

Studio Geologico-Prospezione  
Geognostica-Mineraria  
Dott. Geol. Zappa Michelangelo

Via della Collina N°3  
87030-Falconara Albanese (CS)  
Tel. 0982/82162 Mob. 347/2487748

***"Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4,  
torrente Cordari in località Frailliti."***

Loc.ità Frailliti

Comune di Longobardi (CS)

***Committente: Amministrazione Comunale***

***Relazione Geologica***

Elaborato N°:

**Il Geologo  
Dott. Zappa Michelangelo**



**VISTI**

Falconara Albanese li 03/12/2020

## Indice

Introduzione.....	2
CAPITOLO:	
1.Inquadramento geologico dell'Arco Calabro Peloritano.....	4
1.1.Inquadramento geologico dell'area.....	5
2.Caratterizzazione geomorfologica.....	6
3. Indagini, prove eseguite in sito e caratteristiche Tecniche dei Terreni:.....	9
4.Verifica di stabilità.....	48
5.Verifica a liquefazione.....	74
6. Modello Geotecnico.....	74
Conclusioni.....	75
Allegati	

## Introduzione:

Lo studio geologico cui si riferisce la presente relazione, eseguito per conto del Comune di Longobardi (CS), con determina del Responsabile del Servizio N°287 del:10/09/2020, N.Reg.Gen:384, rientra nell'ambito del Progetto di: ***“Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4, torrente Cordari in località Frailliti.”*** nel Comune di Longobardi (CS).

I riferimenti topografici dell' area di studio sono i seguenti:

- Longobardi (Foglio 236 IV SO sez. B) I.G.M. scala 1:10000.
- Fiumefreddo Bruzio (Foglio 236 IV SO ) Carta Geologica D'Italia scala 1:25000.
- Longobardi (Elemento numero 559132) Carta Tecnica Regionale scala 1:5000.

L'indagine ha lo scopo di definire la geologia, la successione stratigrafica, le caratteristiche geomorfologiche dei terreni presenti nell' area.

Con essa, si vuole fornire un quadro di riferimento geo-ambientale corredato delle informazioni e delle analisi idonee a consentire una corretta, razionale ed organica progettazione degli interventi.

Di seguito vengono riportate le fasi del lavoro svolto:

- ricerca bibliografica relative all'area interessata dal progetto;
- rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio con conseguente confronto delle formazioni affioranti con la cartografia geologica ufficiale della Calabria (Casmez 1967);
- analisi ed interpretazione delle foto aeree riguardanti l'area oggetto di studio;
- verifica delle condizioni di rischio attraverso la consultazione degli elaborati contenuti nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Calabria;
- esecuzione di indagini geognostiche
- elaborazione e successiva interpretazione dei dati raccolti dalle indagini eseguite in sito;
- esecuzione “Verifica di Stabilità” *ante e post operam.*
- redazione degli allegati cartografici;
- redazione della relazione geologica.

Lo studio è stato eseguito in ottemperanza alla Legge<sup>1</sup> n. 64 del 2/2/74, all'Ord. P.C.M.<sup>2</sup> n. 3274 del 20/03/2003, nel rispetto delle Norme Tecniche contenute nel D.M.<sup>3</sup> 16/1/96 (ex D.M. 24/1/86), nel D.M.<sup>4</sup> 11/3/88 (ex D.M. 21/1/81) e nella Circolare<sup>5</sup> LL.PP. 24/9/88 n. 30483, della Legge Regionale<sup>6</sup> del 27/04/98 n. 7 (ex L.R. n. 17 del 11.7.94) e nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Calabria (ai sensi dell'art. 1-bis della Legge 365/2000, dell'art. 17 Legge 18 maggio 1989 n. 183, dell'art. 1 Legge 3 agosto 1998 n. 267), considerando, in ultimo, il D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", la Legge Regionale n. 35/2009 (legge antisismica) che comprende anche le indicazioni per la gestione del regime transitorio ai sensi della recente Legge Regionale n. 25/2012, approvata dal Consiglio regionale l'11 giugno 2012, il D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e la Circolare Ministeriale N°7 del 21 Gennaio 2019.

#### Allegati:

1. Carta Geo-litologica;
2. Carta trasposizione dei fenomeni franosi e del rischio idraulico di cui al P.A.I.;
3. Aggiornamento Aree soggette a modifiche di perimetrazione e/o classificazione delle pericolosità e del rischio dei Piani di Assetto idrogeologico del PAI alle nuove mappe del PGRA.
4. Calcolo area di Attenzione secondo Normativa PAI;
5. Ubicazione indagini;
6. RT Prove di Laboratorio IPG;
7. Repertorio fotografico;

---

<sup>1</sup> Legge 2 Febbraio 1974, n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

<sup>2</sup> Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

<sup>3</sup> Decreto Ministero LL.PP. 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica".

<sup>4</sup> Decreto Ministero LL.PP. 11 Marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

<sup>5</sup> Circolare Ministero LL.PP. 24 Settembre 1988, n. 30483 "Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/3/88".

<sup>6</sup> Legge Regionale 27 Aprile 1998 n. 7 "Disciplina per le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Snellimento delle procedure in attuazione dell'art. 20 della Legge 10/12/81 n. 741.

## CAPITOLO 1

### 1. Inquadramento Geologico Dell'Arco Calabro Peloritano

L'area di studio è ubicata nel settore settentrionale dell'Arco Calabro Peloritano (ACP). L'Arco Calabro è un elemento di catena fortemente arcuato della fascia orogenica perimediterranea posto tra la catena appenninica s.s., caratterizzata da un andamento circa N-SE e la catena siciliano maghrebide ad andamento E (Amodio Morelli *et al.*, 1976)

Esso viene considerato come un elemento unitario; in realtà è costituito da due settori (Settentrionale e Meridionale) che si differenziano nell'assetto tettono-stratigrafico delle unità che li compongono, nelle caratteristiche strutturali e nell'evoluzione tettonica (Scandone, 1979; Bonardi *et al.*, 1982; Tortorici *et al.*, 1982).

Secondo alcuni autori il settore Settentrionale, delimitato a N della linea di Sanginetto e a S da un allineamento che si prolunga da Capo Vaticano sino a Soverato, rappresenta un frammento della catena Eoalpina con vergenza Europea; mentre il settore meridionale e i monti Peloritani, che si estendono da Capo Vaticano-Soverato fino alla linea di Taormina seguono un trasporto orogenetico con vergenza africana. Il settore settentrionale (*Fig. 1.2*) include due alti morfologici: la Sila e la Catena Costiera, separate dalla Valle del Crati, la quale occupa una depressione tettonica limitata da faglie normali ad andamento N-S (Cello *et al.*, 1982; Tortorici *et al.*, 1995).

La Sila e la Catena Costiera sono costituite da un edificio a falde formate da sequenze ofiolitiche mesozoiche, rocce di basamento cristallino di età da pre-ercinica ad ercinica intruse da plutoni tardo-erciniche (Amodio Morelli *et al.*, 1976; Dubois, 1976; Lanzafame e Zuffa, 1976; Tortorici, 1982; Ayuso *et al.*, 1994; Messina *et al.*, 1994; Piluso, 1997; Piluso *et al.*, 1998). Le rocce del basamento cristallino hanno subito una lunga e complessa evoluzione che le ha viste coinvolte sia nelle orogenesi pre-alpine che in quella alpina quando sono state separate dalla parte meridionale della placca Iberica e impilate, a partire dall'Oligocene superiore, sulla placca Adria (Thomson, 1998; Critelli, 1999).

L'edificio a falde della Calabria settentrionale è stato suddiviso in tre elementi principali (Ogniben, 1973; Morten e Tortorici, 1993) in cui sono state distinte differenti Unità tettonometamorfiche (Amodio Morelli *et al.*, 1976; Scandone, 1982; Messina *et al.*, 1994):

- L'elemento più profondo è formato da rocce carbonatiche di età mesozoica e relativo basamento Paleozoico di basso grado (Ietto e Barillaro, 1993; Iannace *et al.*, 1995; Perrone, 1996; Ietto e Ietto, 1998). Quest'elemento è stato coinvolto nel Miocene inferiore nella collisione tra la placca Iberica e quella Africana ed attualmente costituisce la catena appenninica Africa-vergente (Critelli, 1990)
- L'elemento tettonostratigrafico intermedio è costituito da due Unità ofiolitiche/ofiolitifere mesozoiche che rappresentano i resti dell'oceano neo-Tetideo (De Roever, 1972; Lanzafame *et al.*, 1979; Beccaluva *et al.*, 1982; Guerriera *et al.*, 1993; Cello *et al.*, 1996). Queste Unità sono state coinvolte nei processi di subduzione seguiti da collisione continente-continente. I dati strutturali e stratigrafici (Alvarez, 1976; Carrara e Zuffa, 1976; Dietrich, 1966; Cello *et al.*, 1991, 1996) indicano che questi processi sono stati attivi durante il pre-Luterziano con polarità europea (direzione di trasporto tettonico verso W-NW) (Cello *et al.*, 1991).
- Infine, l'elemento posto in posizione geometrica più elevata è costituito da una sezione continua di crosta continentale strutturatasi in età tardo-Ercinica con relative coperture sedimentarie Mesozoica (Unità di Longobucco) (Messina *et al.* 1994; Piluso e Morten, 1999),

interessata da deformazioni esclusivamente fragili a partire da 23 Ma (Thomson, 1994). Non esiste accordo generale sul significato e sulla posizione paleogeografia di questo elemento. Le differenti interpretazioni prevedono che:

- si tratti del margine Europeo della Neo-Tetide (Ogniben, 1973; Boullin, 1984; Dietrich, 1998; Dewey *et al.*, 1989; Knott, 1987, 1994; Thomson, 1998);
- si tratti di una parte del dominio Austroalpino della placca africana (Haccard *et al.*, 1972; Alvarez *et al.*, 1974; Alvarez, 1976; Amodio Morelli *et al.*, 1976; Scandone, 1979, 1982; Bonardi *et al.*, 1982, 1993);
- sia il basamento e copertura di un microcontinente posto tra i continenti Europeo e Africano (Wildi 1983; Guerriera *et al.*, 1993; Cello *et al.*, 1996; Critelli e Le Pera, 1998; Piluso e Morten, 1997, 1999);
- sia il prodotto dell'accrescimento di tre microzolle crostali (Vai, 1992).

### 1.1 Inquadramento geologico dell' Area

Impostata nella pianura costiera lungo la costa tirrenica nell'area di studio affiorano i sedimenti riferibili alla successione di depositi Olocenici che vengono raggruppati sotto la denominazione di Complesso Postorogeno (Ogniben, 1973): questi sono rappresentati da ghiaie, ghiaie sabbiose limose debolmente argillose di origine fluviale. Nella Carta Geologica della Calabria alla scala 1:25000 questi litotipi vengono indicati come alluvioni mobili, alluvioni fissate dalla vegetazione con età Olocenica.

## CAPITOLO 2

### Caratterizzazione Geomorfológica

Dal punto di vista geomorfologico l'area di intervento è distribuita lungo l'ultimo tratto del vallone Cordari. L'evoluzione geomorfologica dell'area di studio è legata principalmente all'interferenza fra il Vallone Cordari, corso d'acqua a carattere torrentizio e le conseguenti variazioni di portata del fiume stesso. Il bacino lungo il quale si sviluppa il torrente presenta un'area di 4 068 414 m<sup>2</sup>, un perimetro di 11097 m, una pendenza media di 39,16 %, una quota media di 491,76 m, una lunghezza dell'asta principale di 4813 m ed un indice Horton pari a 3. Nello specifico il tratto valutato nel presente studio, oggetto di messa in sicurezza è l'ultimo. Questo si sviluppa lungo un'asta del torrente di indice Horton 3 a quota variabili tra 60 mnm e la foce stessa del fiume, lo stesso sfocia nel Mar Tirreno e si sviluppa morfologicamente lungo il litorale. Gli elementi geomorfologici riscontrabili nell'area di studio sono pertanto principalmente legati alle dinamiche fluviali di sedimentazione e di erosione dell'idrografia attuale e pregressa. La superficie topografica appare segnata da una serie di forme per lo più parallele alla sponda fluviale, costituite da elementi morfologici che conferiscono al territorio un andamento irregolare, a morfologie lievemente depresse e rilevate, con orli di terrazzo morfologico da attribuirsi alle relitte incisioni fluviali del Torrente, di orli di scarpata fluviale delimitanti l'attuale corso del fiume, distinti in funzione dello stato di attività (stabile o in erosione) e dalla presenza di difese spondali a stabilizzazione degli stessi di natura antropica. Infatti si osserva la presenza sia sulla sponda, destra orografica, che sinistra la presenza di muri atti a contenere l'afflusso idrico. L'intervento che si dovrà attuare sarà il miglioramento della sponda situata a Nord, con la costruzione di un muro in c.a. fondato su pali che aumenterà la protezione della sponda stessa ed una strada carrabile che si sviluppa lungo la percorrenza del tratto di fiume stesso.

Dall'analisi delle foto aeree e dal rilevamento geomorfologico di campagna effettuato in accordo con quanto rilevato dall'A.B.R. nell'ambito del P.A.I. (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico), si è evinto che la parte più alta dell'area di studio ricade all'interno di una Zona Franosa Quiescente (LGB3) di cui all'art. 17 e successivi delle norme tecniche d'attuazione e misure di salvaguardia entrate in vigore il 28/03/2002 e successive modifiche (All. 2). Questa secondo le Norme emanate dal PAI rientra in parte nella zona a Rischio R2 ed in parte nella Zona a Rischio R3 associata alla frana stessa (All.2). Per queste zone, in ottemperanza alle direttive previste dalle Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia del PAI, TITOLO II NORME SPECIFICHE Parte I Assetto geomorfologico: Art. 17 (Disciplina delle aree a rischio R3 e delle aree in frana ad esse associate) ed Art. 18 (Disciplina delle aree a rischio R2, R1 e delle aree in frana ad esse associate) si dispone che:

1. Nelle aree a rischio R3 e nelle aree in frana ad esse associate, riguardo agli interventi destinati ad aggravare le esistenti condizioni di instabilità, valgono le stesse disposizioni di cui al comma 1, lettere a), b), c), d) ed f) dell'Art. 16 (Disciplina delle aree a rischio R4 e delle aree in frana ad esse associate).
2. Relativamente agli elementi a rischio ricadenti nelle aree a rischio R3 e nelle aree in frana ad esse associate sono consentiti:
  - a) gli interventi per la mitigazione del rischio geomorfologico ivi presente e in genere tutte le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi;
  - b) gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
  - c) gli interventi strettamente necessari a ridurre la vulnerabilità dei beni esposti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico urbanistico;
  - d) gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, così come definiti dall'art. 31, lettere a) e b), della L. 457/1978, senza aumento di superficie e volume;

e) gli interventi di restauro e di risanamento conservativo e di ristrutturazione edilizia, così come definiti dall'art. 31, lettera c) e lettera d) della L. 457/1978, senza aumento di superficie e volume, di abbattimento delle barriere architettoniche, nonché gli interventi di adeguamento o miglioramento sismico o di riparazione o intervento locale così come definiti nel Cap. 8 delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 approvate con D.M. 14.01.2008;

f) gli interventi necessari per la manutenzione straordinaria relativa alle opere infrastrutturali e alle opere pubbliche o di interesse pubblico;

g) gli interventi volti alla tutela, alla salvaguardia e alla manutenzione degli edifici e dei manufatti vincolati ai sensi della legge 1 giugno 1939 n.1089 e della legge 29 giugno 1939 n. 1497 nonché di quelli di valore storico-culturale così classificati in strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale vigenti.

Nelle aree a Rischio R2 sono consentiti:

a) la realizzazione di opere, scavi e riporti di qualsiasi natura che dovrà essere programmata sulla base di opportuni rilievi e indagini geognostiche, di valutazioni della stabilità globale dell'area e delle opere nelle condizioni "ante", "post" e in corso d'opera effettuate da un professionista abilitato;

b) sono consentiti tutti gli interventi di cui ai precedenti artt. 16 e 17;

c) l'autorizzazione degli interventi di trasformazione delle aree boscate dovrà tenere conto delle finalità del PAI.

Ad ogni modo è bene sottolineare che la tendenza al dissesto, a scala più ridotta è connessa alla natura dei litotipi, alle pendenze assunte dai terreni in posto ed alla regimazione delle acque, fattori che aumentano proporzionalmente, all'incremento delle stesse, il livello di rischio e che attualmente e limitatamente all'area di studio non sembrano possano innescare fenomeni reologici.

Per quanto riguarda il Rischio Idraulico il PAI riporta una "Linea di attenzione" (identificate nell'allegato 2 da una linea rossa continua) e due punti di Attenzione, che rappresentano due ponti sui quali si sviluppa una strada Provinciale. Per questa Zona, in ottemperanza alle direttive previste dalle Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia del PAI, è stata calcolata la fascia di rispetto e di salvaguardia, a cavallo dell' asta fluviale, da considerarsi come aree a rischio R4.(Allegato 4). Per queste zone, in ottemperanza alle direttive previste dalle Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia del PAI, TITOLO II NORME SPECIFICHE Parte II Assetto idraulico, Art. 21 (Disciplina delle aree a rischio d'inondazione R4) si dispone che:

1. Nelle aree a rischio R4, così come definite nell'art. 11, il PAI persegue l'obiettivo di garantire condizioni di sicurezza idraulica, assicurando il libero deflusso della piena con tempo di ritorno 20 – 50 anni, nonché il mantenimento e il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo.

2. Nelle aree predette sono vietate tutte le opere e attività di trasformazione dello stato dei luoghi e quelle di carattere urbanistico e edilizio, ad esclusiva eccezione di quelle di seguito elencate:

a) interventi di demolizione senza ricostruzione;

b) interventi sul patrimonio edilizio esistente, di manutenzione ordinaria, straordinaria, restauro e risanamento conservativo, così come definiti dall'articolo 31, lettere a), b) e c) della legge 5 agosto 1978, n. 457, senza aumento di superfici e di volumi;

c) interventi di adeguamento del patrimonio edilizio esistente per il rispetto delle norme in materia di sicurezza e igiene del lavoro, di abbattimento delle barriere architettoniche, nonché interventi di adeguamento o miglioramento sismico o di riparazione o intervento locale così come definiti nel Cap. 8 delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 approvate con D.M. 14.01.2008;

d) interventi finalizzati alla manutenzione ordinaria e straordinaria delle infrastrutture, delle reti idriche e tecnologiche, delle opere idrauliche esistenti e delle reti viarie;



- e) interventi idraulici volti alla mitigazione o rimozione del rischio che non pregiudichino le attuali condizioni di sicurezza a monte e a valle dell'area oggetto dell'intervento, nonché la sola realizzazione di nuove infrastrutture lineari di trasporto (strade, ferrovie e canali);
- f) interventi volti a diminuire il grado di vulnerabilità dei beni e degli edifici esistenti esposti al rischio, senza aumento di superficie e di volume;
- g) ampliamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o d'interesse pubblico riferite ai servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete (energetiche, di comunicazione, acquedottistiche e di scarico) non altrimenti localizzabili, compresi i manufatti funzionalmente connessi, a condizione che non costituiscano ostacolo al libero deflusso, o riduzione dell'attuale capacità d'invaso;
- h) le pratiche per la corretta attività agraria, con esclusione di ogni intervento che comporti modifica della morfologia del territorio o che provochi ruscellamento ed erosione;
- i) interventi volti alla bonifica dei siti inquinati, ai recuperi ambientali e in generale alla ricostruzione degli equilibri naturali alterati e all'eliminazione dei fattori d'interferenza antropica;
- j) occupazioni temporanee, se non riducono la capacità di portata dell'alveo, realizzate in modo da non recare danno o da risultare di pregiudizio per la pubblica incolumità in caso di piena;
- k) interventi di manutenzione idraulica ordinaria (esclusa la risagomatura dell'alveo), di idraulica forestale, di rinaturazione come definiti nelle linee guida predisposte dall'ABR;
- l) interventi di manutenzione idraulica straordinaria come definiti nelle linee guida predisposte dall'ABR;

Inoltre la stessa Linea di attenzione, gli stessi punti di attenzione e l'individuazione di una potenziale Area di Attenzione sono stati adottati nell'ambito del Piano di Gestione delle Alluvioni dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, con Decreto del Segretario Generale n. 540 del 13.10.2020, avente oggetto: *Adozione Misure di Salvaguardia relative alle aree soggette a modifica di perimetrazione e/o classificazione della pericolosità e rischio dei Piani di assetto Idrogeologico configurate nei progetti di varianti di aggiornamento dei PAI alle nuove mappe del PGRA da approvarsi ai sensi dell'art.68 comma 4-ter del D.Lgs n. 152 del 03.04.2006, integrato all'art. 54 della Legge 120 dell'11.09.2020 "Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale"*. Dalla consultazione delle mappe si osserva come ad oggi non sia stato calcolato il livello di Rischio Associato all'area (All.3).

### 3. Indagini, prove eseguite in sito e caratteristiche Tecniche dei Terreni:

Nell'area di studio è stata eseguita una campagna di indagini a carattere diretto e indiretto che ha consentito la ricostruzione della successione stratigrafica dei litotipi al di sotto del piano campagna fino alle profondità d'interesse progettuale e di fornire una valutazione qualitative e quantitative dei terreni lungo le verticali esplorate.

La campagna di indagini ha interessato l'area di intervento con l'esecuzione di:

- n.1 sondaggio meccanico a rotazione e carotaggio continuo.;
- prelievo di n. 1 campioni da analizzare in laboratorio;
- prove di laboratorio;
- n.3 stendimenti di sismica a rifrazione;
- n.1 stendimenti di sismica tipo MASW;
- n° 3 prove penetrometriche dinamiche DPM;

Per una migliore comprensione dell'ubicazione delle prove eseguite si rimanda all'allegato cartografico alla presente relazione. (Allegato 5).

#### **Sondaggi Meccanici a Carotaggio:** Successione Stratigrafica.

I sondaggi a carotaggio continuo consentono di ottenere una dettagliata caratterizzazione litostratigrafica del sottosuolo grazie alla possibilità di osservare direttamente le "carote" di terreno estratte in continuo durante l'avanzamento. L'acquisizione dei parametri fisico-meccanici del terreno investigato può essere ottenuta mediante il prelievo di campioni (da sottoporre poi a prove di laboratorio). Nell'area di studio è stato effettuato un Sondaggio S1, a carotaggio continuo, e nello stesso è stato effettuato il prelievo indisturbato di un campione (S1-C1).

A partire dalla quota di boccaforo, corrispondente al piano campagna attuale (quota relativa 0,00 m) per il sondaggio S1 si ha la seguente stratigrafia:

- da 0.00 m a 0.70 m: Terreno di riporto costituito da ghiaia sabbiosa-limosa, in parte rimaneggiata;
- da 0.70 m a 2.00 m: Scisti argillitici, ad alterazione intensa, fortemente argillificati;
- da 2.00 m a 3.60 m: Complesso scistoso estremamente fratturato con alterazione elevata, presenza di frazione fine e successivo aumento verso il basso di frazioni più grossolane
- da 3.60 m a 10.00 m Scisti in facies argillitica estremamente fratturati;

Committente Comune di Longobardi (CS)	Profondità raggiunta 10.00 m	Quota Ass. P.C. 48 m.l.m.	Certificato n°	Pagina
Operatore	Indagine Messa in sicurezza Torrente Cordari	Note1	Inizio/Fine Esecuzione 20.11.2020/21.11.2020	
Responsabile	Sondaggio Carotaggio Continuo	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda CMV	Coordinate X Y

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Podet Test kg/cmq	Vane Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda	Altre prove	Piezometro (P) o Inclino metro (I)
-1		Terreno di riporto costituito da ghiaia sabbiosa-limosa, in parte rimaneggiata	-0.70											
-2		Scisti argillitici, ad alterazione intensa, fortemente argillificati, tessituralmente e	-2.00											
-3		ascrivibili a un complesso scistoso estremamente fratturato con alterazione molto elevata, presenza di	-3.60											
-4		frazione fine localmente, e successiva aumento verso il basso di frazioni												
-5		Scisti in facies argillitica estremamente fratturati												
-6														
-7														
-8														
-9														
-10			-10.00											
-11														
-12														
-13														
-14														
-15														
-16														
-17														
-18														
-19														
-20														

### Prove di Laboratorio

Per determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni costituenti la geologia dei terreni di interesse progettuale, sono state effettuate delle prove di laboratorio su un totale di n°1 campioni prelevato nel corso del sondaggi a carotaggio:

n°1 campione prelevato nel sondaggio S1 (S1C1-1.70-2.00) .

Le analisi di laboratorio, sono state eseguite presso il laboratorio geotecnico I.P.G s.n.c. con sede sociale in Orto Matera n. 21, Castrolibero (CS).

I parametri fisici e geotecnici del campione di terreno prelevato sono schematizzati nelle tabelle di seguito riportate.

