Firmato digitalmente da
demis ciliberti
CN = ciliberti demis
O = Ordine Regionale Geologi Liguria
C = IT

COMUNE DI MENDATICA
Provincia di Imperia

PROGETTO DEFINITIVO–ESECUTIVO

INTERVENTO URGENTE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO MOLINO CON LA CONTESTUALE SISTEMAZIONE DEI VERSANTI A PROTEZIONE DEL NUCLEO ABITATO DI MENDATICA POSTO A MONTE DELLA SP 3 IN LOC. MULINO PRIMI INTERVENTI

PROGETTISTA:

ING. PIERFRANCESCO RUSSO
VIA ROMA 119
18038 SANREMO
TEL. 0184/840639 FAX 0184/840639
EMAIL ing.pierfrancescorusso@gmail.com

IL R.U.P.:

Geom. Graziano Floccia

Collaboratori:
Calcolo strutturale: Dott. ING. Tommaso BUSCHIAZZO – Sanremo
Geologia: Dott. Geol. Demis CILIBERTI – Ventimiglia



TAVOLA: D	DATA: SETTEMBRE 2022	SCALA:

OGGETTO TAVOLA:

RELAZIONE TECNICA : GEOLOGIA

REV. N°	DATA	DESCRIZIONE MODIFICHE	ESEGUITO	APPROVATO	VALIDATO
0	23–09–2022	PRIMA EMISSIONE			

INDICE

- ***PREMESSA***
- ***INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLITOLOGICO***
- ***CARATTERI IDROGEOLOGICI ED IDROLOGICI***
- ***INDAGINE GEOFISICA – PROSPEZIONI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (METODO HVSR)***
- ***CARATTERI GEOTECNICI E GEOMECCANICI***
- ***VERIFICHE DI STABILITA' – METODI DELL'EQUILIBRIO LIMITE***
- ***CONSIDERAZIONI SUL RISCHIO SISMICO***
- ***CONCLUSIONI***

- ***ALLEGATI***
  - *Carta geologica-geomorfologica (scala 1:2.000)*
  - *Estratti cartografici Piano di Bacino "Torrente Arroscia"*
  - *Planimetria di progetto con ubicazione delle prove geofisiche HVSR realizzate*
  - *Certificato parametri sismici – spettri di risposta SUOLO B*
  - *Certificato parametri sismici – spettri di risposta SUOLO E*
  - *Certificato classificazione dell'ammasso roccioso (Bieniawski 1989)*
  - *Sezioni stratigrafiche interpretative*
  - *Verifiche di stabilità – relazione di calcolo*
  - *Documentazione fotografica (stato dei luoghi Ottobre 2020)*
  - *Documentazione fotografica (stato dei luoghi Agosto-Settembre 2022)*

PREMESSA

Nella presente relazione vengono esposte le principali risultanze dell'indagine geologico-tecnica eseguita dallo scrivente Geologo Demis CILIBERTI (iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi della Liguria con il numero 469) in Comune di Mendatica (IM), località Mulino, a supporto di un intervento urgente di sistemazione idraulica del rio Molino con la contestuale sistemazione dei versanti a protezione del nucleo abitato di Mendatica posto a monte della sp 3.

L'intervento proposto, curato dall'Ing. Pierfrancesco RUSSO, prevede sostanzialmente la realizzazione, in corrispondenza della sponda sinistra del Torrente, di un tratto, avente sviluppo di m 47 circa, di scogliera d'argine in massi di III e IV categoria cementati e legati con funi d'acciaio; è altresì previsto il consolidamento di un settore di versante dissestato sito nei pressi dell'esistente ponte stradale attraverso esecuzione di n. 2 berlinesi di sostegno con micropali e tiranti; tali berlinesi saranno realizzate nella porzione di monte di un trato di sponda già interessata da interventi in via di realizzazione connessi a precedente progettazione (progetto a firma Ing. Tarantino del 2021). La nuova scogliera prevista sarà costituita da massi naturali di grossa pezzatura (III e IV cat) utilizzando massi reperiti in loco e massi naturali di cava posati con riempimento degli interstizi con cls su basamento di cls di spessore minimo 50 cm. La quota di imposta della scogliera sarà posizionata su fondo roccioso previa demolizione e sagomatura del substrato. Lo spessore medio sarà di circa 2,0 m e l'altezza media di circa 5,5 m con pendenza del paramento di 55°. Lo strato basale della scogliera verrà ulteriormente rinforzato da funi in acciaio zincato saldamente agganciate ai massi mediante occhielli in acciaio zincato inghisati di almeno 20 cm nel blocco lapideo. A tergo della scogliera verrà realizzato un abbancamento orizzontale mediante riempimento di strati successivi di materiale drenante (ghiaia e tout-venant) e terreno vegetale sulla sommità ; tale abbancamento servirà a creare uno strato di contenimento per eventuali movimenti gravitativi provenienti dal versante di monte , evitando così lo sversamento di materiale nel torrente, tale strato sarà caratterizzato da larghezza minima pari a circa 2,30 oltre allo spessore della scogliera (vedi tavole grafiche di progetto). Tale abbancamento rappresenta inoltre il primo step per la riprofilatura finale del versante (oggetto di futuro appalto) in cui si potrà procedere con la messa in sicurezza dell'intero versante dai movimenti gravitativi di monte. Per maggiore chiarezza circa gli interventi proposti in tale sede si rimanda, comunque, alla consultazione degli elaborati progettuali.

Gli interventi descritti si rendono necessari a seguito dell'importante fenomeno di erosione al piede del versante in sponda sinistra occorso a seguito degli eventi alluvionali dell'ottobre 2020 che hanno indotto anche l'innesco di fenomeni dissestivi che hanno riversato materiale detritico in alveo. Il posizionamento della scogliera verrà effettuato in posizione più arretrata

possibile traguardando comunque la necessità di realizzare abbancamenti di estensione necessaria a mitigare il rischio di scivolamenti in alveo conseguenti all'innesco/evoluzione di movimenti gravitativi.

Le opere oggetto della presente progettazione, propedeutiche e necessarie per la futura sistemazione anche del rio Mulino, non consentiranno una messa in sicurezza complessiva dell'area in esame e dovranno essere, come detto, implementati successivamente da ulteriori interventi integrativi.

L'indagine geologica, realizzata su commissione dell'Amministrazione Comunale di mendatica, è stata estesa ad una porzione di territorio comprendente l'area direttamente interessata del progetto e le zone ad essa immediatamente circostanti (per un congruo intorno), al fine di accertare la compatibilità dell'intervento con le caratteristiche geologiche l.s. del sito nonché fornire utili indicazioni di carattere stratigrafico, geotecnico e sismico al tecnico strutturista.

L'intervento in esame comporterà l'esecuzione di movimenti terra e rocce di discreta entità; parte dei blocchi attualmente presenti in alveo potranno essere utilizzati per la scogliera. Il materiale di risulta delle operazioni di scavo e movimentazione, qualora non conferito presso una discarica o un centro di recupero autorizzati, potrà essere riutilizzato nel sito d'intervento o, in alternativa, come reinterro in altro cantiere autorizzato nel rispetto dei disposti di cui alla vigente normativa in materia di terre e rocce da scavo (D.P.R. 120/2017).

L'indagine geologica è stata realizzata ai sensi:

- del D.M. del 17.01.2018 "Norme Tecniche per le costruzioni";
- del D. lgs 152/2006 e s.m.i. "Norme in materia ambientale";
- delle prescrizioni fornite dal vigente Piano di Bacino Stralcio per la difesa idraulica ed idrogeologica "Torrente Arroscia", elaborato dalla Provincia di Imperia.

Il sito d'intervento non ricade in zona sottoposta a vincolo idrogeologico.

Dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, secondo quanto riportato nella "Carta della pericolosità o suscettività al dissesto" allegata al Piano di Bacino, il sito d'intervento ricade in *"Zona Pg2 – area a suscettività media"*. L'area in esame è comunque posta in prossimità di aree con suscettività al dissesto elevata, in particolare al piede dell'estesa paleofrana (Pg3b) di Mendatica in sponda sinistra del torrente Arroscia.

L'indagine geologica è stata sostanzialmente articolata secondo le seguenti fasi:

- raccolta e consultazione del materiale bibliografico e cartografico esistente e riguardante l'area in oggetto e le zone immediatamente circostanti;
- attenta analisi degli elaborati progettuali forniti dal tecnico progettista;
- consultazione dei dati ottenuti da precedenti indagini eseguite dai colleghi Roberto Macciò e Fabio Arrighetti in aree adiacenti al sito d'intervento (a valle del ponte, nei pressi

dell'esistente mulino) in occasione di precedenti incarichi e a supporto di precedenti progettazioni;

- consultazione di immagini fotografiche (foto 1-2-3-4-5 e 6 in allegato) e video riprese da drone successivamente all'evento alluvionale del 2020 nonché ortomosaico ed immagine da nuvola di punti messe gentilmente a disposizione dal Geom. Velizzone;
- sopralluogo in loco con esecuzione di rilevamento geologico–tecnico di superficie dell'area in esame con individuazione delle principali caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche, idrologiche ed idrogeologiche della zona;
- esecuzione di n. 3 prospezioni di sismica passiva a stazione singola finalizzate alla determinazione della Vs30 e della Vs,eq nonché alla validazione della stratigrafia ipotizzata in seguito al rilevamento geologico di superficie;
- esecuzione di verifiche di stabilità del tratto di versante interessato dagli interventi in progetto, realizzate lungo le sezioni ritenute maggiormente critiche e significative con l'ausilio di opportuni sistemi informatici (nello specifico Slope della GeoStru), tenendo conto di quanto previsto dalle NTC 2018. Nello specifico, si è valutata la condizione di Stato Limite Ultimo SLV di Salvaguardia della Vita;
- sintesi di quanto emerso dalle indagini e dalle verifiche eseguite con redazione di elaborati grafici e della presente relazione esplicativa.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLITOLOGICO

Il sito d'intervento si colloca nel territorio comunale di Mendatica, circa 450 m a SSE del centro abitato, nei pressi della confluenza del rio Mulino nel Torrente Arrosica e di un attraversamento della S.P. n. 3 sul Torrente stesso.

Morfologicamente, la zona è riconducibile ad un ambiente di transizione tra il collinare ed il sub-pianeggiante di fondovalle. Il sito direttamente interessato dalle opere si colloca, infatti tra le quote di circa m 600 e m 620 s.l.m, nel settore terminale di un versante degradante verso SE in direzione dell'alveo dell'Arroscia, in sinistra idrografica dello stesso.

Il tratto di pendio in esame è caratterizzato da acclività da media a medio-alta e dalla presenza solo sporadica (per lo più nei pressi della Provinciale, di terrazzamenti antropici sorretti da muretti in pietra a secco. Il settore è, ove non interessato da cinematismi dissestivi, caratterizzato da diffusa vegetazione spontanea arbustiva ed arborea.

L'area indagata è stata negli ultimi anni interessata da fenomeni dissestivi connessi all'azione erosiva dei corsi d'acqua; tali cinematismi, di natura sufficientemente superficiale, sono soggetti ad evoluzioni a breve termine.

Dal punto di vista geolitologico, secondo quanto riportato nella cartografia ufficiale consultata ed appurato dal rilevamento di superficie, il sito d'intervento è caratterizzato da un substrato roccioso, affiorante in più punti sia lungo l'alveo dei corsi d'acqua che lungo le sponde, riconducibile alla formazione sedimentaria datata cretaceo di Testico - Membro di Pieve di Teco. Tale formazione è costituita da una successione monotona di marne più o meno calcaree ed arenacee di colore grigio-azzurro, con caratteristica patina di alterazione giallo-grigiastra, con intercalazioni di strati calcareo-marnosi debolmente quarzosi.

