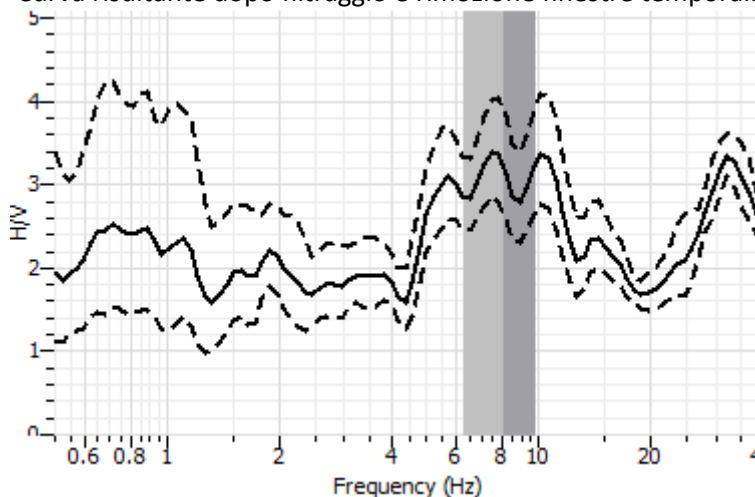
Spettri Medi



Curva H/V registrata



Curva risultante dopo filtraggio e rimozione finestre temporali



Nella misura si riconosce un picco di risonanza a frequenza di circa 7.7 Hz .

La curva non mostra nel range di frequenza 0.5-20Hz picchi di risonanza elevati o caratteristici.

Verifiche SESAME:	Esito
Affidabilità curva	
$F_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	
Affidabilità Picco	
$\exists f \in (f_0/4, f_0) / A_{h/v}(f) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in (f_0, 4 f_0) / A_{h/v}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$F_{\text{picco}}(A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f) < \theta(f_0)$	Ok

Ficarra 29.03.2025



Dott. geologo Filippo Cappotto

## APPENDICI

**Appendice A - report Indagini Georadar (GPR)**

**Appendice B - report indagini geognostiche e geotecniche**



**REGIONE ABRUZZO**

**COMUNE di**

**TORNIMPARTE**

**(Provincia AQUILA)**



## **RELAZIONE TECNICA GEORADAR**

**INDAGINE ELETTROMAGNETICA GEORADAR FINALIZZATA AL  
TRACCIAMENTO DI UN CANALE IN CLS DI ACQUE BIANCHE NEL  
COMUNE DI TORNIMPARTE (AQ) – LOC. PALOMBAIA**

**Committente:** DOTT. GEOL. FILIPPO CAPPOTTO

Il Direttore Tecnico:

**Dott. Geol. Carlo Di Giacomo**



**DATA:** FEBBRAIO 2025

Rev. 0

## **INDICE**

<b>1.   PREMESSA</b>	<b>Pag. 01</b>
<b>2.   STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E CENNI TEORICI SUL METODO G.P.R.</b>	<b>Pag. 02</b>
<b>2.1 LIMITI METODOLOGIA G.P.R.</b>	<b>Pag. 04</b>
<b>3.   MODALITA' DI ESECUZIONI DELLE INDAGINI</b>	<b>Pag. 04</b>
<b>4.   CONCLUSIONI</b>	<b>Pag. 05</b>

## **ALLEGATI**

1. Planimetrie tecniche di dettaglio

## 1. PREMESSA

Su incarico del committente **DOTT.GEOL. FILIPPO CAPPOTTO** è stata condotta una campagna di indagini georadar finalizzata alla mappatura dei sottoservizi presenti nel comune di Tornimparte (AQ).

Le indagini sono state eseguite dall'impresa **GEOLMEC S.R.L.** nell'ambito del progetto denominato: **“INDAGINE ELETTROMAGNETICA GEORADAR FINALIZZATA AL TRACCIAMENTO DI UN CANALE IN CLS DI ACQUE BIANCHE NEL COMUNE DI TORNIMPARTE (AQ) – LOC. PALOMBAIA”**.

Il presente rapporto sintetizza le caratteristiche della metodologia diagnostica georadar utilizzata ed i risultati delle acquisizioni condotte in sito.

Lo scopo dell'indagine strumentale eseguita è stato quello di rilevare l'andamento dei sottoservizi presenti, in particolare l'andamento e l'eventuale presenza di un canale in cemento di acque bianche con le sue relative diramazioni ed eventuali immissioni.

Per tale ragione è stata condotta un'indagine georadar estensiva con copertura integrale della superficie investigabile secondo una griglia regolare di profili equispaziati ed ortogonali tra loro.

La committenza ha fornito la planimetria dell'area da indagare sulla quale sono stati eseguiti sopralluoghi al fine di valutare e determinare il metodo migliore con il quale svolgere l'indagine.

Le indagini georadar sono state eseguite secondo la Norma Tecnica “Impiego del radar per introspezione del suolo per prospezioni preliminari ad opere di pose” – Ediz. Giugno 1997 prodotta da DRE/IR – ICM.



**Fig. 1: Ubicazione delle indagini.**

## 2. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E CENNI TEORICI SUL METODO GPR

La strumentazione utilizzata è costituita da un'unità di acquisizione Cobra CBD multifrequenze dotata di antenne con frequenze da 200 a 800 MHz. Le principali caratteristiche della strumentazione sono:

- Funzionamento senza fili-cavo WiFi,
- GPR a 2 canali,
- Banda operativa a frequenza multipla 200 - 800 MHz,
- Prestazioni dell'UWB. 200% di larghezza di banda,
- Software di post processing incluso,
- Possibilità di integrazione Mappa GPS Path Finder,
- Encoder integrato ad alta risoluzione,
- Ruote a sgancio rapido,
- Maniglia e supporto regolabili del carrello,
- Maniglia / skid Smart opzionale per terreni accidentati,
- Intervallo di profondità: 0-2000 ns,
- Alta potenza: trasmettitore 400 V,
- Sistema flessibile compatto 15 kg.

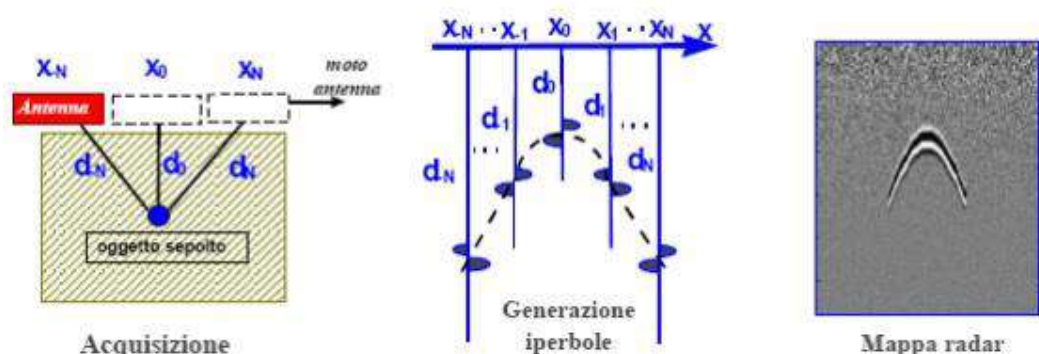


**Fig. 2: Georadar Cobra CBD.**

La metodologia radar *G.P.R.* - *Ground Penetrating Radar* si basa sull'utilizzo di onde elettromagnetiche ad alta frequenza che vengono immesse nel sottosuolo, riflesse dagli oggetti ivi presenti e ricevute dalla strumentazione al fine di acquisire informazioni sull'ubicazione e sullo stato fisico dei materiali indagati. Le modalità di propagazione delle onde elettromagnetiche sono strettamente legate alle costanti dielettriche dei materiali. Le caratteristiche dielettriche derivano dallo stato fisico dei materiali (densità, porosità, permeabilità, conducibilità etc.), pertanto tutte le interfacce separanti mezzi con caratteristiche diverse possono essere individuate in modo tanto più certo quanto più alto è il contrasto fisico.

L'indagine prevede l'immissione nel mezzo da indagare di una serie continua di impulsi elettromagnetici attraverso un dispositivo trasmettente-ricevente, denominato antenna, collegato ad un registratore grafico. In corrispondenza delle superfici di discontinuità una parte dell'energia trasmessa viene riflessa e captata dalla sezione ricevente dell'antenna mentre un'altra parte penetra ulteriormente per essere riflessa da una superficie sottostante. Contemporaneamente al

movimento dell'antenna il registratore grafico produce una sezione continua spazio-tempo nella quale si osservano le tracce delle diverse riflessioni o, comunque, delle anomalie nella risposta.



**Fig.3: Schema di acquisizione di una prospezione georadar (GPR).**

Il dato acquisito attraverso la prova è denominato sezione radarstratigrafica o radargramma. Questo ha carattere qualitativo in quanto consente l'interpretazione delle caratteristiche delle diverse "riflessioni" attraverso l'osservazione della geometria e dell'intensità del segnale ricevuto.

La sezione riporta in ascissa i valori delle distanze misurate ed in ordinata i valori di profondità derivati dai tempi di registrazione, nota la velocità dell'onda.

L'individuazione delle anomalie viene eseguita direttamente attraverso l'interpretazione del segnale rappresentato sullo schermo del georadar durante la fase di acquisizione e, successivamente, si esegue la fase di processing mediante il software **Prism2.60** che consente l'esecuzione delle seguenti operazioni:

- *Vertical bandpass filter*: il filtro passa-banda verticale nel dominio del tempo, è un modo per rimuovere una determinata banda di frequenze;
- *Move start time*: comando utilizzato per calcolare il punto zero relativo alla transizione aria/terra. Questo algoritmo deve sempre essere applicato quando si desidera allineare il segnale radar con la posizione della superficie dell'area indagata;
- *Background Removal*: comando che applica l'algoritmo di filtraggio Clear-X utilizzato per rimuovere componenti continue lungo l'asse X (direzione orizzontale);
- *Smoothed gain*: consiste in una equalizzazione del "guadagno" del segnale per rendere visibili segnali profondi che altrimenti, a causa dell'attenuazione con la profondità, non risulterebbero visibili;
- *Interpretazione dei radargrammi filtrati*.

