



## FONDAZIONE ORDINE MAURIZIANO

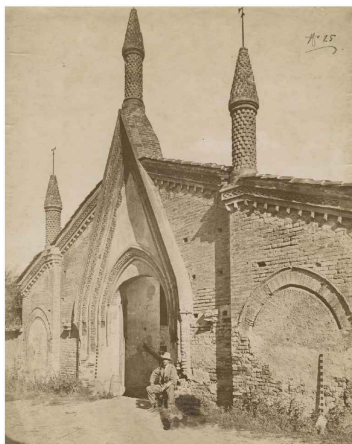
sede legale via Magellano n. 1 - 10128 Torino - pec: fondazione@pec.ordinemauriziano.it

### Restauro e Riqualificazione funzionale degli edifici dell'"Ospedaletto" e di "Cascina Bassa" appartenenti al complesso monumentale di Sant'Antonio di Ranverso

CIG B259E6E9D4

CUP B88D23000020006

Barrà Giovanni Batista (notizie 1871 - 1911)  
albumina / carta - Archivio Fotografico SABAP\_TO



Responsabile Unico  
del Procedimento

Arch. Luigi VALDEMARIN

## Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica

Novembre 2024

capogruppo mandataria  
progettazione architettonica

studio associato  
FRATERNALI QUATTROCCOLO  
architetti

corso C. G. Allamano 40/11c - 10136 - Torino

progettazione architettonica

Prof. Ing. Carlo OSTORERO  
Ing. Stefano GHEDIN  
Ing. Andrea MIRABILE

progettazione architettonica  
restauratrice

Arch. Paolo Mauro SUDANO - Arch. Mara LIUZZI  
Dott.ssa Barbara RINETTI

opere del verde

Studio Associato VIGETTI MERLO (Dott. Agr. Francesco MERLO)

strutture

Studio Ing. Marcello CONCAS e Associati

geologia

Studio Associato S.R.G. (Dott. Geol. Michele DE RUVO)

impianti

PROECO s.s. (Ing. Giuseppe BONFANTE)

sostenibilità

ONLECO s.r.l. (Ing. Giuseppe BONFANTE)

giovani professionisti

Ing. Simone GRAMAGLIA

Ing. Simona SANTOLERI

Arch. Danilo IANNETTI

consulente archeologia

Dott. Mauro CORTELAZZO

codice elaborato

DOC.05

titolo elaborato

RELAZIONE GEOLOGICA

n. / data / revisione

01 / 11.11.2024 / emissione

Localizzazione:

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI TORINO

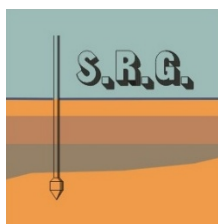
COMUNE DI BUTTIGLIERA ALTA

Committente:

FONDAZIONE ORDINE  
MAURIZIANO

Oggetto:

RESTAURO E RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE DEGLI  
EDIFICI DELL' "OSPEDALETTO" E DI "CASCINA BASSA"  
APPARTENENTI AL COMPLESSO MONUMENTALE DI  
SANT'ANTONIO DI RANVERSO,  
VARIANTE P.F.T.E.,  
CUP B88D23000020006 CIG B259E6E9D4



INDAGINI IN SITU E DI LABORATORIO  
GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE

Studio associato dr. Michele De Ruvo e dr. Pier Augusto Favole:  
Vicolo Salzea n.24 - 10028 TROFARELLO (TO)  
Tel-fax 011-6490619  
[www.rilievigeologiatecnica.it](http://www.rilievigeologiatecnica.it) [srg@fastwebnet.it](mailto:srg@fastwebnet.it)

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA,  
SISMICA  
E GEOTECNICA

Timbro e firma:



Riferimenti:

87-24/87-1896/dr

Revisione n. 0

Collaboratore:

dr.geol. Chiono Daniela

Data:

28/10/24

La riproduzione, anche parziale, del presente elaborato mediante mezzi elettronici, meccanici o altri non è consentita senza l'autorizzazione scritta dell'autore. Ogni abuso sarà perseguito a termini di legge.

## INDICE

### PARTE PRIMA - RELAZIONE GEOLOGICA

1. PREMESSA .....	4
2. INQUADRAMENTO GENERALE .....	4
2.1 Ubicazione .....	4
2.2 Inquadramento Geologico-Geomorfologico .....	5
2.3 Inquadramento idrogeologico .....	7
2.4 Modello geologico .....	8
3. NORMATIVA SISMICA .....	8
4. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	9

### PARTE SECONDA - RELAZIONE GEOTECNICA

1. STUDI E INDAGINI .....	11
1.1 Indagini dirette in sito .....	11
1.2. Indagini indirette di tipo geofisico .....	11
2. MODELLO GEOTECNICO .....	13
3. TIPOLOGIA DELLE OPERE, DATI COSTRUTTIVI SULL'ESISTENTE E DATI DISPONIBILI IN ZONA .....	14
4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	14
5. CONSIDERAZIONI GEOLOGICO-TECNICHE .....	16
6. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	17

### Allegati

- All.n. 1 Inquadramento geografico ed ubicazione del sito su C.T.R. e BDTRE 21 (a) e ortofoto AGEA 2021 (b)
- All.n. 2 Inquadramento geologico su Carta Geologica d'Italia F. 155 Torino Ovest scala 1:50000 (a), estratto carta geologica dell'Anfiteatro di Avigliana - Rivoli (b)
- All.n. 3 Estratto carta di sintesi PRGC (a), Carta PGRA (b), carta PAI (c)
- All.n. 4 Ubicazioni indagini in sito
- All.n. 5 Diagrammi Prove SCPT (a-b-c) e documentazione fotografica (d)
- All.n. 6 Indagine sismica MASW
- All.n. 7 Rilievo sismico a rifrazione

# PARTE PRIMA

## RELAZIONE GEOLOGICA



## 1. Premessa

Il presente Studio geologico-tecnico è stato redatto in conformità alla normativa tecnica vigente (D.M. 17/1/18 "Norme tecniche per le costruzioni" e la relativa Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici e D.M. LL.PP. 11/3/88 n°127 con circolari attuative M.LL.PP. 24/9/88 n.30483 e P.G.R. 18/5/90 n.11/PRE, O.P.C.M. n.3274/2003) ed ai fini della redazione del progetto di parziale revisione in variante, aggiornamento e redazione del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica per il *"Restauro e riqualificazione funzionale degli edifici dell'Ospedaletto e di Cascina Bassa appartenenti al complesso monumentale di Sant'Antonio di Ranverso"* sito in Buttigliera Alta (TO).

Per la presente fase di supporto geologico-tecnico alla stesura del progetto, si sono utilizzati i dati del rilevamento geologico-geomorfologico dell'area nonché i dati geognostici derivanti da indagini effettuate in sito il 18/10/2024.

L'attività si è articolata nei seguenti punti:

- esame della documentazione disponibile in letteratura e presso archivi pubblici in merito all'argomento, alla situazione geologica generale e alla situazione stratigrafica locale;
- rilievo geomorfologico dell'area in data 18/10/24;
- acquisizione dati relativi a n. 3 Prove Penetrometriche Dinamiche SCPT, un'indagine sismica MASW e a rifrazione effettuate in data 18/10/24;
- modello geologico e caratterizzazione litologica dei terreni di fondazione;
- verifica delle condizioni di stabilità dell'area;
- caratterizzazione idrogeologica;
- considerazioni tecniche sulle opere in fase di progettazione architettonica.

Vengono di seguito riportate le fonti delle notizie geologico-tecniche ed idrogeologiche, relative alla zona in oggetto, ritenute fondamentali alla stesura del Progetto, desunte dalla letteratura scientifica disponibile o estratti da archivi pubblici.

Esse si riferiscono in particolare alla documentazione bibliografica relativa alle condizioni geologiche ed idrogeologiche dell'area urbana di Buttigliera Alta:

1. Carta geologica (successivamente citata) e relative Note illustrative;
2. Banca dati Geologia e processi di dissesto di A.R.P.A. Piemonte;
3. Elaborati di P.R.G.C. vigente.

## 2. Inquadramento generale

### 2.1 Ubicazione

L'area in oggetto è situata nella parte Est del territorio comunale, in prossimità del confine con il Comune di Rosta.

Si tratta di un complesso storico il cui nucleo risale al XII secolo, rimaneggiato e ampliato nei secoli successivi, inserito in una zona a vocazione agricola. Il cuore del complesso della Precettoria è la Chiesa e completano la struttura la Sagrestia e il Chiostro. Le costruzioni vicine costituiscono il concentrico, cioè il centro dell'antica vita di Ranverso. Qui il luogo più importante era l'Ospedale, o Spedale, di cui oggi è ancora possibile ammirare la facciata con decorazioni in terracotta del XV secolo. Oltre agli edifici religiosi, il complesso vede numerosi fabbricati a fini agricoli, in buona parte in disuso.

Da un punto di vista morfologico l'area si presenta generalmente subpianeggiante, al margine delle colline moreniche sottese all'abitato di Rosta e Buttigliera Alta, con debole declivio verso Nord, in direzione del F. Dora Riparia; la quota media sul livello del mare della zona è di circa 340 m.

Essa è compresa cartograficamente nel Foglio n.155100 della Carta Tecnica Regionale del Piemonte (in all.n.1a alla scala 1:100000) e nel Foglio n°56 "Torino" scala 1:100000 della Carta Geologica d'Italia e nel Foglio 155 "Torino Ovest" scala 1:50000 (all.2).

Le coordinate WGS84 del baricentro dell'area sono 45,0813 N - 7,4484 E.

La classe di rischio geomorfologico attribuita all'area nella Carta di Sintesi della Pericolosità geomorfologica allegata al vigente P.R.G.C. è la **Classe IIb**, relativa a *"porzioni di territorio dove le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere superate con interventi tecnici realizzabili a livello di progetto esecutivo nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo circostante – territorio condizionato dalla presenza di falda superficiale o ristagno d'acqua per difficoltà di drenaggio"* (all.n. 3).

## 2.2 Inquadramento Geologico-Geomorfologico

Il territorio di Buttigliera Alta fa parte della bassa Valle di Susa, ovvero rientra nel tratto compreso tra l'abitato di Susa e lo sbocco nell'Alta pianura piemontese. Nel Pliocene inferiore la parte bassa della valle era ancora invasa dal mare. Il ritiro di quest'ultimo è stato seguito, nel Pliocene medio e nel Pleistocene inferiore, dalla deposizione di una potente successione di depositi di ambiente da paludoso-costiero a fluviale ("facies Villafranchiana"). I ghiacciai quaternari hanno cominciato la loro evoluzione a partire dalla superficie di accumulo di questa successione: il loro progressivo approfondimento erosionale ha portato alla riescavazione dell'incisione valliva in maniera grossomodo coassiale rispetto a quella originaria Oligo-Miocenica, con la conseguente pressoché totale asportazione della sequenza Pliocenica, conservata, invece, allo sbocco vallivo nel substrato dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana. Le tracce del glacialismo sono ben riconoscibili nelle diffuse forme e nei depositi localmente ben conservati, presenti su entrambi i fianchi della valle.

Da un punto di vista geologico, la bassa Valle di Susa si inserisce all'interno della serie di falde e ricoprimenti che costituiscono la catena alpina ed in particolare delle unità oceaniche e di fossa (Zona Piemontese Auct.). Le Unità Oceaniche e di Fossa affiorano sia in destra che in sinistra orografica della Dora Riparia e del Chisone con una prevalenza nel versante sinistro della Val di Susa e sono sovrapposte strutturalmente alle unità del Dora-Maira e dell'Ambin.

Le Unità Oceaniche sono costituite da rocce di natura basica (metagabbri e metabasiti) e ultrabasica (serpentiniti) riferibili al substrato del bacino della Tetide, e da metasedimenti ad esse associati (calcescisti s.l.). Entro questo insieme sono state distinte tre unità: *"Unità tettono-metamorfica del Rocciavré"*; *"Unità tettono-metamorfica bassa Val di Susa-Valli di Lanzo-Monte Orsiera"*; *"Unità tettono-stratigrafica dell'Albergian"*.

Allo sbocco della Valle di Susa nell'alta pianura piemontese le ripetute oscillazioni del ghiacciaio principale hanno portato alla costruzione dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana. La revisione di questo importante apparato, effettuata recentemente nel corso dei rilievi il progetto CARG, ha portato al riconoscimento di diverse fasi, protrattesi da un momento non meglio precisabile del Pleistocene inferiore fino alla fine del Pleistocene superiore. Nel settore prossimale dell'anfiteatro le diverse unità appaiono in rapporto di modesto terrazzamento le une nelle altre, a conferma del progressivo approfondimento erosionale operato dal ghiacciaio durante la sua lunga attività.

I depositi morenici costituiscono dei potenti cordoni, prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi localmente argillosi e talora con lembi di paleosuoli rossastro, più raramente cementati, noti come Morenico Mindel e Morenico Riss, di età Quaternaria. Essi sono sovrapposti sulla serie di falde e ricoprimenti che costituiscono la catena alpina, in particolare del complesso del Massiccio Ultrabasico di Lanzo, ed accompagnati dalle formazioni di origine fluvioglaciale note come Fluvioglaciale Mindel e Fluvioglaciale Riss.

I depositi dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana sono stati attribuiti a sei complessi, ciascuno legato ad una determinata fase glaciale. Il substrato cristallino affiorante al di sotto dei depositi glaciali è conosciuto in letteratura con il nome di "complesso ultrabasico di Monte Cuneo" ed emerge dai depositi continentali che lo circondano in probabile continuità strutturale con la fascia ultrabasica "*Pian della Mussa - M. Civrari - S. Ambrogio*".

La situazione geologica di dettaglio nell'area in esame, è caratterizzata secondo la carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000 (progetto CARG F. 155 Torino Ovest – all.n.2a) dalla presenza in superficie di depositi fluviali recenti (Olocene-attuale) da cui emergono lembi relitti di origine morenica e di depositi lacustri intra-morenici. Si tratta in particolare del "Sintema di Magnoletto, subsintema di Truc del Prà, ovvero, sabbie siltose stratificate e deformate, molto debolmente alterate (AML2e) e del "Sintema di Palazzolo – Subsistema di Crescentino", costituita da depositi fluvio-torrentizi ghiaioso ciottolosi "clast supported" con matrice sabbioso-siltosa e frequente presenza di blocchi (CSN2b).

A distanza di soli 10 anni dalla pubblicazione del Foglio "Torino Ovest", la realizzazione di nuovi sondaggi geognostici, la sistematica raccolta di stratigrafie di sondaggi e pozzi per acqua e le nuove datazioni  $^{14}\text{C}$  effettuate su sedimenti lacustri/glacio-lacustri hanno consentito di effettuare una radicale e approfondita revisione dell'anfiteatro, consentendo di mettere in luce aspetti del tutto inediti inerenti all'architettura stratigrafica e la dinamica glaciale. Così come meglio specificato nello studio del CNR "*Disentangling the stratigraphic architecture of the Rivoli-Avigliana end moraine system (Western Alps, NW Italy)*" (Fiorano et al, 2021).

Nell'area di Buttigliera-Rosta, al di sotto dei sistemi morenici di superficie le indagini di sottosuolo hanno messo in evidenza la presenza di almeno 3 complessi lacustri (o glacio-lacustri?) sepolti, alcuni dei quali potenti svariate decine di metri e con estensione di alcuni chilometri quadrati, formati a seguito del riempimento delle depressioni intra-moreniche che via via si sviluppavano al termine delle singole glaciazioni. La loro presenza è legata alla progressiva diminuzione della capacità di erosione della base del ghiacciaio allontanandosi dall'asse di deflusso principale, approssimativamente coincidente con la direttrice S. Ambrogio - Avigliana - Ferriera.

In particolare, l'area su cui sorge il complesso monumentale di Sant'Antonio di Ranverso è riconducibile alle morene relative alle fasi di ritiro glaciale posteriori all'LGM (Last Glacial Maximum, 30-18.000 anni BP) definito come il Subsintema di S. Antonio di Ranverso (A2 nella seguente fig. 1).

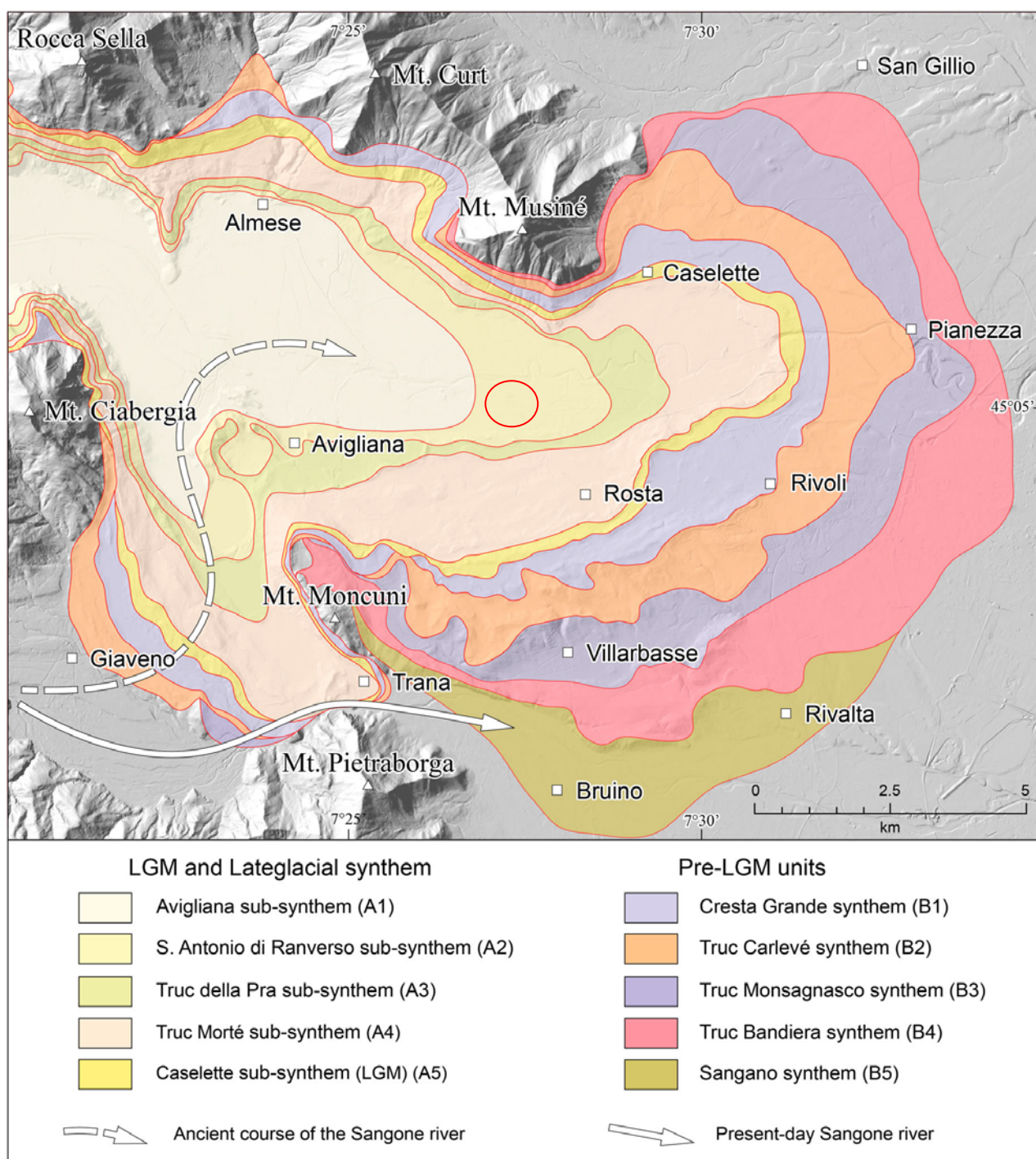


Fig 1 . Configurazioni della fronte del ghiacciaio della Dora Riparia nel corso delle glaciazioni pleistoceniche. Le linee bianche tratteggiate e continue indicano rispettivamente i tracciati del T. Sangone prima e dopo le fasi di espansione glaciale (Fioraso et al, 2021)

## 2.3 Inquadramento idrogeologico

Dal punto di vista idraulico, l'area si pone in destra idrografica del F. F.ora Riparia, il cui alveo è presente a c.ca 850 m a Nord. All'interno del complesso monumentale, poco a Sud della Cascina Bassa (c.ca 45 m), è presente il Canale di Rivoli.

Da un punto di vista idrogeologico, questo settore è caratterizzato dalla presenza del

“Complesso dei Depositi Glaciali” che, in generale, risulta scarsamente permeabile, o impermeabile. Esso può ospitare locali falde sospese o confinate, nei depositi più grossolani, con portate modeste, in ogni caso difficilmente comunicanti con la falda regionale.

Durante le indagini in sito è stato riscontrato un livello idrico solo nella prova P1 a circa -2,7 m, ma tale livello non è correlabile con il livello rinvenuto nel pozzo esistente ubicato nel locale interrato dell'Ospedaletto, il quale si presenta completamente asciutto (fondo a quota -3,6 m).

## 2.4 Modello geologico

In base ai risultati delle indagini in sito e di archivio disponibili, la stratigrafia dell'area si presenta relativamente omogenea ed evidenzia la presenza, al di sotto di una coltre di depositi fini lacustri, di depositi fluvioglaciali ghiaiosi immersi in una matrice sabbioso limosa interdigitati con depositi morenici di fondo.

Trattandosi di un contesto morenico, durante le operazioni di scavo e prima dell'esecuzione dei getti in ca, andrà verificata la natura del materiale a livello di fondazione. In via cautelativa, per la modellizzazione geotecnica, la stratigrafia può essere rappresentata, a partire dal piano campagna, dai seguenti livelli:

- Livello 1: da p.c. a -0,3÷0,6 m terreno vegetale/riporto;
- Livello 2: da -0,3÷0,6 m a -2,4÷3,9 m, depositi lacustri limoso-sabbiosi, poco addensati;
- Livello 3: oltre -2,4÷3,9 m, depositi fluvioglaciali ghiaiosi in matrice sabbiosa, interdigitati con depositi morenici fini di fondo in profondità.

