Studio Tecnico TR3
Ing. Civile e Ambientale iunior Fabio Ravera
Corso G. Garibaldi, 189 - 18038 Sanremo
Tel 0184 996615 - Cell 333 1692217
E-mail: fabioravera@studiotecnicotre.it
PEC: fabio.ravera@ingpec.eu

# COMUNE DI IMPERIA

## PROVINCIA DI IMPERIA

## VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' ALLA VIA (SCREENING)

## REALIZZAZIONE DI UN TRATTO DI ARGINATURA LUNGO IL TORRENTE PRINO

Numero tavola

V14

Titolo elaborato

Relazione geologica

Tecnici

Dott. Geol. Andrea Guardiani

ANDREA
GUARDIANI
03.12.2025
16:04:53
GMT+01:00

Committente

Centro Petroli Impianti S.r.l.

Spazio per annotazioni ente

| CODICE FILE | CODICE ELAB. | REVISIONE | SCALA: |
|---|---|---|---|
| COPERTINA.DWG | VACPGEO14OR | X | X |

| REV. | DESCRIZIONE | DATA |
|---|---|---|
| | Emissione | Dicembre 2025 |
| 1 | | |
| 2 | | |

# COMUNE DI IMPERIA

*Provincia di Imperia*

# RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA PER LA *"REALIZZAZIONE DI UN TRATTO DI ARGINATURA LUNGO IL TORRENTE PRINO" - VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' ALLA VIA (SCREENING)"* -

## RELAZIONE GEOLOGICA MODELLAZIONE SISMICA

| | |
|---|---|
| **Data:** | **Novembre 2025** |
| **Rif. n.:** | **608 - 2016**<br>**964 - 2023**<br>**1101 - 2025** |
| **TImbro** | |

committente:

Soc. **CENTRO PETROLI IMPIANTI S.r.l.**
Via Periane, n. 21
18018 - Taggia (IM)

c/o **Ing. Civile Ambientale iunior Fabio Ravera**
C.so Garibaldi, n.189
18038 - Sanremo (IM)

a cura di:




a cura di:



# INDICE

1 - PREMESSA....2
2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE....5
2.1 Geografia
2.2 P.T.C.P.
2.3 P.R.G.
3 - INDAGINE GEOGNOSTICA....7
3.1 Prove penetrometriche medio-leggere (anno 2016)
3.2 Sondaggio a carotaggio continuo S8
3.3 Trincee (2023)
4 - INDAGINE GEOFISICA....11
4.1 Sismica a Rifrazione - Attrezzatura utilizzata
4.1.1 Interpretazione dei risultati
4.1.2 Rappresentazione dei dati sismici
4.1.3 Interpretazione dei dati
4.2 Sismica passiva - Verifica delle caratteristiche litologiche
5 - GEOLOGIA....35
5.1 Domini paleogeografici e gruppi di Unità tettoniche
5.2 Formazioni geologiche
6 - GEOMORFOLOGIA....38
6.1 Geomorfologia
7 - PIANO DI BACINO E VINCOLI ....39
7.1 Piano di Bacino
7.2 Vincoli
8 - MODELLAZIONE SISMICA E CONSIDERAZIONI GEO-TECNICHE....41
8.1 Formazioni geologiche
8.1.1 Considerazioni geomeccaniche (correlazioni tra parametri geofisici e geotecnici)
8.2.1 Sismicità storica
8.2.2 Pericolosità sismica di base
8.2.3 Sismicità
8.2.4 Considerazioni sulla liquefazione dei terreni
8.3.1 Stabilità di pendio
9 - CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI....51

# 1 - PREMESSA

I tecnici scriventi, ovvero il geol. Andrea GUARDIANI con studio in Piazza San Benedetto Revelli n.8 a Taggia, ed il geol. Paolo ANFOSSI con studio in Via Lungo Argentina Gen. D.Fornara sempre a Taggia, entrambi regolarmente iscritti all'Ordine Regionale dei Geologi della Liguria (rispettivamente al **n.460** e **n.613** dell'**O.R.G.L.**), a seguito dell'incarico ricevuto dalla committenza, la **Soc. Centro Petroli Impianti S.r.l.** di Via Periane a Taggia, e sentito il tecnico **ing. Iunior Civile e Ambientale Fabio RAVERA**, con studio in C.so Garibaldi a Sanremo, in merito alla **"Realizzazione di un tratto di arginatura lungo il Torrente Prino"**, hanno provveduto ad eseguire nuove indagini geofisiche (*sismica passiva – hvsr*), ed a reperire le precedenti prospezioni svolte per la medesima committenza ed inerenti al progetto di *"Realizzazione di un distributore di carburanti in Via M. Caprile ad Imperia"* attiguo all'argine in esame. Le indagini pregresse sono riferibili alle relazioni **608-2016** e **964-2023**, sempre degli scriventi.

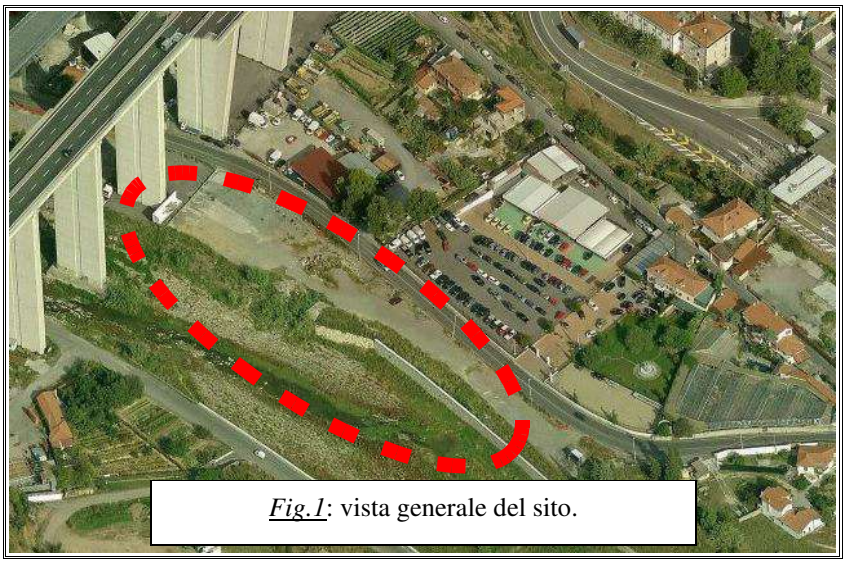


*Fig.1*: vista generale del sito.

Si è provveduto, quindi, alla raccolta di significativi dati storico-bibliografici, compresa la Carta Geologica scala 1:100.000 (Foglio **102** Sanremo); la Carta geologica con elementi di geomorfologia scala 1:25000 (Tavoletta n° 258.2 *"Taggia"*) della Regione Liguria; la Carta Geologica del Progetto CARG (**Legge 226/99**) scala 1:25.000 (Foglio **258.2**); ed il Piano di Bacino denominato *"Torrenti Prino Caramagna Inferno"* (Ambito di bacino n.5/ Prino) approvato dagli organi della Provincia con D.C.P. n.17 in data 05.02.2003, con adeguamento di cui alla D.G.P. n. 1156 del 12.12.2016, ed alla pubblicazione sul **BURL n.2** dell' 11.01.2017 (e ss.mm.ii.).

A tal proposito si ricorda che, ai sensi dell'art.2 c.1 della **Delibera della C.I.P. dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale n.40/2024**, a far data dall'08.04.2024, trovano applicazione le mappe di cui all'art. 6 della disciplina di Piano del PAI distrettuale che, dalla medesima data, sostituiscono quelle dei PAI vigenti, **in particolare le mappe di cui all'art. 6 c.1 della disciplina del PAI dissesti costituiscono il riferimento cartografico unico in materia di pericolosità da dissesti di natura geomorfologica**.

Si precisa che l'indagine geologica è stata svolta ai sensi del **D.M. 17.01.2018** (Aggiornamento delle *"Norme tecniche per le costruzioni"*). Queste rappresentano il testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni di cui alla Legge 5.11.1971 (n.1086), alla Legge 2.02.1974 (n.64), al Decreto del Presidente della Repubblica 6.06.2001 (n.380), ed al Decreto 28.05.2004 (n.136), convertito con modificazioni dalla Legge 27.07.2004 (n.186). Infine le **NTC 2018** sono le Norme che sostituiscono le precedenti NTC 2008, approvate con D.M. 14.01.2008, e definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni; esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Inoltre, il sito ricade all'**esterno** delle aree sottoposte al **R.D. 3267** del 30.12.1923 "*Riordinamento e riforma della Legislazione in materia di boschi e di terreni montani"* ovvero del cosiddetto *Vincolo Idrogeologico (vd anche **L.R. 4** del **22.01.1999 -** "Norme in materia di foreste e di assetto idrogeologico"; ed il Collegato ambientale alla legge di Stabilità 2016 **L.221/2015**).*

L'intervento in progetto prevede, complessivamente, la realizzazione di una nuova arginatura tramite la creazione di una scogliera in massi di III categoria cementati. Per un maggior dettaglio descrittivo di tale intervento si rimanda, comunque, alle tavole ed alla relazione tecnica di dettaglio del progettista succitato.

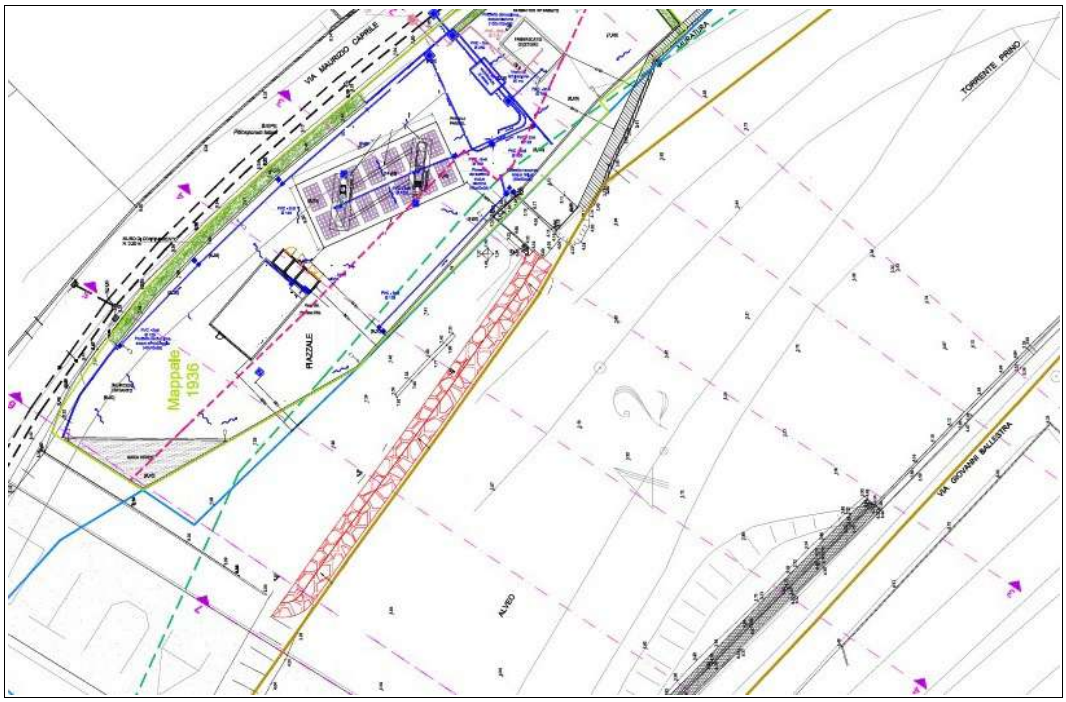



*Fig. 2:* Planimetria nuovo argine (in rosso).



*Fig. 3:* Prova sismica passiva S_p (8) – anno 2025 (vd Tav.4).

# 2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE

*2.1 Geografia*

L'area in oggetto è l'argine posto tra il letto di scorrimento del Torrente Prino (in sinistra idrografica) e Via M. Caprile ad Imperia; il territorio di interesse appare quindi sub-pianeggiante e facilmente accessibile con la viabilità esistente. Le quote altimetriche si aggirano intorno agli 0 – 15 m. circa s.l.m., mentre le coordinate di riferimento della zona dell'argine risultano:

| | | |
|---|---|---|
| **Coordinate WGS84** | Lat. 43,874167 | Long. 7,994191 |
| **Coordinate ED50** | Lat. 43,875151 | Long. 7,995248 |

Il sito è individuabile nella cartografia esistente, tra le altre, in:

| | |
|---|---|
| - Foglio V - Sez. Porto Maurizio - Catasto Com. Imperia | |
| - C.T.R. 258121 e C.T.R. 258122 | Scala 1: 5.000; |
| - C.T.R. 258120 | Scala 1: 10.000; |
| - Cartografia del Piano di Bacino | Scala 1: 10.000; |
| - Carta Geologica con elem. di geomorfologia | Scala 1: 25.000; |
| - Carta Geologica Progetto CARG - Tav. 258.2 | Scala 1: 25.000; |
| - Foglio 102 Carta Geologica d'Italia (Foglio San Remo) | Scala 1: 100.000. |

*2.2 P.T.C.P.*

Il Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico inserisce tale area in:

| | | |
|---|---|---|
| - Assetto Insediativo: | **ID-MO-A / AE** | Insed. diff. - Modif. A |
| - Assetto Vegetazionale: | **COL-ISS** | Colture – Insed. sparsi serre |
| - Assetto Geomorfologico: | **MO-B** | Modificabilità di tipo B |

Per quanto riguarda l'assetto geomorfologico *"l'indirizzo generale di Modificabilità si applica nelle situazioni in cui l'ambiente, in assenza di valori emergenti, presenta una modesta vulnerabilità sotto il profilo geomorfologico, talché non si manifesta l'esigenza di specifiche azioni di tutela dell'attuale configurazione, ferme restando le normali cautele relative alla corretta gestione del territorio."*

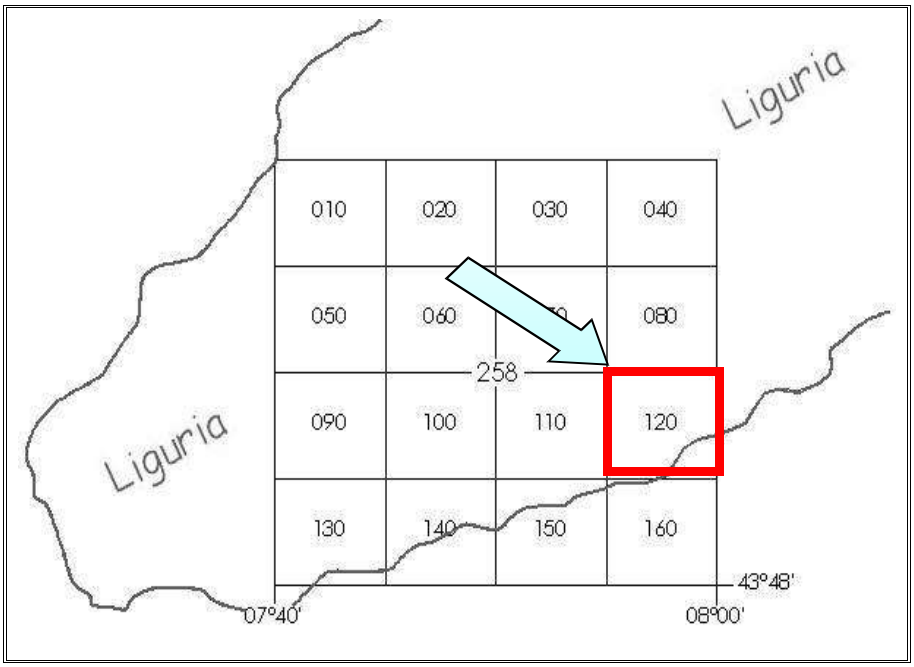



*Fig. 4:* Quadro delle C.T.R. della Regione Liguria con coordinate di riferimento.

*2.3 P.R.G.*

Il Piano regolatore generale inserisce la zona di interesse in area **FVS** (*zona destinata ad attrezzature sportive – art.61*).

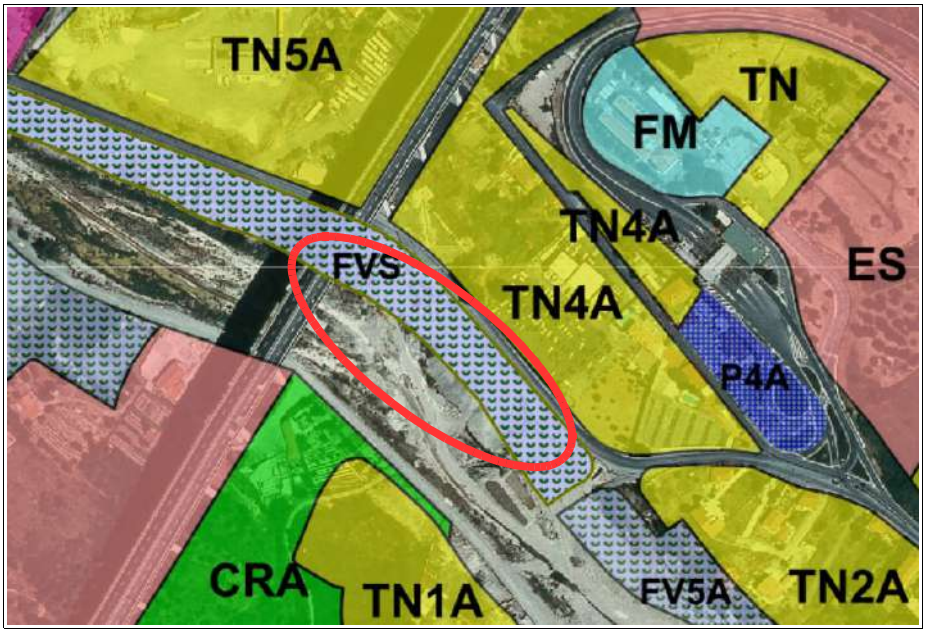



*Fig. 5:* Stralcio del P.R.G..

# 3 - INDAGINE GEOGNOSTICA

*3.1 Prove penetrometriche medio-leggere (anno 2016)*

La campagna di indagine geognostica dell'anno 2016 (vd Tav. 4) era stata realizzata tramite il tentativo di esecuzione di 2 prove penetrometriche medio-leggere, eseguite nel terreno di interesse per il nuovo distributore, anche a controllo di quanto riscontrato nelle prove geofisiche. Lo strumento utilizzato era un penetrometro **PENNI 30** della Ditta Compac Srl e le caratteristiche tecniche-strumentali sono:

| | |
|---|---|
| Rif. Norme | DIN 4094 |
| Peso Massa battente | 30 Kg |
| Altezza di caduta libera | 0.20 m |
| Peso sistema di battuta | 12 Kg |
| Diametro punta conica | 35.68 mm |
| Area di base punta | 10 cm² |
| Lunghezza delle aste | 1 m |
| Peso aste a metro | 2.4 Kg/m |
| Profondità giunzione prima asta | 0.90 m |
| Avanzamento punta | 0.10 m |
| Numero colpi per punta | N(10) |
| Coeff. Correlazione | 0.765 |
| Rivestimento/fanghi | No |
| Angolo di apertura punta | 60 ° |

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi di 10 cm) misurando il numero di colpi N necessari, e sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo ed il primo sottosuolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati ed un'eventuale correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette, inoltre, di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Le prove eseguite hanno evidenziato la presenza di un livello superficiale antropico compatto, difficilmente superabile, nel dettaglio:

| Numero Prova | Profondità raggiunta | Coordinate WGS84 (°) | Motivazione arresto prova |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,20 m | 43.874076 / 7.994289 | **Rifiuto** |
| 2 | 0,20 m | 43.874187 / 7.994466 | **Rifiuto** |

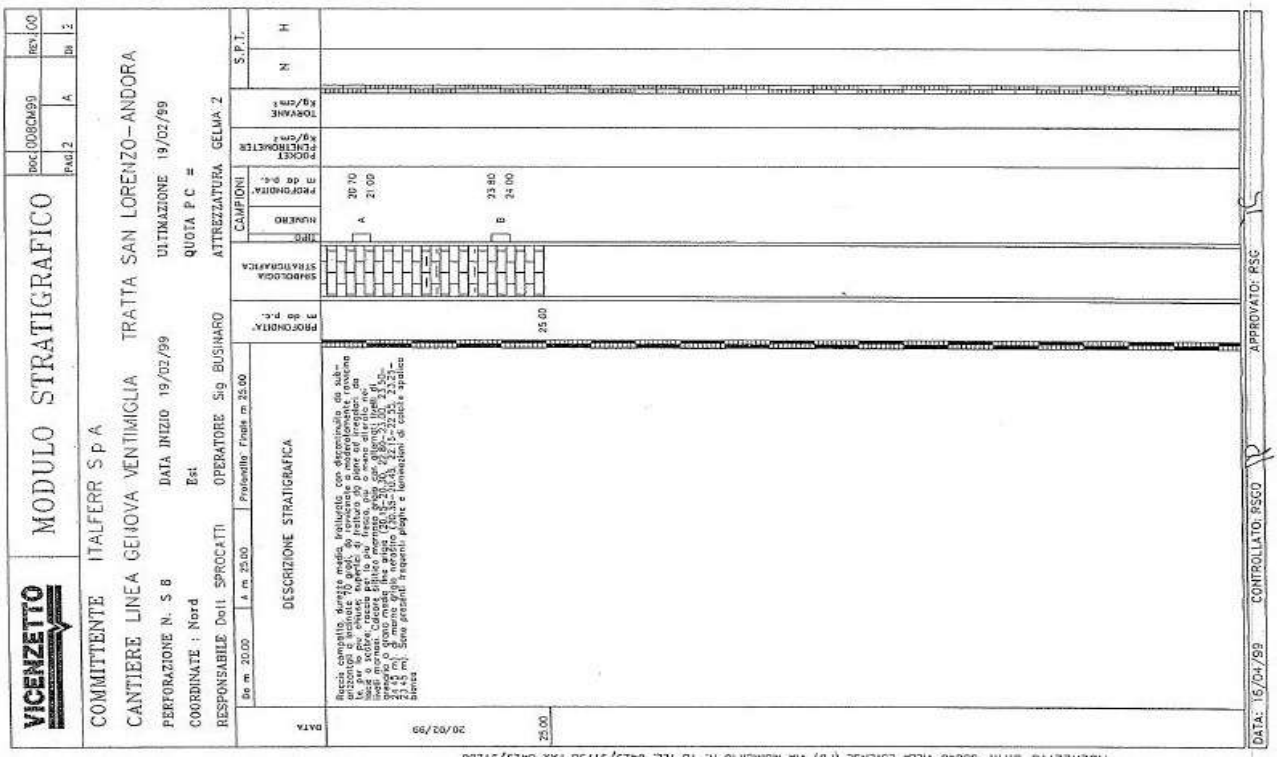
*3.2 Sondaggio a carotaggio continuo S8*

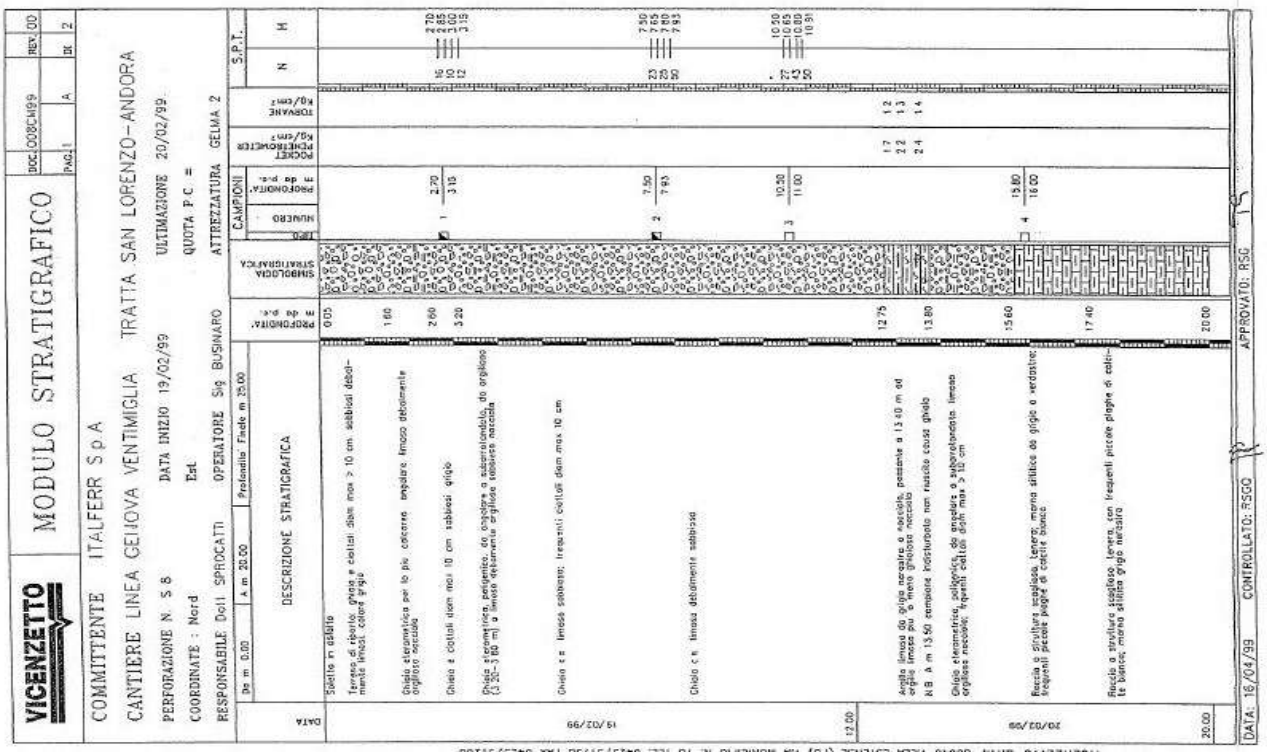
In funzione della scarsa profondità raggiunta dalle prove penetrometriche medio-leggere e dalla necessità di indagare il sottosuolo e, altresì, tarare le prove geofisiche eseguite, si erano ricercate delle prove già svolte. In particolare sul sito www.ambienteinliguria.it della Regione Liguria sono disponibili e consultabili le stratigrafie realizzate in occasione degli studi a supporto della progettazione per la nuova linea ferroviaria Genova-XXmiglia (ferrovia a monte).

La prova era consistita in un sondaggio a carotaggio continuo ad opera della "VICENZETTO Srl", codice sondaggio 0000001497, spinta sino a -25 metri dal piano campagna. L'analisi stratigrafica di tale indagine ben si raccorda con le risultanze della sismica passiva da noi eseguita.

| Codice sondaggio | Profondità raggiunta | Coordinate | Motivazione arresto prova |
|---|---|---|---|
| 1497 | 25 m | 1419176 / 4858488 | /// |







Geol. Andrea Guardiani - Geol. Paolo Anfossi
Taggia (IM) – e-mail: a.guardiani@tiscali.it / anfossipaolo@libero.it

Inoltre la presenza sempre nel sondaggio di diverse prove **SPT** (Standard penetration test), oltre a quelle con **pocket penetrometer** e **torvane** per i livelli più fini, ci ha consentito una preliminare valutazione delle caratteristiche geomeccaniche dei depositi alluvionali presenti in questo territorio.

In particolare la prova SPT più superficiale all'analisi di interpretazione con un software dedicato (*Dynamic Probing della Geostru*) mostra i seguenti valori (sempre da valutare attentamente ad opera del progettista):

Sintesi parametri geotecnici PROVA ... Nr.1

| Strato | Prof. Strato (m) | Nspt | Tipo | Gamma (KN/m³) | Gamma Saturo (KN/m³) | Fi (°) | Cu (KPa) | Modulo Edometrico (Mpa) | Modulo Elastico (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.2 | 22.0 | Incoerente | 19.91 | 23.93 | 33.60 | 0 | 7.12 | 33.83 |

Infine la strumentazione a piezometro installata in foro aveva consentito di misurare i livelli di falda che all'epoca risultavano sempre superiori ai 4,8 metri ca. (soggiacenza).

*3.3 Trincee (2023)*

Nel corso del 2023, a seguito delle richieste di integrazione pervenute per il progetto del nuovo distributore, e per verificare, quindi, la possibilità di liquefazione dei suoli, sono state escavate tramite mezzo meccanico cingolato quattro trincee di indagine, nel dettaglio le prime due a livello del terrapieno e le ultime due direttamente nel greto del Torrente Prino.

Le risultanze delle indagini sono:

| Info | Trincea 1 | Trincea 2 | Trincea 3 | Trincea 4 |
|---|---|---|---|---|
| **Profondità** | 2,6 m. | 1,8 m. | 2,1 m. | 2,1 m. |
| **Descrizione materiale** | Terreno color nocciola scuro sabbioso-ghiaioso con limo. | Terreno ghiaioso e debolmente sabbioso (è stato rinvenuto un livello con cemento a circa -0,7 m. da pc). | Alluvioni ghiaiose con sabbia. | Alluvioni ghiaiose con sabbia. |

# 4 - INDAGINE GEOFISICA

In considerazione della necessità di indagare il sottosuolo per il progetto del distributore, come detto sopra, e per una maggior conoscenza dei luoghi si era ritenuto opportuno effettuare anche un'indagine geofisica di tipo sismico, sia per la determinazione della stratigrafia tramite le onde p, sia per la ricerca del parametro $V_S$ come da normativa di riferimento. Questa indagine era consistita nella realizzazione di una base sismica a rifrazione nel terreno di interesse; più nel dettaglio la base sismica era stata attrezzata mediante geofoni da 14 Hz, con distanza intergeofonica di 3,0 metri ed aveva permesso, tramite l'interpretazione dei tempi di propagazione delle onde sismiche, la definizione delle caratteristiche dei litotipi presenti nel primo sottosuolo.

Le indagini geofisiche (sismiche) si occupano dell'esplorazione del sottosuolo attraverso l'analisi della propagazione di onde elastiche generate in superficie o all'interno di perfori. Le onde sismiche si generano dal moto vibratorio delle particelle di un corpo, che si innesca a causa della sollecitazione indotta da uno sforzo di tipo impulsivo.

## *4.1 Sismica a Rifrazione - Attrezzatura utilizzata*

L'attrezzatura utilizzata in campagna, con la collaborazione del **Geol. Fabio LANTERI** di Imperia, era costituita da un sismografo a 12 canali, cavo di collegamento tra i sensori ed il sismografo, 12 geofoni (verticali) da 14 Hz per la registrazione delle onde P, mazza per l'energizzazione. Il sismografo ha possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno verticale del segnale (in ampiezza) con sensibilità tra 1 e 100 decibel. La registrazione dei dati in digitale viene effettuata direttamente sullo strumento (denominato **PASI 12S 12L**).

### *4.1.1 Interpretazione dei risultati*

E' necessario sottolineare che le interpretazioni delle indagini geofisiche vengono eseguite nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano-parallele. Nell'area indagata le condizioni sopra riportate non sono sempre rispettate, pertanto l'interpretazione, sia delle profondità, che delle velocità, veniva effettuata con un margine di incertezza che si assomma all'errore insito proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15 %.

*4.1.2 Rappresentazione dei dati sismici*

Dai segnali sismici ottenuti in campagna venivano estrapolati i dati di tempo e velocità che l'onda, creata dalla fonte energizzante, impiega a raggiungere ogni singolo geofono. I valori così ottenuti sono stati inseriti in un apposito programma (software *Dolfrang*) ed elaborati ottenendo in questo modo sia le velocità delle singole formazioni attraversate, che gli spessori dei livelli.

*4.1.3 Interpretazione dei dati*

I dati ottenuti dall'analisi delle velocità di propagazione delle onde sismiche (onde p) e delle "distanze critiche" avevano consentito di definire che, nel primissimo sottosuolo, sono presenti almeno due orizzonti che suddividono le Unità riscontrate, ovvero:

*Unità superficiale - antropico:* Rappresenta l'orizzonte superficiale del terreno (riferibile ai riporti e sistemazioni antropiche) ed era stato intercettato, nel sedime della prova, sino ad una profondità massima di poco superiore ai – 2,3 metri circa. Tutte le quote sono riferite al p.c. del momento in cui si sono svolte le misure.

*Unità sottostante:* Quest'unità, l'ultima raggiunta in questo contesto e tipologia di prova di studio delle onde p, era caratterizzata da velocità delle onde sismiche più elevate della precedente, e dell'ordine di circa 350 m/sec., almeno per il suo orizzonte superiore E' associabile, presumibilmente, ai depositi alluvionali e possibili sistemazioni antropiche superficiali.