Grazie all'utilizzo di basse frequenze (200-400 MHz) è stato possibile indagare il sottosuolo fino alla profondità di circa 3,00 metri dal piano campagna.

## **2.1 LIMITI METODOLOGIA G.P.R.**

La tecnica di prospezione G.P.R. (Ground Penetrating Radar) applicata alla ricerca dei sottoservizi presenta dei limiti applicativi legati, oltre che alla metodologia, a diversi fattori, sia di tipo strumentale, che di natura logistico-ambientale. Il principale limite di tale tecnica, applicata alla ricerca dei sottoservizi, è legato essenzialmente al principio fisico sul quale si basa la metodologia di indagine e cioè la differenza di conducibilità elettrica esistente tra materiali differenti. In base a questo principio sia i radargrammi monostatici che quelli bistatici non possono fornire informazioni sulla natura dei bersagli colpiti.

I principali fattori ambientali che causano problemi con l'utilizzo del georadar vengono di seguito elencati e richiedono una certa attenzione:

- presenza di terreni umidi: essendo molto conduttivi tutta l'energia verrebbe immediatamente dissipata, impedendo la riflessione.
- la riduzione di ampiezza del segnale è anche legata al tipo di materiale che l'onda EM attraversa, e in particolare alle sue perdite per conducibilità e/o (caso più raro) per isteresi; se il mezzo attraversato dall'onda EM ha un'elevata conducibilità elettrica, l'ampiezza dell'onda EM viene attenuata molto rapidamente; mezzi molto conduttivi sono quelli che contengono acqua, argilla, sali disciolti o elettroliti; elevati valori di conducibilità si rilevano anche nei suoli agricoli saturi di azoto e potassio o nei suoli umidi impregnati di carbonato di calcio.
- Irregolarità del suolo: è tale da causare salti allo strumento, i dati verrebbero alterati a seguito della variabilità dell'angolo d'irradiazione.
- In ambienti coperti spesso si hanno riflessioni spurie dovuti al ritorno d'onda dall'alto.
- Il livello di falda freatica costituisce il limite per il segnale radar.

Per quanto riguarda i diversi fattori logistici che limitano la metodologia d'indagine georadar, nel campo della ricerca dei sottoservizi, si evidenzia:

- presenza di pavimentazione stradale costituita da blocchi di basolato lavico o mattoncini.
- metodologia di posa dei cavidotti presenti e tipo di materiale utilizzato per il riempimento dello scavo eseguito

### 3. MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI

L'obiettivo dell'indagine G.P.R. svolta è stato quello di individuare anomalie riconducibili alla presenza di sottoservizi per effettuare una mappatura completa degli stessi. A tal fine, sono stati innanzitutto individuati nell'area da investigarsi tutti i chiusini ed i cavidotti in modo da avere una visione globale dell'area di intervento.

Il valore della costante dielettrica e della frequenza di campionamento da utilizzare durante l'acquisizione, e quindi della velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel mezzo indagato, è stata assegnata in base alla riflessione da parte di un oggetto sepolto (tubo) posto a profondità nota.

Durante l'esecuzione dell'indagine, è stato individuato un apposito sistema di riferimento. Esso consiste in un sistema di assi cartesiani ortogonali detti "asse delle T o delle linee Trasversali" ed "asse delle L o delle linee Longitudinali". Essi corrispondono rispettivamente all'asse delle X e delle Y del sistema cartesiano. Ogni misura è stata dunque orientata in un senso o nell'altro ed ha un determinato punto di inizio; essa inoltre è stata ubicata parallelamente ad altre sezioni la cui equidistanza viene detta "passo di scansione". I dati acquisiti sono stati elaborati, utilizzando il sistema di elaborazione **Prism2.6** su una base cartografica in CAD, in modo da avere una ricostruzione precisa dell'ubicazione planimetrica e della profondità dei bersagli individuati. Le distanze sono state misurate attraverso un odometro e le anomalie sono state indicate attraverso un tracciante blu direttamente lungo il percorso delle aree investigate indicando oltre la posizione anche la profondità espressa in metri.

#### 4. CONCLUSIONI

L'indagine georadar eseguita nell'area, finalizzata alla ricerca di anomalie eventualmente determinate dalla presenza di sottoservizi e in particolare dalla presenza del canale in cemento di acque bianche, ha evidenziato diverse anomalie compatibili con i targets dell'indagine. La realizzazione di un'accurata indagine lungo tutto il percorso ha consentito una localizzazione in pianta delle maggiori anomalie riscontrate, compresa quella riconducibile alla presenza del canale. Per maggiori dettagli si rimanda all'*allegato 1A - Planimetrie tecniche di dettaglio*

Il Geologo

Carlo Di Giacomo





**COMUNE DI TORNIMPARTE (AQ)**

**PROVINCIA AQUILA**



## **1. PLANIMETRIE TECNICHE DI DETTAGLIO**

**INDAGINE ELETTROMAGNETICA GEORADAR FINALIZZATA  
AL TRACCIAMENTO DI UN CANALE IN CLS DI ACQUE  
BIANCHE NEL COMUNE DI TORNIMPARTE (AQ) – LOC.  
PALOMBAIA**

IL COMMITTENTE:

DOTT. GEOL. FILIPPO

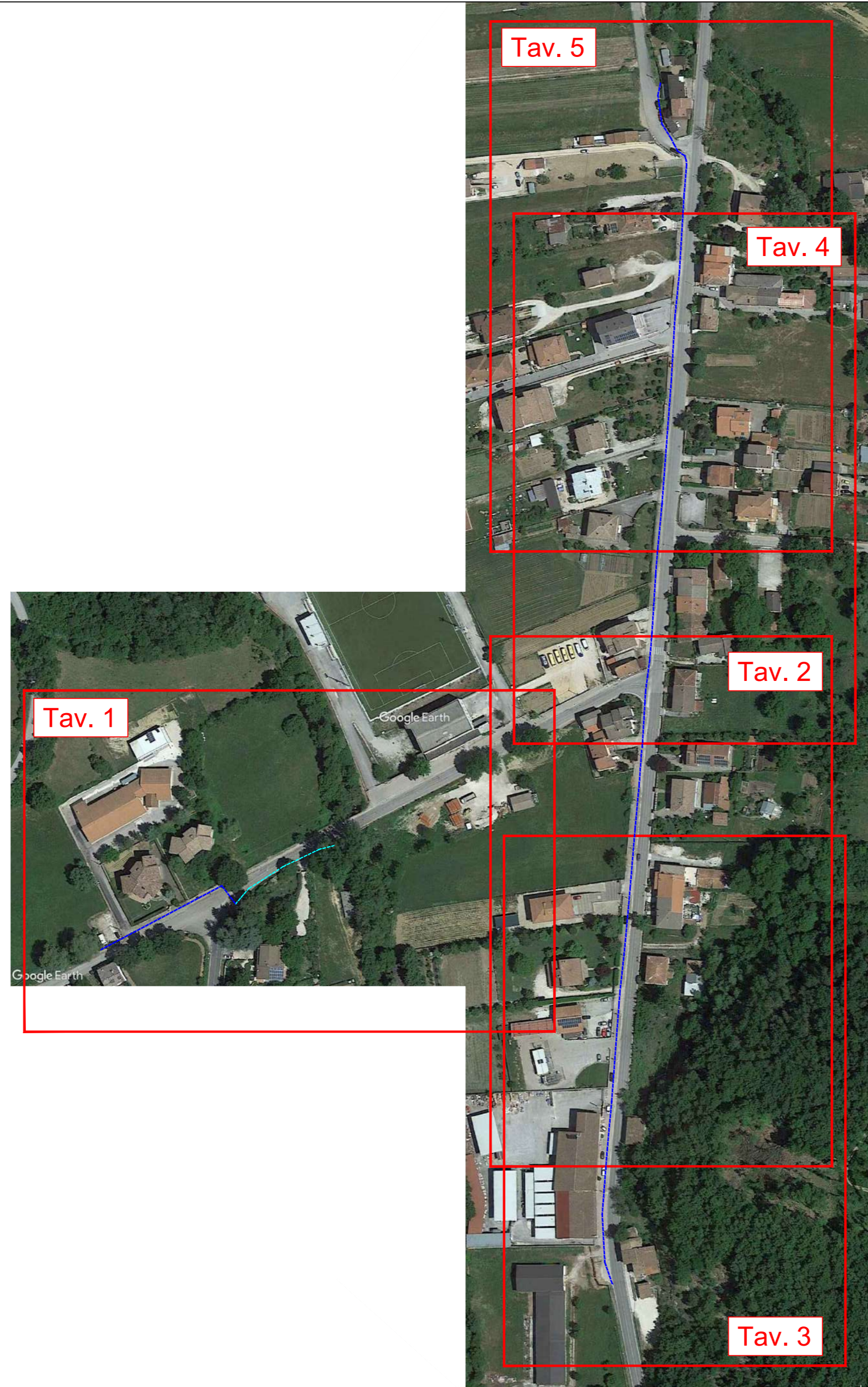
CAPPOTTO

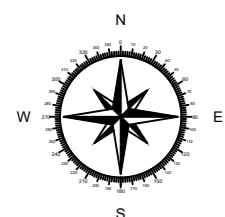
IL DIRETTORE TECNICO:













Dott.Geol. Carlo Di Giacomo

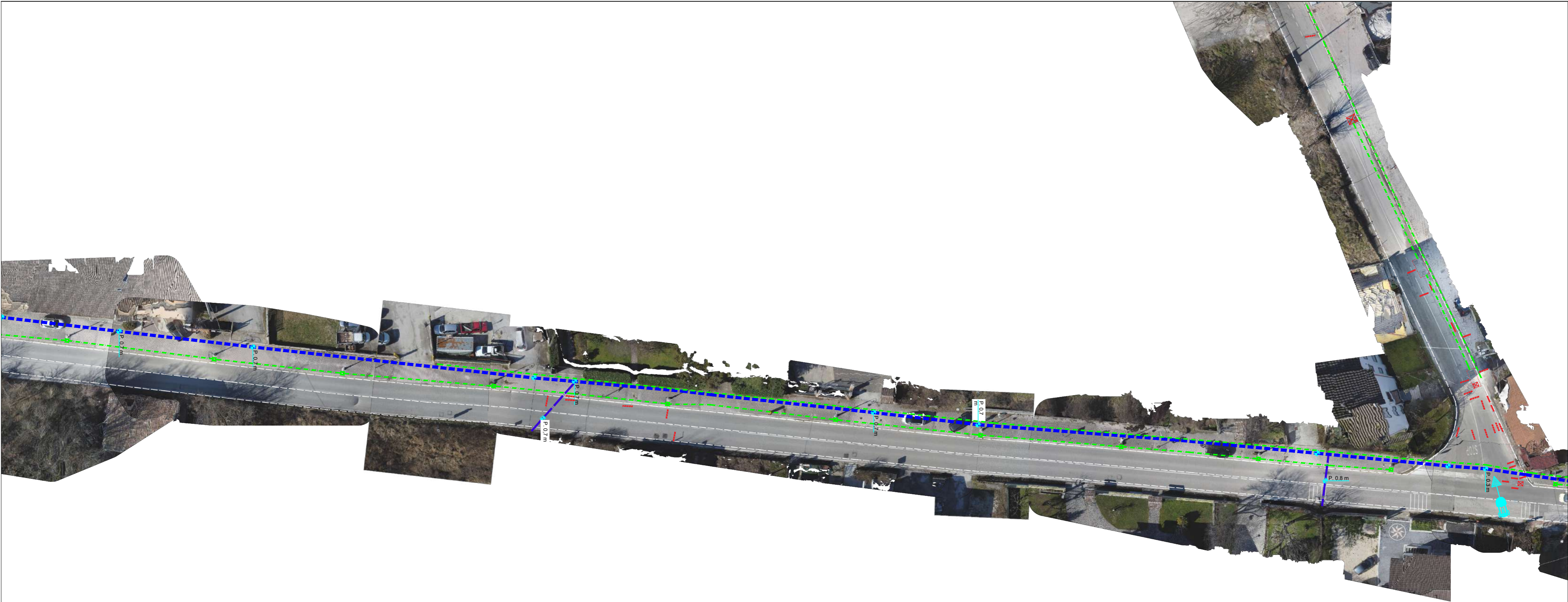


DATA: FEBBRAIO 2025

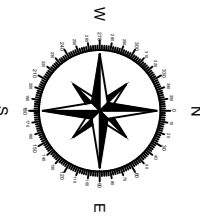


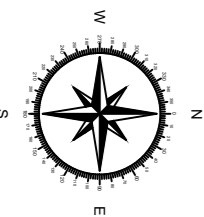
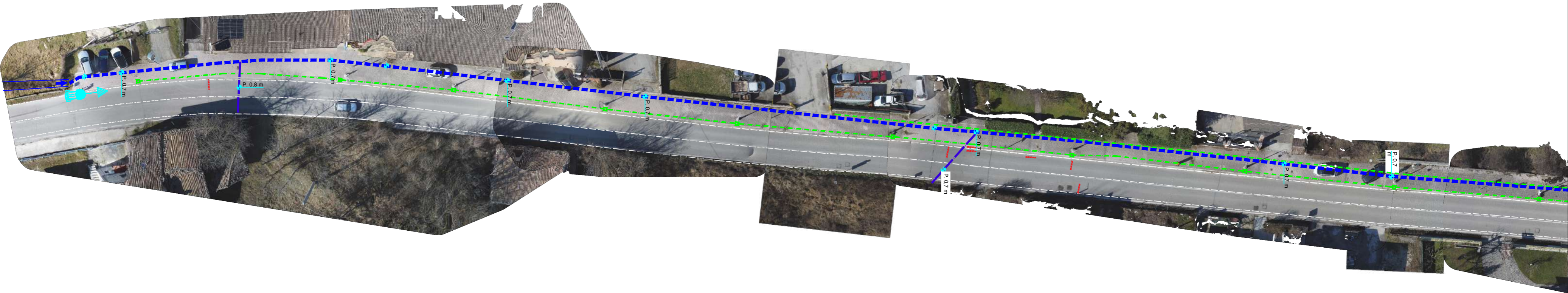


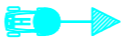




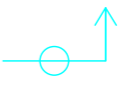






LEGENDA RILIEVO			
	Inizio/fine indagine georadar		Canale acque bianche a cielo aperto
	Delimitazione carreggiata stradale		Griglie e chiusini del canale in cls
	Punti di individuazione tramite georadar con profondità (m)		Inizio/fine ponte
	Andamento canale cls acque bianche		Sottoservizio generico principale
	Andamento supposto canale cls acque bianche		Sottoservizio generico secondario
	Immissioni secondarie del canale cls acque bianche		Chiusino e camere sepolte

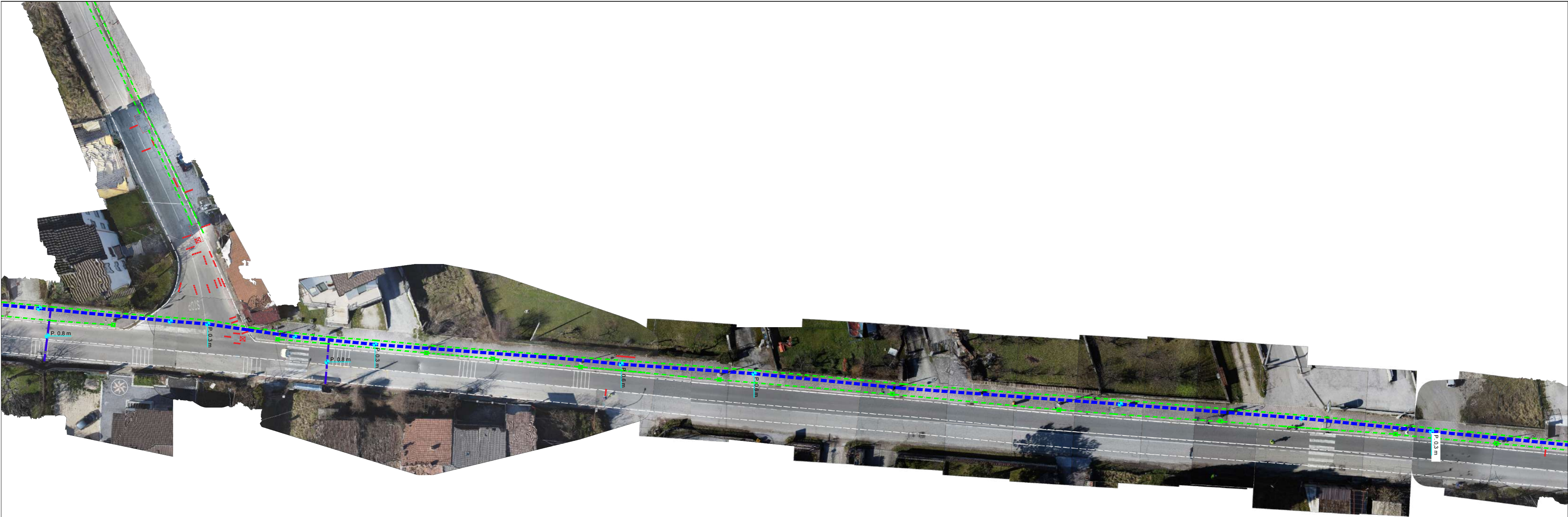


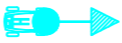
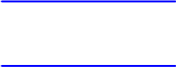



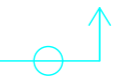






LEGENDA RILIEVO			
	Inizio/fine indagine georadar		Canale acque bianche a cielo aperto
	Delimitazione carreggiata stradale		Griglie e chiusini del canale in cls
	Punti di individuazione tramite georadar con profondità (m)		Inizio/fine ponte
	Andamento canale cls acque bianche		Sottoservizio generico principale
	Andamento supposto canale cls acque bianche		Sottoservizio generico secondario
	Immissioni secondarie del canale cls acque bianche		Chiusino e camere sepolte