Il substrato lapideo si presenta in affioramento da mediamente ad intensamente fratturato con presenza di alcuni sistemi di discontinuità sistematici e persistenti aventi disposizione pseudo-ortogonale tra loro, nonché discretamente alterato. L'intersezione dei piani di discontinuità strutturali dà spesso origine a piccoli blocchi lapidei disarticolati (per lo più planari) o, ancor più, a frammenti scagliosi.

La disposizione degli strati appare, nell'area indagata, salvo piccole variazioni locali connesse a fenomeni deformativi anche a piccola scala, per lo più monoclinale; viene di seguito esposta la giacitura misurata in corrispondenza degli affioramenti riscontrati in loco:

- direzione media: NW-SE
- immersione verso NE
- inclinazione di circa 30-45°

La giacitura è pertanto da considerarsi, in corrispondenza della sponda sinistra interessata dagli interventi da reggipoggio ad un leggero traverpoggio rispetto all'andamento del profilo topografico.

Il substrato in posto è nell'area indagata, ove non direttamente affiorante, sovrastato da terreno di copertura di natura detritico–colluviale granulometricamente eterogeneo costituito da diffusi frammenti e blocchi lapidei immersi in una matrice sabbioso-limosa. La potenza della coltre di copertura, poco significativa nei pressi del rio del Molino, tende ad aumentare a mano a mano che ci si sposta verso Est e verso il ponte, dove presenta spessori di alcuni metri e rappresenta, con buona probabilità, il settore di valle del potente accumulo di versante riconducibile alla grossa paleofrana di Mendatica.

Il presunto andamento del substrato lapideo è stato determinato, non solo attraverso le risultanze delle indagini geofisiche realizzate in loco, ma anche dall'attenta analisi delle immagini fotografiche riprese da drone post-alluvione del 2020 messe gentilmente a disposizione dal Geom. Velizzone.

Per maggiore chiarezza circa la caratterizzazione stratigrafica del sito si rimanda comunque alla consultazione del capitolo relativo agli accertamenti sismici realizzati in situ, delle sezioni interpretative in allegato, nonché della successiva immagine (fig.1).

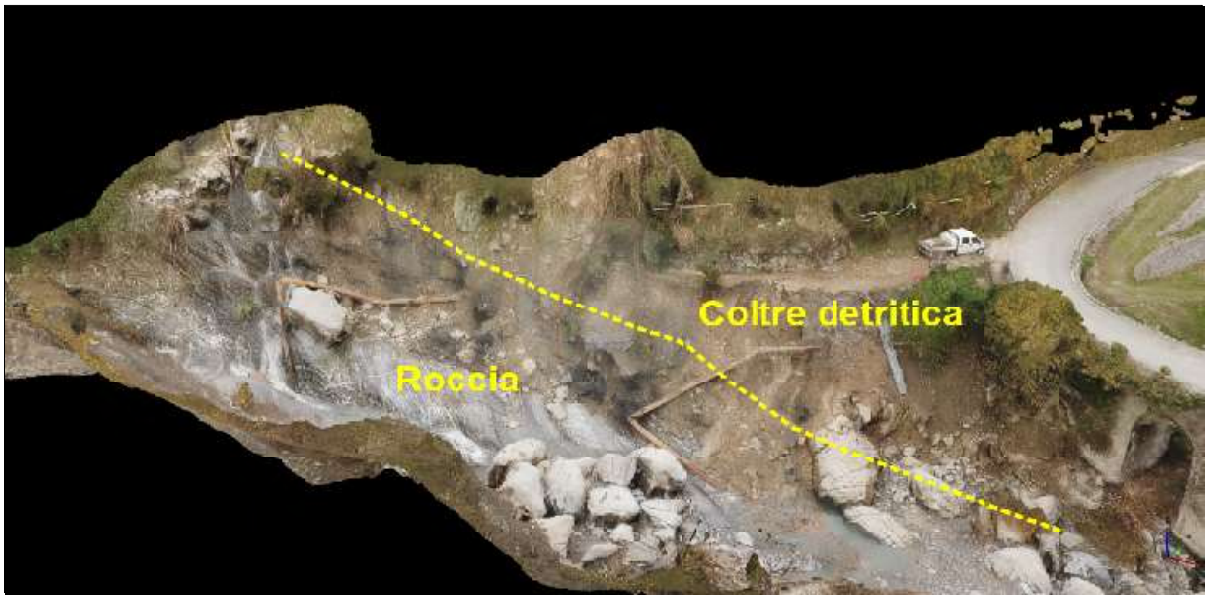


Fig 1: interpretazione circa l'andamento del substrato roccioso su immagine derivante da nuvola di punti da drone (fonte Geom Velizzone)

CARATTERI IDROGEOLOGICI ED IDROLOGICI

Dal punto di vista idrogeologico non sono state rilevate, durante il sopralluogo effettuato, lungo il tratto di versante coinvolto dal progetto significative emergenze idriche; in particolare si è rilevato quanto segue:

- la formazione rocciosa calcareo-marnosa di substrato è caratterizzata da una permeabilità secondaria media in corrispondenza di livelli particolarmente fratturati;
- la coltre detritica di copertura presenta una permeabilità primaria (per porosità) complessivamente media e variabile comunque in funzione della percentuale di frazione argillosa presente e del differente grado di compattazione delle particelle.

Le sufficienti capacità drenanti del terreno di copertura e la sottostante presenza di termini lapidei alterati e fratturati fanno sì che, soprattutto in occasione di intensi e prolungati fenomeni piovosi, si possano instaurare circuiti idrici sub-superficiali o comunque poco profondi, in ogni caso non continui e strettamente connessi alle precipitazioni. La circolazione avviene nella coltre (in corrispondenza dell'accumulo di versante principalmente lungo vie preferenziali di scorrimento) o, più in profondità, lungo i giunti dell'ammasso lapideo. Nell'area indagata, è comunque da escludere la presenza di una vera e propria falda idrica a ridotta soggiacenza continua e duratura.

Per quanto riguarda l'idrologia superficiale, il deflusso delle acque si sviluppa, in corrispondenza del settore di versante indagato (in sponda sinistra del torrente), solo in parte lungo il Rio Molino ed in parte come ruscellamento diffuso o localmente incanalato

lungo altre vie preferenziali rappresentate da strade o camminamenti/sentieri soprattutto ove disposti lungo la massima pendenza.Per quel che riguarda gli aspetti di carattere meramente idraulico si rimanda alla relazione specifica prodotta a firma dell'Ing Pierfrancesco Russo.

INDAGINE GEOFISICA – PROSPEZIONI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (METODO HVSR)

Ad integrazione del rilevamento geologico di superficie sono state realizzate, nei punti meglio indicati nell'elaborato planimetrico specifico presente in allegato n. 3 prospezioni di sismica passiva a stazione singola denominata tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Tale tecnica permette la parametrizzazione sismica dei terreni mediante l'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito, correlabili ai cambi litologici-stratigrafici. La modellazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo. I dati che si ricavano sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismostrato individuato. Per tale indagine è stato utilizzato un acquisitore dati digitale Gemini 4 della PASI capace di acquisire e registrare i microtremori o rumore sismico ambientale, mediante una terna di geofoni con frequenza di risonanza 4,5 Hz, accuratamente accoppiati meccanicamente ed elettricamente ed orientati N-S, E–W e verticalmente.Per l'elaborazione dei dati è stato quindi utilizzato il software WinMaswHVSR della Eliosoft.I risultati ottenuti in merito alla frequenza fondamentale del sito vengono di seguito riportati:

PROVA HVSR 1



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

www.winmasw.com

Date: 23 8 2022

Time: 15 17

Dataset: Mendatica1.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 40

Length of analysed temporal sequence (min): 9.2

Tapering (%): 10

==========

In the following the results considering the data in the 0.5-50.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 30.8 (+-10.2)

Peak HVSR value: 1.6 (+-0.3)

=== Criteria for a reliable H/V curve ==========

#1. [f0 > 10/Lw]: 30.8 > 0.25 (OK)

#2. [nc > 200]: 32069 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fullfilled) ==========

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: (NO)

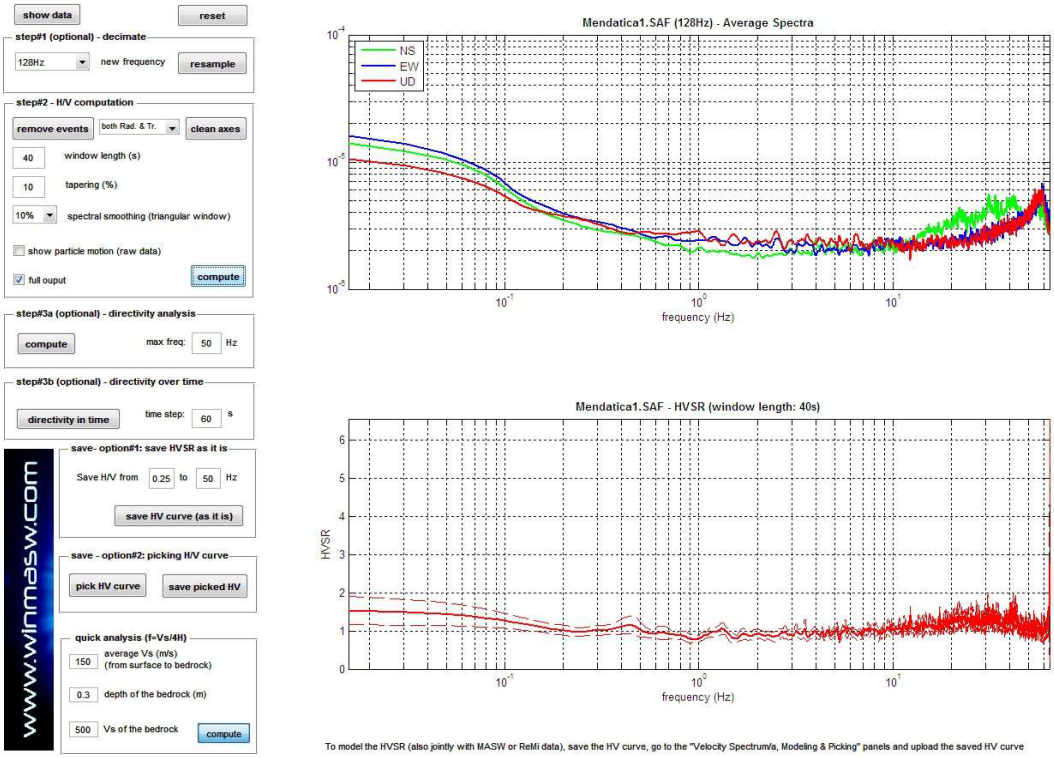
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: (NO)

#3. [A0 > 2]: 1.6 < 2 (NO)

#4. [fpeak[Ah/v(f) ą sigmaA(f)] = f0 ą 5%]: (NO)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 10.243 > 1.542 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.343 < 1.58 (OK)



La frequenza fondamentale del sito risulta essere quindi di 30,8 Hz.