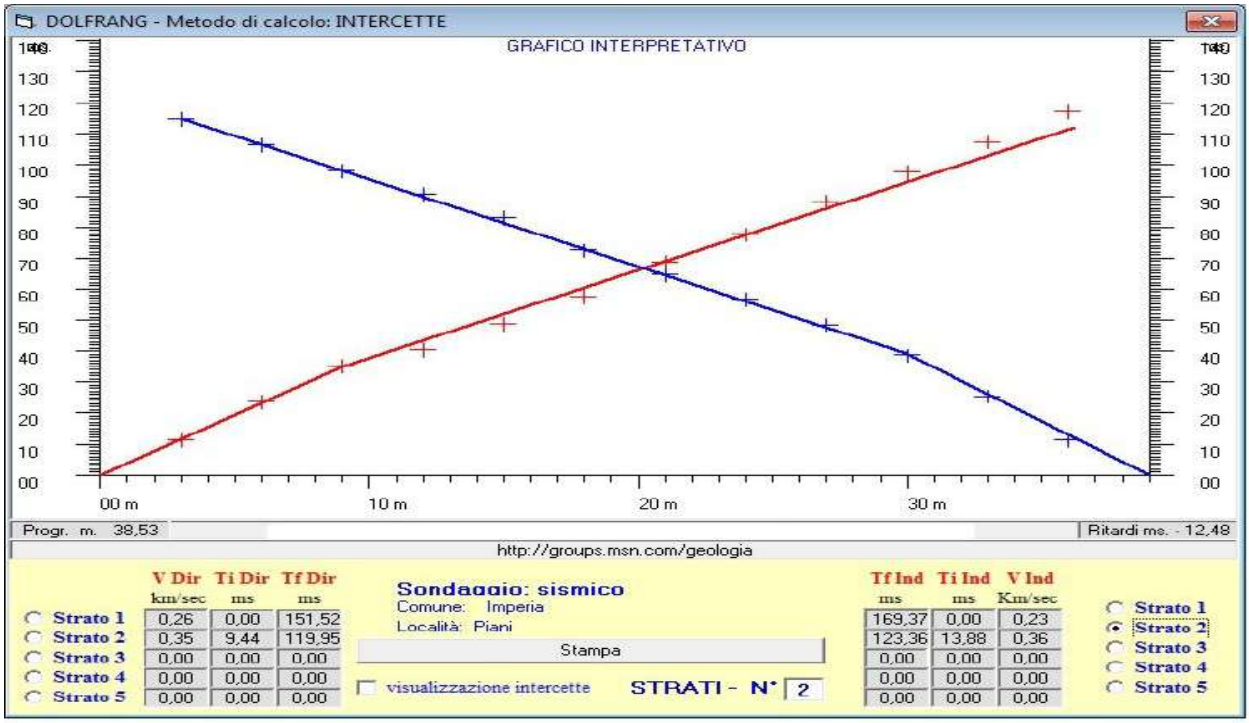



*Fig. 9:* Dromocrone Linea Sismica.

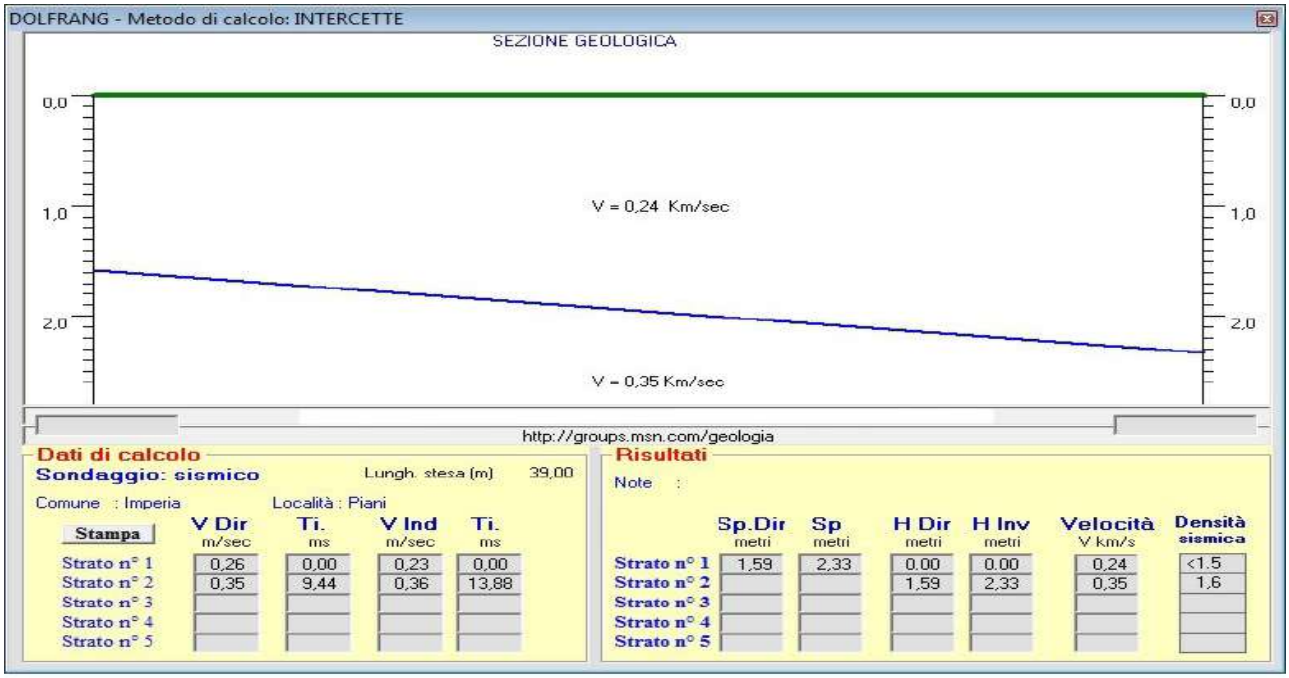



*Fig. 10:* Sezione geologica interpretativa e schematica.

*4.2 Sismica passiva - Verifica delle caratteristiche litologiche*

In base ai sopralluoghi effettuati, ed in funzione delle risultanze delle altre indagini svolte, si è deciso di realizzare anche delle prove geofisiche in tipologia "sismica passiva". L'indagine geofisica effettuata per estrapolare le Vs (velocità delle onde di taglio) era avvenuta mediante l'utilizzo sia dello strumento *"Tromino zero"* della ditta *"Micromed Srl"*, sia dello strumento *"Theremino"* con software di acquisizione *"Theremino Dolfrang"*. Nel corso delle indagini degli anni 2023 e 2025, invece, è stato utilizzato solamente lo strumento *"Tromino"*.

Gli scriventi hanno, quindi, eseguito un'indagine geofisica finalizzata all'estensione in profondità dello studio, alla determinazione del parametro $V_{S(eq)}$ ed alla verifica della congruità litologica complessiva. Le caratteristiche tecniche degli strumenti sono riportate sotto.

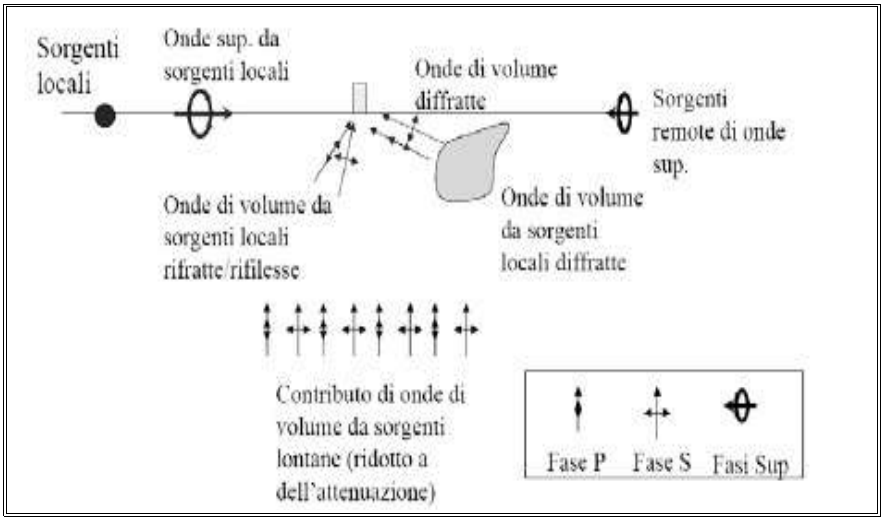
*A) Tabella caratteristiche strumento (TROMINO):*

| | |
|---|---|
| **Numero di canali** | 3+1 analogici |
| **Amplificatori** | tutti canali con input differenziali |
| **Rumore** | < 0.5 µV r.m.s. @128 Hz sampling |
| **Impedenza dell'input** | $10^6$ Ohm |
| **Range di frequenze** | DC - 360 Hz |
| **Frequenza di campionamento** | 16384 Hz per canale |
| **Frequenze di sovracampionamento** | 32x, 64x, 128x |
| **Conversione A/D** | equivalente a 24 bit |
| **Massimo input analogico** | 51.2 mV (781 nV/digit) |
| **Registrazione dati** | memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb |
| **Accoppiamento col terreno** | su punte e cuscinetto reologico |
| **Condizioni operative** | temperatura - 10 / +70°C<br>umidità 0-90% senza condensa |
| **Sensori** | 3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione<br>autobloccaggio quando non in acquisizione |

*B) Tabella caratteristiche strumento (THEREMINO):*

| |
|---|
| **Theremino Master DIL** (modulo theremino master con microcontrollore in package DIL e 6 I/O |
| Geofoni (3) da **4,5 Hz** (1 verticale e 2 orizzontali) |
| **Theremino geoPreamp** (3) di collegamento |

Tali strumenti consentono di effettuare misurazioni sismiche con tecnica passiva. L'indagine geofisica proposta si avvale della tecnica di Nakamura e del rapporto spettrale H/V; ovvero si misura il microtremore sismico ambientale (rumore sismico).




Il rumore convenzionalmente viene suddiviso in microsisma (freq. < 1 Hz) e microtremore (freq. > 1 Hz) ed è costituito sia da onde di volume, sia da onde superficiali in proporzioni variabili; in particolare il microsisma è costituito soprattutto da onde di Rayleigh, mentre il microtremore oltre alle onde di volume contiene anche onde di Love e onde di Rayleigh in proporzioni variabili.

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizzontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque; in particolare si sfruttano i microtremori sismici sempre presenti in natura e la cui fonte o sorgente può essere sia di origine antropica-umana (attività agricola o industriale, traffico, ecc.), che di origine naturale (vento, masse d'aria, moto ondoso, ecc.).

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- *la frequenza caratteristica di risonanza del sito*, ovvero un fondamentale parametro per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale soprattutto per scongiurare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericoloso per la stabilità degli edifici e delle strutture;
- *la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio*, che viene misurata all'interno della struttura e comparata con la frequenza caratteristica del sito;
- *la velocità media delle onde di taglio $V_S$*, calcolata tramite opportune correlazioni e codici di calcolo. Utile per la categoria di suolo di fondazione come richiesto dalle **NTC '18**;

- *la stratigrafia del sottosuolo*, con un intervallo (range) di investigazione compreso tra il primissimo sottosuolo ed i 700 metri circa di profondità, anche se il dettaglio più affidabile si ha nei primi 100 metri circa. Il principio su cui si basa tale tecnica è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto di impedenza (I)**, ovvero per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo attraversato.

Nello specifico è stata utilizzata tale tecnica per verificare la stratigrafia del sottosuolo. Dal diagramma H/V è stato possibile osservare come la ***frequenza caratteristica di risonanza del sito*** sia registrata in corrispondenza di alcuni picchi di frequenza dai valori medio-bassi, indice di una certa profondità del rifrattore sismico principale (bedrock).

Solitamente l'attribuzione di un valore di spessore viene fornito mediante l'utilizzo dell'equazione della frequenza fondamentale di risonanza, come di seguito rappresentata:

$$f = \frac{V_S}{4 * H}$$

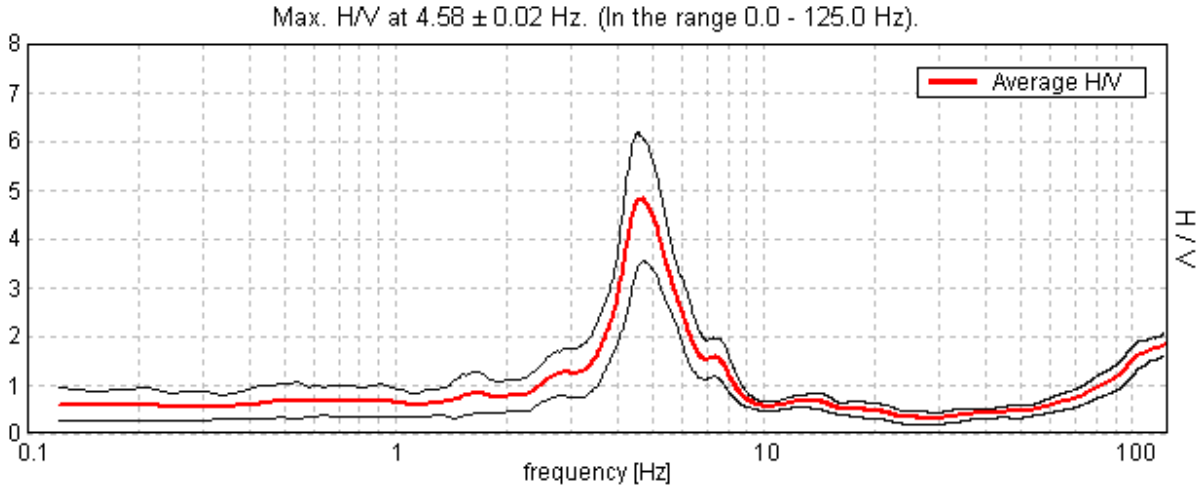
ove: f = frequenza;

$V_S$ = velocità delle onde trasversali (S);

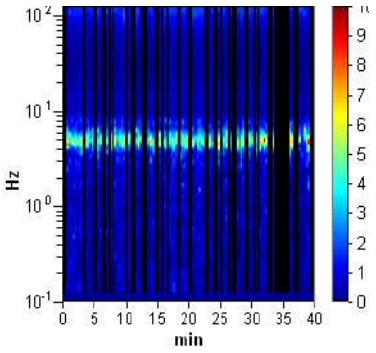
H = profondità del livello.

Si ricorda che in questa analisi l'interpretazione dei risultati, ovvero sia le profondità, che le velocità, viene effettuata con un margine di incertezza che si assomma all'errore insito proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15%. Si riportano ora i diagrammi ottenuti dalle misurazioni svolte in sito.

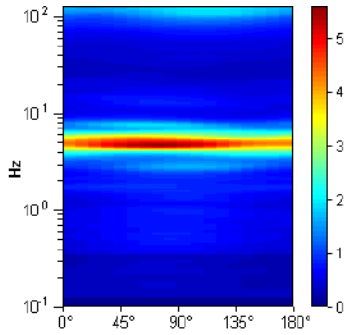
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



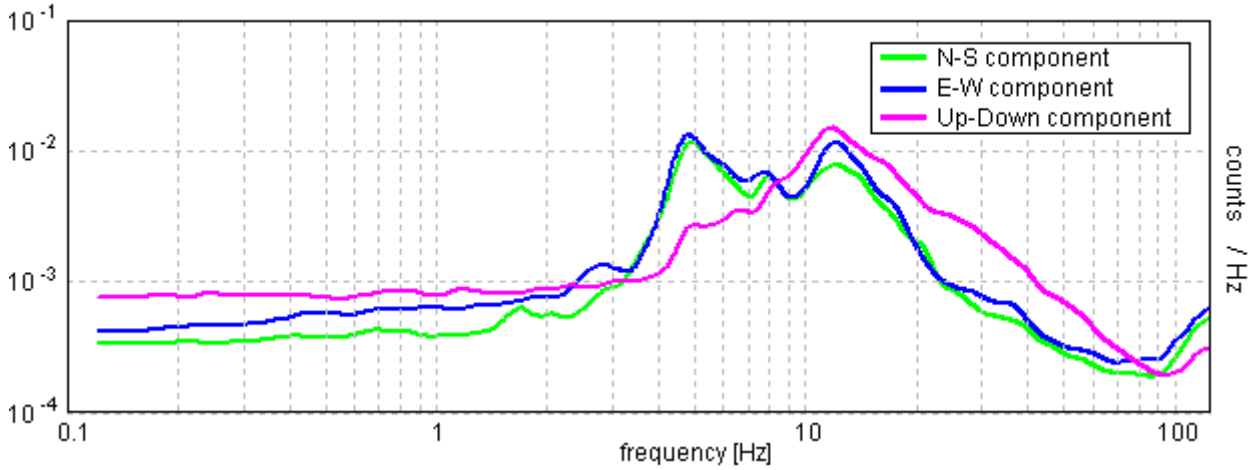

SERIE TEMPORALE H/V




DIREZIONALITA' H/V

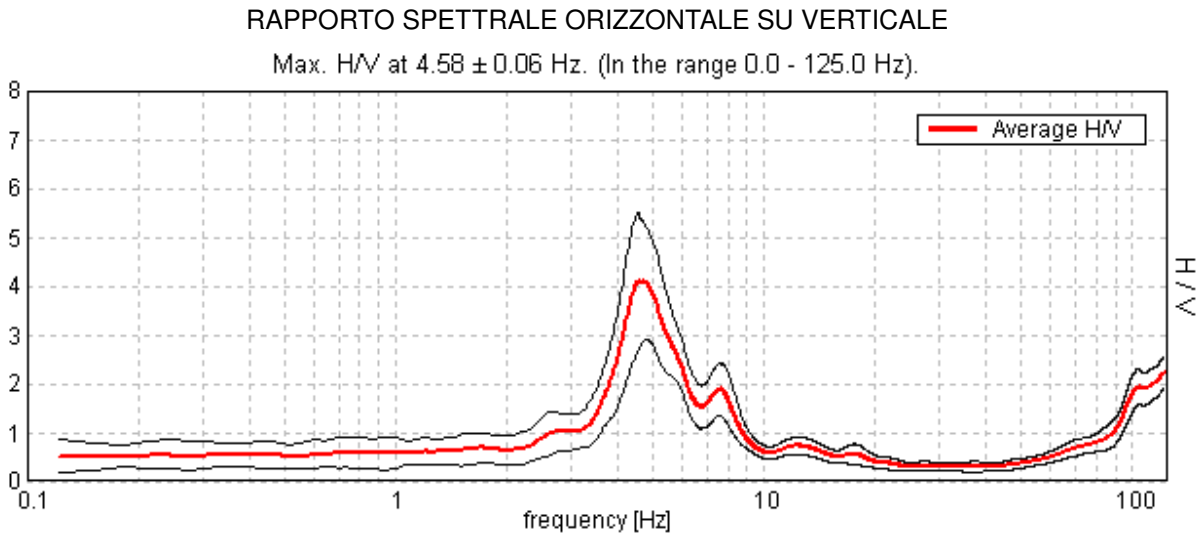



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

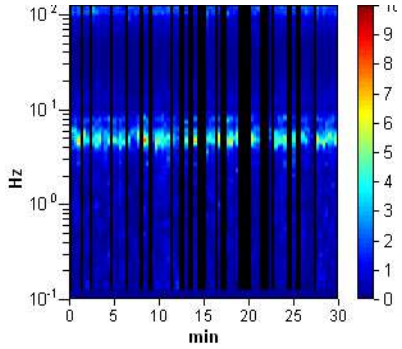


| Picco H/V a 4.58 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 125.0 Hz). | | | |
|---|---|---|---|
| **Criteri per una curva H/V affidabile** | | | |
| $f_0 > 10 / L_w$ | 4.58 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 6591.8 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 226 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 3.876 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 6.104 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 4.81 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.00173\| < 0.05 | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 0.00793 < 0.22888 | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.6798 < 1.58 | OK | |

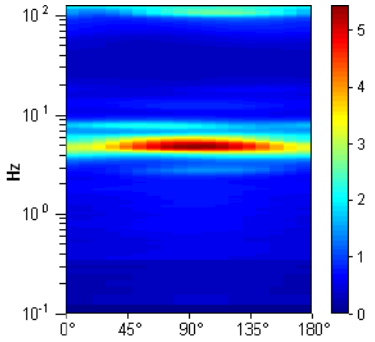
*S_p (2) - Theremino*



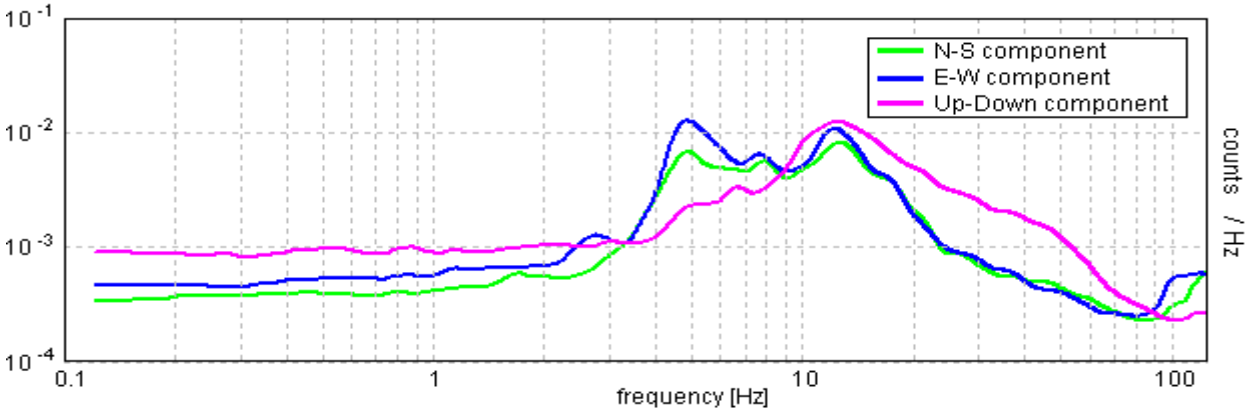
SERIE TEMPORALE H/V




DIREZIONALITA' H/V

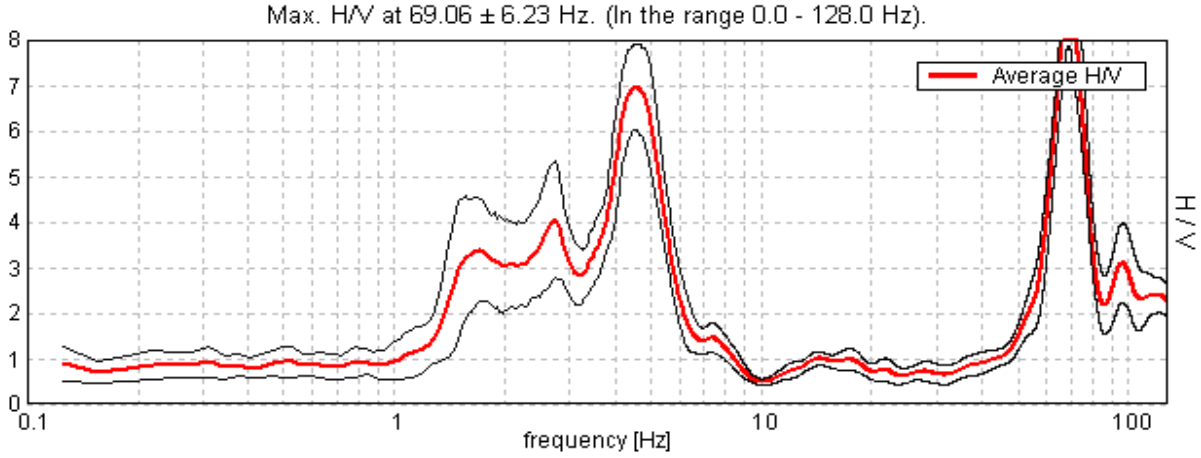



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

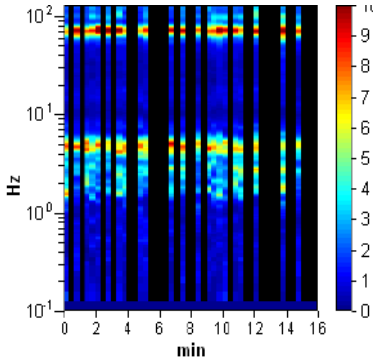



| **Picco H/V a 4.58 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 0.0 - 125.0 Hz).** | | | |
|---|---|---|---|
| **Criteri per una curva H/V affidabile** | | | |
| $f_0 > 10 / L_w$ | 4.58 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 5401.6 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 226 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 3.815 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 6.195 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 4.10 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.00672\| < 0.05 | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 0.03074 < 0.22888 | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.6873 < 1.58 | OK | |

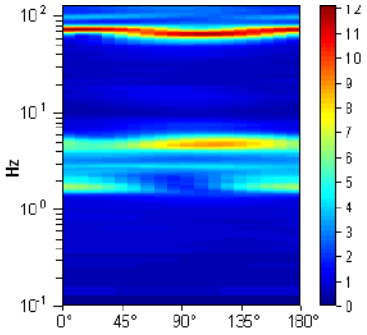
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



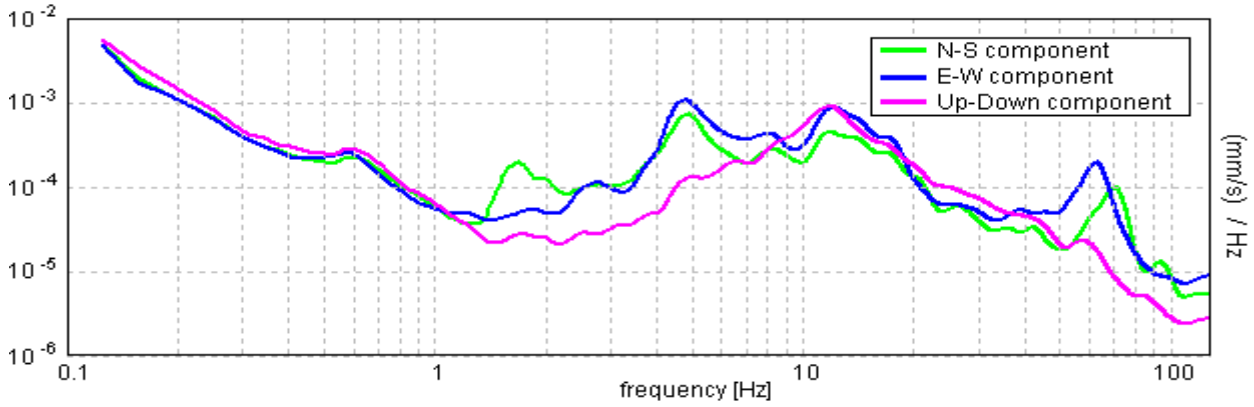

SERIE TEMPORALE H/V



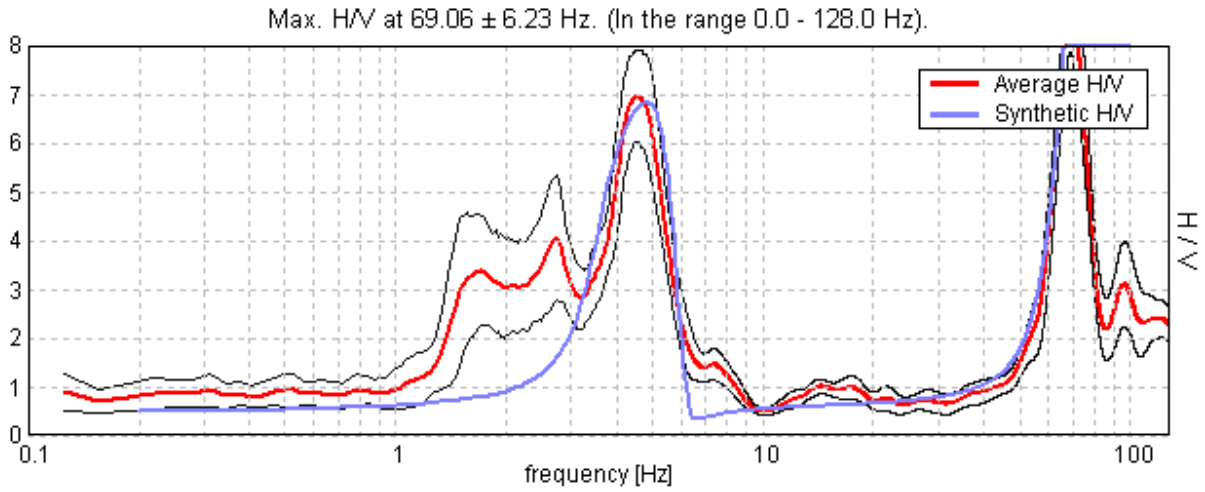

DIREZIONALITA' H/V




SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO




| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Possibile interpretazione |
|---|---|---|---|
| 0.32 | 0.32 | 90 | Materiali antropici e asfalti |
| 19.72 | 19.40 | 310 | Riempimenti antropici e depositi alluvionali |
| inf. | inf. | 948 | Ammasso competente |

***Vs (eq.) = 298 m/s (piano campagna) NTC 2018***

*Vs (0.0-30.0) = 390 m/s (piano campagna) NTC 2008*

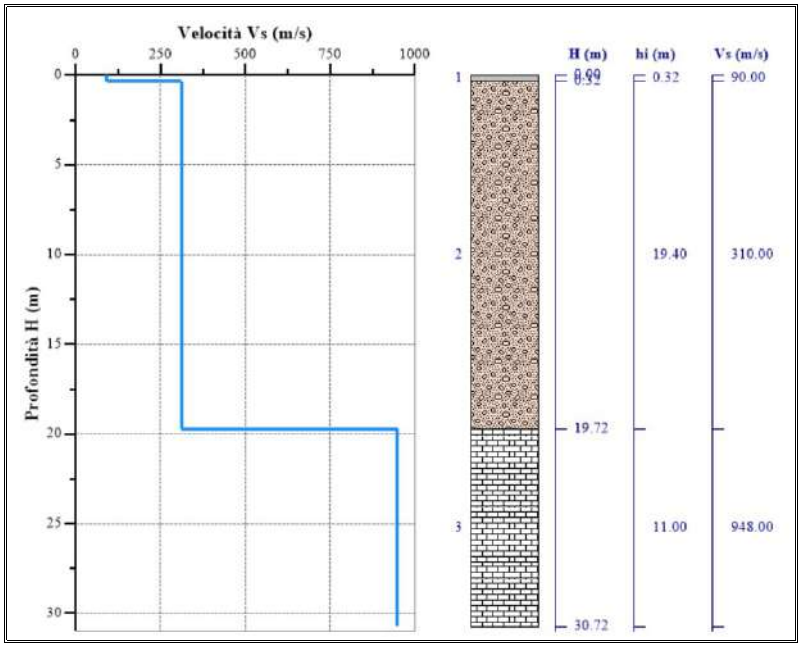
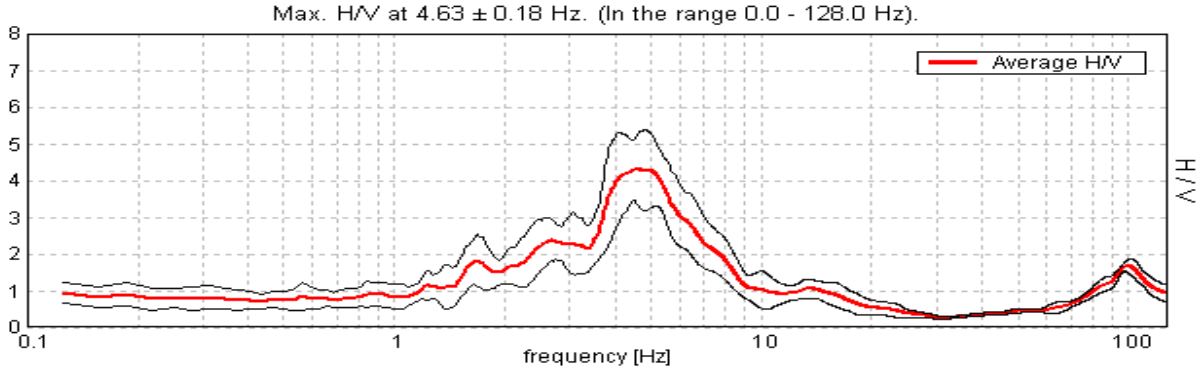



*Fig. 25:* sismo-stratigrafia prova 3.