Nel corso delle indagini, non è stata riscontrata la presenza di acqua fino alla profondità indagata, tranne che nella P1, però si sospetta che tale livello non sia attribuibile ad una vera falda ma sia dovuta ad un vicino pozzo perdente in disuso.

Non si esclude, tuttavia, la possibilità che si originino, in occasione di precipitazioni intense, falde sospese e temporanee nei primi metri e/o ristagni superficiali, dovuti a differenze di permeabilità locali e alla difficoltà di infiltrazione superficiale.

## 3. Normativa sismica

Il territorio comunale di Buttiglieria Alta si caratterizza per un livello di sismicità medio-basso.

La nuova classificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n.3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'8 maggio 2003) modificata dalla mappatura approvata con D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 è articolata in quattro zone. Le prime tre corrispondono alle aree con sismicità alta, media e bassa, mentre la zona 4 è di nuova introduzione; in questo modo tutti i comuni italiani rientrano in una delle quattro categorie, eliminando l'idea comune che i territori non classificati siano certamente privi di rischi sismici.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6-887 - OPCM 3519/2006. Presa d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte, di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 657656 è stato recentemente rivista la classificazione dell'intero territorio della Regione Piemonte.

Secondo la suddetta classificazione il comune di Buttiglieria Alta rientra nel grado medio alto, denominato **Zona sismica n. 3**: a tale classificazione corrisponde un valore dell'accelerazione orizzontale massima del suolo (frazione dell'accelerazione di gravità con probabilità di superamento del 10 % in 50 anni)  $a_g/g$   $0.100g \div 0.125g$ .

Un maggior dettaglio sulla **Pericolosità sismica di base** si ottiene utilizzando la normativa recentemente entrata in vigore, compresa nelle "Norme tecniche per le costruzioni" (D.M. 17/1/18) che, sulla base dei parametri di input quali le Coordinate geografiche del sito (per agganciarsi a 4 punti del reticolo di riferimento nazionale), Vita nominale, Classe d'uso e Vita di riferimento (sopra riportati), consente di ricavare i seguenti valori dei parametri sismici di base per i diversi Stati limite previsti:

Stato Limite		P <sub>VR</sub>	T <sub>R</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub> *
SLE	Operatività	81%	30	<b>0,310</b>	<b>2,48</b>	<b>0,20</b>
	Danno	63%	50	<b>0,387</b>	<b>2,54</b>	<b>0,21</b>
SLU	Salv. Vita	10%	475	<b>0,924</b>	<b>2,56</b>	<b>0,27</b>
	Collasso	5%	975	<b>1,175</b>	<b>2,56</b>	<b>0,28</b>

Sulla base dei parametri riportati in tabella nonché sulla base dell'individuazione della categoria di sottosuolo mediante le indagini effettuate e sulla base dei dati di archivio, la parametrizzazione sismica del sito verrà successivamente completata con l'individuazione del valore dello Spettro di risposta elastica del terreno (S) e dei valori di T<sub>b</sub>, T<sub>c</sub>, T<sub>D</sub>, F<sub>v</sub>.

#### 4. Conclusioni e raccomandazioni

Lo studio dell'area in oggetto e delle opere previste ha evidenziato quanto segue:

- data la morfologia subpianeggiante della zona non sono ipotizzabili fenomeni dissestivi che investano il substrato stesso;
- sulla base dei dati di archivio la dinamica fluviale non ha storicamente interferito con l'assetto del sito né vi è la probabilità che ciò avvenga in futuro;
- non vi sono dati inerenti la falda freatica e considerato il contesto morenico, è lecito supporre che i depositi risultino scarsamente permeabili, o impermeabili. È comunque possibile l'instaurarsi di locali falde sospese o confinate, nei depositi più grossolani, con portate modeste, in ogni caso difficilmente comunicanti con la falda regionale;
- l'area, dal punto di vista geomorfologico è stata classificata in **Classe IIb**;
- geologicamente siamo in presenza, al di sotto di una coltre di depositi fini lacustri, di depositi fluvioglaciali ghiaiosi immersi in una matrice sabbioso limosa interdigitati con depositi morenici di fondo.

L'esame condotto nei capitoli precedenti permette quindi di esprimere un giudizio positivo circa la fattibilità dell'intervento edificatorio in progetto, fatti salvi i risultati e le prescrizioni riportate nella presente relazione.

il tecnico incaricato  
dr. geol. Michele De Ruvo  
S.R.G. Studio associato



# PARTE SECONDA

## RELAZIONE GEOTECNICA

## 1. Studi e indagini

L'attività si è articolata nei seguenti punti:

- esame della documentazione disponibile in letteratura e presso archivi pubblici in merito all'argomento, alla situazione geologica generale e alla situazione stratigrafica locale;
- rilievo geomorfologico dell'area in data 18/10/24;
- acquisizione dati relativi a n. 3 Prove Penetrometriche Dinamiche SCPT, un'indagine sismica MASW e a rifrazione effettuate in data 18/10/24.
- modello geologico e caratterizzazione litologica dei terreni di fondazione;
- verifica delle condizioni di stabilità dell'area;
- caratterizzazione idrogeologica;
- considerazioni tecniche sulle opere in fase di progettazione architettonica.

### 1.1 Indagini dirette in sito

Il rilievo geologico e geomorfologico è stato svolto il giorno 18 ottobre c.a. e la situazione riscontrata indica la presenza, al di sotto di una coltre di terreno vegetale misto a locale riporto, di spessore variabile da 30 a 60 cm, di depositi fluviolacustri sabbioso-siltosi, passanti a terreni fluvioglaciali, con ghiaie immerse in una matrice sabbioso limosa.

I punti di indagine sono stati individuati in posizione baricentrica rispetto alle opere da realizzare (all.n.4 a-b), nella tabella sottostante sono riportate le relative profondità raggiunte dalle indagini:

Tabella 1

<i>Sigla punto di indagine</i>	<i>Tipologia indagine</i>	<i>Profondità raggiunta</i>	<i>Profondità relativa p.c.</i>
P 1	SCPT	-4,2 m	-0,0 m
P 2	SCPT	-1,8 m	-0,8 m
P 3	SCPT	-3,0 m	-0,0 m

La prova penetrometrica dinamica SCPT consiste nell'infissione di una punta conica ( $\varnothing$  51 mm, conicità 60°) collegata ad una batteria di aste ( $\varnothing$  34 mm) tramite una massa battente di 73.5 Kg con caduta libera di 75 cm; durante le prove vengono contati e poi diagrammati i colpi del maglio necessari ad infiggere di 30 cm la punta conica. L'attrezzatura usata, montata su carro semovente cingolato, è oleodinamica ed automatica in modo da garantire la costante altezza di caduta del maglio.

Le prove SCPT sono state spinte sino ad ottenere il rifiuto alla penetrazione, ed il relativo diagramma è illustrato nello specifico profilo penetrometrico (all.n.6 a-b-c) l'allegato n. 6d documenta fotograficamente le indagini effettuate.

### 1.2. Indagini indirette di tipo geofisico

#### 1.2.1 INDAGINI MASW

Le indagini indirette sono state condotte il giorno 18 ottobre 2024 e sono state realizzate in posizione baricentrica rispetto ai fabbricati dell'Ospedaletto, parallelamente al lato lungo del



fabbricato a tettoia esistente, e sono consistite in un'indagine geofisica eseguita con metodologia MASW, con lo scopo di verificare la risposta sismica del suolo sulla superficie ove è prevista l'edificazione delle strutture ed in particolare di rilevare la velocità delle onde superficiali, in modo da poter definire il parametro  $V_{s30}$ , secondo quanto definito nell'OPCM 3274 del 20 marzo 2003 e successivamente nel nuovo Testo Unico Norme Tecniche per le costruzioni, tramite la prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), nonché l'individuazione del bedrock.

Tramite la prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) vengono misurate le velocità sismiche delle onde superficiali a diverse frequenze. La variazione di velocità a diverse frequenze (dispersione) è imputabile prevalentemente alla stratificazione delle velocità delle onde S, i cui valori sono ricavabili da una procedura di inversione numerica.

La prova è consistita nel rilevare, attraverso uno stendimento di 24 geofoni posizionati con passo pari a 1.5 m, le onde sismiche generate artificialmente ai bordi dello stendimento geofonico stesso (la posizione dello stendimento è mostrato nella planimetria allegata - n.4). Le onde di superficie sono state generate con una massa battente (mazza da 10 kg).

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

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Come illustrato nell'allegato n.7, il profilo delle velocità delle onde di taglio (grafico delle velocità delle onde di taglio verso profondità) evidenzia dal punto di vista sismo-stratigrafico una sequenza litotipica composta verosimilmente da due livelli sismici fondamentali:

1. un livello superficiale, fino a circa 1,8 m dal p.c., costituito da depositi scarsamente addensati ( $V_s$  circa pari a 175.1 m/s);
2. da 1,8 m dal p.c. fino a 7,60 m, depositi mediamente addensati con  $V_s = 305$  m/s;
3. oltre 7,6 m, depositi addensati con  $V_s > 450$  m/s.

Il valore medio calcolato sullo spessore di 30 m ( $V_{s30}$ ) è risultato pari a **387,58 m/s**: tale valore equivale ad un suolo di **classe "B"**.

#### 1.2.2. INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

Le indagini geofisiche indirette, mediante rifrazione sismica, sono state condotte il giorno 18 ottobre c.a. e sono state effettuate in sequenza parallelamente al fabbricato "Cascina Bassa" nel cortile a Sud.

Il rilievo sismico a rifrazione di onde P è un metodo di indagine basato sulla misura dei tempi di percorso che le onde elastiche, generate nel terreno in un punto-sorgente, impiegano per raggiungere dei ricevitori (geofoni) disposti sulla superficie del terreno ed allineati con il punto di energizzazione. La distanza tra i geofoni e quella del punto di energizzazione sono scelte in base allo spessore ed ai tipi di materiale che si vogliono indagare.

Le onde elastiche che si propagano in profondità e vengono in parte deviate (rifratte) lungo l'interfaccia che separa due mezzi a differente impedenza acustica ( $V_1$ ,  $V_2$ ) ed in parte proseguono verso il basso finché l'energia viene completamente assorbita dal mezzo in cui si propaga. L'effetto

di queste onde è la formazione di vibrazioni che vengono captate da sensori posti sulla superficie, generalmente elettromagnetici, in grado di trasformare la sollecitazione meccanica, che subisce la massa mobile del magnete, in un segnale elettrico che, debitamente amplificato, viene riprodotto su monitor e memorizzato su supporto informatico.

Con i tempi di percorso rilevati mediante i geofoni e le distanze degli stessi dai punti di energizzazione si tracciano dei diagrammi tempi-distanze (dromocrone) che permettono di calcolare sia la velocità di propagazione delle onde di compressione P, sia la profondità e lo spessore dei terreni che sono stati attraversati dalle onde sismiche. L'interpretazione delle dromocrone consente di ricavare delle sezioni sismiche che schematizzano la distribuzione della velocità in funzione della profondità.

Dall'analisi delle dromocrone è possibile definire il numero dei sismostrati presenti nel sottosuolo (ovviamente per la finestra temporale adottata che è funzione della lunghezza dello stendimento e della quantità di energia utilizzata). E' importante sottolineare che la sismica a rifrazione funziona solo per velocità crescenti. L'interpretazione per la risoluzione geometrica dei sismostrati (profondità e velocità) si avvale di diverse metodologie di calcolo dalle più semplici procedure dirette (Hagedoorn, 1959; Barry, 1967), seguendo le leggi generali dell'ottica, a quelle più complesse sia 1D che 2D che elaborano i dati mediante la tecnica del GRM (Palmer, 1980), del Ray-tracing o della tomografia (Hampson & Russell, 1984; Olsen, 1989). La finalità della tomografia è la dettagliata esplorazione del modello di distribuzione della velocità in un mezzo. Essa si basa sui primi arrivi ottenuti per set plurimi di coppie sorgente-ricevitore: la sola limitazione è quella che i raggi sismici formino una rete completa e cioè, idealmente, ciascun punto del mezzo investigato dovrebbe essere attraversato dai raggi in tutte le direzioni.

Per l'elaborazione dei dati sismici a rifrazione si è proceduto al riconoscimento e raccolta dei dati dei primi arrivi (software Reflexw, Sandmeier Software, D). Successivamente i dati di primo arrivo sono stati elaborati con il metodo GRM (General Reciprocal Method) accoppiato ad una inversione tomografica su una griglia di nodi equispaziati per una modellazione della distribuzione delle velocità delle onde di compressione nel sottosuolo (software Rayfract, Intelligent Resources Inc., CDN). Il metodo dell'inversione tomografica consente, con un sufficiente numero di scoppi, di individuare anche eventuali inversioni di velocità (che costituiscono il limite della prospezione sismica a rifrazione).

I risultati della sezione sismica a rifrazione sono riportati in all.n.8, in cui si evidenziano i seguenti motivi geologici:

- un primo strato di copertura superficiale, di spessore variabile tra 4,0 e 6,0 m e valori di velocità delle onde P con valori da 430 m/s a 459 m/s, con superficie di passaggio allo strato inferiore irregolare e con progressivo approfondimento verso Est;
- il substrato sottostante, con velocità delle onde P da 1184,15 m/s a 1295 m/s.

## 2. Modello geotecnico

In base ai risultati delle indagini in sito e di archivio disponibili, la stratigrafia dell'area si presenta relativamente omogenea ed evidenzia la presenza, al di sotto di una coltre di terreno vegetale misto a locale riporto di spessore variabile da 30 a 60 cm, di depositi fluviolacustri sabbioso-siltosi passanti a terreni fluvioglaciali con ghiaie immerse in una matrice sabbioso-limosa.

In via cautelativa, per la modellizzazione geotecnica, la stratigrafia può essere rappresentata, a partire dal piano campagna, dai seguenti livelli:

- Livello 1: da p.c. a  $-0,3 \div 0,6$  m terreno vegetale/riporto;
- Livello 2: da  $-0,30 \div 0,60$  m a  $-2,4 \div 3,9$  m, depositi lacustri limoso sabbiosi poco addensati, caratteristiche geotecniche scadenti,  $NSPT_k = 2$  colpi/piede;
- Livello 3: oltre  $-2,4 \div 3,9$  m, depositi fluvioglaciali ghiaioso in matrice sabbiosa interdigitati con depositi morenici fini di fondo in profondità, caratteristiche geotecniche discrete,  $NSPT_k = 13$  colpi/piede nei primi 30-60 cm (a), poi caratteristiche geotecniche da buone a ottime,  $NSPT_k > 40$  colpi/piede (prove a rifiuto - b).

Nel corso delle indagini, non è stata riscontrata la presenza di acqua fino alla profondità indagata, tranne che nella prova P1, il cui livello potrebbe però non essere attribuibile ad una vera falda ma sia dovuta ad un vicino pozzo perdente in disuso.

Non si esclude, tuttavia, la possibilità che si originino, in occasione di precipitazioni intense, falde sospese e temporanee nei primi metri e/o ristagni superficiali, dovuti a differenze di permeabilità locali e alla difficoltà di infiltrazione superficiale.

### 3. Tipologia delle opere, dati costruttivi sull'esistente e dati disponibili in zona

L'intervento attualmente in progetto prevede interventi di restauro e risanamento dei fabbricati dell'Ospedaletto e Cascina Bassa, parte del complesso Monumentale della Precettoria di Sant'Antonio di Ranverso; si tratta quindi di un intervento con molteplici finalità, da un lato quella della riqualificazione degli spazi edificati e del restauro degli antichi edifici con il loro adeguamento alle nuove esigenze igienico-funzionali e il consolidamento o la sostituzione degli elementi strutturali, interni o esterni degradati.

Mantenendo i caratteri costitutivi propri dell'edilizia storica del luogo, è previsto il cambio di destinazione d'uso dei fabbricati rurali in ricettivi, a servizio dei visitatori del complesso e della Via Francigena. Sono inoltre, previste alcune opere di sistemazione del terreno con percorsi pedonali e aree a parcheggio.

I dati di progetto forniti attribuiscono alla struttura una Vita nominale  **$V_n = 50$  anni** ed una Classe d'uso  **$Cu II$** , da cui deriva una Vita di riferimento  **$V_r$  di 50 anni**.

### 4. Caratterizzazione geotecnica

Al fine di stimare i principali parametri geotecnici del terreno e di valutarne la capacità portante è stato quindi preso in considerazione il valore medio di  $N_{SCPT}$  e, da esso, si è ricavato il valore  $NSPT$ , utilizzato più frequentemente per la parametrizzazione dei terreni, dopo aver corretto anche per la profondità i valori, tramite le correlazioni di Jamiolkowski e Meardi-AGI.

Per tutti i livelli si è utilizzato in favore di sicurezza (almeno nel caso del livello morenico inalterato si tratta in realtà di terreni parzialmente sovraconsolidati) un valore del rapporto  $N_{30SCPT}/NSPT$  pari a 1. È stato quindi preso in considerazione per ogni livello il valore caratteristico  $N_k SPT$ , utilizzato più frequentemente per la parametrizzazione dei terreni. Tale valore è stato corretto ( $N'SPT$ ) per tener conto della Pressione verticale efficace ( $svo'$ ), secondo il metodo di normalizzazione di Jamiolkowski et al. (1985), ed ha permesso di determinare, per i livelli presenti inferiormente allo strato di terreno di riporto, i parametri meccanici caratteristici: angolo d'attrito interno ( $\emptyset$ ), coesione non drenata ( $c_u$ ), moduli elastici e di deformabilità (Poisson e Young) e densità relativa  $D_r$ .

L'angolo di attrito di picco è correlato, per i terreni grossolani, al valore Nspt tramite le correlazioni del Road Bridge Specification (1) e del Japanese National Railway (2) (Shioi e Fukui, 1982):  $\phi = (15 \cdot N_{spt})^{1/2} + 15$

$$\phi = 0.3 \cdot N_{spt} + 27.$$

Per i terreni fini i valori medi di angolo d'attrito interno ( $\phi_{picco}$ ) è stato determinato tramite le correlazioni di Peck et al. (1953) per terreni prevalentemente coesivi.

Per il calcolo del rapporto di Poisson si è utilizzata la relazione tipica per terreni normalconsolidati:  
 $n = (1 - \sin \phi) / (2 - \sin \phi).$

Per la valutazione del modulo di deformazione (E) si è fatto riferimento alla correlazione di D'Apollonia et al. (1970):  $E = a + b \cdot N_{spt}$  (Kg/cm<sup>2</sup>)  
in cui a e b sono due costanti sperimentali variabili rispettivamente tra 216 e 540 e tra 10.6 e 13.5.

Su tali basi viene di seguito riportata una caratterizzazione di massima dei principali parametri geotecnici dei suddetti livelli, valida per l'attuale fase progettuale:

Livello	Terreno	NSPT k	Angolo di Attrito interno $\phi_k$	Densità Relativa Dr %	Coesione non drenata Cu (KPa)	PESO DI VOLUME Mg/m <sup>3</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	Coeff. Poisson	Modulo Edometrico (MPa).
1	terreno vegetale/riporto	—	20°	—	—	1.50	—	—
2	depositi lacustri	2	21°	35%	18	1.80	0,35	—
3a	fluvioglaciale poco addensato	13	28°	65-%	—	1.90	0,33	9,4
3b	fluvioglaciale addensato	>40	>35°	85%	—	2.00	0,27	11,0

Il parametro Coesione, vista l'origine e le caratteristiche dei depositi, è stato in favore di sicurezza trascurato ed il Peso di volume è stato valutato per analogia con terreni di caratteristiche simili.

Dal punto di vista sismico, considerando che il sottosuolo dell'area in oggetto, sulla base dei dati di archivio disponibili, rientra nella **categoria B** “*depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*” e con un valore del *Coefficiente tipografico ST pari a 1.0 (T1)*, la tabella della pericolosità sismica di base viene completata con i parametri di S (spettro di risposta elastico) Tb (periodo inizio tratto spettro accelerazione costante), Tc (periodo inizio tratto spettro velocità costante), TD (periodo inizio tratto spettro spostamento costante) e Fv (fattore amplificazione verticale) di seguito riportati:

Stato Limite		P <sub>VR</sub>	T <sub>R</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub> *	S	T <sub>b</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>	F <sub>v</sub>
SLE	Operatività	81%	30	<b>0,310</b>	<b>2,48</b>	<b>0,20</b>	1,20	0,10	0,30	1,72	0,59
	Danno	63%	50	<b>0,387</b>	<b>2,54</b>	<b>0,21</b>	1,20	0,11	0,32	1,75	0,67
SLU	Salv. Vita	10%	475	<b>0,924</b>	<b>2,56</b>	<b>0,27</b>	1,20	0,13	0,38	1,97	1,05
	Collasso	5%	975	<b>1,175</b>	<b>2,56</b>	<b>0,28</b>	1,20	0,13	0,39	2,07	1,18

Ai sensi delle “Norme tecniche per il progetto di opere di fondazione e di sostegno dei terreni” la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Non si ritiene che il terreno di fondazione possa essere suscettibile di liquefazione ai sensi delle "Norme tecniche per il progetto di opere di fondazione e di sostegno dei terreni" in quanto non è presente una falda entro i 15 m di profondità.