	Profondità	Contenitore	Nomenclatura
S1C1	1.70 -2.00	Fustella	Ghiaia con Sabbia con Limo debolmente Argillosa moderatamente addensata di colore grigio

	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso specifico (kN/m <sup>3</sup> )	Contenuto d'acqua (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)
S1C1	20.866	26.211	7.76	37.7	28.8	25.8	7.7

	Coesione (kpa)	Angolo d'attrito (°)
S1C1	5.136	36.26

### Prove Penetrometriche Dinamiche (DPM)

La prova penetrometrica dinamica consente di ottenere, con sufficiente approssimazione, indicazioni in continuo sia qualitative sia quantitative, delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni attraversati tanto più precise quanto più prossimi sono i sondaggi di taratura.

La prova consiste nell'infissione nel terreno di una successione di aste con quantità di penetrazione costanti, per mezzo di un peso a caduta libera, e nel successivo conteggio del numero dei colpi necessari per provocarne l'avanzamento.

L'esecuzione delle indagini penetrometriche DPM, con la successiva elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica, sono state realizzate mediante un penetrometro dinamico tipo DPM azionato da un meccanismo motorizzato che fa cadere ripetutamente una massa battente del peso di 30 Kg da un'altezza costante di 0,75 m.

In base al numero di colpi, necessario per far scendere, di una profondità di 10 cm, un'asta munita di punta conica, è possibile ricostruire la stratigrafia e determinare i seguenti parametri: angolo di attrito interno  $\phi$ , peso dell'unità di volume  $\gamma$ , peso dell'unità di volume saturo  $\gamma_{sat}$ , modulo di deformazione  $G$ , densità relativa  $D_r$ , modulo di Young, modulo edometrico, modulo di Poisson  $\nu$ , modulo di reazione  $K_0$ .

Nel sito di studio sono state eseguite n°3 prove penetrometriche DPM.

Tali prove hanno fornito significative informazioni in continuo, lungo la verticale esplorata, riguardo i parametri fisico-meccanici dei terreni costituenti i primi spessori di sottosuolo del sito indagato, e più segnatamente il loro stato di addensamento e/o consistenza, pur con le necessarie cautele interpretative. Nelle tabelle successive, si riportano in maniera sommaria i parametri geotecnici scaturiti da ogni singola prova effettuata.

PROVA ...DPM 1

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	3	0,857	5,36	6,26	0,27	0,31
0,20	29	0,755	45,68	60,53	2,28	3,03
0,30	31	0,703	45,47	64,70	2,27	3,24
0,40	33	0,701	48,27	68,88	2,41	3,44
0,50	31	0,699	45,22	64,70	2,26	3,24
0,60	32	0,697	46,55	66,79	2,33	3,34
0,70	33	0,695	47,88	68,88	2,39	3,44
0,80	25	0,743	38,79	52,18	1,94	2,61
0,90	31	0,692	42,46	61,40	2,12	3,07

1,00	32	0,690	43,72	63,38	2,19	3,17
1,10	33	0,688	44,97	65,36	2,25	3,27
1,20	33	0,686	44,85	65,36	2,24	3,27
1,30	36	0,685	48,81	71,30	2,44	3,57
1,40	33	0,683	44,63	65,36	2,23	3,27
1,50	26	0,731	37,65	51,50	1,88	2,57
1,60	32	0,680	43,07	63,38	2,15	3,17
1,70	33	0,678	44,31	65,36	2,22	3,27
1,80	34	0,676	45,54	67,34	2,28	3,37
1,90	33	0,675	41,96	62,19	2,10	3,11
2,00	33	0,673	41,86	62,19	2,09	3,11
2,10	33	0,672	41,77	62,19	2,09	3,11
2,20	35	0,670	44,20	65,95	2,21	3,30
2,30	31	0,669	39,06	58,42	1,95	2,92
2,40	30	0,717	40,54	56,53	2,03	2,83
2,50	31	0,666	38,89	58,42	1,94	2,92
2,60	32	0,664	40,05	60,30	2,00	3,02
2,70	33	0,663	41,22	62,19	2,06	3,11
2,80	34	0,661	42,38	64,07	2,12	3,20
2,90	33	0,660	39,14	59,31	1,96	2,97
3,00	32	0,659	37,88	57,51	1,89	2,88
3,10	37	0,657	43,71	66,49	2,19	3,32
3,20	36	0,656	42,44	64,70	2,12	3,23
3,30	38	0,655	44,71	68,29	2,24	3,41
3,40	37	0,653	43,45	66,49	2,17	3,32
3,50	37	0,652	43,36	66,49	2,17	3,32
3,60	36	0,651	42,11	64,70	2,11	3,23
3,70	37	0,650	43,20	66,49	2,16	3,32
3,80	37	0,648	43,12	66,49	2,16	3,32
3,90	33	0,647	36,68	56,68	1,83	2,83
4,00	36	0,646	39,94	61,83	2,00	3,09
4,10	36	0,645	39,87	61,83	1,99	3,09
4,20	41	0,594	41,81	70,42	2,09	3,52
4,30	35	0,643	38,63	60,11	1,93	3,01
4,40	35	0,641	38,56	60,11	1,93	3,01
4,50	36	0,640	39,59	61,83	1,98	3,09
4,60	33	0,639	36,23	56,68	1,81	2,83
4,70	34	0,638	37,27	58,40	1,86	2,92
4,80	36	0,637	39,39	61,83	1,97	3,09
4,90	34	0,636	35,57	55,92	1,78	2,80
5,00	35	0,635	36,56	57,57	1,83	2,88
5,10	36	0,634	37,54	59,21	1,88	2,96
5,20	34	0,633	35,40	55,92	1,77	2,80
5,30	34	0,632	35,34	55,92	1,77	2,80
5,40	35	0,631	36,33	57,57	1,82	2,88
5,50	36	0,630	37,31	59,21	1,87	2,96
5,60	34	0,629	35,18	55,92	1,76	2,80
5,70	34	0,628	35,13	55,92	1,76	2,80
5,80	34	0,627	35,08	55,92	1,75	2,80
5,90	48	0,576	43,65	75,74	2,18	3,79
6,00	87	0,575	79,00	137,27	3,95	6,86

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
3	31	60,73	Incoerente - coesivo	0	2,06	2,27	0,31	0,47	14,57	STRATO 1
6	35,57	61,03	Incoerente - coesivo	0	2,08	2,29	0,93	0,47	16,72	STRATO 2

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPM 1

### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	Begemann	2,16
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	Begemann	2,09

## Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	117,59
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	148,87

## Modulo elastico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	Begemann	1900
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	Begemann	2200

## TERRENI INCOERENT I

## Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Gibbs & Holtz 1957	42,85
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Gibbs & Holtz 1957	35,97

## Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Meyerhof (1965)	30,73
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Meyerhof (1965)	31,55

## Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Bowles (1982) Sabbia Media	147,85
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Bowles (1982) Sabbia Media	158,60

## Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	57,39
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	61,81

## Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

## Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Meyerhof ed altri	1,87

[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Meyerhof ed altri	1,92
----------------	-------	------	-------	-------------------	------

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,95
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,96

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	(A.G.I.)	0,33
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	(A.G.I.)	0,32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm²)
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Ohsaki (Sabbie pulite)	806,43
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Ohsaki (Sabbie pulite)	917,82

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Ohta & Goto (1978) Limi	117,59
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Ohta & Goto (1978) Limi	148,87

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Navfac 1971-1982	3,04
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Navfac 1971-1982	3,45

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	14,57	Robertson 1983	29,14
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	16,72	Robertson 1983	33,44

PROVA ...DPM 2

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,10	4	0,857	7,15	8,35	0,36	0,42
0,20	32	0,705	47,06	66,79	2,35	3,34
0,30	33	0,703	48,40	68,88	2,42	3,44
0,40	34	0,701	49,73	70,96	2,49	3,55
0,50	34	0,699	49,60	70,96	2,48	3,55
0,60	32	0,697	46,55	66,79	2,33	3,34
0,70	31	0,695	44,98	64,70	2,25	3,24
0,80	33	0,693	47,76	68,88	2,39	3,44

0,90	34	0,692	46,57	67,34	2,33	3,37
1,00	33	0,690	45,08	65,36	2,25	3,27
1,10	36	0,688	49,06	71,30	2,45	3,57
1,20	35	0,686	47,57	69,32	2,38	3,47
1,30	32	0,685	43,39	63,38	2,17	3,17
1,40	31	0,683	41,93	61,40	2,10	3,07
1,50	30	0,731	43,45	59,42	2,17	2,97
1,60	33	0,680	44,42	65,36	2,22	3,27
1,70	34	0,678	45,65	67,34	2,28	3,37
1,80	33	0,676	44,21	65,36	2,21	3,27
1,90	34	0,675	43,23	64,07	2,16	3,20
2,00	33	0,673	41,86	62,19	2,09	3,11
2,10	35	0,672	44,30	65,95	2,21	3,30
2,20	33	0,670	41,67	62,19	2,08	3,11
2,30	32	0,669	40,32	60,30	2,02	3,02
2,40	34	0,667	42,74	64,07	2,14	3,20
2,50	33	0,666	41,40	62,19	2,07	3,11
2,60	35	0,664	43,81	65,95	2,19	3,30
2,70	39	0,613	45,04	73,49	2,25	3,67
2,80	39	0,611	44,93	73,49	2,25	3,67
2,90	41	0,610	44,95	73,68	2,25	3,68
3,00	39	0,609	42,66	70,09	2,13	3,50
3,10	39	0,607	42,57	70,09	2,13	3,50
3,20	38	0,656	44,80	68,29	2,24	3,41
3,30	40	0,605	43,47	71,88	2,17	3,59
3,40	40	0,603	43,38	71,88	2,17	3,59
3,50	39	0,602	42,20	70,09	2,11	3,50
3,60	42	0,601	45,35	75,48	2,27	3,77
3,70	41	0,600	44,18	73,68	2,21	3,68
3,80	40	0,598	43,02	71,88	2,15	3,59
3,90	42	0,597	43,08	72,14	2,15	3,61
4,00	76	0,596	77,80	130,53	3,89	6,53

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
2,6	32,04	63,42	Incoerente - coesivo	0	2,07	2,28	0,27	0,47	15,06	STRATO 1
4	39,92	72,01	Incoerente - coesivo	0	2,09	2,3	0,68	0,47	18,76	STRATO 2

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPM 2

### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	Shioi - Fukui (1982)	0,38
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	Shioi - Fukui (1982)	0,47

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	115,05
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille	143,04



			di bassa plasticità	
Modulo elastico				
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	Begemann	1850
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	Begemann	2100

**TERRENI INCOERENT I**

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Gibbs & Holtz 1957	44,45
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Gibbs & Holtz 1957	41,94

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Sowers (1961)	32,22
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Sowers (1961)	33,25

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Bowles (1982) Sabbia Media	150,30
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Bowles (1982) Sabbia Media	168,80

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	58,40
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	66,00

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Meyerhof ed altri	1,88
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Meyerhof ed altri	1,97

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,95
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,97

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
-------------	------	------------------	----------------------------------	--------------	---------

[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	(A.G.I.)	0,32
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	(A.G.I.)	0,32

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Ohsaki (Sabbie pulite)	831,90
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Ohsaki (Sabbie pulite)	1022,71

## Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Ohta & Goto (1978) Limi	115,05
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Ohta & Goto (1978) Limi	143,04

## Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Navfac 1971-1982	3,14
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Navfac 1971-1982	3,83

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	15,06	2,60	15,06	Robertson 1983	30,12
[2] - STRATO 2	18,76	4,00	18,76	Robertson 1983	37,52

## PROVA ...DPM 3

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	5	0,857	8,94	10,44	0,45	0,52
0,20	29	0,755	45,68	60,53	2,28	3,03
0,30	34	0,703	49,87	70,96	2,49	3,55
0,40	33	0,701	48,27	68,88	2,41	3,44
0,50	33	0,699	48,14	68,88	2,41	3,44
0,60	34	0,697	49,46	70,96	2,47	3,55
0,70	35	0,695	50,78	73,05	2,54	3,65
0,80	33	0,693	47,76	68,88	2,39	3,44
0,90	32	0,692	43,83	63,38	2,19	3,17
1,00	33	0,690	45,08	65,36	2,25	3,27
1,10	34	0,688	46,33	67,34	2,32	3,37
1,20	35	0,686	47,57	69,32	2,38	3,47
1,30	34	0,685	46,10	67,34	2,30	3,37
1,40	33	0,683	44,63	65,36	2,23	3,27
1,50	35	0,681	47,22	69,32	2,36	3,47
1,60	34	0,680	45,76	67,34	2,29	3,37
1,70	35	0,678	47,00	69,32	2,35	3,47
1,80	33	0,676	44,21	65,36	2,21	3,27
1,90	34	0,675	43,23	64,07	2,16	3,20
2,00	33	0,673	41,86	62,19	2,09	3,11
2,10	32	0,672	40,50	60,30	2,03	3,02

2,20	32	0,670	40,41	60,30	2,02	3,02
2,30	34	0,669	42,84	64,07	2,14	3,20
2,40	33	0,667	41,49	62,19	2,07	3,11
2,50	33	0,666	41,40	62,19	2,07	3,11
2,60	32	0,664	40,05	60,30	2,00	3,02
2,70	39	0,613	45,04	73,49	2,25	3,67
2,80	42	0,611	48,39	79,15	2,42	3,96
2,90	41	0,610	44,95	73,68	2,25	3,68
3,00	40	0,609	43,75	71,88	2,19	3,59
3,10	40	0,607	43,66	71,88	2,18	3,59
3,20	39	0,606	42,47	70,09	2,12	3,50
3,30	42	0,605	45,64	75,48	2,28	3,77
3,40	42	0,603	45,54	75,48	2,28	3,77
3,50	41	0,602	44,37	73,68	2,22	3,68
3,60	42	0,601	45,35	75,48	2,27	3,77
3,70	38	0,650	44,36	68,29	2,22	3,41
3,80	39	0,598	41,94	70,09	2,10	3,50
3,90	37	0,647	41,13	63,55	2,06	3,18
4,00	38	0,646	42,16	65,27	2,11	3,26
4,10	39	0,595	39,85	66,98	1,99	3,35
4,20	41	0,594	41,81	70,42	2,09	3,52
4,30	40	0,593	40,71	68,70	2,04	3,44
4,40	39	0,591	39,62	66,98	1,98	3,35
4,50	33	0,640	36,29	56,68	1,81	2,83
4,60	38	0,639	41,72	65,27	2,09	3,26
4,70	38	0,638	41,65	65,27	2,08	3,26
4,80	40	0,587	40,34	68,70	2,02	3,44
4,90	41	0,586	39,52	67,43	1,98	3,37
5,00	41	0,585	39,45	67,43	1,97	3,37
5,10	39	0,584	37,46	64,14	1,87	3,21
5,20	38	0,633	39,56	62,50	1,98	3,13
5,30	37	0,632	38,46	60,86	1,92	3,04
5,40	38	0,631	39,44	62,50	1,97	3,13
5,50	41	0,580	39,12	67,43	1,96	3,37
5,60	42	0,579	40,01	69,08	2,00	3,45
5,70	43	0,578	40,89	70,72	2,04	3,54
5,80	43	0,577	40,83	70,72	2,04	3,54
5,90	39	0,576	35,47	61,54	1,77	3,08
6,00	40	0,575	36,32	63,11	1,82	3,16
6,10	41	0,575	37,17	64,69	1,86	3,23
6,20	42	0,574	38,02	66,27	1,90	3,31
6,30	39	0,573	35,25	61,54	1,76	3,08
6,40	38	0,622	37,29	59,96	1,86	3,00
6,50	42	0,571	37,85	66,27	1,89	3,31
6,60	45	0,570	40,50	71,00	2,02	3,55
6,70	43	0,570	38,64	67,85	1,93	3,39
6,80	44	0,569	39,48	69,42	1,97	3,47
6,90	43	0,568	37,03	65,20	1,85	3,26
7,00	89	0,567	76,53	134,94	3,83	6,75

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
2,6	32,19	63,76	Incoerente - coesivo	0	2,07	2,28	0,27	0,47	15,13	STRATO 1
7	40,16	67,82	Incoerente - coesivo	0	2,1	2,31	1,0	0,47	18,88	STRATO 2

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPM 3****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	Shioi - Fukui (1982)	0,38
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	Shioi - Fukui (1982)	0,47

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	115,14
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	153,94

Modulo elastico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	14,57	3,00	Begemann	1750
[2] - STRATO 2	16,72	6,00	Begemann	2140

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Gibbs & Holtz 1957	44,56
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Gibbs & Holtz 1957	37,7

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Meyerhof (1965)	35,51
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Meyerhof (1965)	36,73

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Bowles (1982) Sabbia Media	150,65
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Bowles (1982) Sabbia Media	169,40

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	58,54
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	66,24

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

## Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Meyerhof ed altri	1,88
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Meyerhof ed altri	1,97

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,95
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,97

## Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	(A.G.I.)	0,32
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	(A.G.I.)	0,32

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm²)
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Ohsaki (Sabbie pulite)	835,53
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Ohsaki (Sabbie pulite)	1028,86

## Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Ohta & Goto (1978) Limi	115,14
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Ohta & Goto (1978) Limi	153,94

## Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Navfac 1971-1982	3,15
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Navfac 1971-1982	3,85

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] - STRATO 1	15,13	2,60	15,13	Robertson 1983	30,26
[2] - STRATO 2	18,88	7,00	18,88	Robertson 1983	37,76

**SISMICA A RIFRAZIONE****DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio).

La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . La formulazione matematica è:

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

Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\theta_i > \theta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$  si ha che  $\theta_i < \theta_r$  ed esiste un angolo limite di incidenza per cui  $\theta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

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

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione

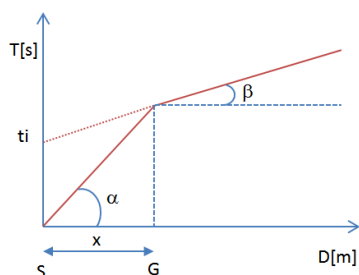
$$T = x_i / V_1$$

dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come

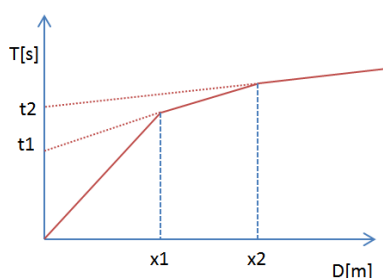
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati punti di ginocchio e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

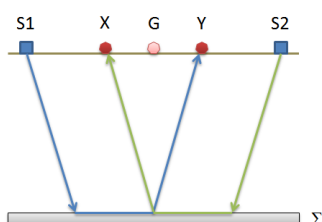


Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

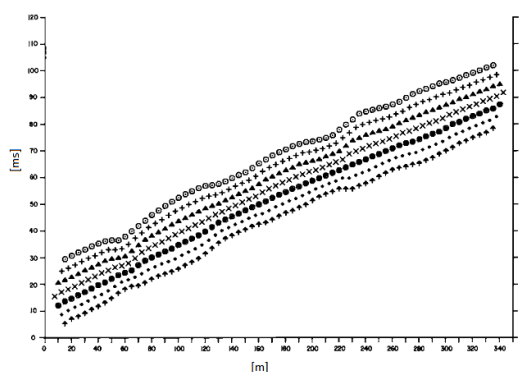
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare la funzione velocità secondo l'equazione

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



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente  $S_1$  ad  $X$  e dalla sorgente  $S_2$  ad  $Y$  mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio  $S_1$  ed  $S_2$ , esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è il tempo calcolato su un geofono  $G$  posto tra  $X$  ed  $Y$ , non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

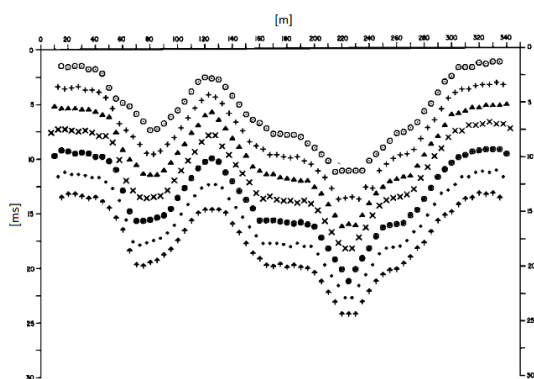
Il calcolo della funzione  $T_v$  viene eseguito per ogni valore di  $XY$  compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l' $XY$  ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della funzione tempo-profondità è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

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

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.





Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

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

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°.

A titolo informativo vengono riportati in tabella alcune velocità per le onde a compressione:

## CARATTERISTICHE DELL'APPARECCHIATURA

Per l'esecuzione dell'indagine di sismica a rifrazione, è stato impiegato il seguente sistema di acquisizione:

- ✓ Sismografo multicanale Doremi-Sara a 16 bit, rete differenziale RS485 half-duplex multipoint;
- ✓ Cavo modulare con 24 canali, 24 geofoni verticali da 4,5Hz, geofono start geospace da 10 Hz;
- ✓ Energizzatore costituito da massa battente di 8 Kg e da piastra in duralluminio;
- ✓ Prolunghe e materiale d'uso;
- ✓ Le misure sono state eseguite da un Geologo "Prospettore Geofisico", coadiuvato da un "Aiuto Prospettore";
- ✓ Durante i rilievi si è provveduto a controllare costantemente la qualità dei dati per verificare l'operatività del sistema;

## RIFRA1

Profilo sismico a rifrazione da 48.00 ml	
N° canali di registrazione	24

Distanza intergeofonica	2 m
Numero di Shoot	3
Durata	0,25s
Campionamento	200 $\mu$ s
Sistema di energizzazione	Massa battente

Sono stati realizzati due scoppi (Shoot) all'inizio ed alla fine della stesa geofonica, ad una distanza pari a 2 m ed uno scoppio al centro, nel mezzo dello stendimento.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico mediante software Heasy REFRACT della Geostru Software.

Di seguito vengono descritti sinteticamente i risultati della prova eseguita; per un dettagliato esame della stessa si rimanda alla elaborazione ed analisi dei dati.