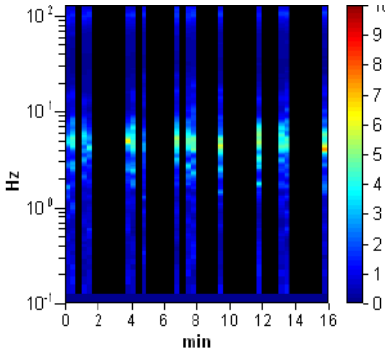
| Picco H/V a 69.06 ± 6.23 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz). | | | |
|---|---|---|---|
| **Criteri per una curva H/V affidabile** | | | |
| $f_0 > 10 / L_w$ | 69.06 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 30387.5 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 2992 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 60.813 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 78.063 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 9.19 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.0424\| < 0.05 | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 2.92822 < 3.45313 | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.6307 < 1.58 | OK | |

*S_p (4) - Tromino*

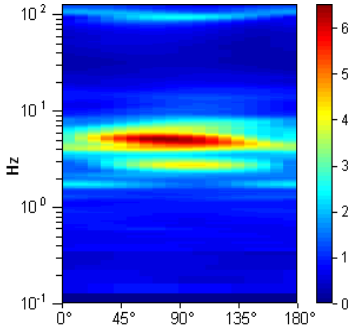
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



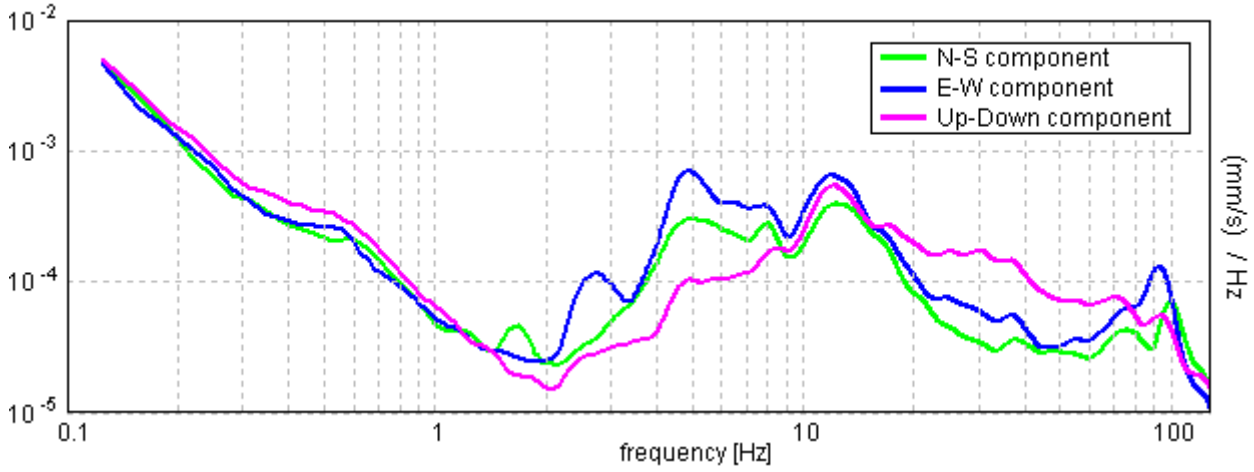

SERIE TEMPORALE H/V



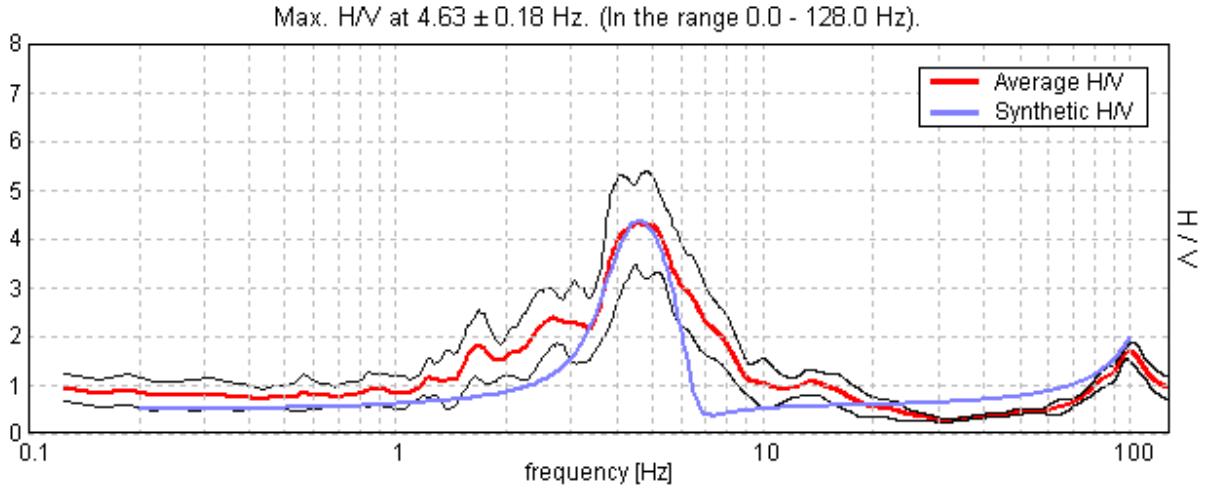

DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI




H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO




| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Possibile interpretazione |
|---|---|---|---|
| 0.25 | 0.25 | 126 | Materiali antropici e asfalti |
| 17.55 | 17.30 | 300 | Riempimenti antropici e depositi alluvionali |
| inf. | inf. | 838 | Ammasso competente |

***Vs (eq.) = 294 m/s (piano campagna) NTC 2018***

*Vs (0.0-30.0) = 403 m/s (piano campagna) NTC 2008*

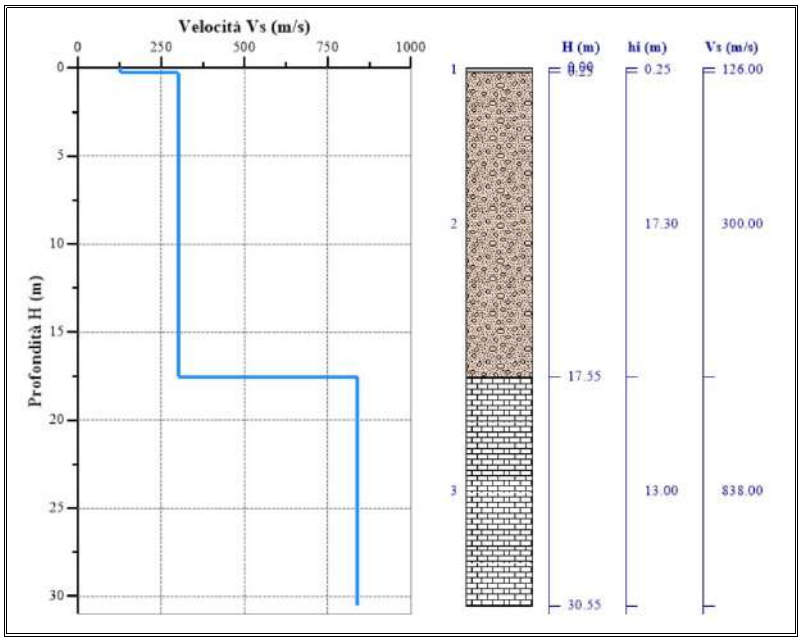
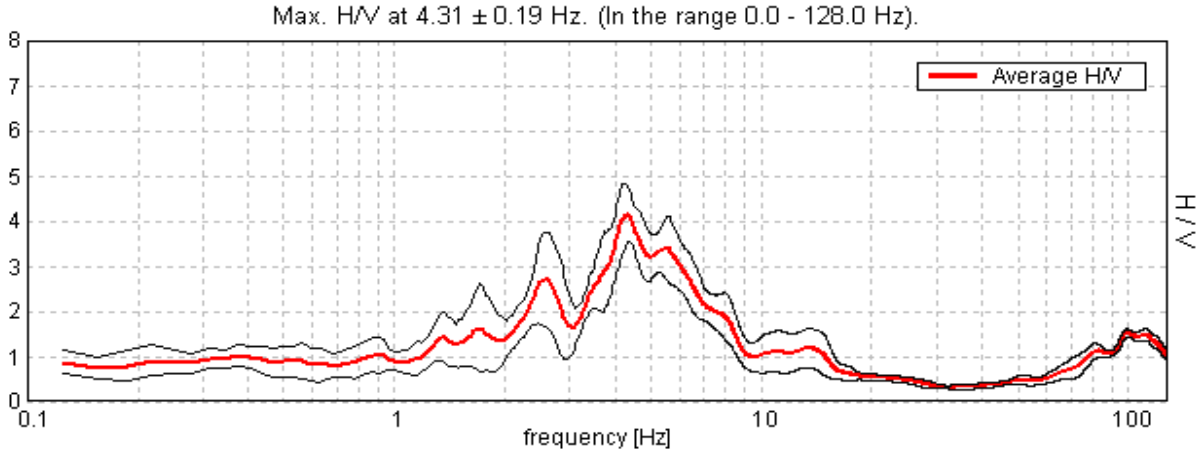



*Fig. 31:* sismo-stratigrafia prova 4.

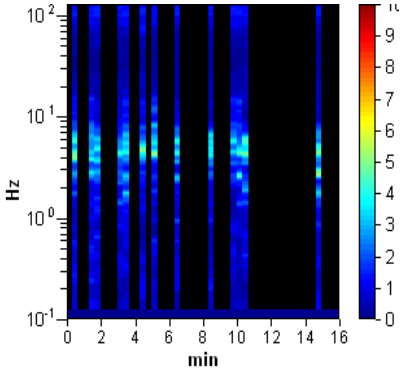
| **Picco H/V a 4.63 ± 0.18 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).** | | | |
|---|---|---|---|
| **Criteri per una curva H/V affidabile** | | | |
| $f_0 > 10 / L_w$ | 4.63 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 1387.5 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 223 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 3.375 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 7.344 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 4.30 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.01771\| < 0.05 | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 0.08189 < 0.23125 | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.4464 < 1.58 | OK | |

*S_p (5) – Tromino*

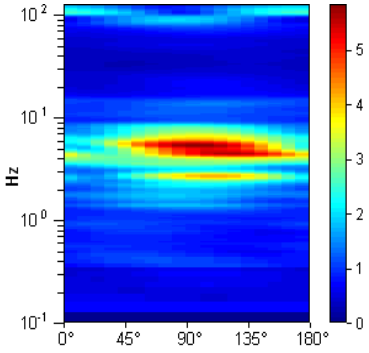
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



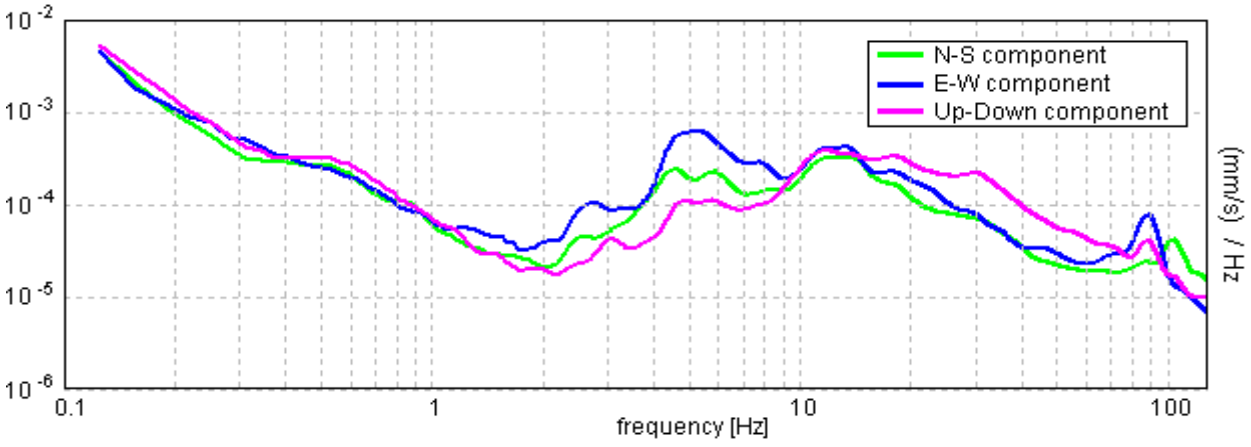

SERIE TEMPORALE H/V




DIREZIONALITA' H/V



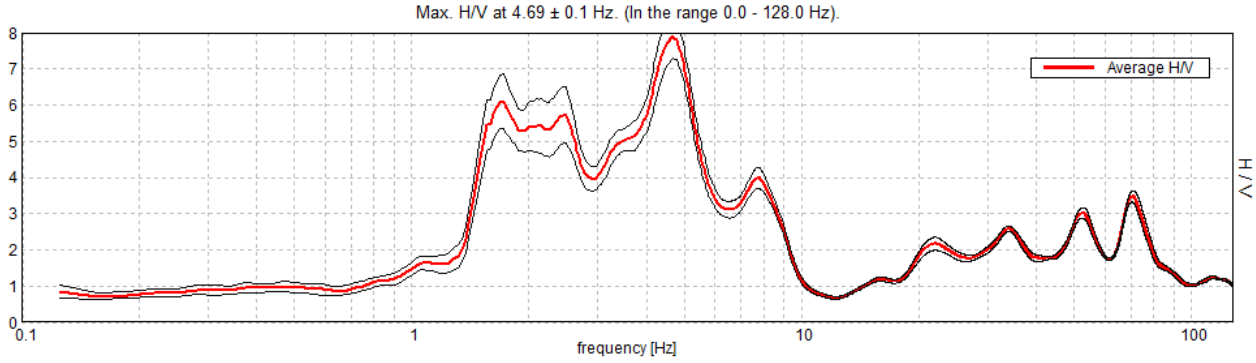

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



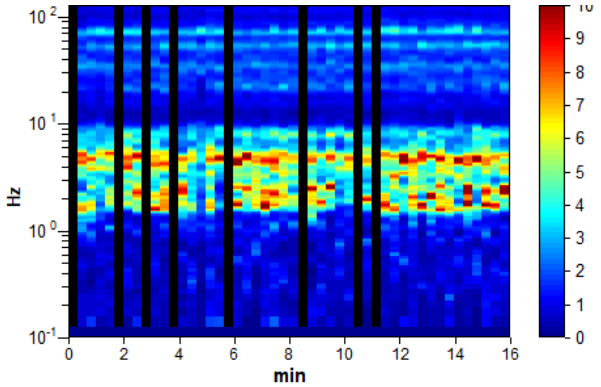
| Picco H/V a 4.31 ± 0.19 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz). | | | |
|---|---|---|---|
| **Criteri per una curva H/V affidabile** | | | |
| $f_0 > 10 / L_w$ | 4.31 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 1121.3 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 208 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 3.313 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 7.156 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 4.15 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.01933\| < 0.05 | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 0.08338 < 0.21563 | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.282 < 1.58 | OK | |

*S_p (6) – Tromino - 2023*

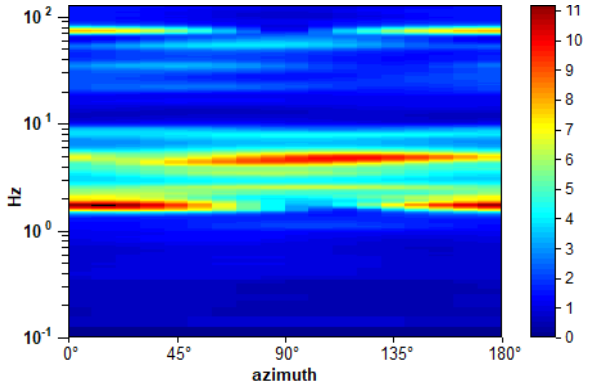
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



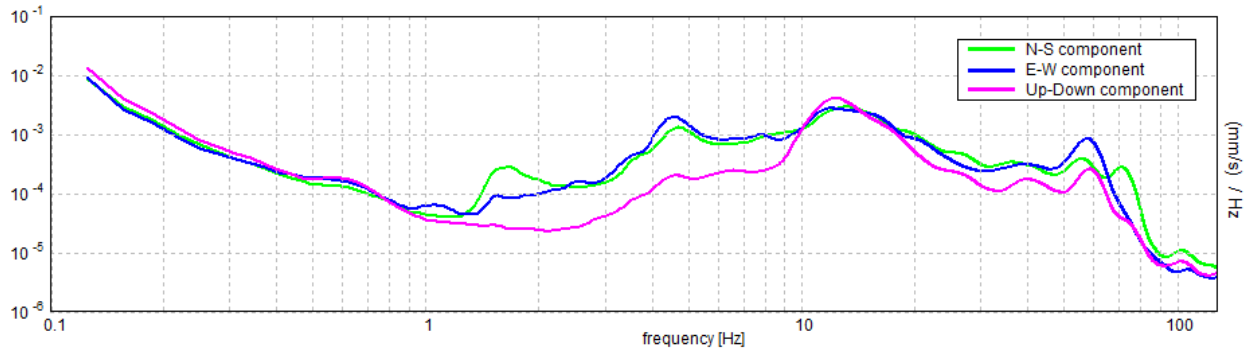

SERIE TEMPORALE H/V




DIREZIONALITA' H/V

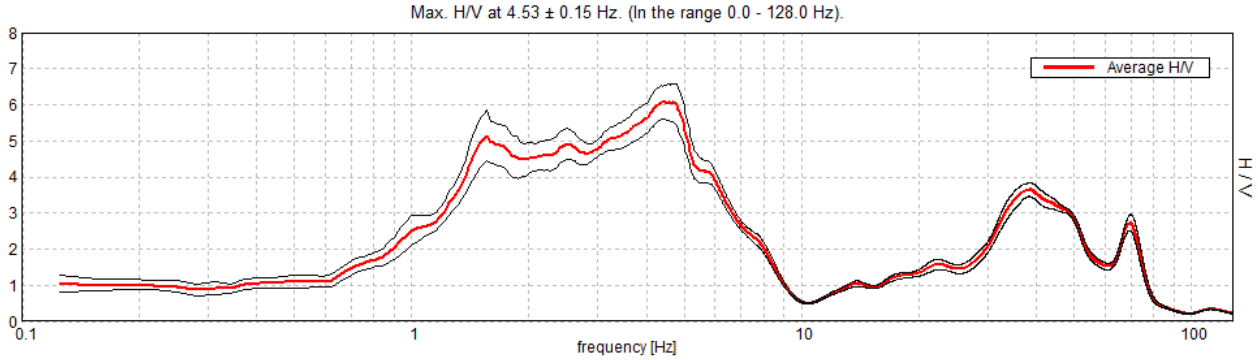


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

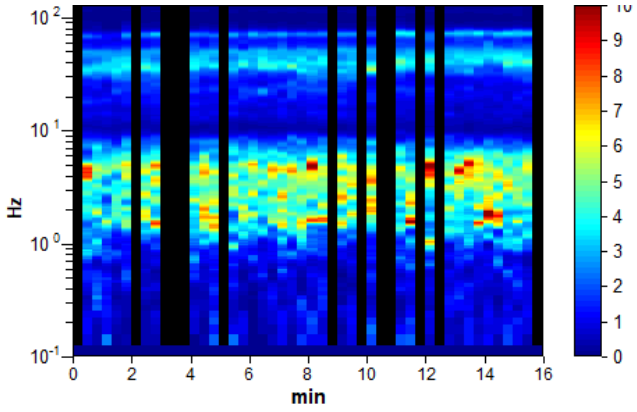



| | | | |
|---|---|---|---|
| **Picco H/V a 4.69 ± 0.1 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).** | | | |
| **Criteri per una curva H/V affidabile** | | | |
| $f_0 > 10 / L_w$ | 4.69 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 3750.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 226 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 1.469 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 5.75 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 7.89 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.02055\| < 0.05 | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 0.09632 < 0.23438 | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.5912 < 1.58 | OK | |

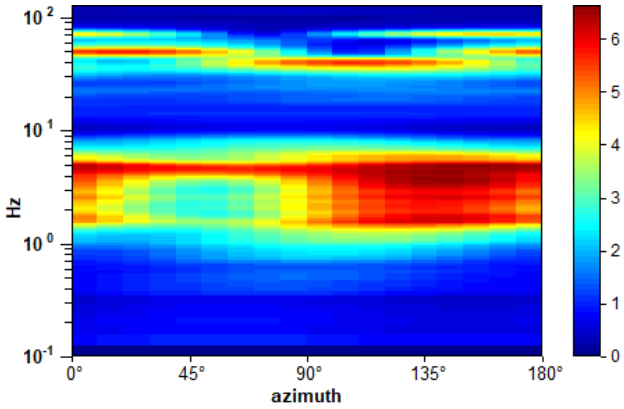
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



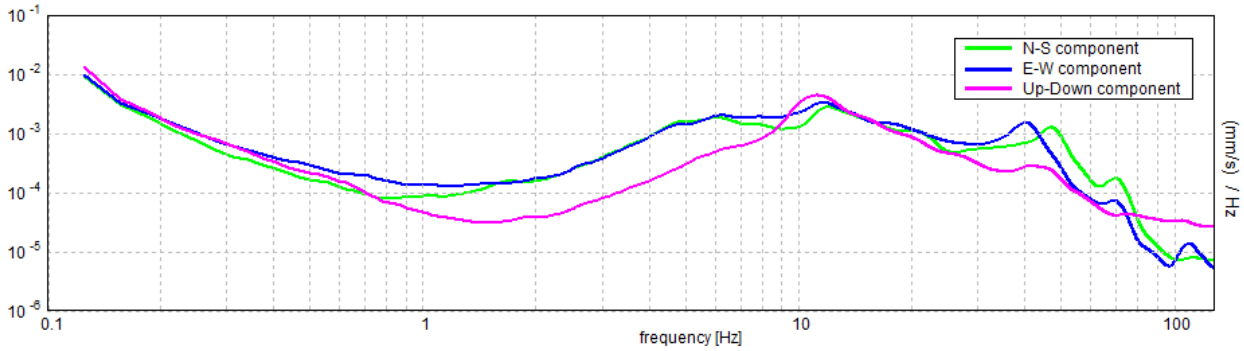

SERIE TEMPORALE H/V



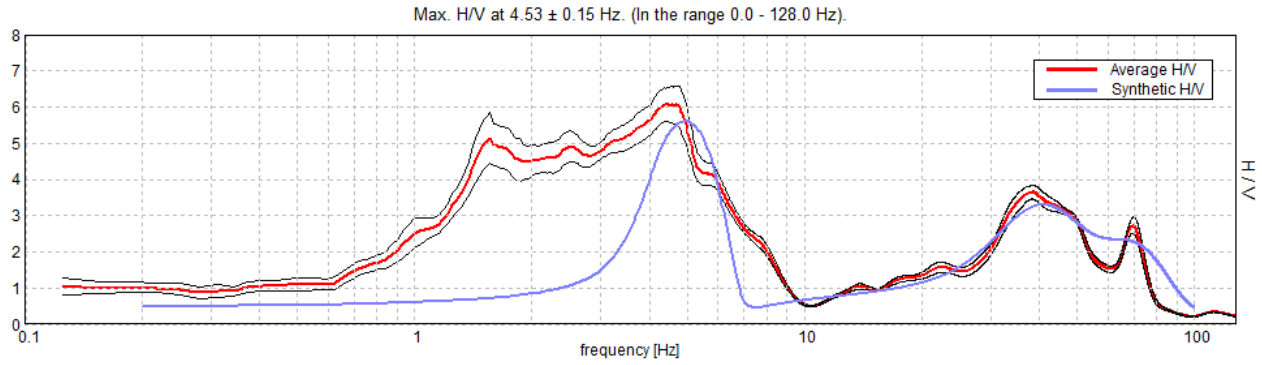

DIREZIONALITA' H/V




SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO




| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Possibile interpretazione |
|---|---|---|---|
| 0.41 | 0.41 | 105 | Alluvioni mobili del T. Prino |
| 1.65 | 1.24 | 237 | Alluvioni superficiali |
| 23.55 | 21.90 | 412 | Depositi alluvionali |
| inf. | inf. | 1156 | Ammasso compatto |

***Vs (eq.) = 378 m/s (piano campagna) NTC 2018***

*Vs (0.0-30.0) = 442 m/s (piano campagna) NTC 2008*

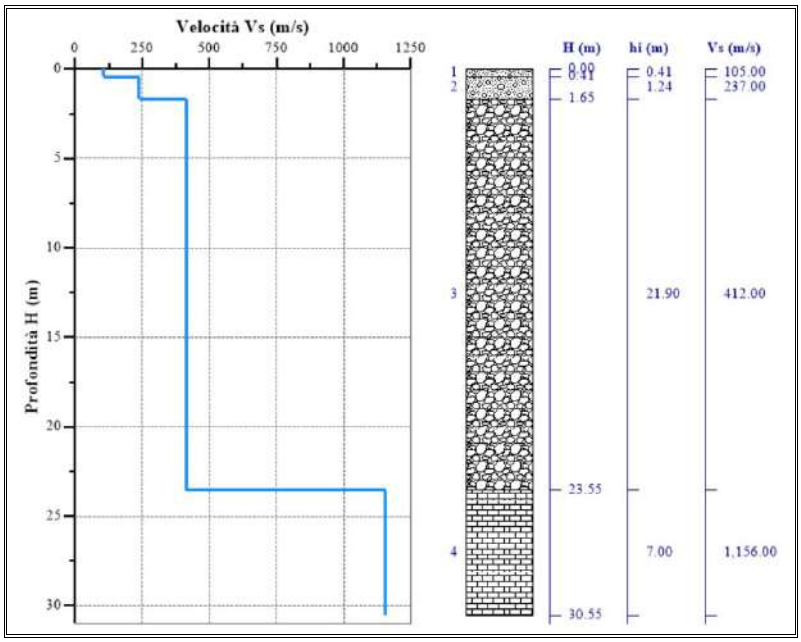



*Fig. 45:* sismo-stratigrafia prova 7.

| Picco H/V a 4.53 ± 0.15 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz). | | | |
|---|---|---|---|
| **Criteri per una curva H/V affidabile** | | | |
| $f_0 > 10 / L_w$ | 4.53 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 3171.9 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 218 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 1.188 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 6.625 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 6.07 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.03342\| < 0.05 | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 0.15144 < 0.22656 | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.4937 < 1.58 | OK | |

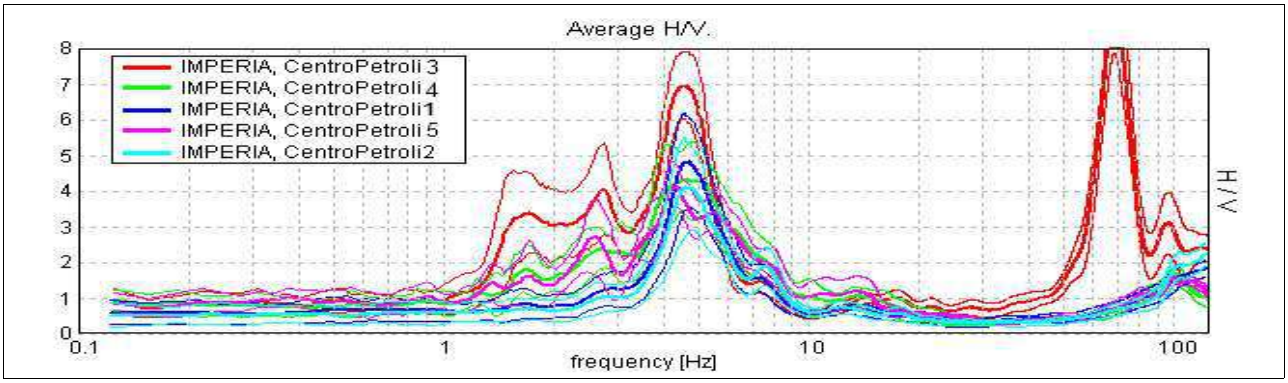
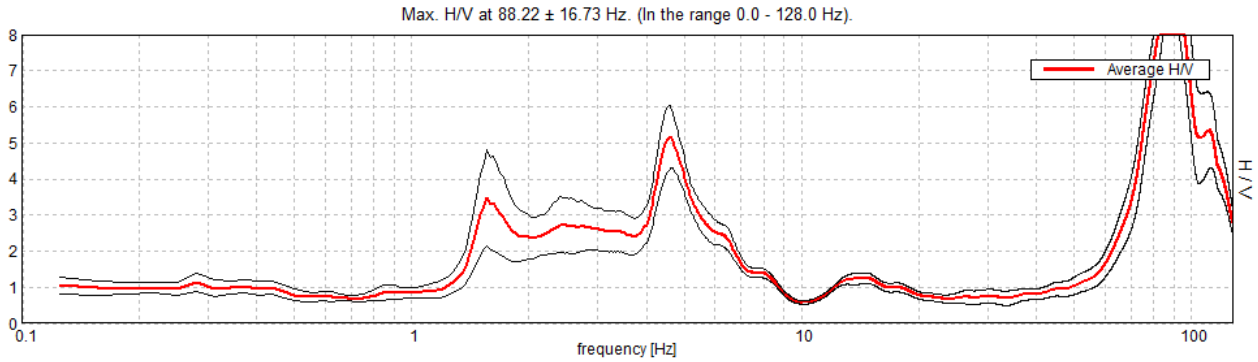
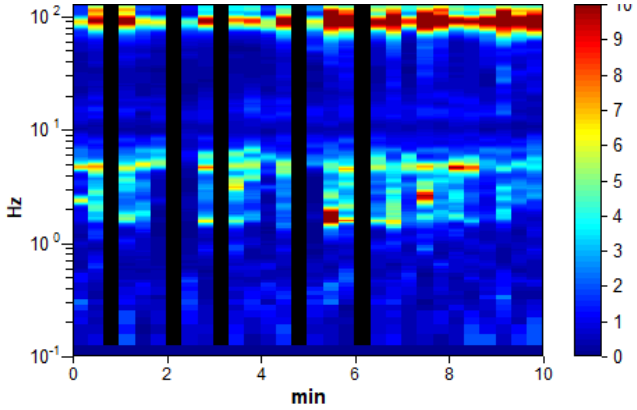



*Fig. 46*: confronto tra i risultati delle indagini hvsr svolte (2016).

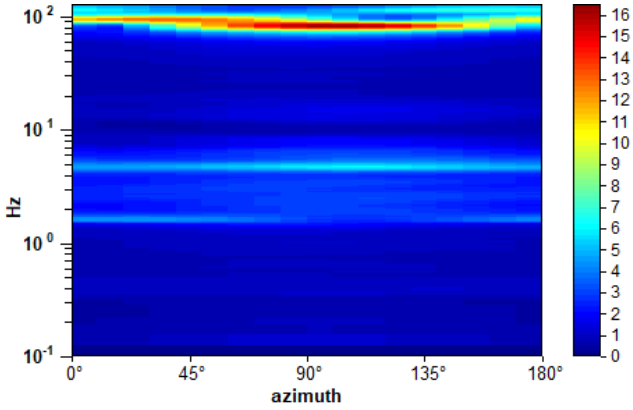
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



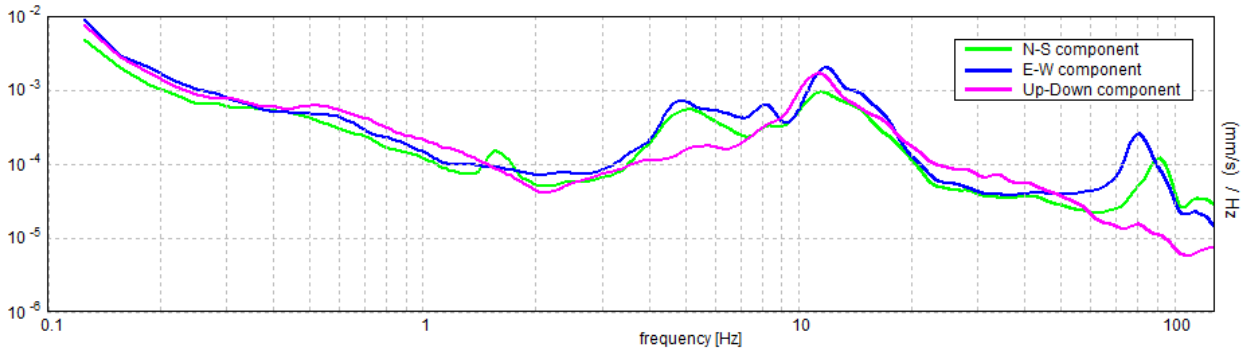

SERIE TEMPORALE H/V



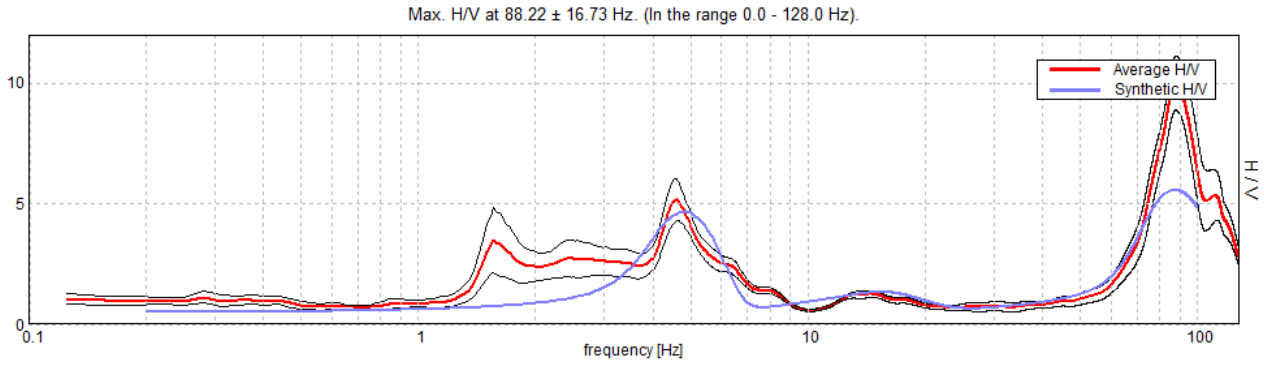

DIREZIONALITA' H/V




SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO




| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Possibile interpretazione |
|---|---|---|---|
| 0.39 | 0.39 | 124 | Materiali antropici / asfalti |
| 5.26 | 4.87 | 328 | Riempimenti antrop. / depositi alluvionali |
| 32.86 | 27.60 | 578 | Prob. Depositi all. compatti / Ammasso fratturato |
| inf. | inf. | 1444 | Ammasso competente |

***Vs (eq.) = 493 m/s (piano campagna) NTC 2018***

*Vs (0.0-30.0) = 493 m/s (piano campagna) NTC 2008*

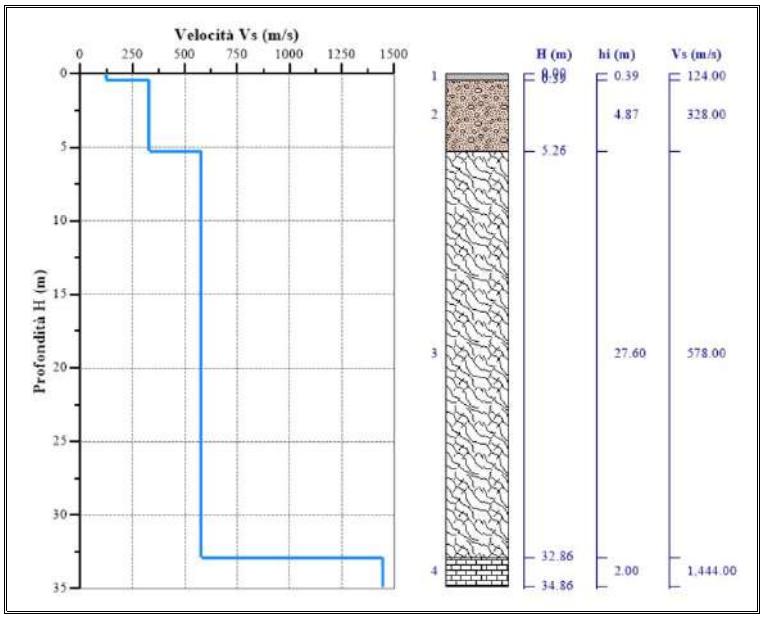
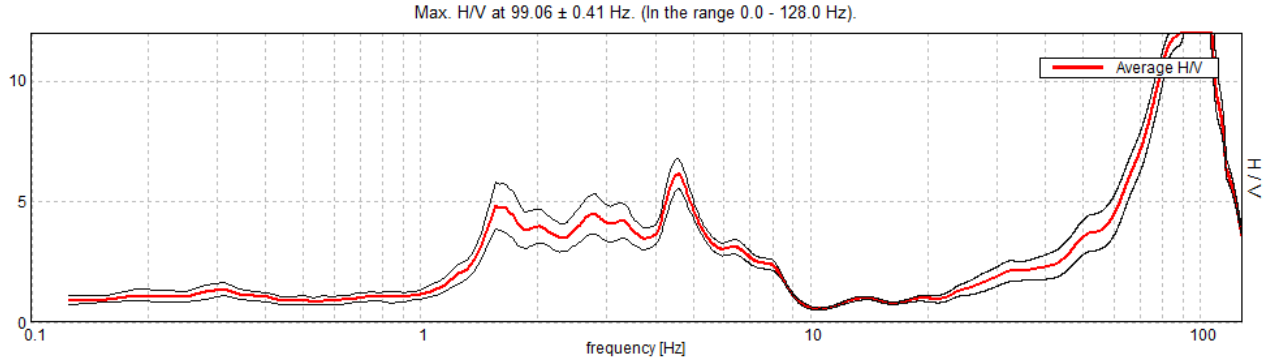



*Fig. 52:* sismo-stratigrafia prova 8.