## 5. Considerazioni geologico-tecniche

Il complesso degli studi e delle indagini geognostiche effettuate ha consentito di rilevare i seguenti dati, indispensabili per effettuare alcune considerazioni geologico-tecniche generali sulle opere attualmente in fase di progettazione:

- data la morfologia subpianeggiante della zona non sono ipotizzabili fenomeni dissestivi che investano il substrato stesso;
- sulla base dei dati di archivio la dinamica fluviale non ha storicamente interferito con l'assetto del sito né vi è la probabilità che ciò avvenga in futuro;
- non vi sono dati inerenti la falda freatica e considerato il contesto morenico, è lecito supporre che i depositi risultino scarsamente permeabili, o impermeabili. È comunque possibile l'instaurarsi di locali falde sospese o confinate, nei depositi più grossolani, con portate modeste, in ogni caso difficilmente comunicanti con la falda regionale;
- l'area, dal punto di vista geomorfologico è stata classificata in Classe IIb;
- geologicamente siamo in presenza, al di sotto di una coltre di depositi fini lacustri, di depositi fluvio-glaciali ghiaiosi immersi in una matrice sabbioso limosa interdigitati con depositi morenici di fondo.
- secondo la vigente normativa sismica il sito in esame, come in generale il comune di Buttiglieria Alta rientra tra quelli a medio bassa sismicità: il valore dell'accelerazione orizzontale massima del suolo  $a_g$  sono quelli tabellati per i diversi stati limite nel paragrafo sopra riportato;

Dal punto di vista geologico-tecnico e geotecnico le indagini geognostiche effettuate in aree adiacenti e le informazioni disponibili attualmente possono essere sintetizzate come segue:

- le scelte fondazionali non saranno direttamente condizionate dalla presenza della falda, non in grado di interferire con le fondazioni dei futuri fabbricati ma, vista la presenza nei primi livelli di una apprezzabile quantità di matrice fine, si consiglia la realizzazione inferiormente ed a tergo dei muri degli interrati di appositi vespai, drenaggi e/o intercapedini in grado di allontanare l'acqua di infiltrazione dalla parte inferiore ed esterna delle strutture;
- considerata la presenza di materiali fini lacustri con caratteristiche geotecniche scadenti fino a c.ca -2,5÷-4.0 m, dovrà essere valutata attentamente la quota di imposta delle nuove strutture;

- trattandosi di un contesto di passaggio tra fluvioglaciale e morenico, durante le operazioni di scavo e prima dell'esecuzione dei getti in ca, andrà verificata la situazione effettiva del sottosuolo alla quota di imposta.

Ciò premesso e considerato, dal punto di vista tecnico le fondazioni ottimali delle future strutture, ancora in fase di definizione, è consigliabile siano del tipo diretto, tramite travi di fondazione, preferibilmente del tipo a reticolo.

Una volta definita con maggior dettaglio la tipologia fondazionale sarà possibile, sulla base dei parametri caratteristici e di progetto sopra riportati eseguire le verifiche di stabilità delle fondazioni agli Stati limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) ai sensi delle "Norme tecniche per le costruzioni", recentemente entrate in vigore.

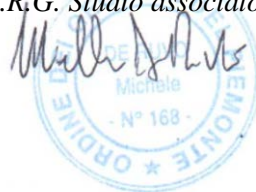
In sede di progettazione definitiva e di attuazione occorrerà comunque verificare lo stato di fatto incontrato con le indagini e la persistenza delle condizioni ipotizzate nella presente relazione.

## 6. Conclusioni e raccomandazioni

Lo studio dell'area in oggetto e delle opere previste ha evidenziato le caratteristiche globalmente scadenti del terreno di fondazione dell'area. Dal punto di vista tecnico, considerate le limitate dimensioni ed impatto sul terreno di fondazione delle strutture in progetto, le fondazioni ottimali delle future strutture, ancora in fase di definizione, è consigliabile siano del tipo diretto, tramite travi di fondazione a reticolo con maglia fitta o, eventualmente, a platea o, indirettamente, su micropali (in particolare per il fabbricato ex fienile).

L'esame condotto nei capitoli precedenti permette quindi di esprimere un giudizio positivo circa la fattibilità degli interventi in progetto, fatti salvi i risultati e le prescrizioni riportate nella presente relazione.

*il tecnico incaricato*  
*dr. geol. Michele De Ruvo*  
*S.R.G. Studio associato*

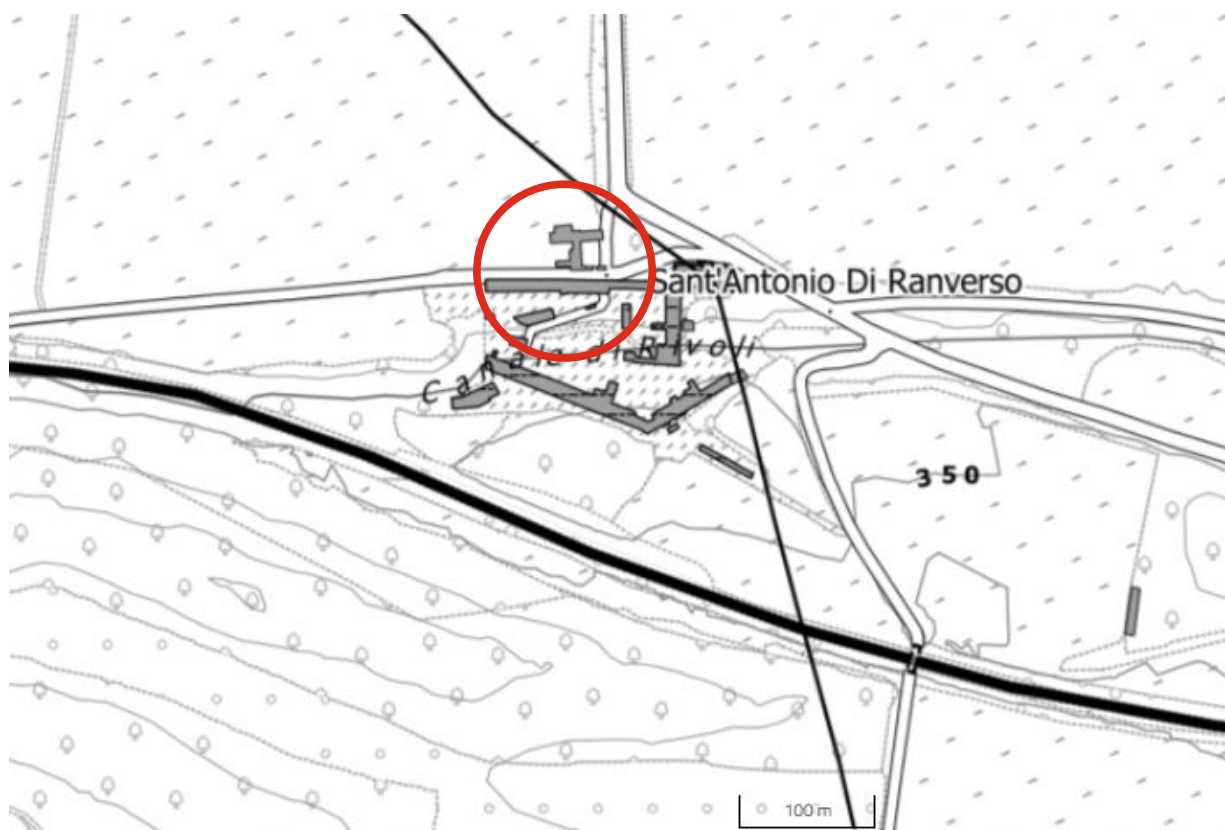


# INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED UBICAZIONE AREA IN OGGETTO

CTR 155100



DBTRE



Legenda

○ Ubicazione area



ORTOFOTO AGEA 21



Legenda

○ Ubicazione area



# INQUADRAMENTO GEOLOGICO SU CARTA GEOLOGICA Progetto CARG

Scala 1:50.000



Ubicazione  
area

## Subsistema di Crescentino



CSN<sub>2</sub>

Depositi costituiti da *diamicton* con clasti subangolosi immersi in una matrice siltoso-sabbiosa poco alterata (2,5Y-10YR) (depositi glaciali di ablazione) (CSN<sub>2c5</sub>). Depositi costituiti da ghiaie con abbondante matrice sabbiosa e da sabbie siltose con intercalazioni ghiaiose, poco alterati (2,5Y-10YR) e localmente coperti da coltri di sabbie a stratificazione incrociata; nei pressi di Borgaro T.se sono presenti lenti ricche in sostanza organica e tronchi fluitati; costituiscono terrazzi sospesi di 10-15 m sugli attuali fondovalle. Depositi privi di stratificazione costituiti da silt e silt sabbiosi con intercalazioni ghiaiose, debolmente alterati (7,5-10YR), localizzati lungo i fondovalle dei corsi d'acqua tributari. Depositi ghiaioso-ciottolosi a supporto di clasti con matrice sabbioso-siltosa e frequente presenza di blocchi, costituenti i conoidi di fondovalle (depositi fluvio-torrentizi) (CSN<sub>2b</sub>). Sabbie siltose stratificate e deformate con intercalazioni ghiaiose (depositi lacustri) (CSN<sub>2e</sub>). **PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE**

## SISTEMA DI MAGNOLETTO



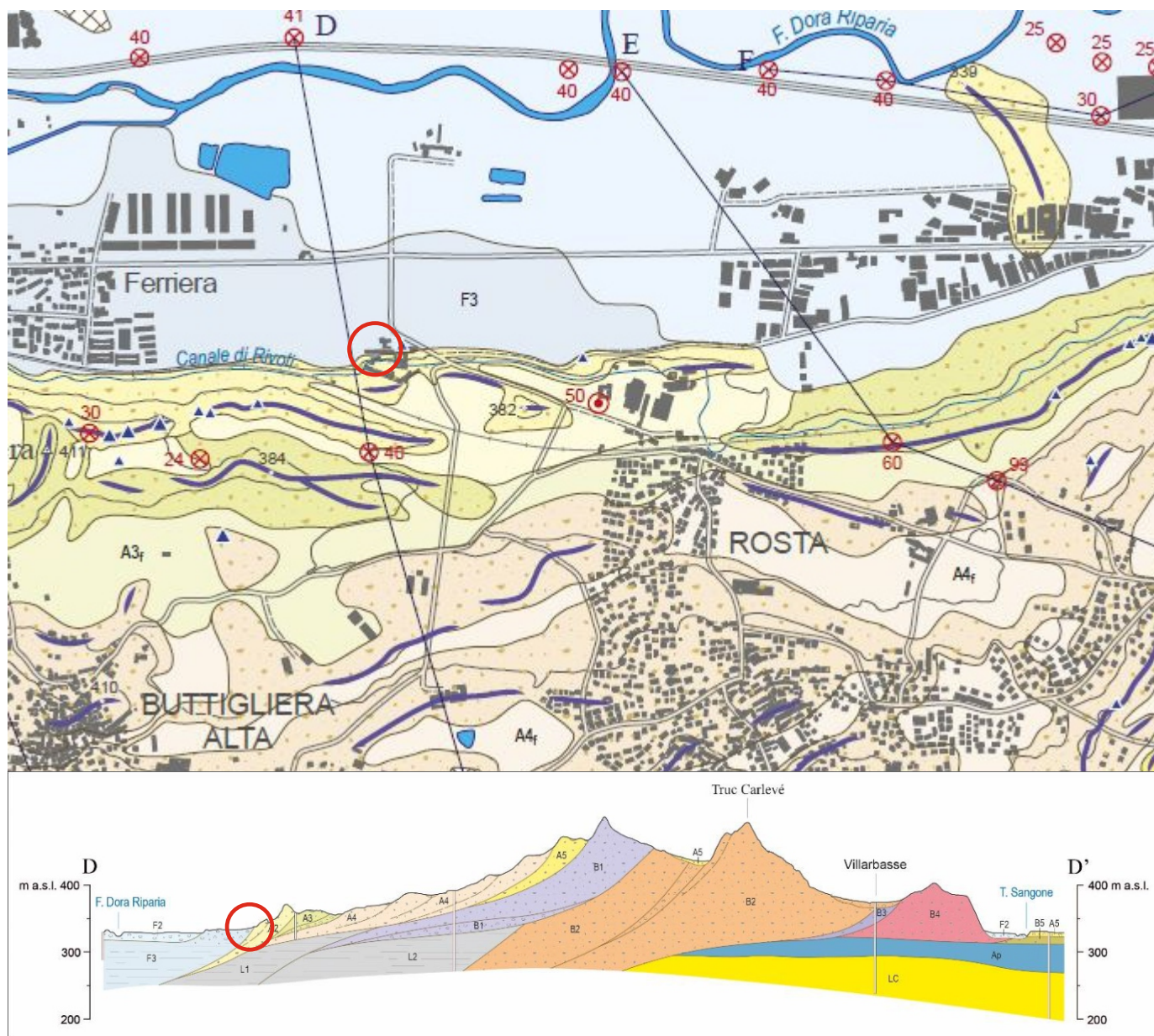
AML<sub>2</sub>

### Subsistema di Truc della Prà

Sabbie siltose stratificate e deformate, molto debolmente alterate (2,5Y-10YR) (depositi lacustri) (AML<sub>2e</sub>). Ghiaie sabbiose a supporto di clasti o di matrice (depositi fluvio-glaciali) (AML<sub>2b</sub>). *Diamicton* con clasti subangolosi immersi in una matrice siltoso-sabbiosa addensata e debolmente alterata (depositi glaciali di fondo) (AML<sub>2c4</sub>). **Parte superiore del PLEISTOCENE SUP.**



ESTRATTO  
CARTA GEOLOGICA DELL'ANFITEATRO DI  
RIVOLI-AVIGLIANA E SEZIONE GEOLOGICA  
(FIORASO ET ALII, 2021).



Legenda

Ubicazione area

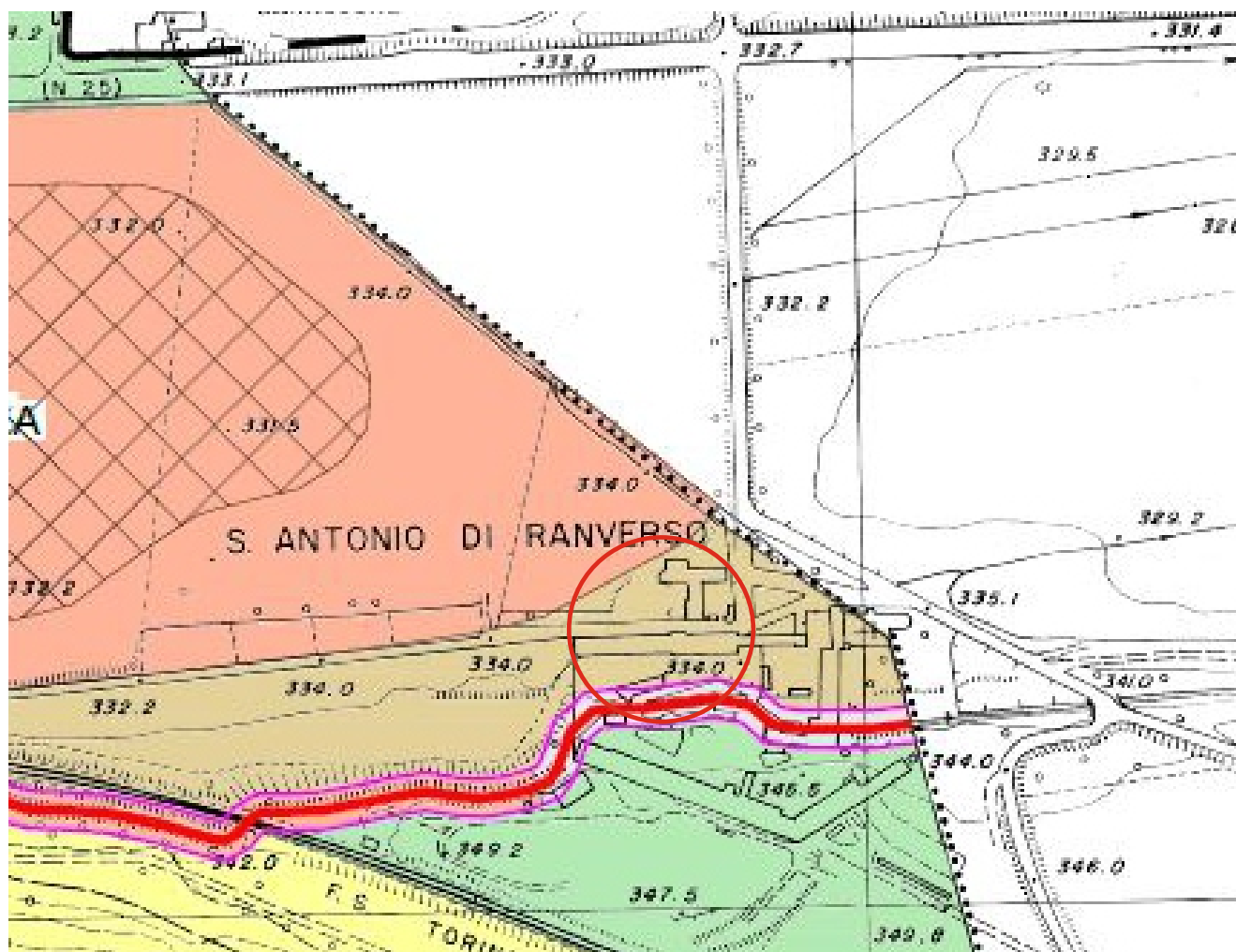
Post-LGM alluvial units

- F1 Recent alluvial deposits (F1). *Holocene - Present*
- F2 Alluvial deposits (F2). Lacustrine deposits and peatbogs (F2p). *Holocene - Present*
- F3 Terraced alluvial and lacustrine deposits (F3). *Late Pleistocene - Holocene*

LGM and Late-glacial synthem

- A1 Avigliana sub-synthem. Lodgement and melt-out till (A1g); fluvio-glacial and glacio-lacustrine deposits (A1f). Weak pedogenic profile at the top of the moraines (2.5Y). *Late Pleistocene*
- A2 S. Antonio di Ranverso sub-synthem. Lodgement and melt-out till (A2g); fluvio-glacial and glacio-lacustrine deposits (A2f). Weak pedogenic profile at the top of the moraines (2.5Y). *Late Pleistocene*
- A3 Truc della Pra sub-synthem. Lodgement and melt-out till (A3g); fluvio-glacial and glacio-lacustrine deposits (A3f). Weak pedogenic profile at the top of the moraines (2.5Y to 10YR). *Late Pleistocene*
- A4 Truc Morté sub-synthem. Lodgement and melt-out till (A4g); fluvio-glacial and glacio-lacustrine deposits (A4f). Weak pedogenic profile at the top of the moraines (2.5Y to 10YR). *Late Pleistocene*

## INQUADRAMENTO SU CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA



Legenda

○ Ubicazione area

### CLASSE 2

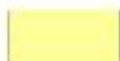
Porzioni di territorio dove le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere superate con interventi tecnici realizzabili a livello di progetto esecutivo nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo circostante.

I nuovi interventi dovranno essere preceduti da una specifica indagine volta a valutare la natura ed il peso del fattore limitante, i tipi di interventi di mitigazione previsti ed i loro riflessi nei confronti dell'equilibrio idrogeologico dei settori circostanti.

In funzione della natura del fattore limitante la classe 2 è distinta in:

#### CLASSE 2a

Territorio condizionato dalla presenza di versanti collinari



#### CLASSE 2b

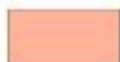
Territorio condizionato dalla presenza di falda superficiale o ristagno d'acqua per difficoltà di drenaggio.



#### CLASSE 3a

Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici ed idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti.