Attraverso la relazione

$$h = \frac{Vs}{4 f_0}$$

che lega frequenza di risonanza, spessore della coltre sovrastante il bedrock e velocità delle onde di taglio, utilizzando i dati di bibliografia disponibili, è stato calcolato il profilo Vs per l'area in esame. Una volta ipotizzata la stratigrafia del sottosuolo, si è quindi cercato di modellare la curva H/V ottenuta, come di seguito evidenziato:

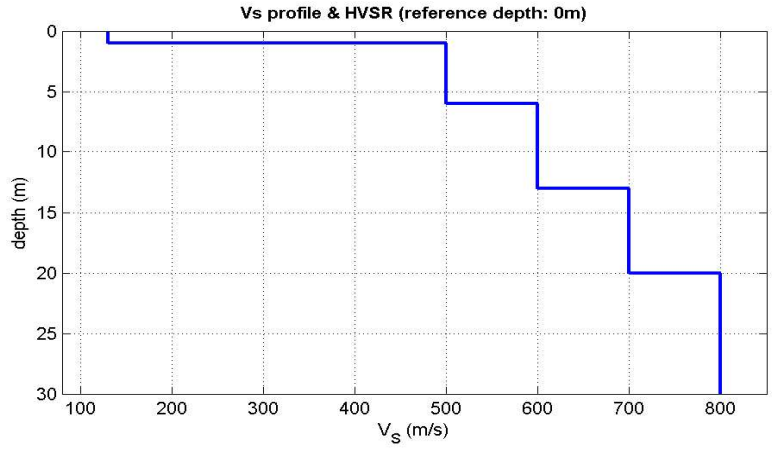
winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

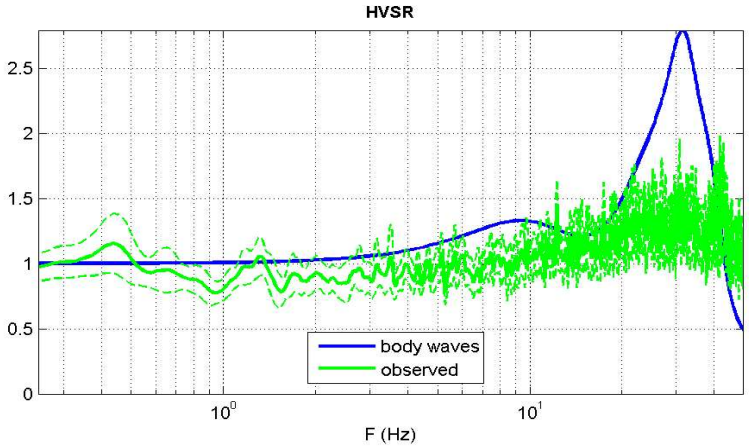
Main results

Date: 23 8 2022

Time: 16 3

Dataset:





Mean model

Vs (m/s): 130 500 600 700 800

Thickness (m): 1.0, 5.0, 7.0, 7.0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.74 2.02 2.06 2.10 2.12

Shear modulus (MPa) (approximate values): 29 505 743 1029 1356

Analyzing Phase velocities

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 271 866 1039 1212 1306

Poisson: 0.35 0.25 0.25 0.25 0.20

Vs30 (m/s): 578

Poiché in virtù di quanto previsto dalle nuove Norme Tecniche (NTC 2018) la classificazione del sottosuolo si effettua, non più sulla base della Vs30 ma in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

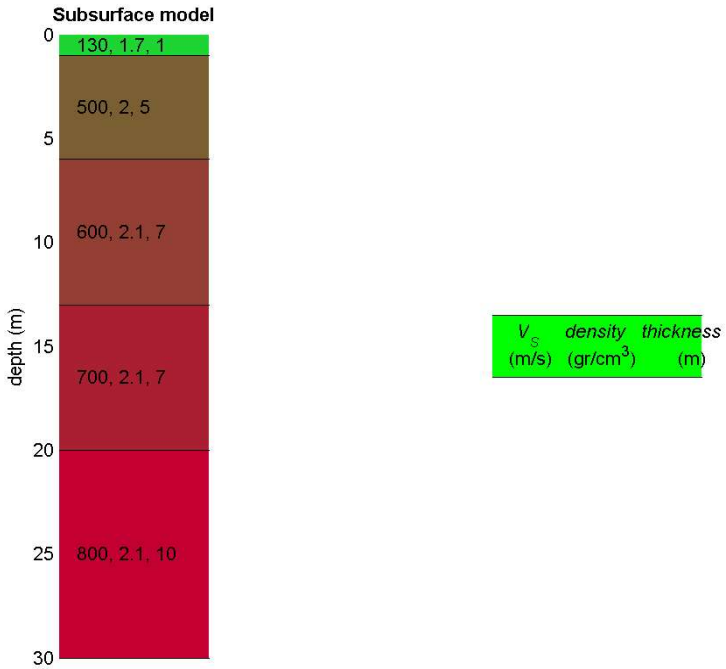
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Si è calcolato il valore della Vs,eq in virtù della modellazione di cui sopra

Vs,eq (m/s): 508

Il risultato ottenuto induce a considerare **il terreno di fondazione ascrivibile alla classe B**.

Si riporta di seguito l'effettiva stratigrafia introdotta nel modello (coltre avente spessore pari a m 1,0 sovrastante termini lapidei alterati e fratturati e via via maggiormente integri e sani con la profondità):



PROVA HVSR 2



I risultati ottenuti in merito alla frequenza fondamentale del sito per la prova 2 vengono di seguito riportati:

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

Date: 23 8 2022

Time: 15 21

Dataset: Mendatica2.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 40

Length of analysed temporal sequence (min): 9.1

Tapering (%): 10

==========

In the following the results considering the data in the 0.5-50.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 46.7 (+-2.6)

Peak HVSR value: 2.6 (+-0.6)

=== Criteria for a reliable H/V curve ==========

#1. [f0 > 10/Lw]: 46.7 > 0.25 (OK)

#2. [nc > 200]: 48583 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fullfilled) ==========

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 43.5Hz (OK)

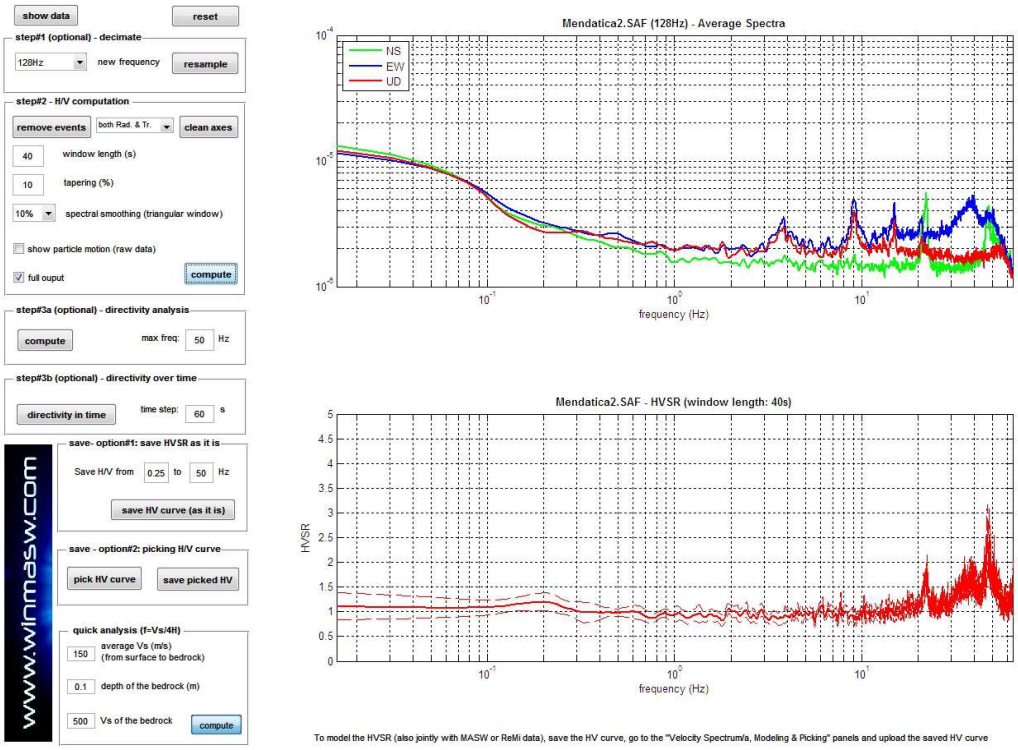
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: (NO)

#3. [A0 > 2]: 2.6 > 2 (OK)

#4. [fpeak[Ah/v(f) q sigmaA(f)] = f0 q 5%]: (OK)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 2.595 > 2.336 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.551 < 1.58 (OK)



<u>La frequenza fondamentale del sito risulta essere quindi, in questo secondo caso, di 46,7 Hz.</u>

Attraverso la relazione

$$h = \frac{Vs}{4 f_0}$$

che lega frequenza di risonanza, spessore della coltre sovrastante il bedrock e velocità delle onde di taglio, utilizzando i dati di bibliografia disponibili,è stato calcolato il profilo Vs per l'area in esame. Una volta ipotizzata la stratigrafia del sottosuolo, si è quindi cercato di modellare la curva H/V ottenuta, come di seguito evidenziato:

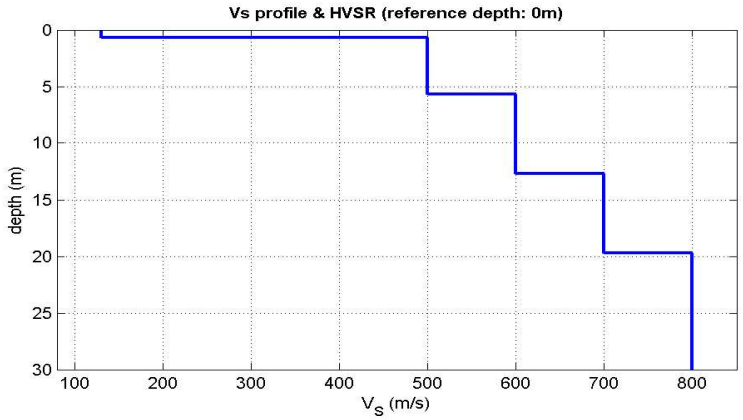
winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

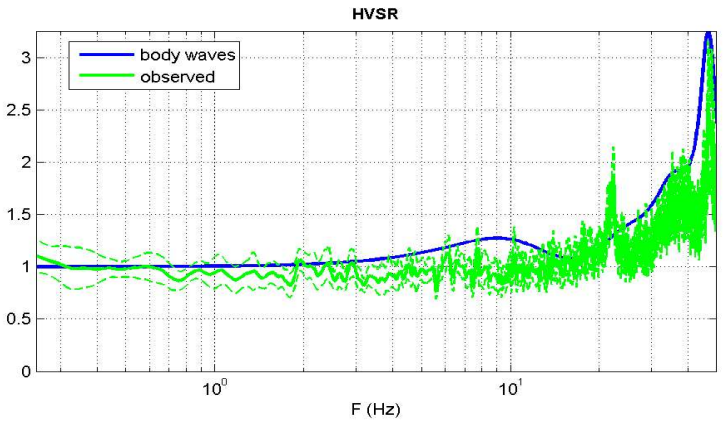
Main results

Data: 23 8 2022

Tempo: 16 5

Dataset:





Mean model

Vs (m/s): 130 500 600 700 800

Thickness (m): 0.7, 5.0, 7.0, 7.0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.74 2.02 2.06 2.10 2.12

Shear modulus (MPa) (approximate values): 29 505 743 1029 1356

Analyzing Phase velocities

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 271 866 1039 1212 1306

Poisson: 0.35 0.25 0.25 0.25 0.20

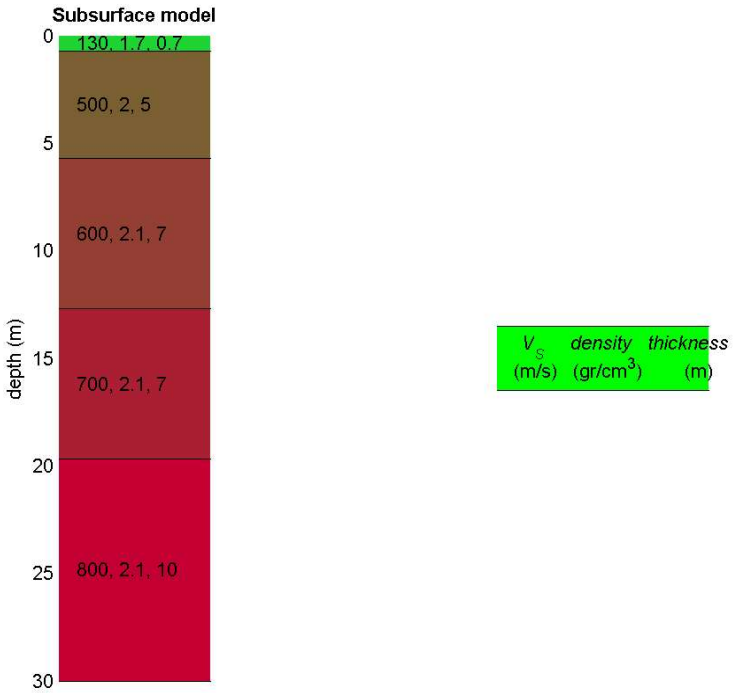
Vs30 (m/s): 601

Si è calcolato quindi il valore della Vs,eq in virtù di quanto detto circa le nuove NTC 2018:

Vs,eq (m/s): 531

Anche in questo caso il risultato numerico ottenuto induce a considerare il terreno di fondazione alla nuova scogliera ascrivibile alla **classe B.**

Si riporta di seguito l'effettiva stratigrafia introdotta nel modello (coltre avente spessore pari a m 0,70 sovrastante termini lapidei alterati e fratturati e via via maggiormente integri e sani con la profondità)



PROVA HVSR 3



I risultati ottenuti in merito alla frequenza fondamentale del sito per la prova 3 vengono di seguito riportati:

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

www.winmasw.com

Date: 23 8 2022

Time: 15 59

Dataset: Mendatica3.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 40

Length of analysed temporal sequence (min): 8.5

Tapering (%): 10

==========

In the following the results considering the data in the 0.5-30.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 4.8 (+-8.4)

Peak HVSR value: 1.8 (+-0.4)

=== Criteria for a reliable H/V curve ==========

#1. [f0 > 10/Lw]: 4.8 > 0.25 (OK)

#2. [nc > 200]: 4636 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fullfilled) ==========

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 2.7Hz (OK)

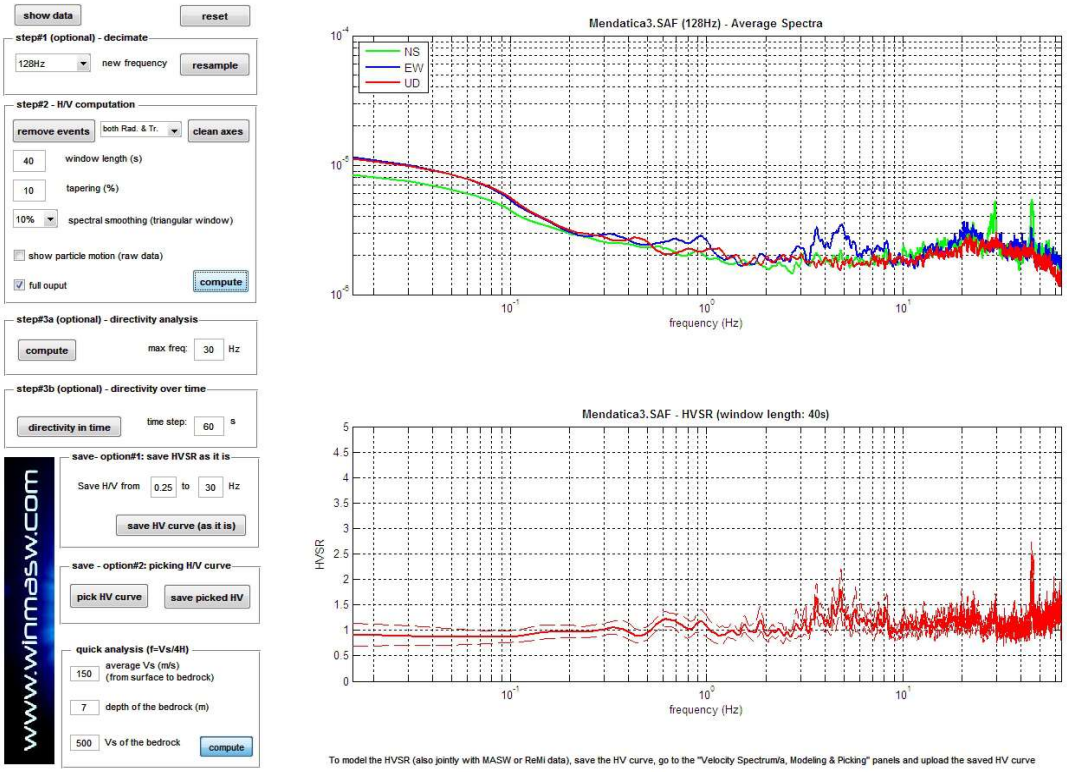
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 8.6Hz (OK)

#3. [A0 > 2]: 1.8 < 2 (NO)

#4. [fpeak[Ah/v(f) q sigmaA(f)] = f0 q 5%]: (OK)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 8.423 > 0.241 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.384 < 1.58 (OK)



La frequenza fondamentale del sito risulta essere quindi, in questo terzo caso, di 4,8 Hz.

Attraverso la relazione

$$h = \frac{Vs}{4 f_0}$$

che lega frequenza di risonanza, spessore della coltre sovrastante il bedrock e velocità delle onde di taglio, utilizzando i dati di bibliografia disponibili,è stato calcolato il profilo Vs per l'area in esame. Una volta ipotizzata la stratigrafia del sottosuolo, si è quindi cercato di modellare la curva H/V ottenuta, come di seguito evidenziato:

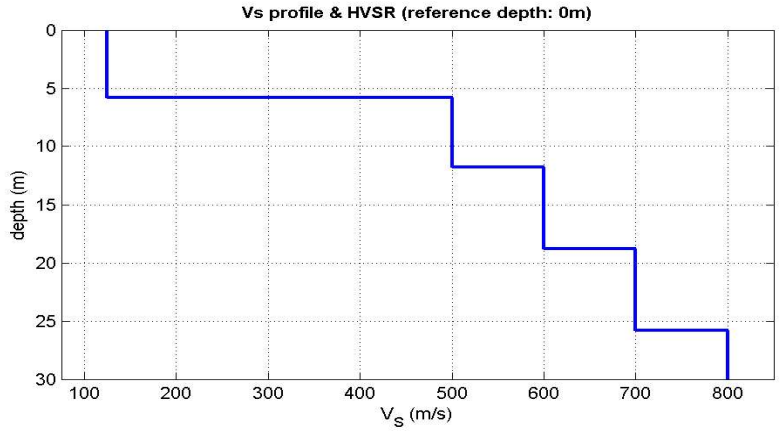
winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

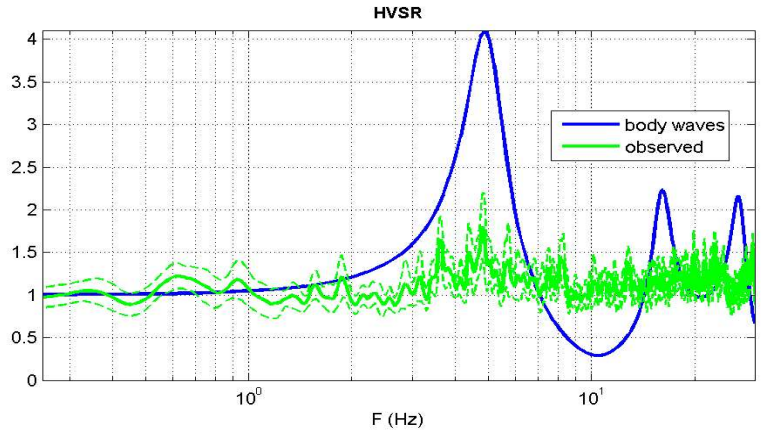
Main results

Data: 23 8 2022

Tempo: 16 9

Dataset:





Mean model

Vs (m/s): 125 500 600 700 800

Thickness (m): 5.8, 6.0, 7.0, 7.0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.73 2.02 2.06 2.10 2.12

Shear modulus (MPa) (approximate values): 27 505 743 1029 1356

Analyzing Phase velocities

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 260 866 1039 1212 1306

Poisson: 0.35 0.25 0.25 0.25 0.20

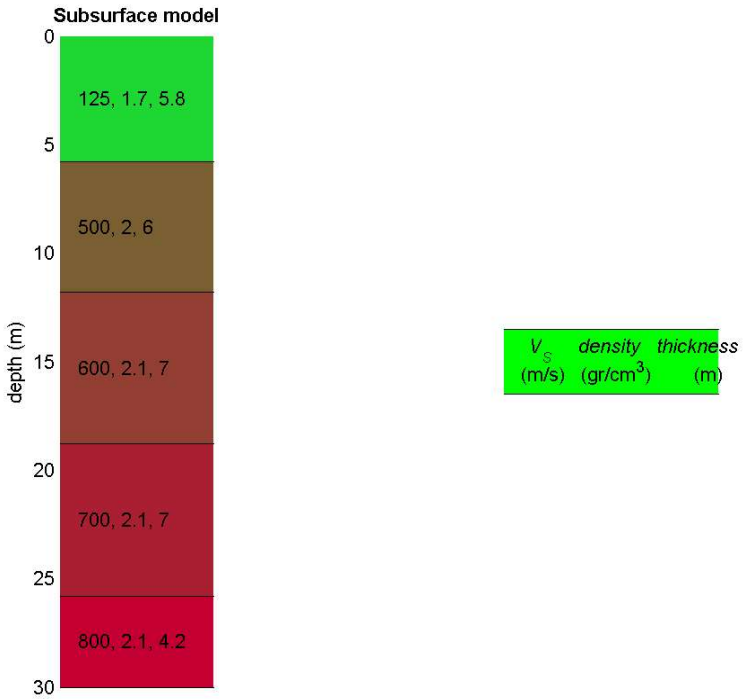
Vs30 (m/s): 352

Si è calcolato quindi il valore della Vs,eq in virtù di quanto detto circa le nuove NTC 2018:

Vs,eq (m/s): 322

In questo terzo caso il risultato numerico ottenuto indurrebbe a considerare il terreno di fondazione alle nuove berlinesi proposte come suolo di tipo C; in realtà., prediligendo gli aspetti stratigrafici su quelli meramente numerici, lo scrivente ritiene più corretto e cautelativo ricondurre il terreno ad una **suolo di tipo E**.

Si riporta di seguito l'effettiva stratigrafia introdotta nel modello (coltre avente spessore pari a m 5,80 sovrastante termini lapidei alterati e fratturati e via via maggiormente integri e sani con la profondità)



CARATTERI GEOTECNICI E GEOMECCANICI

Sulla base di quanto riscontrato sul terreno, si sono determinate le principali caratteristiche geotecniche e geomeccaniche rispettivamente ascrivibili alla coltre detritica di copertura, al materiale di natura alluvionale presente in alveo ed al substrato roccioso, con particolare riferimento alla porzione superficiale di questo, mediamente alterata ed affiorante in più punti nel sito indagato.