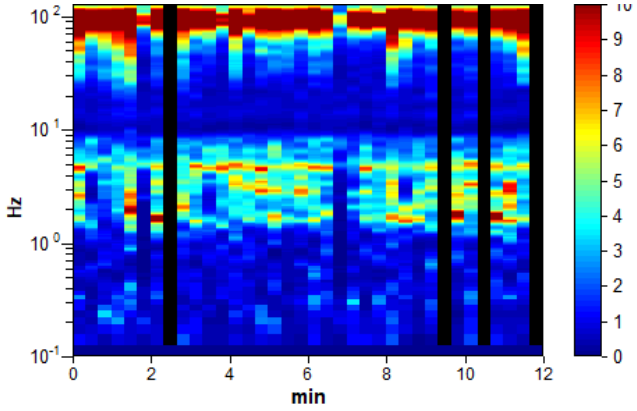
| Picco H/V a 88.22 ± 16.73 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz). | | | |
|---|---|---|---|
| **Criteri per una curva H/V affidabile** | | | |
| $f_0 > 10 / L_w$ | 88.22 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 44109.4 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 2686 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 74.625 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 114.313 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 9.99 > 2 | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 1.1263 < 1.58 | OK | |

*S_p (9) – Tromino – 2025*

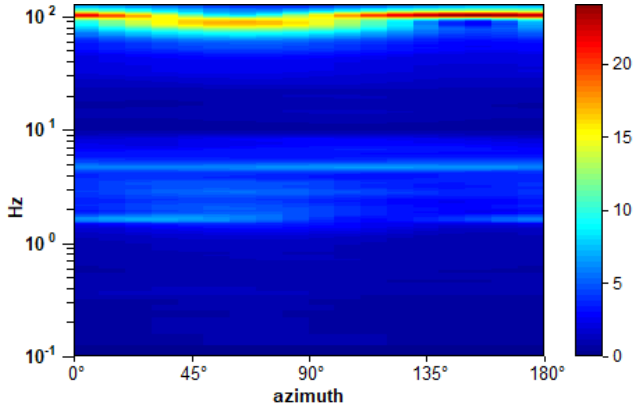
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



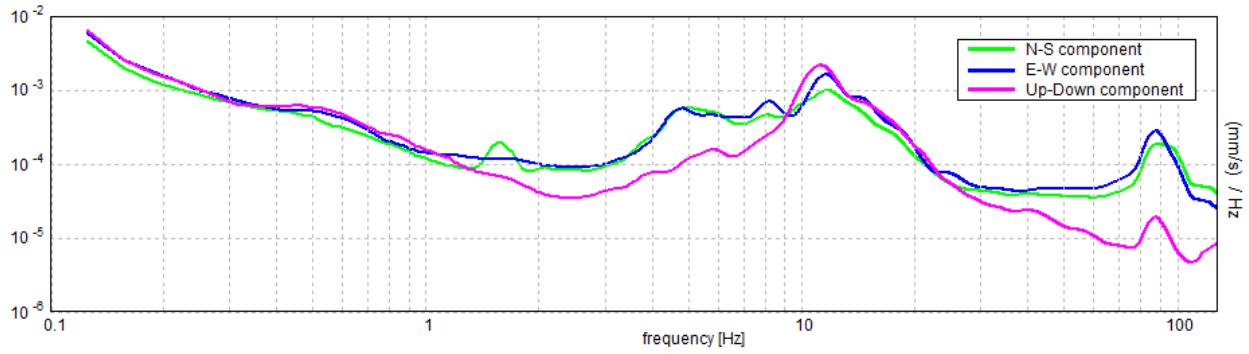

SERIE TEMPORALE H/V




DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI




| | | | |
|---|---|---|---|
| **Picco H/V a 99.06 ± 0.41 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).** | | | |
| **Criteri per una curva H/V affidabile** | | | |
| **$f_0 > 10 / L_w$** | 99.06 > 0.50 | OK | |
| **$n_c(f_0) > 200$** | 63400.0 > 200 | OK | |
| **$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz**<br>**$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz** | Superato 0 volte su 2512 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** | | | |
| **Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$** | 76.0 Hz | OK | |
| **Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$** | 111.125 Hz | OK | |
| **$A_0 > 2$** | 18.27 > 2 | OK | |
| **$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$** | \|0.00414\| < 0.05 | OK | |
| **$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$** | 0.40969 < 4.95313 | OK | |

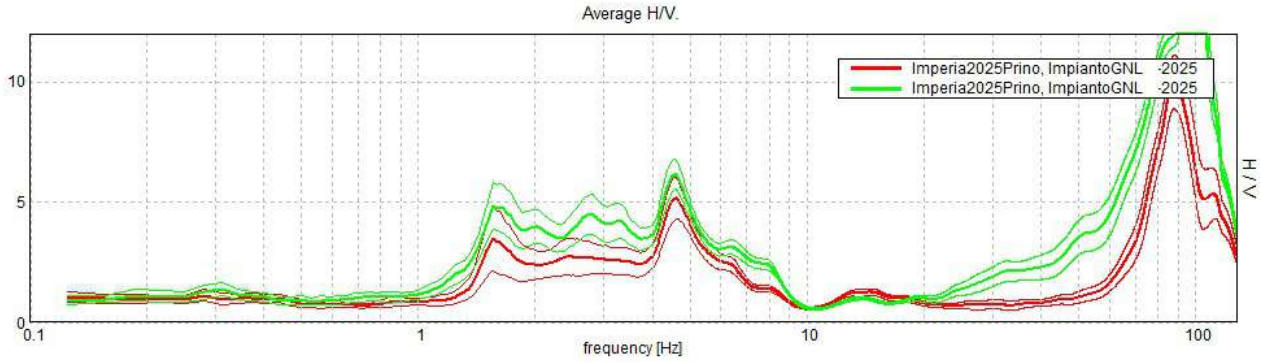



*Fig. 57:* confronto tra i risultati delle indagini hvsr 8-9 (2025).

# 5 - GEOLOGIA

*5.1 Domini paleogeografici e gruppi di Unità tettoniche*

Le Alpi in generale, e quindi anche il settore ligure, mostrano un'attuale catena montuosa formata da enormi masse rocciose denominate solitamente *Falde* o *Unità Tettoniche*, che a seguito delle deformazioni litosferiche durante l'orogenesi, sono state dislocate dalla loro posizione di origine ed appilate una sull'altra.

Le fasi fondamentali dell'orogenesi alpina nel settore ligure si sono compiute all'incirca tra i 90 ed i 40 milioni di anni fa, attraverso l'avvicinamento e la successiva collisione di due paleocontinenti, la Paleoeuropa e l'Insubria. Ciò produsse l'intensa deformazione sia dei materiali oceanici interposti, sia di quelli continentali.

Le Unità Tettoniche presenti nella Provincia di Imperia si riconducono principalmente a due dei grandi Domini paleogeografici-strutturali alpini, il Dominio Delfinese-Provenzale ed il Dominio Piemontese-Ligure.

In questo contesto l'estremo ponente ligure viene a costituire un fondamentale anello per la conoscenza e lo studio del segmento meridionale delle Alpi Marittime, in cui sono presenti, procedendo da W verso E, sia zone di "avampaese" europeo, sia il fronte delle suddette falde alpine.

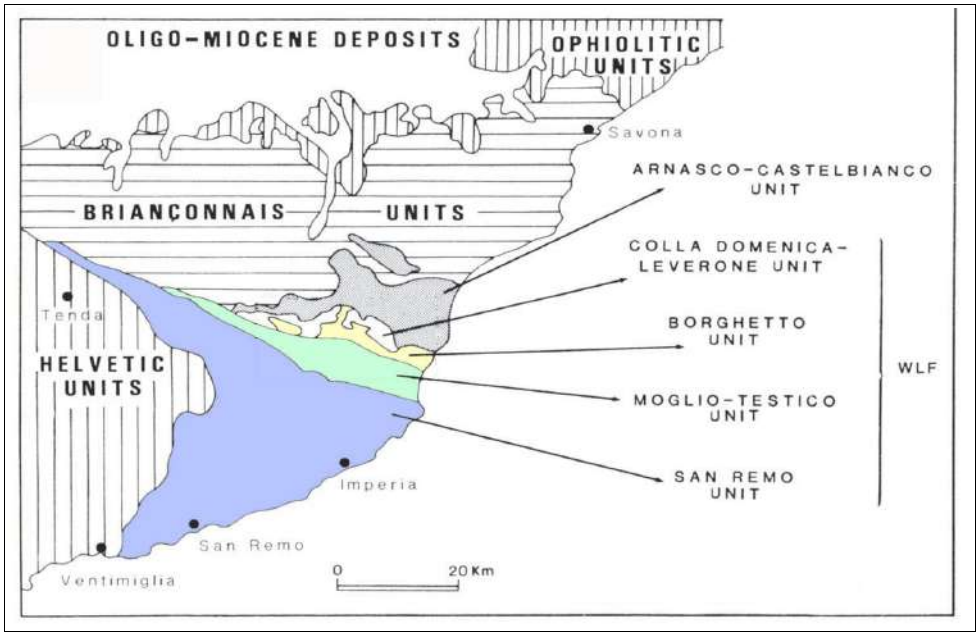



*Fig. 58:* Schema geologico delle Alpi Liguri da A. Di Giulio (PV).

*5.2 Formazioni geologiche*

Nella zona dell'argine e del ripiano (terrazzamento) superiore il suolo (terreno superficiale) è stato ampiamente rimaneggiato con il deposito di materiali antropici, anche grossolani, che celano i depositi alluvionali del Torrente Prino, che a loro volta coprono la base della successione stratigrafica locale rappresentata da formazioni rocciose flyschoidi. Nel greto del torrente troviamo, invece, le alluvioni mobili e i depositi alluvionali.

*Terreno superficiale (argine e terrazzamento)*

Il terreno superficiale, come sopra ricordato e come si evince dalle prove sismiche, dal sondaggio S8, e dalle recenti trincee, è dovuto all'azione dell'uomo nel rimodellamento del paesaggio per scopi antropici. Qui nel dettaglio si sono depositate grandi quantità di materiali (riporti) che hanno coperto le sottostanti alluvioni naturali del Torrente Prino. I materiali antropici risultano essere in maggior parte ghiaia e ciottoli, con presenza di sabbia debolmente limosa, il tutto coperto, sul terrazzamento, da asfalto bituminoso. Lo spessore di tale livello è variabile ed arriva probabilmente a superare localmente i 3 metri, soprattutto in vicinanza dell'argine.

*Depositi Alluvionali*

I depositi alluvionali recenti (b) e le alluvioni terrazzate (bn1) rappresentano quell'insieme di depositi che hanno dato origine all'attuale piana del Torrente Prino; questi materiali occupano l'area di fondovalle e quella di più stretto interesse, infatti nelle zone più prossime al corso d'acqua ed a minor acclività, lungo il lato idrografico sinistro, con il passare degli anni, si sono andati ad accumulare spessori notevoli di materiali trasportati dalle correnti di piena.

I depositi attuali e mobili (b) sono più interni e più ravvicinati all'alveo, quelli più antichi e più distanti dall'asse fluviale (bn1), ormai "antropizzati" e stabili, sono utilizzati per il sostentamento dei gruppi familiare (nel passato) e delle varie aziende locali.

La composizione, la struttura e soprattutto la granulometria della frazione grossolana di queste alluvioni variano enormemente. Questi depositi, incoerenti o semicoerenti, di dimensioni varie, presentano granulometrie che spaziano dalla presenza di massi passando ai ciottoli ed alla ghiaia, immersi in matrice sabbiosa, con lenti limoso-argillose, infatti sono legati all'azione di erosione, di trasporto e di sedimentazione dei corsi d'acqua. I clasti grossolani sono mediamente maturi, solo talvolta poco elaborati, mentre è facile che alle alluvioni si aggiunga materiale immaturo di origine

detritica, derivante dal brevissimo trasporto e dalla rielaborazione solo locale di coni detritici, misto e sovrapposti ad alluvioni terrazzate.

Le superfici delle piane alluvionali non sono mai perfettamente orizzontali, ma leggermente concave, con blande pendenze dai margini verso l'alveo del collettore principale e nel senso di deflusso di quest'ultimo.

*Ammasso roccioso*

La formazione rocciosa posta come base stratigrafica è quella del Flysch di Sanremo; essa appartiene all'Unità di Sanremo-M. Saccarello, datata Cretaceo superiore – Paleocene/Eocene, che, insieme all'Unità di Moglio-Testico, di Borghetto d'Arroscia-Alassio e di Colla Domenica-Leverone, forma la zona dei "Flysch ad Elmintoidi" della Liguria occidentale (*vd Fig. 59*).

Tutti questi sedimenti sono attribuiti ad una fossa bacinale che in seguito alla chiusura dell'oceano di deposizione, oceano esistente tra il Continente Paleoeuropeo e la Zolla Insubrica, sono state scollate dall'originale substrato e sono state trasportate verso l'esterno fino a raggiungere la posizione odierna.

L'Unità di Sanremo-M. Saccarello in particolare consta di quattro termini principali, dal basso all'alto stratigrafico abbiamo: Argille a Palombini (non presenti nelle vicinanze dell'area esaminata, ma che rappresentano il termine litostratigrafico più antico conosciuto dei Flysch ad Elmintoidi delle Alpi Liguri); Complesso di Base; Arenarie di Bordighera ed infine il Flysch di Sanremo.

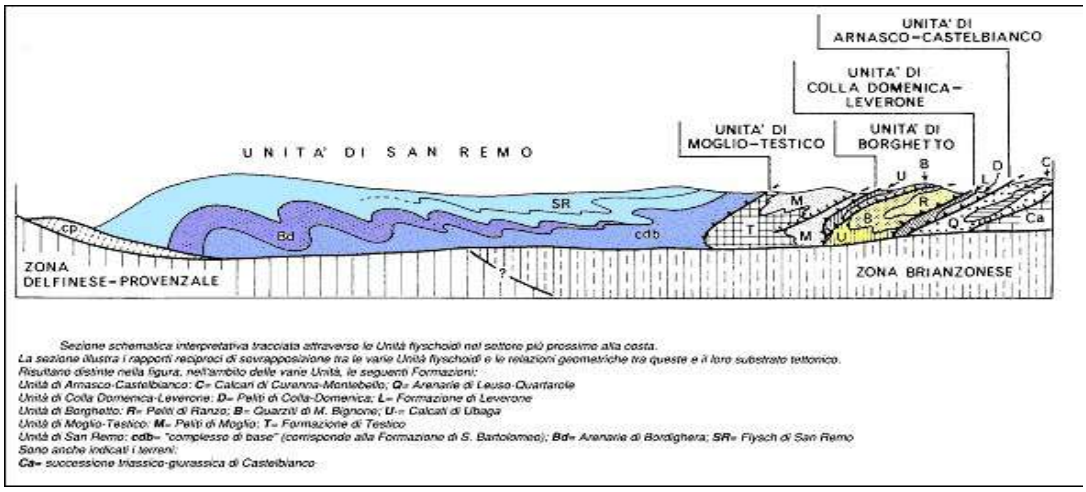



*Fig. 59:* sezione Unità Flyschoidi da Guide Geologiche Regionali (Vol. 2)

# 6 - GEOMORFOLOGIA

*6.1 Geomorfologia*

Il territorio di interesse, posto nella porzione occidentale del comune di Imperia, risulta sito su di un lembo di terra pianeggiante o sub-pianeggiante, presenta infatti una modesta acclività, mentre poco distante la morfologia disegna versanti collinari che risalgono verso i primi crinali.

Sono presenti alcuni edifici residenziali, delle attività artigianali e/o industriali, il casello autostradale di Imperia Ovest con le relative pertinenze, ecc., ecc., ma soprattutto i viadotti dell'Autostrada dei Fiori Spa (ora CdT) e della recente linea ferroviaria Genova-XXmiglia (ferrovia a monte).

Infine allo stato attuale, anche dopo il nuovo rilievo effettuato, non si sono resi evidenti caratteri geomorfologici che possano far pensare ad un imminente innesco di movimenti gravitativi superficiali che possano interessare il progetto, né tanto meno si sono riconosciuti, sul versante, elementi riconducibili a movimenti profondi in atto. Si ritiene perciò il sito morfologicamente idoneo ad ospitare le opere in esame.

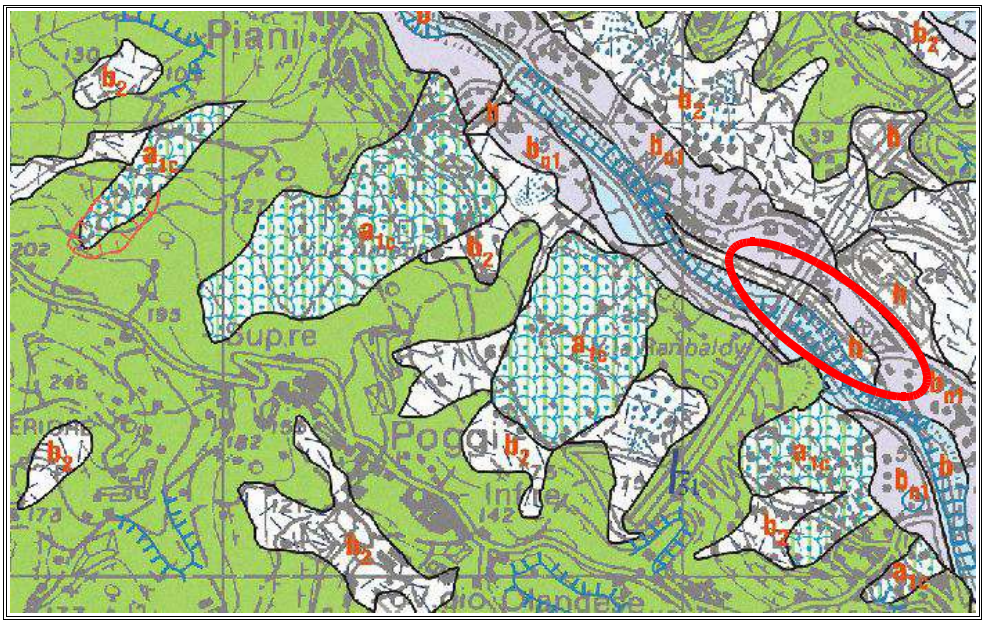



*Fig. 60:* stralcio della Carta Geologica del Progetto **C.A.R.G.**.

# 7 - PIANO DI BACINO E VINCOLI

*7.1 Piano di Bacino*

Il piano di bacino dei *"Torrenti Prino Caramagna e Inferno"* inserisce l'area di pertinenza in:

- ✔ Carta del Rischio Geomorfologico: **Rg 0** a rischio lieve o trascurabile;
- ✔ Carta della pericolosità o suscettività al dissesto: **Pg 0** - **B2** a pericolosità molto bassa.

*"Nelle aree a **suscettività al dissesto media ($P_{g2}$), bassa ($P_{g1}$) e molto bassa ($P_{g0}$)** si demanda ai Comuni, nell'ambito della norma geologica di attuazione degli strumenti urbanistici o in occasione dell'approvazione, sotto il profilo urbanistico-edilizio, di nuovi interventi insediativi e infrastrutturali, la definizione della disciplina specifica di dette aree, attraverso indagini specifiche, che tengano conto del relativo grado di suscettività al dissesto".*

*7.2 Vincoli*

L'area come visto è **esterna** al **R.D. 3267** del 30.12.1923 *"Riordinamento e riforma della Legislazione in materia di boschi e di terreni montani"* ovvero del cosiddetto *Vincolo Idrogeologico* (vd anche **L.R. 4** del **22.01.1999 -** *"Norme in materia di foreste e di assetto idrogeologico"*); ed inoltre risulta non compresa neppure nei territori con *"Vincoli Archeologici"*, ma appare interna alle zone definite come*"Bellezze di Insieme"* dal sito www.liguriavincoli.it.

In riferimento al recente **PAI** (Piano Assetto Idrogeologico) dell'**Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale** l'area di pertinenza appare **interna** alle zone con pericolosità del Dominio Fluviale (**PGRA** – vd Fig. 61), ed in zona **esterna** ai suoli con propensione al dissesto nella cartografia dei **Dissesti geomorfologici** (vd Fig. 62).

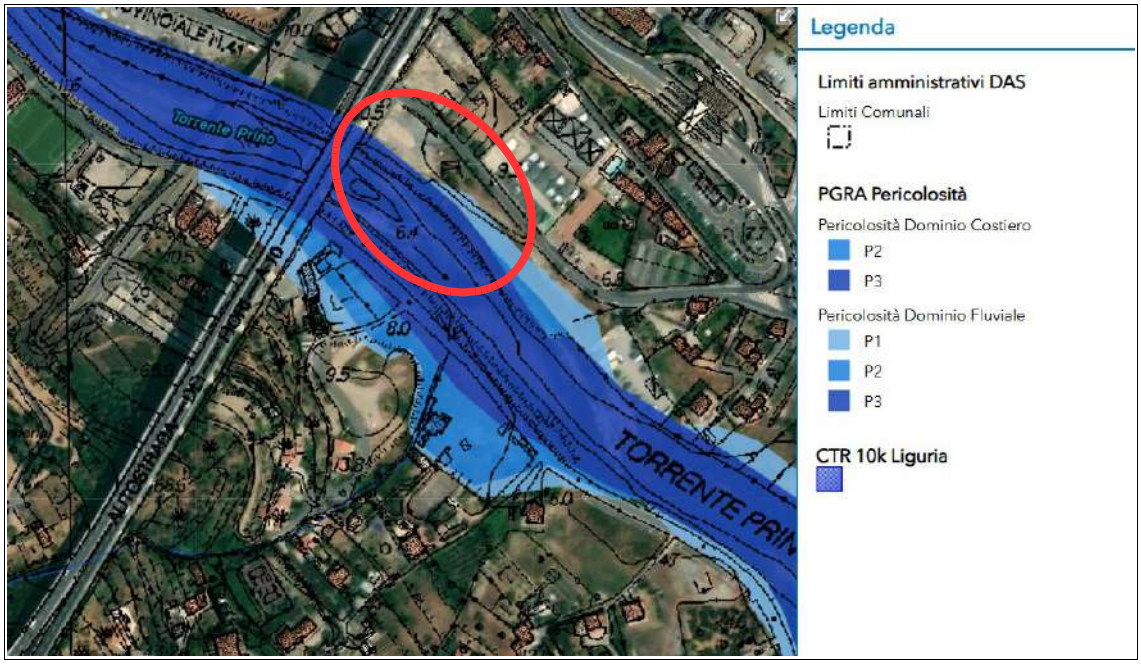



*Fig. 61*: Estratto Carta PAI (PGRA) – **interna**.




*Fig. 62*: Estratto Carta PAI (Dissesti Geomorfologici) – **esterna**.

# 8 - MODELLAZIONE SISMICA E CONSIDERAZIONI GEO-TECNICHE

*8.1 Formazioni geologiche*

I dati sulle caratteristiche geotecniche del suolo e del sottosuolo sono da intendersi come ***valori medi*** e derivano da precedenti esperienze, da valori bibliografici e/o da prove eseguite in aree analoghe opportunamente valutate, nonché dalle prove penetrometriche e sismiche eseguite in sito o da quelle svolte all'interno del sondaggio S8, e dall'interpretazione di tali dati con i vari software in commercio, con i quali si sono ottenuti i dati (range di valori) di seguito evidenziati.

| *Terreno superficiale antropico* | | *Alluvioni mobili e/o sup.* |
|---|---|---|
| $\gamma$ = 16,1 – 20,2 kN/m$^3$ | (peso di volume) | $\gamma$ = 18,1 – 22,3 kN/m$^3$ |
| $\varphi$ = 27 – 33° | (angolo di attrito) | $\varphi$ = 28 – 35° |
| c = 0 – 3 KPa | (coesione) | c = 0 – 6 KPa |
| *Depositi alluvionali sottostanti* | | |
| $\gamma$ = 18,8 – 23,8 kN/m$^3$ | (peso di volume) | |
| $\varphi$ = 28 – 38° | (angolo di attrito) | |
| c = 2 – 12 KPa | (coesione) | |

**NTC 2018** → riferibile ai suoli di **categoria E,** con coefficiente topografico **T1**.

*8.1.1 Considerazioni geomeccaniche (correlazioni tra parametri geofisici e geotecnici)*

Il crescente uso delle prove geosismiche sul terreno (per accessibilità, costi, impianto cantiere, ecc.), permette oltre alla ricostruzione dell'andamento del sottosuolo in strati omogenei ed alla definizione delle velocità sismiche, anche la preliminare e cautelativa stima di alcuni parametri geotecnici dei livelli attraversati dall'indagine geofisica stessa.

Occorre subito precisare che tali "correlazioni" tra velocità delle onde sismiche e parametri geomeccanici dovranno essere utilizzate, soprattutto dal progettista, con grande attenzione e spirito critico e dovranno essere necessariamente legate ad un'adeguata conoscenza geologica del sito.

Nel dettaglio si vuole stimare, in prima approssimazione, la capacità portante ed il coefficiente di Winkler in "correlazione" alla velocità delle onde di taglio (trasversali - $V_S$).

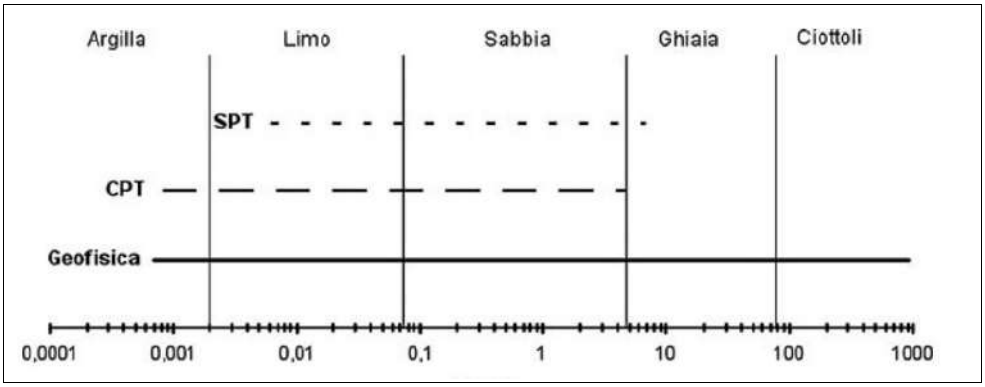
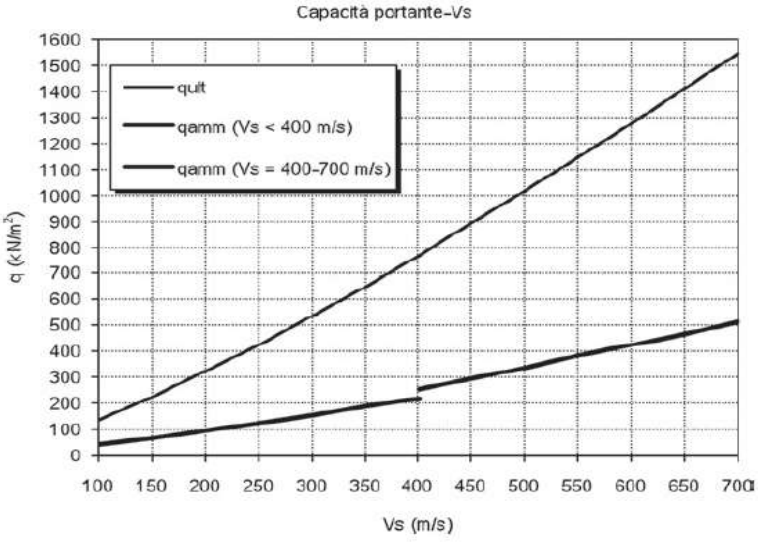


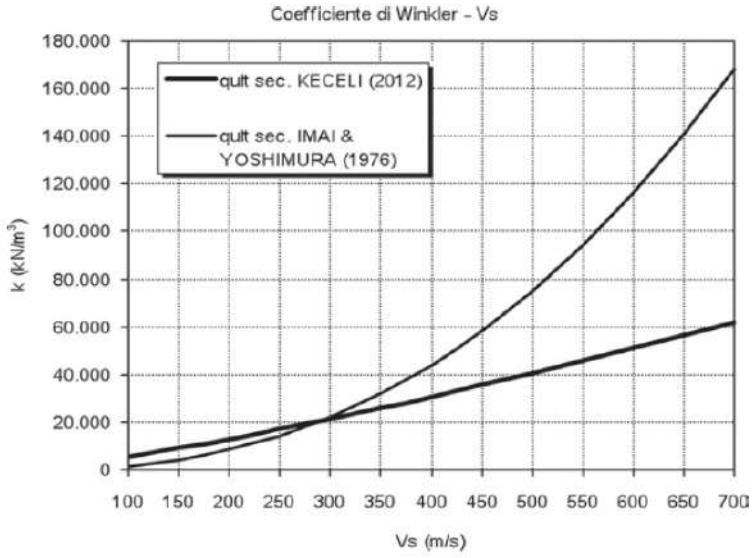

*Fig. 63*: Esempi indagini e campi di utilizzo delle prove geofisiche.

In base agli studi ed alle formule di *Imai e Yoshimura* (1976) e di *Keceli* (2012) è possibile riportare il seguente grafico che evidenzia l'andamento della capacità portante in funzione di $V_S$.




Si ricorda, come è noto, che la portanza $q_a$ dipende da molti fattori, tra cui la geometria delle fondazioni, la profondità di infissione delle stesse, la modalità realizzativa, il tipo di fondazioni, ecc. I valori riportati sono quindi puramente indicativi.

In merito al coefficiente di Winkler il grafico di riferimento, sempre per gli stessi autori, risulta:




Come detto anche in merito alla portanza, il coefficiente di Winkler non risulta essere una proprietà intrinseca del terreno, ovvero determinabile a prescindere dalla geometria delle fondazioni, dalla distribuzione dei carichi, dalle caratteristiche stratigrafiche e geologiche del sottosuolo, ecc. I grafici precedenti forniscono solamente stime ed indicazioni preliminari del comportamento del terreno.

### *8.2.1 Sismicità storica*

La Liguria di ponente è costantemente interessata da una modesta sismicità, anche se sono stati rari gli eventi che hanno raggiunto l'VIII-IX° di intensità. I fenomeni più significativi possono essere considerati il terremoto delle Alpi Marittime del 1564 ($M_s$ = 5.9), di cui in verità non si conosce ancora molto e quello ben studiato del 23 febbraio 1887 ($M_s$ = 6.4) con probabile epicentro in area marina; è poi da ricordare la sequenza del luglio 1963 con due eventi di $M_s$ = 5.9.

Tra i terremoti minori possiamo ricordare l'evento del 1831, che interessò l'area più occidentale della Provincia di Imperia con intensità dell'VIII° MCS. Al di fuori di quest'ultimo fenomeno, con epicentro sicuramente in terra, la maggior parte degli eventi risentiti sono da ascriversi a strutture sismogenetiche localizzate nel Mar Ligure.