In particolare sono stati riconosciuti 3 orizzonti significativi con differenti caratteri elastomeccanici:

- (sismostrato 1): è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile tra 1 m e 3 m e velocità media delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) pari a circa 350 m/s;
- (sismostrato 2): è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile tra 7 m e 9 m e velocità media delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) pari a circa 580 m/s;
- (sismostrato 3): al disotto si riscontra uno strato di spessore pari alla profondità massima di investigazione raggiunta caratterizzato da velocità media delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) pari a circa 977 m/s;

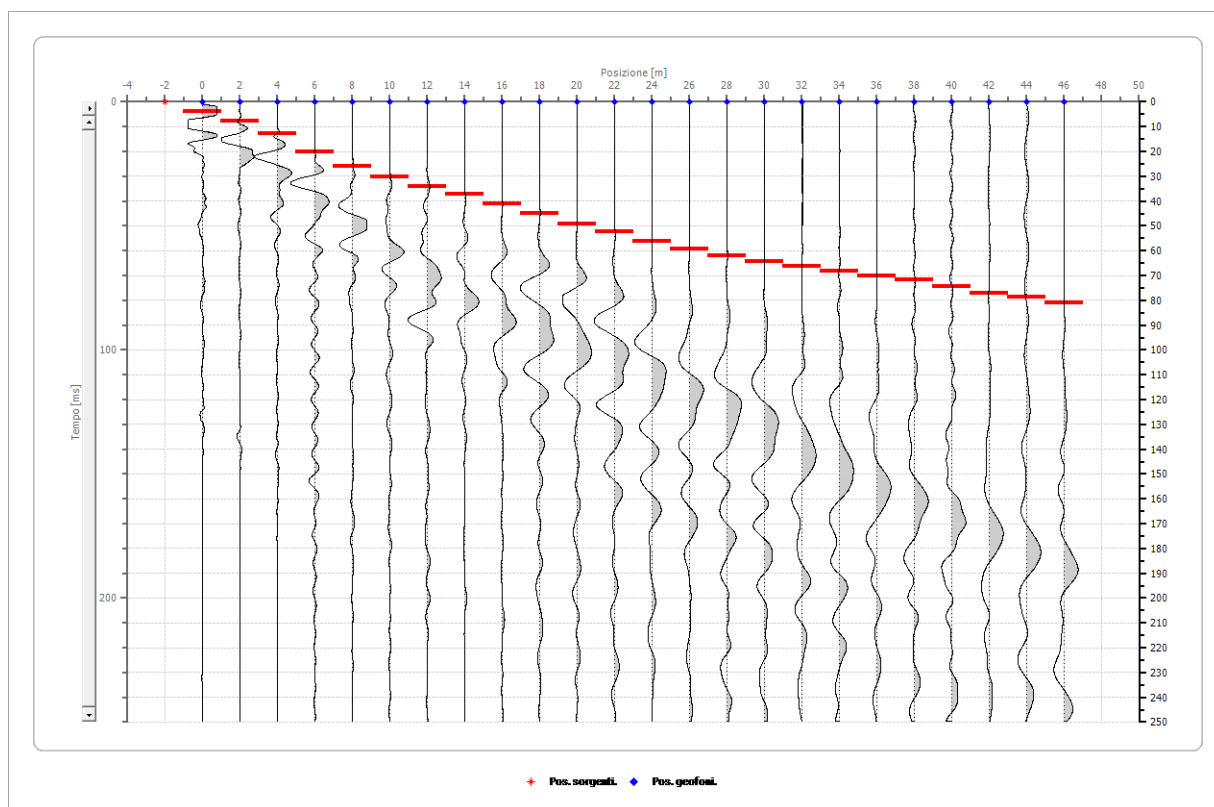
#### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	2.0	-0.1
3	4.0	-0.2
4	6.0	-0.3
5	8.0	-0.4
6	10.0	-0.5
7	12.0	-0.5
8	14.0	-0.6
9	16.0	-0.7
10	18.0	-0.8
11	20.0	-0.9
12	22.0	-1.0
13	24.0	-1.1
14	26.0	-1.2
15	28.0	-1.2
16	30.0	-1.3
17	32.0	-1.4
18	34.0	-1.5
19	36.0	-1.6
20	38.0	-1.7
21	40.0	-1.7
22	42.0	-1.8
23	44.0	-1.9
24	46.0	-2.0

#### Dati battute

Battuta 1

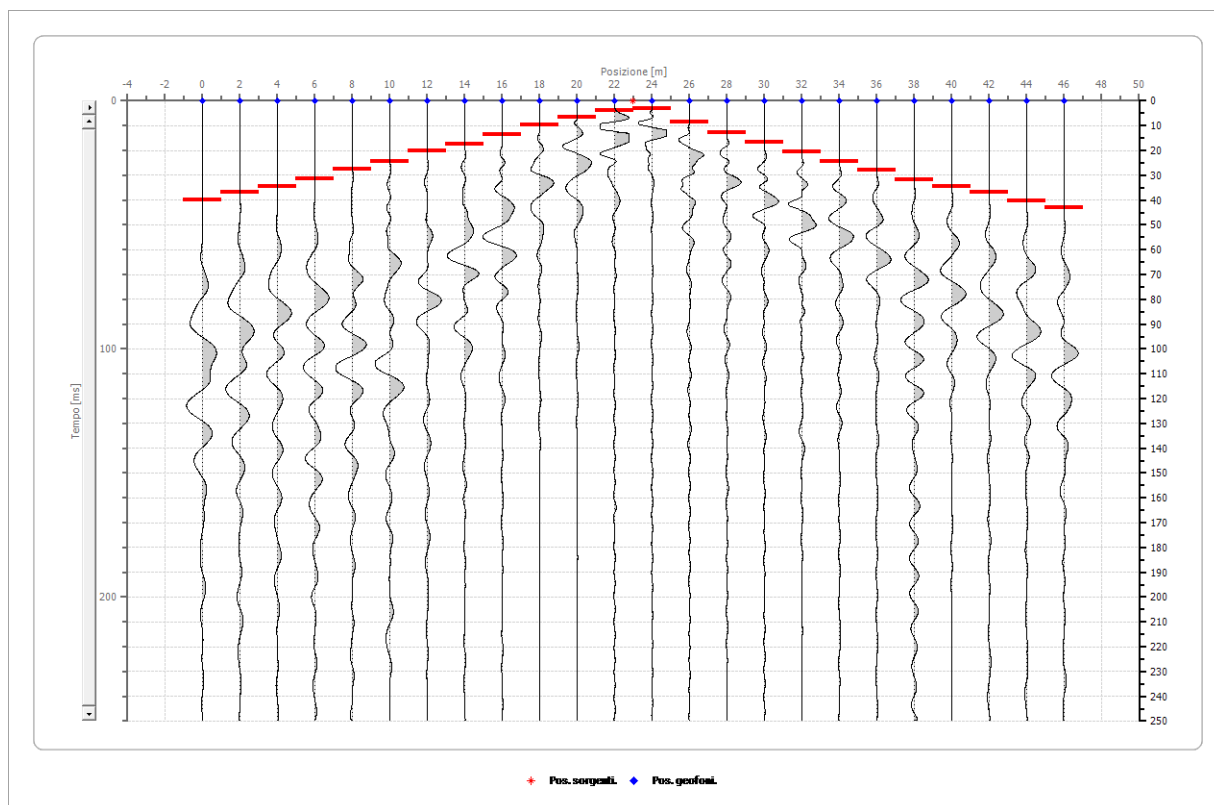
Posizione sorgente -2[m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	3.7797
2.0	7.5594
4.0	12.9590
6.0	19.9784
8.0	25.9179
10.0	30.2376
12.0	34.0173
14.0	37.2570
16.0	41.0367
18.0	44.8164
20.0	49.1361
22.0	52.3758
24.0	56.1555
26.0	59.3952
28.0	62.0950
30.0	64.2549
32.0	66.4147
34.0	68.0346
36.0	70.1944
38.0	71.8143
40.0	74.5140
42.0	77.2138
44.0	78.8337
46.0	80.9935

Battuta 2

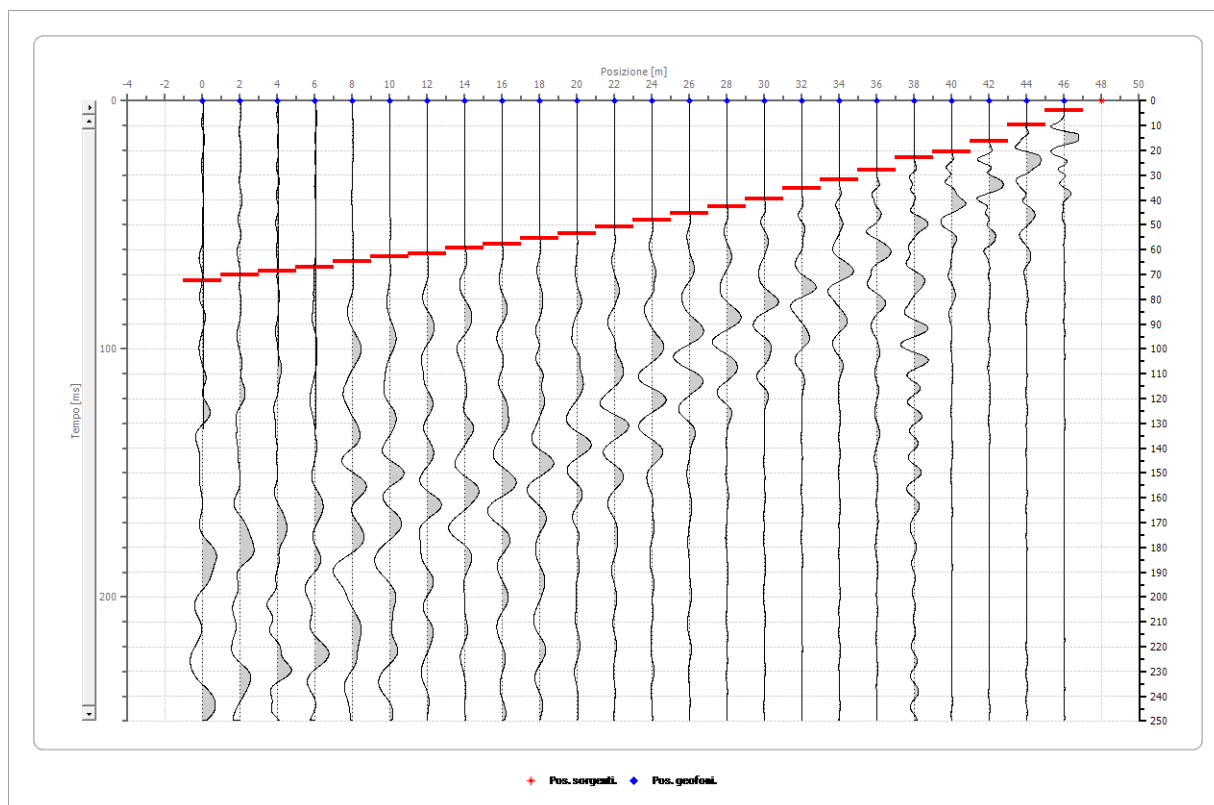
Posizione sorgente 23[m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	39.9568
2.0	36.7171
4.0	34.5572
6.0	31.3175
8.0	27.5378
10.0	24.2981
12.0	19.9784
14.0	17.2786
16.0	13.4989
18.0	9.7192
20.0	6.4795
22.0	3.7797
24.0	3.2397
26.0	8.6393
28.0	12.9590
30.0	16.7387
32.0	20.5184
34.0	24.2981
36.0	28.0778
38.0	31.8575
40.0	34.5572
42.0	36.7171
44.0	40.4968
46.0	43.1965

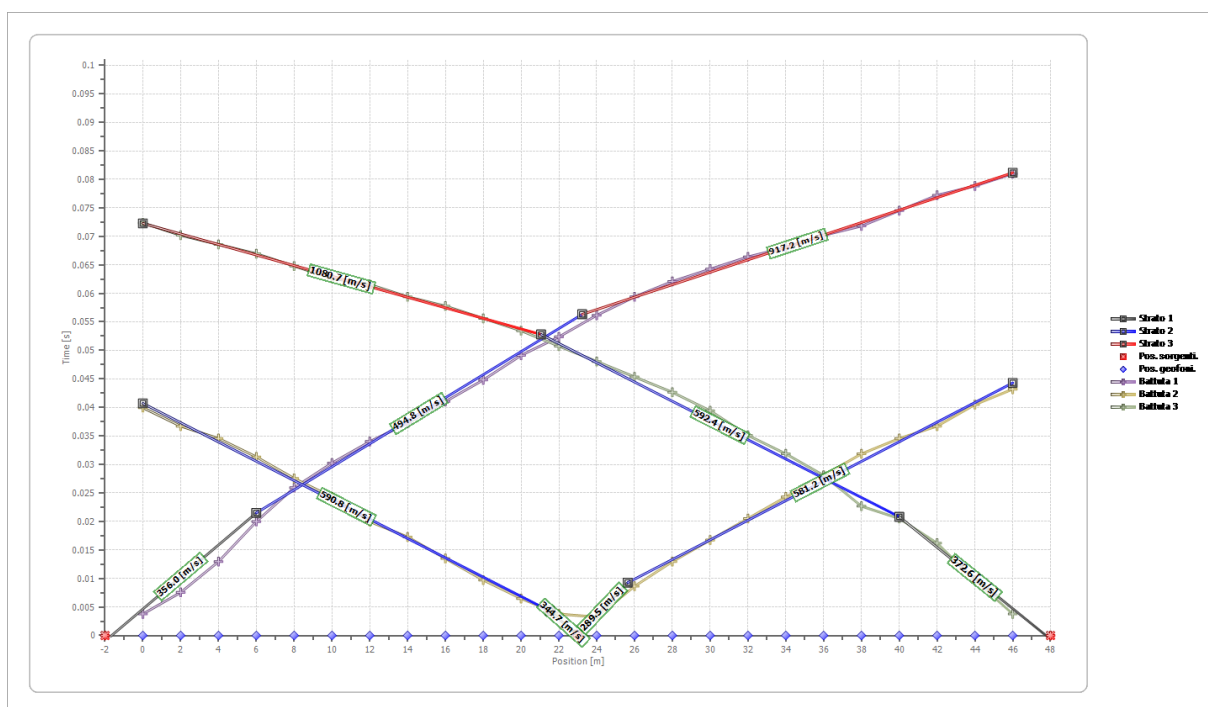
Battuta 3

Posizione sorgente 48[m]

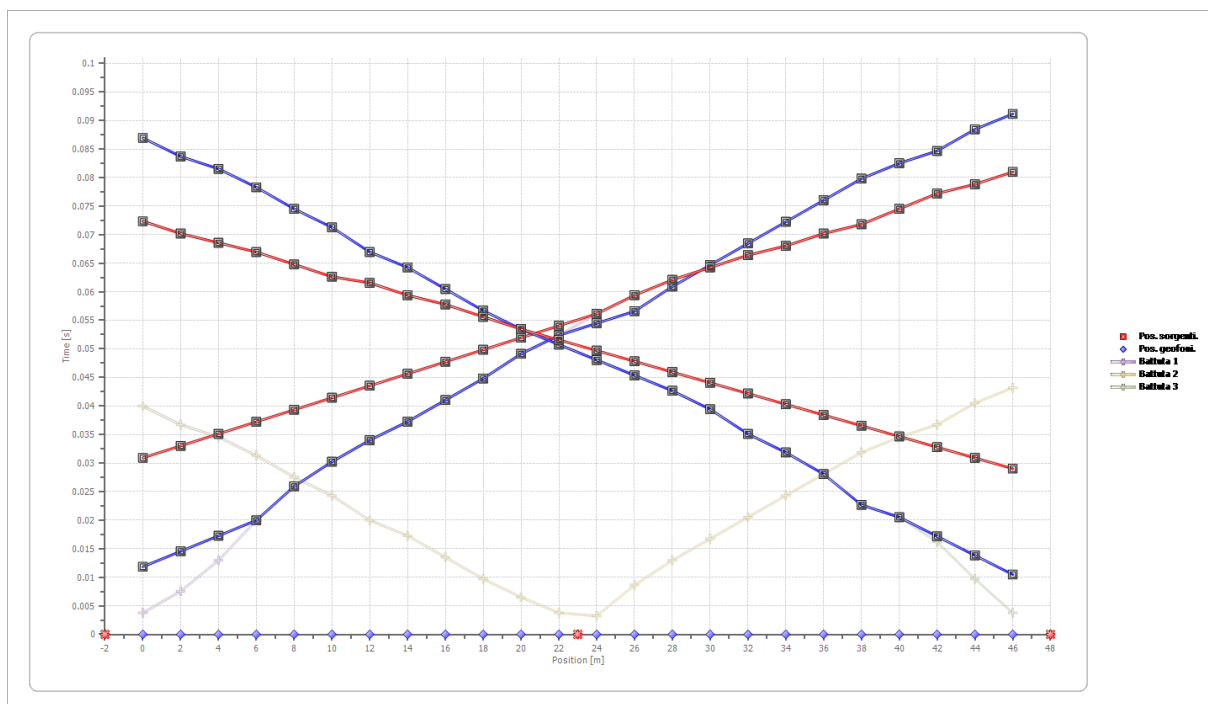


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	72.3542
2.0	70.1944
4.0	68.5745
6.0	66.9546
8.0	64.7948
10.0	62.6350
12.0	61.5551
14.0	59.3952
16.0	57.7754
18.0	55.6156
20.0	53.4557
22.0	50.7559
24.0	48.0562
26.0	45.3564
28.0	42.6566
30.0	39.4168
32.0	35.0972
34.0	31.8575
36.0	28.0778
38.0	22.6782
40.0	20.5184
42.0	16.1987
44.0	9.7192
46.0	3.7797

## Dromocrone



## Dromocrone traslate



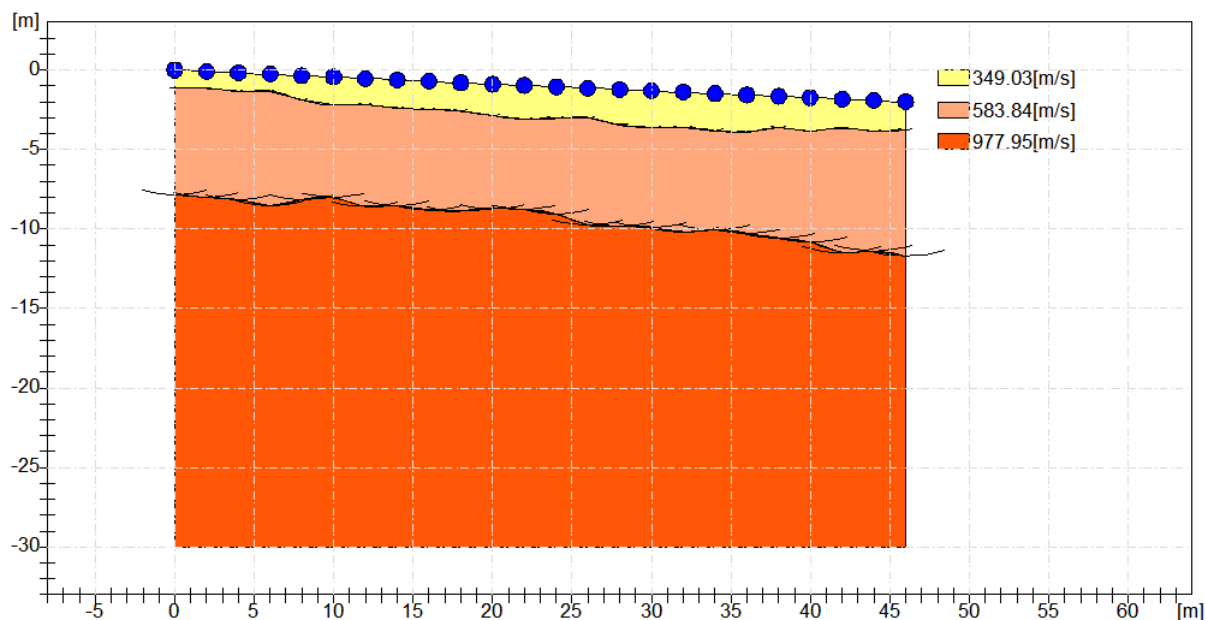
## Interpretazione col metodo G<sub>r</sub>.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	1.2	7.8	--
G= 2.0 [m]	1.0	7.9	--

G= 4.0 [m]	1.2	8.0	--
G= 6.0 [m]	1.1	8.3	--
G= 8.0 [m]	1.5	7.8	--
G= 10.0 [m]	1.8	7.6	--
G= 12.0 [m]	1.6	8.0	--
G= 14.0 [m]	1.8	7.9	--
G= 16.0 [m]	1.8	8.1	--
G= 18.0 [m]	1.8	8.1	--
G= 20.0 [m]	2.0	7.8	--
G= 22.0 [m]	2.1	7.8	--
G= 24.0 [m]	2.0	8.0	--
G= 26.0 [m]	1.9	8.6	--
G= 28.0 [m]	2.2	8.6	--
G= 30.0 [m]	2.3	8.6	--
G= 32.0 [m]	2.2	8.8	--
G= 34.0 [m]	2.3	8.6	--
G= 36.0 [m]	2.3	8.7	--
G= 38.0 [m]	2.0	8.9	--
G= 40.0 [m]	2.1	9.1	--
G= 42.0 [m]	1.8	9.6	--
G= 44.0 [m]	1.9	9.5	--
G= 46.0 [m]	1.8	9.7	--
Velocità [m/sec]	349.0	583.8	977.9
Descrizione			

## SEZIONE VERTICALE



## RIFRA2

Profilo sismico a rifrazione da 36.00 ml

N° canali di registrazione	24
Distanza intergeofonica	1,5 m
Numero di Shoot	3
Durata	0,25s
Campionamento	200 $\mu$ s
Sistema di energizzazione	Massa battente

Sono stati realizzati due scoppi (Shoot) all'inizio ed alla fine della stesa geofonica, ad una distanza pari a 2 m ed uno scoppio al centro, nel mezzo dello stendimento.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico mediante software Heasy REFRACT della Geostru Software.

Di seguito vengono descritti sinteticamente i risultati della prova eseguita; per un dettagliato esame della stessa si rimanda alla elaborazione ed analisi dei dati.

In particolare sono stati riconosciuti 3 orizzonti significativi con differenti caratteri elastomeccanici:

- (sismostrato 1): è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile tra 1 m e 3 m e velocità media delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) pari a circa 227 m/s;
- (sismostrato 2): è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile tra 4 m e 9 m e velocità media delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) pari a circa 512 m/s;
- (sismostrato 3): al disotto si riscontra uno strato di spessore pari alla profondità massima di investigazione raggiunta caratterizzato da velocità media delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) pari a circa 999 m/s;

#### **Geometria geofoni**

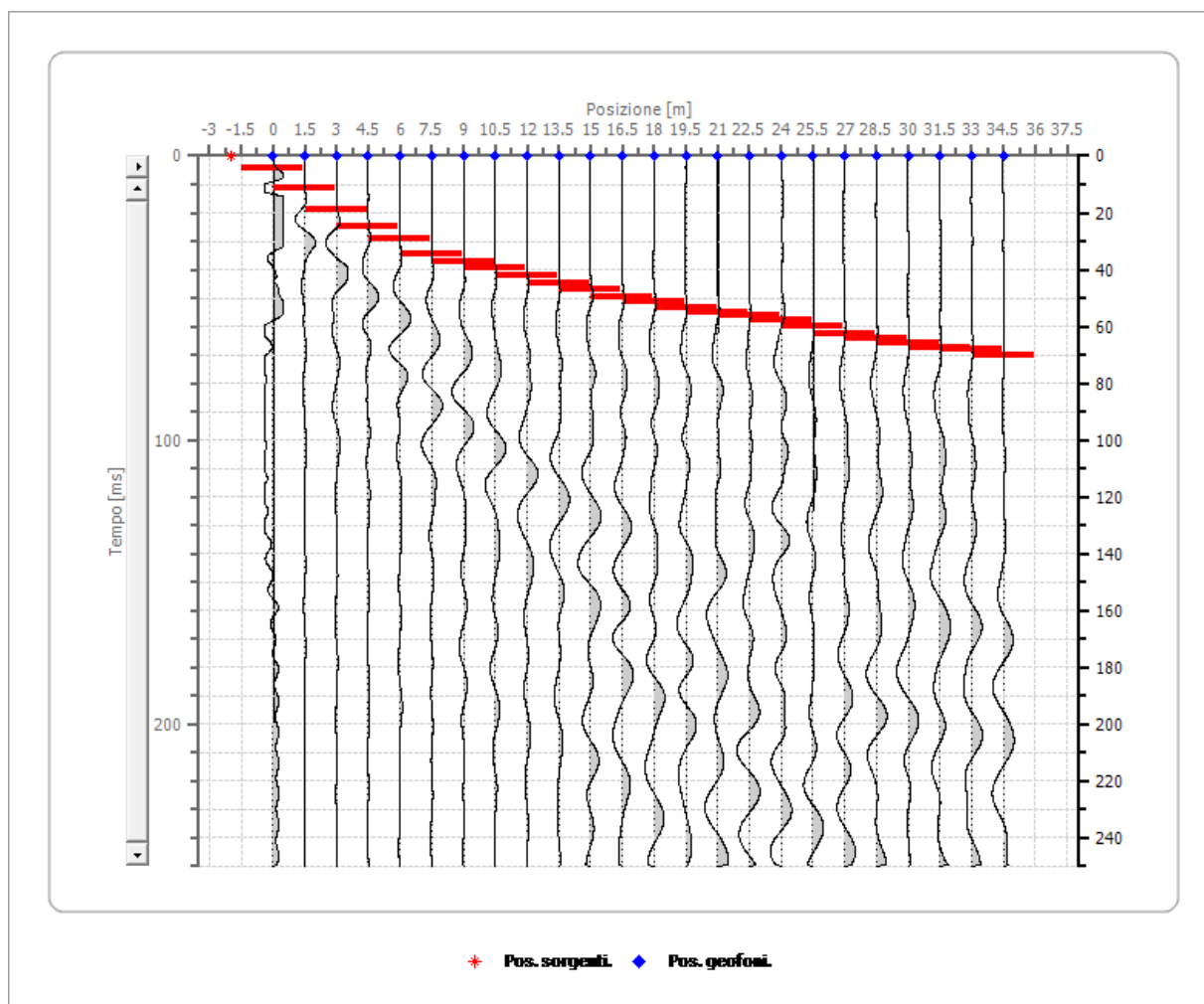
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	1.5	-0.1
3	3.0	-0.2
4	4.5	-0.3
5	6.0	-0.4
6	7.5	-0.5
7	9.0	-0.6
8	10.5	-0.7
9	12.0	-0.8
10	13.5	-0.9
11	15.0	-1.0
12	16.5	-1.1
13	18.0	-1.2
14	19.5	-1.3
15	21.0	-1.4
16	22.5	-1.5
17	24.0	-1.6
18	25.5	-1.7
19	27.0	-1.8
20	28.5	-1.9
21	30.0	-2.0
22	31.5	-2.1
23	33.0	-2.2
24	34.5	-2.3

#### **Dati battute**



Battuta 1

Posizione sorgente -2[m]