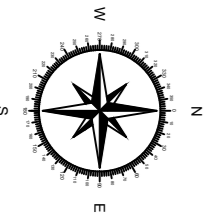


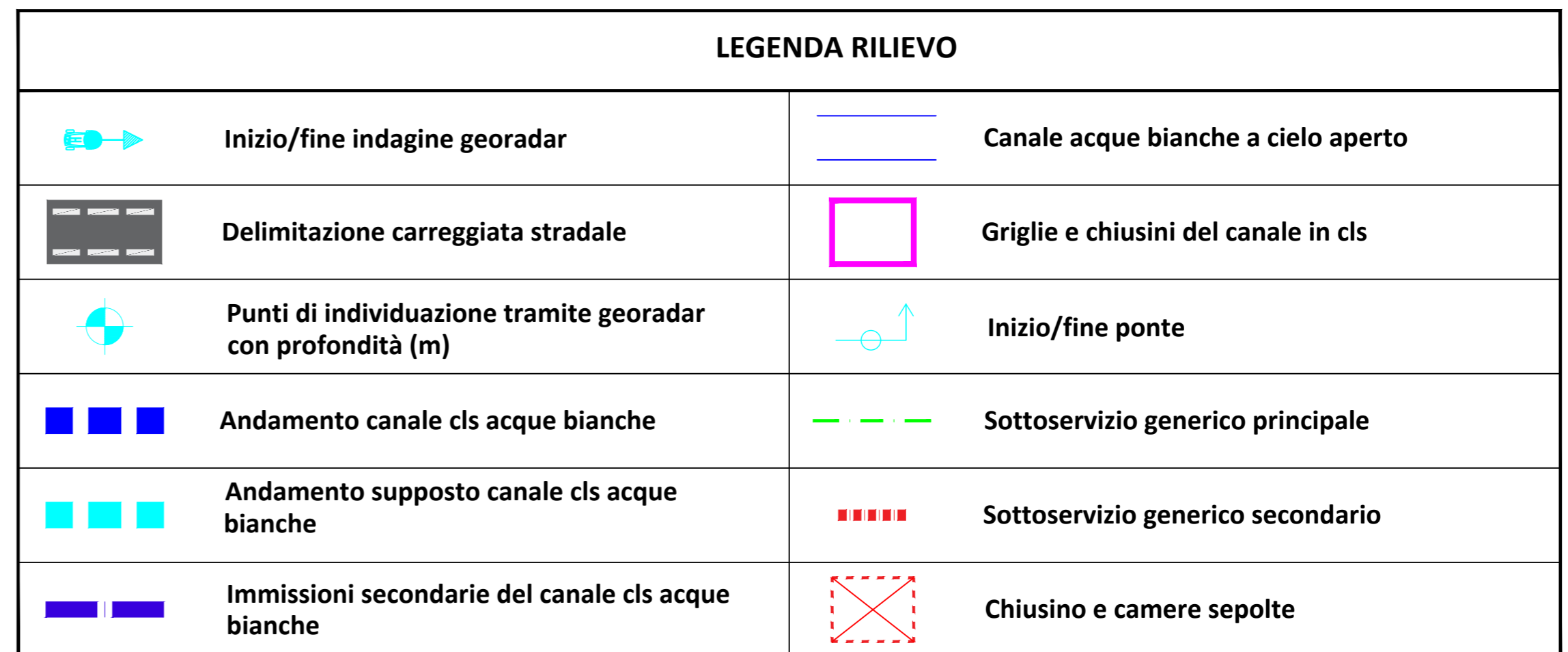


LEGENDA RILIEVO			
	Inizio/fine indagine georadar		Canale acque bianche a cielo aperto
	Delimitazione carreggiata stradale		Griglie e chiusini del canale in cls
	Punti di individuazione tramite georadar con profondità (m)		Inizio/fine ponte
	Andamento canale cls acque bianche		Sottoservizio generico principale
	Andamento supposto canale cls acque bianche		Sottoservizio generico secondario
	Immissioni secondarie del canale cls acque bianche		Chiusino e camere sepolte



LEGENDA RILIEVO			
	Inizio/fine indagine georadar		Canale acque bianche a cielo aperto
	Delimitazione carreggiata stradale		Griglie e chiusini del canale in cls
	Punti di individuazione tramite georadar con profondità (m)		Inizio/fine ponte
	Andamento canale cls acque bianche		Sottoservizio generico principale
	Andamento supposto canale cls acque bianche		Sottoservizio generico secondario
	Immissioni secondarie del canale cls acque bianche		Chiusino e camere sepolte







**REGIONE ABRUZZO  
PROVINCIA DELL'AQUILA  
COMUNE DI TORNIMPARTE**



*"Interventi di messa in sicurezza del territorio a rischio idrogeologico  
del Bacino del Raio in località Palombaia"*

## **RAPPORTO INDAGINI**

**Committente:** Dott. Geol. Filippo Cappotto  
**Geologo:** Geologo incaricato mandante in RTP:  
Dott. Geol. Domenico Feminò  
**Progettista:**

REV

00

DATA

17/03/2025



**AURELI SOIL Srl**  
SS 83 Marsicana Zona Artigianale - 67057 Pescina (AQ)  
C.F. e P.IVA 01700060666 Cod. Univoco M5UXCR1  
Tel: 0863.88464 - 0863.420747  
[info@aurelisoil.it](mailto:info@aurelisoil.it) - [aurelisoil@pec.aurelisoil.it](mailto:aurelisoil@pec.aurelisoil.it) - [www.aurelisoil.com](http://www.aurelisoil.com)  
*Laboratorio Autorizzato Settore A: Prove su strutture in calcestruzzo armato normale,  
precompresso e muratura - Circolare n. 633/STC del 03/12/2019*



## **RAPPORTO INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE**

### Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO .....	4
2.1 ATTREZZATURA DI PERFORAZIONE .....	4
2.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE.....	5
2.3 MODALITA' ESECUTIVE DEL SONDAGGIO GEOTECNICO .....	5
2.4 FLUIDI DI CIRCOLAZIONE .....	6
2.5 STRATIGRAFIA S1+PZ (15,00 m).....	7
2.6 CASSETTE CATALOGATRICI E POSTAZIONE SONDAGGIO S1+PZ (15,00m).....	8
2.7 STRATIGRAFIA S2+PZ (15,00 m).....	10
2.8 CASSETTE CATALOGATRICI E POSTAZIONE SONDAGGIO S2+PZ (15,00 m).....	11
3. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE IN FORO – (S.P.T.).....	13
3.1 ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SPT (S1+PZ) .....	20
3.2 ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SPT (S2+PZ) .....	25
4. PROVE DI PERMEABILITA' TIPO LEFRANC .....	29

### **Allegati:**

- **AII.1** PROVE DI PERMEABILITA' LEFRANC
- **AII.2** UBICAZIONE INDAGINI
- **AII.3** DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

## 1. PREMESSA

In data **6 - 7 e 8 marzo 2025** è stata condotta una campagna di indagini geognostiche e geotecniche, su incarico del **Dott. Geol. Filippo Cappotto**, al fine di definire le caratteristiche geologiche e geotecniche del sito ubicato nel **Comune di Tornimparte (AQ), frazione Palombaia**, per il progetto *“Interventi di messa in sicurezza del territorio a rischio di dissesto idrogeologico del Bacino del Raio in località Palombaia”*. Di seguito vengono elencate le indagini eseguite:

TIPOLOGIA DI INDAGINE	OBIETTIVO	DATA	QUANTITA'	PROFONDITA' / LUNGHEZZA
<b>Sondaggio geognostico a carotaggio continuo (101)</b>	Ricostruzione rapporti stratigrafici	06-07-08/03/2025	N°2	<b>S1+PZ – 15,00 m S2+PZ – 15,00 m</b>
<b>Installazione tubo piezometrico (2")</b>	Individuazione ed eventuale monitoraggio della falda acquifera	07-08/03/2025	N°2	<b>S1+PZ - 15,00 m (fessurato) S2+PZ – 15,00 m (fessurato)</b>
<b>Rivestimento provvisorio foro di sondaggio (127 mm)</b>	Propedeutico per la perforazione	06-07-08/03/2025	-	<b>S1+PZ – 15,00 m S2+PZ – 15,00 m</b>
<b>Installazione pozzetto Carrabile in ghisa</b>	Protezione bocca foro	08/03/2025	N°2	<b>S1+PZ S2+PZ</b>
<b>Prova Penetrometrica Dinamica di tipo SPT</b>	Caratterizzazione geotecnica del sito	06-07-08/03/2025	N°6	<b>SPT1_S1+PZ_2,55 SPT2_S1+PZ_5,50 SPT3_S1+PZ_11,50 SPT1_S2+PZ_3,00 SPT2_S2+PZ_8,00 SPT3_S2+PZ_11,00</b>
<b>Prova di permeabilità di tipo Lefranc</b>	Definizione grado di permeabilità di determinati intervalli	06-07/03/2025	N°2	<b>S1+PZ_Lefranc da 4,50 a 5,50 m S2+PZ_Lefranc da 4,00 a 5,00 m</b>

## 2. SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO

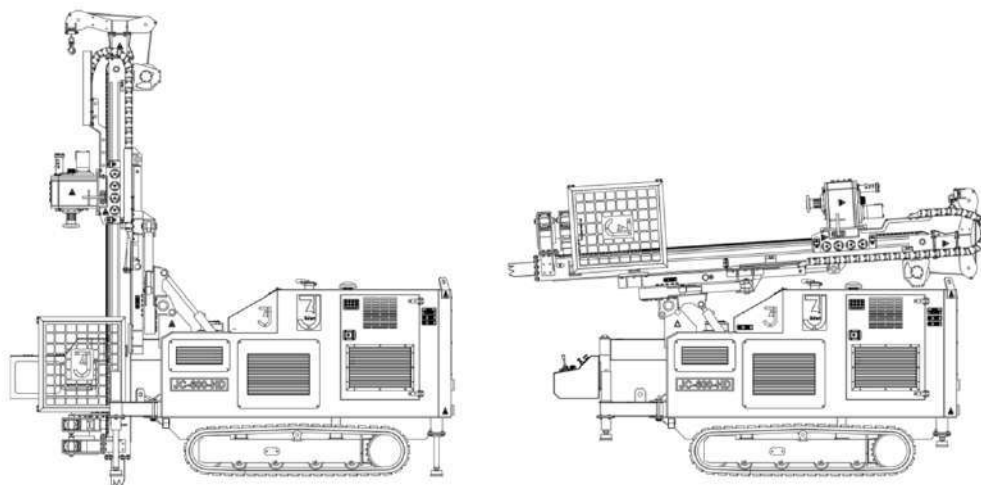
L'esecuzione della perforazione a fini geotecnici, è stata eseguita con le attrezzature aventi le caratteristiche e la potenza idonea allo scopo.

Si definisce sondaggio geotecnico una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

- carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;
- determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

### 2.1 ATTREZZATURA DI PERFORAZIONE

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda a rotazione **JC600HD** carro cingolata.