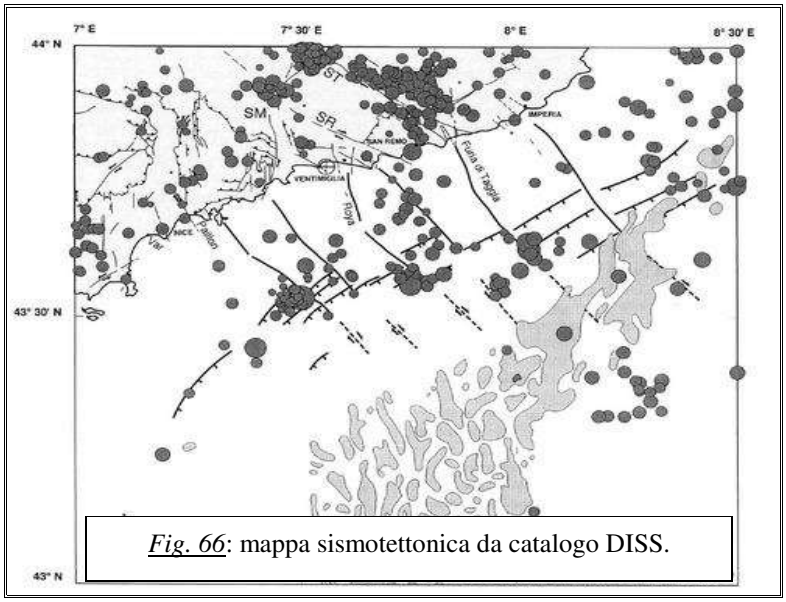



*Fig. 66*: mappa sismotettonica da catalogo DISS.

*8.2.2 Pericolosità sismica di base*

Lo studio e l'analisi sulla *Pericolosità sismica di base* dell'intero territorio nazionale trae le sue origini dalla Carta delle Zone Sismogenetiche (ZS9), che venne elaborata dal Gruppo di Lavoro (anno 2004), nella quale sono individuate le zone caratterizzate da diversi valori di *Magnitudo momento massima Mwmax*.

| **Valori di $M_{WMAX}$ per le zone sismogenetiche ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)** | | |
|---|---|---|
| ***Nome zona ZS*** | ***Numero zona ZS*** | ***$M_{WMAX}$*** |
| Medio-Marchigiana / Abruzzese, Apennino Umbro / Nizza-Sanremo | 918, 919, 910 | **6,37** |

Successivamente, grazie all'entrata in vigore delle recenti NTC '08, la *Pericolosità sismica di base*, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido affiorante (caratterizzato, quindi, da velocità delle onde sismiche trasversali Vs>800 m/s) viene definita mediante un approccio *"sito dipendente"* e non *"zona dipendente"*. Ovvero una volta trovate le coordinate del sito interessato dal progetto (coordinate nel sistema ED50), questo risulterà compreso tra quattro punti appartenenti alla griglia di accelerazioni indicate nelle Mappe di Pericolosità Sismica Nazionale, e grazie alla media pesata, ad esso competeranno valori specifici di accelerazione di base ag e dei parametri (Fo, Tc* etc. ) che consentono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle **NTC '18**.

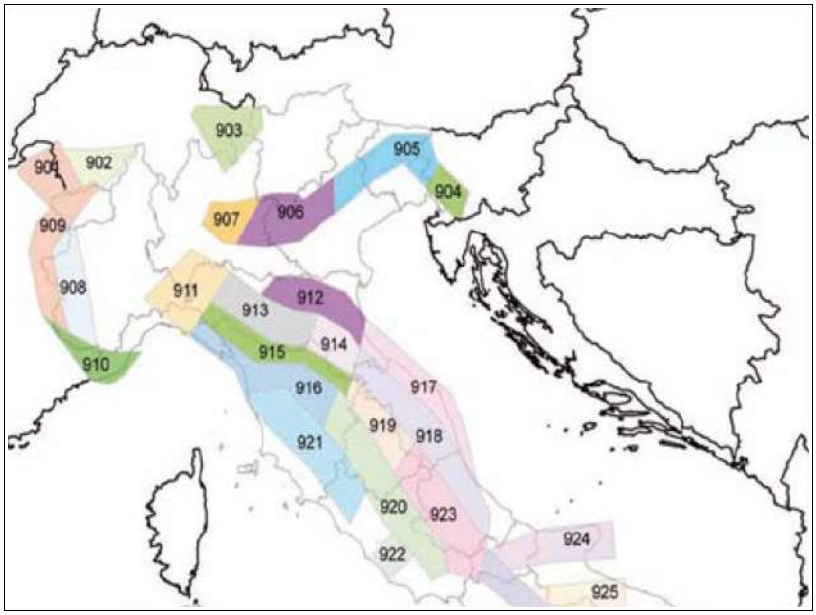



*Fig. 67:* stralcio da Carta delle Zone Sismogenetiche ZS9.




*Fig. 68:* Estratto dal catalogo DISS sulle faglia ITCS022 – Imperia.

### *8.2.3 Sismicità*

In riferimento alla classificazione sismica si ricorda che per il Comune di Imperia, per quanto indicato in Allegato A della "Classificazione sismica dei comuni italiani" delle O.P.C.M. di riferimento, ovvero l'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m., si ha che:

- Codice Istat 2001 **07008031**
- Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti sino al 1984) **2**
- Categoria secondo la proposta del G.d.L. del 1998 **3**
- Zona ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 **2**

Il Comune di Imperia, quindi, in base all'O.P.C.M. n.3274/2003, che riconsidera la normativa sismica, con l'attribuzione alle diverse località del territorio nazionale di un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento dell'accelerazione di picco orizzontale al suolo (ag), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, viene ad essere inserito in Zona 2:

| Zona | Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [$a_g$/g]. | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [$a_g$/g]. |
|---|---|---|
| 1 | > 0,25 | 0,35 |
| 2 | 0,15 - 0,25 | 0,25 |
| 3 | 0,05 – 0,15 | 0,15 |
| 4 | < 0,05 | 0,05 |

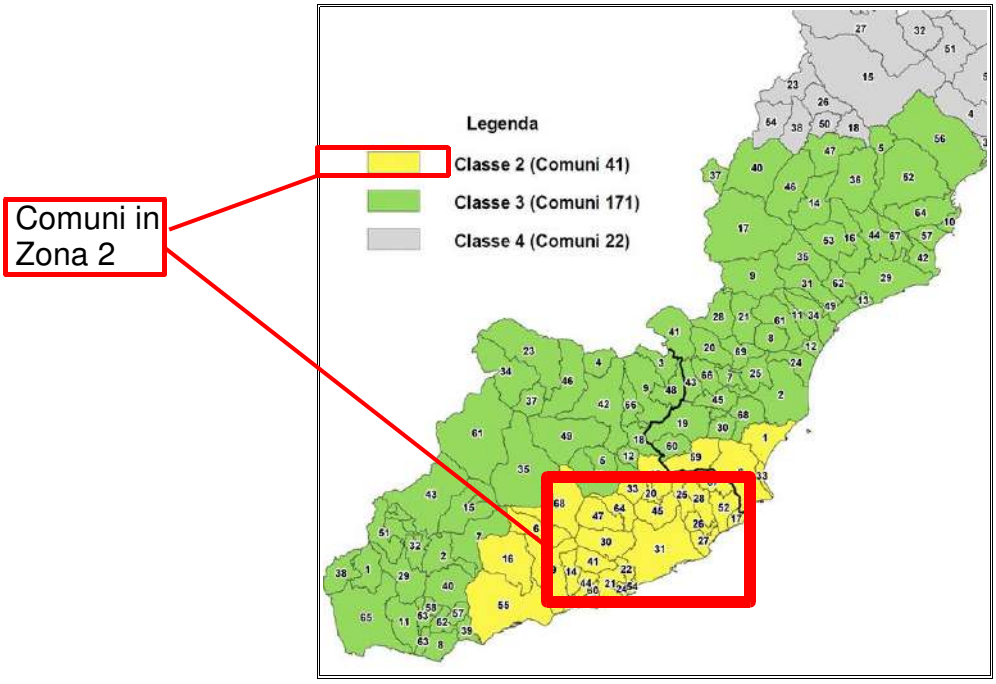
Secondo quanto riportato nella precedente **D.G.R. 1308** del **24.10.2008** della Regione Liguria, in riferimento ad una nuova classificazione sismica regionale in funzione dell'**O.P.C.M. 3519/2006,** ma soprattutto in riferimento dell'attuale **D.G.R. 1362** del **19.11.2010,** denominato *"D.M. 14.01.2008 Norme Tecniche per le costruzioni, aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"* risulta una diversa classificazione. La delibera di cui sopra ridefinisce la zonizzazione sismica del territorio regionale accorpando le precedenti zone 3A e 3B (vd **D.G.R. 1308** del **24.10.2008)** in un'unica zona 3.

A seguito dei recenti studi sismici della Regione Liguria e del DISTAV dell'UniGE (di cui alla **D.G.R 216** del **17.03.2017** ed alla **D.G.R. 962/2018**), relativi all'analisi della pericolosità sismica regionale, il territorio ligure è stato suddiviso passando dalle due classi di pericolosità precedenti alle più attuali tre classi (zona 2= media, zona 3= bassa pericolosità, zona 4= molto bassa pericolosità), riprendendo seppur con una distribuzione territoriale diversa lo scenario di pericolosità inizialmente proposto dalla mappatura nazionale dell'INGV.

In base a questa nuova classificazione per il Comune di Imperia risulta il seguente quadro:

| **Comune:** | **Num. Identific.:** | **Num. Progress.** | **Zona sismica:** |
|---|---|---|---|
| Imperia | 31 | 15 | 2 – Pga = 0,25 g |

Infine in merito al citato **D.M. 17.01.2018** (di cui alle tabelle **3.2.II** e **3.2.III**), ed in base alle risultanze delle prove geofisiche in tipologia sismica passiva, ma soprattutto per la ricostruzione litostratigrafia, e per l'elevato valore del *Contrasto di Impedenza (I)*, si può inserire cautelativamente il sito di interesse tra i suoli di **categoria *E*,** con coefficiente topografico **T1**.




*8.2.4 Considerazioni sulla liquefazione dei terreni*

In merito alla problematica della liquefazione gli scriventi hanno fatto scavare (anno 2023) le quattro trincee di cui al precedente par. 3.3 (vd Tav. 4), e nelle quali è stato prelevato il materiale inviato al Laboratorio So.spe.r.i.t. Srl di Taggia, per l'esecuzione delle analisi granulometriche.

Come risulta dalla certificazione riportata in integrale a fine relazione, e dagli estratti inseriti qui sotto, il materiale che costituisce il rilevato (prova 1 e 2), e quello che rappresenta le alluvioni mobili e/o superficiali (greto del torrente – prova 3 e 4), ha fusi granulometrici esterni a quelli che determinano il rischio di liquefazione; ciò è tra l'altro concorde con l'analisi sulla velocità delle onde sismiche (S) svolte nei terreni in oggetto con la metodologia hvsr. Si ricorda, infatti, che velocità di $Vs_1$ > 230-300 m/s non rientrano nel campo di liquefazione dei terreni.

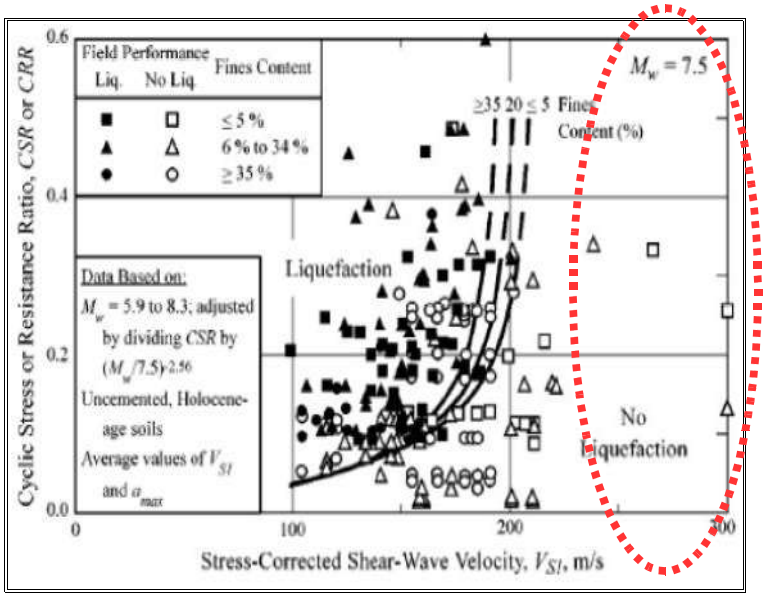



*Fig.70:* Correlazione tra CSR o CRR e la velocità delle onde S in relazione alla liquefazione.

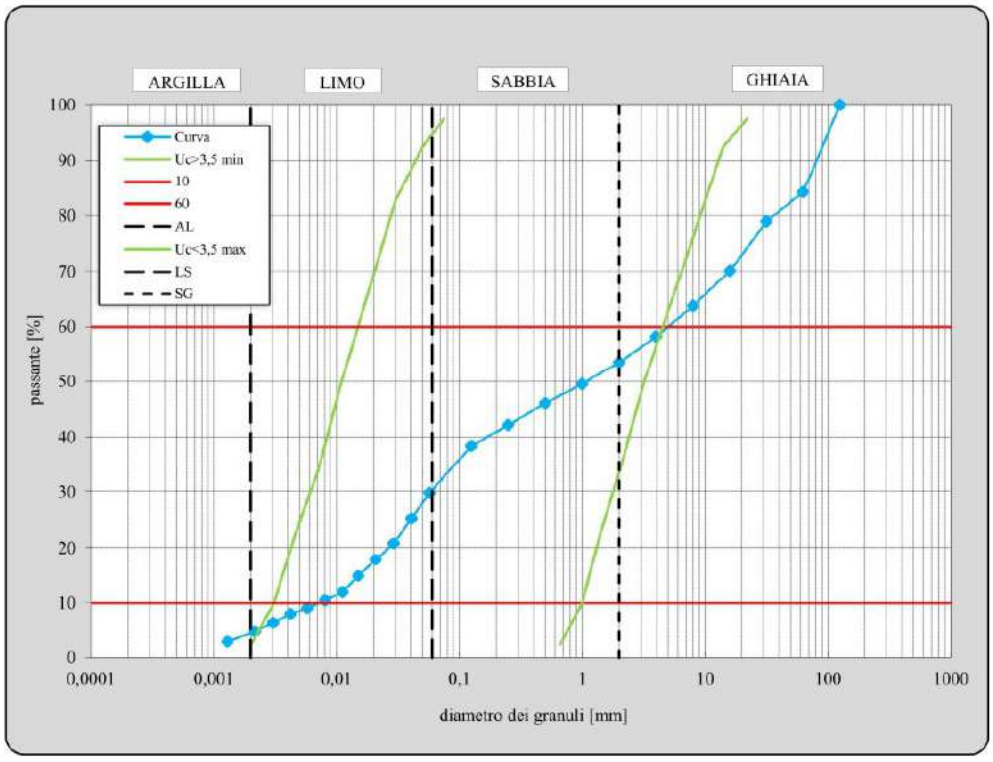



*Fig. 71:* Analisi granulometrica - Rilevato - Prova 1 (quota – 2,6 m.).

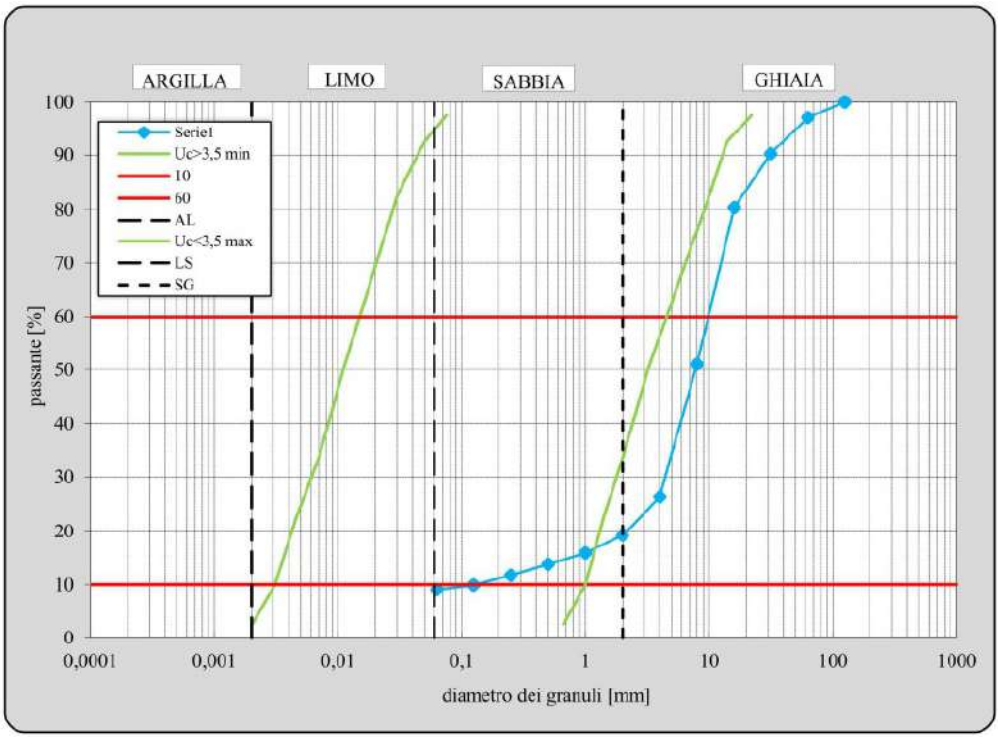



*Fig. 72:* Analisi granulometrica - Rilevato - Prova 2 (quota – 1,8 m.).

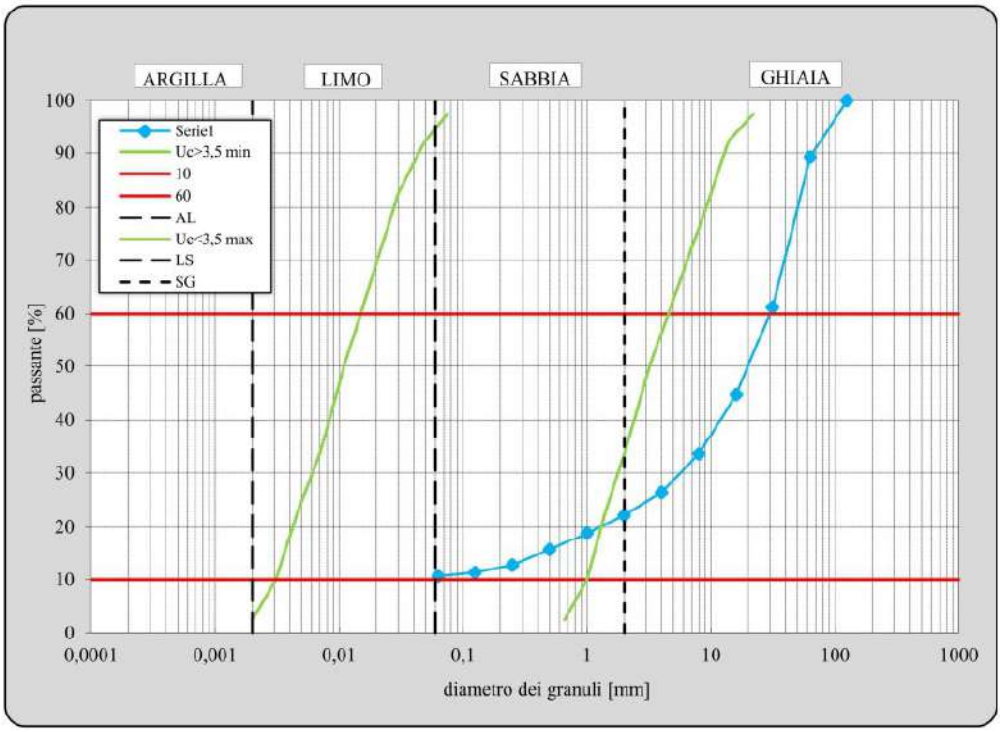



*Fig. 73:* Analisi granulometrica - Torrente - Prova 3 (quota – 2,1 m.).

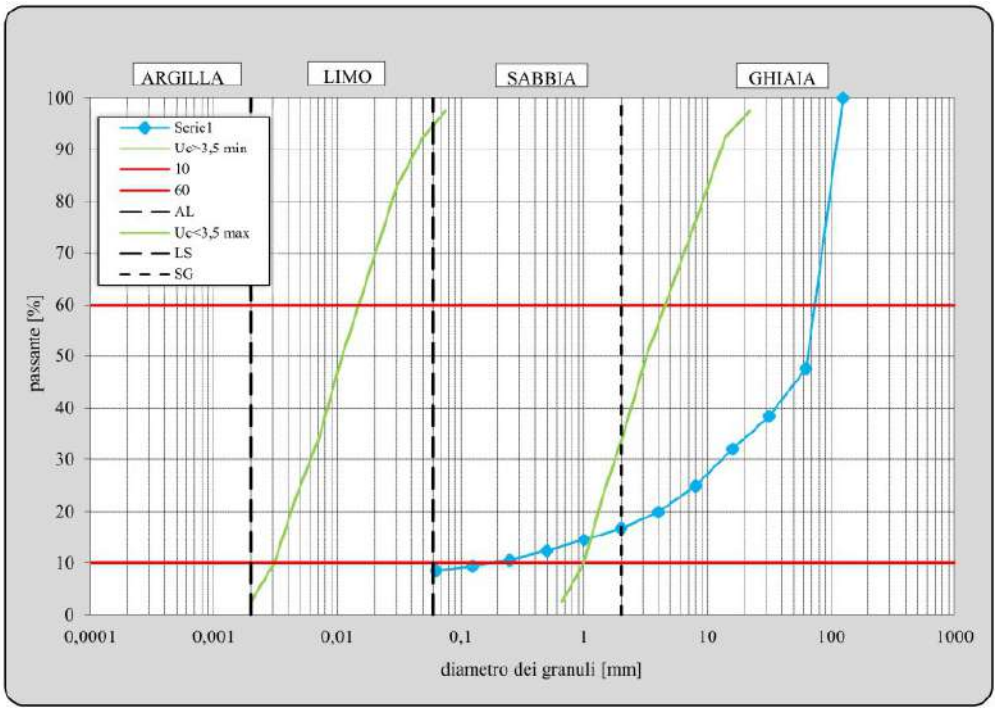



*Fig. 74:* Analisi granulometrica - Torrente - Prova 4 (quota – 2,1 m.).

### *8.3.1 Stabilità di pendio*

Per quanto riguarda la stabilità di pendio si precisa che le verifiche sono state svolte nelle *condizioni di progetto*, sulle porzioni di terreno interessate dalle opere, in particolare sia nelle condizioni di assenza di falda, sia con presenza di falda, con il metodo di Jambu (1967).

La sezione in esame (n.4) deriva direttamente dal materiale fornito dal progettista suesposto; nell'*allegato 1* sono riportati i calcoli e le figure inerenti le verifiche di stabilità svolte tramite il software Geostru– Slope vers.2024; si precisa che in tutti i casi (sup. circolare) il programma ha ricercato automaticamente il cerchio critico più cautelativo.

Nelle condizioni di progetto senza falda il coefficiente di sicurezza risulta **Fs= 1,27**; mentre nell'ipotesi con presenza di falda abbiamo **Fs= 1,15**; infine si ricorda che le verifiche di stabilità si devono ritenere valide per i valori qui riportati e che variazioni degli stessi, potranno apportare cambiamenti sia in senso migliorativo che peggiorativo; eventuali varianti al progetto dovranno, quindi, essere sempre supportate da nuove verifiche di stabilità.

# 9 - CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

In conclusione si considera, dal punto di vista geologico-geomorfologico ed allo stato attuale, fattibile il progetto in merito alla ***"Realizzazione di un tratto di arginatura lungo il Torrente Prino"*** ad Imperia. Per la realizzazione delle varie opere si dovranno, comunque, tener ben presenti alcune necessarie prescrizioni generali, tra cui quelle riportate sotto:

- occorre rispettare le indicazioni contenute all'interno della presente relazione;
- si ricorda che il sito è attualmente (***NTC 2018***) riferibile ai suoli di **categoria *E*,** con coefficiente topografico **T1**;
- si consiglia di verificare l'omogeneità di tutto il piano fondazionale ed il suo stato fisico durante lo scavo per la realizzazione delle fondazioni.
- dovranno essere predisposti tutti gli accorgimenti tecnici possibili al fine di garantire la massima sicurezza nel cantiere;
- si ricorda, in generale, di attenersi alle norme del **DPR 164/56** (al **capo III**) e ss.mm.ii. ed in caso di maltempo, ricoprire gli scavi-sbancamenti con teli impermeabili (PVC);
- in caso di **allerta meteo**, e comunque in occasione di avverse condizioni meteorologiche, le operazioni dovranno essere rimandate, o se già iniziate, dovranno essere immediatamente sospese e l'intervento eseguito dovrà essere posto in sicurezza;
- i materiali di scavo saranno sistemati in sito per livellare il terreno nei confronti di Via Caprile, le eventuali eccedenze dovranno essere condotte in apposito centro;
- è necessario avvalersi della presenza del geologo (**Assistenza Geologica alla D.L.**) durante tutti i lavori per la verifica dello stato del terreno, delle strutture e per eventuali interventi di varianti che si dovessero rendere necessarie.

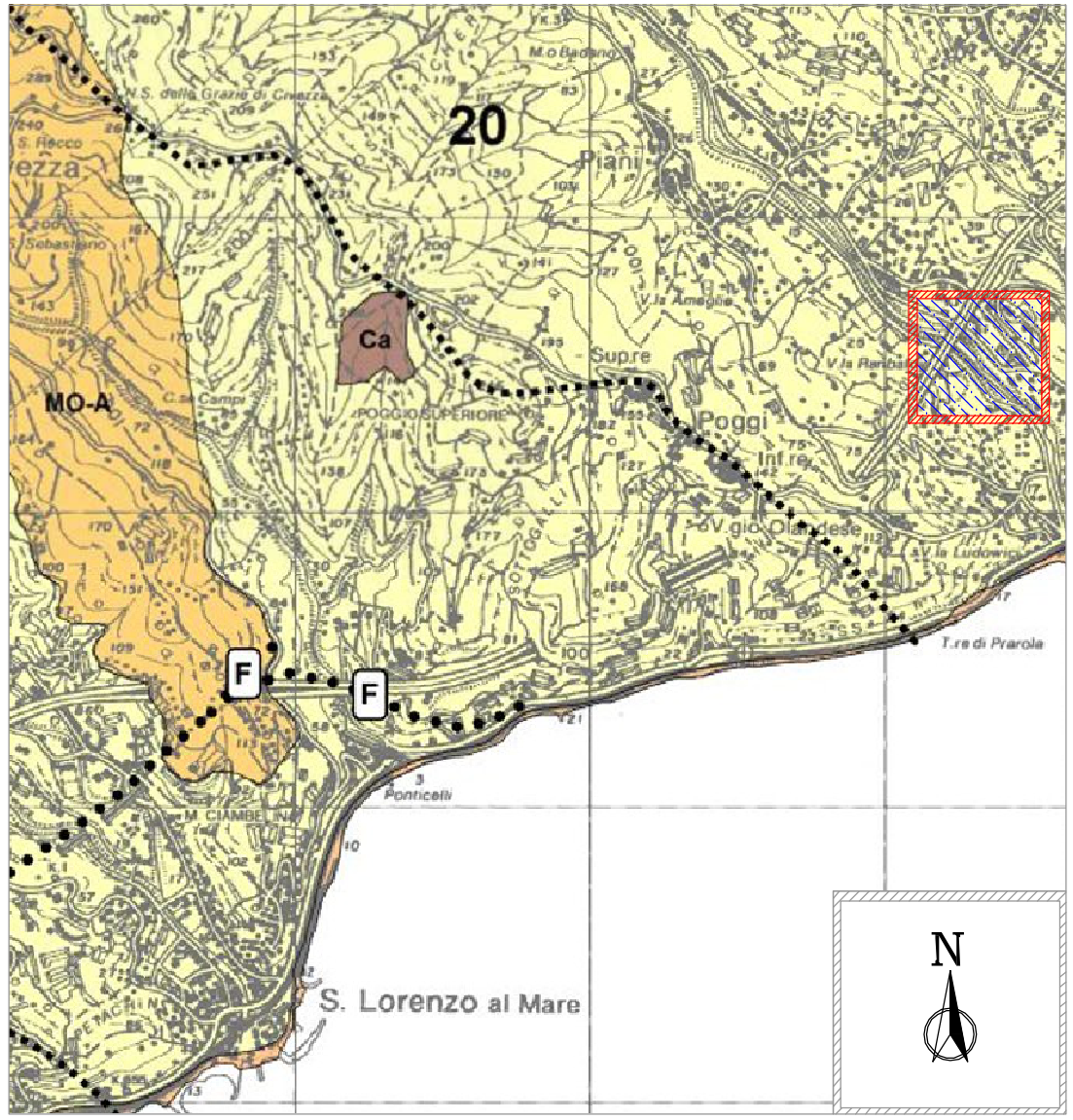
Taggia, lì novembre 2025

**Geol. P. ANFOSSI**

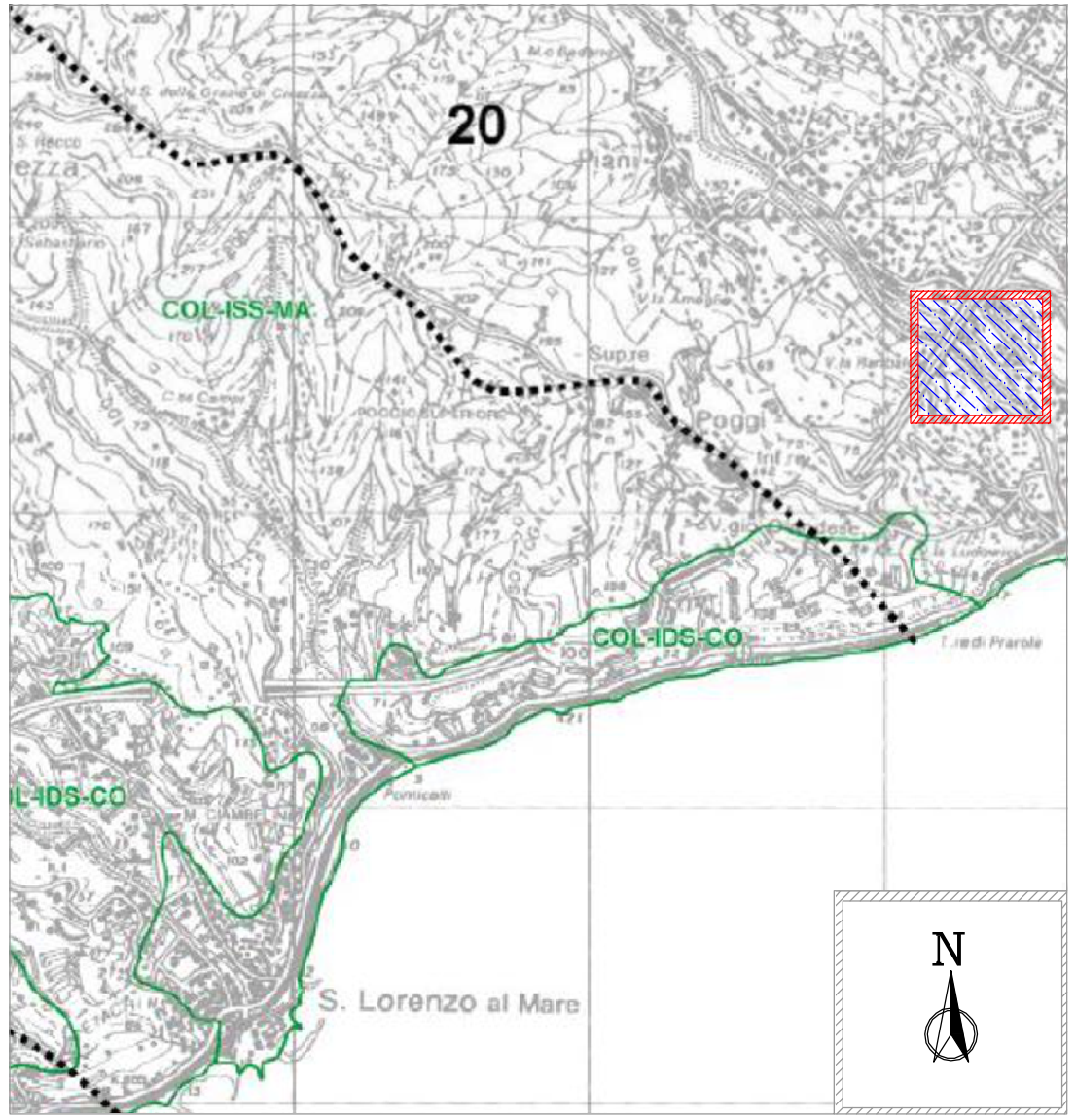
**Geol. A. GUARDIANI**

*BIBLIOGRAFIA*


- Foglio 102 Carta Geologica d'Italia;
- Carta geologica Progetto CARG – Tav. n° 258.2 – Reg. Liguria;
- Guide Geologiche regionali – Vol. 2;
- Manuale del Geologo – Casadio/Elmi
- Piano di Bacino;
- Software freeware ("VsEqu" - da geologi.it) del dott. Geol. F. Cetraro;
- "I Quaderni" - Modellazione sismica e stabilità alla liquefazione - [quaderno di approfondimento alle Linee Guida NTC 08] da Gruppo Interregionale Ordine dei Geologi;
- Il dissesto idrogeologico – Gisotti;
- Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata – Roccaforte/Cucinotta;
- Manuali e Software Geostru.