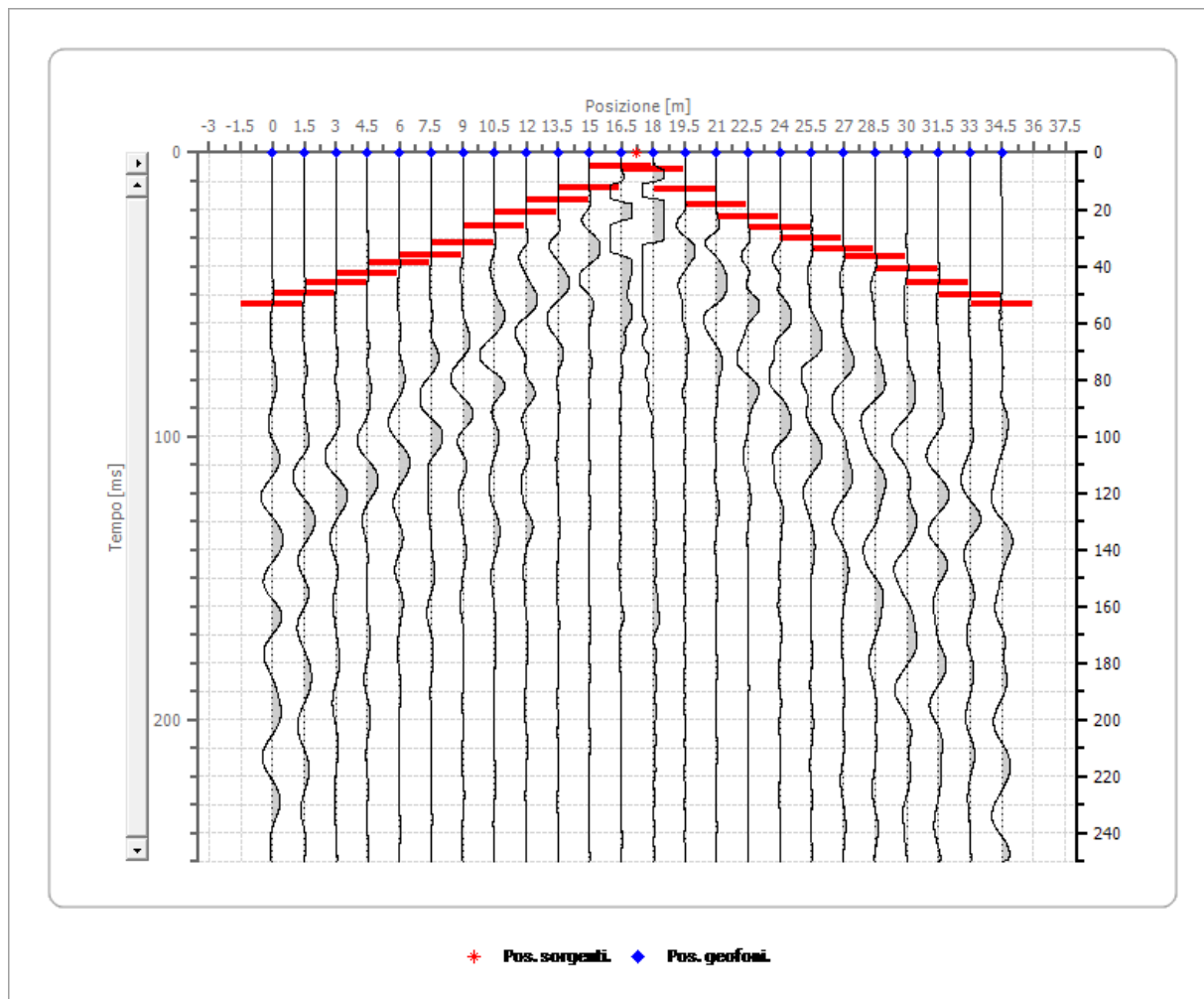


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	4.3197
1.5	11.3391
3.0	18.8985
4.5	24.8380
6.0	29.1577
7.5	34.5572
9.0	37.2570
10.5	39.4168
12.0	42.1166
13.5	44.8164
15.0	46.9762
16.5	49.6760
18.0	51.2959
19.5	53.4557
21.0	55.0756
22.5	56.1555
24.0	57.7754
25.5	59.9352
27.0	62.6350
28.5	64.2549
30.0	65.8747

31.5	67.4946
33.0	68.0346
34.5	70.1944

Battuta 2

Posizione sorgente 17[m]

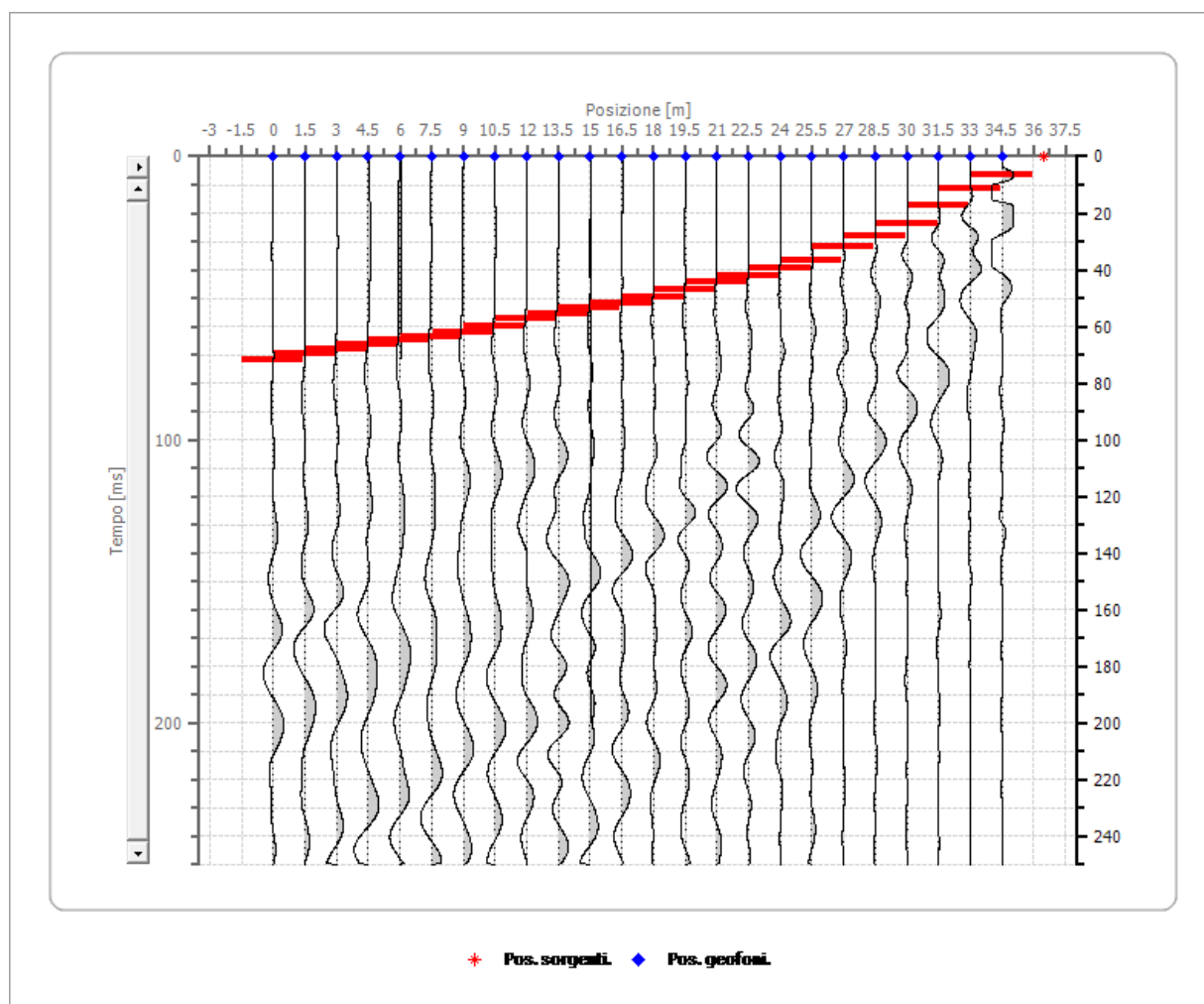


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	53.4557
1.5	49.6760
3.0	45.8963
4.5	42.6566
6.0	38.8769
7.5	36.1771
9.0	31.8575
10.5	25.9179
12.0	21.0583
13.5	16.7387
15.0	12.4190
16.5	4.8596
18.0	5.9395
19.5	12.9590
21.0	18.3585
22.5	22.6782
24.0	26.4579

25.5	30.2376
27.0	34.0173
28.5	36.7171
30.0	41.0367
31.5	45.8963
33.0	50.2160
34.5	53.4557

Battuta 3

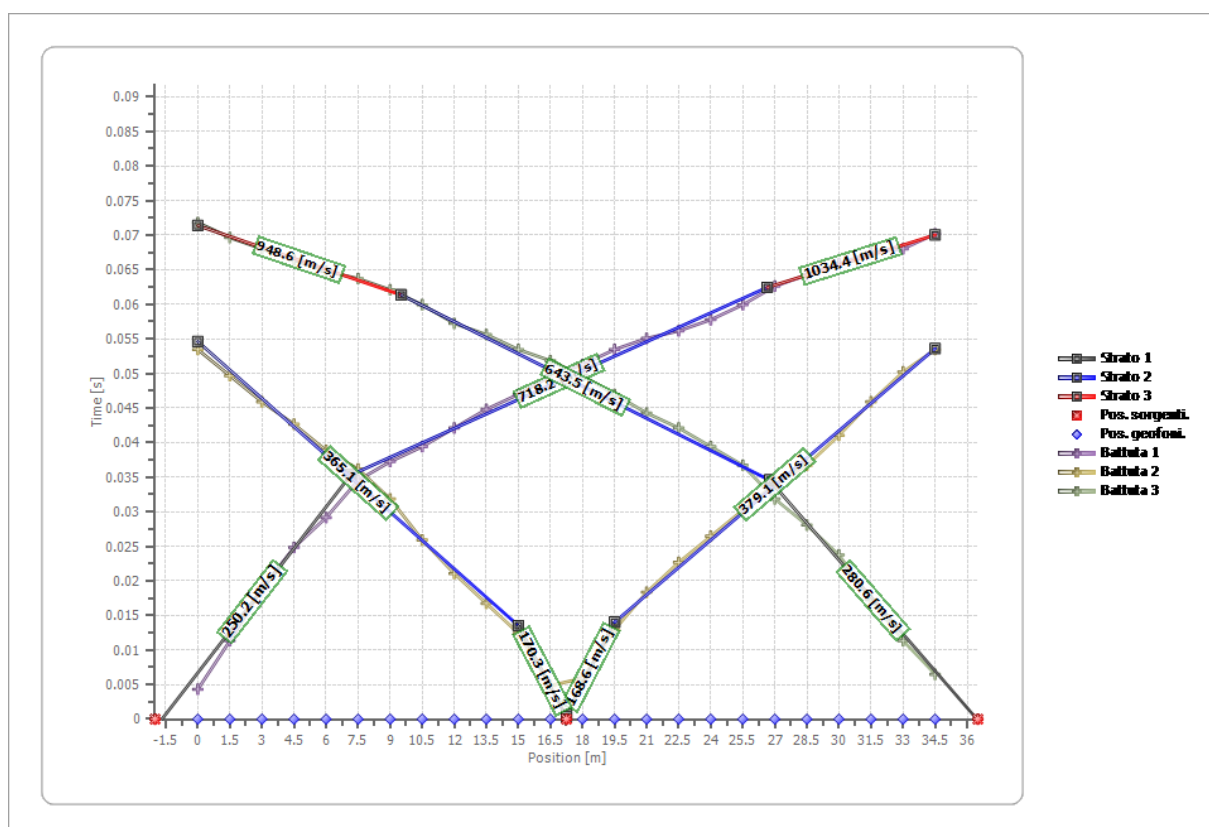
Posizione sorgente 37[m]

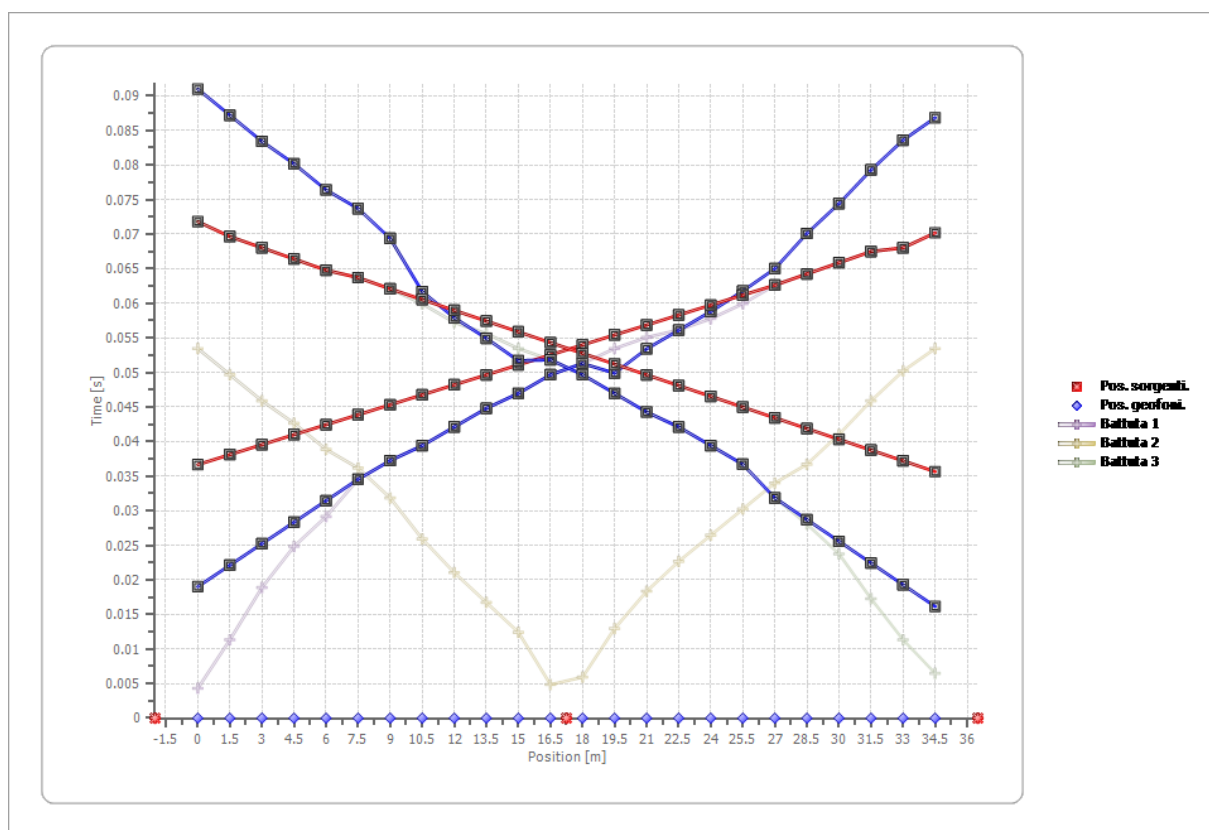


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	71.8143
1.5	69.6544
3.0	68.0346
4.5	66.4147
6.0	64.7948
7.5	63.7149
9.0	62.0950
10.5	59.9352
12.0	57.2354
13.5	55.6156
15.0	53.4557
16.5	51.8359
18.0	49.6760

19.5	46.9762
21.0	44.2765
22.5	42.1166
24.0	39.4168
25.5	36.7171
27.0	31.8575
28.5	28.0778
30.0	23.7581
31.5	17.2786
33.0	11.3391
34.5	6.4795

## Dromocrone

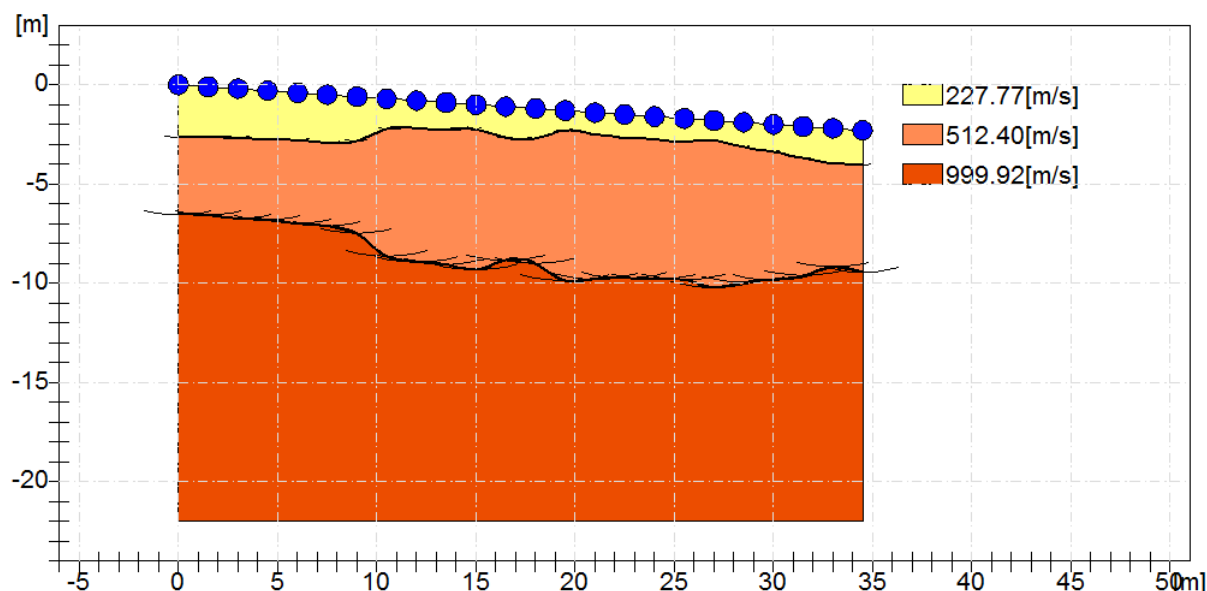


**Dromocrone traslate****Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	2.7	6.5	--
G= 1.5 [m]	2.6	6.5	--
G= 3.0 [m]	2.5	6.5	--
G= 4.5 [m]	2.5	6.5	--
G= 6.0 [m]	2.4	6.6	--
G= 7.5 [m]	2.4	6.6	--
G= 9.0 [m]	2.2	6.9	--
G= 10.5 [m]	1.5	7.9	--
G= 12.0 [m]	1.4	8.1	--
G= 13.5 [m]	1.4	8.1	--
G= 15.0 [m]	1.2	8.3	--
G= 16.5 [m]	1.6	7.7	--
G= 18.0 [m]	1.5	7.8	--
G= 19.5 [m]	1.0	8.6	--
G= 21.0 [m]	1.1	8.4	--
G= 22.5 [m]	1.2	8.2	--
G= 24.0 [m]	1.2	8.2	--
G= 25.5 [m]	1.2	8.1	--
G= 27.0 [m]	1.0	8.4	--
G= 28.5 [m]	1.2	8.0	--
G= 30.0 [m]	1.4	7.8	--
G= 31.5 [m]	1.6	7.5	--
G= 33.0 [m]	1.8	7.0	--
G= 34.5 [m]	1.8	7.1	--

Velocità [m/sec]	227.8	512.4	999.9
Descrizione			

**SEZIONE VERTICALE****RIFRA3**

Profilo sismico a rifrazione da 48.00 ml	
N° canali di registrazione	24
Distanza intergeofonica	2 m
Numero di Shoot	3
Durata	0,25s
Campionamento	200 µs
Sistema di energizzazione	Massa battente

Sono stati realizzati due scoppi (Shoot) all'inizio ed alla fine della stesa geofonica, ad una distanza pari a 2 m ed uno scoppio al centro, nel mezzo dello stendimento.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico mediante software Heasy REFRACT della Geostru Software.

Di seguito vengono descritti sinteticamente i risultati della prova eseguita; per un dettagliato esame della stessa si rimanda alla elaborazione ed analisi dei dati.

In particolare sono stati riconosciuti 3 orizzonti significativi con differenti caratteri elastomeccanici:

- (sismostrato 1): è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile tra 2 m e 3 m e velocità media delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) pari a circa 500 m/s;

- (sismostrato 2): è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile tra 4 m e 10 m e velocità media delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) pari a circa 1290 m/s;
- (sismostrato 3): al disotto si riscontra uno strato di spessore pari alla profondità massima di investigazione raggiunta caratterizzato da velocità media delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) pari a circa 2680 m/s;

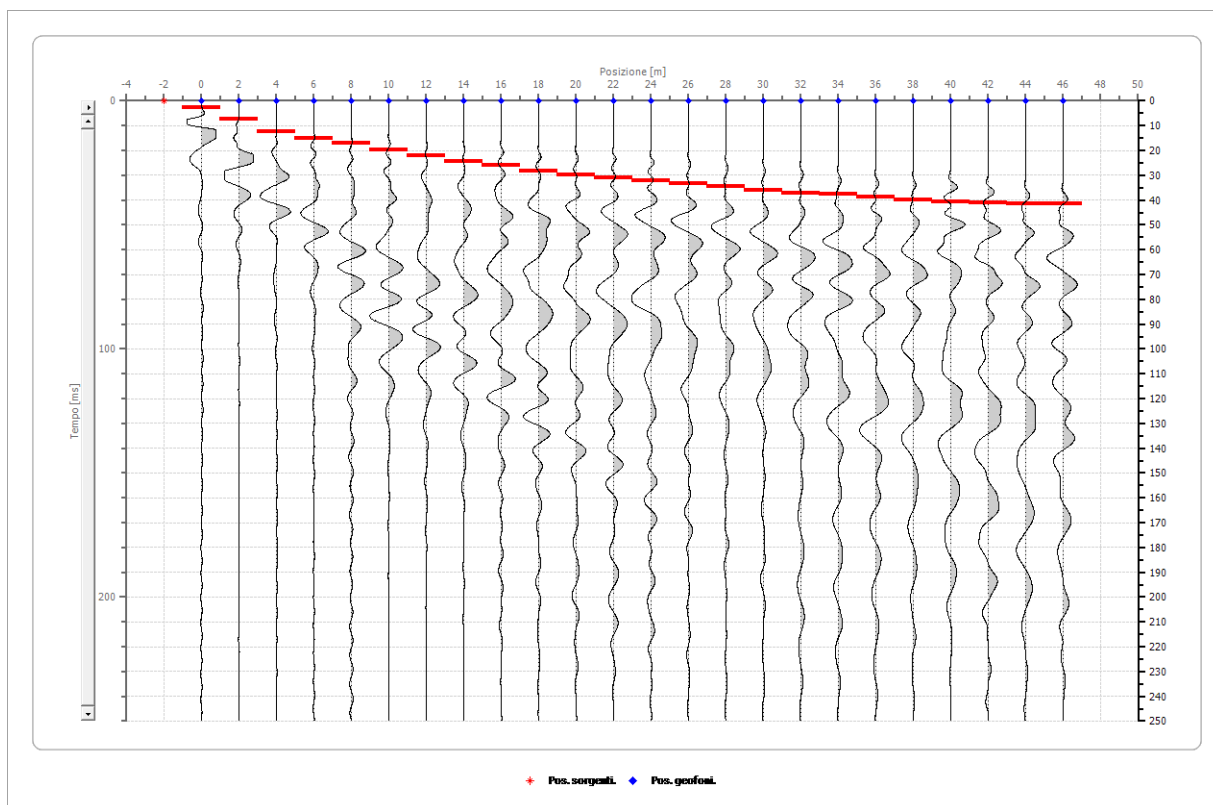
**Geometria geofoni**

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	2.0	-0.1
3	4.0	-0.2
4	6.0	-0.3
5	8.0	-0.4
6	10.0	-0.5
7	12.0	-0.5
8	14.0	-0.6
9	16.0	-0.7
10	18.0	-0.8
11	20.0	-0.9
12	22.0	-1.0
13	24.0	-1.1
14	26.0	-1.2
15	28.0	-1.2
16	30.0	-1.3
17	32.0	-1.4
18	34.0	-1.5
19	36.0	-1.6
20	38.0	-1.7
21	40.0	-1.7
22	42.0	-1.8
23	44.0	-1.9
24	46.0	-2.0

**Dati battute**

Battuta 1

Posizione sorgente     -2[m]