Per quanto riguarda i principali parametri geotecnici dei depositi alluvionali presenti in alveo (sostanzialmente non interessati dalle fondazioni delle nuove opere previste) è possibile attribuire, alla luce di quanto indicato nella bibliografia tecnica, i seguenti valori:

STRATO 1: Depositi alluvionali medio-grossolani e blocchi lapidei

γ_d (peso di volume drenato): 2,0 – 2,10 t_p/m^3;

γ_{saturo} (peso di volume saturo): 2,15 – 2,25 t_p/m^3;

φ '(angolo di attrito efficace): 38 – 45°;

c' (coesione efficace): 0,1 – 0,2 kg_p/cmq

Per quanto riguarda i principali parametri geotecnici della coltre detritica di copertura vengono attribuiti, alla luce di quanto emerso dalla prova geofisica realizzate in loco, da prove nel terreno (penetrometrie dinamiche leggere) eseguite su terreni del tutto similari in occasione di precedenti indagini, nonché sulla base di quanto indicato nella bibliografia tecnica, i seguenti valori:

STRATO 2: Coltre detritico-colluviale costituita da diffusi blocchi lapidei in matrice sabbioso-limosa:

γ_d (peso di volume drenato): 1,85 – 1,95 t_p/m^3;

γ_{saturo} (peso di volume saturo): 2,0 – 2,10 t_p/m^3;

φ '(angolo di attrito efficace): 28 – 30°;

c' (coesione efficace): 0,06 - 0,07 kg_p/cmq

Nello specifico, al fine di definire i valori dell'angolo di attrito si sono utilizzate le correlazioni di Uzielli et al (2013) e Mayne (2014) riportate nel testo “Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata” di Roccaforte-Cucinotta, mentre per quel che concerne i valori della coesione efficace si è fatto riferimento alla formula di Sellountou et al. (c'= a tanφ'), dove i valori del fattore “a” derivano da Senneset et al (1989) e si possono ricavare dalla seguente tabella, in relazione alla tipologia del terreno in esame:

Tabella 5.6. Valori di *a* e ϕ' riportati da Senneset et al. (1989)

Terreno	*a* (kPa)	ϕ' (°)	N_m	B_q
Argilla soffice	5-10	19-24	1-3	0,8-1,0
Argilla media	10-20	19-29	3-5	0,6-0,8
Argilla compatta	20-50	27-31	5-8	0,3-0,6
Limo soffice	0-5	27-31	5-30	0-0,4
Limo medio	5-15	29-33		
Limo compatto	15-30	31-35		
Sabbia sciolta	0	29-33	30-100	< 0,1
Sabbia media	10-20	31-37		
Sabbia densa	20-50	35-42		
Terreni OC	> 50	38-45	100	< 0

La tabella di cui sopra è stata estrapolata dal testo “Prove Geotecniche in situ” (A. Bruschi) della Dario Flaccovio Editore.

Nello specifico:

- STRATO 2: c'= 12 (sabbia e limo medi) x tan (28°) = 6,38 Kpa = 0,064 Kg/cmq

I parametri di resistenza al taglio del substrato roccioso sono stati determinati, invece, successivamente ad un accurato rilevamento geologico - tecnico di superficie, realizzato su alcuni affioramenti riscontrati nell'area indagata. Si è proceduto, quindi, con l'ausilio di sistemi informatici di elaborazione, alla classificazione dell'ammasso roccioso secondo il sistema RMR di Bieniawski (1989). Tale sistema è basato sulla determinazione di un particolare indice (denominato indice RMR), derivante dalla sommatoria di alcuni parametri, definiti principalmente sulla base di un'accurata analisi delle discontinuità, sia stratigrafiche che strutturali, presenti nella roccia. Ciò deriva dal fatto che il comportamento meccanico degli ammassi rocciosi è strettamente connesso alla presenza di piani di debolezza. In particolare, la valutazione dell'indice RMR di Bieniawski permette la determinazione dei principali parametri di resistenza al taglio della roccia in termini di tensioni efficaci, attraverso l'applicazione delle seguenti note correlazioni:

c (kPa) = 5 RMR

φ (°) = 5 + RMR/2

dove con RMR viene considerato l'indice di Bieniawski cosiddetto di base, indipendente dalla disposizione giaciturale delle discontinuità. Sulla base di quanto ottenuto dall'applicazione delle suddette formule, vengono attribuiti alla roccia i seguenti parametri:

STRATO 3: Substrato calcareo-marnoso alterato e fratturato:

γ_d (peso di volume drenato): 2,25 – 2,35 t_p/m^3;

γ_{saturo} (peso di volume saturo): 2,30 – 2,40 t_p/m^3;

φ (angolo di attrito): 30 – 32°;

c (coesione): 1,5 – 2,5 kg_p/cmq

L'ammasso roccioso ricade in classe IV ed è pertanto caratterizzato da qualità scadente.

I valori del peso di volume, sia drenato che saturo, sono stati attribuiti secondo quanto indicato dall'analisi della bibliografia tecnica consultata.

I valori indicati sono da ritenersi sufficientemente cautelativi.

VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE- METODI DELL'EQUILIBRIO LIMITE

Le analisi di stabilità globale sono stata realizzata in condizioni di progetto lungo le sezioni fornite dal tecnico progettista ritenute maggiormente critiche e significative. Per l'analisi ci si

è basati sul presupposto che un versante (pendio, fronte di scavo, paramento di una diga in terra, rilevato…) perde la propria condizione di equilibrio ed inizi a muoversi per scivolamento (traslazionale o rotazionale) non appena su di una determinata superficie di rottura potenziale, la resistenza al taglio viene superata dalla risultante di tutte le forze di taglio agenti (destabilizzanti). Le verifiche sono state condotte attribuendo ai materiali potenzialmente coinvolti i parametri fisico-meccanici precedentemente riportati (opportunamente ridotti ai sensi delle NTC 2018); la porzione superficiale del substrato roccioso, alterata e fratturata è stata considerata inoltre come fosse un vero e proprio "terreno".

Le verifiche sono state realizzate ai sensi della nuova Normativa vigente sia in materia di rischio sismico che in materia di "Norme Tecniche per le costruzioni" (Stati Limite - D.M 17.01.2018). Nello specifico, *si è valutata la condizione di Stato Limite Ultimo SLV di Salvaguardia della Vita.*

Sono state, quindi, utilizzate le procedure di analisi di stabilità, definite "metodi dell'equilibrio limite", consistenti essenzialmente nella stima di un coefficiente di sicurezza alla traslazione e/o alla rotazione del volume compreso fra la superficie del versante ed una superficie di taglio maggiormente critica individuata tra svariate superfici potenziali.

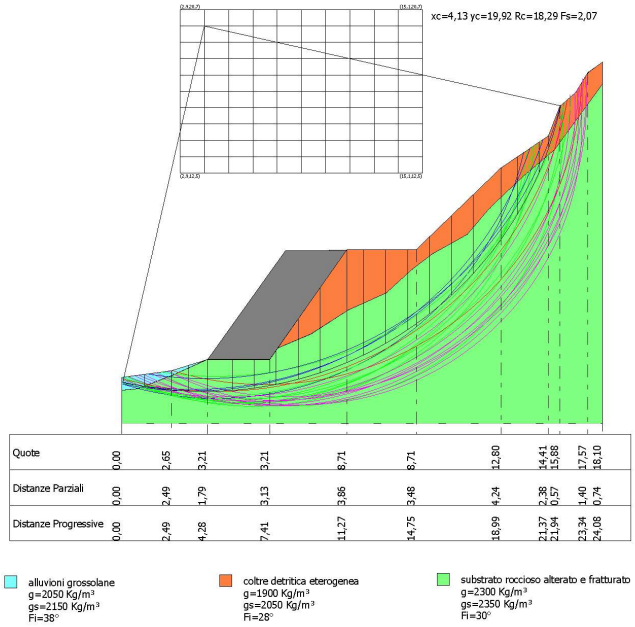
I metodi dell'equilibrio limite ripartiscono la massa potenzialmente instabile in una serie di conci (strisce); per ognuno dei quali vengono valutate le forze su di esso agenti; si procede quindi alla sommatoria delle risultanze ottenute. Nel caso in esame si sono utilizzati 20 conci.

In particolare, nei casi in esame, si è fatto ricorso all'applicazione dei classici metodi di Fellenius, Bishop semplificato, Janbu semplificato, Bell, Spencer e Sarma considerando superfici di scivolamento circolari.

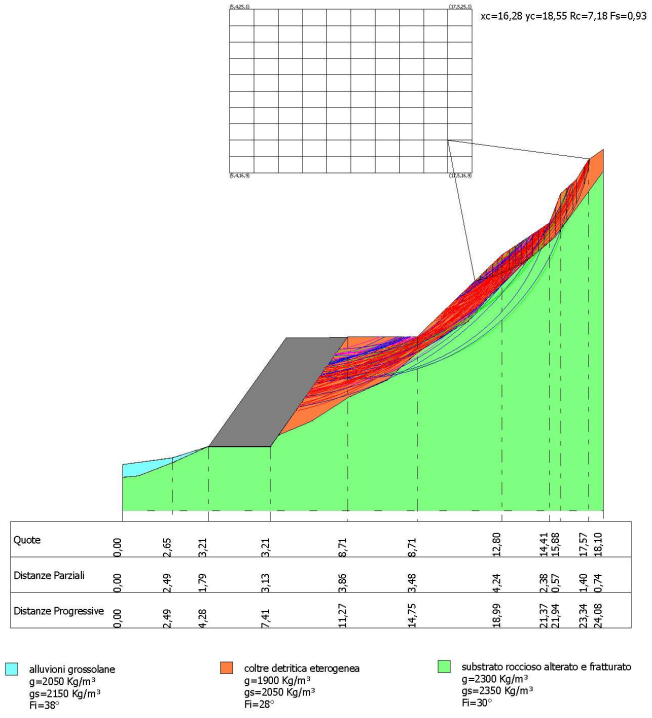
Nello specifico, sulle sezioni interessate dall'esecuzione della scogliera d'argine (sez -1 e sez 0), sono state eseguite due differenti verifiche, una relativa a superfici di rottura coinvolgenti l'intero tratto di pendio ed una relativa a potenziali cinematismi più ridotti arealmente coinvolgenti settori più contenuti di versante a monte della nuova opera. In corrispondenza della sezione interessata dall'esecuzione delle berlinesi (sez 1) è stata invece, realizzata un unica verifica con superfici potenziali di rottura passanti al di sotto dei micropali previsti (si sono a titolo cautelativo omessi i tiranti) e coinvolgenti tutto il tratto di pendio fino all'alveo, tralasciando volutamente eventuali verifiche locali del settore a valle delle berlinesi, oggetto di altro progetto, per il quale non si intende entrare nel merito.