*Fig.1 – Sonda perforatrice tipo “JC600HD”*

La macchina è progettata e costruita in conformità ai seguenti regolamenti:

- Direttiva per la sicurezza della macchina 2006/42/CE – 2000/14/CE
- UNI EN 16228:2014
- EN ISO 12100:2010
- EN ISO 13850
- EN 61000-6-2
- EN 61000-6-3
- CEI EN 60204- 1:2018
- CEI EN IEC 61000-3-2

## 2.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE

La perforazione è stata eseguita a rotazione a “carotaggio continuo” secondo le norme tecniche prescritte:

- **Carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice, porta estrattore e cestello**

*Diametro nominale  $\varnothing_{est} = 101 \text{ mm}$*

*Lunghezza utile = 150 cm*

- **Corone di perforazione in widia**
- **Aste di perforazione in acciaio con filettatura tronco-conica**

*Diametro esterno  $\varnothing_{est} = 76 \text{ mm}$ .*

- **Rivestimento provvisorio in acciaio**

*Spessore tubo = 10 mm*

*Diametro interno  $\varnothing_{int} = 127 \text{ mm}$*

*Lunghezza spezzoni  $l = 150 \text{ cm}$*

- **Pozzetto carrabile in ghisa**

## 2.3 MODALITA' ESECUTIVE DEL SONDAGGIO GEOTECNICO

Il carotaggio è rappresentativo del terreno attraversato, con percentuale di recupero >85%, il carotiere semplice utilizzato è stato azionato da aste in acciaio.

La perforazione è stata seguita dal rivestimento provvisorio del foro solo in assenza di sufficiente autosostentamento delle pareti. Le manovre di rivestimento sono state eseguite con l'uso di fluido in circolazione, la pressione del fluido è stata mantenuta la minore possibile e controllata mediante manometro.

Il disturbo arrecato al terreno è stato contenuto al minimo, fermando la scarpa del rivestimento a circa 50 cm dal fondo foro in modo da non investirlo in forma eccessivamente diretta con il getto di fluido in pressione.

Il battente di fluido in colonna è mantenuto prossimo a bocca foro mediante rabbocchi progressivi specialmente durante l'estrazione del carotiere e delle aste, che avviene con velocità iniziale molto bassa ( $1 \div 2 \text{ cm/sec}$ ), al fine di evitare effetti di risucchio che possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora occlusa all'estremità inferiore dal terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

La lunghezza esatta delle batterie di aste inserite nel foro è stata misurata e riportata, in una apposita tabella, onde prevenire imprecisioni nella definizione delle profondità raggiunte. E' stata compilata


una scheda stratigrafica del sondaggio completa di tutte le indicazioni necessarie alla descrizione con criteri geotecnici del materiale carotato.

## 2.4 FLUIDI DI CIRCOLAZIONE

Il fluido di circolazione nelle fasi di perforazione e di rivestimento, è costituito da acqua e fanghi polimerici.

Il fluido ha la funzione di raffreddamento, asportazione detriti ed eventuale sostentamento del foro, senza in alcun modo pregiudicare la qualità del carotaggio, l'esito delle prove geotecniche ed il funzionamento della strumentazione.

## 2.5 STRATIGRAFIA S1+PZ (15,00 m)

<div></div> <div>AURELI SOIL</div>				<div>SS83 Marsicana Zona Artigianale-67057 Pescina (AQ)</div> <div>C.F. e P. IVA 01700060666 Cod. Univoco M5UXCR1</div> <div>Tel: 0863.88464 - 0863.420747</div> <div>info@aurelisoil.it - aurelisoil@pec.aurelisoil.it - www.aurelisoil.com</div>										
Committente Dott. Geol. Domenico Femino		Cantiere Tornimparte (AQ) contrada Palombai		Coordinate 42°19'28.64" - 13°16'49.99"			Sigla sondaggio S1+PZ			Diametro sondaggio 101				
Operatore Hassan Jarmouni		Tipo Carotaggio a carotaggio continuo		Tipo Sonda JC600HD			Profondità Raggiunta 15,00 m			Quota Ass. P.C. 720 m s.l.m.				
Inizio Esecuzione 06/03/2025		Termine Esecuzione 07/03/2025		Strumentazione			Casse Catalogatrici N. 3			Note				
Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T.	Pocket [kg/cm²]	Campioni	Perforazione	Cass. Catalog.	Falda	Pressiometriche Dilatometriche	Laggon Lefranc	RQD	Rivestimento	Piezometro P-(1)
			0.10											
1		Terreno di riporto	0.90							1.34				
2		Limo argilloso mediamente consistente di colore grigio scuro	2.00											
3		Sabbia limosa con ghiaia, clasti con diametro max di 8 cm, di colore grigio	4.00	7-10-12 255 PC										
4		Ghiaia con clasti di diametro max di 10 cm, in matrice limosa di colore grigio/avana	5.00											
5		Limo sabbioso con liveelli lapidei da 6,00 a 6,15 e da 6,50 a 7,00, e roccia fratturata da 6,15 a 6,50. Di colore grigio/avana.	7.00	RIF. 3 cm 5.50 PC				1				4.50		
6														
7		Limo sabbioso con livelli di roccia fratturata, da 8,00 a 8,50, da 9,00 a 9,40, 11,50 a 12,00. Di colore grigio												
8														
9														
10								2						
11														
12				RIF. 5 cm 11.50 PC										
13														
14														
			15.00					3						

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT

Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande

Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua

Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Carotaggio: a carotaggio continuo

Sonda: JC600HD

## 2.6 CASSETTE CATALOGATRICI E POSTAZIONE SONDAGGIO S1+PZ (15,00m)

SONDAGGIO GEOGNOSTICO A C.C.	S1+PZ (15 m)
Tornimparte (AQ) frazione Palombaia	

### CASSETTA C1 (0 - 5 m)



### CASSETTA C2 (5 - 10 m)



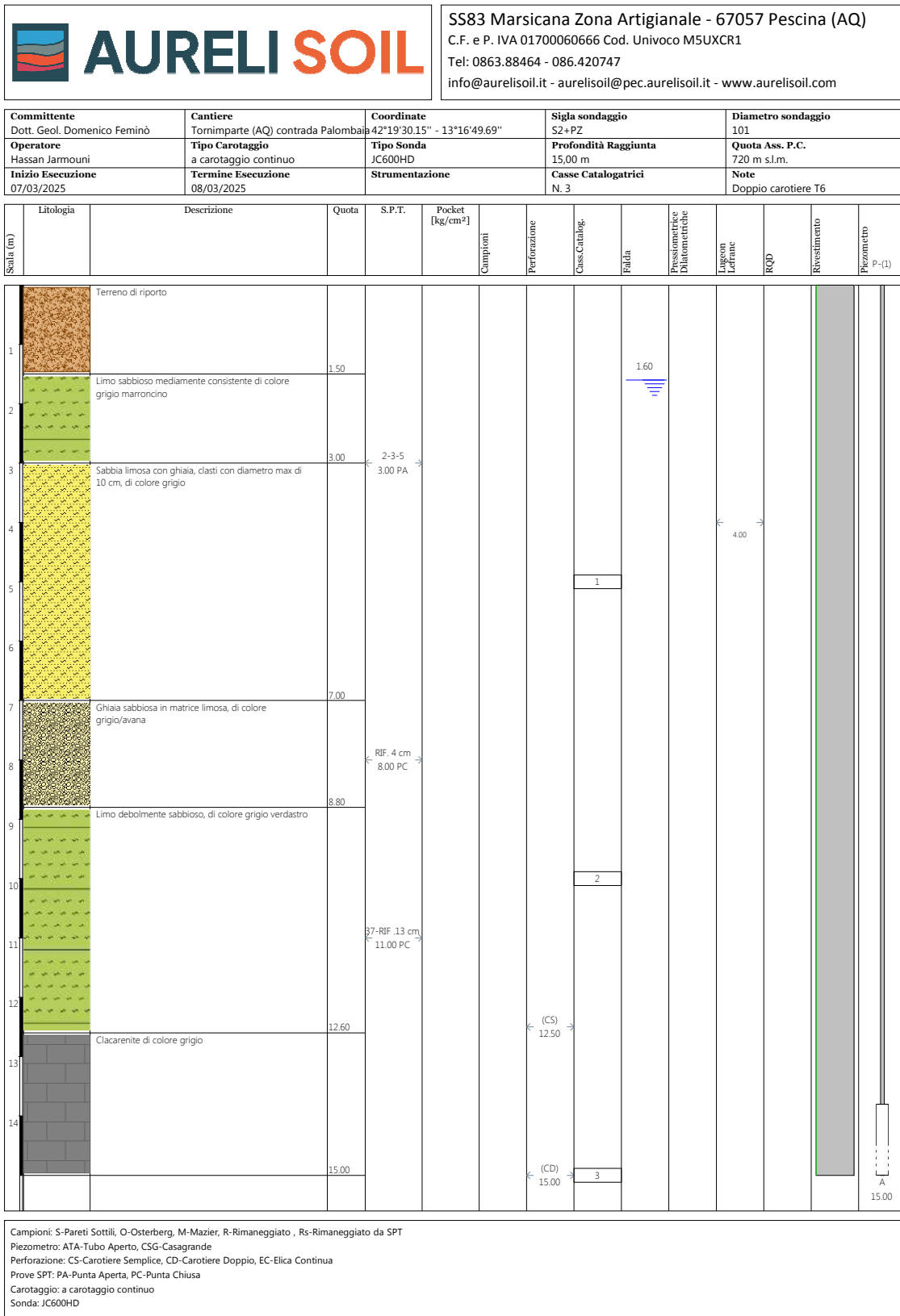
CASSETTA C3 (10 - 15 m)



FOTO POSTAZIONE S1



## 2.7 STRATIGRAFIA S2+PZ (15,00 m)



## 2.8 CASSETTE CATALOGATRICI E POSTAZIONE SONDAGGIO S2+PZ (15,00 m)

SONDAGGIO GEOGNOSTICO A C.C.	S2+PZ (15 m)
Tornimparte (AQ) frazione Palombaia	
CASSETTA C1 (0 - 5 m)	
	
CASSETTA C2 (5 - 10 m)	
	

## CASSETTA C3 (10 - 15 m)



## FOTO POSTAZIONE S2+PZ





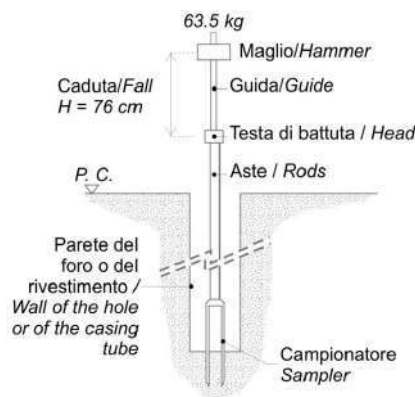
Ogni determinazione di prova è stata preceduta dalla pulizia del fondo foro con verifica della coincidenza della quota di attestazione della punta con profondità misurata dopo la

pulizia del foro (tolleranza di  $\pm 7$  cm); la prova consiste nel fare penetrare il campionatore posato al fondo foro per tre tratti successivi di 15 cm registrando ogni volta il numero dei colpi necessari (N1, N2, N3).