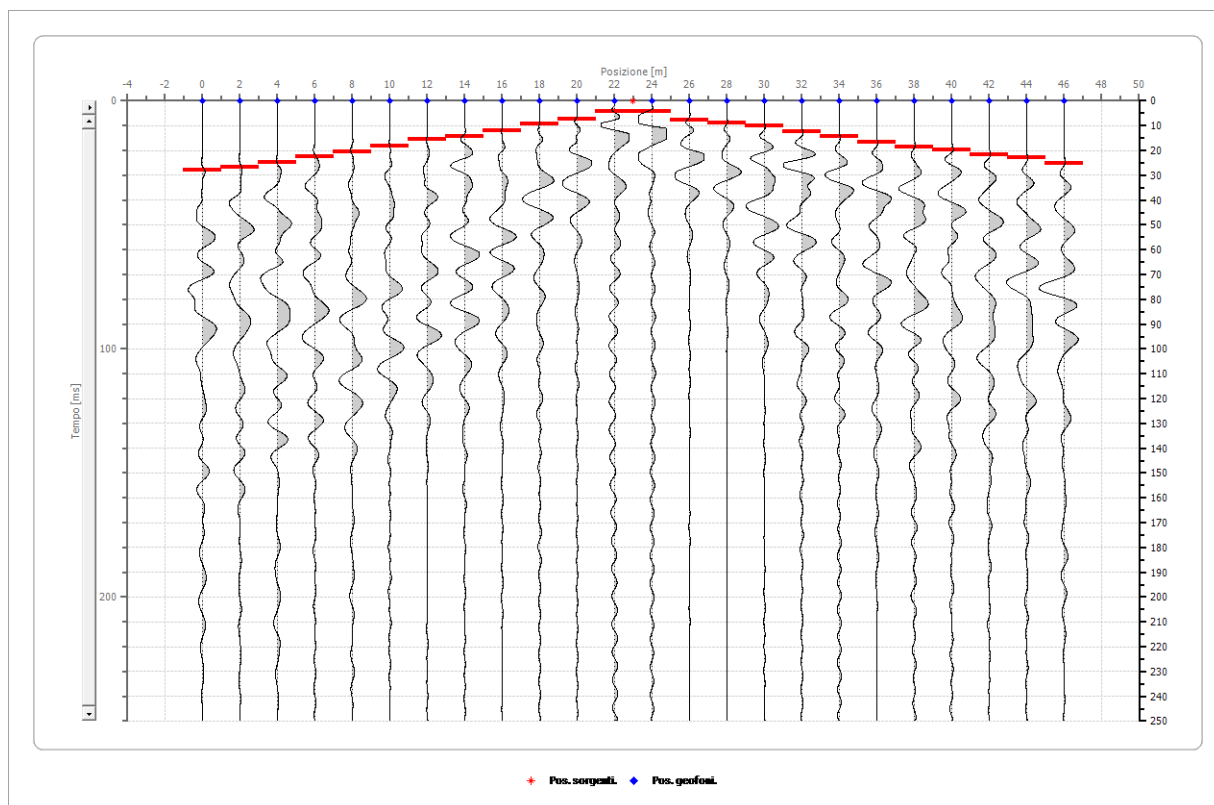


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	2.7132
2.0	7.3643
4.0	12.4031
6.0	15.1163
8.0	17.0543
10.0	19.7674
12.0	22.0930
14.0	24.4186
16.0	25.9690
18.0	28.2946
20.0	29.8450
22.0	31.0078
24.0	32.1705
26.0	33.3333
28.0	34.4961
30.0	36.0465
32.0	37.2093
34.0	37.5969
36.0	38.7597
38.0	39.9225
40.0	40.6977
42.0	41.0853
44.0	41.4729
46.0	41.4729

Battuta 2

Posizione sorgente 23[m]

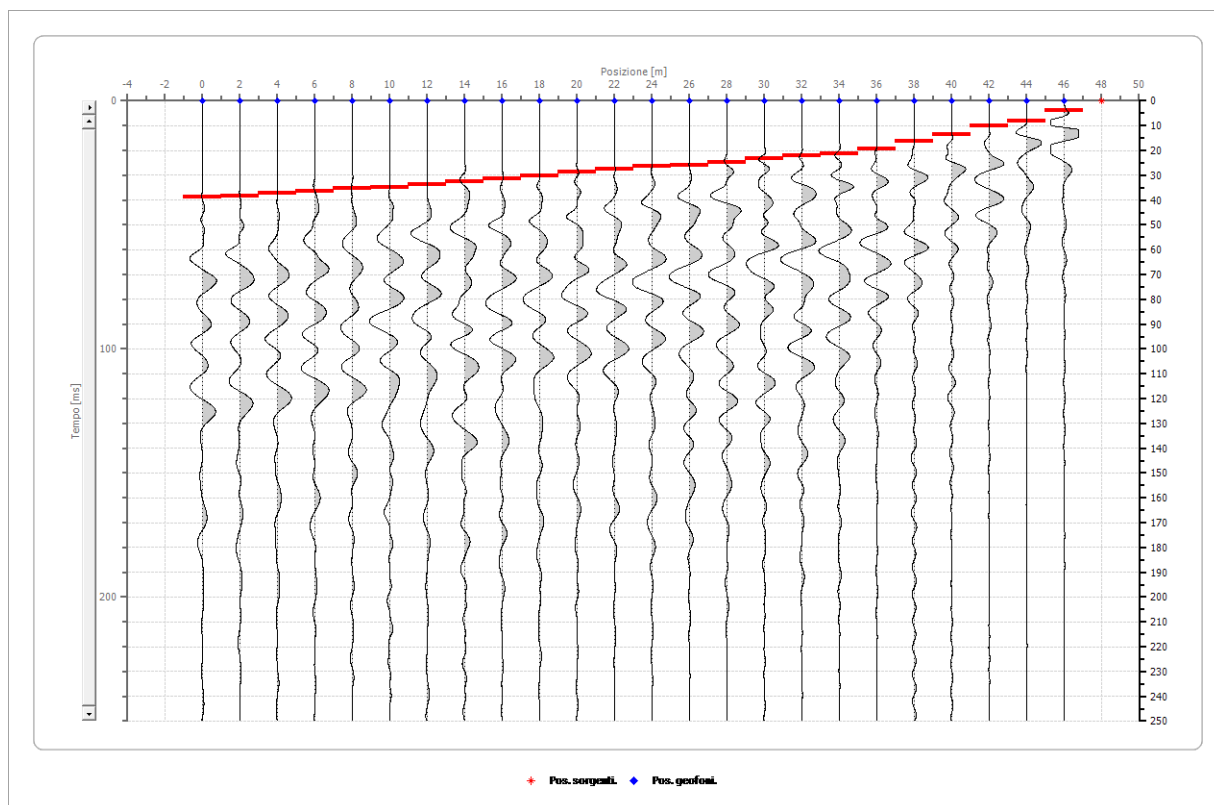




Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	27.9070
2.0	26.7442
4.0	24.8062
6.0	22.4806
8.0	20.5426
10.0	18.2171
12.0	15.5039
14.0	14.3411
16.0	12.0155
18.0	9.3023
20.0	7.3643
22.0	4.2636
24.0	4.2636
26.0	7.7519
28.0	8.9147
30.0	10.0775
32.0	12.4031
34.0	14.3411
36.0	16.6667
38.0	18.6047
40.0	19.7674
42.0	21.7054
44.0	22.8682
46.0	25.1938

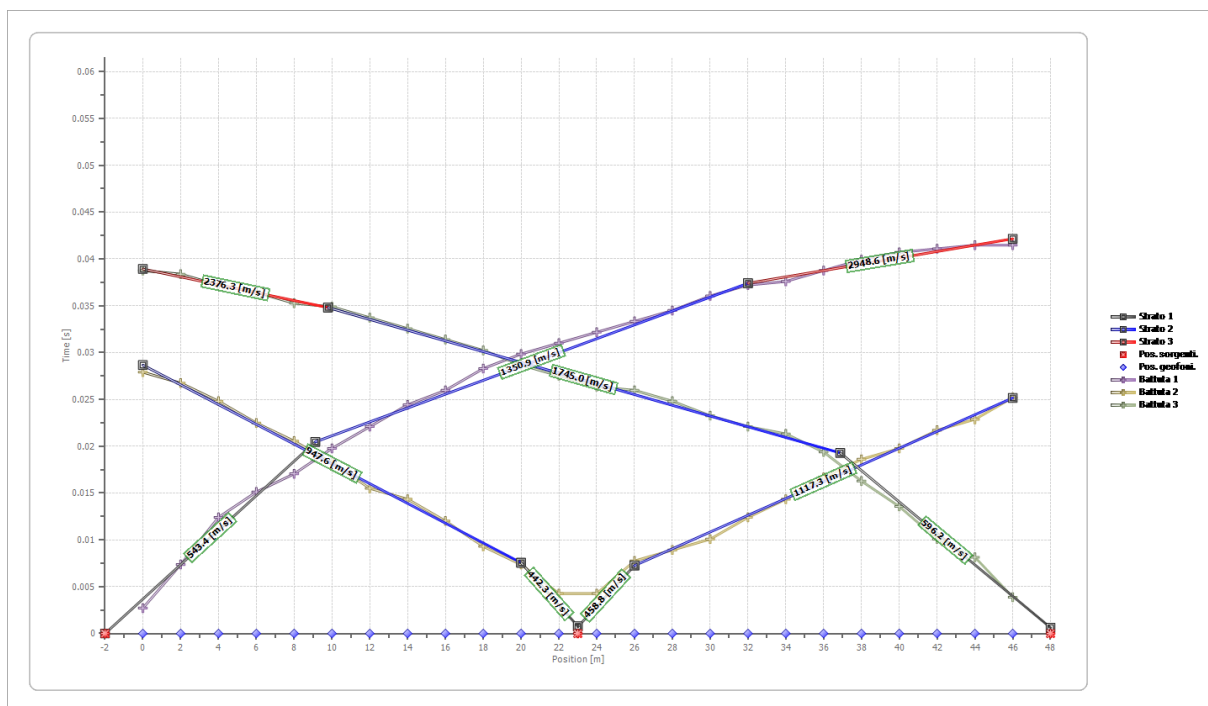
Battuta 3

Posizione sorgente 48[m]

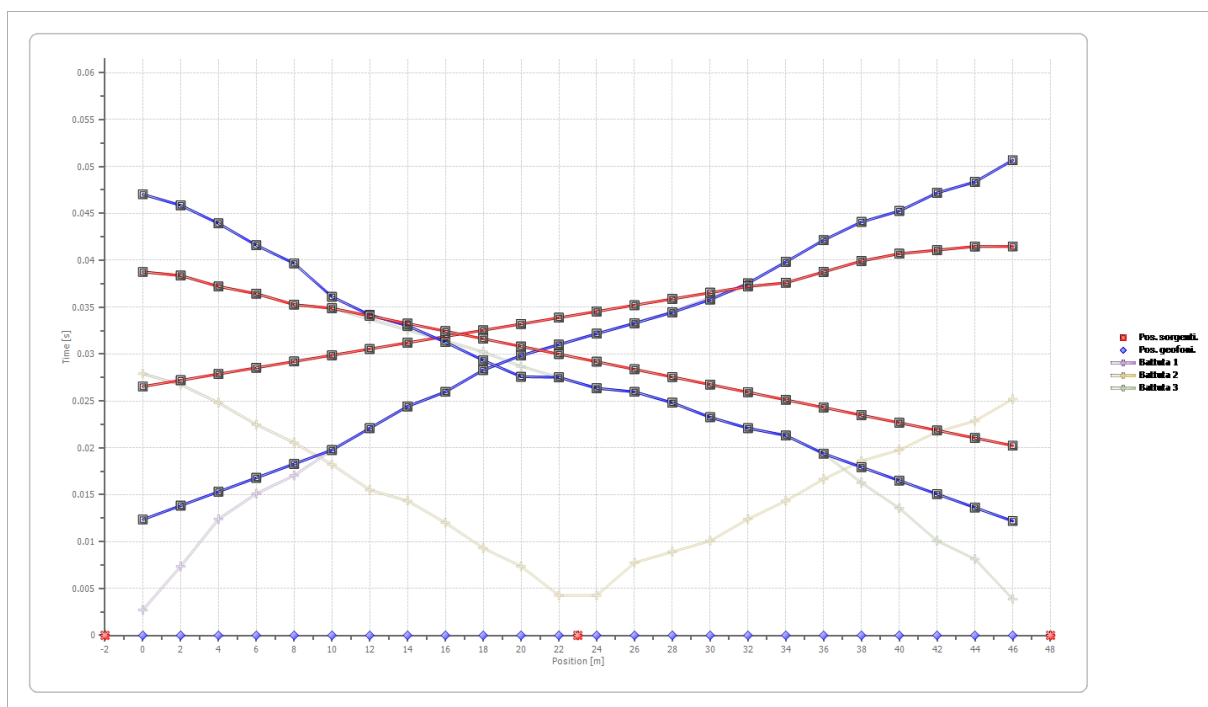


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	38.7597
2.0	38.3721
4.0	37.2093
6.0	36.4341
8.0	35.2713
10.0	34.8837
12.0	33.7209
14.0	32.5581
16.0	31.3953
18.0	30.2326
20.0	28.6822
22.0	27.5194
24.0	26.3566
26.0	25.9690
28.0	24.8062
30.0	23.2558
32.0	22.0930
34.0	21.3178
36.0	19.3798
38.0	16.2791
40.0	13.5659
42.0	10.0775
44.0	8.1395
46.0	3.8760

### Dromocrone



### Dromocrone traslate



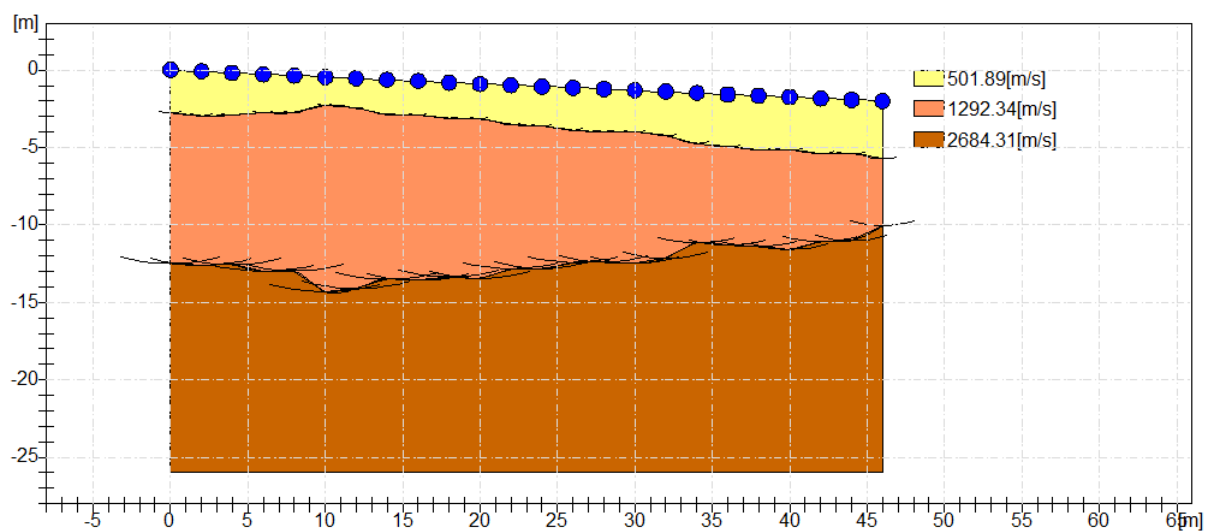
### Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	2.8	12.5	--
G= 2.0 [m]	2.9	12.5	--
G= 4.0 [m]	2.7	12.4	--
G= 6.0 [m]	2.5	12.7	--

G= 8.0 [m]	2.4	12.6	--
G= 10.0 [m]	1.8	13.9	--
G= 12.0 [m]	1.9	13.6	--
G= 14.0 [m]	2.2	12.9	--
G= 16.0 [m]	2.2	12.8	--
G= 18.0 [m]	2.3	12.5	--
G= 20.0 [m]	2.2	12.5	--
G= 22.0 [m]	2.5	11.9	--
G= 24.0 [m]	2.5	11.7	--
G= 26.0 [m]	2.7	11.3	--
G= 28.0 [m]	2.7	11.2	--
G= 30.0 [m]	2.7	11.2	--
G= 32.0 [m]	2.8	10.7	--
G= 34.0 [m]	3.3	9.7	--
G= 36.0 [m]	3.4	9.7	--
G= 38.0 [m]	3.5	9.7	--
G= 40.0 [m]	3.4	9.8	--
G= 42.0 [m]	3.6	9.3	--
G= 44.0 [m]	3.5	9.1	--
G= 46.0 [m]	3.7	8.0	--
Velocità [m/sec]	501.9	1292.3	2684.3
Descrizione			

## SEZIONE VERTICALE

**Indagini geofisiche tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)****Generalità sulle indagini****M.A.S.W.**

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e si generano in corrispondenza

della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0,92V_S$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0,92 V_S$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957). La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_S$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le onde di volume. I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_P$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_S$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 14 Gennaio 2008, D.M. 17 Gennaio 2018 e Circ. Min. n°7 del 21.01.2019). Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_S$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati.

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

La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è pari a circa il 90% delle onde di taglio ( $V_S$ ). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh hanno un grado di incertezza nella determinazione delle  $V_S$   $<15\%$ .

Le indagini geofisiche, appartengono alla categoria delle indagini indirette, caratterizzate pertanto da una componente soggettiva, dell'operatore, in fase di programmazione e acquisizione dei dati di campagna, e del analista in fase di elaborazione dei dati, si raccomanda pertanto di tarare sempre la risposta ottenuta dalle indagini geofisiche e dalle indagini indirette in genere, mediante l'esecuzione di indagini dirette che avvalorino le risultanze ottenute.

### **CARATTERISTICHE DELL'APPARECCHIATURA**

Per l'esecuzione dell'indagine di sismica di tipo MASW, eseguita dallo scrivente è stato impiegato il seguente sistema di acquisizione:

- ✓ *Sismografo multicanale Doremi-Sara a 16 bit, rete differenziale RS485 half-duplex multipoint;*
- ✓ *Cavo modulare con 24 canali, 24 geofoni verticali da 4,5Hz, geofono start geospace da 10 Hz;*
- ✓ *Energizzatore costituito da massa battente di 8 Kg e da piastra in duralluminio;*
- ✓ *Prolunghe e materiale d'uso;*

- ✓ Le misure sono state eseguite da un Geologo “Prospettore Geofisico”, coadiuvato da un ‘Aiuto Prospettore”;
- ✓ Durante i rilievi si è provveduto a controllare costantemente la qualità dei dati per verificare l'operatività del sistema;

### **RILEVAMENTO ED INTERPRETAZIONE**

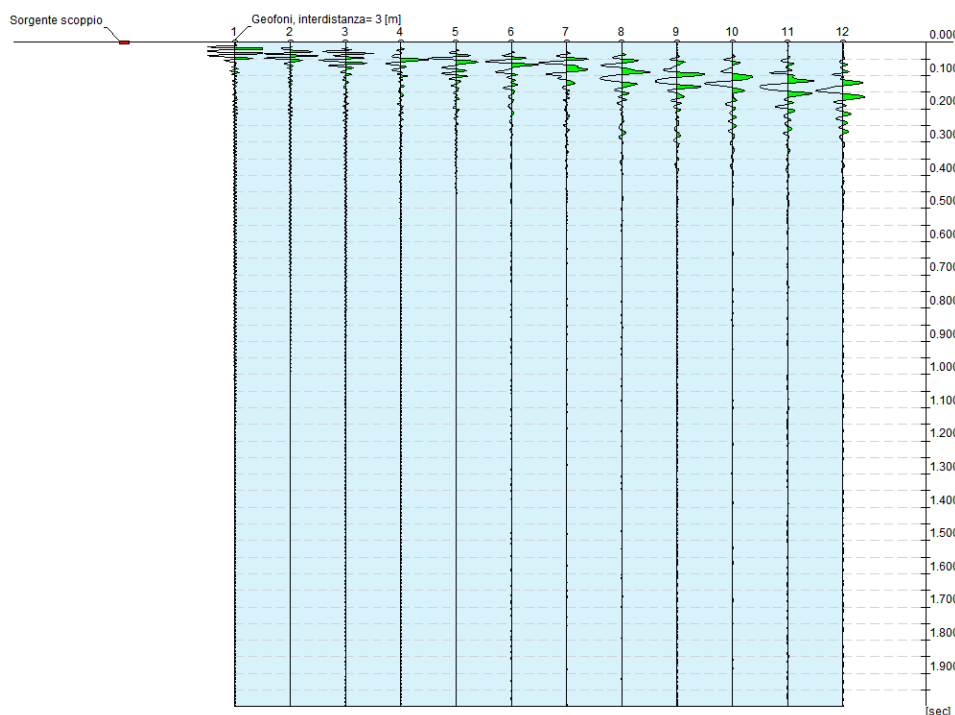
<b>Profilo sismico di tipo MASW da 36.00 ml</b>	
N° canali di registrazione	12
Distanza intergeofonica	3 m
Numero di Shoot	2(500e 1000Hz)
Durata	2 s
Campionamento	1 ms
Sistema di energizzazione	Massa battente

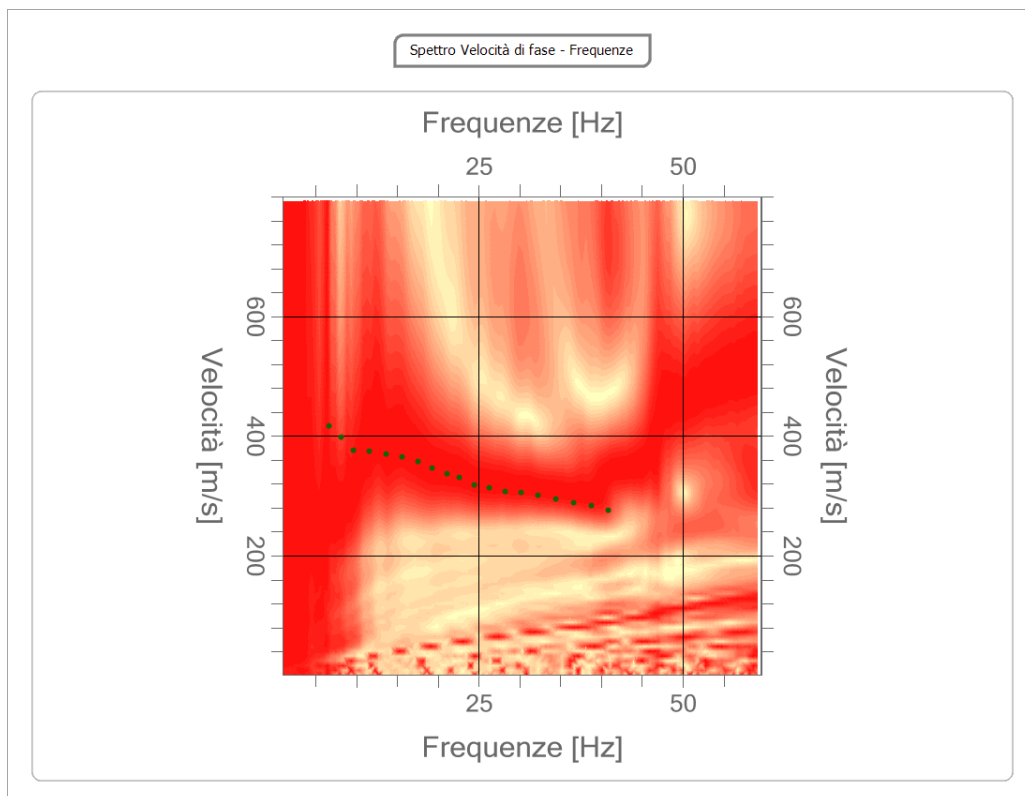
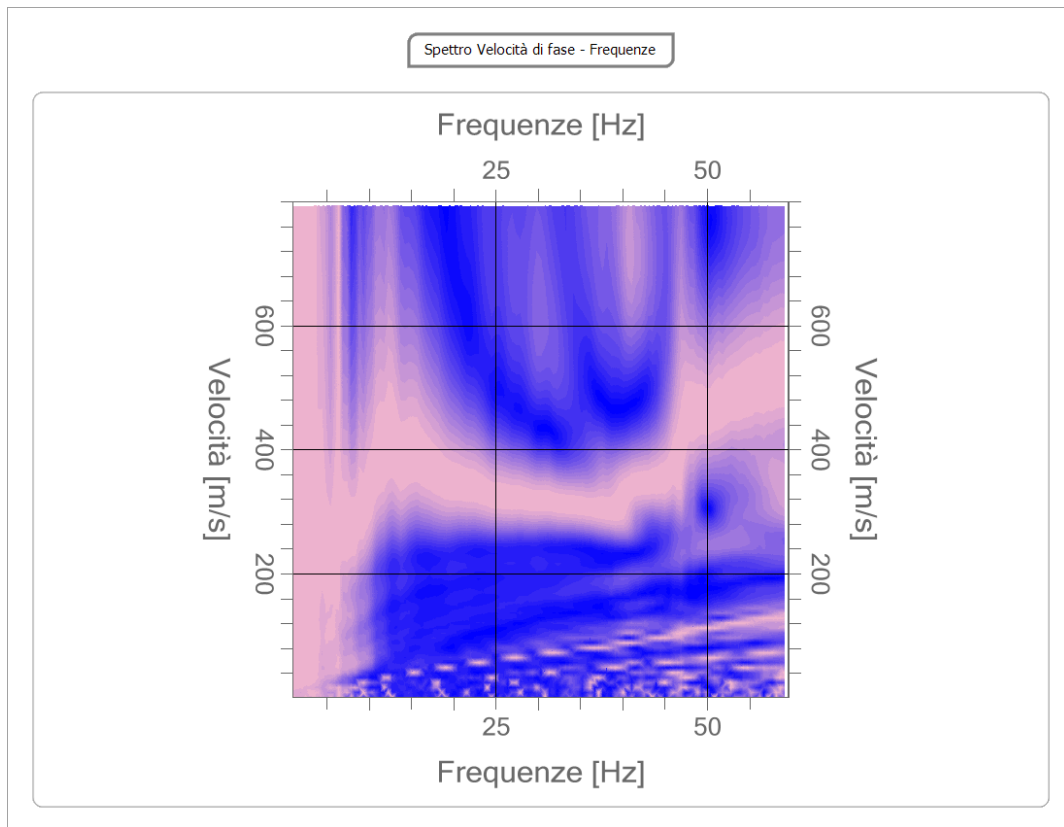
L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico mediante software Heasy MASW della Geostru Software, attraverso una procedura così descritta:

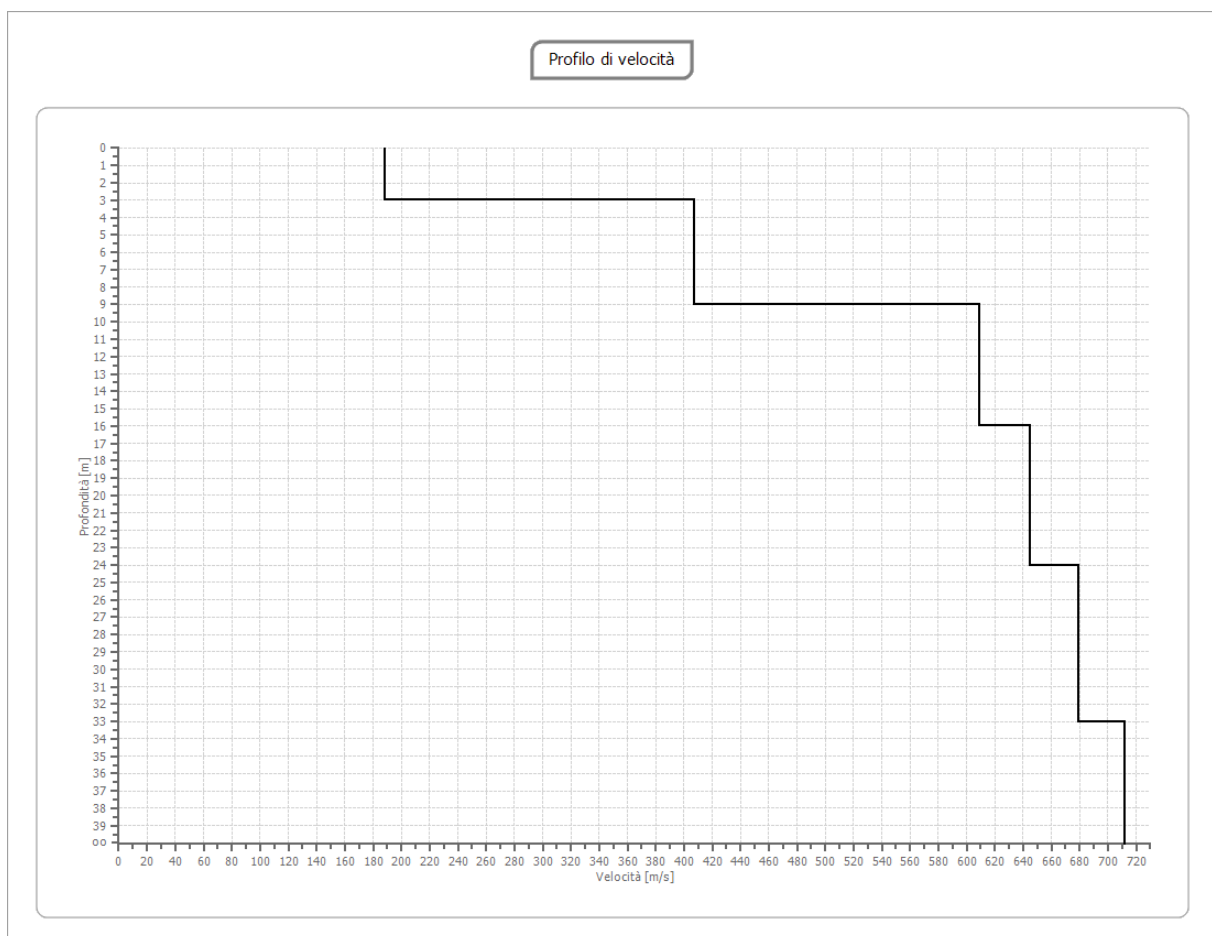
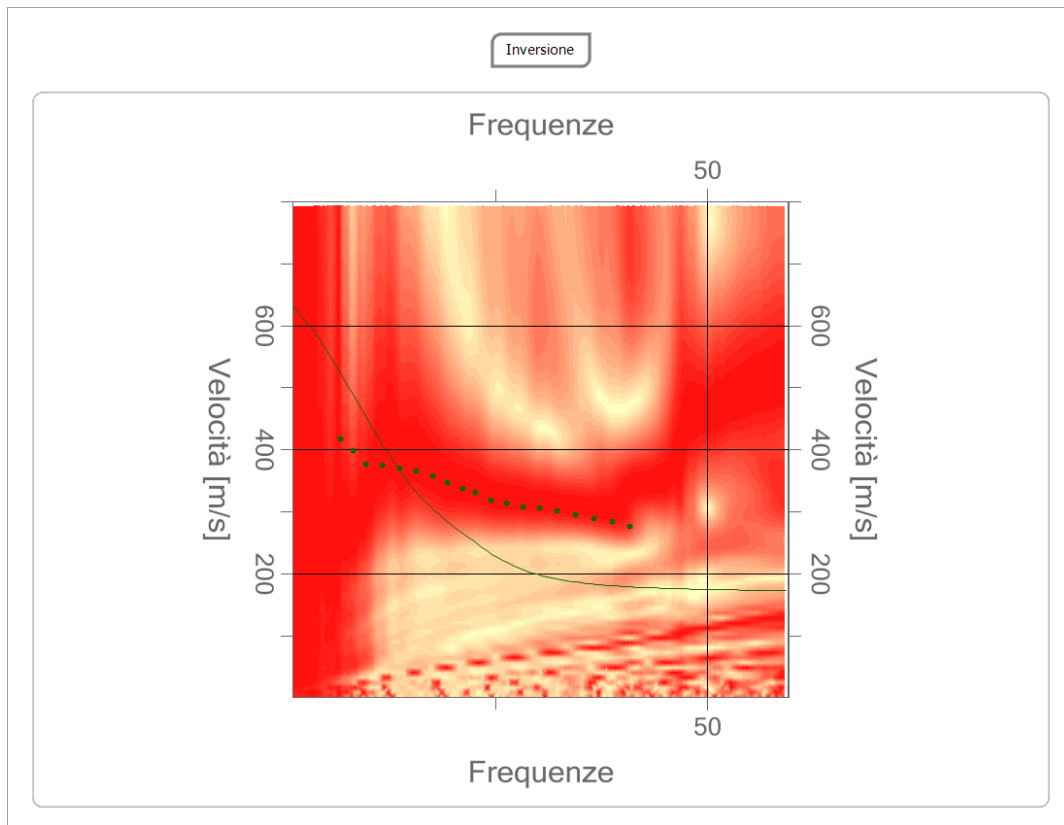
- Importazione delle tracce
- Analisi spettrale
- Inversione e sviluppo del profilo stratigrafico
- Calcolo Vs30 e categoria del sottosuolo

### **ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DATI**

#### **Tracce**









STRATO N°	PROFONDITA' (m)	SPESSORE (m)	Vs (m/s)
1	3.00	3.00	188.24
2	9.00	6.00	406.71
3	16.00	7.00	608.86
4	24.00	8.00	644.40
5	33.00	9.00	678.78
6	45.00	12.00	711.96

Dalle prospezione geofisica effettuata è scaturito un valore di  $V_{s30}$  pari a 472.88 m/s.  
In base a tale valore, il terreno interessato può essere classificato come di Categoria B:

#### 4. VERIFICA DI STABILITA'

Considerate le pendenze che caratterizzano l'area interessata e la tipologia costruttiva progettuale di intervento, si è ritenuto opportuno eseguire una verifica di stabilità del pendio, lungo tre sezioni rappresentative fornite dal progettista, prendendo in considerazione le stesse prima e dopo l'intervento previsto Fig.6.1. Il metodo utilizzato per tale verifica è quello di Fellenius (1927). Qui di seguito viene descritto il calcolo della verifica.



— Sezioni  
— Muro da realizzare

#### Normativa di riferimento

D.M. LL.PP. del 11/03/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

D.M. LL.PP. del 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008

Eurocodice 7

Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8

Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17 Gennaio 2018

Circolare Ministeriale N°7 del 21.01.2019

## **Definizione**

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

## **Introduzione all'analisi di stabilità**

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

### **Metodo equilibrio limite (LEM)**

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

### **Metodo dei conci**

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;  
 $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$   
 $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;  
 $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;  
 una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

**Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .**

*mentre le equazioni a disposizione sono:*

Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$   
 Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$   
 Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$   
 Equazioni relative al criterio di rottura  $n$   
 Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a  $i = (6n-2) - (4n) = 2n-2$ .

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### **Metodo di FELLENIUS (1927)**

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;

$n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;

$I$  fattore di sicurezza.

Incognite  $(2n+I)$

Le equazioni a disposizione sono:

$n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;

$n$  equazioni relative al criterio di rottura;

$I$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

### **VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA**

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

$W$ : peso concio

$K_o$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_v$ : Coefficiente sismico verticale.

### **Calcolo coefficienti sismici**

Le NTC 2008 e 2018 calcolano i coefficienti  $K_o$  e  $K_v$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di

suolo(A,B,C,D,E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$T1(S_T = 1.0)$   $T2(S_T = 1.20)$   $T3(S_T = 1.20)$   $T4(S_T = 1.40)$ .

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi.

Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $PVR$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da  $m$  righe e  $n$  colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

## SEZIONE A-B

### STATO ATTUALE DEL PENDIO

#### Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Lat./Long.	39,200935/16,065891
Normativa	NTC 2018 Cir. Min. n.7 del 21.01.2019
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

#### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore $x_i$	2507,42 m
Ordinata vertice sinistro inferiore $y_i$	1371,03 m
Ascissa vertice destro superiore $x_s$	2555,84 m
Ordinata vertice destro superiore $y_s$	1393,28 m
Passo di ricerca	30,0
Numero di celle lungo $x$	10,0
Numero di celle lungo $y$	10,0

#### Coefficienti sismici

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	75,0 [anni]
Vita di riferimento:	150,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:

B

Categoria topografica:

T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	90,0	0,91	2,39	0,34
S.L.D.	151,0	1,16	2,41	0,36
S.L.V.	1424,0	2,83	2,53	0,44
S.L.C.	2475,0	3,45	2,58	0,45

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,3104	0,2	0,0267	0,0134
S.L.D.	1,6704	0,24	0,0409	0,0204
S.L.V.	3,7626	0,28	0,1074	0,0537
S.L.C.	4,2928	0,28	0,1226	0,0613

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,0267

Coefficiente azione sismica verticale

0,0134

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	2525,37	1359,65
2	2526,24	1359,33
3	2527,68	1358,91
4	2529,24	1358,67
5	2530,16	1358,74
6	2532,58	1356,97
7	2535,18	1355,44
8	2536,67	1354,63
9	2539,39	1353,93
10	2541,01	1353,51
11	2543,42	1353,28
12	2544,07	1353,22
13	2544,82	1353,37
14	2545,49	1352,91
15	2560,57	1352,91
16	2560,57	1355,11
17	2561,31	1355,62
18	2562,1	1356,47
19	2568,4	1356,81
20	2569,12	1356,73
21	2569,12	1356,73

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	2525,37	1357,37
2	2528,49	1356,66
3	2530,33	1355,08
4	2532,0	1353,65
5	2536,96	1352,72
6	2538,04	1352,52
7	2539,82	1352,19
8	2541,6	1351,85
9	2544,91	1351,23

10	2547,36	1350,77
11	2550,14	1350,25
12	2553,25	1350,88
13	2556,59	1351,08
14	2558,75	1351,21
15	2560,47	1351,61
16	2561,59	1353,38
17	2562,26	1354,45
18	2563,16	1354,43
19	2565,07	1354,49
20	2566,71	1355,28
21	2569,12	1355,09

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

### Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo;

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )
1	0.5	36,00	2090	2620
2	0.53	38,00	2100	2800

### Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	2560,572	1352,914	0,15	0,15	2,2	0,62	1,2	2,2

### Risultati analisi pendio [NTC 2018, Circ. Min. n.7 del 21.01.2019: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1,64
Ascissa centro superficie	2555,83 m
Ordinata centro superficie	1371,03 m
Raggio superficie	19,07 m

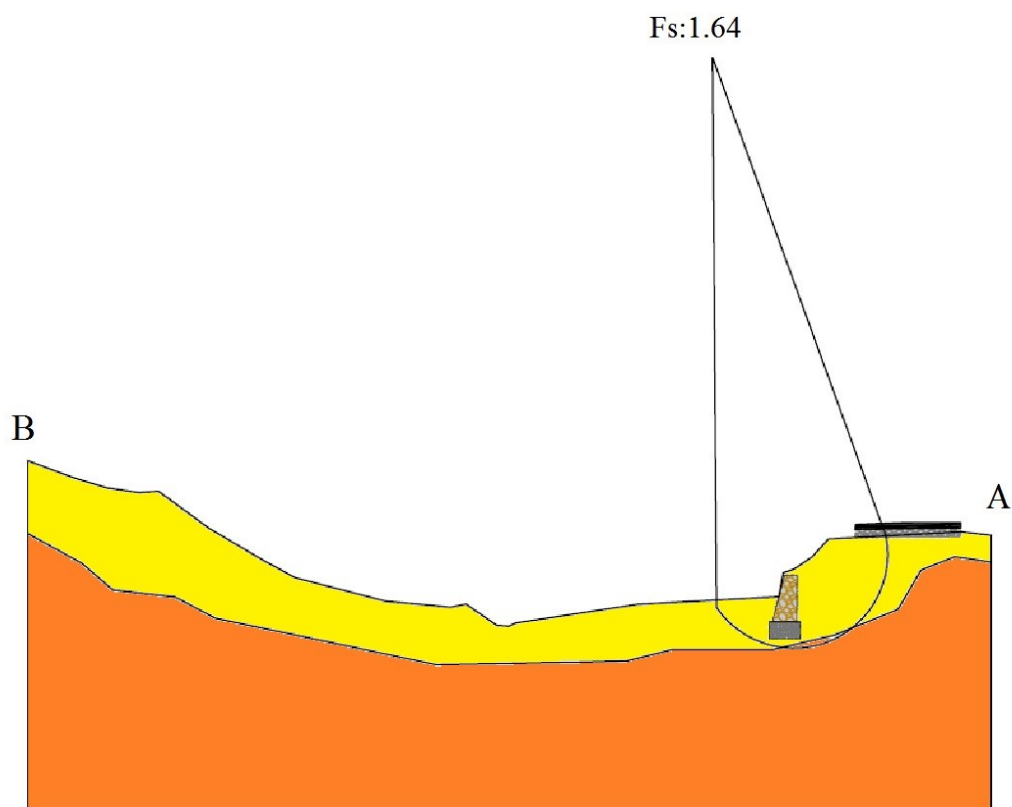
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

### Analisi dei conchi. Superficie...xc = 2555,834 yc = 1371,029 Rc = 19,07 Fs=1,64

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,62	-15,6	0,65	127,0	3,39	1,7	0,5	36,0	0,0	124,9	-31,0
2	0,62	-17,0	0,65	358,41	9,57	4,8	0,5	36,0	0,0	350,2	-95,5
3	0,62	-12,2	0,64	552,7	14,76	7,41	0,5	36,0	0,0	550,6	-102,3
4	0,62	-10,9	0,64	744,97	19,89	9,98	0,5	36,0	0,0	745,0	-121,8
5	0,62	-10,9	0,64	884,52	23,62	11,85	0,5	36,0	0,0	884,7	-143,6
6	0,62	-7,3	0,63	1022,41	27,3	13,7	0,5	36,0	0,0	1031,3	-102,0
7	0,62	-7,2	0,63	1108,91	29,61	14,86	0,5	36,0	0,0	1118,6	-110,1
8	0,62	-2,4	0,62	1194,69	31,9	16,01	0,5	36,0	0,0	1211,0	-18,4
9	0,62	-3,6	0,62	1228,42	32,8	16,46	0,5	36,0	0,0	1244,5	-44,6

10	0,62	1,2	0,62	1228,9	32,81	16,47	0,5	36,0	0,0	1244,4	58,5
11	0,62	0,0	0,62	1228,42	32,8	16,46	0,5	36,0	0,0	1244,9	32,8
12	0,62	4,8	0,63	1177,5	31,44	15,78	0,5	36,0	0,0	1186,4	130,1
13	0,62	6,0	0,63	1142,84	30,51	15,31	0,5	36,0	0,0	1148,5	150,5
14	0,62	6,0	0,63	1040,0	27,77	13,94	0,5	36,0	0,0	1045,2	137,1
15	0,62	9,7	0,63	936,03	24,99	12,54	0,5	36,0	0,0	930,9	181,8
16	0,62	10,9	0,64	780,12	20,83	10,45	0,5	36,0	0,0	772,3	168,1
17	0,81	13,1	0,83	746,18	19,92	10,0	0,5	36,0	0,0	731,9	188,9
18	0,69	16,5	0,72	3904,32	104,25	52,32	0,5	36,0	0,0	3765,2	1205,6
19	0,37	16,5	0,39	2329,31	62,19	31,21	0,5	36,0	0,0	2245,8	720,9
20	0,42	20,0	0,44	2871,39	76,67	38,48	0,5	36,0	0,0	2708,0	1054,5
21	0,83	19,5	0,88	5768,75	154,03	77,3	0,5	36,0	0,0	5458,7	2072,5
22	0,62	23,4	0,68	4000,72	106,82	53,61	0,5	36,0	0,0	3677,2	1689,6
23	0,62	23,8	0,68	3672,06	98,04	49,21	0,5	36,0	0,0	3366,5	1569,0
24	0,62	28,5	0,71	3354,73	89,57	44,95	0,5	36,0	0,0	2945,6	1678,4
25	0,62	27,9	0,71	2932,49	78,3	39,3	0,5	36,0	0,0	2589,6	1441,6
26	0,62	32,6	0,74	2522,57	67,35	33,8	0,5	36,0	0,0	2117,3	1415,8
27	0,62	32,2	0,74	2039,1	54,44	27,32	0,5	36,0	0,0	1718,9	1133,7
28	0,62	36,9	0,78	1501,51	40,09	20,12	0,5	36,0	0,0	1192,4	934,1
29	0,62	35,8	0,77	967,05	25,82	12,96	0,5	36,0	0,0	779,7	586,7
30	0,62	41,1	0,83	303,49	8,1	4,07	0,5	36,0	0,0	226,4	205,6

## Stato attuale del pendio sez A-B



## STATO FUTURO DEL PENDIO

## Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Lat./Long.

39,200935/16,065891

Normativa

NTC 2018 Cir. Min. n.7 del 21.01.2019

Numero di strati

2,0



Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2507,42 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1371,03 m
Ascissa vertice destro superiore xs	2555,84 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1393,28 m
Passo di ricerca	30,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	75,0 [anni]
Vita di riferimento:	150,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	90,0	0,91	2,39	0,34
S.L.D.	151,0	1,16	2,41	0,36
S.L.V.	1424,0	2,83	2,53	0,44
S.L.C.	2475,0	3,45	2,58	0,45

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,3104	0,2	0,0267	0,0134
S.L.D.	1,6704	0,24	0,0409	0,0204
S.L.V.	3,7626	0,28	0,1074	0,0537
S.L.C.	4,2928	0,28	0,1226	0,0613

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0267
Coefficiente azione sismica verticale	0,013 4

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	2525,37	1359,65
2	2526,24	1359,33
3	2527,68	1358,91
4	2529,24	1358,67
5	2530,16	1358,74
6	2532,58	1356,97
7	2535,18	1355,44
8	2536,67	1354,63
9	2539,39	1353,93

10	2541,01	1353,51
11	2543,42	1353,28
12	2544,07	1353,22
13	2544,82	1353,37
14	2545,49	1352,91
15	2560,57	1352,91
16	2560,57	1355,11
17	2561,31	1355,62
18	2562,1	1356,47
19	2568,4	1356,81
20	2569,12	1356,73
21	2569,12	1356,73

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	2525,37	1357,37
2	2528,49	1356,66
3	2530,33	1355,08
4	2532,0	1353,65
5	2536,96	1352,72
6	2538,04	1352,52
7	2539,82	1352,19
8	2541,6	1351,85
9	2544,91	1351,23
10	2547,36	1350,77
11	2550,14	1350,25
12	2553,25	1350,88
13	2556,59	1351,08
14	2558,75	1351,21
15	2560,47	1351,61
16	2561,59	1353,38
17	2562,26	1354,45
18	2563,16	1354,43
19	2565,07	1354,49
20	2566,71	1355,28
21	2569,12	1355,09

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo;

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )
1	0.5	36,00	2090	2620
2	0.53	38,00	2100	2800

**Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche**

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	2560,572	1352,914	0,15	0,15	2,2	0,62	1,2	2,2
2	2730,385	1456,875	0	0,9	1,15	0,3	0,3	2,8
Palo trivellato	2674,004	1456,222	0,4	0,4	8,0	0,4	0,4	2,8