I valori maggiormente cautelativi del fattore di sicurezza (convenzionalmente definito come Fs = Forze resistenti/forze agenti) vengono di seguito riportati:

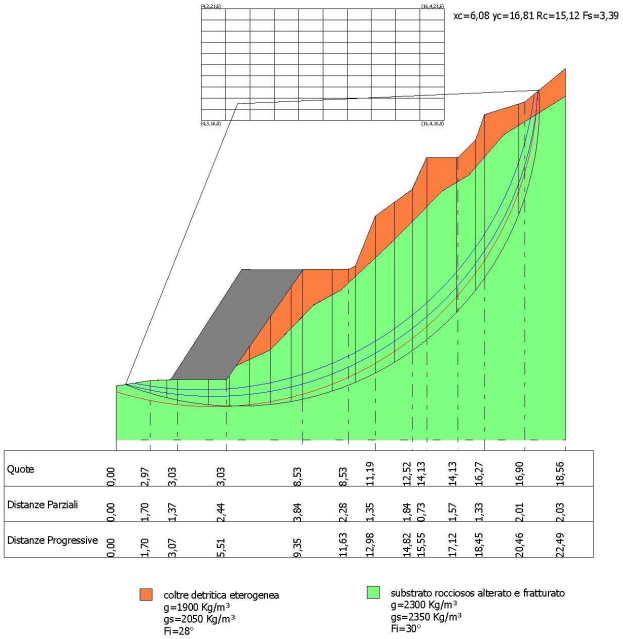
***VERIFICA 1*: STABILITA' ESTESA SEZIONE -1** **Fsmin (SARMA): 2,07**



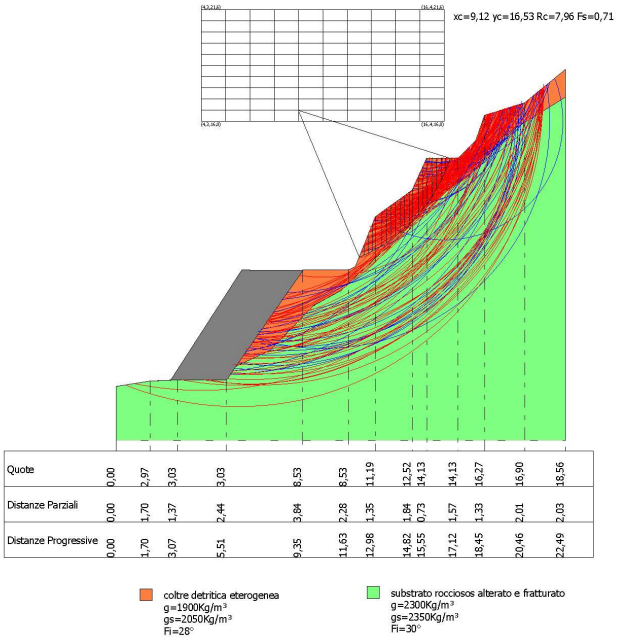
***VERIFICA 2*: STABILITA' LOCALIZZATA SEZIONE -1** **Fsmin (JANBU): 0,93**



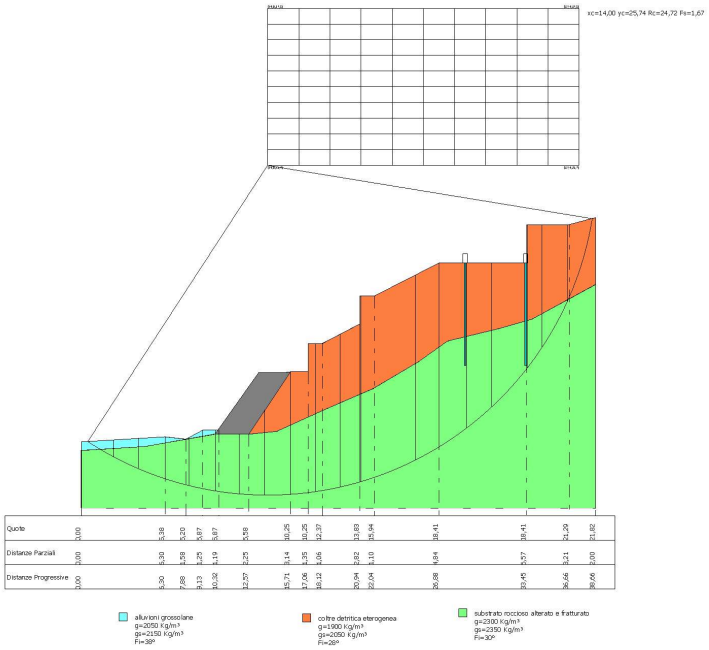
***VERIFICA 3*: STABILITA' ESTESA SEZIONE 0 Fsmin (BISHOP): 3,39**



***VERIFICA 4*: STABILITA' LOCALIZZATA SEZIONE 0 Fsmin (JANBU): 0,71**



***VERIFICA 5*: STABILITA' ESTESA SEZIONE 1** **Fsmin (JANBU): 1,67**



Dai risultati ottenuti emerge quanto segue:

- *risulta verificata la stabilità globale estesa per tutte le sezioni analizzate;*
- *non risulta verificata la stabilità per superfici di rottura localizzate in corrispondenza del settore immediatamente soprastante la nuova scogliera ove sono da attendersi, pertanto, possibili evoluzioni dei fenomeni dissestivi superficiali coinvolgenti la coltre di copertura ed il detrito ad oggi ancora presenti lungo la scarpata. In caso di eventuali evoluzioni dei dissesti, anche a seguito degli interventi di cui alla presente progettazione, si ritiene che parte del materiale destabilizzato possa arrestarsi in corrispondenza del settore sub-pianeggiante a tergo della nuova scogliera riducendo l'entità dell'eventuale sversamento di detrito in alveo.*

Si ribadisce che sono state volutamente tralasciate eventuali verifiche locali del settore a valle delle nuove berlinesi, oggetto di altro progetto, per il quale non si intende entrare nel merito.

CONSIDERAZIONI SUL RISCHIO SISMICO

Alla luce di quanto previsto dalla vigente Normativa Regionale in materia di rischio sismico in vigore dal 19 Luglio 2017 (D.G.R. 2655 del 17/03/2017) il Comune di Mendatica viene classificato in ***Zona simica di tipo 3.***

Secondo le Norme Tecniche le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto degli stati limite, sia di esercizio che ultimi, si definiscono, invece, a partire dalla "pericolosità sismica di base" caratteristica del sito d'intervento. Tale pericolosità di base deriva da studi condotti a livello nazionale, è riferita a condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale ed è definita da forme spettrali determinate in funzione dell'accelerazione orizzontale massima attesa al sito (a_g), del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0) e del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T_c*).

L'azione sismica così individuata, subordinata esclusivamente al posizionamento del sito d'intervento (in termini di latitudine e longitudine), deve essere quindi variata in funzione delle condizioni stratigrafiche del sottosuolo e della morfologia dei luoghi al fine di caratterizzare la risposta sismica locale.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi; in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella successiva Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella successiva Tab. 3.2.II:

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti,* caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

La forma spettrale viene così modificata in funzione della stratigrafia attraverso la determinazione del Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica S_s e del coefficiente C_c che modifica il valore del periodo Tc corrispondente all'inizio nel tratto a velocità costante dello spetto ($T_c=C_c x T_c^*$) secondo le seguenti modalità:

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di* S_S *e di* C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \le 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Nel caso specifico, come riportato nel capitolo relativo alle prove geofisiche realizzate in loco, il terreno di fondazione alle nuove strutture previste può essere ricondotto, in via sufficientemente cautelativa, ad una **categoria di tipo B per quel che riguarda la nuova scogliera** e ad una **categoria di tipo E per quel che riguarda le nuove berlinesi di sostegno**.

Per tenere conto invece delle condizioni topografiche del sito d'intervento, in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del Coefficiente di Amplificazione Topografica S_T riportato di seguito e variabile in funzione delle categorie topografiche definite e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Per il caso in esame si ritiene opportuno l'utilizzo di un **coefficiente S_T pari a 1,00** per quel che concerne il settore sub-pianeggiante di fondovalle interessato dalla posa in opera della scogliera **(categoria T1)** e di un **coefficiente in via cautelativa pari a 1,20** per quel che riguarda il settore interessato dalle berlinesi sito su di un versante morfologicamente riconducibile alla **categoria T2**.

In allegato alla presente si riportano i parametri caratteristici delle azioni sismiche di progetto, per i vari stati limite, calcolati alla luce delle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito d'intervento, della collocazione dello stesso, nonché sulla base della presunta vita nominale delle opere in progetto e dell'uso e destinazione delle stesse.

Valutata quindi la risposta sismica locale come fin qui esposto, non resta che verificare la stabilità del sito coinvolto dal progetto alla liquefazione del terreno; in merito a ciò, vista la discreta percentuale di particelle limose ed argillose costituenti la coltre di copertura, la presenza di roccia per buona parte dell'area di intervento a profondità sufficientemente limitata dal piano di campagna, nonché l'assenza di una vera e propria falda idrica a ridotta soggiacenza dal piano campagna, *lo scrivente ritiene impossibile l'innesco, anche a seguito di azioni cicliche e dinamiche di discreta entità, dei menzionati fenomeni di perdita di resistenza al taglio del terreno*.

CONCLUSIONI

Sulla base di quanto emerso dalle indagini e dalle verifiche eseguite ed esposto nel presente elaborato, ***lo scrivente attesta la fattibilità geologica degli interventi previsti dal progetto,*** *nell'assoluto rispetto, comunque, delle raccomandazioni e prescrizioni tecniche di seguito fornite.*

Il materiale di risulta delle operazioni di scavo e movimentazione, qualora non conferito presso una discarica o un centro di recupero autorizzati, potrà essere riutilizzato nel sito d'intervento o, in alternativa, come reinterro in altro cantiere autorizzato nel rispetto dei disposti di cui alla vigente normativa in materia di terre e rocce da scavo (D.P.R. 120/2017).
I blocchi attualmente presenti in alveo, di natura principalmente calcarea e calcareo-arenacea, potranno essere riutilizzati in loco per l'esecuzione della scogliera.

La scogliera dovrà poggiare su termini lapidei di substrato sufficientemente integri; il piano di posa dovrà essere quanto più possibile omogeneo in modo da evitare il potenziale innesco di cedimenti differenziali della struttura. L'opera dovrà essere dotata di adeguato sistema di drenaggio a tergo in modo da contenere, così, l'azione di eventuali sovrapressioni neutre in grado di comprometterne l'integrità e la stabilità.

Durante la fase esecutiva delle lavorazioni andrà attentamente verificato che le opere speciali costituenti le berlinesi (micropali e tiranti) si immorsino adeguatamente nel substrato lapideo in posto.

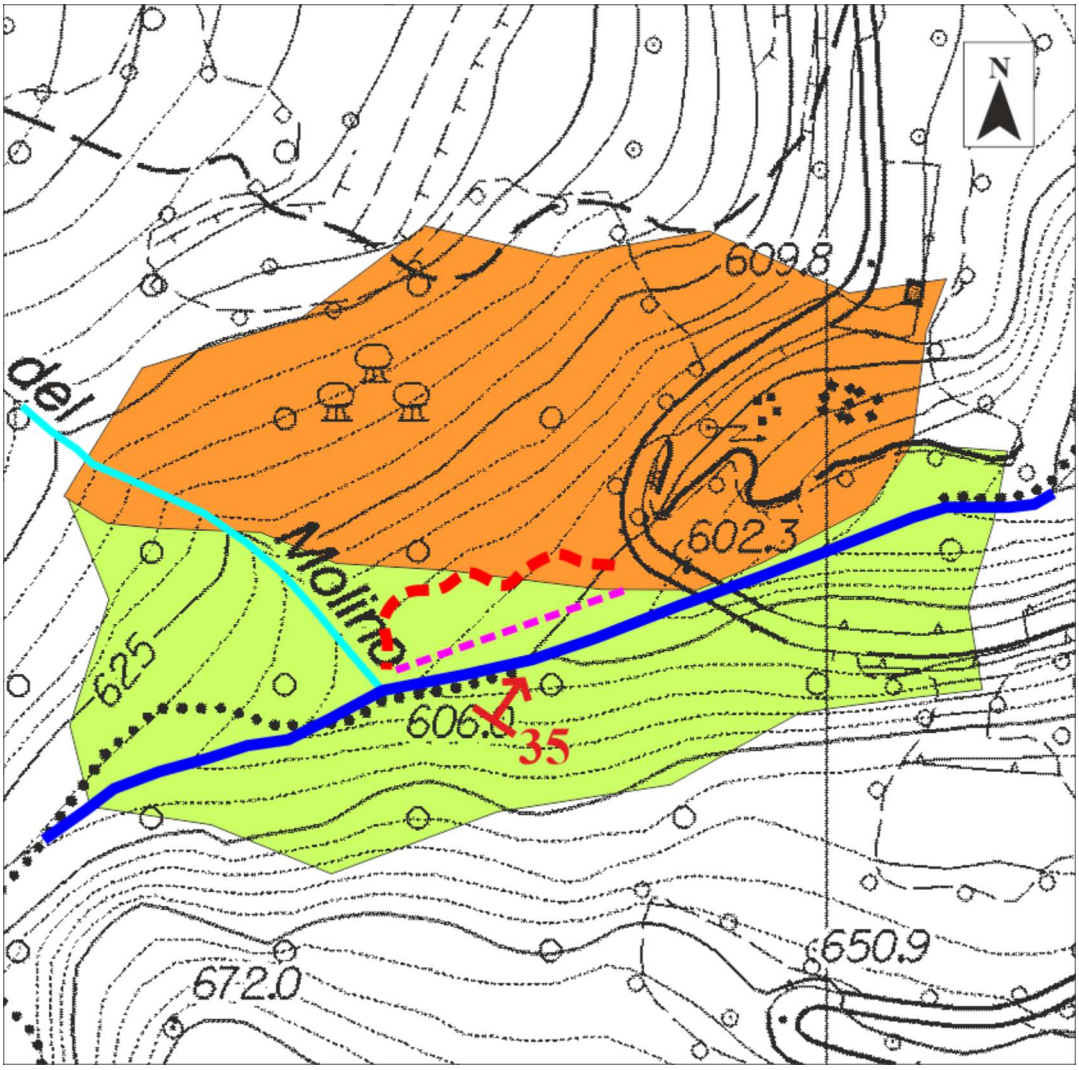
Le opere oggetto della presente progettazione, propedeutiche e necessarie per la futura sistemazione anche del rio Mulino, non consentiranno una messa in sicurezza complessiva dell'area in esame ma esclusivamente una sensibile mitigazione del rischio idrogeologico (consolidamento al piede del versante e protezione da fenomeni erosivi) e dovranno essere pertanto implementati successivamente da ulteriori interventi integrativi.
Vallecrosia, 22 Settembre 2022