Le aree che rientrano in questa classe sono rappresentate da territori il cui ulteriore utilizzo a fini edificatori è da escludersi





## ESTRATTO CARTA P.G.R.A DA GEOPORTALE REGIONE PIEMONTE



Legenda

Ubicazione area

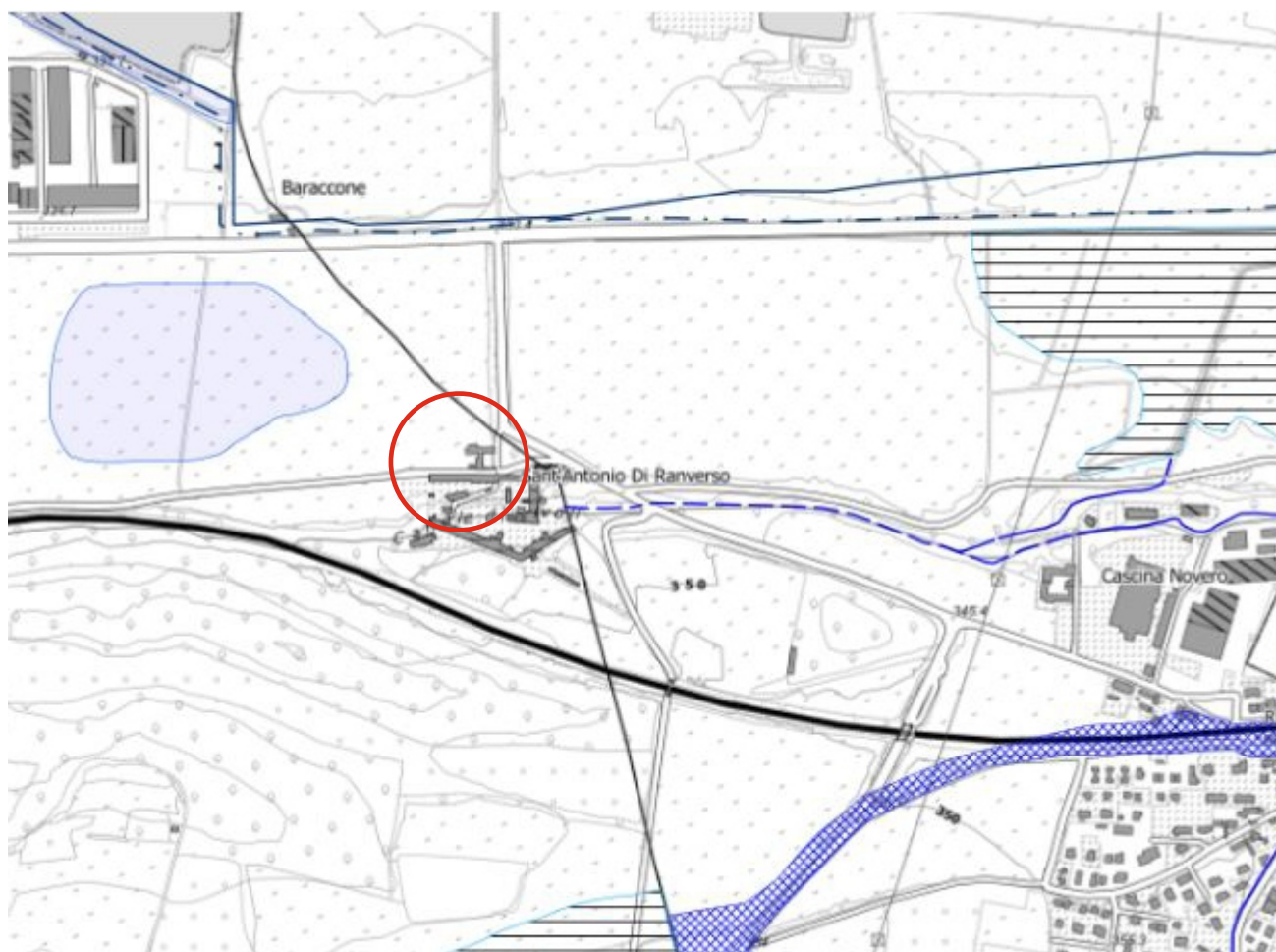
Reticolo Secondario Collinare e Montano (RSCM), di pianura (RSP)

- Probabilità di alluvioni elevata (tr. 10/20)
- Probabilità di alluvioni media (tr. 100/200)
- Probabilità di alluvioni bassa (tr. 500)

Reticolo Principale fasciato (RP)

- Probabilità di alluvioni elevata (tr. 10/20)
- Probabilità di alluvioni media (tr. 100/200)
- Probabilità di alluvioni bassa (tr. 500)


# ESTRATTO CARTA P.A.I. DA GEOPORTALE REGIONE PIEMONTE






## Legenda

 Ubicazione area




## Aree inondabili vigenti

 Aree inondabili vigenti

## PAI - Esondazioni lineari

-  EeL - Aree di esondazione a pericolosità molto elevata
-  EbL - Aree di esondazione a pericolosità elevata
-  EmL - Aree di esondazione a pericolosità media o moderata

## PAI - Esondazioni areali

-  Ee - Aree di esondazione a pericolosità molto elevata
-  Eb - Aree di esondazione a pericolosità elevata
-  Em - Aree di esondazione a pericolosità media o moderata

## Limite Fascia A

 Limite Fascia A


## Limite Fascia B

 Limite Fascia B

## Limite Fascia B di progetto

 Limite Fascia B di progetto

## Limite Fascia B di progetto realizzata

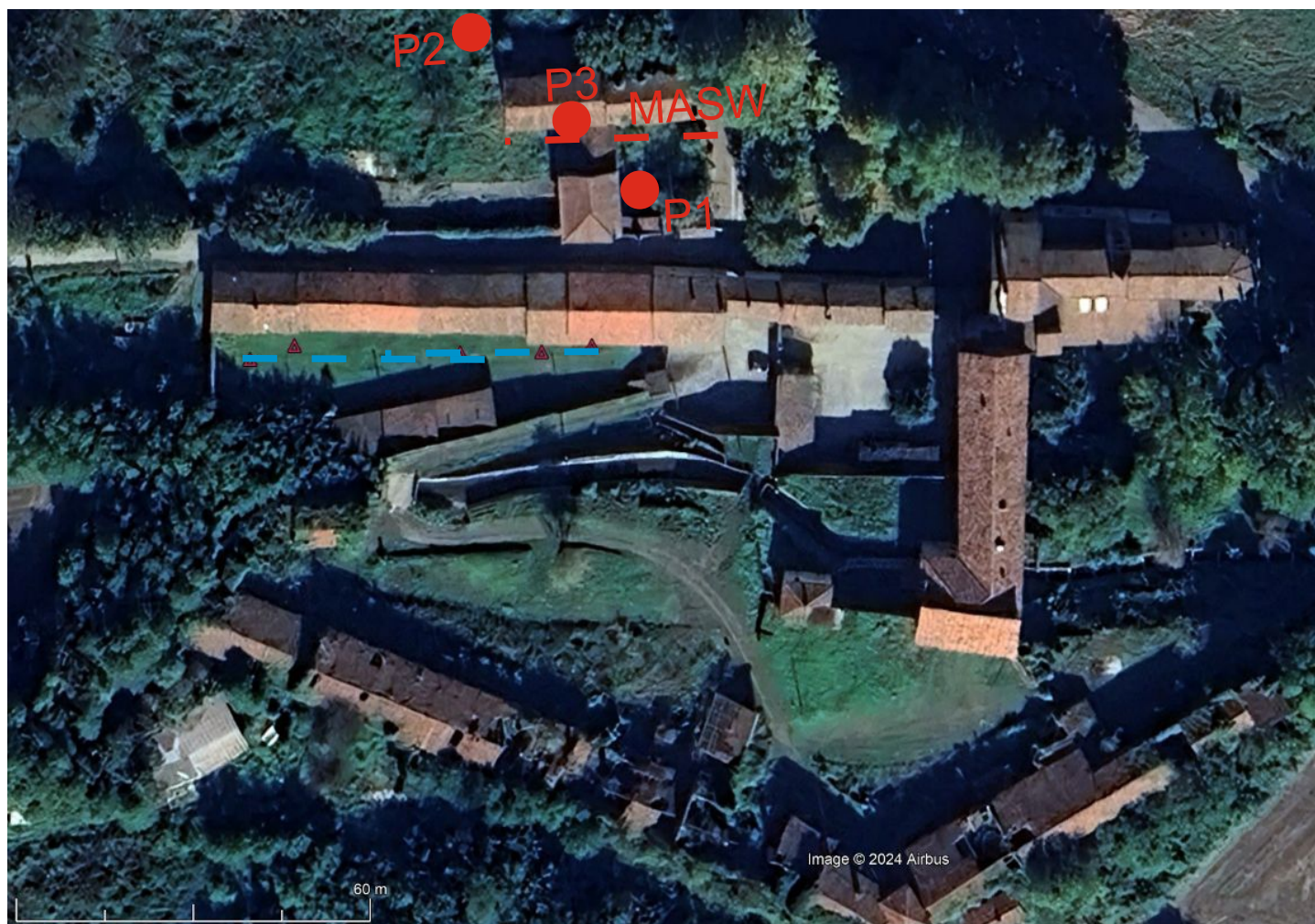
 Limite Fascia B di progetto realizzata

## Limite Fascia C

 Limite Fascia C



UBICAZIONE INDAGINI SU  
IMMAGINE SATELLITARE  
del 11/10/24




Legenda

Prova penetrometrica dinamica DPSH P1 ●

Rilievo sismico MASW —

Rilievo geofisico a Rifrazione —

 DI DE RUVO & FAVOLE Trofarello V.lo Salzea 24 Tel-fax 0116490619	Località:	Comune di Buttigliera Alta - Ospedaletto e Cascina Sud di Sant'Antonio di Ranverso	
	Committente:	ORDINE MAURIZIANO	
	Elaborato:	Ubicazione indagini geognostiche e geofisiche	
			Scala 1:250



**S.R.G.**

DI DE RUVO &amp; FAVOLE

Trofarello v.lo Salzea 24 tel e fax 6490619

**PROVE GEOTECNICHE IN SITO****PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (SCPT)**

maglio

peso Kg 73  
altezza di caduta cm 75

punta

 $\phi$  mm 51  
angolo di apertura 60°

aste

 $\phi$  mm 34 lunghezza m 1.5  
peso Kg/m 4.8

Committente

**Ordine Maurizioano**

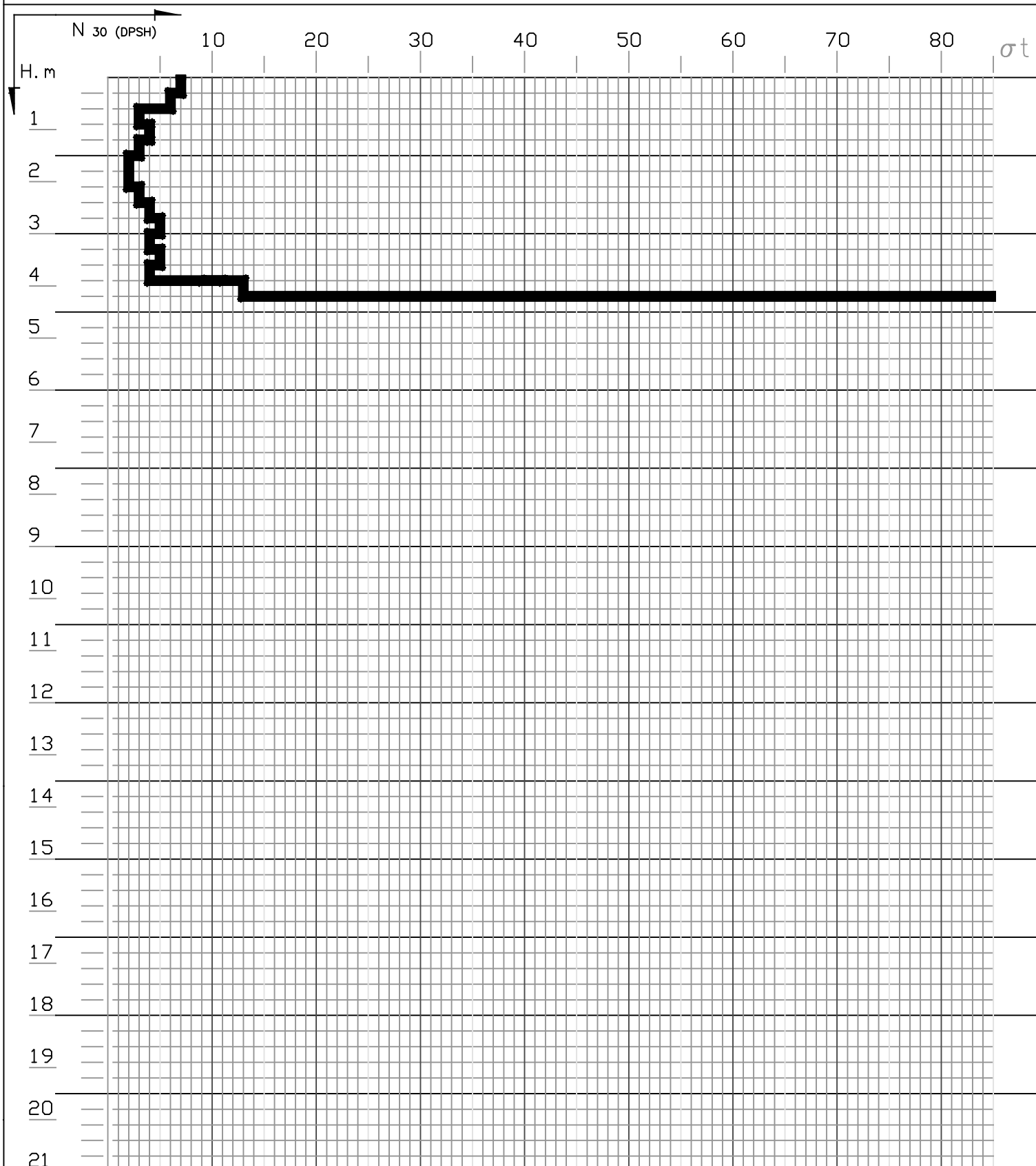
Località

**S.A.di Ranverso**

Data

**18/10/24**

Prova N

**1**

Coord.geografiche:

Note: Livello freatico a -2.7 m da p.c.



**S.R.G.**

DI DE RUVO &amp; FAVOLE

**PROVE GEOTECNICHE IN SITO****PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (SCPT)**

maglio

punta

aste

peso Kg 73

altezza di caduta cm 75

 $\phi$  mm 51

angolo di apertura 60°

 $\phi$  mm 34 lunghezza m 1.5

peso Kg/m 4.8

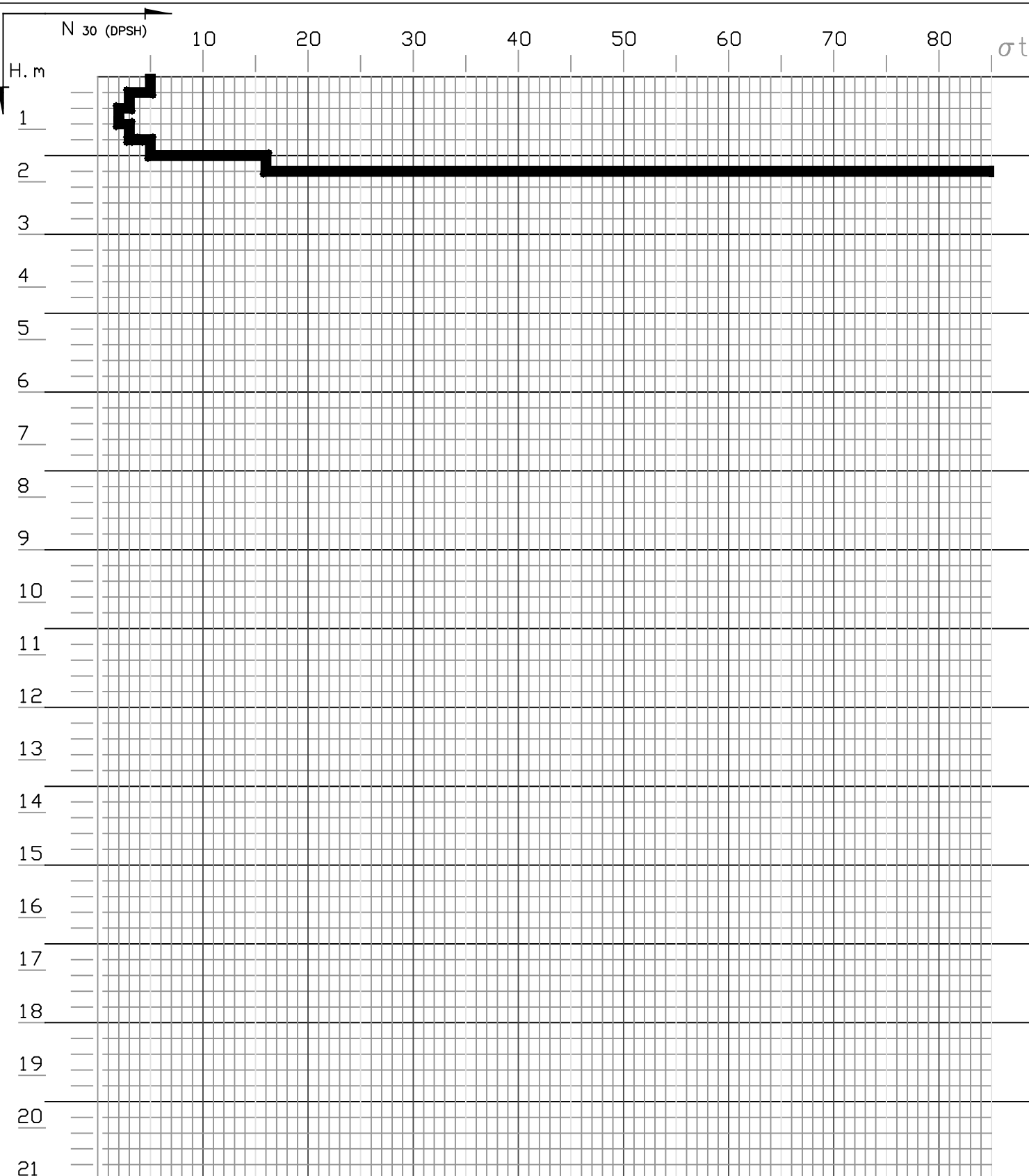
Trofarello v.lo Salzea 24 tel e fax 6490619

Committente

Località

Data

Prova N

**Ordine Maurizioano****S.A.di Ranverso****18/10/24****2**

Coord.geografiche:

**S.R.G.**

DI DE RUVO &amp; FAVOLE

**PROVE GEOTECNICHE IN SITO****PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (SCPT)**

maglio

punta

aste

peso Kg 73

altezza di caduta cm 75

 $\phi$  mm 51

angolo di apertura 60°

 $\phi$  mm 34 lunghezza m 1.5

peso Kg/m 4.8

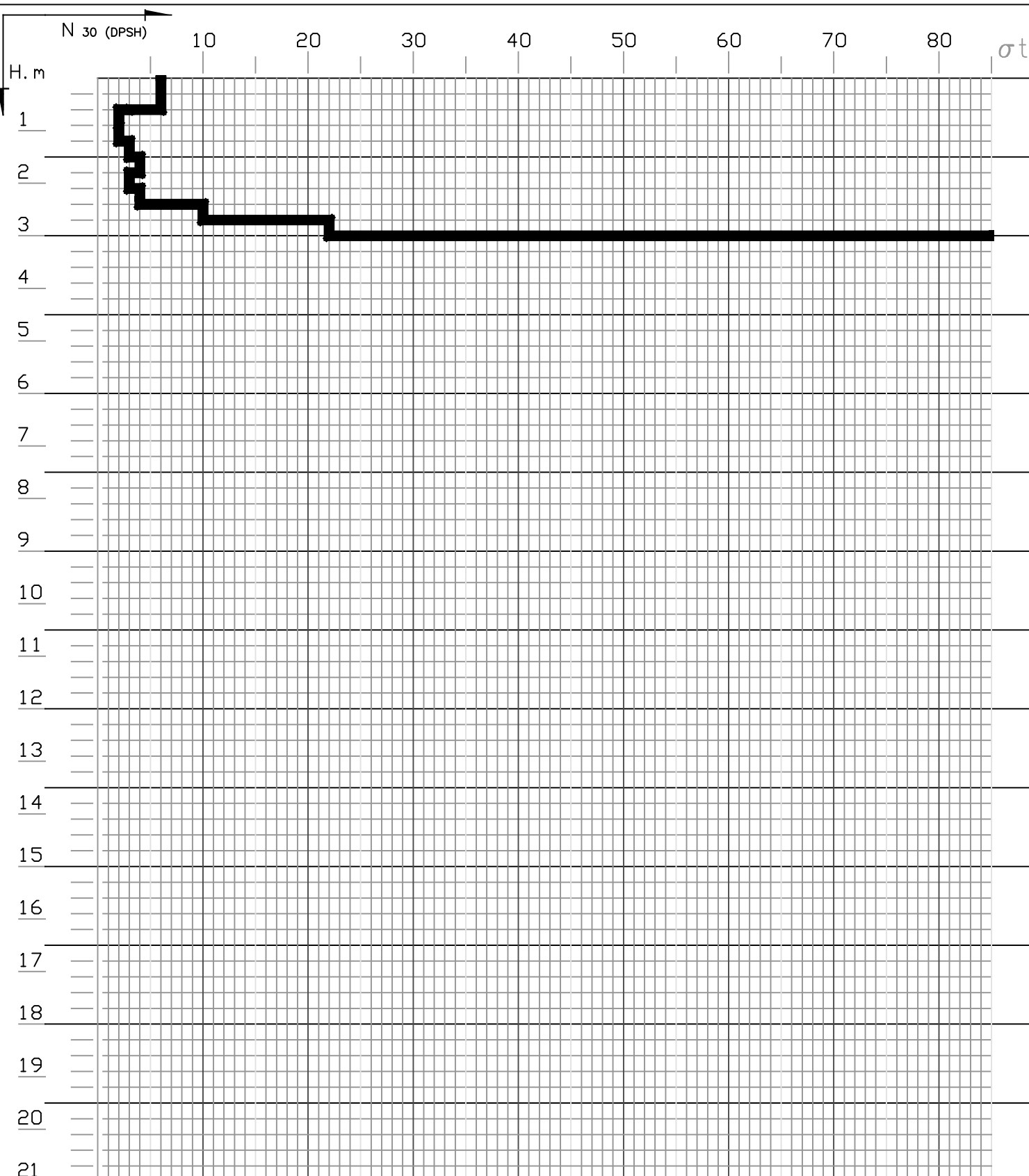
Trofarello v.lo Salzea 24 tel e fax 6490619

Committente

Località

Data

Prova N

**Ordine Maurizioano****S.A.di Ranverso****18/10/24****3**

Coord.geografiche:

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 2 - Prova penetrometrica P2



Foto 1 - Prova penetrometrica P1



Foto 3 - Prova penetrometrica P3



F.O.M. SANT'ANTONIO DI RANVERSO  
Ristrutturazione Ospedaletto e Cascina Bassa

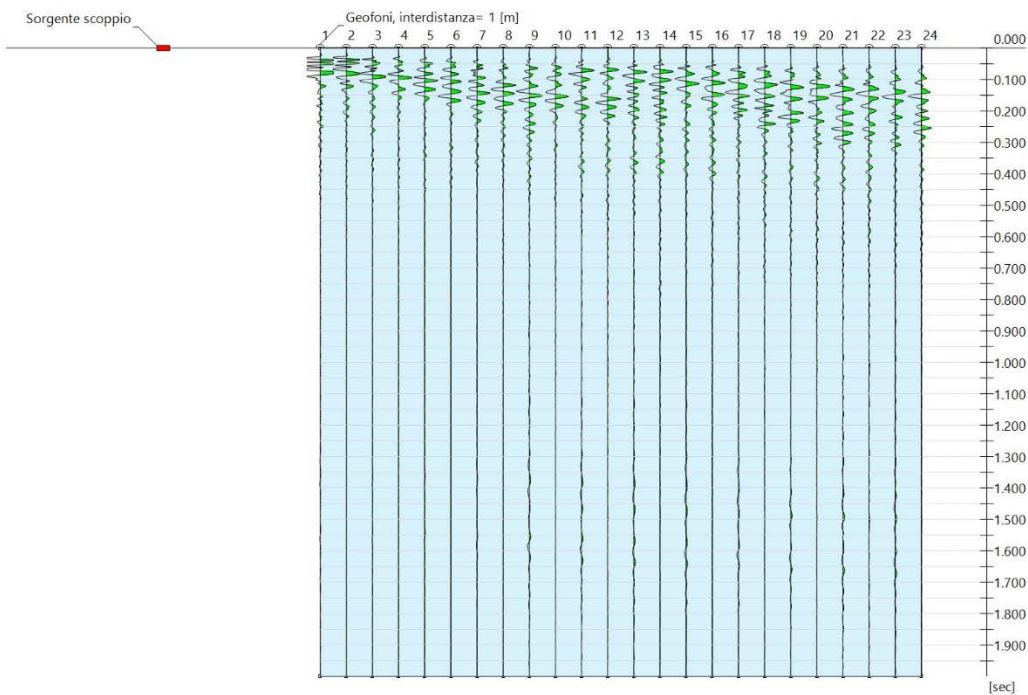
STENDIMENTO SISMICO MASW  
Rilievo del 18/10/24