**Risultati analisi pendio [NTC 2018, Circ. Min. n.7 del 21.01.2019: [A2+M2+R2]]**

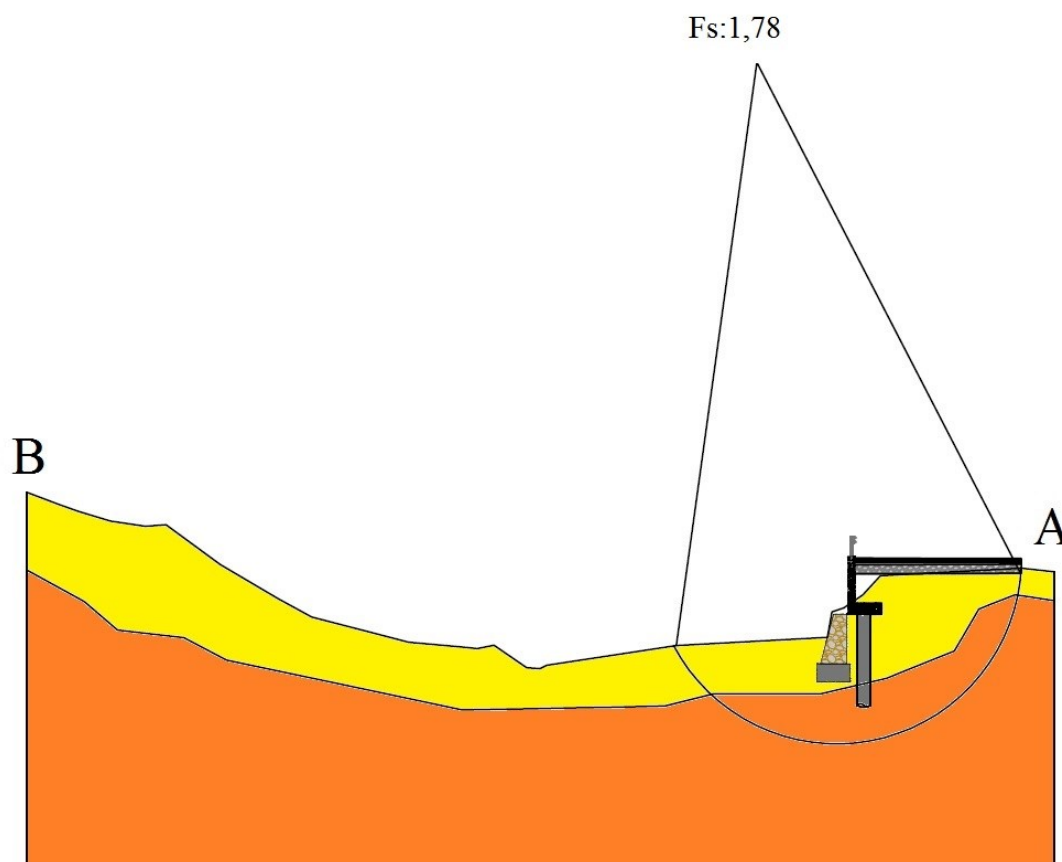
Fs minimo individuato	1,78
Ascissa centro superficie	2145,83 m
Ordinata centro superficie	1211,03 m
Raggio superficie	30,07 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Analisi dei conci. Superficie...xc = 2145,834 yc = 1211,029 Rc = 30,07 Fs=1,78**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,62	-25,6	1,65	127,0	3,39	1,7	0,5	36,0	0,0	124,9	-31,0
2	1,62	-27,0	1,65	358,41	9,57	4,8	0,5	36,0	0,0	350,2	-95,5
3	1,62	-22,2	1,64	552,7	14,76	7,41	0,5	36,0	0,0	550,6	-102,3
4	1,62	-20,9	1,64	744,97	19,89	9,98	0,5	36,0	0,0	745,0	-121,8
5	1,62	-20,9	1,64	884,52	23,62	11,85	0,5	36,0	0,0	884,7	-143,6
6	1,62	-17,3	1,63	1022,41	27,3	13,7	0,5	36,0	0,0	1031,3	-102,0
7	1,62	-17,2	1,63	1108,91	29,61	14,86	0,5	36,0	0,0	1118,6	-110,1
8	1,62	-12,4	1,62	1194,69	31,9	16,01	0,5	36,0	0,0	1211,0	-18,4
9	1,62	-13,6	1,62	1228,42	32,8	16,46	0,5	36,0	0,0	1244,5	-44,6
10	1,62	11,2	1,62	1228,9	32,81	16,47	0,5	36,0	0,0	1244,4	58,5
11	1,62	10,0	1,62	1228,42	32,8	16,46	0,5	36,0	0,0	1244,9	32,8
12	1,62	14,8	1,63	1177,5	31,44	15,78	0,5	36,0	0,0	1186,4	130,1
13	1,62	16,0	1,63	1142,84	30,51	15,31	0,5	36,0	0,0	1148,5	150,5
14	1,62	16,0	1,63	1040,0	27,77	13,94	0,5	36,0	0,0	1045,2	137,1
15	1,62	19,7	1,63	936,03	24,99	12,54	0,5	36,0	0,0	930,9	181,8
16	1,62	20,9	1,64	780,12	20,83	10,45	0,5	36,0	0,0	772,3	168,1
17	1,81	23,1	1,83	746,18	19,92	10,0	0,5	36,0	0,0	731,9	188,9
18	1,69	26,5	1,72	3904,32	104,25	52,32	0,5	36,0	0,0	3765,2	1205,6
19	1,37	26,5	1,39	2329,31	62,19	31,21	0,5	36,0	0,0	2245,8	720,9
20	1,42	30,0	1,44	2871,39	76,67	38,48	0,5	36,0	0,0	2708,0	1054,5
21	1,83	29,5	1,88	5768,75	154,03	77,3	0,5	36,0	0,0	5458,7	2072,5
22	1,62	33,4	1,68	4000,72	106,82	53,61	0,5	36,0	0,0	3677,2	1689,6
23	1,62	33,8	1,68	3672,06	98,04	49,21	0,5	36,0	0,0	3366,5	1569,0
24	1,62	38,5	1,71	3354,73	89,57	44,95	0,5	36,0	0,0	2945,6	1678,4
25	1,62	37,9	1,71	2932,49	78,3	39,3	0,5	36,0	0,0	2589,6	1441,6
26	1,62	42,6	1,74	2522,57	67,35	33,8	0,5	36,0	0,0	2117,3	1415,8
27	1,62	42,2	1,74	2039,1	54,44	27,32	0,5	36,0	0,0	1718,9	1133,7
28	1,62	46,9	1,78	1501,51	40,09	20,12	0,5	36,0	0,0	1192,4	934,1
29	1,62	45,8	1,77	967,05	25,82	12,96	0,5	36,0	0,0	779,7	586,7
30	1,62	51,1	1,83	303,49	8,1	4,07	0,5	36,0	0,0	226,4	205,6

## Stato Futuro del pendio sezione A-B



## SEZIONE C-D

## STATO ATTUALE DEL PENDIO

## Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Lat./Long.	39,200935/16,065891
Normativa	NTC 2018 Cir. Min. n.7 del 21.01.2019
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

## Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2507,42 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1371,03 m
Ascissa vertice destro superiore xs	2555,84 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1393,28 m
Passo di ricerca	30,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici****Dati generali**

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe IV  
 Vita nominale: 75,0 [anni]  
 Vita di riferimento: 150,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: B  
 Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	90,0	0,91	2,39	0,34
S.L.D.	151,0	1,16	2,41	0,36
S.L.V.	1424,0	2,83	2,53	0,44
S.L.C.	2475,0	3,45	2,58	0,45

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,3104	0,2	0,0267	0,0134
S.L.D.	1,6704	0,24	0,0409	0,0204
S.L.V.	3,7626	0,28	0,1074	0,0537
S.L.C.	4,2928	0,28	0,1226	0,0613

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0267  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,013 4

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	1815,39	2540,83
2	1815,41	2540,32
3	1815,65	2540,47
4	1817,12	2540,37
5	1817,21	2540,37
6	1819,41	2540,27
7	1820,12	2540,24
8	1822,31	2540,31
9	1823,04	2540,31
10	1824,01	2539,26
11	1824,38	2538,6
12	1826,18	2538,77
13	1826,4	2539,27
14	1826,65	2539,65
15	1827,67	2540,11
16	1828,1	2540,25
17	1830,15	2540,39
18	1831,54	2542,0
19	1831,93	2542,38
20	1832,59	2543,08
21	1833,52	2543,53
22	1834,18	2543,62
23	1835,23	2543,64
24	1836,97	2543,56
25	1840,06	2543,39
26	1840,44	2543,33

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	1814,86	2539,53
2	1815,86	2539,2
3	1816,66	2539,28
4	1817,34	2539,12
5	1817,85	2538,99
6	1818,46	2538,85
7	1819,35	2538,07
8	1820,89	2537,72
9	1822,27	2537,61
10	1823,32	2537,53
11	1824,58	2537,44
12	1826,15	2537,38
13	1826,86	2538,01
14	1827,68	2538,41
15	1828,5	2538,81
16	1829,28	2538,66
17	1830,85	2539,22
18	1831,98	2540,47
19	1832,69	2541,26
20	1833,92	2542,06
21	1835,11	2542,26
22	1836,49	2542,51
23	1838,05	2542,41
24	1840,14	2542,28
25	1840,44	2542,26

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo;

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )
1	0.5	36,00	2090	2620
2	0.53	38,00	2100	2800

**Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche**

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	2460,572	1452,914	0,15	0,15	2,2	0,62	1,2	2,2

**Risultati analisi pendio [NTC 2018, Circ. Min. n.7 del 21.01.2019: [A2+M2+R2]]**

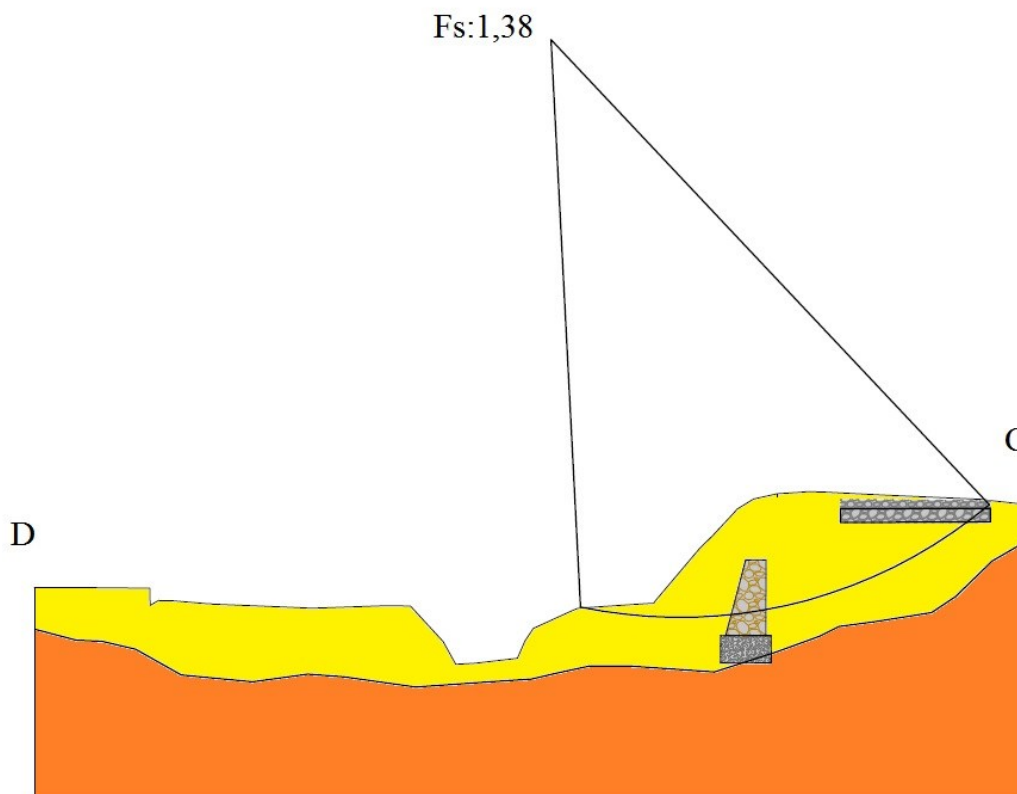
Fs minimo individuato	1,38
Ascissa centro superficie	1829,77 m
Ordinata centro superficie	2549,02 m
Raggio superficie	10,9 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Analisi dei conci. Superficie...xc = 1829,773 yc = 2549,024 Rc = 10,902 Fs=1,38**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,08	-24,2	0,09	6,15	0,16	0,08	0,51	36,0	0,0	5,7	-2,4
2	0,22	-18,3	0,23	159,79	4,27	2,14	0,51	36,0	0,0	155,1	-46,2
3	0,25	-21,2	0,27	437,39	11,68	5,86	0,51	36,0	0,0	417,5	-147,3
4	1,02	-13,0	1,05	3077,47	82,17	41,24	0,51	36,0	0,0	3056,7	-614,8
5	0,43	-9,2	0,44	1721,23	45,96	23,06	0,51	36,0	0,0	1729,2	-229,5
6	0,61	-8,7	0,61	2625,75	70,11	35,18	0,51	36,0	0,0	2641,2	-325,8
7	0,43	-3,0	0,44	1963,4	52,42	26,31	0,51	36,0	0,0	1989,7	-51,1
8	0,43	0,0	0,43	2000,9	53,42	26,81	0,51	36,0	0,0	2027,7	53,4
9	0,57	-2,3	0,57	2682,42	71,62	35,94	0,51	36,0	0,0	2719,0	-36,1
10	0,3	4,4	0,3	1509,38	40,3	20,23	0,51	36,0	0,0	1522,0	155,8
11	0,43	6,0	0,44	2573,26	68,71	34,48	0,51	36,0	0,0	2586,1	338,4
12	0,43	3,1	0,44	3000,69	80,12	40,21	0,51	36,0	0,0	3032,3	239,8
13	0,22	6,0	0,22	1671,97	44,64	22,4	0,51	36,0	0,0	1680,4	219,6
14	0,39	13,5	0,4	3161,44	84,41	42,36	0,51	36,0	0,0	3096,0	818,3
15	0,66	12,1	0,67	5959,1	159,11	79,85	0,51	36,0	0,0	5871,5	1404,5
16	0,47	16,8	0,49	4588,77	122,52	61,49	0,51	36,0	0,0	4415,7	1445,7
17	0,46	20,0	0,49	4586,08	122,45	61,45	0,51	36,0	0,0	4324,1	1686,8
18	0,41	20,0	0,43	3987,7	106,47	53,44	0,51	36,0	0,0	3762,2	1461,0
19	0,25	26,3	0,28	2434,99	65,01	32,63	0,51	36,0	0,0	2183,2	1137,5
20	0,62	26,3	0,69	5729,63	152,98	76,78	0,51	36,0	0,0	5136,9	2677,1
21	0,43	26,1	0,48	3714,71	99,18	49,78	0,51	36,0	0,0	3337,0	1723,2
22	0,44	31,2	0,52	3621,42	96,69	48,53	0,51	36,0	0,0	3090,5	1956,5
23	0,43	35,0	0,53	3286,09	87,74	44,03	0,51	36,0	0,0	2678,6	1955,3
24	0,43	35,9	0,54	2973,17	79,38	39,84	0,51	36,0	0,0	2393,8	1808,0
25	0,43	42,0	0,58	2624,4	70,07	35,17	0,51	36,0	0,0	1929,7	1808,0
26	0,44	42,9	0,6	2317,78	61,88	31,06	0,51	36,0	0,0	1679,9	1621,7
27	0,44	46,8	0,64	1867,16	49,85	25,02	0,51	36,0	0,0	1258,4	1395,7
28	0,43	48,7	0,66	1443,2	38,53	19,34	0,51	36,0	0,0	936,0	1109,9
29	0,43	52,8	0,72	906,58	24,21	12,15	0,51	36,0	0,0	535,6	737,2
30	0,43	56,7	0,79	301,6	8,05	4,04	0,51	36,0	0,0	161,2	256,4

## Stato attuale del pendio sezione C-D



## STATO FUTURO DEL PENDIO

## Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Lat./Long.	39,200935/16,065891
Normativa	NTC 2018 Cir. Min. n.7 del 21.01.2019
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

## Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2507,42 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1371,03 m
Ascissa vertice destro superiore xs	2555,84 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1393,28 m
Passo di ricerca	30,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

## Coefficienti sismici

## Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	75,0 [anni]



Vita di riferimento:

150,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:

B

Categoria topografica:

T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	90,0	0,91	2,39	0,34
S.L.D.	151,0	1,16	2,41	0,36
S.L.V.	1424,0	2,83	2,53	0,44
S.L.C.	2475,0	3,45	2,58	0,45

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,3104	0,2	0,0267	0,0134
S.L.D.	1,6704	0,24	0,0409	0,0204
S.L.V.	3,7626	0,28	0,1074	0,0537
S.L.C.	4,2928	0,28	0,1226	0,0613

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,0267

Coefficiente azione sismica verticale

0,0134

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	1815,39	2540,83
2	1815,41	2540,32
3	1815,65	2540,47
4	1817,12	2540,37
5	1817,21	2540,37
6	1819,41	2540,27
7	1820,12	2540,24
8	1822,31	2540,31
9	1823,04	2540,31
10	1824,01	2539,26
11	1824,38	2538,6
12	1826,18	2538,77
13	1826,4	2539,27
14	1826,65	2539,65
15	1827,67	2540,11
16	1828,1	2540,25
17	1830,15	2540,39
18	1831,54	2542,0
19	1831,93	2542,38
20	1832,59	2543,08
21	1833,52	2543,53
22	1834,18	2543,62
23	1835,23	2543,64
24	1836,97	2543,56
25	1840,06	2543,39
26	1840,44	2543,33

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	1814,86	2539,53
2	1815,86	2539,2

3	1816,66	2539,28
4	1817,34	2539,12
5	1817,85	2538,99
6	1818,46	2538,85
7	1819,35	2538,07
8	1820,89	2537,72
9	1822,27	2537,61
10	1823,32	2537,53
11	1824,58	2537,44
12	1826,15	2537,38
13	1826,86	2538,01
14	1827,68	2538,41
15	1828,5	2538,81
16	1829,28	2538,66
17	1830,85	2539,22
18	1831,98	2540,47
19	1832,69	2541,26
20	1833,92	2542,06
21	1835,11	2542,26
22	1836,49	2542,51
23	1838,05	2542,41
24	1840,14	2542,28
25	1840,44	2542,26

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

#### Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo;

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )
1	0.5	36,00	2090	2620
2	0.53	38,00	2100	2800

#### Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	2460,572	1452,914	0,15	0,15	2,2	0,62	1,2	2,2
2	2530,385	1486,875	0	0,9	1,49	0,3	0,3	2,8
Palo trivellato	2774,004	1486,222	0,4	0,4	8,0	0,4	0,4	2,8

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018, Circ. Min. n.7 del 21.01.2019: [A2+M2+R2]]

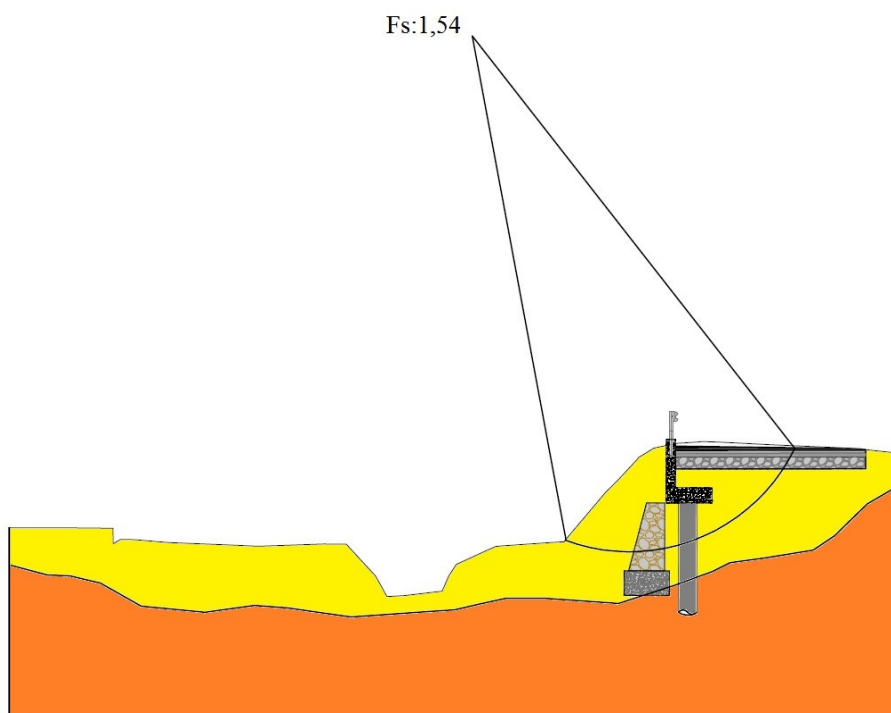
Fs minimo individuato	1,54
Ascissa centro superficie	1929,77 m
Ordinata centro superficie	2649,02 m
Raggio superficie	20,9 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Analisi dei conci. Superficie...xc = 1929,773 yc = 2649,024 Rc = 20,902 Fs=1,54**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,08	-34,2	0,09	6,15	0,16	0,08	0,51	36,0	0,0	5,7	-2,4
2	1,22	-28,3	0,23	159,79	4,27	2,14	0,51	36,0	0,0	155,1	-46,2
3	1,25	-31,2	0,27	437,39	11,68	5,86	0,51	36,0	0,0	417,5	-147,3
4	2,02	-23,0	1,05	3077,47	82,17	41,24	0,51	36,0	0,0	3056,7	-614,8
5	1,43	-19,2	0,44	1721,23	45,96	23,06	0,51	36,0	0,0	1729,2	-229,5
6	1,61	-18,7	0,61	2625,75	70,11	35,18	0,51	36,0	0,0	2641,2	-325,8
7	1,43	-13,0	0,44	1963,4	52,42	26,31	0,51	36,0	0,0	1989,7	-51,1
8	1,43	10,0	0,43	2000,9	53,42	26,81	0,51	36,0	0,0	2027,7	53,4
9	1,57	-12,3	0,57	2682,42	71,62	35,94	0,51	36,0	0,0	2719,0	-36,1
10	1,3	14,4	0,3	1509,38	40,3	20,23	0,51	36,0	0,0	1522,0	155,8
11	1,43	16,0	0,44	2573,26	68,71	34,48	0,51	36,0	0,0	2586,1	338,4
12	1,43	13,1	0,44	3000,69	80,12	40,21	0,51	36,0	0,0	3032,3	239,8
13	1,22	16,0	0,22	1671,97	44,64	22,4	0,51	36,0	0,0	1680,4	219,6
14	1,39	23,5	0,4	3161,44	84,41	42,36	0,51	36,0	0,0	3096,0	818,3
15	1,66	22,1	0,67	5959,1	159,11	79,85	0,51	36,0	0,0	5871,5	1404,5
16	1,47	16,8	0,49	4588,77	122,52	61,49	0,51	36,0	0,0	4415,7	1445,7
17	1,46	30,0	0,49	4586,08	122,45	61,45	0,51	36,0	0,0	4324,1	1686,8
18	1,41	30,0	0,43	3987,7	106,47	53,44	0,51	36,0	0,0	3762,2	1461,0
19	1,25	36,3	0,28	2434,99	65,01	32,63	0,51	36,0	0,0	2183,2	1137,5
20	1,62	36,3	0,69	5729,63	152,98	76,78	0,51	36,0	0,0	5136,9	2677,1
21	1,43	36,1	0,48	3714,71	99,18	49,78	0,51	36,0	0,0	3337,0	1723,2
22	1,44	41,2	0,52	3621,42	96,69	48,53	0,51	36,0	0,0	3090,5	1956,5
23	1,43	45,0	0,53	3286,09	87,74	44,03	0,51	36,0	0,0	2678,6	1955,3
24	1,43	45,9	0,54	2973,17	79,38	39,84	0,51	36,0	0,0	2393,8	1808,0
25	1,43	52,0	0,58	2624,4	70,07	35,17	0,51	36,0	0,0	1929,7	1808,0
26	1,44	52,9	0,6	2317,78	61,88	31,06	0,51	36,0	0,0	1679,9	1621,7
27	1,44	56,8	0,64	1867,16	49,85	25,02	0,51	36,0	0,0	1258,4	1395,7
28	1,43	58,7	0,66	1443,2	38,53	19,34	0,51	36,0	0,0	936,0	1109,9
29	1,43	62,8	0,72	906,58	24,21	12,15	0,51	36,0	0,0	535,6	737,2
30	1,43	66,7	0,79	301,6	8,05	4,04	0,51	36,0	0,0	161,2	256,4

Stato futuro del pendio sezione C-D



**SEZIONE E-F****STATO ATTUALE DEL PENDIO****Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS**

Lat./Long.	39,200935/16,065891
Normativa	NTC 2018 Cir. Min. n.7 del 21.01.2019
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2507,42 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1371,03 m
Ascissa vertice destro superiore xs	2555,84 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1393,28 m
Passo di ricerca	30,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	75,0 [anni]
Vita di riferimento:	150,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	90,0	0,91	2,39	0,34
S.L.D.	151,0	1,16	2,41	0,36
S.L.V.	1424,0	2,83	2,53	0,44
S.L.C.	2475,0	3,45	2,58	0,45

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,3104	0,2	0,0267	0,0134
S.L.D.	1,6704	0,24	0,0409	0,0204
S.L.V.	3,7626	0,28	0,1074	0,0537
S.L.C.	4,2928	0,28	0,1226	0,0613

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0267  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,0134

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	2349,98	1385,98

2	2350,48	1385,69
3	2350,97	1385,81
4	2351,62	1385,93
5	2351,94	1384,26
6	2362,12	1384,35
7	2365,89	1384,27
8	2369,32	1382,71
9	2369,86	1382,69
10	2371,19	1383,45
11	2375,47	1384,22
12	2376,07	1386,55
13	2376,28	1386,7
14	2376,96	1387,04
15	2377,12	1387,05
16	2377,12	1387,05
17	2378,8	1388,02
18	2385,08	1388,17
19	2385,82	1388,09
20	2386,1	1388,02

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	2349,98	1384,44
2	2352,22	1383,24
3	2354,48	1383,25
4	2356,42	1383,27
5	2357,66	1382,47
6	2360,02	1381,97
7	2362,53	1381,45
8	2364,48	1381,6
9	2367,17	1380,78
10	2369,19	1380,82
11	2371,43	1381,4
12	2374,4	1381,48
13	2376,72	1382,26
14	2377,79	1383,67
15	2378,04	1384,74
16	2379,28	1386,06
17	2380,48	1386,39
18	2383,33	1386,56
19	2385,03	1386,6
20	2386,1	1386,63

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo;

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )
1	0.5	36,00	2090	2620
2	0.53	38,00	2100	2800

**Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche**

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a	Base mensola a	Altezza muro	Spessore testa	Spessore base	Peso specifico
----	----------	----------	-------------------	-------------------	-----------------	-------------------	------------------	-------------------

			valle (m)	monte (m)	(m)	(m)	(m)	(Kg/m <sup>3</sup> )
1	2360,572	1252,914	0,15	0,15	2,2	0,62	1,2	2,2