Dott. Geol. Demis CILIBERTI

CARTA GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA

Scala 1:2.000



LEGENDA

Coltre detritico-colluviale (Quaternario)
Accumulo di versante eterogeneo (deposito di paleofrana) costituito da blocchi lapidei immersi in matrice limoso-sabbiosa (spessore superiore a m 3.0)

Formazione di Testico -Membro di Pieve di Teco (Cretaceo Inf - Cretaceo Sup.)
Successione monotona di marne più o meno calcaree ed arenacee di colore grigio-azzurro, con caratteristica patina di alterazione giallo-grigiastra, con intercalazioni di strati calcareo-marnosi debolmente quarzosi.

Giacitura degli strati lapidei

Ciglio settore in dissesto per scalzamento al piede

Torrente Arroscia

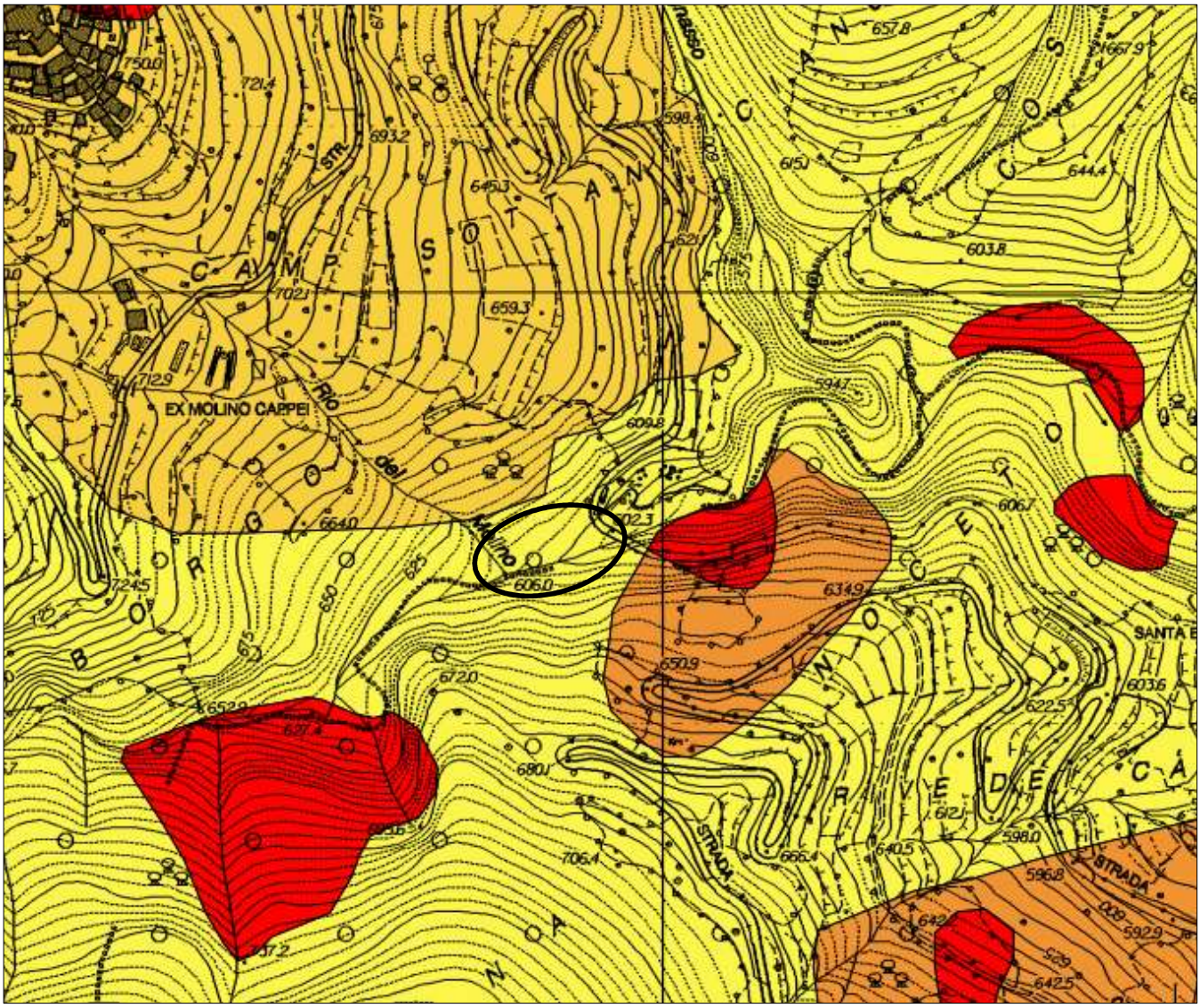
Rio del Molino

Tratto interessato dall'intervento

Geol. Demis Ciliberti - *Geologia Tecnica e Ambientale*

CARTOGRAFIA PIANO DI BACINO
“TORRENTE ARROSCIA ”

= Area d’intervento

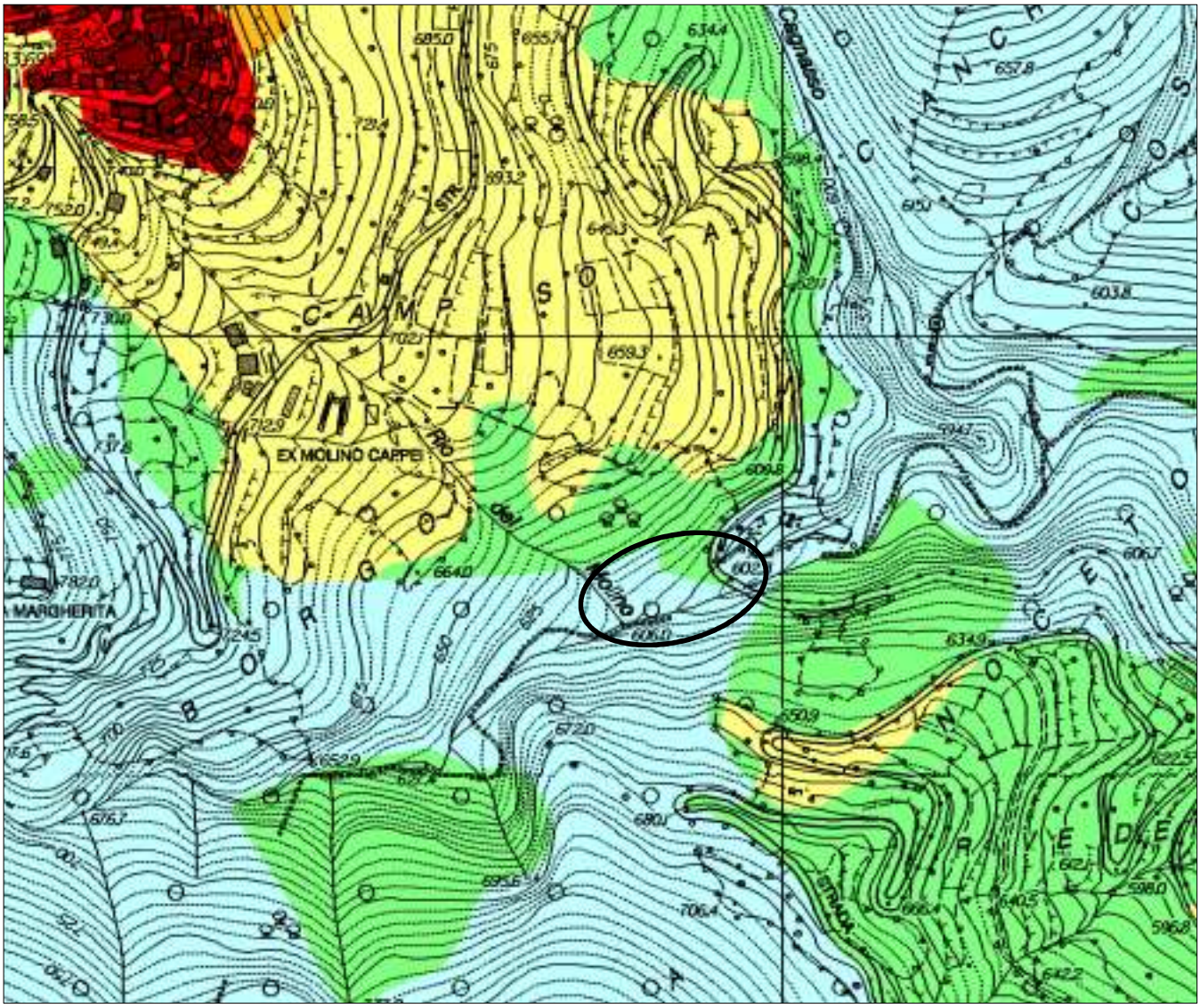


Estratto Carta della Pericolosità o Suscettività al dissesto
Pg2

Geol. Demis Ciliberti - *Geologia Tecnica e Ambientale*

CARTOGRAFIA PIANO DI BACINO
“TORRENTE ARROSCIA ”