Con il primo tratto detto avviamento si intende superare la zona di terreno rimaneggiato in fase di perforazione. Nel caso di un terreno molto addensato con  $N1 = 50$  ed avanzamento minore di 15 cm l'infissione deve essere sospesa: la prova dichiarata conclusa in base alle raccomandazioni AGI 1977 e si annota la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento viene superato si conteggiano N2 e N3 (da 15 a 30 e da 30 a 45 cm) fino ad un limite complessivo di 100 colpi ( $N2+N3$ ) raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.

Pertanto il parametro caratteristico della prova, prescindendo dai casi particolari di rifiuto è:  $N_{spt} = N2 + N3$  che esprime il numero di colpi caratteristico per 30 cm utili di perforazione.



*Fig.3 – Modalità di esecuzione della prova SPT*

## CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI INCOERENTI

### Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda

$$N_{spt \text{ corretto}} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

### Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) – Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. – Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) – Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961 – Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. Ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello – Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.
- Malcev (1964) – Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. Ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1977) – Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni (1982) – ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie – sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. Ottimali per prof. Di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) – JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie – sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. Ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) – Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) – Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Terzaghi – elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

### **Modulo Edometrico**

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

### **Peso di Volume**

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### **Peso di volume saturo**

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

### **Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

### **Modulo di deformazione di taglio (G)**

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 – 4,0 kg/cmq.

## CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI COESIVI

### Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  (min-max).
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con  $sensitivity > 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) – argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

**Modulo Edometrico-Confinato (Mo)**

- Stroud e Butler (1975), per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità – da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) – da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq), valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt} = 6-12$ ).

**Modulo Di Young (Ey)**

- Schultze-Menzenbach – (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

**Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977.

**Peso di Volume**

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

**Peso di volume saturo**

- Meyerhof ed altri.

### 3.1 ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SPT (S1+PZ)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PROVE SPT IN FORO

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.76 m
Peso sistema di battuta	4.2 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	7 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1
Rivestimento/fanghi	No

Strumento utilizzato PROVE SPT IN FORO  
 Prova eseguita in data 06/03/2025  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi
2.70	7
2.85	10
3.00	12
5.53	RIF. 3 cm
11.55	RIF. 5 cm

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SPT\_S1+PZ

#### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT1	22.00	2.55-3.00	Terzaghi-Peck	1.49
SPT2	100.00	5.50-5.53	Terzaghi-Peck	6.75
SPT3	100.00	11.50-11.55	Terzaghi-Peck	6.75

#### Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT1	22.00	2.55-3.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	226.18
SPT2	100.00	5.50-5.53	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	1021.73
SPT3	100.00	11.50-11.55	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	1021.73

#### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT1	22.00	2.55-3.00	Apollonia	220.00
SPT2	100.00	5.50-5.53	Apollonia	1000.00
SPT3	100.00	11.50-11.55	Apollonia	1000.00

#### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Classificazione
SPT1	22.00	2.55-3.00	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
SPT2	100.00	5.50-5.53	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE
SPT3	100.00	11.50-11.55	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

#### Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
SPT1	22.00	2.55-3.00	Meyerhof	2.11
SPT2	100.00	5.50-5.53	Meyerhof	2.50
SPT3	100.00	11.50-11.55	Meyerhof	2.50

#### Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
SPT1	22.00	2.55-3.00	Meyerhof	2.14
SPT2	100.00	5.50-5.53	Meyerhof	2.50
SPT3	100.00	11.50-11.55	Meyerhof	2.50

## TERRENI INCOERENTI

### Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
SPT1	22.00	2.55-3.00	22.00	Meyerhof 1957	85.41
SPT2	100.00	5.50-5.53	100.00	Meyerhof 1957	100
SPT3	100.00	11.50-11.55	100.00	Meyerhof 1957	100

### Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
SPT1	22.00	2.55-3.00	22.00	Meyerhof (1956)	26.29
SPT2	100.00	5.50-5.53	100.00	Meyerhof (1965)	35.47
SPT3	100.00	11.50-11.55	100.00	Meyerhof (1965)	35.47

### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
SPT1	22.00	2.55-3.00	22.00	Schultze-Menzenbach	101.60
SPT2	100.00	5.50-5.53	100.00	Schultze-Menzenbach	452.60
SPT3	100.00	11.50-11.55	100.00	Schultze-Menzenbach	452.60

### Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
SPT1	22.00	2.55-3.00	22.00	Menzenbach e Malcev	136.12
SPT2	100.00	5.50-5.53	100.00	Menzenbach e Malcev	484.00
SPT3	100.00	11.50-11.55	100.00	Menzenbach e Malcev	484.00

#### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
SPT1	22.00	2.55-3.00	22.00	Classificazione A.G.I.	MODERATAMENTE ADDENSATO
SPT2	100.00	5.50-5.53	100.00	Classificazione A.G.I.	MOLTO ADDENSATO
SPT3	100.00	11.50-11.55	100.00	Classificazione A.G.I.	MOLTO ADDENSATO

#### Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' di Volume (t/m³)
SPT1	22.00	2.55-3.00	22.00	Terzaghi-Peck 1948	1.62
SPT2	100.00	5.50-5.53	100.00	Terzaghi-Peck 1948	1.95
SPT3	100.00	11.50-11.55	100.00	Terzaghi-Peck 1948	1.95

#### Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' di Volume Saturo (t/m³)
SPT1	22.00	2.55-3.00	22.00	Terzaghi-Peck 1948	2.01
SPT2	100.00	5.50-5.53	100.00	Terzaghi-Peck 1948	2.21
SPT3	100.00	11.50-11.55	100.00	Terzaghi-Peck 1948	2.21

#### Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
SPT1	22.00	2.55-3.00	22.00	(A.G.I.)	0.31
SPT2	100.00	5.50-5.53	100.00	(A.G.I.)	0.15
SPT3	100.00	11.50-11.55	100.00	(A.G.I.)	0.15

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT1	22.00	2.55-3.00	22.00	Robertson e Campanella (1983)	826.29
SPT2	100.00	5.50-5.53	100.00	Robertson e Campanella (1983)	2084.06
SPT3	100.00	11.50-11.55	100.00	Robertson e Campanella (1983)	2084.06

### 3.2 ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SPT (S2+PZ)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PROVE SPT IN FORO

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.76 m
Peso sistema di battuta	4.2 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	7 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1
Rivestimento/fanghi	No

Strumento utilizzato PROVE SPT IN FORO  
 Prova eseguita in data 07/03/2025  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi
3.15	2
3.30	3
3.45	5
8.04	RIF. 4 cm
11.15	37
11.28	RIF. 13 cm

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SPT\_S2+PZ

#### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT1	8.00	3.00-3.45	Terzaghi-Peck	0.54
SPT2	100.00	8.00-8.04	Terzaghi-Peck	6.75
SPT3	100.00	11.00-11.28	Terzaghi-Peck	6.75

### Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT1	8.00	3.00-3.45	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	83.39
SPT2	100.00	8.00-8.04	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	1021.73
SPT3	100.00	11.00-11.28	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	1021.73

### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
SPT1	8.00	3.00-3.45	Apollonia	80.00
SPT2	100.00	8.00-8.04	Apollonia	1000.00
SPT3	100.00	11.00-11.28	Apollonia	1000.00

### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Classificazione
SPT1	8.00	3.00-3.45	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
SPT2	100.00	8.00-8.04	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE
SPT3	100.00	11.00-11.28	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

### Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
SPT1	8.00	3.00-3.45	Meyerhof	1.90
SPT2	100.00	8.00-8.04	Meyerhof	2.50
SPT3	100.00	11.00-11.28	Meyerhof	2.50

### Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
SPT1	8.00	3.00-3.45	Meyerhof	1.91
SPT2	100.00	8.00-8.45	Meyerhof	2.50
SPT3	100.00	11.00-11.45	Meyerhof	2.50

## TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
SPT1	8.00	3.00-3.45	8.00	Meyerhof 1957	50.93
SPT2	100.00	8.00-8.04	100.00	Meyerhof 1957	100
SPT3	100.00	11.00-11.28	100.00	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
SPT1	8.00	3.00-3.45	8.00	Meyerhof (1956)	22.29
SPT2	100.00	8.00-8.04	100.00	Meyerhof (1965)	35.47
SPT3	100.00	11.00-11.28	100.00	Meyerhof (1965)	35.47

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
SPT1	8.00	3.00-3.45	8.00	Schultze-Menzenbach	38.60
SPT2	100.00	8.00-8.04	100.00	Schultze-Menzenbach	452.60
SPT3	100.00	11.00-11.28	100.00	Schultze-Menzenbach	452.60

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
SPT1	8.00	3.00-3.45	8.00	Menzenbach e Malcev	73.68
SPT2	100.00	8.00-8.04	100.00	Menzenbach e Malcev	484.00
SPT3	100.00	11.00-11.28	100.00	Menzenbach e Malcev	484.00

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
SPT1	8.00	3.00-3.45	8.00	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
SPT2	100.00	8.00-8.04	100.00	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
SPT3	100.00	11.00-11.28	100.00	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' di Volume (t/m³)
SPT1	8.00	3.00-3.45	8.00	Terzaghi-Peck 1948	1.45
SPT2	100.00	8.00-8.04	100.00	Terzaghi-Peck 1948	1.95
SPT3	100.00	11.00-11.28	100.00	Terzaghi-Peck 1948	1.95

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' Volume Saturo (t/m³)
SPT1	8.00	3.00-3.45	8.00	Terzaghi-Peck 1948	1.90
SPT2	100.00	8.00-8.04	100.00	Terzaghi-Peck 1948	2.21
SPT3	100.00	11.00-11.28	100.00	Terzaghi-Peck 1948	2.21

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
SPT1	8.00	3.00-3.45	8.00	(A.G.I.)	0.34
SPT2	100.00	8.00-8.04	100.00	(A.G.I.)	0.15
SPT3	100.00	11.00-11.28	100.00	(A.G.I.)	0.15

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Prova (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
SPT1	8.00	3.00-3.45	8.00	Robertson e Campanella (1983)	445.35
SPT2	100.00	8.00-8.04	100.00	Robertson e Campanella (1983)	2084.06
SPT3	100.00	11.00-11.28	100.00	Robertson e Campanella (1983)	2084.06

#### 4. PROVE DI PERMEABILITA' TIPO LEFRANC

La prova è destinata a misurare la conducibilità idrica del terreno; a seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale ( $K_h$ ), quella verticale ( $K_v$ ) o una media tra le due ( $K_h \cdot K_v$ ).