Dati generali

Data | 19/10/24 18:25

Tracce

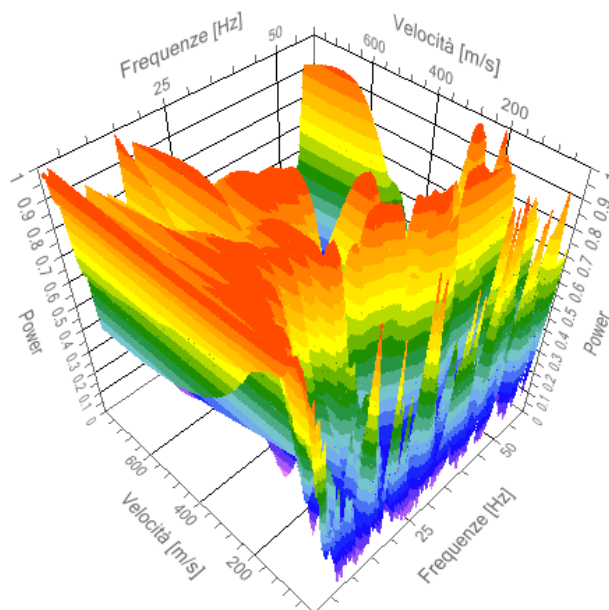
N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



## Analisi spettrale

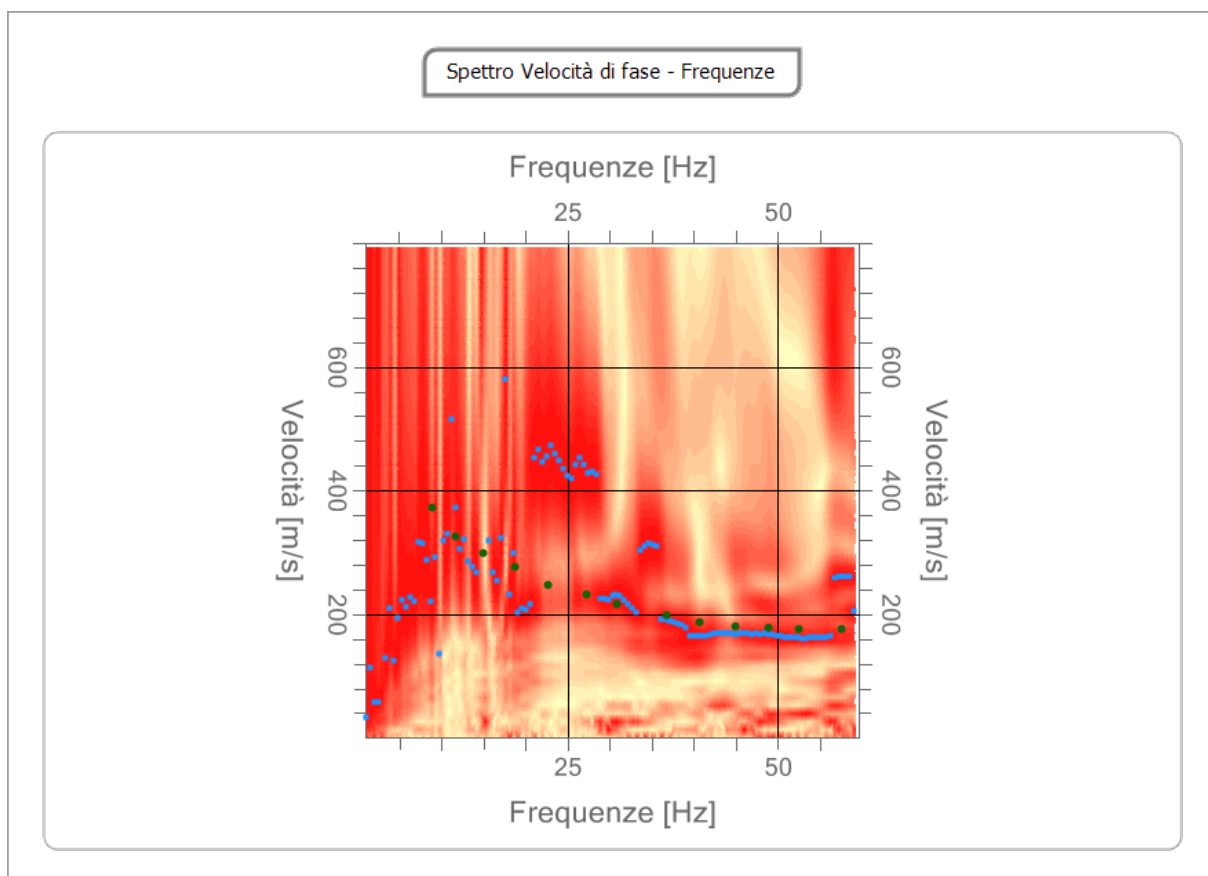
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Spettro Velocità di fase - Frequenze



## Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	9.0	373.2	0
2	11.8	325.8	0
3	14.9	299.7	0
4	18.7	276.0	0
5	22.7	247.6	0
6	27.3	231.0	0
7	30.9	216.8	0
8	36.8	197.8	0
9	40.6	188.3	0
10	45.0	181.2	0
11	48.8	178.8	0
12	52.5	176.4	0
13	57.5	176.4	0



## Inversione

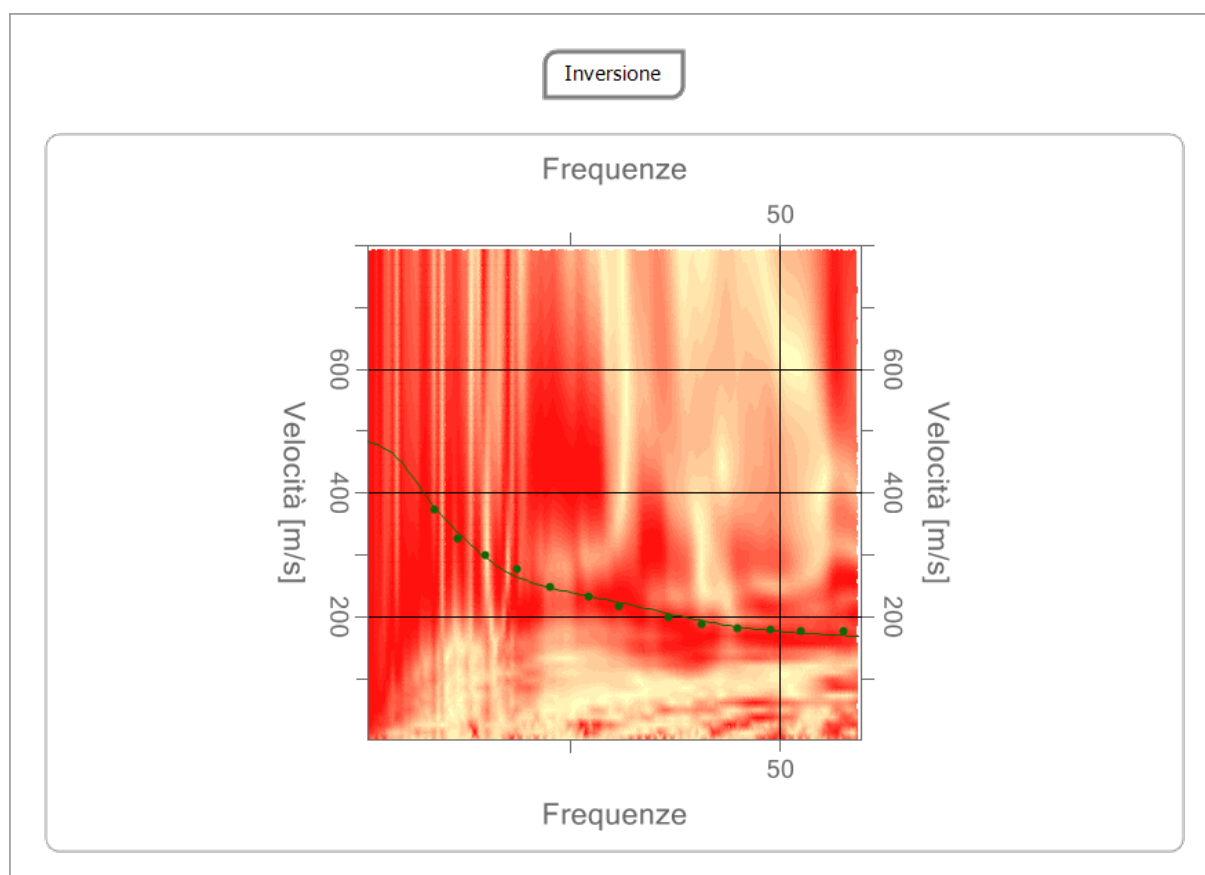
n.	Descrizione	Prof. [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coeff. Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.80	1.80	1600.0	0.20	No	286.0	175.1
2		7.60	5.80	1800.0	0.20	No	498.1	305.0
3		14.59	7.00	1800.0	0.38	Si	1041.5	458.2
4		22.59	8.00	1900.0	0.38	Si	1026.2	451.5
5		31.21	8.62	2000.0	0.38	Si	1112.7	489.5
6		oo	oo	2100.0	0.20	No	873.0	534.6

Percentuale di errore

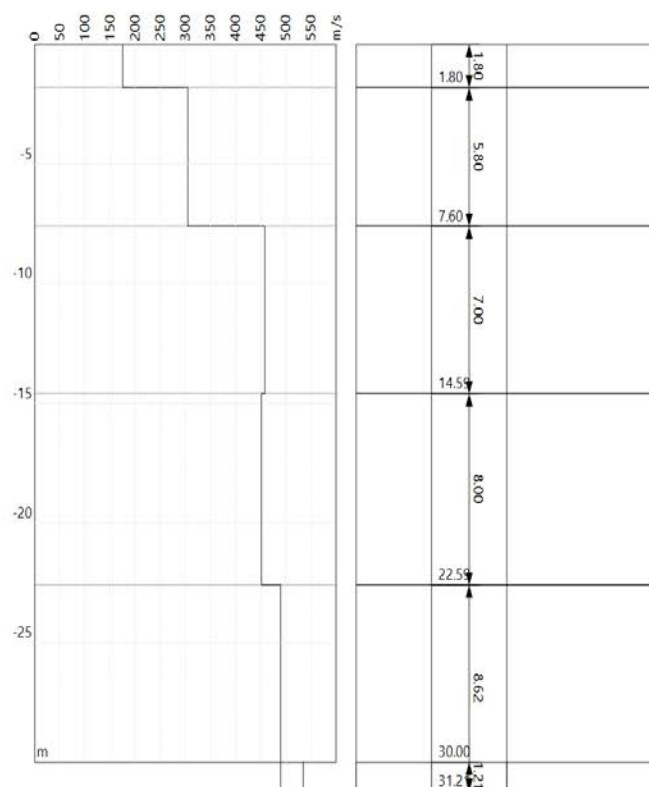
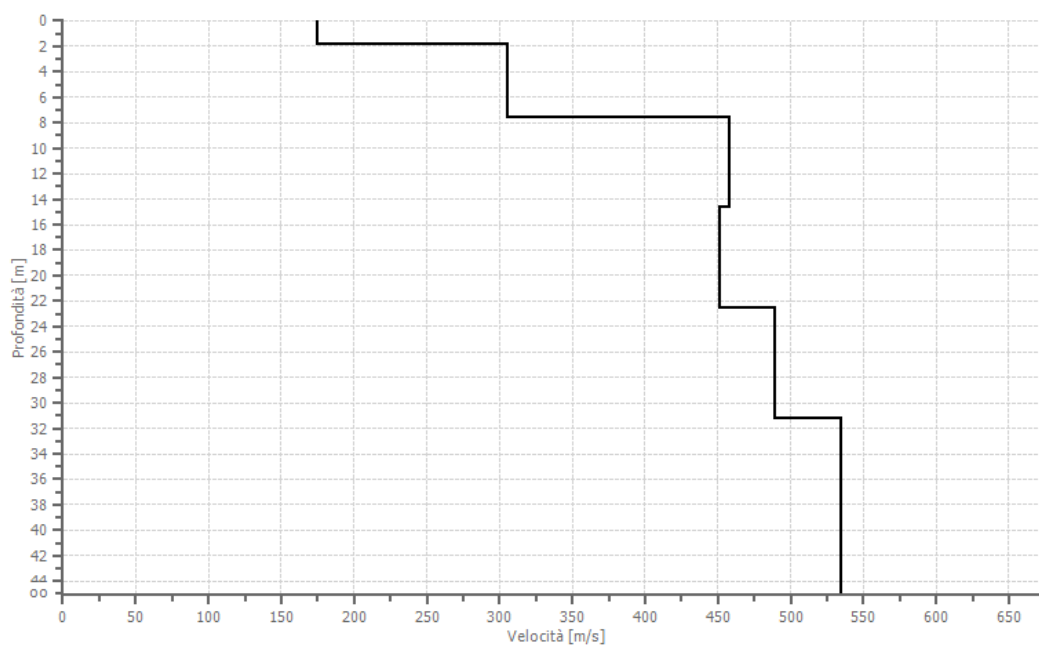
0.056 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.025



Profilo di velocità





## Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	387.58
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.	Prof. [m]	Spess ore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coeff. Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	Qc [kPa]
1	1.80	1.80	175.12	285.96	1600.00	0.20	49.07	130.84	65.42	117.76	390.05
2	7.60	5.80	305.01	498.07	1800.00	0.20	167.45	446.54	223.27	401.88	N/A
3	14.59	7.00	458.22	1041.54	1800.00	0.38	377.93	1952.65	1448.74	1043.09	N/A
4	22.59	8.00	451.48	1026.23	1900.00	0.38	387.29	2000.99	1484.61	1068.92	N/A
5	31.21	8.62	489.51	1112.67	2000.00	0.38	479.24	2476.07	1837.09	1322.70	N/A
6	oo	oo	534.59	872.97	2100.00	0.20	600.14	1600.38	800.19	1440.34	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Foto n. 1 – stendimento rilievo MASW



Foto n. 2 – particolare rilievo MASW

# Allegato 7

## RILIEVO SISMICO A RIFRAZIONE N.1

Committente Fondazione Ordine Mauriziano  
Sant’Antonio di Ranverso: Cascina Bassa

### Dati Generali

Descrizione	Ricostruzione geometria livelli geologici del sottosuolo del sito
Data	19/10/2024
Sito	Sant’Antonio di Ranverso: Cascina Bassa - Via Francigena – Buttigliera Alta
Latitudine	45.080932°
Longitudine	7, 448241°
Altitudine	388 m

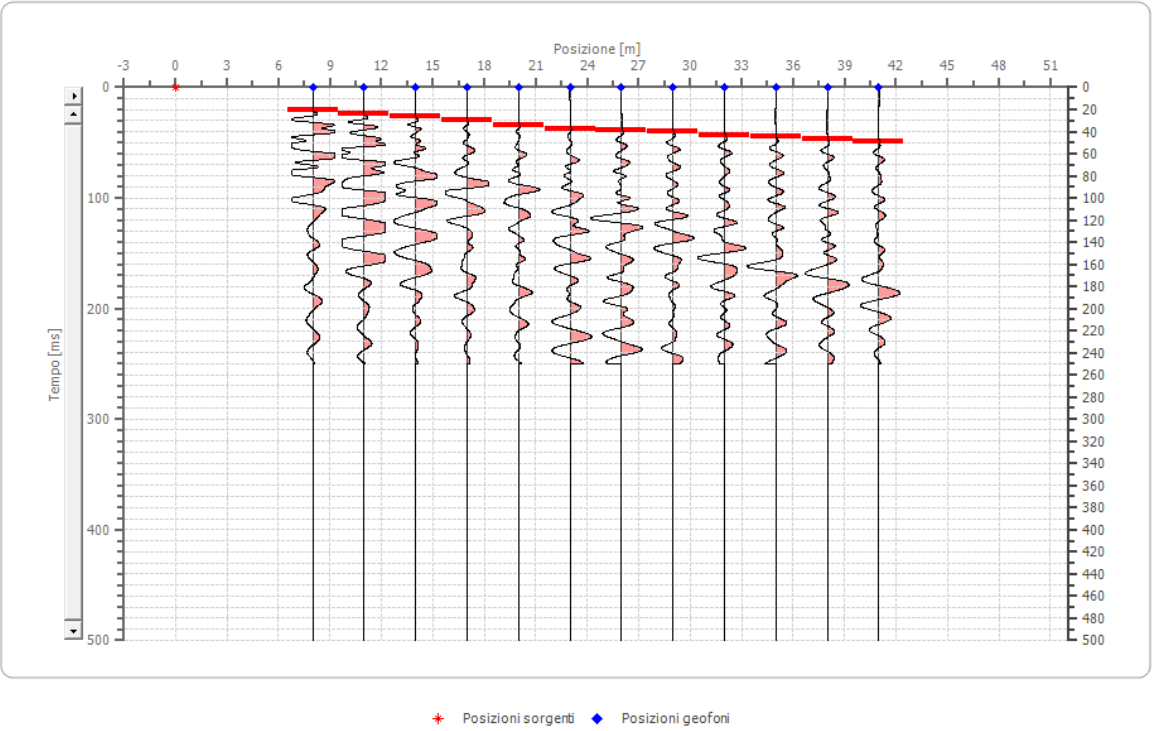
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Dati battute

Battuta 1

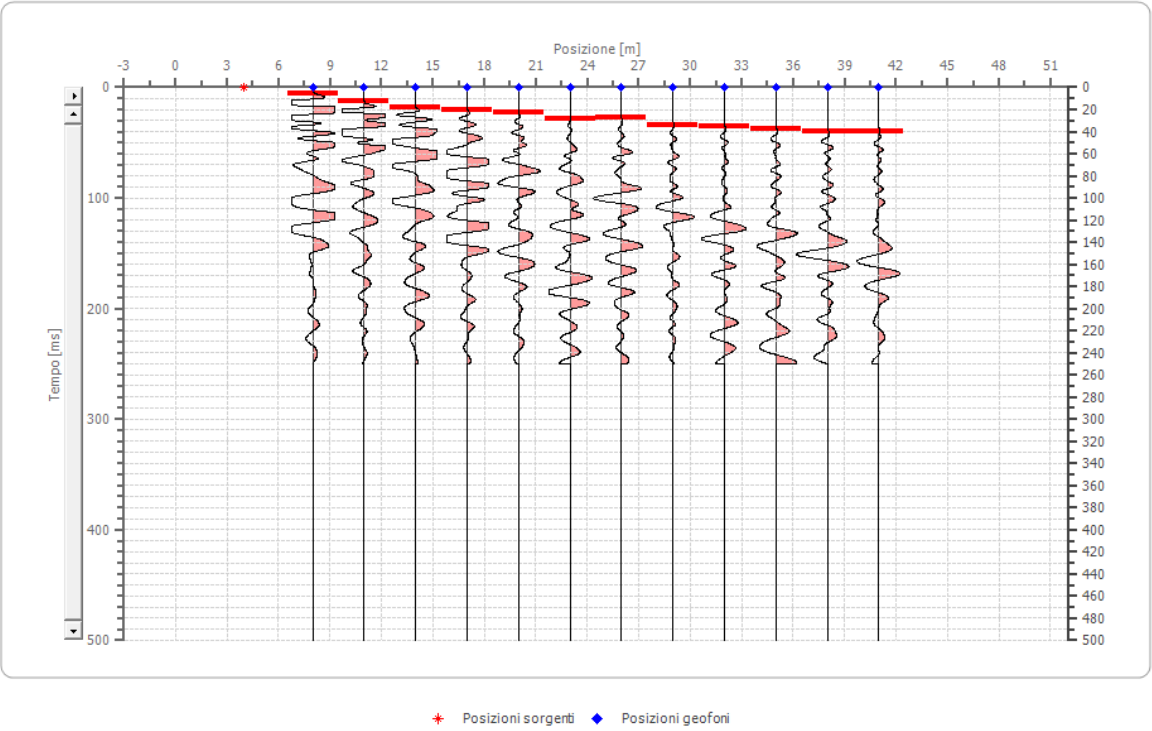
Posizione sorgente X            0 [m]  
Posizione sorgente Z            0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	20.5562
11.0	23.9822
14.0	26.2662
17.0	29.6922
20.0	34.2603
23.0	37.6863
26.0	38.8283
29.0	39.9703
32.0	43.3963
35.0	44.5384
38.0	46.8224
41.0	49.1064

Battuta 2

Posizione sorgente X        4 [m]  
Posizione sorgente Z        0 [m]