*"Assetto geomorfologico* ***MO-B"***




*"Assetto vegetazionale* ***COL-ISS"***

## Legenda

Area di interesse su P.T.C.P. *"Assetto geomorfologico "* e *"Assetto vegetazionale"* della Regione Liguria - **T.59**.

Titolo Tavola:

**COROGRAFIA GENERALE**

Lavoro:

**RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA**
**PER LA *"REALIZZAZIONE DI UN TRATTO DI ARGINATURA LUNGO IL TORRENTE PRINO"***

Committente:

Soc. **CENTRO PETROLI IMPIANTI S.r.l.**
Via Periane, n. 21
18018 - Taggia (IM)

a cura di:

Geol. A. Guardiani
Geol. P. Anfossi

Scala: 1: 25.000

Rif: 1101 - 2025

TAV. 1




## Legenda

Area di interesse per il presente progetto su F.5
Sez. Porto Maurizio del Catasto del Comune di IMPERIA.

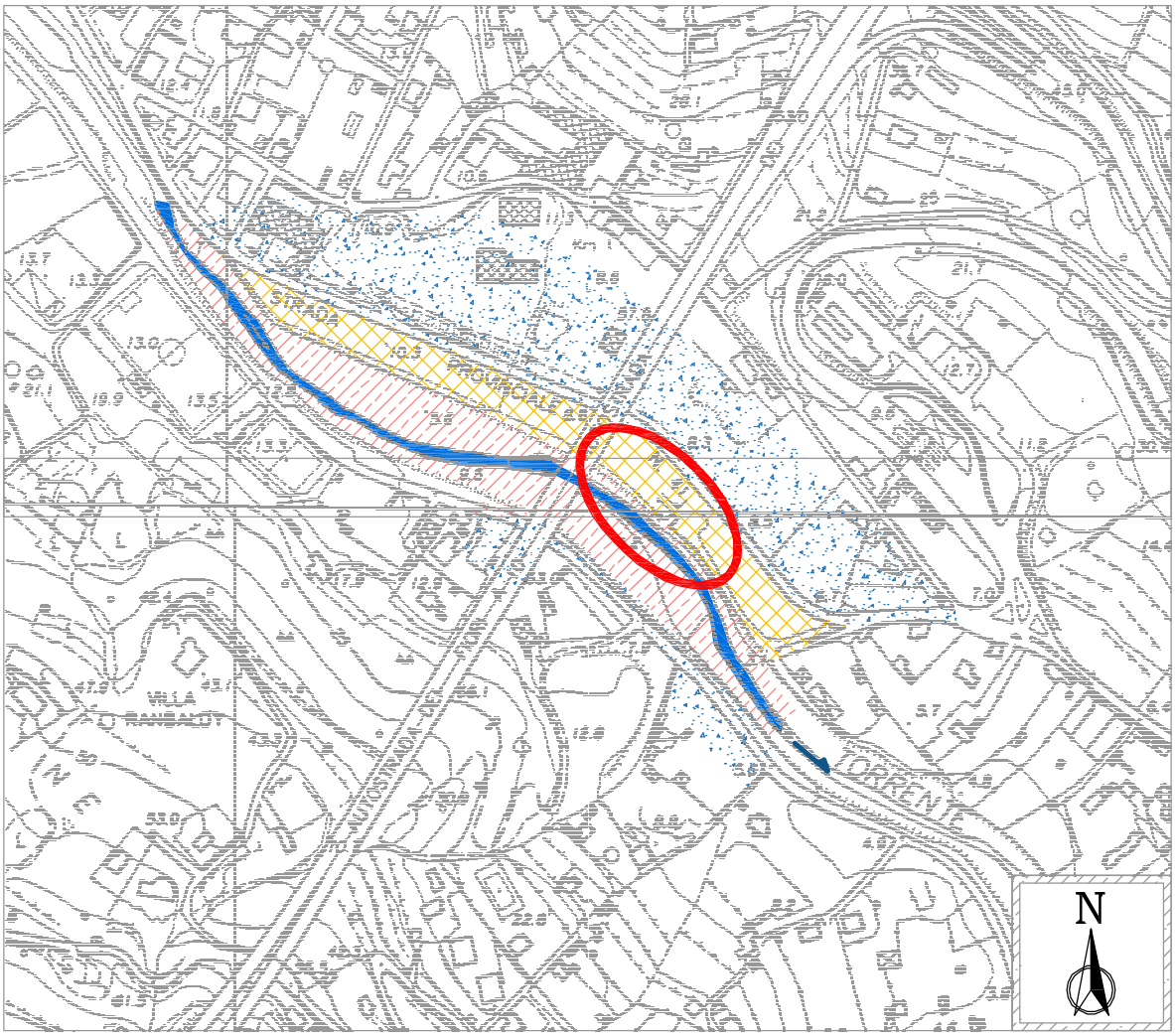
Titolo Tavola:

**STRALCIO CATASTALE**

Lavoro:

**RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA**
**PER LA *"REALIZZAZIONE DI UN TRATTO DI ARGINATURA LUNGO IL TORRENTE PRINO"***

| Committente: | a cura di: | Scala: | |
|---|---|---|---|
| Soc. **CENTRO PETROLI IMPIANTI S.r.l.**<br>Via Periane, n. 21<br>18018 - Taggia (IM) | Geol. A. Guardiani<br>Geol. P. Anfossi | ////<br>Rif: 1101 - 2025 | TAV. 2 |




## Legenda

Terreno di interesse.

Depositi di materiali antropici.

Depositi alluvionali (b) o alluvioni mobili.

Depositi alluvionali terrazzati (bn1).

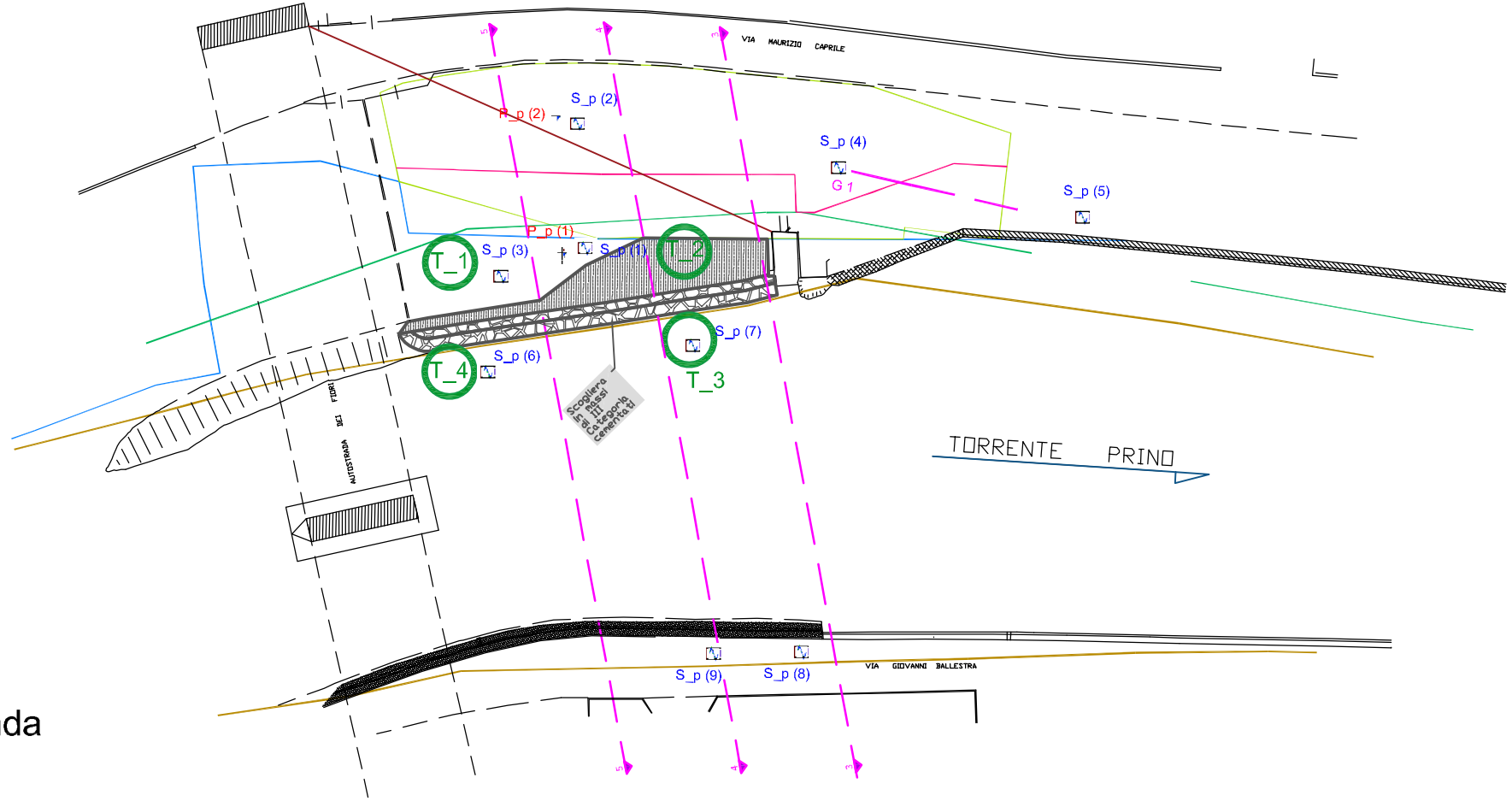
Titolo Tavola:

# CARTA GEOLOGICA STRALCIO

Lavoro:

**RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA**
**PER LA *"REALIZZAZIONE DI UN TRATTO DI ARGINATURA LUNGO IL TORRENTE PRINO"***

| Committente: | a cura di: | Scala: | |
|---|---|---|---|
| Soc. **CENTRO PETROLI IMPIANTI S.r.l.**<br>Via Periane, n. 21<br>18018 - Taggia (IM) | Geol. A. Guardiani<br>Geol. P. Anfossi | 1: 5.000<br>Rif:<br>1101 - 2025 | TAV. 3 |




## Legenda

S_p (2) — Prova sismica passiva HVSR (posiz. appross. - num prova).

P_p (2) — Prova penetrom. medio-leggera (posiz. appross. - num prova).

G 1 — Stendimento sismico a rifrazione (posiz. appross. - primo geofono).

T_1 — Trincea di indagine e punto di prelievo del materiale su cui sono state eseguite prove granulometriche.

Titolo Tavola:

**UBICAZIONE INDAGINI**

Lavoro:

**RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA**
**PER LA *"REALIZZAZIONE DI UN TRATTO DI ARGINATURA LUNGO IL TORRENTE PRINO"***

Committente:

Soc. **CENTRO PETROLI IMPIANTI S.r.l.**
Via Periane, n. 21
18018 - Taggia (IM)

a cura di:

Geol. A. Guardiani
Geol. P. Anfossi

Scala: ////

Rif: 1101 - 2025

TAV. 4



Foto 1: prova penetrometrica P_p (1).



Foto 2: prova penetrometrica P_p (2).



Foto 3: prova sismica passiva S_p (1).



Foto 4: prova sismica passiva S_p (2)

| Committente: | a cura di: | Scala: | **REPORT FOTOGRAFICO** |
|---|---|---|---|
| Soc. **CENTRO PETROLI IMPIANTI S.r.l.**<br>Via Periane, n. 21<br>18018 - Taggia (IM) | Geol. A. Guardiani<br>Geol. P. Anfossi | ////<br>Rif:<br>1101 - 2025 | |



Foto 5: prova sismica passiva S_p (7).



Foto 6: trincea T (3).



Foto 7: trincea T (4).



Foto 8: stendimento sismico.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Committente:<br>Soc. **CENTRO PETROLI IMPIANTI S.r.l.**<br>Via Periane, n. 21<br>18018 - Taggia (IM) | a cura di:<br>Geol. A. Guardiani<br>Geol. P. Anfossi | Scala:<br>//// | **REPORT FOTOGRAFICO** |
| | | Rif:<br>1101 - 2025 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Committente:<br>Soc. **CENTRO PETROLI IMPIANTI S.r.l.**<br>Via Periane, n. 21<br>18018 - Taggia (IM) | a cura di:<br>Geol. A. Guardiani<br>Geol. P. Anfossi | Scala:<br>////<br>Rif:<br>1101 - 2025 | ***ALLEGATI*** |

# RELAZIONE DI CALCOLO
## (SOFTWARE GEOSTRU – SLOPE vers. 2024)

**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:

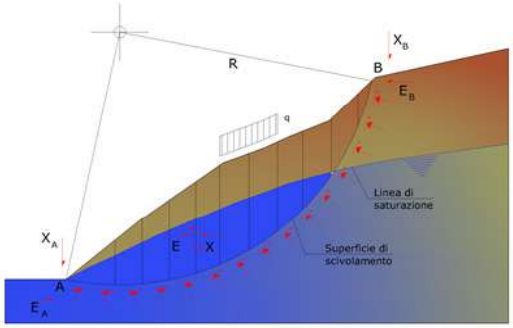
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( c ) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido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

2. 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 (τ) 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 quanto 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.

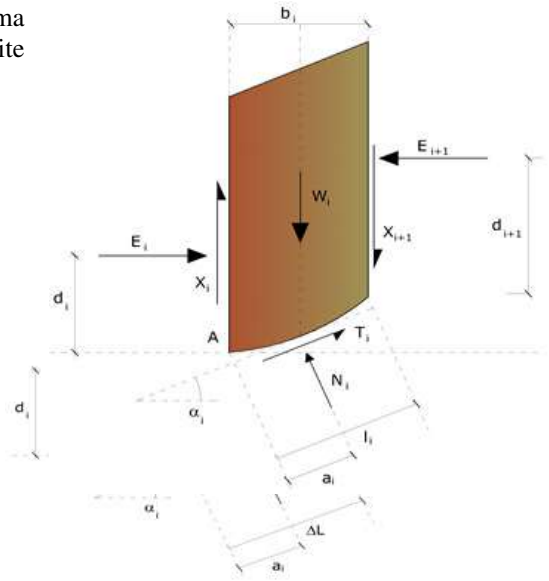
**Metodo di Fellenius (1927)**
Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- n valori delle forze normali $N_i$;
- n valori delle forze da taglio $T_i$;
- 1 fattore di sicurezza.

Incognite (2n+1).
Le equazioni a disposizione sono:

- n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
- n equazioni relative al criterio di rottura;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

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



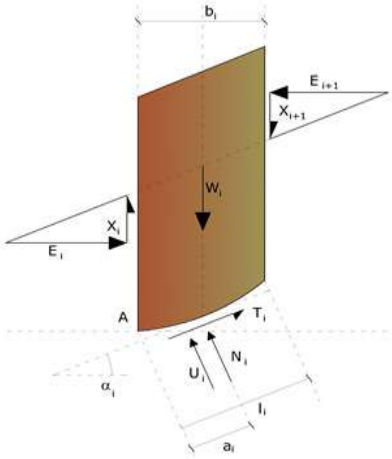

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

**Metodo di Bishop (1955)**

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_O = 0 \qquad \textbf{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\} \times \dfrac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$



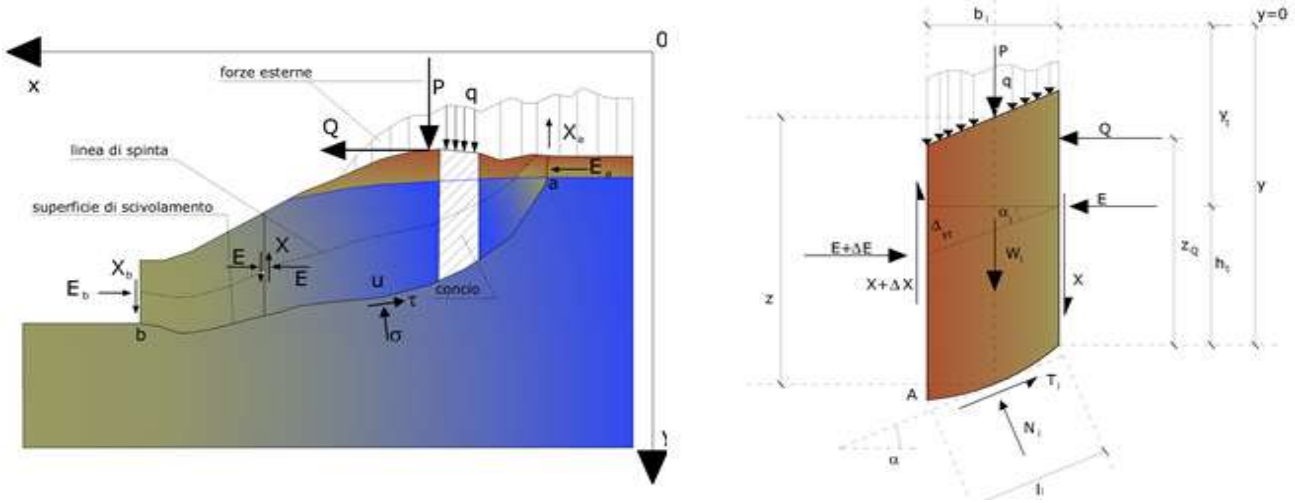

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre ΔX = 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario,** gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

**Metodo di Janbu (1967)**

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\} \times \dfrac{\sec^2\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan\alpha_i}$$

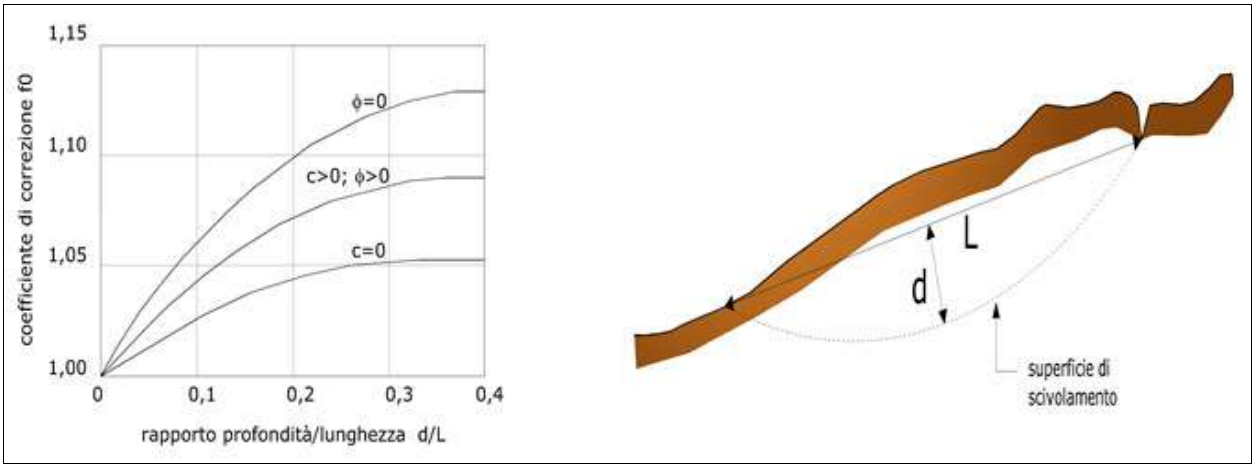



*Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso*

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{corretto} = f_0 \cdot F$$

dove $f_0$ è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

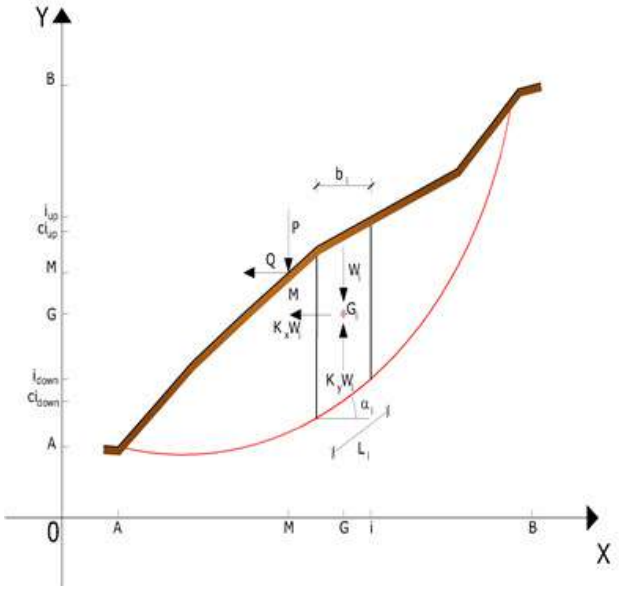



**Metodo di Bell (1968)**

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, W, le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali $K_XW$ e $K_ZW$, le forze orizzontali e verticali X e Z applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio $\sigma$ e $\tau$ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.
Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori u che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.
In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.
In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell'i-esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i)\tan\Phi_i}{F}$$

in cui:
**F** = il fattore di sicurezza;
$\mathbf{c_i}$ = la coesione efficace (o totale) alla base dell'i-esimo concio;
$\boldsymbol{\phi_i}$ = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell'i-esimo concio;
$\mathbf{L_i}$ = la lunghezza della base dell'i-esimo concio;
$\mathbf{u_{ci}}$ = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.




L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.
Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$$W_i \cos \alpha_i / L_i = \textbf{valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci}$$

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

dove $\mathbf{x_0}$ ed $\mathbf{x_n}$ sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre $\mathbf{x_{ci}}$ rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.
Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno $K_Z$ g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore (1 - $K_Z$).
Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F, sostituendo l'espressione di $N_i$ e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario $C_3$. Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.
Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

**Metodo di Sarma (1973)**
Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica $K_C$) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.
Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale $N_i$ agisce nel punto medio della base della striscia.
Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

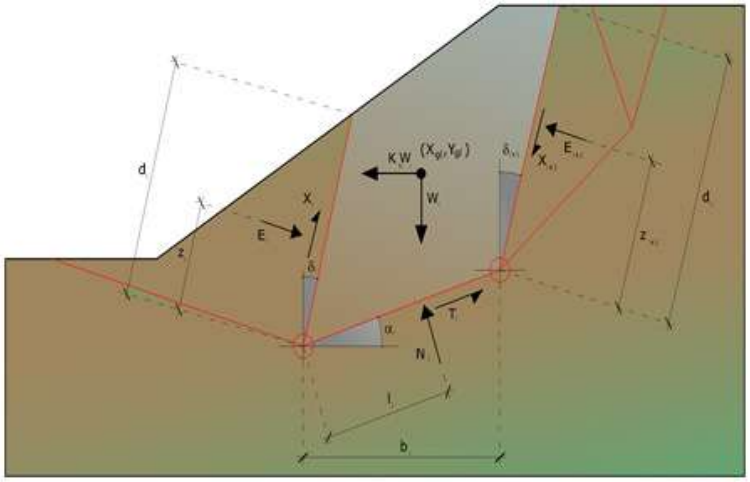
$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$
$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = K W_i + \Delta E_i$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\Sigma \Delta E_i = 0 \qquad \Sigma \Delta X_i = 0$$

dove $E_i$ e $X_i$ rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i-esima del concio generico i.

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:




*Azioni sull' iesimo concio, metodo di Sarma*

$$\sum \Delta X_i \cdot tg\left(\psi_i' - \alpha_i\right) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot \left[\left(y_{mi} - y_G\right) \cdot tg\left(\psi_i' - \alpha'\right) + \left(x_i' - x_G\right)\right] = \sum W_i \cdot \left(x_{mi} - x_G\right) + \sum \Delta_i \cdot \left(y_{mi} - y_G\right)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di **K** (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione **K** corrispondente al fattore di sicurezza **F = 1** , ossia l'accelerazione critica.
Si ha pertanto:

| | |
|---|---|
| K=Kc | **Accelerazione critica** se F=1 |
| F=Fs | **Fattore di sicurezza in condizioni statiche** se K=0 |

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne $X_i$ ed $E_i$ tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura. E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze $X_i$:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot \left(Q_{i+1} - Q_i\right)$$

dove $Q_i$ è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla i-esima faccia del concio i, e $\lambda$ rappresenta un'incognita.
La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di $K_c$, $\lambda$ e F, che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### Metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

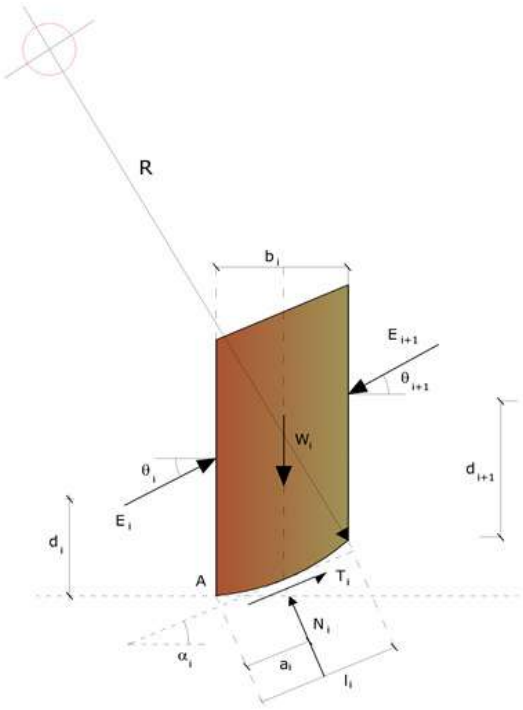
1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ;
1. tutti i momenti sono nulli $M_i$ =0 con i=1…..n.

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale ametodo di Morgenstern e Price quando la funzione f(x) = 1. Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

1) $$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s}\left(W\cos\alpha - \gamma_w hl \sec\alpha\right)\frac{tg\alpha}{F_s} - Wsen\alpha}{\cos(\alpha-\theta)\left[\frac{F_s + tg\varphi tg(\alpha-\theta)}{F_s}\right]}$$




forza d'interazione fra i conci;
**R** = raggio dell'arco di cerchio;
**θ** = angolo d'inclinazione della forza $Q_i$ rispetto all'orizzontale.
Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos\theta) = 0$$
$$\sum (Q_i sen\theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze $Q_i$ parallele fra loro, si può anche scrivere:

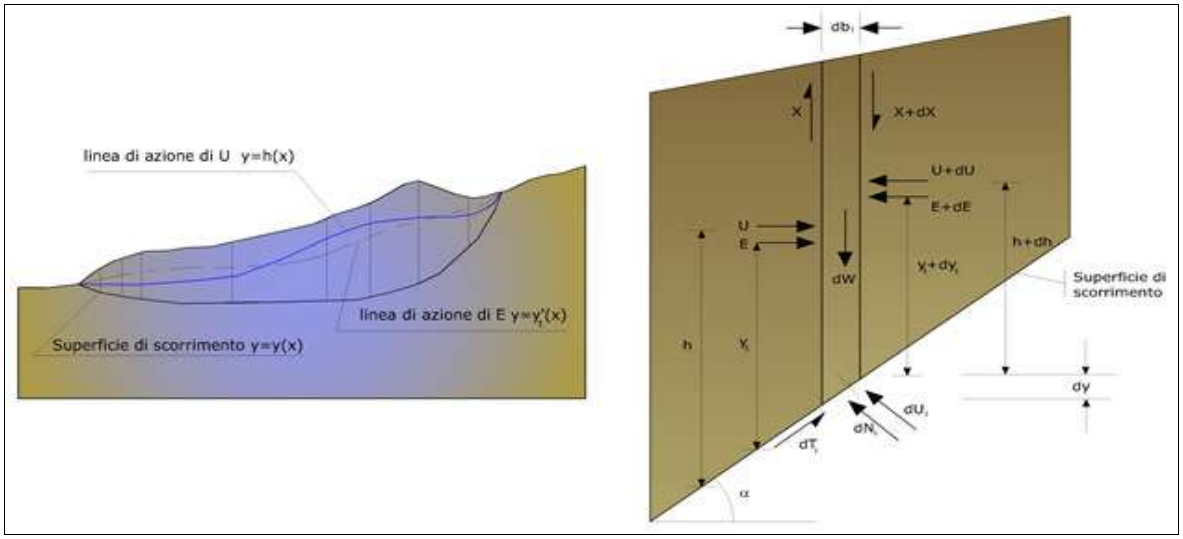
2) $$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ($F_{sm}$) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ($F_{sf}$) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ, considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia:

$$F_{sm} = F_{sf}$$

**Metodo di Morgenstern e Price (1965)**
Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo X = λ f(x)E, dove λ è un fattore di scala e f(x), funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione f(x) è scelta arbitrariamente (costante, sinusoide, semisinusoide, trapezia, spezzata…) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.
La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza $F_S$, il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU.
Si ottiene la cosiddetta "**equazione delle forze**":

$$c'\sec^2\frac{\alpha}{F_s} + tg\phi'\left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg\alpha\frac{dE}{dx} - \sec\alpha\frac{dU}{dx}\right) = \qquad = \frac{dE}{dx} - tg\alpha\left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx}\right)$$



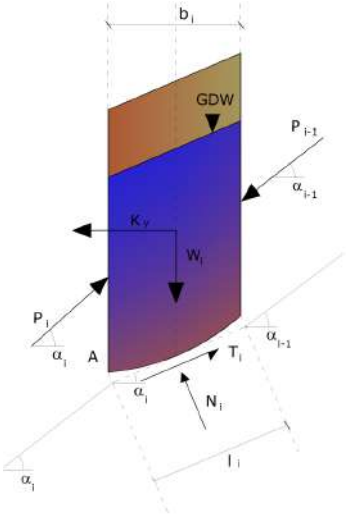

*Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso*

Una seconda equazione, detta "**equazione dei momenti**", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X = \frac{d\left(E_{\gamma}\right)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.
Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

**Metodo di Zeng e Liang (2002)**




Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso di pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce un striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza che il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, il diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali (s/d) il parametro adimensionale determinante per la formazione dell'effetto arco. Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminatezza pari a (8n-4), ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.
Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:

-Ky sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da (n-1) a (7n-3);
-Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da n a (6n-3);
-La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da (n-1) a (5n-2);
-Le forze (Pi-1) e Pi si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia ( αi), riducendo il numero di incognite da (n-1) a (4n-1);
-Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da (n) a (3n-1);

Il numero totale di incognite quindi è ridotto a (3n), da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità R, chiamato fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) \cdot R_p$$

Il fattore R dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore $R_p$ che tiene conto dell'effetto arco.

**Valutazione dell'azione sismica**

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata 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 vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$
$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- $\mathbf{F_H}$ e $\mathbf{F_V}$ rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- **W** peso concio; $\mathbf{K_x}$ coefficiente sismico orizzontale; $\mathbf{K_y}$ coefficiente sismico verticale.

**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×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

**Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali**

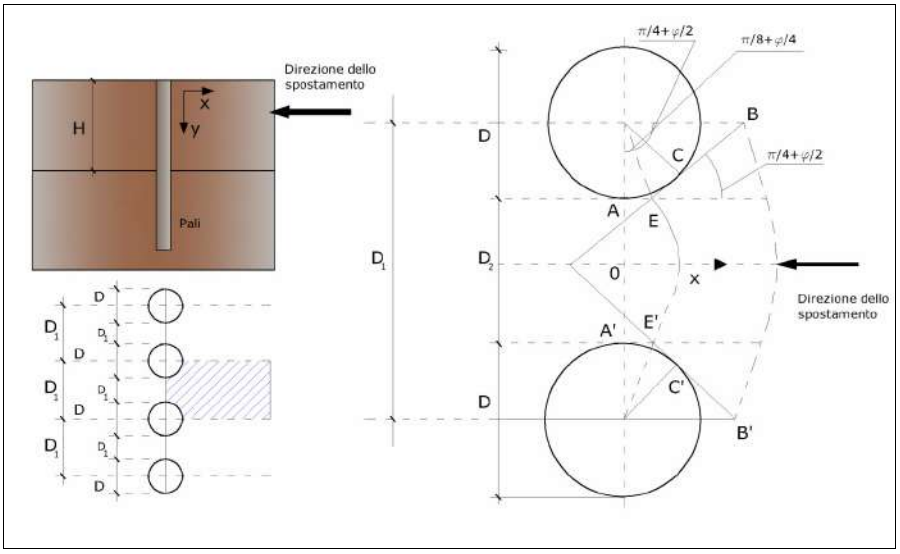
La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato in relazione alle ipotetiche superfici di rottura che responsabilmente possono essere assunte come quelle più probabili. In ogni caso si opera considerando una massa di terreno in movimento su un ammasso stabile sul quale attestare, per una certa lunghezza, l'allineamento di pali.
Il terreno, nelle due zone, ha una influenza diversa sull'elemento monoassiale (palo): di tipo sollecitativi nella parte superiore (palo passivo – terreno attivo) e di tipo resistivo nella zona sottostante (palo attivo – terreno passivo). Da questa interferenza, fra "sbarramento" e massa in movimento, scaturiscono le azioni stabilizzanti che devono perseguire le seguenti finalità:

1. conferire al pendio un coefficiente di sicurezza maggiore di quello posseduto;
2. essere assorbite dal manufatto garantendone l'integrità (le tensioni interne, derivanti dalle sollecitazioni massime trasmesse sulle varie sezioni del singolo palo, devono risultare inferiori a quelle ammissibili del materiale) e risultare inferiori al carico limite sopportabile dal terreno, calcolato, lateralmente considerando l'interazione (palo–terreno).