**Risultati analisi pendio [NTC 2018, Circ. Min. n.7 del 21.01.2019: [A2+M2+R2]]**

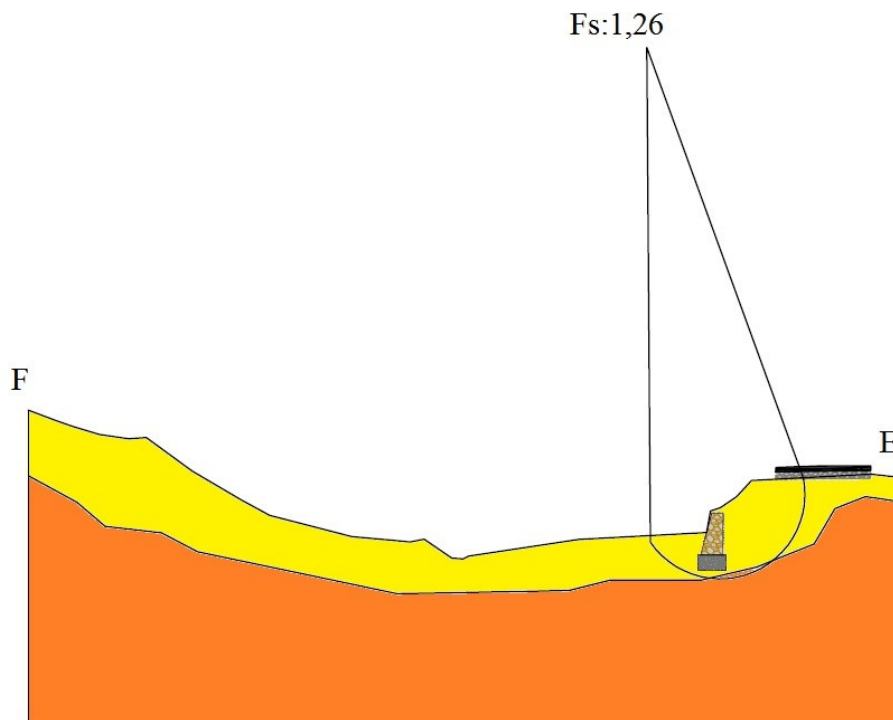
Fs minimo individuato	1,26
Ascissa centro superficie	2372,69 m
Ordinata centro superficie	1395,14 m
Raggio superficie	12,46 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Analisi dei conchi. Superficie...xc = 2372,692 yc = 1395,135 Rc = 12,465 Fs=1,26**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,42	-14,6	0,44	168,57	4,5	2,26	0,51	36,0	0,0	166,5	-38,0
2	0,47	-9,8	0,47	515,47	13,76	6,91	0,51	36,0	0,0	517,1	-74,4
3	0,38	-3,0	0,38	599,54	16,01	8,03	0,51	36,0	0,0	607,6	-15,8
4	0,42	-2,7	0,42	750,75	20,04	10,06	0,51	36,0	0,0	760,9	-15,6
5	0,42	-2,7	0,42	854,23	22,81	11,45	0,51	36,0	0,0	865,8	-17,5
6	0,42	-2,7	0,42	921,7	24,61	12,35	0,51	36,0	0,0	934,2	-19,2
7	0,42	2,7	0,42	971,55	25,94	13,02	0,51	36,0	0,0	982,2	72,0
8	0,42	5,4	0,43	1039,02	27,74	13,92	0,51	36,0	0,0	1045,6	125,6
9	0,42	5,4	0,43	1070,81	28,59	14,35	0,51	36,0	0,0	1077,5	130,1
10	0,42	2,7	0,42	1084,76	28,96	14,54	0,51	36,0	0,0	1096,7	80,7
11	0,42	10,9	0,43	1098,28	29,32	14,72	0,51	36,0	0,0	1087,5	235,7
12	0,52	11,2	0,53	1365,15	36,45	18,29	0,51	36,0	0,0	1350,1	300,7
13	0,33	17,4	0,35	1261,92	33,69	16,91	0,51	36,0	0,0	1210,5	408,7
14	0,27	13,1	0,27	1637,63	43,72	21,94	0,51	36,0	0,0	1606,4	414,1
15	0,21	21,7	0,23	1507,97	40,26	20,21	0,51	36,0	0,0	1404,6	595,9
16	0,68	17,4	0,71	5014,51	133,89	67,19	0,51	36,0	0,0	4810,5	1623,5
17	0,16	15,2	0,16	1191,5	31,81	15,97	0,51	36,0	0,0	1157,0	342,6
18	0,81	24,7	0,89	6114,4	163,25	81,93	0,51	36,0	0,0	5561,7	2702,2
19	0,42	25,4	0,47	3282,23	87,64	43,98	0,51	36,0	0,0	2967,3	1486,6
20	0,46	28,8	0,52	3545,36	94,66	47,51	0,51	36,0	0,0	3102,1	1792,3
21	0,39	25,4	0,43	2989,05	79,81	40,05	0,51	36,0	0,0	2701,5	1355,4
22	0,42	34,0	0,51	2993,47	79,93	40,11	0,51	36,0	0,0	2470,9	1739,3
23	0,42	36,9	0,53	2788,67	74,46	37,37	0,51	36,0	0,0	2214,5	1734,8
24	0,42	37,8	0,54	2511,97	67,07	33,66	0,51	36,0	0,0	1969,8	1593,2
25	0,42	36,5	0,53	2202,5	58,81	29,51	0,51	36,0	0,0	1758,5	1358,3
26	0,42	43,9	0,59	1880,6	50,21	25,2	0,51	36,0	0,0	1338,6	1340,0
27	0,42	45,2	0,6	1518,68	40,55	20,35	0,51	36,0	0,0	1054,9	1106,9
28	0,42	48,6	0,64	1166,4	31,14	15,63	0,51	36,0	0,0	758,6	895,3
29	0,42	52,1	0,69	738,53	19,72	9,9	0,51	36,0	0,0	444,4	594,7
30	0,42	51,1	0,67	220,69	5,89	2,96	0,51	36,0	0,0	135,9	175,4

### Stato attuale del pendio sezione E-F



## STATO FUTURO DEL PENDIO

## Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Lat./Long.	39,200935/16,065891
Normativa	NTC 2018 Cir. Min. n.7 del 21.01.2019
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

## Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2507,42 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1371,03 m
Ascissa vertice destro superiore xs	2555,84 m
Ordinata vertice destro superiore ys	1393,28 m
Passo di ricerca	30,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

## Coefficienti sismici

## Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	75,0 [anni]
Vita di riferimento:	150,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:

B

Categoria topografica:

T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	90,0	0,91	2,39	0,34
S.L.D.	151,0	1,16	2,41	0,36
S.L.V.	1424,0	2,83	2,53	0,44
S.L.C.	2475,0	3,45	2,58	0,45

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,3104	0,2	0,0267	0,0134
S.L.D.	1,6704	0,24	0,0409	0,0204
S.L.V.	3,7626	0,28	0,1074	0,0537
S.L.C.	4,2928	0,28	0,1226	0,0613

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,0267

Coefficiente azione sismica verticale

0,013 4

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	2349,98	1385,98
2	2350,48	1385,69
3	2350,97	1385,81
4	2351,62	1385,93
5	2351,94	1384,26
6	2362,12	1384,35
7	2365,89	1384,27
8	2369,32	1382,71
9	2369,86	1382,69
10	2371,19	1383,45
11	2375,47	1384,22
12	2376,07	1386,55
13	2376,28	1386,7
14	2376,96	1387,04
15	2377,12	1387,05
16	2377,12	1387,05
17	2378,8	1388,02
18	2385,08	1388,17
19	2385,82	1388,09
20	2386,1	1388,02

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	2349,98	1384,44
2	2352,22	1383,24
3	2354,48	1383,25
4	2356,42	1383,27
5	2357,66	1382,47
6	2360,02	1381,97
7	2362,53	1381,45
8	2364,48	1381,6
9	2367,17	1380,78
10	2369,19	1380,82



11	2371,43	1381,4
12	2374,4	1381,48
13	2376,72	1382,26
14	2377,79	1383,67
15	2378,04	1384,74
16	2379,28	1386,06
17	2380,48	1386,39
18	2383,33	1386,56
19	2385,03	1386,6
20	2386,1	1386,63

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo;

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )
1	0.5	36,00	2090	2620
2	0.53	38,00	2100	2800

**Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche**

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	2460,572	1452,914	0,15	0,15	2,2	0,62	1,2	2,2
2	2530,385	1486,875	0	1,2	2,17	0,3	0,3	2,8
Palo trivellato	2774,004	1486,222	0,6	0,6	8,0	0,6	0,6	2,8

**Risultati analisi pendio [NTC 2018, Circ. Min. n.7 del 21.01.2019: [A2+M2+R2]]**

Fs minimo individuato	1,48
Ascissa centro superficie	2372,69 m
Ordinata centro superficie	1395,14 m
Raggio superficie	12,46 m

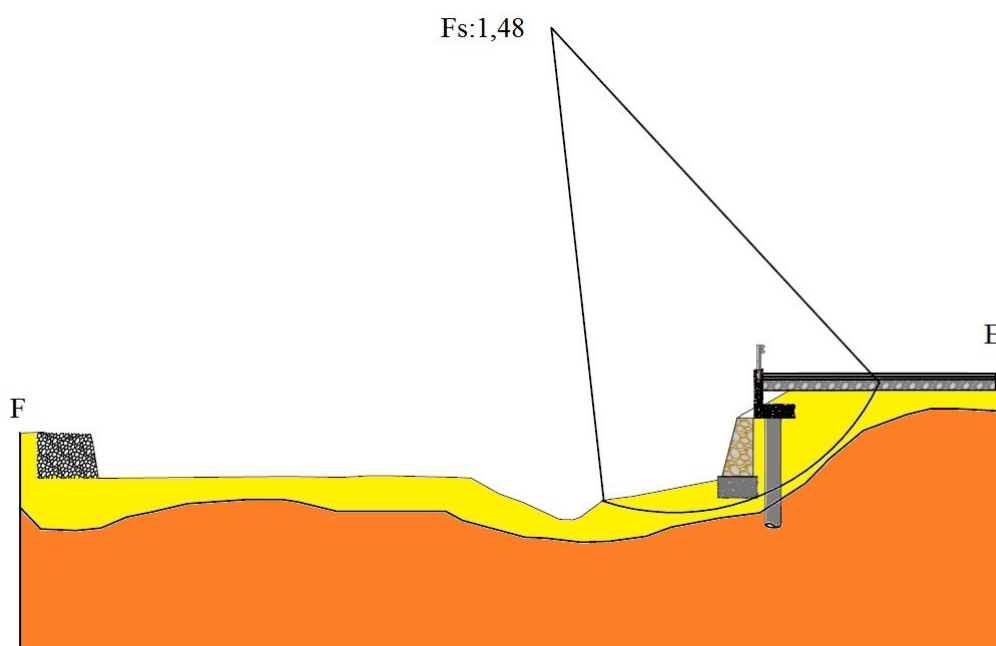
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Analisi dei conci. Superficie...xc = 2372,692 yc = 1395,135 Rc = 12,465 Fs=1,48**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,42	-14,6	1,44	168,57	4,5	2,26	0,51	36,0	0,0	166,5	-38,0
2	1,47	-9,8	1,47	515,47	13,76	6,91	0,51	36,0	0,0	517,1	-74,4
3	1,38	-3,0	1,38	599,54	16,01	8,03	0,51	36,0	0,0	607,6	-15,8
4	1,42	-2,7	1,42	750,75	20,04	10,06	0,51	36,0	0,0	760,9	-15,6
5	1,42	-2,7	1,42	854,23	22,81	11,45	0,51	36,0	0,0	865,8	-17,5
6	1,42	-2,7	1,42	921,7	24,61	12,35	0,51	36,0	0,0	934,2	-19,2
7	1,42	2,7	1,42	971,55	25,94	13,02	0,51	36,0	0,0	982,2	72,0
8	1,42	5,4	1,43	1039,02	27,74	13,92	0,51	36,0	0,0	1045,6	125,6
9	1,42	5,4	1,43	1070,81	28,59	14,35	0,51	36,0	0,0	1077,5	130,1
10	1,42	2,7	1,42	1084,76	28,96	14,54	0,51	36,0	0,0	1096,7	80,7
11	1,42	10,9	1,43	1098,28	29,32	14,72	0,51	36,0	0,0	1087,5	235,7

12	1,52	11,2	1,53	1365,15	36,45	18,29	0,51	36,0	0,0	1350,1	300,7
13	1,33	17,4	1,35	1261,92	33,69	16,91	0,51	36,0	0,0	1210,5	408,7
14	1,27	13,1	1,27	1637,63	43,72	21,94	0,51	36,0	0,0	1606,4	414,1
15	1,21	21,7	1,23	1507,97	40,26	20,21	0,51	36,0	0,0	1404,6	595,9
16	1,68	17,4	1,71	5014,51	133,89	67,19	0,51	36,0	0,0	4810,5	1623,5
17	1,16	15,2	1,16	1191,5	31,81	15,97	0,51	36,0	0,0	1157,0	342,6
18	1,81	24,7	1,89	6114,4	163,25	81,93	0,51	36,0	0,0	5561,7	2702,2
19	1,42	25,4	1,47	3282,23	87,64	43,98	0,51	36,0	0,0	2967,3	1486,6
20	1,46	28,8	1,52	3545,36	94,66	47,51	0,51	36,0	0,0	3102,1	1792,3
21	1,39	25,4	1,43	2989,05	79,81	40,05	0,51	36,0	0,0	2701,5	1355,4
22	1,42	34,0	1,51	2993,47	79,93	40,11	0,51	36,0	0,0	2470,9	1739,3
23	1,42	36,9	1,53	2788,67	74,46	37,37	0,51	36,0	0,0	2214,5	1734,8
24	1,42	37,8	1,54	2511,97	67,07	33,66	0,51	36,0	0,0	1969,8	1593,2
25	1,42	36,5	1,53	2202,5	58,81	29,51	0,51	36,0	0,0	1758,5	1358,3
26	1,42	43,9	1,59	1880,6	50,21	25,2	0,51	36,0	0,0	1338,6	1340,0
27	1,42	45,2	1,6	1518,68	40,55	20,35	0,51	36,0	0,0	1054,9	1106,9
28	1,42	48,6	1,64	1166,4	31,14	15,63	0,51	36,0	0,0	758,6	895,3
29	1,42	52,1	1,69	738,53	19,72	9,9	0,51	36,0	0,0	444,4	594,7
30	1,42	51,1	1,67	220,69	5,89	2,96	0,51	36,0	0,0	135,9	175,4

Stato futuro del pendio sezione E-F

**Risultati verifiche di stabilità eseguite:**

Sezione	Fs ante operam	Fs post operam
A-B	1,64	1,78
C-D	1,38	1,54
E-F	1,26	1,48

Dai calcoli eseguiti, si evince che il pendio esaminato, nelle tre sezioni, allo stato attuale risulta stabile, presentando fattori di sicurezza minimi superiori a 1; considerando lo stesso alla luce degli interventi previsti in progetto, si ottiene un aumento dei fattori di sicurezza minimi, confermando la bontà degli interventi previsti e la stabilità globale del pendio *post operam*.

## 5. Verifica a liquefazione

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i depositi sabbiosi saturi e dipendono dalle proprietà geotecniche dei terreni; dalle caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata; dalla genesi e storia geologica dei terreni e da fattori ambientali.

Tale fenomeno come definito dalle NTC 17 Gennaio 2018 e Circolare Ministeriale N°7 del 21.01.2019 può essere omesso quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. gli eventi sismici siano di magnitudo  $M < 5$ ;
2. le accelerazioni massime attese al piano campagna siano minori di 0,1g;
3. il livello della falda sia collocato oltre i 15 metri da piano campagna;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc1N > 180$  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  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. l'assortimento granulometrico dei materiali interessati ricada all'esterno del fuso granulometrico che caratterizza il campo della liquefazione.

Considerato che, dalle indagini eseguite, si è osservato come i terreni affioranti e sondati non possono andar soggetti a fenomeno di liquefazione per motivi inerenti le loro caratteristiche granulometriche.

Infatti lungo tutto il tratto verificato si osserva una presenza notevole di materiale eterogeneo caratterizzato dalla presenza di Ghiaia con Sabbia con Limo debolmente Argillosa moderatamente addensata di colore grigio. che ricadono all'esterno del fuso granulometrico come dimostrato dall'analisi effettuata su un campione rappresentativo prelevato a -1,7m dal piano campagna ed analizzato dal laboratorio IPG snc con sede in Castrolibero (CS) allegato alla presente relazione. Tale condizione esclude quindi possibili rischi di liquefazione omettendo la circostanza N° 5 definita dalle Norme.

## 6. Modello Geotecnico

Strato N°	Profondità (m)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Angolo d'attrito (°)	Coesione kPa	Contenuto d'acqua %	Modulo Edometrico Kg/cm²	Modulo Elastico Kg/cm²
1	3	2,09	2,62	36,26	5,136	7,76	58,54	1900
2	10	2,12	2,80	38	5,14	-	66,24	2200

## Conclusioni

Dall'analisi di superficie effettuata, dalla fotointerpretazione, dalla consultazione della cartografia di base, dai sopralluoghi diretti in campo e dalle indagini in situ, sono stati delineati gli elementi geologici, stratigrafici, morfologici di massima dell'area in esame. In particolare risulta che:

- Da un'osservazione fatta lungo tutta l'area si osserva come questi siano affiorano i sedimenti riferibili alla successione di depositi fluviali Olocenici che vengono raggruppati sotto la denominazione di Complesso Postorogeno (Ogniben, 1973): questi sono rappresentati da Ghiaia con Sabbia con Limo debolmente Argillosa moderatamente addensata di colore grigio.
- Dal punto di vista geomorfologico l'area di intervento è distribuita lungo l'ultimo tratto del vallone Cordari. L'evoluzione geomorfologica dell'area di studio è legata principalmente all'interferenza fra il Vallone Cordari, corso d'acqua a carattere torrentizio e le conseguenti variazioni di portata del fiume stesso. Il bacino lungo il quale si sviluppa il torrente presenta un'area di 4 068 414 m<sup>2</sup>, un perimetro di 11097 m, una pendenza media di 39,16 %, una quota media di 491,76 m, una lunghezza dell'asta principale di 4813 m ed un indice Horton pari a 3. Nello specifico il tratto valutato nel presente studio, oggetto di messa in sicurezza è l'ultimo. Questo si sviluppa lungo un'asta del torrente di indice Horton 3 a quota variabili tra 60 m s.l.m. e la foce stessa del fiume, lo stesso sfocia nel Mar Tirreno e si sviluppa morfologicamente lungo il litorale..
- La superficie topografica appare segnata da una serie di forme per lo più parallele alla sponda fluviale, costituite da elementi morfologici che conferiscono al territorio un andamento irregolare, a morfologie lievemente depresse e rilevate, con orli di terrazzo morfologico da attribuirsi alle relitte incisioni fluviali del Torrente, di orli di scarpata fluviale delimitanti l'attuale corso del fiume, distinti in funzione dello stato di attività (stabile o in erosione) e dalla presenza di difese spondali a stabilizzazione degli stessi di natura antropica. Infatti si osserva la presenza sia sulla sponda, destra orografica, che sinistra la presenza di muri atti a contenere l'afflusso idrico. L'intervento che si dovrà attuare sarà il miglioramento della sponda situata a Nord, con la costruzione di un muro in c.a. fondato su pali che aumenterà la protezione della sponda stessa ed una strada carrabile che si sviluppa lungo la percorrenza del tratto di fiume stesso.
- Dall'analisi delle foto aeree e dal rilevamento geomorfologico di campagna effettuato in accordo con quanto rilevato dall'A.B.R. nell'ambito del P.A.I. (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico), si è evinto che la parte più alta dell'area di studio ricade all'interno di una Zona Franosa Quiescente (LGB3) di cui all'art. 17 e successivi delle norme tecniche d'attuazione e misure di salvaguardia entrate in vigore il 28/03/2002 e successive modifiche (All. 2). Questa secondo le Norme emanate dal PAI rientra in parte nella zona a Rischio R2 ed in parte nella Zona a Rischio R3 associata alla frana stessa (All.2). Per queste zone, in ottemperanza alle direttive previste dalle Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia del PAI, TITOLO II NORME SPECIFICHE Parte I Assetto geomorfologico valgono le prescrizioni descritte negli articoli 17, 18 e 16.
- Per quanto riguarda il Rischio Idraulico il PAI riporta una "Linea di attenzione" (identificata nell'allegato 2 da una linea rossa continua) e due punti di Attenzione, che rappresentano due ponti sui quali si sviluppa una strada Provinciale. Per questa Zona, in ottemperanza alle direttive previste dalle Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia del PAI, è stata calcolata la fascia di rispetto e di salvaguardia, a cavallo dell'asta fluviale, da considerarsi come aree a rischio R4. (Allegato 4). Per queste zone, in ottemperanza alle direttive previste dalle Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia del PAI, TITOLO II NORME SPECIFICHE Parte II Assetto idraulico valgono le prescrizioni descritte nell'Art. 21. Inoltre la stessa Linea di attenzione, gli stessi punti di attenzione e l'individuazione di una potenziale Area di Attenzione sono stati adottati nell'ambito del Piano di Gestione delle

Alluvioni dall' Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, con Decreto del Segretario Generale n. 540 del 13.10.2020, avente oggetto: *Adozione Misure di Salvaguardia relative alle aree soggette a modifica di perimetrazione e/o classificazione della pericolosità e rischio dei Piani di assetto Idrogeologico configurate nei progetti di varianti di aggiornamento dei PAI alle nuove mappe del PGRA da approvarsi ai sensi dell' art.68 comma 4-ter del D.Lgs n. 152 del 03.04.2006, integrato all' art. 54 della Legge 120 dell' 11.09.2020 "Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale".* Dalla consultazione delle mappe si osserva come ad oggi non sia stato calcolato il livello di Rischio Associato all'area (All.3).

- I risultati dell'indagine sismica effettuata hanno integrato ed ampliato le conoscenze esistenti, individuando una successione stratigrafica classificabile come di categoria "B", presentando un valore di VS30 pari a **472,88** m/s.
- Le stratigrafie e tutti i dati qualitativi e quantitativi dei tipi litologici presenti nel sottosuolo sono stati ricostruiti tramite prove geofisiche indirette di tipo M.A.S.W.e Sismiche a Rifrazione, prove geognostiche dirette con un carotaggio spinto fino alla profondità di 10 m e prove penetrometriche tipo DPM.
- Considerate le pendenze che caratterizzano l'area interessata e la tipologia costruttiva progettuale di intervento, si è ritenuto opportuno eseguire una verifica di stabilità del pendio, lungo tre sezioni rappresentative fornite dal progettista, prendendo in considerazione le stesse prima e dopo l'intervento previsto. Dai calcoli eseguiti, si evince che il pendio esaminato, nelle tre sezioni, allo stato attuale risulta stabile, presentando fattori di sicurezza minimi superiori a 1; considerando lo stesso alla luce degli interventi previsti in progetto, si ottiene un aumento dei fattori di sicurezza minimi, confermando la bontà degli interventi previsti e la stabilità globale del pendio post operam.
- Dalle analisi di laboratorio eseguite, si può escludere il fenomeno della liquefazione, in quanto, lungo tutto il tratto sondato, si osserva una presenza notevole di materiale eterogeneo caratterizzato dalla presenza di Ghiaia con Sabbia con Limo debolmente Argillosa moderatamente addensata di colore grigio che ricadono all'esterno del fuso granulometrico come dimostrato dall' analisi effettuata su un campione rappresentativo prelevato a -1,7m dal piano campagna ed analizzato dal laboratorio IPG snc con sede in Castrolibero (CS) allegato alla presente relazione. Tale condizione esclude quindi possibili rischi di liquefazione omettendo la circostanza N° 5 definita dalle Norme.

Alla luce di quanto finora argomentato, si ritiene indispensabile l'effettuarsi di tutte le operazioni necessarie al fine di mettere in sicurezza tutta la sponda idrografica del Torrente Cordari esaminato nelle presente relazione. In particolare, per migliorare la sezione idraulica lungo la sponda a Nord del Torrente si realizzerà un muro in c.a. fondato su pali il quale sarà dimensionato ed adeguato ai terreni sondati. A tale punto si dovranno definire le adeguate scelte ingegneristiche accompagnate dalle opportune metodologie operative e logistiche, per la fase esecutiva dell'intervento. Si dovrà, inoltre, rifare tutto il manto stradale interessato dai lavori con pendenze inverse alla percorrenza del Torrente in modo da far defluire tutte le acque lungo la cunetta della Strada Provinciale che costeggia il tratto di Torrente studiato.

Riguardo agli aspetti tecnici dell'intervento è necessario che siano dimensionati e verificati nel rispetto dei dati e dei risultati geotecnici scaturiti dalle indagini eseguite allo scopo, dalle indicazioni e prescrizioni espresse nei paragrafi precedenti e da tutti gli elaborati forniti.

Si consiglia altresì, per migliorare la capacità di smaltimento della portata di massima piena del torrente nel tempo, oltre che dal ripristino di sezioni di alveo idonee, che attualmente in alcuni tratti sembrerebbe ostruita dalla presenza di vegetazione infestante, tronchi e detriti vegetali trasportati dalla corrente, di opportune opere di manutenzione e ripulitura del tratto fluviale interessato dallo studio.

Pertanto nel rispetto delle indicazioni descritte ed analizzate nella presente relazione, si ritiene di esprimere un parere positivo in relazione alle opere previste.

Il Geologo  
Dott. Michelangelo ZAPPA