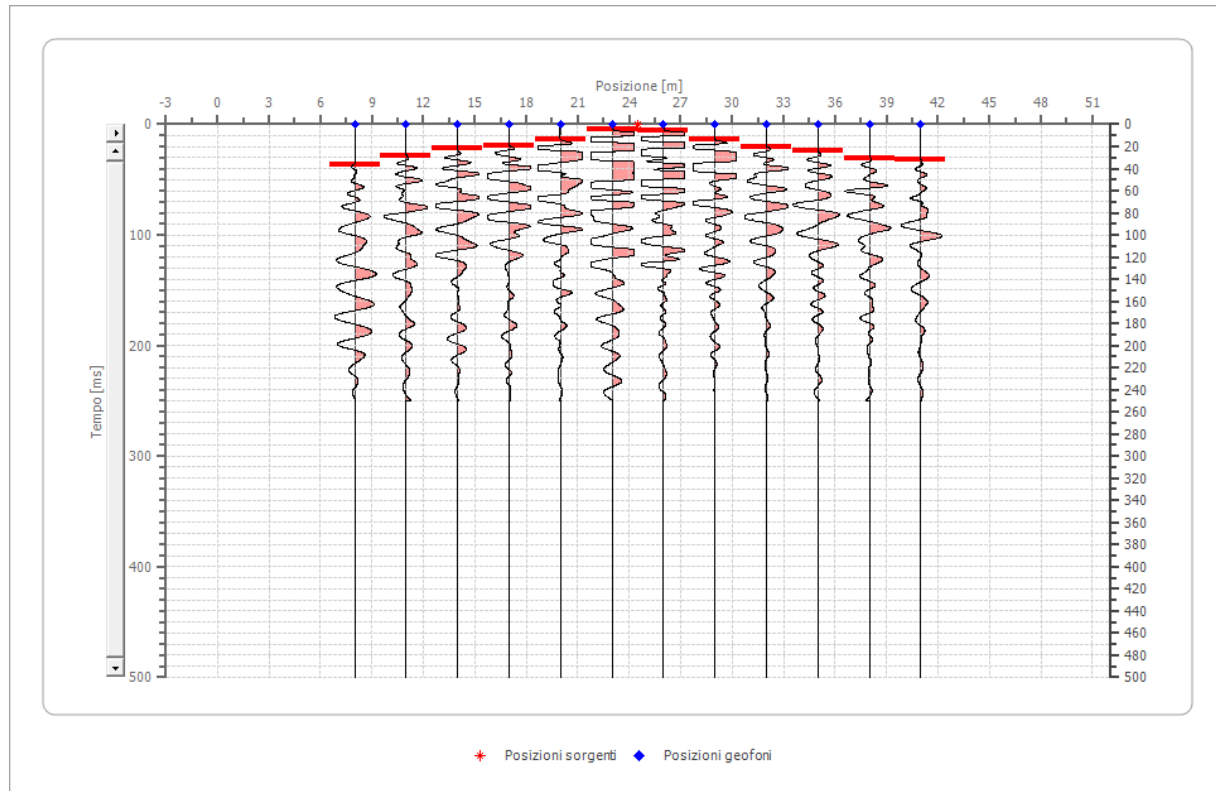


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	5.7100
11.0	12.5621
14.0	18.2721
17.0	20.5562
20.0	22.8402
23.0	28.5502
26.0	27.4082
29.0	34.2603
32.0	35.4023
35.0	37.6863
38.0	39.9703
8.0	5.7100



### Battuta 3

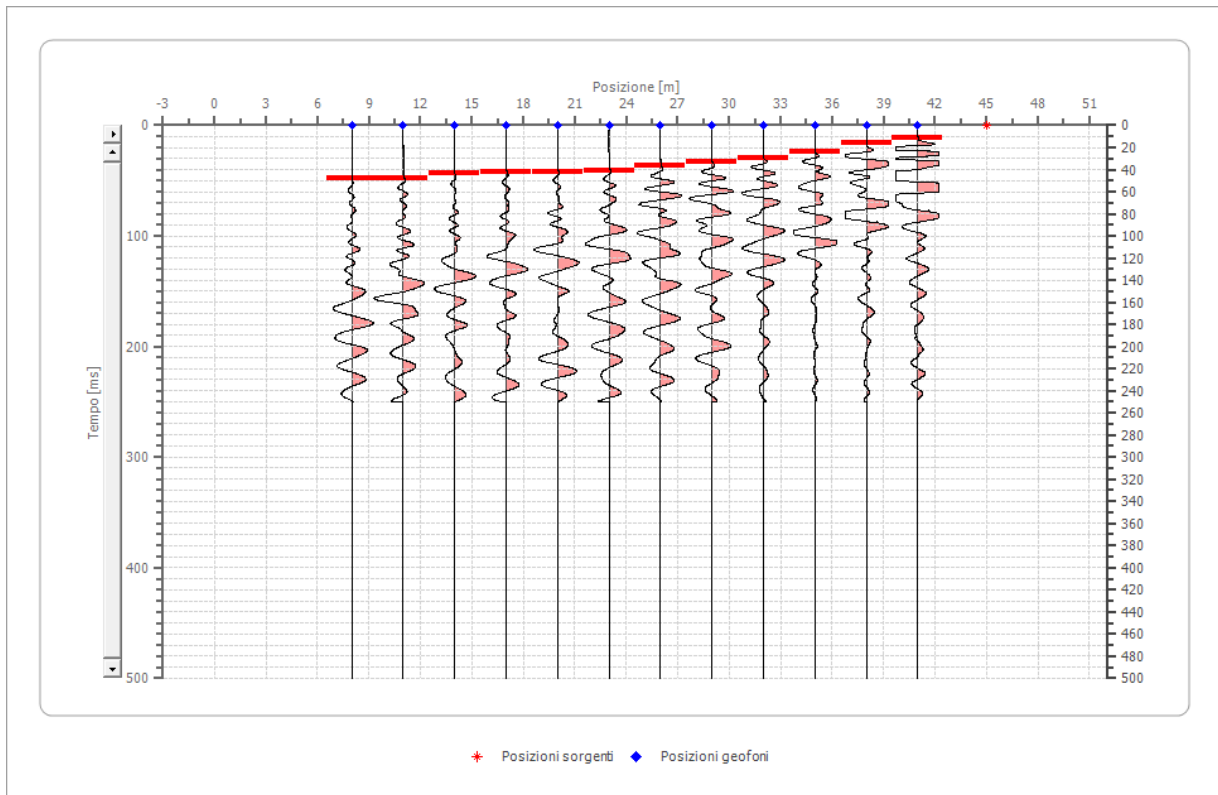
Posizione sorgente X      25 [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	36.5443
11.0	28.5502
14.0	21.6982
17.0	19.4142
20.0	13.7041
23.0	4.5680
26.0	5.7100
29.0	13.7041
32.0	20.5562
35.0	23.9822
38.0	30.8342
41.0	31.9763

#### Battuta 4

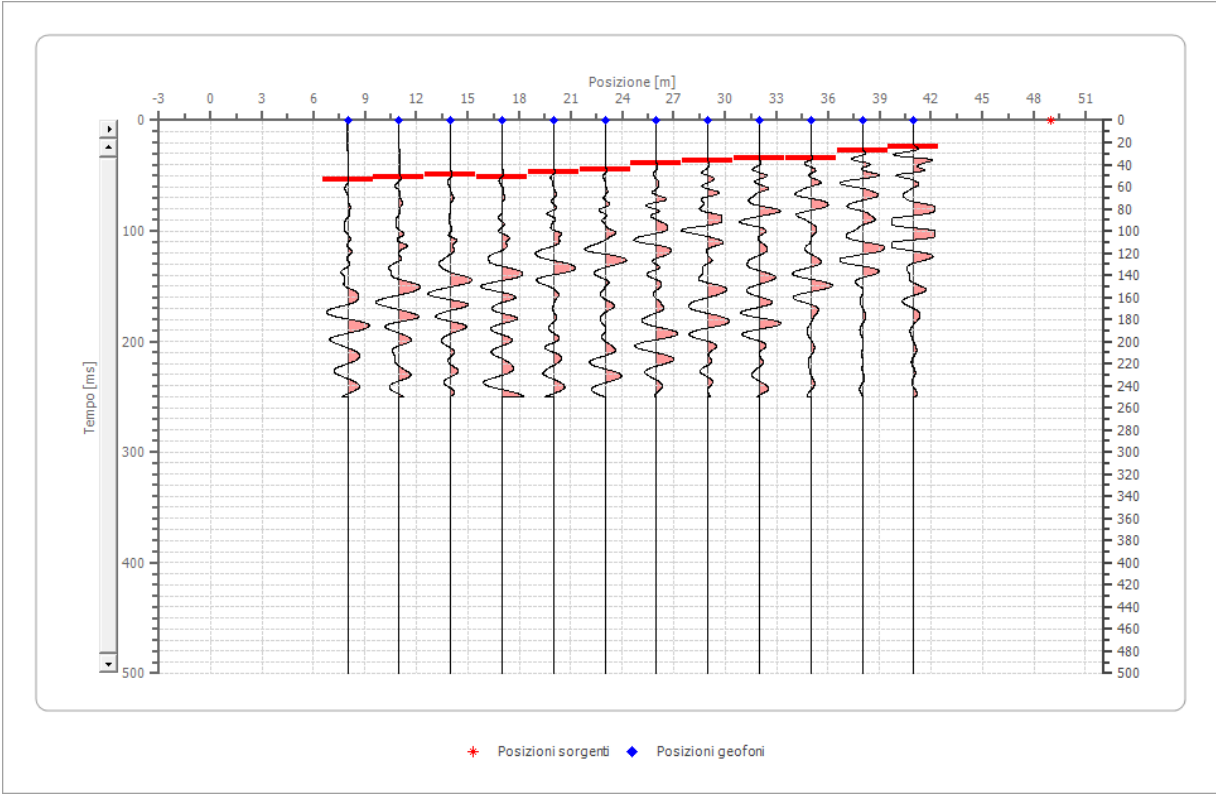
Posizione sorgente X      45 [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	47.9644
11.0	47.9644
14.0	43.3963
17.0	42.2543
20.0	42.2543
23.0	41.1123
26.0	36.5443
29.0	33.1183
32.0	29.6922
35.0	23.9822
38.0	15.9881
41.0	11.4201

Battuta 5

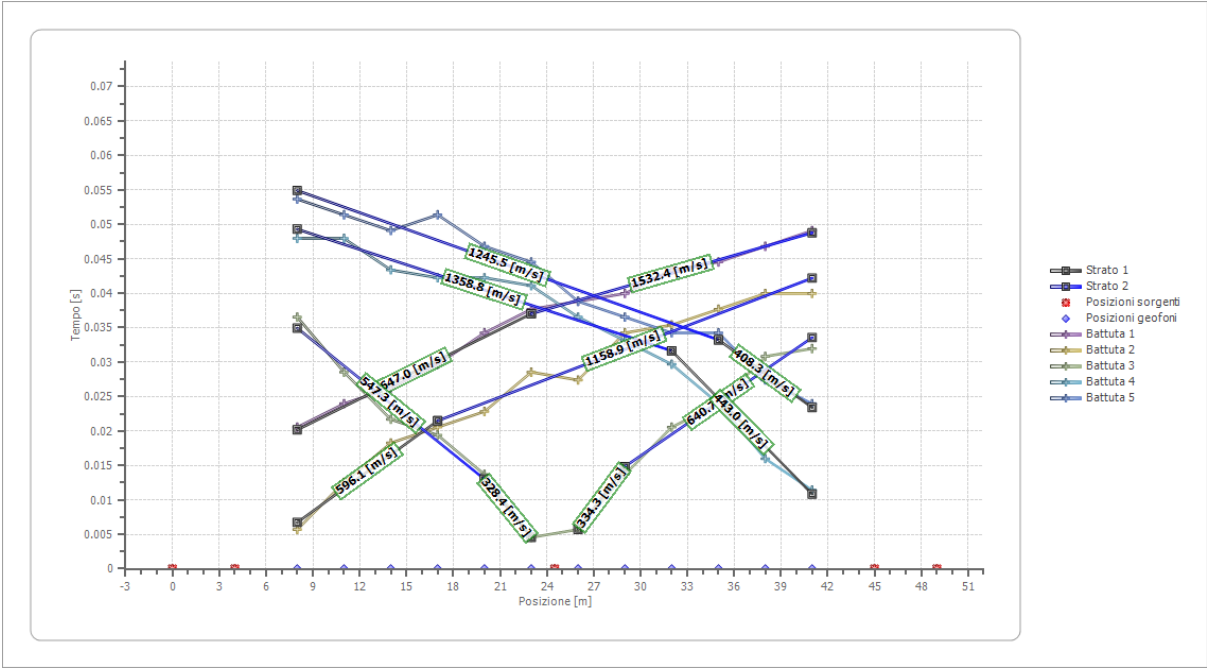
Posizione sorgente X      49 [m]  
Posizione sorgente Z      0 [m]



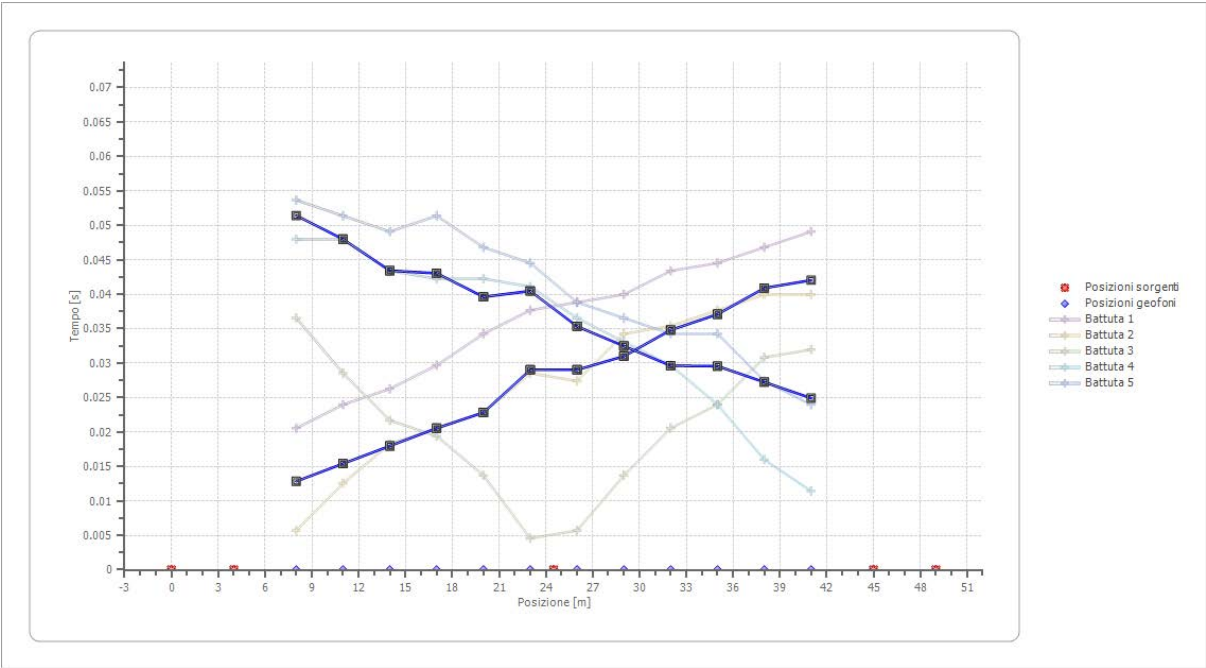
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	53.6744
11.0	51.3904
14.0	49.1064
17.0	51.3904
20.0	46.8224
23.0	44.5384
26.0	38.8283
29.0	36.5443
32.0	34.2603
35.0	34.2603
38.0	27.4082
41.0	23.9822



Dromocrone



Dromocrone traslate



## Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 8.0 [m]	3.6	--
G= 11.0 [m]	3.4	--
G= 14.0 [m]	2.9	--
G= 17.0 [m]	3.4	--
G= 20.0 [m]	3.1	--
G= 23.0 [m]	4.9	--
G= 26.0 [m]	3.6	--
G= 29.0 [m]	3.4	--
G= 32.0 [m]	3.6	--
G= 35.0 [m]	4.2	--
G= 38.0 [m]	4.5	--
G= 41.0 [m]	4.2	--
Velocità [m/sec]	459.5	1184.1
Descrizione		

## Altri parametri geotecnici

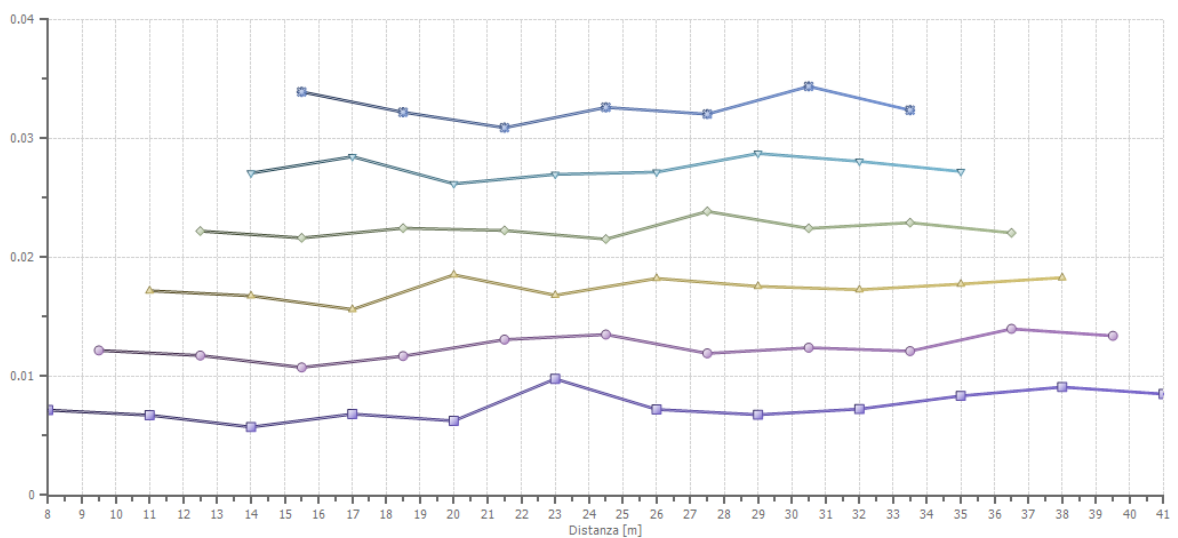
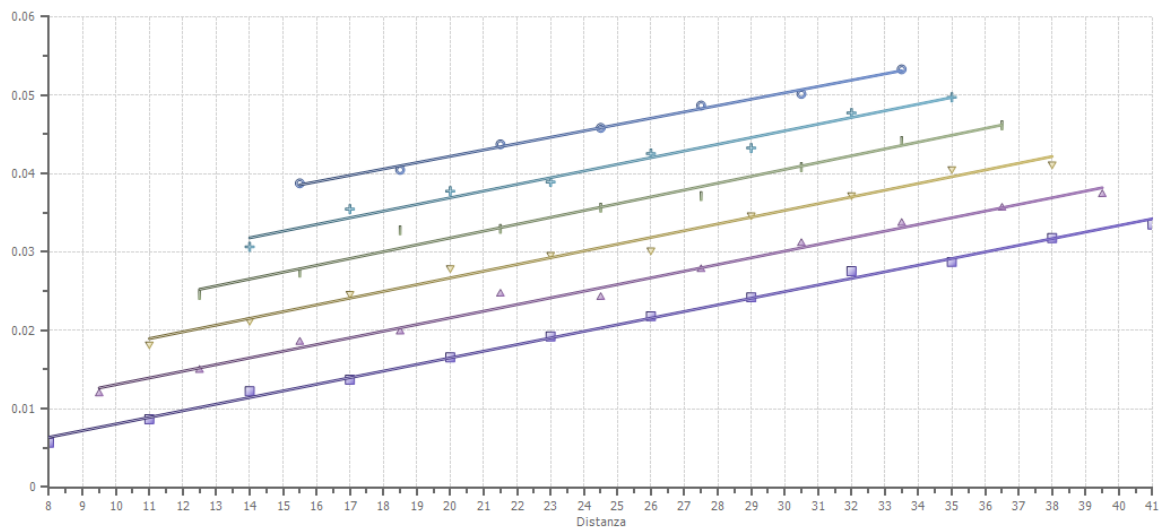
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	459.52	1184.15
Vs [m/s]	220.75	568.85
G0 [MPa]	87.71	582.46
Ed [Mpa]	380.08	2523.97
M0 [MPa]	292.37	1941.52
Ey [Mpa]	236.82	1572.63