Si esegue misurando gli assorbimenti di acqua, facendo filtrare quest'ultima attraverso un tratto di foro predeterminato. È una prova di permeabilità da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi, sotto falda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo avere saturato con acqua il terreno. Nel caso di terreni a conducibilità non elevata si esegue a carico idraulico variabile; a carico idraulico costante nel caso di una elevata conducibilità. Per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con tubo di rivestimento per tutto il tratto non interessato alla prova.

##### 4.1 Normativa di riferimento

A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (1977): Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche

##### 4.2 Modalità esecutive prove Lefranc

La prova è stata eseguita su un tratto filtrante cilindrico con metodo a carico idraulico variabile seguendo i seguenti steps:

- riempimento con acqua fino alla estremità del rivestimento (bocca pozzo);
- misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) a distanza di 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', 20', 25', 30', 45', 60' dall'inizio dell'abbassamento, fino all'esaurimento del medesimo o al raggiungimento del livello di falda.

Per la determinazione della permeabilità al di sopra del livello della falda freatica, le prove da eseguirsi vengono precedute da una fase di saturazione, da considerarsi conclusa quando si raggiunge, in condizioni di portata immessa costante, la stabilità del livello dell'acqua all'interno del foro. Tale fase di saturazione ha una durata non inferiore a 30 minuti

Le prove a carico variabile al di sotto del livello della falda vengono eseguite abbassando il livello dell'acqua nel foro di un'altezza nota e misurando la velocità di risalita del livello (prove di risalita), oppure riempiendo il foro d'acqua per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello (prova di abbassamento).

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) è stato determinato mediante la seguente formula:

Formula per il calcolo della permeabilità  
Raccomandazioni A.G.I.

$$K = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

K	coefficiente di permeabilità
A	area di base del foro
h <sub>1</sub> -h <sub>2</sub>	altezza colonna d'acqua ai tempi t <sub>1</sub> e t <sub>2</sub> rispetto al fondo
t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	tempi corrispondenti ad h <sub>1</sub> e h <sub>2</sub>
F	coefficiente di forma
valori suggeriti dalle raccomandazioni A.G.I.	
F=L	se L>>d
F = 2πd+L	se L< d
L	lunghezza tratto di prova
d	diametro tratto di prova
H <sub>0</sub>	altezza colonna d'acqua al t <sub>0</sub>

Di seguito si riportano in sintesi i risultati delle prove di permeabilità tipo “Lefranc” eseguite:

Sigla	Profondità sondaggio (m)	Tratto di prova (m da p.c.)	K - coeff. di permeabilità (cm/s)
S1+PZ Lefranc	15,00	4,50 – 5,50	0,00479
S2+PZ Lefranc	15,00	4,00 – 5,00	0,00121

**Tabella 1. Riassunto valori di permeabilità risultanti dall'elaborazione delle prove “Lefranc”**

Gli elaborati delle prove Lefranc sono riportati all'interno dell'Allegato 1 del presente documento.

# **PROVE DI PERMEABILITA' LEFRANC**

# ELABORAZIONE PROVA DI PERMEABILITA' - METODO LEFRANC - CARICO VARIABILE

**Committente** Dott. Geol. Domenico Feminò  
**Sigla sondaggio** S1+PZ  
**Data prova** 06/03/25  
**Tratto in prova** 4,5 - 5,5 m dal p.c.

**Località** Tornimparte (AQ)  
**n° prova** L 1

Profondità foro dal piano campagna (cm)	520
Profondità rivestimento dal p.c. (cm)	420
Lunghezza tratto filtrante (cm)	100
Altezza boccapozzo da p.c. (cm)	30
Altezza colonna d'acqua da fondo foro a bocca pozzo (cm)	550
Diametro tratto filtrante (cm)	10,1

Prova in abbassamento

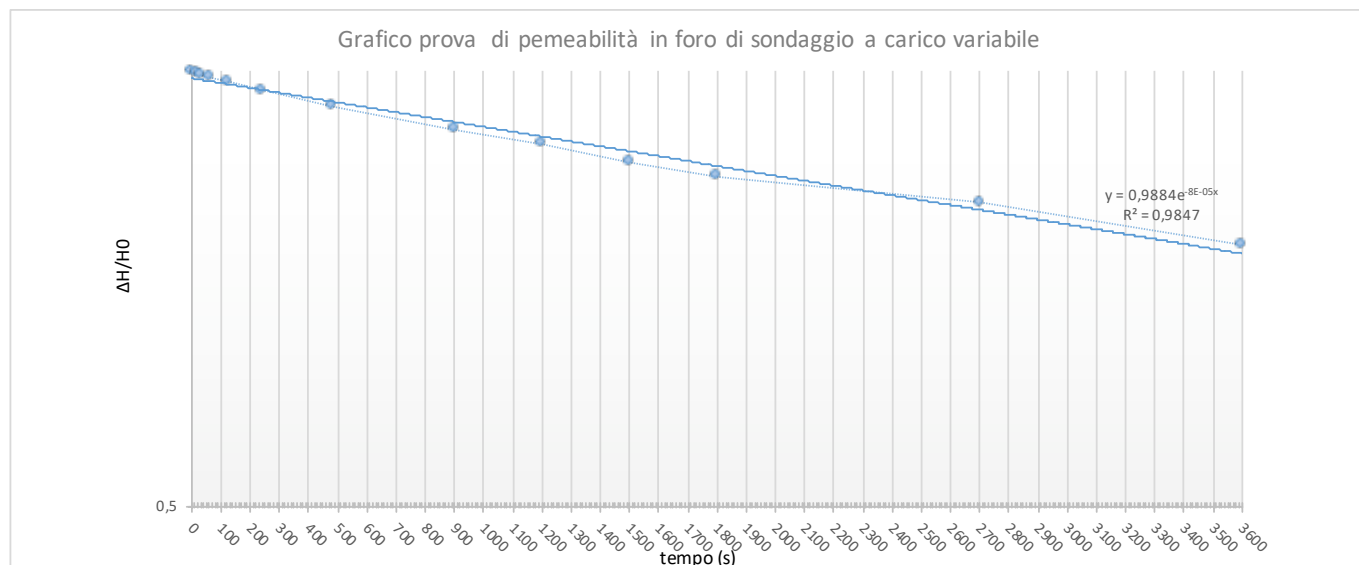
L (cm)	d (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	H0 (cm)	F
100	10,1	80,078	550	100

Intervallo		Abbassamenti da bocca foro	Altezza H2O rispetto a fondo foro	Rapporto abbassamenti e altezza H2O al t0	Permeabilità intervallare	
minuti	secondi	h (cm)	ΔH=H0-h	ΔH/H0	K cm/s	K m/s
0	0	0	550	1	--	--
0,25	15	2	548	0,9963636	0,0116689	1,17E-04
0,5	30	3,5	546,5	0,9936364	0,0087797	8,78E-05
1	60	5,5	544,5	0,99	0,0058719	5,87E-05
2	120	9	541	0,9836364	0,005164	5,16E-05
4	240	17	533	0,9690909	0,0059649	5,96E-05
8	480	30	520	0,9454545	0,0049433	4,94E-05
15	900	49	501	0,9109091	0,0042582	4,26E-05
20	1200	60	490	0,8909091	0,0035556	3,56E-05
25	1500	74	476	0,8654545	0,0046425	4,64E-05
30	1800	85	465	0,8454545	0,0037445	3,74E-05
45	2700	104	446	0,8109091	0,0022271	2,23E-05
60	3600	133	417	0,7581818	0,0035892	3,59E-05

Formula per il calcolo della permeabilità  
 Raccomandazioni A.G.I.

$$K = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

K	coefficiente di permeabilità
A	area di base del foro
h1-h2	altezza colonna d'acqua ai tempi t1 e t2 rispetto al fondo
t1-t2	tempi corrispondenti ad h1 e h2
F	coefficiente di forma
valori suggeriti dalle raccomandazioni A.G.I.	
F=L	se L>>d
F = 2πd+L	se L<d
L	lunghezza tratto di prova
d	diametro tratto di prova
H0	altezza colonna d'acqua al t0



Permeabilità media	
cm/s	m/s
0,00479	4,79E-05

## ELABORAZIONE PROVA DI PERMEABILITA' - METODO LEFRANC - CARICO VARIABILE

**Committente** Dott. Geol. Domenico Feminò  
**Sigla sondaggio** S2+PZ  
**Data prova** 07/03/25  
**Tratto in prova** 4,0 - 5,0 m dal p.c.