**Carico limite relativo all'interazione fra i pali ed il terreno laterale**

Nei vari tipi di terreno che non hanno un comportamento omogeneo, le deformazioni in corrispondenza della zona di contatto non sono legate fra di loro. Quindi, non potendo associare al materiale un modello di comportamento perfettamente elastico (ipotesi che potrebbe essere assunta per i materiali lapidei poco fratturati), generalmente si procede

imponendo che il movimento di massa sia nello stato iniziale e che il terreno in adiacenza ai pali sia nella fase massima consentita di plasticizzazione, oltre la quale si potrebbe verificare l'effetto indesiderato che il materiale possa defluire, attraverso la cortina di pali, nello spazio intercorrente fra un elemento e l'altro.




Imponendo inoltre che il carico assorbito dal terreno sia uguale a quello associato alla condizione limite ipotizzata e che fra due pali consecutivi, a seguito della spinta attiva, si instauri una sorta di effetto arco, gli autori T. Ito e T. Matsui (1975) hanno ricavato la relazione che permette di determinare il carico limite. A questa si è pervenuto facendo riferimento allo schema statico, disegnato nella figura precedente e alle ipotesi anzidette, che schematicamente si ribadiscono.

- Sotto l'azione della spinte attiva del terreno si formano due superfici di scorrimento localizzate in corrispondenza delle linee AEB ed A'E'B;
- Le direzioni EB ed E'B' formano con l'asse x rispettivamente angoli +(45 + φ/2) e –(45 + φ/2);
- Il volume di terreno, compreso nella zona delimitata dai vertici AEBB'E'A' ha un comportamento plastico, e quindi è consentita l'applicazione del criterio di rottura di Mohr-coulomb;
- La pressione attiva del terreno agisce sul piano A-A';
- I pali sono dotati di elevata rigidezza a flessione e taglio.

Detta espressione, riferita alla generica profondità Z, relativamente ad un spessore di terreno unitario, è la seguente:

$$P(Z)=C\cdot D_1\left(D_1/D_2\right)^{k1}\left[1/\left(N_\phi\, tag\,\phi\right)\left(e^{k2}-2\left(N_\phi\right)^{1/2} tag\,\phi-1\right)+K3\right]-C\left[D_1\cdot K_3-D_2/\left(N_\phi\right)^{1/2}\right]+\gamma\, Z/N_\phi\left[D_1\left(D_1/D_2\right)^{k1}\cdot e^{k2}-D_2\right]$$

dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:

**C** = coesione terreno; **φ** = angolo di attrito terreno;
**γ** = peso specifico terreno; **D1** = interasse tra i pali;
**D2** = spazio libero fra due pali consecutivi; $\mathbf{N_\varphi} = tag^2(\pi/4 + \varphi/2)$

$$K_1=\left(N_\phi\right)^{1/2} tag\,\phi+N_\phi-1 \qquad K_2=\left(D_1-D_2\right)/D_2\cdot N_\phi\, tag\left(\pi/8+\phi/4\right)$$
$$K_3=\left[2\,tag\,\phi+2\left(N_\phi\right)^{1/2}+1/\left(N_\phi\right)^{1/2}\right]/\left[\left(N_\phi\right)^{1/2} tag\,\phi+N_\phi-1\right]$$

La forza totale, relativamente ad uno strato di terreno in movimento di spessore H, è stata ottenuta integrando l'espressione precedente.

In presenza di terreni granulari (condizione drenata), nei quali si può assumere c = 0, l'espressione diventa:

$$P = 1/2\,\gamma \cdot H^2 / N_\phi \left[ D_1 \left( D_1 / D_2 \right)^{k1 \cdot} e^{k2} - D_2 \right]$$

Per terreni coesivi (condizioni non drenate), con φ = 0 e C ≠ 0, si ha:

$$P(z) = C\left[ D_1 \left( 3\ln\left( D_1 / D_2 \right) + \left( D_1 - D_2 \right) / D_2\, tag\, \pi/8 \right) - 2\left( D_1 - D_2 \right) \right] + \gamma \cdot Z\left( D_1 - D_2 \right)$$

$$P = \int_0^H P(Z)\, dZ$$

$$P = C \cdot H\left[ D_1 \left( 3\ln\left( D_1 / D_2 \right) + \left( D_1 - D_2 \right) / D_2\, tag\, \pi/8 \right) - 2\left( D_1 - D_2 \right) \right] + 1/2\,\gamma H^2 \left( D_1 - D_2 \right)$$

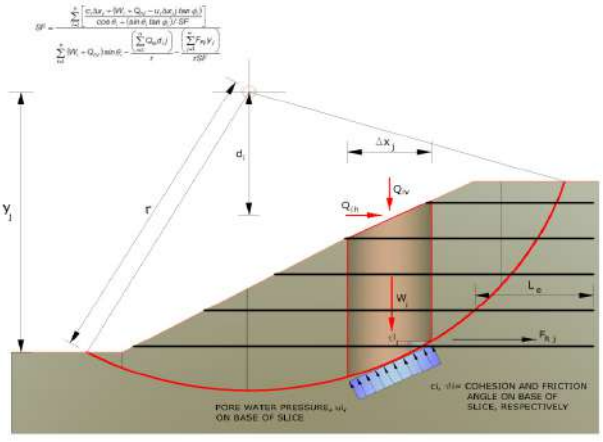
Il dimensionamento della cortina di pali, che come già detto deve conferire al pendio un incremento del coefficiente di sicurezza e garantire l'integrità del meccanismo palo-terreno, è abbastanza problematica. Infatti tenuto conto della complessità dell'espressione del carico P, influenzata da diversi fattori legati sia alle caratteristiche meccaniche del terreno sia alla geometria del manufatto, non è facile con una sola elaborazione pervenire alla soluzione ottimale. Per raggiungere lo scopo è necessario pertanto eseguire diversi tentativi finalizzati:

- A trovare, sul profilo topografico del pendio, la posizione che garantisca, a parità di altre condizioni, una distribuzione dei coefficienti di sicurezza più confortante;
- A determinare la disposizione planimetrica dei pali, caratterizzata dal rapporto fra interasse e distanza fra i pali (D2/D1), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno; sperimentalmente è stato riscontrato che, escludendo i casi limiti (D2 = 0 P→ ∞ e D2 = D1 P→ valore minimo), i valori più idonei allo scopo sono quelli per i quali tale rapporto risulta compreso fra 0,60 e 0,80;
- A valutare la possibilità di inserire più file di pali ed eventualmente, in caso affermativo, valutare, per le file successive, la posizione che dia più garanzie in termini di sicurezza e di spreco di materiali;
- Ad adottare il tipo di vincolo più idoneo che consente di ottenere una distribuzione più regolare delle sollecitazioni; sperimentalmente è stato constatato che quello che assolve, in maniera più soddisfacente, allo scopo è il vincolo che impedisce le rotazioni alla testa del palo.

**Metodo del carico limite di Broms**

Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.

Il problema di calcolo del carico limite orizzontale è stato affrontato da Broms sia per il mezzo puramente coesivo che per il mezzo incoerente, il metodo di calcolo seguito è basato su alcune ipotesi semplificative per quanto attiene alla reazione esercitata dal terreno per unità di lunghezza di palo in condizioni limite e porta in conto anche la resistenza a rottura del palo (*Momento di plasticizzazione*).




**Elemento Rinforzo**

I Rinforzi sono degli elementi orizzontali, la loro messa in opera conferisce al terreno un incremento della resistenza allo scorrimento. Se l'elemento di rinforzo interseca la superficie di scorrimento, la forza resistente sviluppata dall'elemento entra nell'equazione di equilibrio del singolo concio, in caso contrario l'elemento di rinforzo non ne influenza la stabilità.

+

Le verifiche di natura interna hanno lo scopo di valutare il livello di stabilità dell'ammasso rinforzato, quelle calcolate sono la verifica a rottura dell'elemento di rinforzo per trazione e la verifica a sfilamento (*Pullout*). Il parametro che fornisce la resistenza a trazione del rinforzo, $T_{Allow}$, si calcola dalla

resistenza nominale del materiale con cui è realizzato il rinforzo ridotto da opportuni coefficienti che tengono conto dell'aggressività del terreno, danneggiamento per effetto creep e danneggiamento per installazione.
L' altro parametro è la resistenza a sfilamento (*Pullout* ) che viene calcolata attraverso la seguente relazione:

$$T_{\text{Pullout}} = 2 \cdot \text{Le} \cdot \sigma'^{v} \cdot f_b \cdot \tan(\delta)$$

Per geosintetico a maglie chiuse:

$$f_b = \frac{\tan(\delta)}{\tan(\phi)}$$

dove:

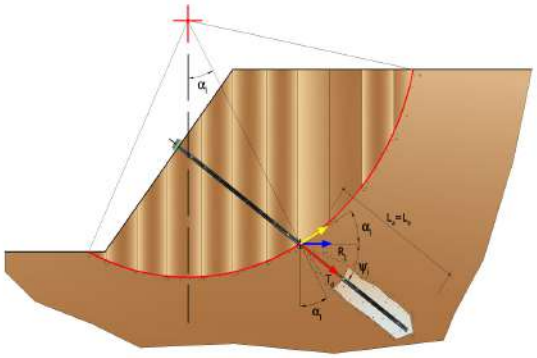
| | |
|---|---|
| $\delta$ | Rappresenta l'angolo di attrito tra terreno e rinforzo; |
| $T_{Pullout}$ | Resistenza mobilitata da un rinforzo ancorato per una lunghezza $L_e$ all'interno della parte stabile del terreno; |
| $L_e$ | Lunghezza di ancoraggio del rinforzo all'interno della parte stabile; |
| $f_b$ | Coefficiente di *Pullout*; |
| $\sigma'_v$ | Tensione verticale, calcolata alla profondità media del tratto di rinforzo ancorato al terreno. |

Ai fini della verifica si sceglie il valore minimo tra $T_{Allow}$ e $T_{Pullout}$, la verifica interna verrà soddisfatta se la forza trasmessa dal rinforzo generata a tergo del tratto rinforzato non supera il valore della T'.

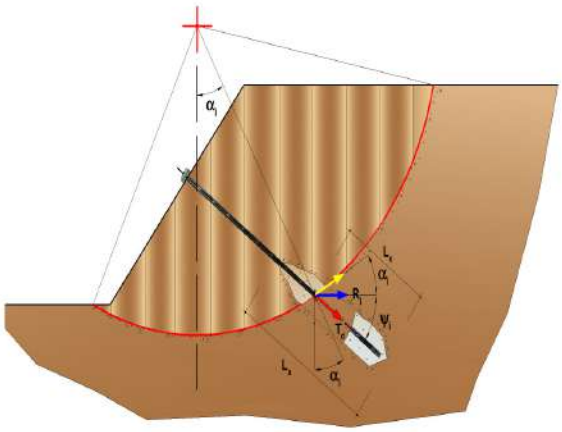
**Ancoraggi**
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.
Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione**: indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.
Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficacia a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



*Bulbo completamente ancorato*



*Bulbo parzialmente ancorato*

Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

- per i tiranti di *tipo attivo*, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$Fs = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \frac{1}{\cos \alpha_i}}$$

- per tiranti di *tipo passivo e per i chiodi*, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$Fs = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \frac{1}{\cos \alpha_i}}{E_d}$$

Con $R_j$ si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T_d \cos \Psi_i \left(\frac{1}{i}\right)\left(\frac{L_e}{L_a}\right)$$

dove:

| | |
|---|---|
| $T_d$ | tiro esercizio; |
| $\Psi_i$ | inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale; |
| i | interasse; |
| Le | lunghezza efficace; |
| La | lunghezza d'ancoraggio. |

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

**Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967) – Sezione 4 – no falda**

| | |
|---|---|
| Lat./Long. | 43.874173/7.994447 ° |
| Calcolo eseguito secondo | NTC 2018 |
| Numero di strati | 4.0 |
| Numero dei conci | 20.0 |
| Grado di sicurezza ritenuto accettabile | 1.1 |
| Coefficiente parziale resistenza | 1.0 |
| Analisi | Condizione drenata |

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

| | |
|---|---|
| Ascissa vertice sinistro inferiore xi | 0.15 m |
| Ordinata vertice sinistro inferiore yi | 2.58 m |
| Ascissa vertice destro superiore xs | 45.51 m |
| Ordinata vertice destro superiore ys | 35.42 m |
| Passo di ricerca | 10.0 |
| Numero di celle lungo x | 15.0 |
| Numero di celle lungo y | 15.0 |

**Coefficienti sismici [N.T.C.]**

**Dati generali**

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie — Classe d'uso: Classe II

Vita nominale: 50.0 [anni] — Vita di riferimento: 50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: **E** — Categoria topografica: **T1**

| S.L. Stato limite | TR Tempo ritorno [anni] | ag [m/s²] | F0 [-] | TC* [sec] |
|---|---|---|---|---|
| S.L.O. | 30.0 | 0.265 | 2.552 | 0.187 |
| S.L.D. | 50.0 | 0.382 | 2.626 | 0.208 |
| S.L.V. | 475.0 | 1.471 | 2.43 | 0.289 |
| S.L.C. | 975.0 | 1.971 | 2.47 | 0.305 |

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

| S.L. Stato limite | amax [m/s²] | beta [-] | kh [-] | kv [sec] |
|---|---|---|---|---|
| S.L.O. | 0.424 | 0.2 | 0.0086 | 0.0043 |
| S.L.D. | 0.6112 | 0.2 | 0.0125 | 0.0062 |
| S.L.V. | 2.3522 | 0.24 | 0.0576 | 0.0288 |
| S.L.C. | 2.8656 | 0.28 | 0.0818 | 0.0409 |

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0576 — Coefficiente azione sismica verticale 0.0288

Vertici profilo

| Nr | X (m) | y (m) |
|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 2.39 |
| 2 | 1.0 | 2.42 |
| 3 | 10.7 | 2.27 |
| 4 | 19.39 | 2.46 |
| 5 | 27.0 | 2.33 |
| 6 | 33.36 | 2.18 |
| 7 | 39.49 | 2.26 |
| 8 | 42.49 | 2.69 |
| 9 | 44.18 | 6.24 |
| 10 | 45.68 | 6.24 |
| 11 | 54.59 | 6.23 |
| 12 | 54.59 | 6.54 |
| 13 | 54.8 | 6.54 |
| 14 | 75.87 | 6.54 |

Vertici strato .....1

| N | X (m) | y (m) |
|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 2.39 |
| 2 | 1.0 | 2.42 |
| 3 | 10.7 | 2.27 |
| 4 | 19.39 | 2.46 |
| 5 | 27.0 | 2.33 |
| 6 | 33.36 | 2.18 |
| 7 | 39.49 | 2.26 |
| 8 | 42.49 | 2.69 |
| 9 | 42.28 | 2.24 |
| 10 | 42.28 | 0.74 |
| 11 | 44.78 | 0.74 |
| 12 | 44.78 | 2.24 |
| 13 | 45.68 | 6.24 |
| 14 | 54.59 | 6.23 |
| 15 | 54.59 | 6.54 |
| 16 | 54.8 | 6.54 |
| 17 | 75.87 | 6.54 |

Vertici strato .....2

| N | X (m) | y (m) |
|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 2.39 |
| 2 | 1.0 | 2.42 |
| 3 | 10.7 | 2.27 |
| 4 | 19.39 | 2.46 |
| 5 | 27.0 | 2.33 |
| 6 | 33.36 | 2.18 |
| 7 | 39.49 | 2.26 |
| 8 | 42.49 | 2.69 |
| 9 | 42.28 | 2.24 |
| 10 | 42.28 | 0.74 |

| | | |
|---|---|---|
| 11 | 44.78 | 0.74 |
| 12 | 44.78 | 2.24 |
| 13 | 45.0 | 3.22 |
| 14 | 50.44 | 3.93 |
| 15 | 57.76 | 4.54 |
| 16 | 75.87 | 4.64 |

Vertici strato .....3

| N | X (m) | y (m) |
|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 0.3 |
| 2 | 1.0 | 0.25 |
| 3 | 6.55 | 0.0 |
| 4 | 10.7 | 0.05 |
| 5 | 19.39 | 0.16 |
| 6 | 27.0 | 0.26 |
| 7 | 29.29 | 0.29 |
| 8 | 33.36 | 0.55 |
| 9 | 37.0 | 0.78 |
| 10 | 38.75 | 1.68 |
| 11 | 39.49 | 2.26 |
| 12 | 42.49 | 2.69 |
| 13 | 42.28 | 2.24 |
| 14 | 42.28 | 0.74 |
| 15 | 44.78 | 0.74 |
| 16 | 44.78 | 2.24 |
| 17 | 45.0 | 3.22 |
| 18 | 50.44 | 3.93 |
| 19 | 57.76 | 4.54 |
| 20 | 75.87 | 4.64 |

Coefficienti parziali azioni

| | | |
|---|---|---|
| Sfavorevoli: Permanenti, variabili | 1.0 | 1.0 |
| Favorevoli: Permanenti, variabili | 1.0 | 1.0 |

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 | Si |

Stratigrafia

| Strato | Coesione (kN/m²) | Coesione non drenata (kN/m²) | Angolo resistenza al taglio (°) | Peso unità di volume (kN/m³) | Peso unità di volume saturo (kN/m³) | Litologia |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 | | 40 | 24.1 | 24.5 | Scogliera massi III cat. |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | cementati |
| 2 | 2 | | 32 | 16.5 | 17.5 | Riporti e sistemazioni antrop. |
| 3 | 4 | | 34 | 19.1 | 20.1 | Alluvioni mob. e sup. |
| 4 | 6 | | 36 | 19.8 | 20.6 | Depositi alluvionali |

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 (kN/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54.88 | 5.52 | 0 | 0 | 1.4 | 0.3 | 0.3 | 24.51 |

Carichi distribuiti

| N° | xi (m) | yi (m) | xf (m) | yf (m) | Carico esterno (kN/m²) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 45.84 | 6.16 | 54.84 | 6.158512 | 10 |

*Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]*

==========

**Fs minimo individuato** **1.27**
Ascissa centro superficie 40.97 m
Ordinata centro superficie 10.25 m
Raggio superficie 7.42 m

==========

*xc = 40.973 yc = 10.246 Rc = 7.416 Fs=1.269*

| Nr. | B m | Alfa (°) | Li m | Wi (kN) | Kh•Wi (kN) | Kv•Wi (kN) | c (kN/m²) | Fi (°) | Ui (kN) | N'i (kN) | Ti (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.23 | 14.0 | 0.2 | 1.17 | 0.07 | 0.03 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 0.7 | 2.2 |
| 2 | 0.23 | 15.8 | 0.2 | 3.47 | 0.2 | 0.1 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 2.7 | 3.5 |
| 3 | 0.23 | 17.6 | 0.2 | 5.73 | 0.33 | 0.17 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 4.6 | 4.7 |
| 4 | 0.23 | 19.5 | 0.2 | 7.95 | 0.46 | 0.23 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 6.4 | 6.0 |
| 5 | 0.23 | 21.4 | 0.2 | 10.12 | 0.58 | 0.29 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 8.2 | 7.3 |
| 6 | 0.23 | 23.3 | 0.2 | 12.24 | 0.71 | 0.35 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 10.0 | 8.5 |
| 7 | 0.16 | 24.9 | 0.2 | 9.72 | 0.56 | 0.28 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 7.9 | 6.7 |
| 8 | 0.3 | 26.9 | 0.3 | 18.68 | 1.08 | 0.54 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 15.1 | 13.0 |
| 9 | 0.23 | 29.2 | 0.3 | 13.54 | 0.78 | 0.39 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 10.8 | 9.7 |
| 10 | 0.23 | 31.2 | 0.3 | 12.81 | 0.74 | 0.37 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 10.1 | 9.4 |
| 11 | 0.23 | 33.3 | 0.3 | 12.02 | 0.69 | 0.35 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 9.4 | 9.2 |
| 12 | 0.23 | 35.4 | 0.3 | 10.94 | 0.63 | 0.32 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 9.9 | 6.0 |
| 13 | 0.23 | 37.6 | 0.3 | 8.45 | 0.49 | 0.24 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 7.7 | 4.9 |
| 14 | 0.23 | 39.9 | 0.3 | 6.35 | 0.37 | 0.18 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 5.7 | 3.9 |
| 15 | 0.23 | 42.2 | 0.3 | 7.85 | 0.45 | 0.23 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 7.2 | 5.0 |
| 16 | 0.23 | 44.7 | 0.3 | 7.04 | 0.41 | 0.2 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 6.5 | 4.8 |
| 17 | 0.23 | 47.2 | 0.3 | 6.15 | 0.35 | 0.18 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 5.7 | 4.5 |
| 18 | 0.23 | 49.9 | 0.4 | 5.18 | 0.3 | 0.15 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 4.8 | 4.2 |
| 19 | 0.23 | 52.7 | 0.4 | 4.12 | 0.24 | 0.12 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 3.8 | 3.7 |
| 20 | 0.23 | 55.7 | 0.4 | 1.93 | 0.11 | 0.06 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 1.5 | 2.3 |

**Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967) – Sezione 4 – falda**

| | |
|---|---|
| Lat./Long. | 43.874173/7.994447 ° |
| Calcolo eseguito secondo | NTC 2018 |
| Numero di strati | 4.0 |
| Numero dei conci | 20.0 |
| Grado di sicurezza ritenuto accettabile | 1.1 |
| Coefficiente parziale resistenza | 1.0 |
| Analisi | Condizione drenata |

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

| | |
|---|---|
| Ascissa vertice sinistro inferiore xi | 0.15 m |
| Ordinata vertice sinistro inferiore yi | 2.58 m |
| Ascissa vertice destro superiore xs | 45.51 m |
| Ordinata vertice destro superiore ys | 35.42 m |
| Passo di ricerca | 10.0 |
| Numero di celle lungo x | 15.0 |
| Numero di celle lungo y | 15.0 |

**Coefficienti sismici [N.T.C.]**

**Dati generali**

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie — Classe d'uso: Classe II

Vita nominale: 50.0 [anni] — Vita di riferimento: 50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: **E** — Categoria topografica: **T1**

| S.L. Stato limite | TR Tempo ritorno [anni] | ag [m/s²] | F0 [-] | TC* [sec] |
|---|---|---|---|---|
| S.L.O. | 30.0 | 0.265 | 2.552 | 0.187 |
| S.L.D. | 50.0 | 0.382 | 2.626 | 0.208 |
| S.L.V. | 475.0 | 1.471 | 2.43 | 0.289 |
| S.L.C. | 975.0 | 1.971 | 2.47 | 0.305 |

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

| S.L. Stato limite | amax [m/s²] | beta [-] | kh [-] | kv [sec] |
|---|---|---|---|---|
| S.L.O. | 0.424 | 0.2 | 0.0086 | 0.0043 |
| S.L.D. | 0.6112 | 0.2 | 0.0125 | 0.0062 |
| S.L.V. | 2.3522 | 0.24 | 0.0576 | 0.0288 |
| S.L.C. | 2.8656 | 0.28 | 0.0818 | 0.0409 |

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0576 — Coefficiente azione sismica verticale 0.0288

Vertici profilo

| Nr | X (m) | y (m) |
|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 2.39 |
| 2 | 1.0 | 2.42 |
| 3 | 10.7 | 2.27 |
| 4 | 19.39 | 2.46 |
| 5 | 27.0 | 2.33 |
| 6 | 33.36 | 2.18 |
| 7 | 39.49 | 2.26 |
| 8 | 42.49 | 2.69 |
| 9 | 44.18 | 6.24 |
| 10 | 45.68 | 6.24 |
| 11 | 54.59 | 6.23 |
| 12 | 54.59 | 6.54 |
| 13 | 54.8 | 6.54 |
| 14 | 75.87 | 6.54 |

Falda

| Nr. | X (m) | y (m) |
|---|---|---|
| 1 | 0.16 | 3.79 |
| 2 | 21.39 | 3.88 |
| 3 | 42.2 | 3.71 |
| 4 | 45.18 | 4.14 |
| 5 | 53.28 | 4.56 |
| 6 | 63.6 | 4.65 |
| 7 | 76.47 | 4.73 |

Vertici strato .....1

| N | X (m) | y (m) |
|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 2.39 |
| 2 | 1.0 | 2.42 |
| 3 | 10.7 | 2.27 |
| 4 | 19.39 | 2.46 |
| 5 | 27.0 | 2.33 |
| 6 | 33.36 | 2.18 |
| 7 | 39.49 | 2.26 |
| 8 | 42.49 | 2.69 |
| 9 | 42.28 | 2.24 |
| 10 | 42.28 | 0.74 |
| 11 | 44.78 | 0.74 |
| 12 | 44.78 | 2.24 |
| 13 | 45.68 | 6.24 |
| 14 | 54.59 | 6.23 |
| 15 | 54.59 | 6.54 |
| 16 | 54.8 | 6.54 |
| 17 | 75.87 | 6.54 |

Vertici strato .....2

| N | X (m) | y (m) |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 2.39 |
| 2 | 1.0 | 2.42 |
| 3 | 10.7 | 2.27 |
| 4 | 19.39 | 2.46 |
| 5 | 27.0 | 2.33 |
| 6 | 33.36 | 2.18 |
| 7 | 39.49 | 2.26 |
| 8 | 42.49 | 2.69 |
| 9 | 42.28 | 2.24 |
| 10 | 42.28 | 0.74 |
| 11 | 44.78 | 0.74 |
| 12 | 44.78 | 2.24 |
| 13 | 45.0 | 3.22 |
| 14 | 50.44 | 3.93 |
| 15 | 57.76 | 4.54 |
| 16 | 75.87 | 4.64 |

Vertici strato .....3

| N | X (m) | y (m) |
|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 0.3 |
| 2 | 1.0 | 0.25 |
| 3 | 6.55 | 0.0 |
| 4 | 10.7 | 0.05 |
| 5 | 19.39 | 0.16 |
| 6 | 27.0 | 0.26 |
| 7 | 29.29 | 0.29 |
| 8 | 33.36 | 0.55 |
| 9 | 37.0 | 0.78 |
| 10 | 38.75 | 1.68 |
| 11 | 39.49 | 2.26 |
| 12 | 42.49 | 2.69 |
| 13 | 42.28 | 2.24 |
| 14 | 42.28 | 0.74 |
| 15 | 44.78 | 0.74 |
| 16 | 44.78 | 2.24 |
| 17 | 45.0 | 3.22 |
| 18 | 50.44 | 3.93 |
| 19 | 57.76 | 4.54 |
| 20 | 75.87 | 4.64 |

Coefficienti parziali azioni

==========

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

==========

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 | Si |

==========

Stratigrafia

| Strato | Coesione (kN/m²) | Coesione non drenata (kN/m²) | Angolo resistenza al taglio (°) | Peso unità di volume (kN/m³) | Peso unità di volume saturo (kN/m³) | Litologia |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 | | 40 | 24.1 | 24.5 | Scogliera massi III cat. cementati |
| 2 | 2 | | 32 | 16.5 | 17.5 | Riporti e sistemazioni antrop. |
| 3 | 4 | | 34 | 19.1 | 20.1 | Alluvioni mob. e sup. |
| 4 | 6 | | 36 | 19.8 | 20.6 | Depositi alluvionali |

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 (kN/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54.88 | 5.52 | 0 | 0 | 1.4 | 0.3 | 0.3 | 24.51 |

Carichi distribuiti

| N° | xi (m) | yi (m) | xf (m) | yf (m) | Carico esterno (kN/m²) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 45.84 | 6.16 | 54.84 | 6.158512 | 10 |

*Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]*

==========

| | |
|---|---|
| **Fs minimo individuato** | **1.15** |
| Ascissa centro superficie | 40.97 m |
| Ordinata centro superficie | 8.06 m |
| Raggio superficie | 6.46 m |