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



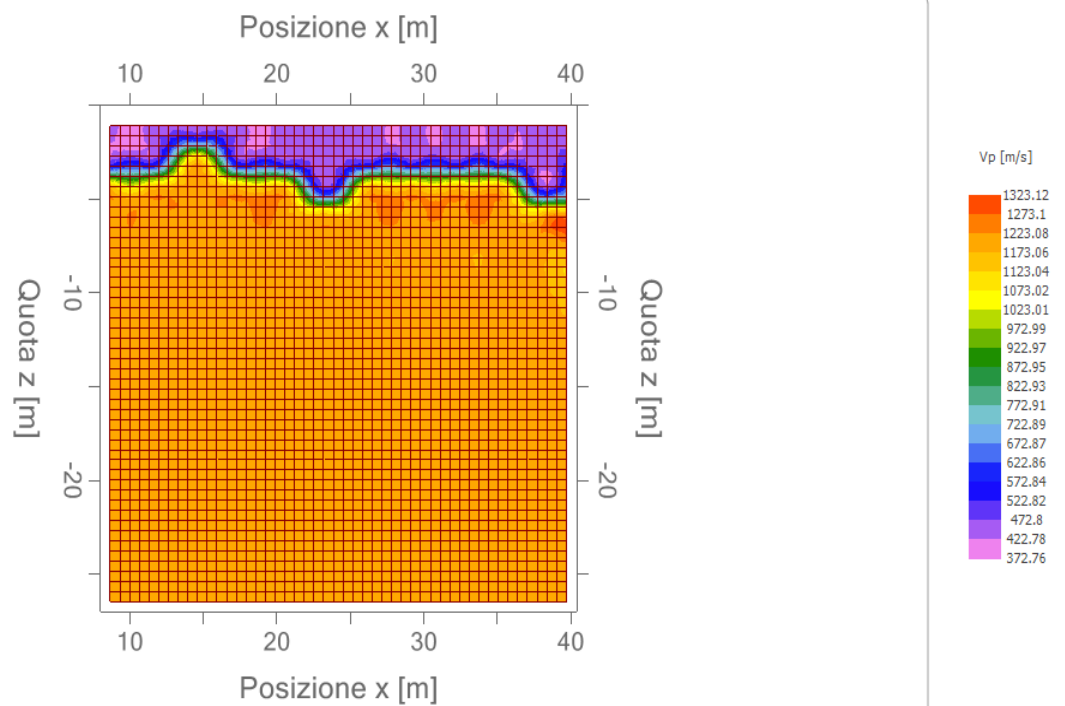
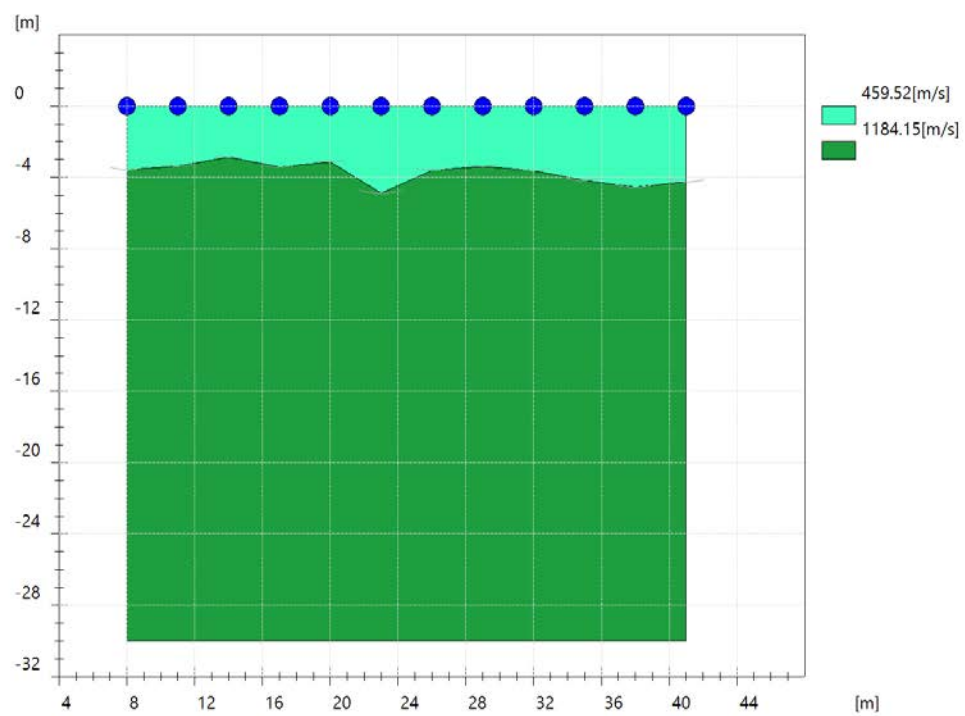






Foto n. 1 – stendimento rilievo a RIFRAZIONE



Foto n. 2 – particolare rilievo RIFRAZIONE

RILIEVO SISMICO A RIFRAZIONE N.2

Committente Fondazione Ordine Mauriziano  
Sant'Antonio di Ranverso: Cascina Bassa

Dati Generali

Descrizione      Ricostruzione geometria livelli geologici del sottosuolo del sito

Data                19/10/2024

Sito                 Sant'Antonio di Ranverso: Cascina Bassa - Via Francigena – Buttigliera Alta

Latitudine        45.080932°

Longitudine      7, 448241°

Altitudine        388 m

27/05/2024

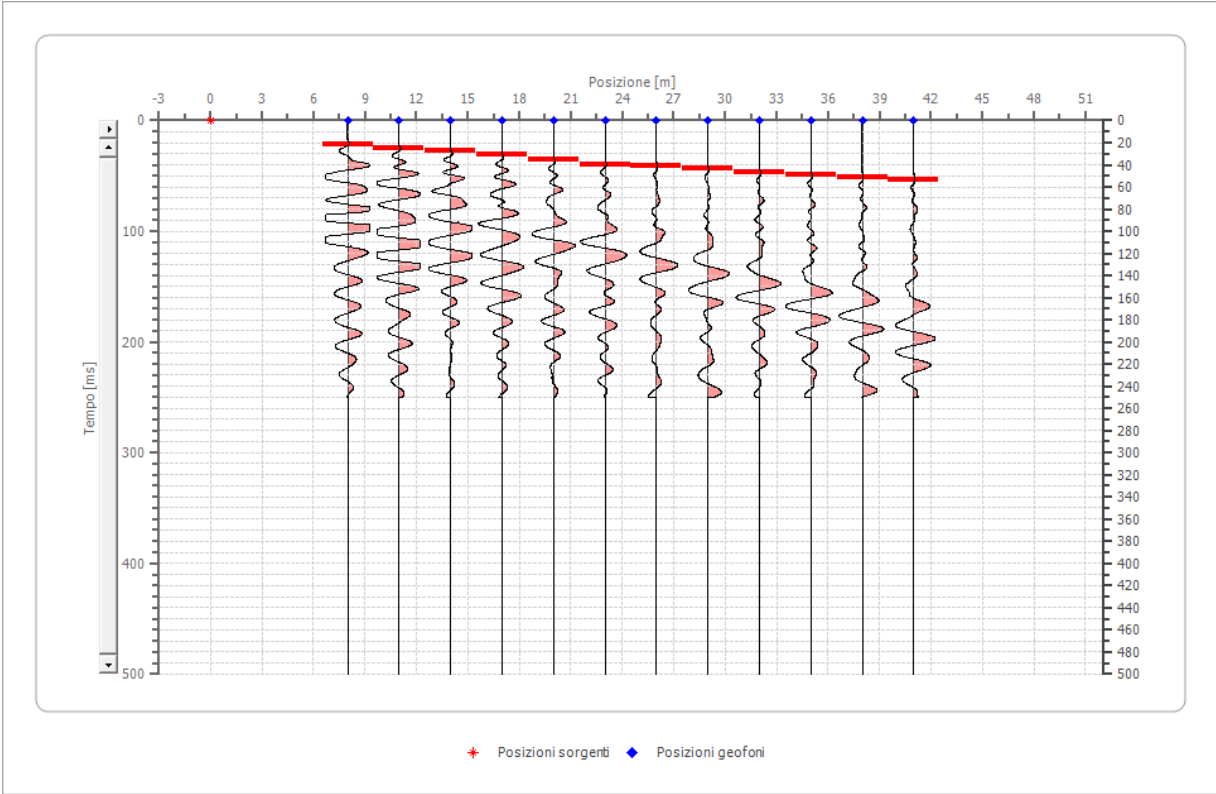
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	8.0	0.0
2	11.0	0.0
3	14.0	0.0
4	17.0	0.0
5	20.0	0.0
6	23.0	0.0
7	26.0	0.0
8	29.0	0.0
9	32.0	0.0
10	35.0	0.0
11	38.0	0.0
12	41.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

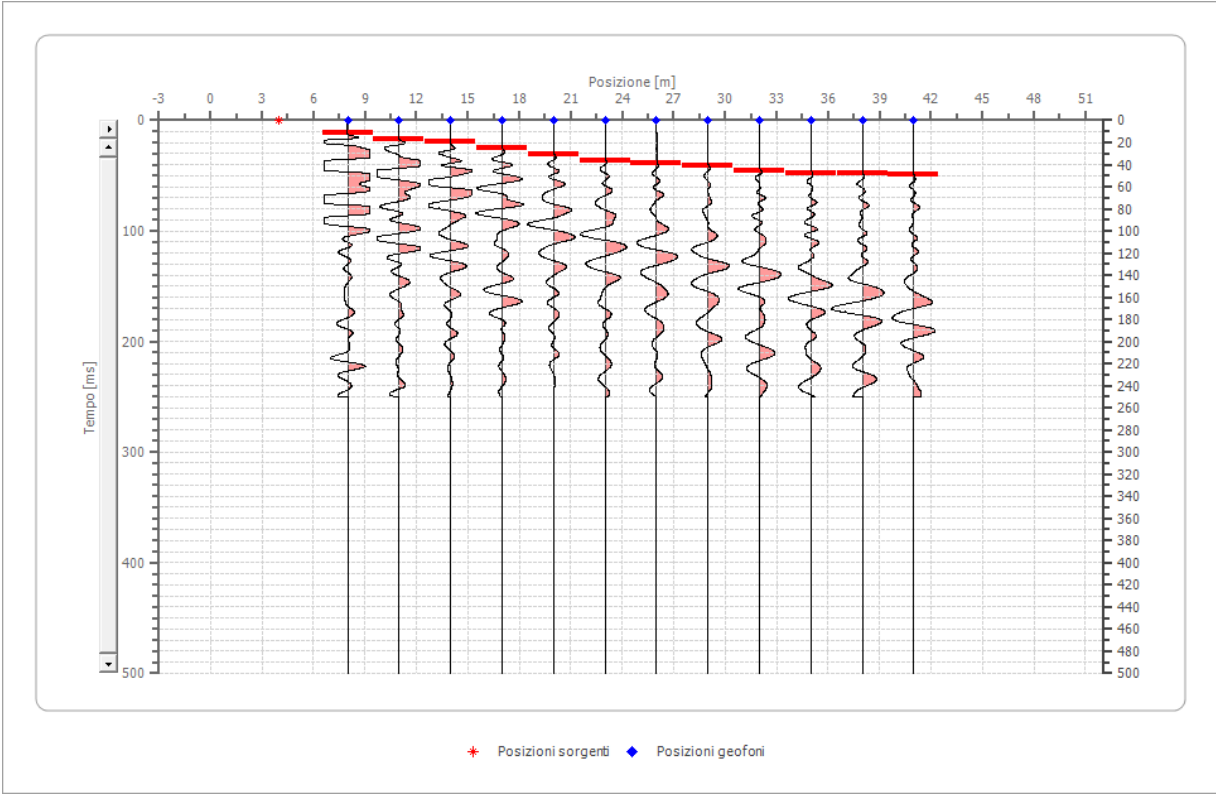
Posizione sorgente X        0 [m]  
Posizione sorgente Z        0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	21.6982
11.0	25.1242
14.0	27.4082
17.0	30.8342
20.0	35.4023
23.0	39.9703
26.0	41.1123
29.0	43.3963
32.0	46.8224
35.0	49.1064
38.0	51.3904
41.0	53.6744

Battuta 2

Posizione sorgente X        4 [m]  
Posizione sorgente Z        0 [m]

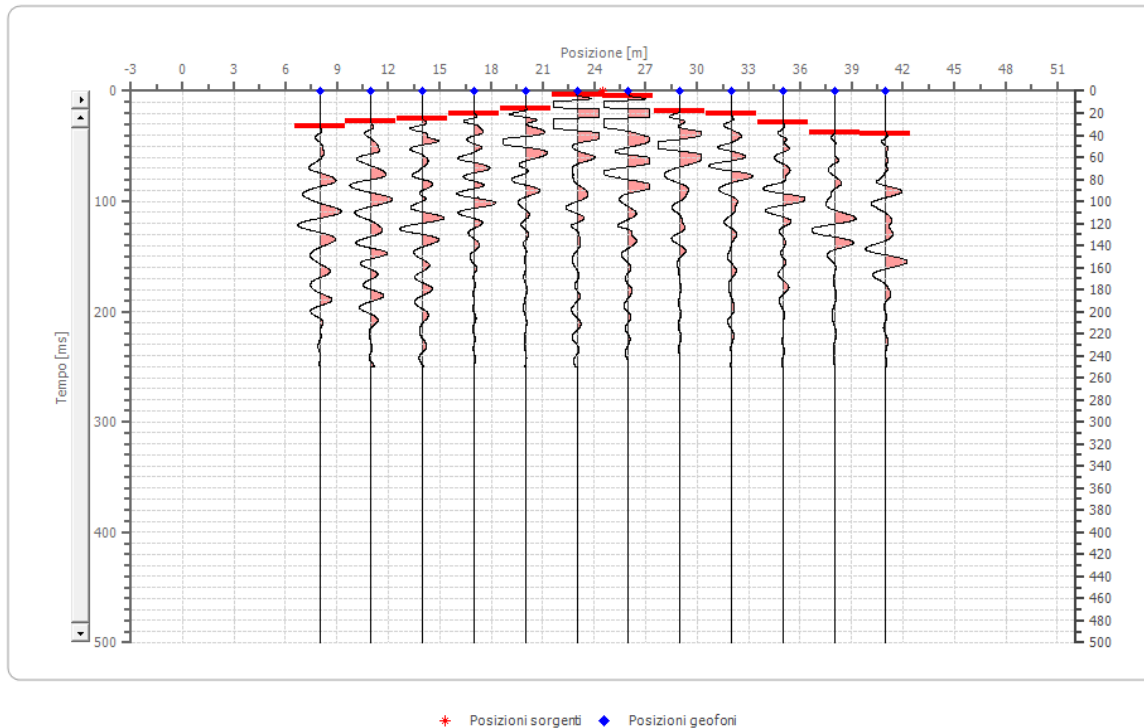


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	11.4201
11.0	17.1301
14.0	19.4142
17.0	25.1242
20.0	30.8342
23.0	36.5443
26.0	38.8283
29.0	41.1123
32.0	45.6804
35.0	47.9644
38.0	47.9644
8.0	11.4201



### Battuta 3

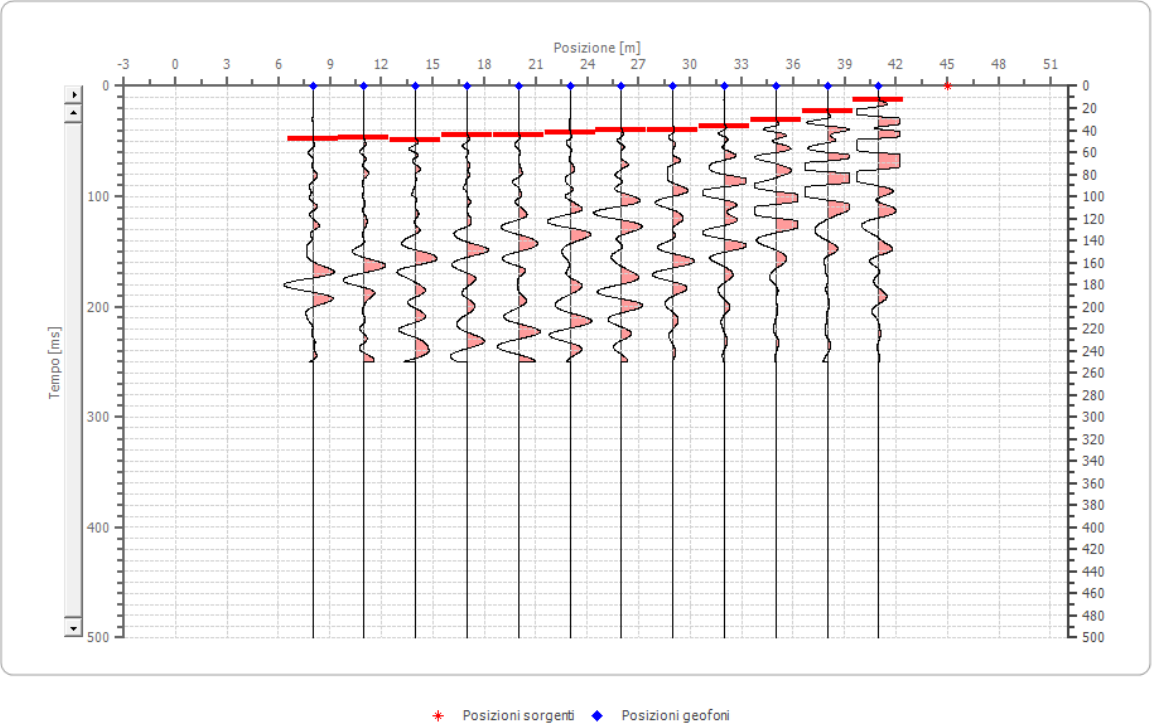
Posizione sorgente X      25 [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	31.9763
11.0	27.4082
14.0	25.1242
17.0	20.5562
20.0	15.9881
23.0	3.4260
26.0	4.5680
29.0	18.2721
32.0	20.5562
35.0	28.5502
38.0	37.6863
41.0	38.8283

Battuta 4

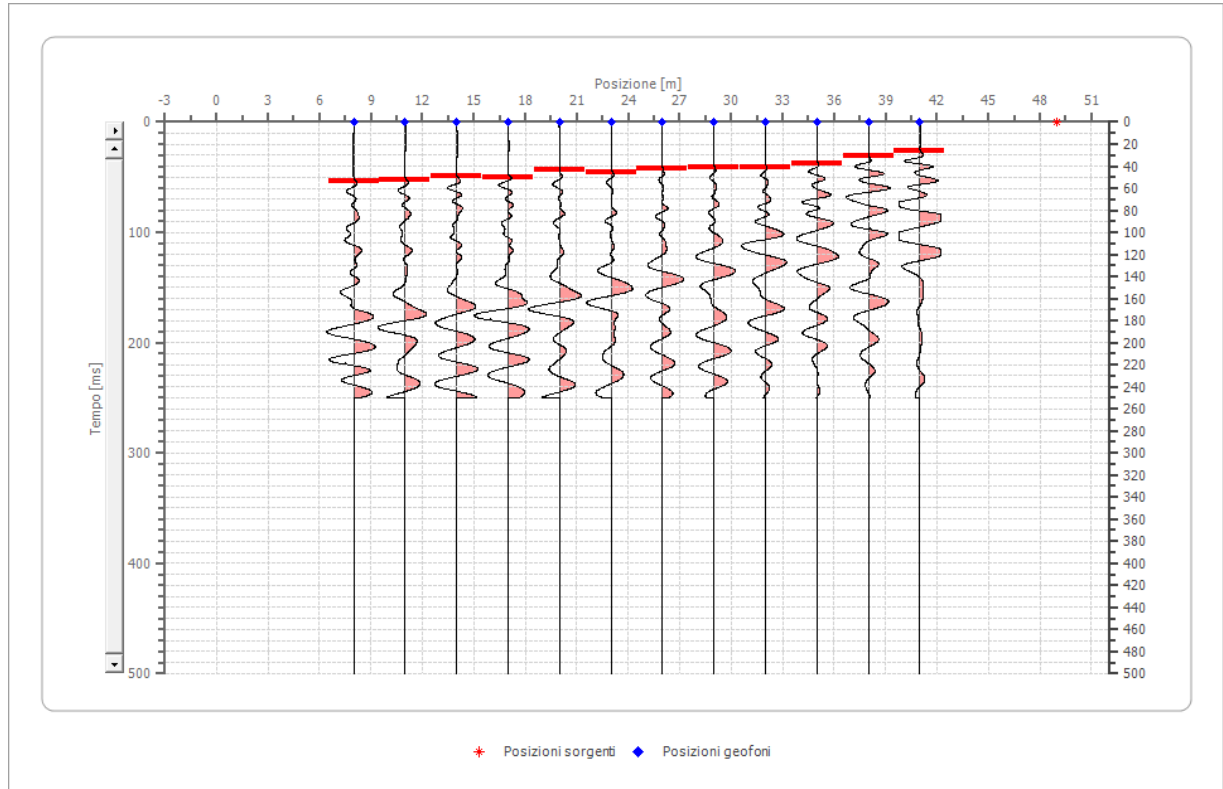
Posizione sorgente X      45 [m]  
Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	47.9644
11.0	46.8224
14.0	49.1064
17.0	44.5384
20.0	44.5384
23.0	42.2543
26.0	39.9703
29.0	39.9703
32.0	36.5443
35.0	30.8342
38.0	22.8402
41.0	12.5621

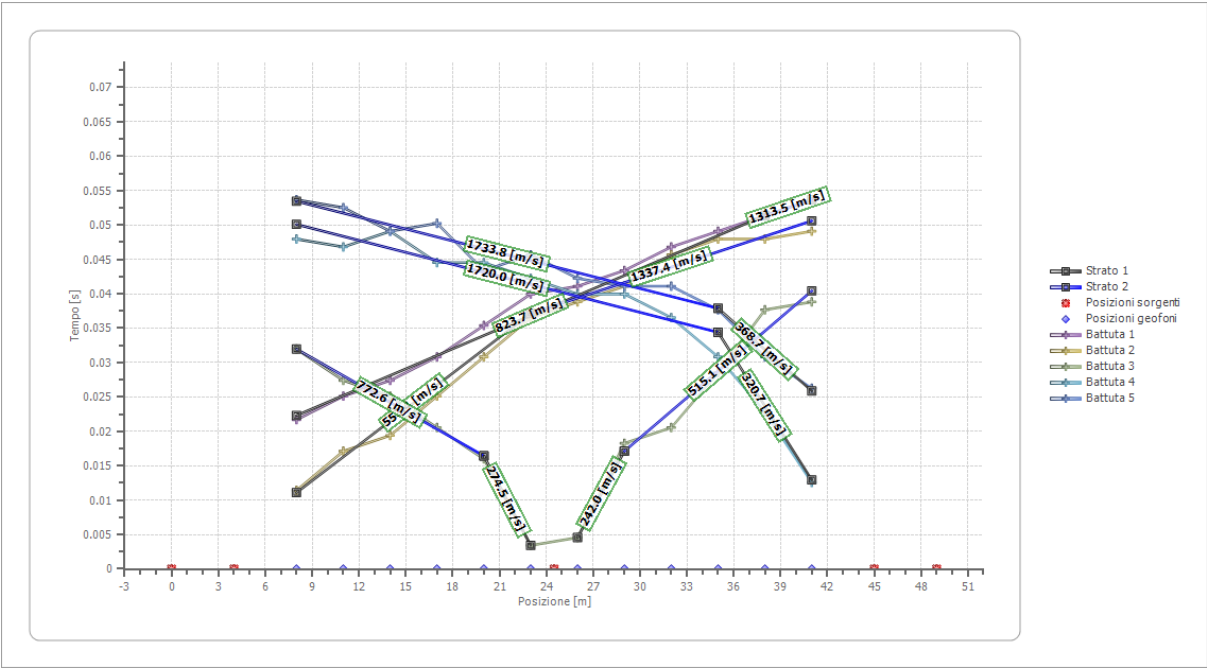
## Battuta 5

Posizione sorgente X 49 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]