**Località** Tornimparte (AQ)  
**n° prova** L 1

Profondità foro dal piano campagna (cm)	470
Profondità rivestimento dal p.c. (cm)	370
Lunghezza tratto filtrante (cm)	100
Altezza boccapozzo da p.c. (cm)	30
Altezza colonna d'acqua da fondo foro a bocca pozzo (cm)	500
Diametro tratto filtrante (cm)	10,1

Prova in abbassamento

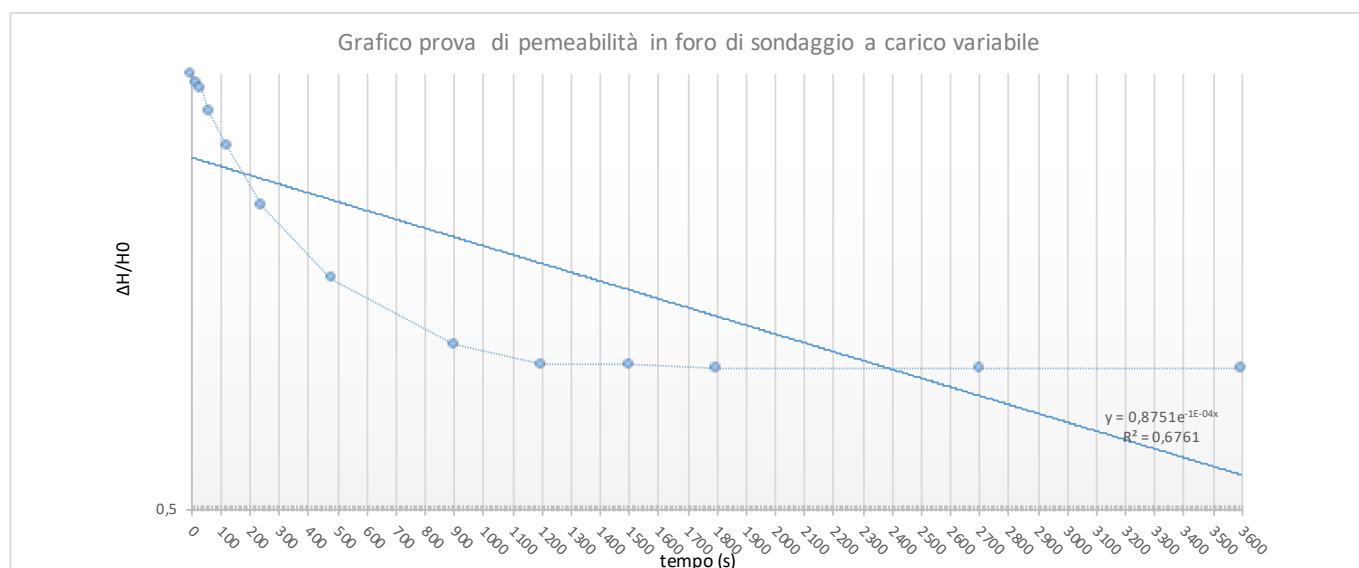
L (cm)	d (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	H0 (cm)	F
100	10,1	80,078	500	100

Intervallo		Abbassamenti da bocca foro	Altezza H2O rispetto a fondo foro	Rapporto abbassamenti e altezza H2O al t0	Permeabilità intervallare	
minuti	secondi	h (cm)	ΔH=H0-h	ΔH/H0	K cm/s	K m/s
0	0	0	500	1	--	--
0,25	15	7	493	0,986	0,0451605	4,52E-04
0,5	30	11	489	0,978	0,0260948	2,61E-04
1	60	29	471	0,942	0,0600654	6,01E-04
2	120	54	446	0,892	0,0436738	4,37E-04
4	240	95	405	0,81	0,0386103	3,86E-04
8	480	139	361	0,722	0,0230242	2,30E-04
15	900	175	325	0,65	0,0120177	1,20E-04
20	1200	185	315	0,63	0,0050053	5,01E-05
25	1500	185	315	0,63	0	0,00E+00
30	1800	187	313	0,626	0,0010201	1,02E-05
45	2700	187	313	0,626	0	0,00E+00
60	3600	187	313	0,626	0	0,00E+00

Formula per il calcolo della permeabilità  
 Raccomandazioni A.G.I.

$$K = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

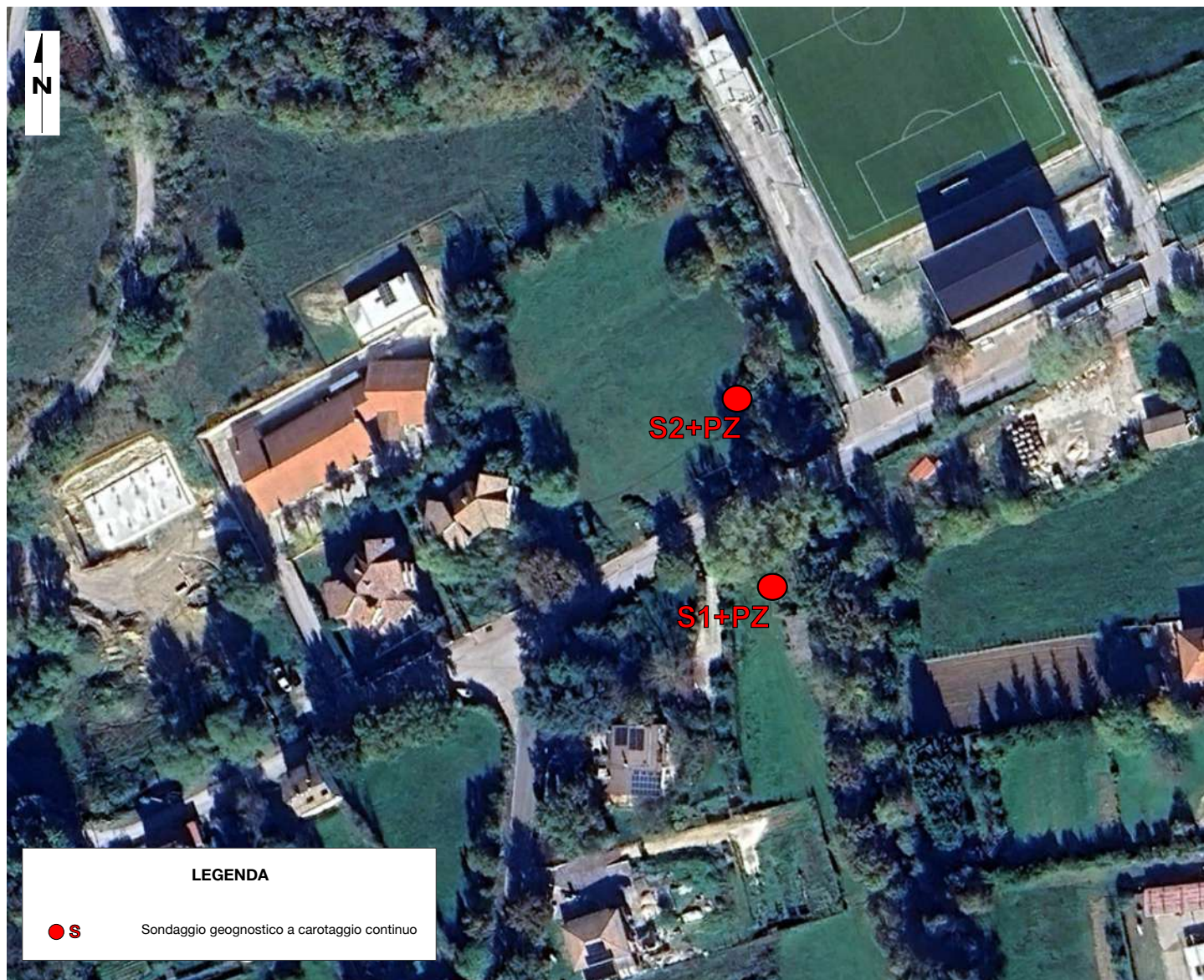
K	coefficiente di permeabilità
A	area di base del foro
h1-h2	altezza colonna d'acqua ai tempi t1 e t2 rispetto al fondo
t1-t2	tempi corrispondenti ad h1 e h2
F	coefficiente di forma
valori suggeriti dalle raccomandazioni A.G.I.	
F=L	se L>>d
F = 2πd+L	se L<d
L	lunghezza tratto di prova
d	diametro tratto di prova
H0	altezza colonna d'acqua al t0




Permeabilità media	
cm/s	m/s
0,00121	1,21E-05


## **UBICAZIONE INDAGINI**

# UBICAZIONE INDAGINI





**REGIONE ABRUZZO**  
**PROVINCIA DELL'AQUILA**  
**COMUNE DI TORNIMPARTE**



*"Interventi di messa in sicurezza del territorio a rischio di dissesto idrogeologico del Bacino del Raio in località Palombaia"*

---

## ALLEGATO 2

---

**Committente:**

**Dott. Geol. Domenico Femino**


**Geologo:**

**Geologo incaricato mandante in RTP:**


**Progettista:**

**Dott. Geol. Domenico Femino**

REV	DATA
00	17/03/2025



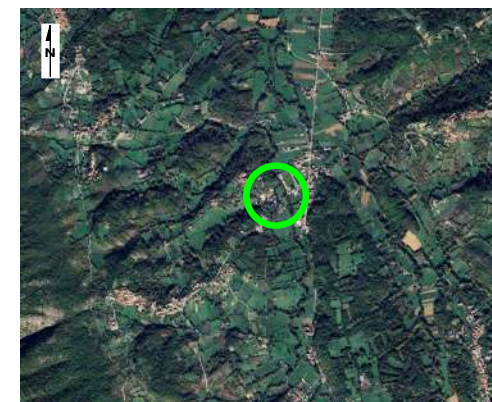
AURELI SOIL S4  
 SE 81 Montorio (Cava d'Aliphan) - 67077 Poggio (AQ)  
 C.F. e P.IVA 01700000666 Cod. Unico MUXCR1  
 Tel. 0862 98461 - 0862 42047  
 info@aureli.it - aureli@pec.aureli.it - www.aureli.it  
 Laboratorio Autorizzato Settore di Proiezione e strutture in calcestruzzo armato normale,  
 precompresso e muratura - Circolare n. 615/STC del 01/12/2019



DAR  
 Dipartimento di Architettura e Restauro  
 Università degli Studi dell'Aquila

**AURELI SOIL**

**Coordinate medie del sito d'indagine**  
**WGS 84 Gradi decimali**  
**N 42.324869° E 13.280497°**



# **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

**S1+PZ**



**S2+PZ**