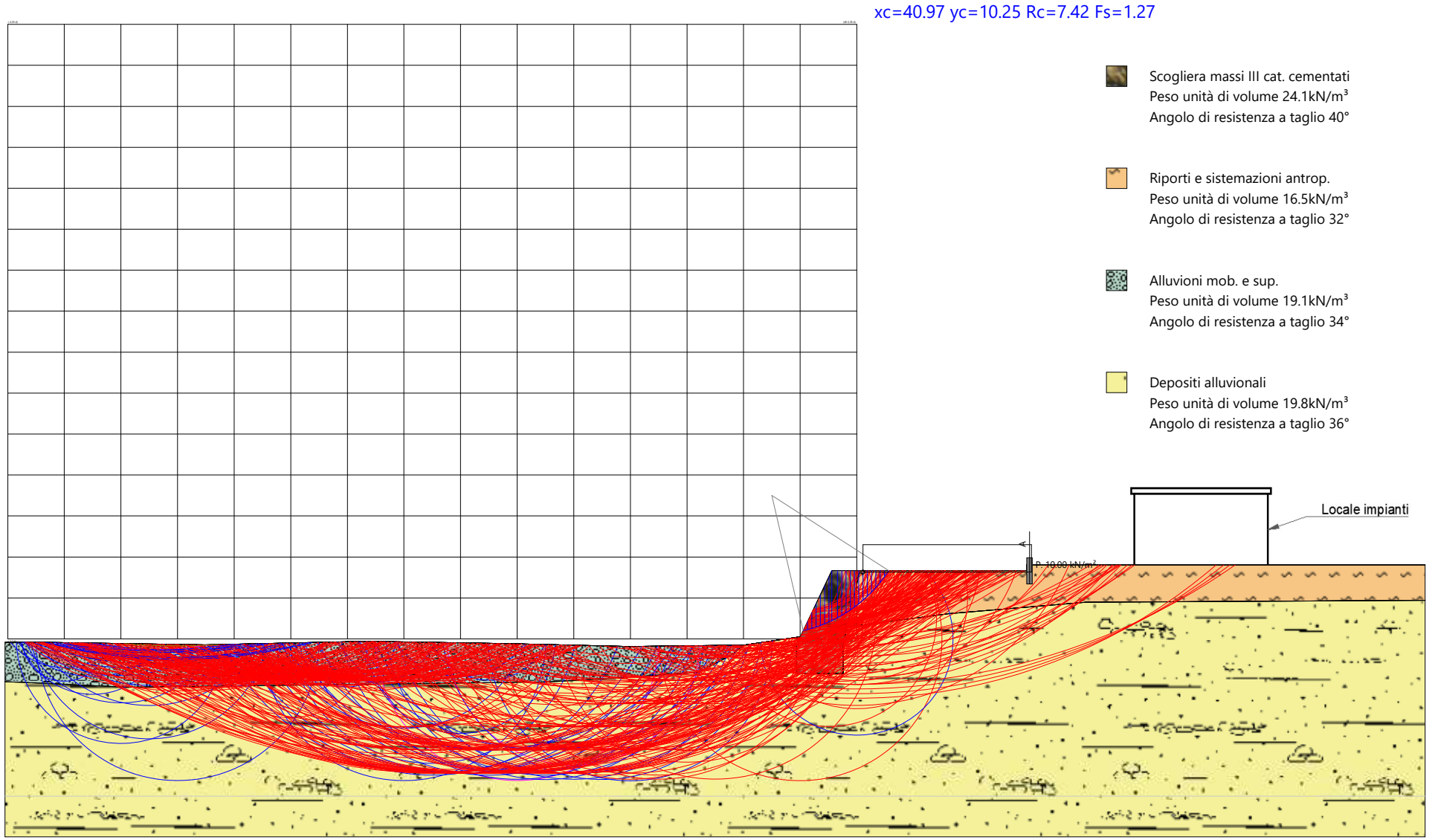
==========

*xc = 40.973 yc = 8.057 Rc = 6.463  Fs=1.148*

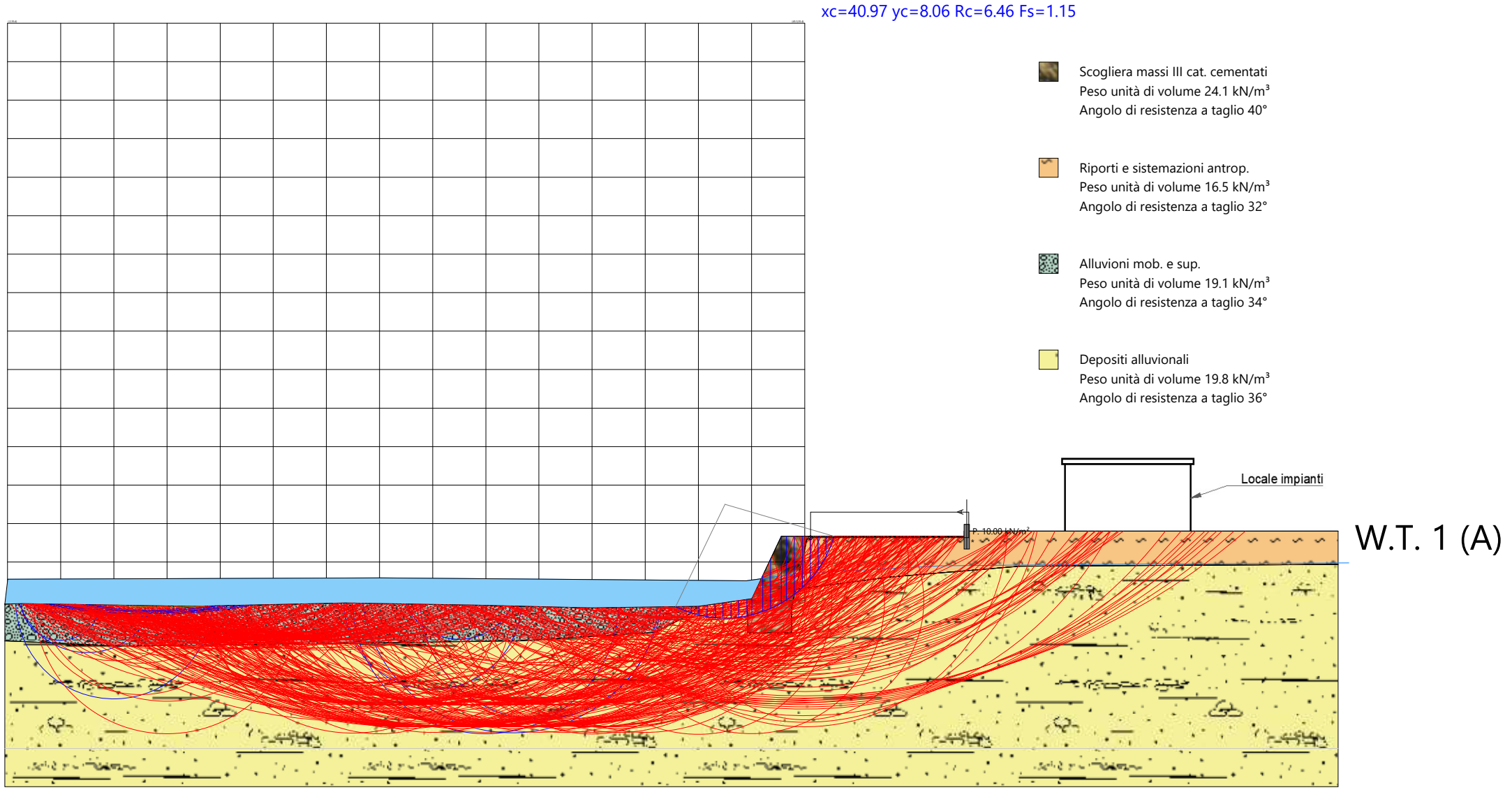
| Nr. | B m | Alfa (°) | Li m | Wi (kN) | Kh•Wi (kN) | Kv•Wi (kN) | c (kN/m²) | Fi (°) | Ui (kN) | N'i (kN) | Ti (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.45 | -23.6 | 0.5 | 0.49 | 0.03 | 0.01 | 3.2 | 28.4 | 0.0 | 1.6 | 2.7 |
| 2 | 0.45 | -19.3 | 0.5 | 1.34 | 0.08 | 0.04 | 3.2 | 28.4 | 0.0 | 2.4 | 3.0 |
| 3 | 0.43 | -15.2 | 0.4 | 1.97 | 0.11 | 0.06 | 4.8 | 30.2 | 0.0 | 3.1 | 4.1 |
| 4 | 0.47 | -11.1 | 0.5 | 2.93 | 0.17 | 0.08 | 4.8 | 30.2 | 0.0 | 3.9 | 4.7 |
| 5 | 0.45 | -7.0 | 0.5 | 3.48 | 0.2 | 0.1 | 4.8 | 30.2 | 0.0 | 4.1 | 4.6 |
| 6 | 0.45 | -3.0 | 0.5 | 3.99 | 0.23 | 0.12 | 4.8 | 30.2 | 0.0 | 4.2 | 4.6 |
| 7 | 0.45 | 1.0 | 0.5 | 4.35 | 0.25 | 0.13 | 4.8 | 30.2 | 0.0 | 4.3 | 4.7 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 0.45 | 5.0 | 0.5 | 4.55 | 0.26 | 0.13 | 4.8 | 30.2 | 0.0 | 4.2 | 4.6 |
| 9 | 0.45 | 9.1 | 0.5 | 4.6 | 0.27 | 0.13 | 4.8 | 30.2 | 0.0 | 3.9 | 4.5 |
| 10 | 0.28 | 12.4 | 0.3 | 3.82 | 0.22 | 0.11 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 3.0 | 4.4 |
| 11 | 0.62 | 16.5 | 0.6 | 13.62 | 0.78 | 0.39 | 8.0 | 33.9 | 0.0 | 10.6 | 12.8 |
| 12 | 0.45 | 21.5 | 0.5 | 26.78 | 1.54 | 0.77 | 8.0 | 33.9 | 8.1 | 14.7 | 14.8 |
| 13 | 0.61 | 26.7 | 0.7 | 49.07 | 2.83 | 1.41 | 8.0 | 33.9 | 10.0 | 30.6 | 29.2 |
| 14 | 0.29 | 31.2 | 0.3 | 26.27 | 1.51 | 0.76 | 8.0 | 33.9 | 4.2 | 17.1 | 16.7 |
| 15 | 0.45 | 35.2 | 0.6 | 37.85 | 2.18 | 1.09 | 8.0 | 33.9 | 5.7 | 24.5 | 25.6 |
| 16 | 0.45 | 40.3 | 0.6 | 32.25 | 1.86 | 0.93 | 4.8 | 30.2 | 4.4 | 22.8 | 21.1 |
| 17 | 0.45 | 45.7 | 0.6 | 21.63 | 1.25 | 0.62 | 1.6 | 26.6 | 2.7 | 17.2 | 13.8 |
| 18 | 0.45 | 51.8 | 0.7 | 20.61 | 1.19 | 0.59 | 1.6 | 26.6 | 0.6 | 18.9 | 17.2 |
| 19 | 0.45 | 59.0 | 0.9 | 15.9 | 0.92 | 0.46 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 15.6 | 17.8 |
| 20 | 0.45 | 68.2 | 1.2 | 8.27 | 0.48 | 0.24 | 1.6 | 26.6 | 0.0 | 7.7 | 15.7 |

# SEZIONE 4 - NO FALDA



# SEZIONE 4 - FALDA



so spe rit
società sperimentazione ricerca idoneità tecnica s.r.l.
Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da RINA UNI EN ISO 9001:2015

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA - TESTING CENTER - RESEARCH - ENVIRONMENT - ENGINEERING AND GEOTECHNICS SERVICES - TESTING ON: AGGREGATES - CONCRETE ROCKS - CEMENT - BRICKS - STEEL - SOIL - WATER - ASPHALT & BITUMEN
AUTORIZZATO DAL MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 CIRC. 7617/STC SETTORE A
Via Periane, 212 • 18018 TAGGIA (IM) • Tel. 0184.477434 • Fax 0184.055002
web site: www.sosperit.it • e-mail: info@sosperit.it • Pec: sosperit@worldpec.it

Committente:
**CENTRO PETROLI SPA**
**VIA PERIANE, 21**
**TAGGIA (IM)**

| **RAPPORTO DI PROVA N° 5888/R DEL 26/09/2023** | *Pagina n° 1 di 6* |
|---|---|
| Verbale Accett. n° 19893 del 11/09/2023 Vs. rif. | |

| | |
|---|---|
| **SETTORE** | **GEOTECNICA** |

| | | |
|---|---|---|
| **CANTIERE** | *Zona Prino - Imperia* | |
| **PROPRIETA'** | -- | |
| **TECNICO INCARICATO** | *Ravera Ing. Fabio* | |
| **DESCRIZIONE E PROVENIENZA DEL MATERIALE** | **N° 4 campioni di terra** | *DATA ARRIVO AL LABORATORIO*<br>**11/09/2023**<br>*MODALITA'*<br>**Da Committente** |
| **PROVE ESEGUITE** | | *NORMA DI RIFERIMENTO* |
| **- Analisi granulometrica per via umida**<br>**- Analisi granulometrica per sedimentazione** | | UNI 933-1<br>ASTM D 422 |

I risultati si riferiscono esclusivamente ai campioni sottoposti a prova

| | |
|---|---|
| LO SPERIMENTATORE | *Geom. Daniele Roccia* |
| IL DIRETTORE DEL LABORATORIO | *Dr. Ing. Michele Canevello* |

È vietata la riproduzione anche parziale di questo documento, senza autorizzazione scritta della So. Spe. R.I.T. srl

so spe rit società sperimentazione ricerca idoneità tecnica s.r.l.
Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da RINA UNI EN ISO 9001:2015

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA - TESTING CENTER - RESEARCH - ENVIRONMENT - ENGINEERING AND GEOTECHNICS SERVICES - TESTING ON: AGGREGATES - CONCRETE ROCKS - CEMENT - BRICKS - STEEL - SOIL - WATER - ASPHALT & BITUMEN AUTORIZZATO DAL MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 CIRC. 7617/STC SETTORE A
Via Periane, 212 • 18018 TAGGIA (IM) • Tel. 0184.477434 • Fax 0184.055002
web site: www.sosperit.it • e-mail: info@sosperit.it • Pec: sosperit@worldpec.it



## ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento : C.N.R. B.U. N. 23

Metodo di vagliatura adottato : umido

Data inizio prova : 14/09/2023

Contrassegno campione : **n. 1 quota -2,60 m.**
Terreno in adiacenza a Via Maurizio Caprile zona Prino Imperia (lato nord zona intervento)

## RISULTATI DELLA PROVA

| SETACCI [mm] | 125 | 63 | 31,5 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | 0,5 | 0,25 | 0,125 | 0,063 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *passante in %* | 100,0 | 84,2 | 78,9 | 70,2 | 63,8 | 58,2 | 53,6 | 49,5 | 46,1 | 42,1 | 38,4 | 35,5 |

DEFLOCCULANTE : $NaPO_3$ (4%)
QUANTITA' [ml] : 125
DENSIMETRO : 151 H
CILINDRO n. : 1

CORREZIONE MENISCO C.m. : 0,40
CORREZIONE DISPERSIVO C.d. : -2,7
PASSANTE 0,063 [%] : 35,50
PESO SECCO [g]: 40,02

| data | ora | tempo [min] | Temp [°C] | lettura dens. | lettura corretta | correzione temperatura | diametro grani [mm] | parziale [%] | totale [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 25/09/23 | 8,51 | 0,5 | 22,0 | 21 | 19,96 | 1,26 | 0,05698 | 77,65 | 29,79 |
| 25/09/23 | 8,51 | 1 | 22,0 | 18 | 16,96 | 1,26 | 0,04075 | 65,98 | 25,31 |
| 25/09/23 | 8,52 | 2 | 22,0 | 15 | 13,96 | 1,26 | 0,02914 | 54,31 | 20,84 |
| 25/09/23 | 8,54 | 4 | 22,0 | 13 | 11,96 | 1,26 | 0,02083 | 46,53 | 17,85 |
| 25/09/23 | 8,58 | 8 | 22,0 | 11 | 9,96 | 1,26 | 0,01504 | 38,75 | 14,87 |
| 25/09/23 | 9,13 | 15 | 22,2 | 9 | 8,01 | 1,31 | 0,01121 | 31,16 | 11,95 |
| 25/09/23 | 9,28 | 30 | 22,3 | 8 | 7,03 | 1,33 | 0,00808 | 27,36 | 10,49 |
| 25/09/23 | 9,51 | 60 | 22,5 | 7 | 6,08 | 1,38 | 0,00577 | 23,65 | 9,07 |
| 25/09/23 | 10,51 | 120 | 23,8 | 6 | 5,38 | 1,68 | 0,00420 | 20,94 | 8,03 |
| 25/09/23 | 12,51 | 240 | 23,5 | 5 | 4,31 | 1,61 | 0,00304 | 16,78 | 6,44 |
| 25/09/23 | 16,51 | 480 | 23,4 | 4 | 3,29 | 1,59 | 0,00216 | 12,80 | 4,91 |
| 26/09/23 | 8,51 | 1440 | 22,4 | 3 | 2,06 | 1,36 | 0,00129 | 8,00 | 3,07 |

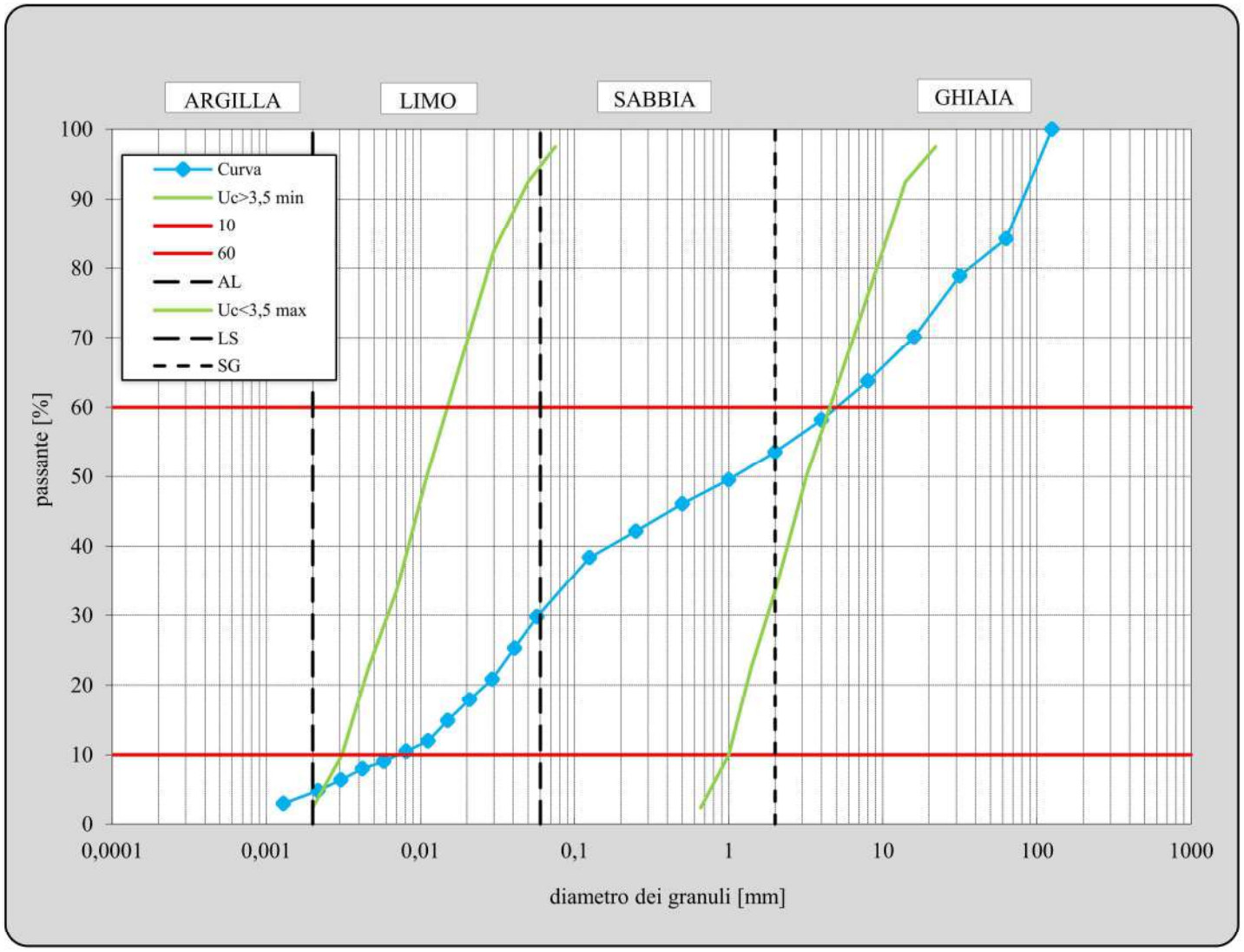
È vietata la riproduzione anche parziale di questo documento, senza autorizzazione scritta della So. Spe. R.I.T. srl

so spe rit
società sperimentazione ricerca idoneità tecnica s.r.l.
Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da RINA UNI EN ISO 9001:2015

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA - TESTING CENTER - RESEARCH - ENVIRONMENT - ENGINEERING AND GEOTECHNICS SERVICES - TESTING ON: AGGREGATES - CONCRETE ROCKS - CEMENT - BRICKS - STEEL - SOIL - WATER - ASPHALT & BITUMEN
AUTORIZZATO DAL MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 CIRC. 7617/STC SETTORE A
Via Periane, 212 • 18018 TAGGIA (IM) • Tel. 0184.477434 • Fax 0184.055002
web site: www.sosperit.it • e-mail: info@sosperit.it • Pec: sosperit@worldpec.it



| Diametro particelle corrispondenti ai passanti | | Coefficiente di Uniformità |
|---|---|---|
| 60% = 5 | 10%= 0,0075 | 666,67 |




È vietata la riproduzione anche parziale di questo documento, senza autorizzazione scritta della So. Spe. R.I.T. srl

so spe rit società sperimentazione ricerca idoneità tecnica s.r.l.
Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da RINA UNI EN ISO 9001:2015

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA - TESTING CENTER - RESEARCH - ENVIRONMENT - ENGINEERING AND GEOTECHNICS SERVICES - TESTING ON: AGGREGATES - CONCRETE ROCKS - CEMENT - BRICKS - STEEL - SOIL - WATER - ASPHALT & BITUMEN
AUTORIZZATO DAL MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 CIRC. 7617/STC SETTORE A
Via Periane, 212 • 18018 TAGGIA (IM) • Tel. 0184.477434 • Fax 0184.055002
web site: www.sosperit.it • e-mail: info@sosperit.it • Pec: sosperit@worldpec.it



## ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento : UNI EN 933-1

Metodo di vagliatura adottato : umido

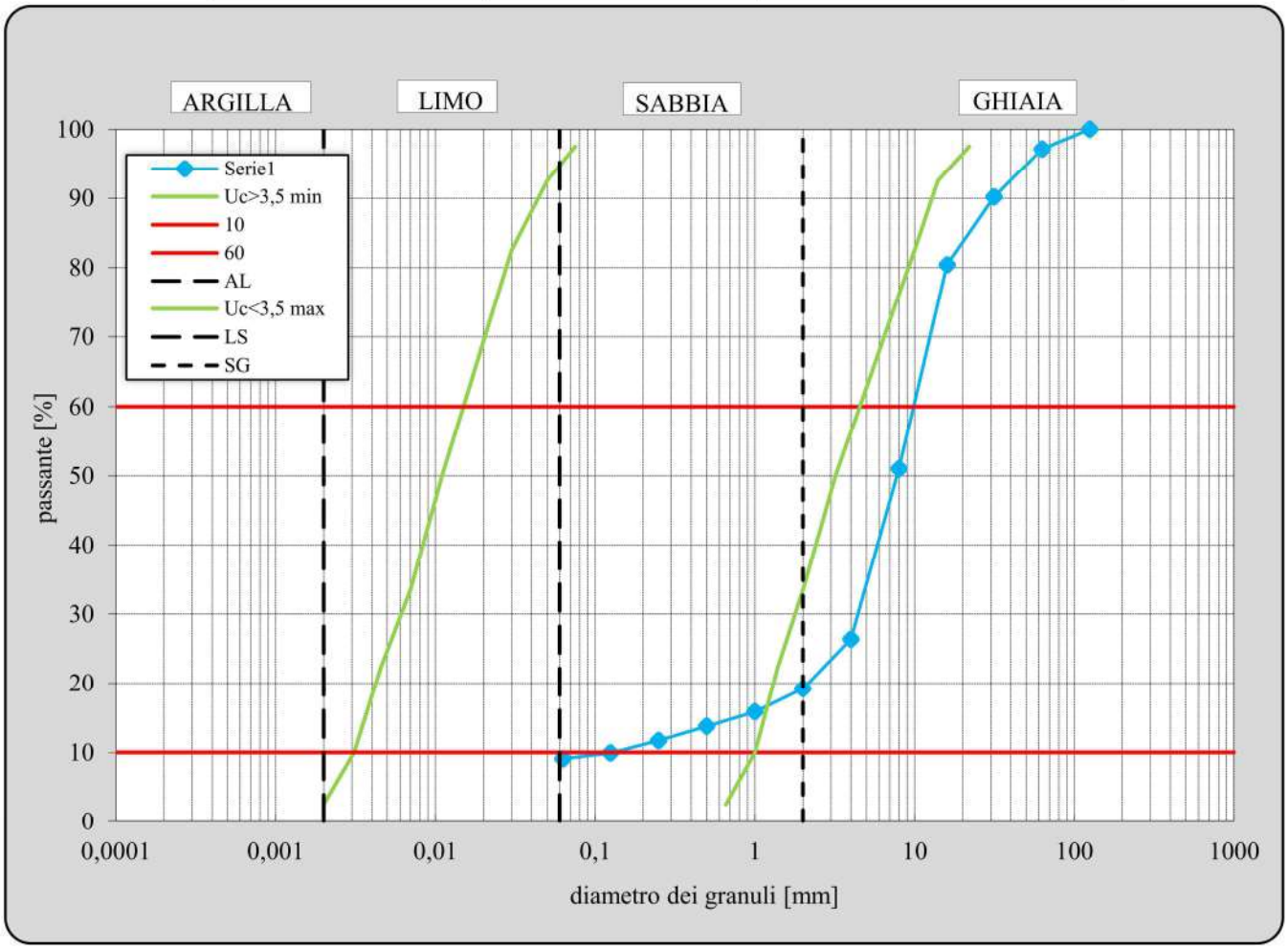
Data inizio prova : 14/09/2023

Contrassegno campione : **n. 2 quota -1,80 m.**
Terreno in adiacenza a Via Maurizio Caprile zona Prino Imperia (lato sud zona intervento)

## RISULTATI DELLA PROVA

| SETACCI [mm] | 125 | 63 | 31,5 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | 0,5 | 0,25 | 0,125 | 0,063 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *passante in %* | 100,0 | 97,2 | 90,2 | 80,4 | 51,0 | 26,4 | 19,2 | 15,8 | 13,8 | 11,7 | 9,9 | 9,1 |

| Diametro particelle corrispondenti ai passanti | | Coefficiente di Uniformità |
|---|---|---|
| 60% = 10 | 10%= 0,125 | 80,00 |




DM 17/01/2018 Punto 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione
La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:
Circostanza 4: Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7,11,1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc<3,5 e in Fig. 7,11,1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc>3,5

È vietata la riproduzione anche parziale di questo documento, senza autorizzazione scritta della So. Spe. R.I.T. srl

so spe rit
società sperimentazione ricerca idoneità tecnica s.r.l.
Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da RINA UNI EN ISO 9001:2015

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA - TESTING CENTER - RESEARCH - ENVIRONMENT - ENGINEERING AND GEOTECHNICS SERVICES - TESTING ON: AGGREGATES - CONCRETE ROCKS - CEMENT - BRICKS - STEEL - SOIL - WATER - ASPHALT & BITUMEN AUTORIZZATO DAL MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 CIRC. 7617/STC SETTORE A
Via Periane, 212 • 18018 TAGGIA (IM) • Tel. 0184.477434 • Fax 0184.055002
web site: www.sosperit.it • e-mail: info@sosperit.it • Pec: sosperit@worldpec.it



## ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento : UNI EN 933-1

Metodo di vagliatura adottato : umido

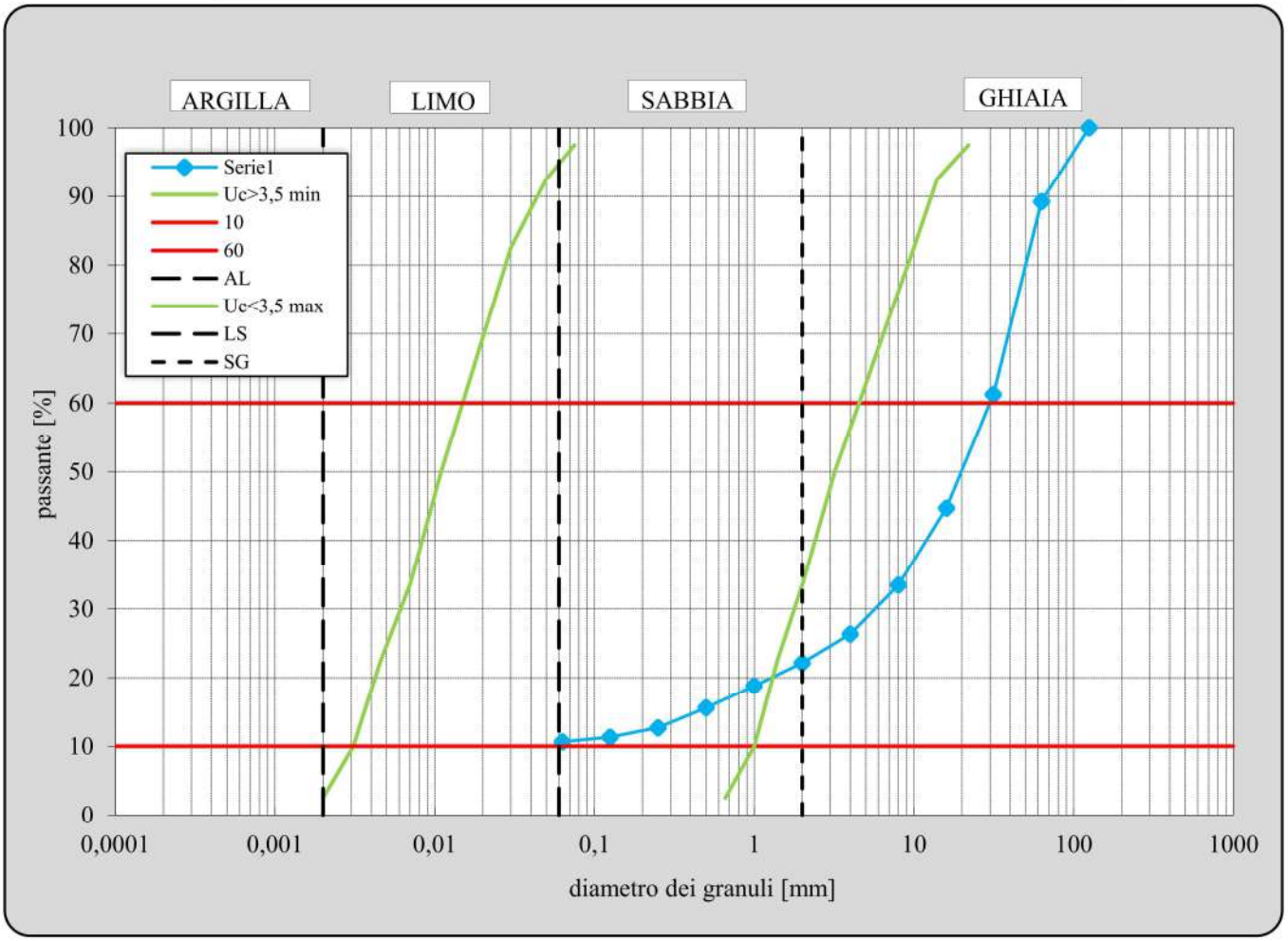
Data inizio prova : 14/09/2023

Contrassegno campione : **n. 3 quota -2,10 m.**
Alveo Torrente Prino Imperia (lato sud zona intervento)

## RISULTATI DELLA PROVA

| SETACCI [mm] | 125 | 63 | 31,5 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | 0,5 | 0,25 | 0,125 | 0,063 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *passante in %* | 100,0 | 89,2 | 61,2 | 44,7 | 33,5 | 26,4 | 22,1 | 18,8 | 15,6 | 12,7 | 11,3 | 10,6 |

| Diametro particelle corrispondenti ai passanti | | Coefficiente di Uniformità |
|---|---|---|
| 60% = 30 | 10%= 0,063 | 476,19 |




DM 17/01/2018 Punto 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione
La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:
Circostanza 4: Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7,11,1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc<3,5 e in Fig. 7,11,1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc>3,5

È vietata la riproduzione anche parziale di questo documento, senza autorizzazione scritta della So. Spe. R.I.T. srl

so spe rit
società sperimentazione ricerca idoneità tecnica s.r.l.
Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da RINA UNI EN ISO 9001:2015

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA - TESTING CENTER - RESEARCH - ENVIRONMENT - ENGINEERING AND GEOTECHNICS SERVICES - TESTING ON: AGGREGATES - CONCRETE ROCKS - CEMENT - BRICKS - STEEL - SOIL - WATER - ASPHALT & BITUMEN AUTORIZZATO DAL MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 CIRC. 7617/STC SETTORE A
Via Periane, 212 • 18018 TAGGIA (IM) • Tel. 0184.477434 • Fax 0184.055002
web site: www.sosperit.it • e-mail: info@sosperit.it • Pec: sosperit@worldpec.it



## ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento : UNI EN 933-1

Metodo di vagliatura adottato : umido

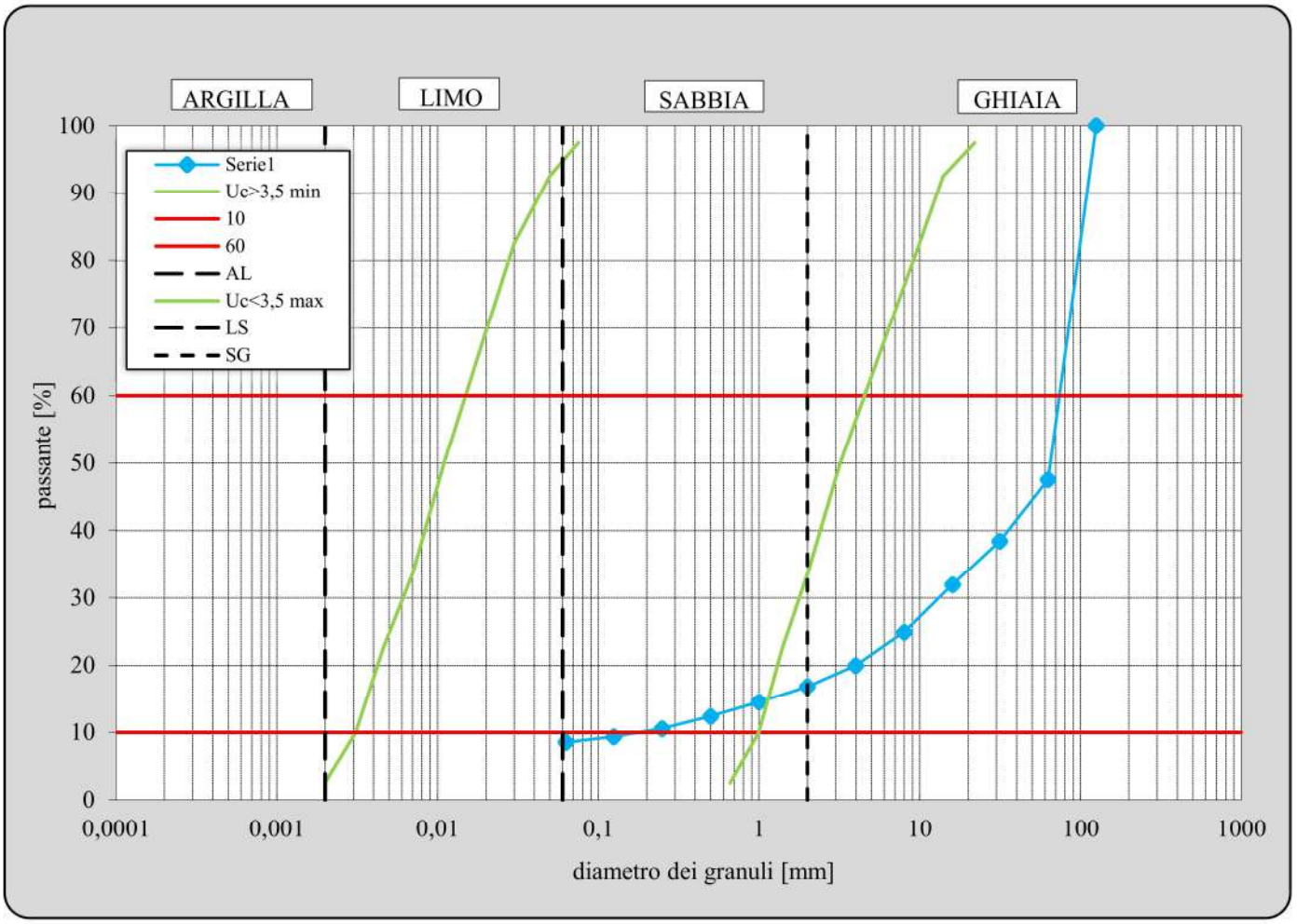
Data inizio prova : 14/09/2023

Contrassegno campione : **n. 4 quota -2,10 m.**
Alveo Torrente Prino Imperia (lato nord zona intervento)

## RISULTATI DELLA PROVA

| SETACCI [mm] | 250 | 125 | 63 | 31,5 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | 0,5 | 0,25 | 0,125 | 0,063 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *passante in %* | 100,0 | 56,5 | 47,6 | 38,4 | 31,9 | 24,9 | 19,9 | 16,8 | 14,5 | 12,4 | 10,5 | 9,4 | 8,5 |

| Diametro particelle corrispondenti ai passanti | | Coefficiente di Uniformità |
|---|---|---|
| 60% = 75 | 10%= 0,2 | 375,00 |




DM 17/01/2018 Punto 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione
La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:
Circostanza 4: Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7,11,1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc<3,5 e in Fig. 7,11,1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc>3,5

È vietata la riproduzione anche parziale di questo documento, senza autorizzazione scritta della So. Spe. R.I.T. srl