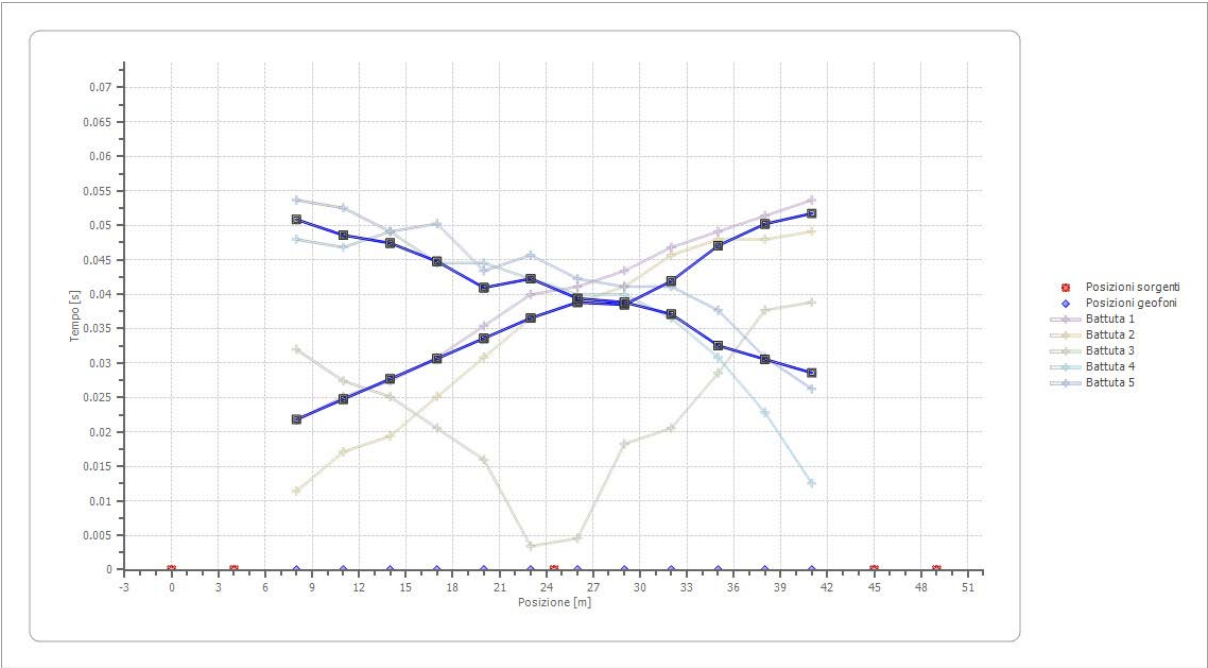


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
8.0	53.6744
11.0	52.5324
14.0	49.1064
17.0	50.2484
20.0	43.3963
23.0	45.6804
26.0	42.2543
29.0	41.1123
32.0	41.1123
35.0	37.6863
38.0	30.8342
41.0	26.2662

Dromocrone



Dromocrone traslate



## Interpretazione col metodo G.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 8.0 [m]	4.2	--
G= 11.0 [m]	4.4	--
G= 14.0 [m]	4.8	--
G= 17.0 [m]	4.8	--
G= 20.0 [m]	4.6	--
G= 23.0 [m]	5.6	--
G= 26.0 [m]	5.5	--
G= 29.0 [m]	5.3	--
G= 32.0 [m]	5.7	--
G= 35.0 [m]	5.8	--
G= 38.0 [m]	6.1	--
G= 41.0 [m]	6.0	--
Velocità [m/sec]	430.5	1295.0
Descrizione		

## Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.35	0.35	0.35
Densità [kg/m³]	1800.00	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	430.49	1295.03	430.49
Vs [m/s]	206.80	622.11	206.80
G0 [MPa]	76.98	696.65	76.98
Ed [Mpa]	333.58	3018.80	333.58
M0 [MPa]	256.60	2322.15	256.60
Ey [Mpa]	207.85	1880.94	207.85

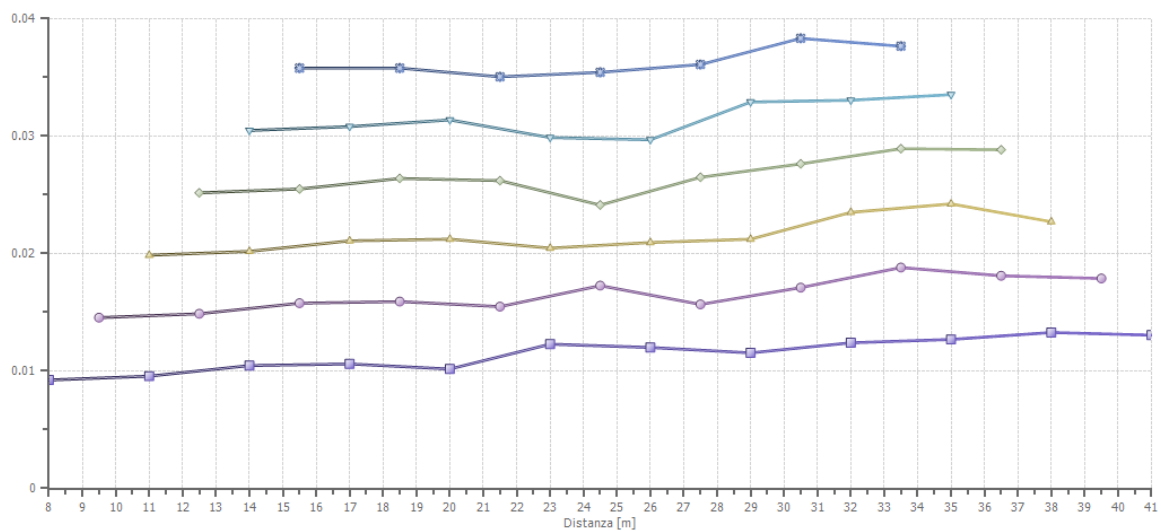
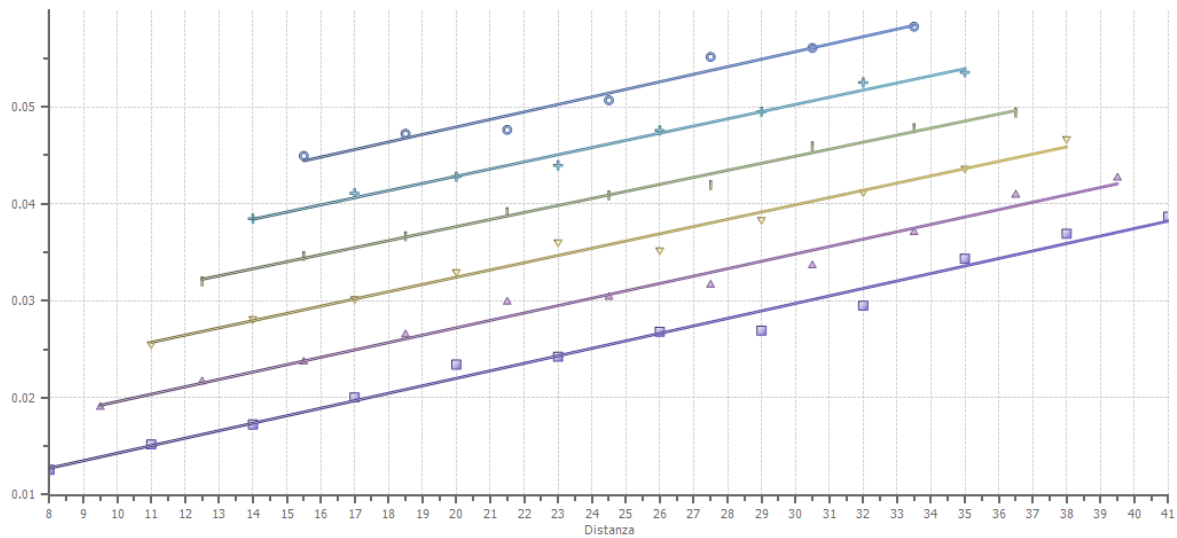
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





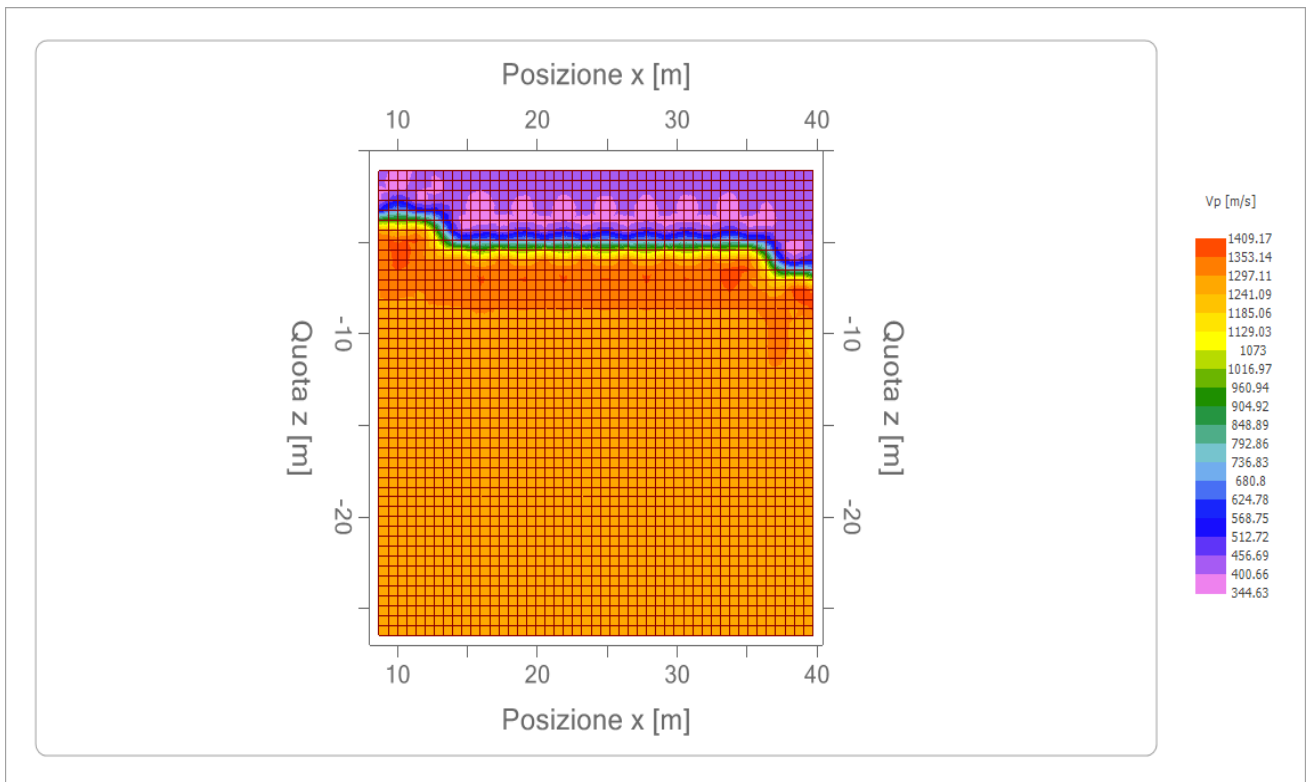
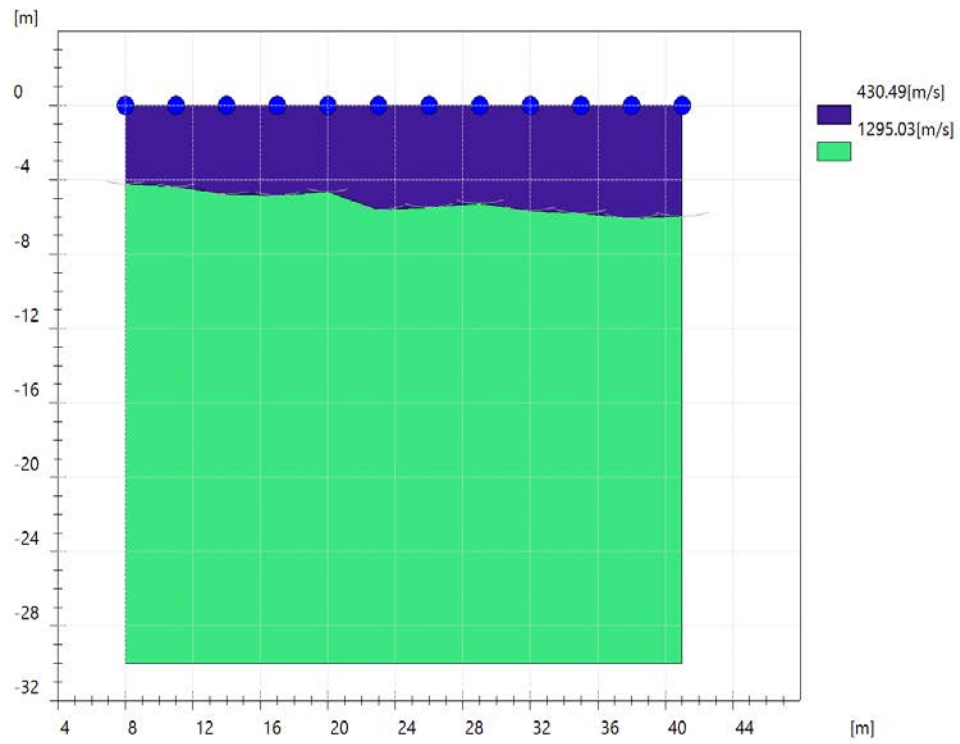




Foto n. 1 – stendimento rilievo a RIFRAZIONE

## Easy Refract

Seismic refraction surveys allow the interpretation of the subsoil stratigraphy through the physical principle of total refraction of a seismic wave that is incident on a discontinuity, detected between two bodies having different mechanical properties (refracting horizon).

The basic requirement to perform studies of seismic refraction is one for which the succession of layers to be investigated is characterized by increasing seismic velocities with increasing depth. In this way can be analyzed up to 4 or 5 different refracting horizons.

The surveys are based on the measurement of the travel times of the elastic waves for which, assuming the surfaces of discontinuity extended compared to the wavelength or, anyway, with weak curvature, the wavefronts are represented by the relative seismic rays. The analysis relies on Fermat's Principle and Snell's Law.

Fermat's Principle states that the ray travels the distance between the seismic source and receiver following the path for which the travel time is minimal. Given a plan separating two media with different elastic properties the seismic ray is the one that extends along a plan perpendicular to the discontinuity containing both the source and the receiver.

Snell's Law is a formula that describes the refraction modes of a seismic ray in the transition between two media characterized by different wave velocities or, equivalently, by different indices of refraction. The angle formed between the discontinuity surface and the seismic ray is called angle of incidence  $\theta_i$  while that formed between the refracted ray and the normal surface is called refraction angle  $\theta_r$ . The mathematical formulation is:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Where  $v_1$  and  $v_2$  are the velocities of the two media separated by the discontinuity surface.

For  $v_1 > v_2$  we have  $\theta_i > \theta_r$  and seismic refraction is not feasible because the refracted ray would be to tilt downwards. For  $v_1 < v_2$  we have  $\theta_i < \theta_r$  and there is a limit angle of incidence for which  $\theta_r = 90^\circ$  and the refracted ray travels parallel to the discontinuity surface. The expression that defines the limit angle is:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

The easiest way to analyze the refraction data is to build a time-distance diagram in which the origin of the reference system is placed in correspondence of the generation source of the elastic waves. On the abscissa are shown the positions of the geophones and on the ordinate the times for the first arrivals. To geophones closest to the source arrive first the signals/impulses that have followed the direct path in a time  $T$  given by the relation:

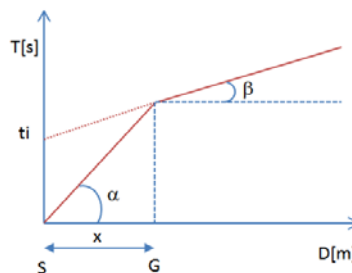
$$T = x_i / V_1$$

where  $x_i$  is the distance between the energization (shot) point and the detection point.

The previous equation represents a straight line passing through the origin of the time-distance axis and its angular coefficient allows to calculate the velocity  $V_1$  of the first medium as:

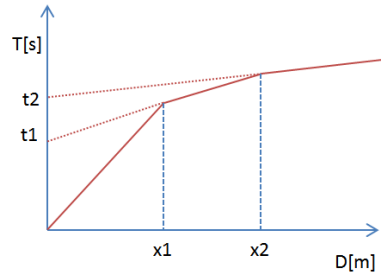
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

The arrival times of the refracted rays, in the time-distance diagram, are arranged according to a straight line which will slope less than that of the direct waves.



The time-distance curve tends to have a regular pattern according to a broken line whose vertices are called *points of slope change* and represent, physically, the condition of simultaneous arrival of the direct and refracted waves. For each of the segments identified is determined, therefore, the delay time  $t_i$  that represents the

difference between the time that the seismic ray takes to travel a segment at the speed of the layer in which is transmitted and the time it would take to travel along the horizontal component of that same segment at maximum speed reached in the whole refraction path. Graphically, the delay time is given by the intersection of the straight line that includes a segment of the time-distance curve with the time axis.

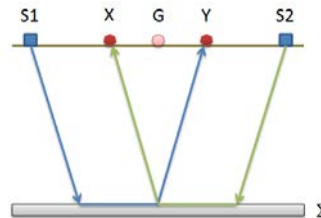


Finally, from the knowledge of the times  $t_i$  is possible to obtain the thickness of the refractors using the relation:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In complex morphological situations can be used as a method of processing the General Reciprocal Method (GRM) discussed by Palmer in 1980.

The method is based on the search of a virtual inter-geophone distance XY such that the seismic rays which start from symmetrical shot points compared to the geophone string (array), arrive at the geophone placed in position X and to the one placed in position Y coming from the same point of the refractor.

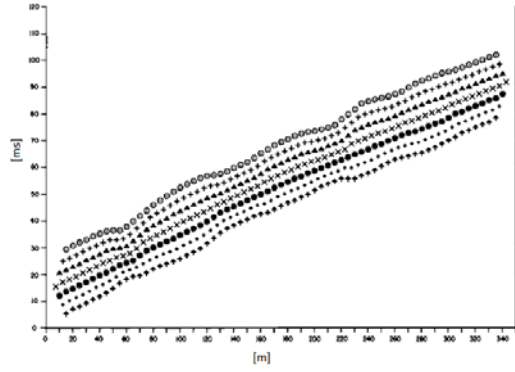


The first operational step is to build a time-distance diagram identifying in the seismograms obtained from field data the first arrivals of the seismic waves. To determine the optimal XY distance it is necessary to consider several shot points at the ends of the geophone line and within the geophone line as well. This procedure allows to identify more accurately the relative times to the same refractor, useful to characterize the traveltimes curves, fundamental for the interpretation. In multi-layer interpretation, the generation of traveltimes curves can use phantoming techniques to overcome the lack of data for some refractors.

From the construction of traveltimes curves is possible to determine the **velocity function** according to the equation:

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$





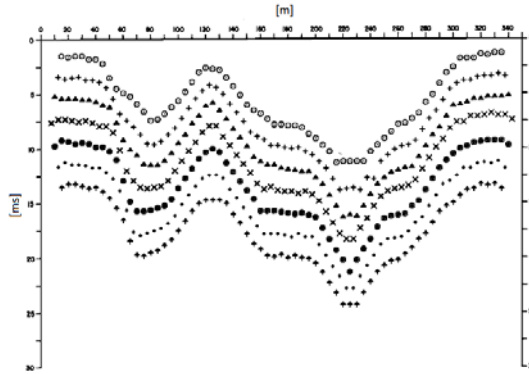
where  $T_{S_1Y}$  and  $T_{S_2X}$  are travel times of seismic rays to reach, respectively, from source  $S_1$  to  $X$  and from source  $S_2$  to  $Y$  while  $T_{S_1S_2}$  is the travel time between the two shot points  $S_1$  and  $S_2$ , external and symmetrical to the array (geophone string/line).  $T_v$  is the calculated time of a geophone  $G$  placed between  $X$  and  $Y$ , not necessarily coincident with the position of a geophone of the array (geophone string/line).

The calculation of the function  $T_v$  is performed for each value of  $XY$  between zero and half of the geophone string with variation equal to the actual distance between the geophones of the string. The best regression line of the velocity functions obtained allows to determine the optimal  $XY$  and the speed of the refractor that is derived from the angular coefficient.

Using the **time-depth function** it is possible to find the depth of the refractor expressed in units of time. The expression of this function is:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left( T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Where  $V_n$  is the velocity of the refractor.



As is the case for the velocity function different time-depth functions are determined for the set of  $XY$  study values. Among the functions found, the one that has the highest articulation lies for the optimal value of  $XY$ .

Finally, it is possible to determine the **thickness of the refractor** at the positions of the geophones  $G$  using the relation:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

$h$  represents the minimum depth of the geophone  $G$  therefore the morphology of the refractor is defined by the envelope of semicircles of radius  $h$ .

One of the main advantages of G.R.M. is that the conversion factor of the depth is relatively insensitive to inclinations up to about  $20^\circ$ .