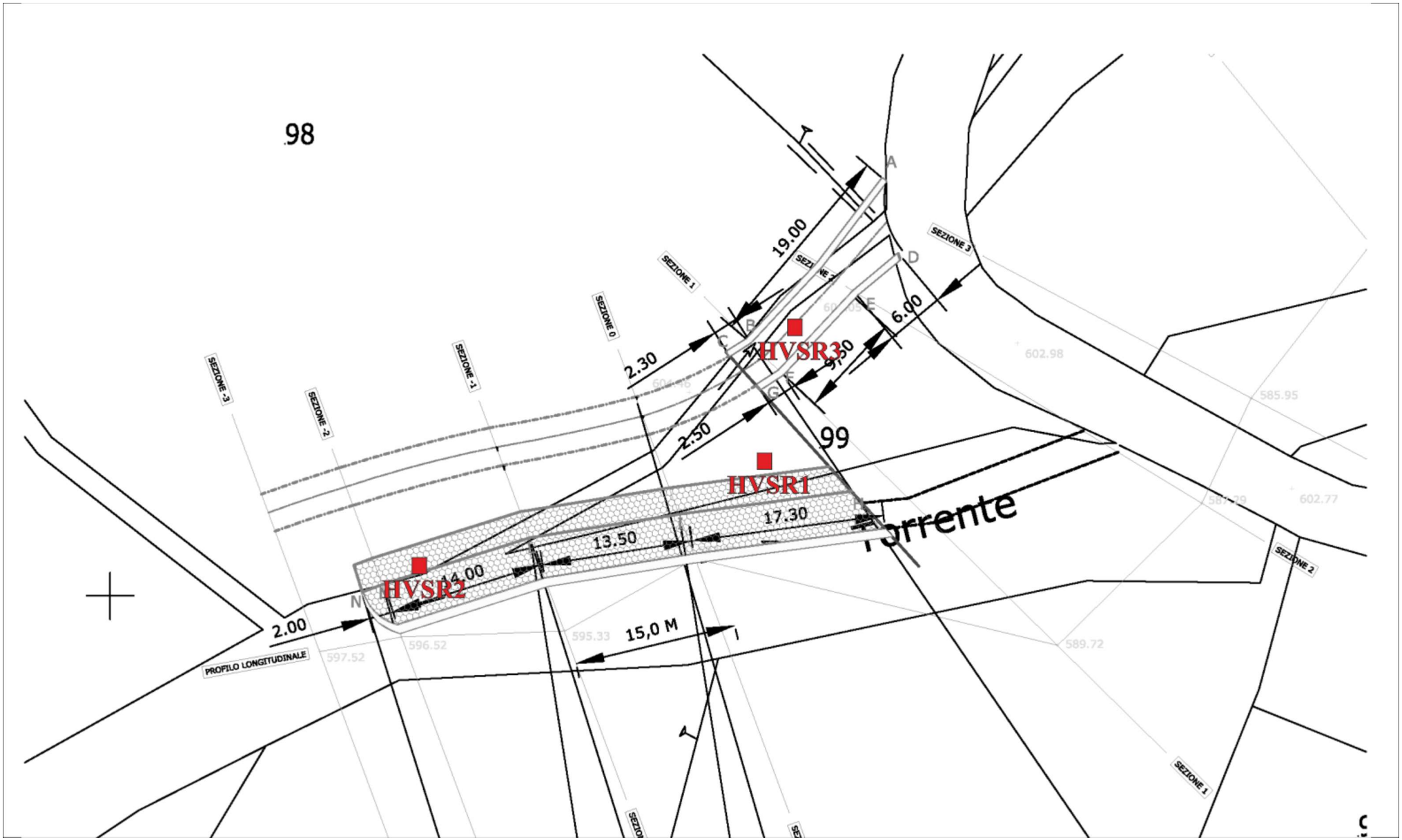
= Area d’intervento



Estratto Carta del rischio geomorfologico
Rischio lieve e, in minima parte, moderato

Geol. Demis Ciliberti - *Geologia Tecnica e Ambientale*

PLANIMETRIA DI PROGETTO CON UBICAZIONE DELLE PROVE GEOFISICHE HVSR REALIZZATE



Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS**

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione:Opere di sostegno NTC 2018

Sito in esame.

latitudine: 44,073438 [°]

longitudine: 7,812782 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	18233	44,047050	7,784191	3718,7
Sito 2	18234	44,050370	7,853602	4149,4
Sito 3	18012	44,100270	7,848902	4150,2
Sito 4	18011	44,096940	7,779500	3727,7

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,031	2,559	0,194
Danno (SLD)	63	50	0,044	2,582	0,213
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,144	2,459	0,295
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,193	2,489	0,309

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s^2]	Beta [-]
SLO	1,200	1,530	1,000	0,000	--	0,370	--
SLD	1,200	1,500	1,000	0,025	0,012	0,513	0,470
SLV	1,200	1,400	1,000	0,066	0,033	1,697	0,380
SLC	1,200	1,390	1,000	0,000	--	2,273	--

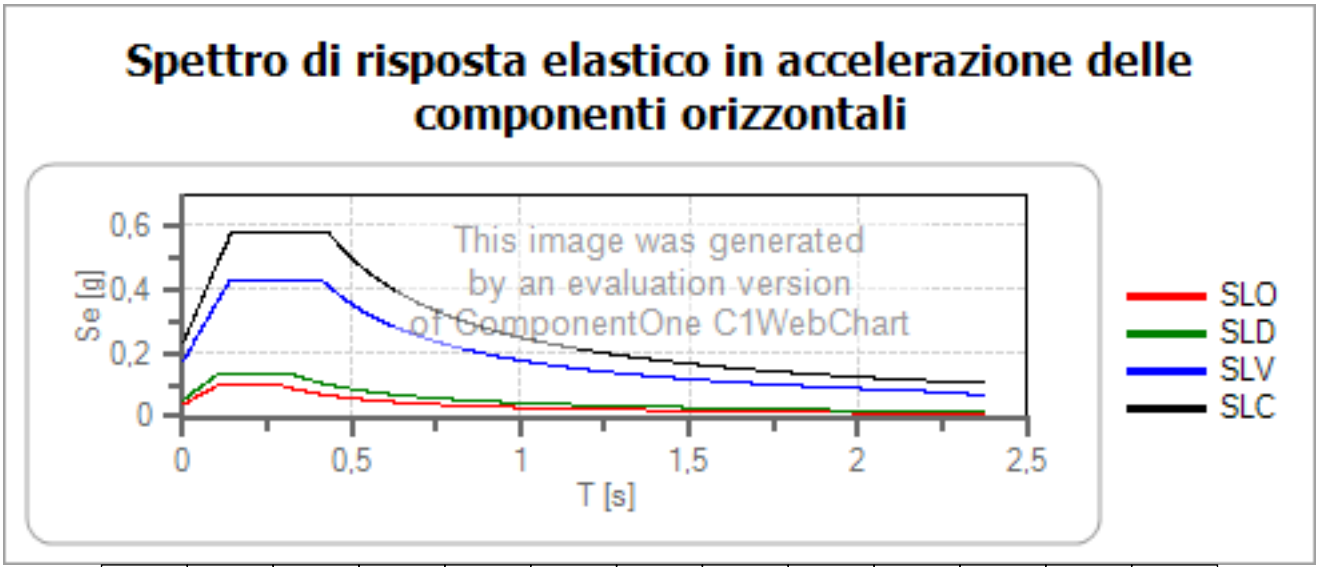
Geostru

Spettri di risposta

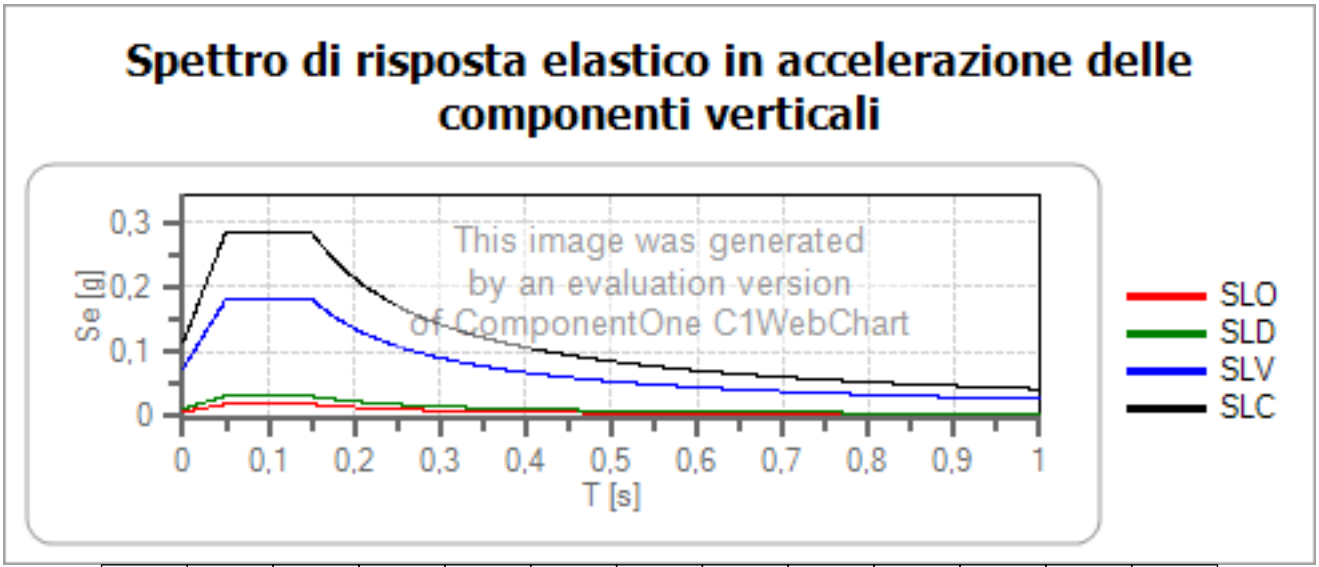
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,031	2,559	0,194	1,200	1,530	1,000	1,200	1,000	0,099	0,296	1,726
SLD	1	0,044	2,582	0,213	1,200	1,500	1,000	1,200	1,000	0,107	0,320	1,774
SLV	1	0,144	2,459	0,295	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,138	0,413	2,177
SLC	1	0,193	2,489	0,309	1,200	1,390	1,000	1,200	1,000	0,143	0,430	2,372



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,031	2,559	0,194	1,000	1,530	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,044	2,582	0,213	1,000	1,500	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,144	2,459	0,295	1,000	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,193	2,489	0,309	1,000	1,390	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

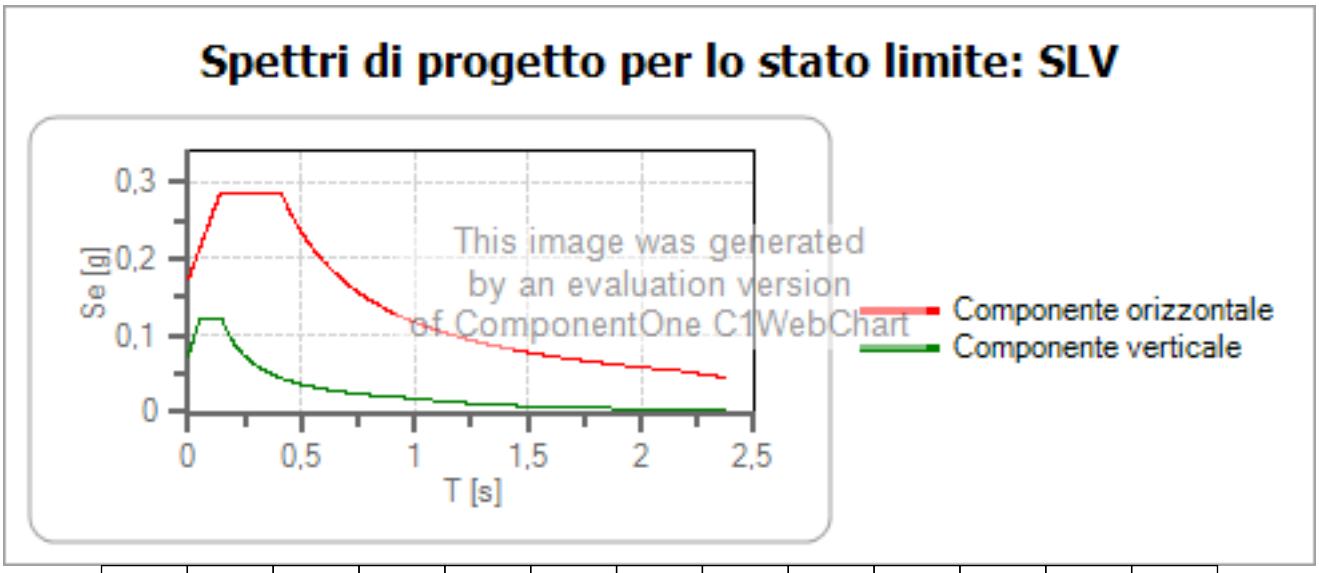
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5

per lo spettro orizzontale = 0,667

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5

per lo spettro verticale = 0,667

Stato limite: SLV



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLV orizzontale	1	0,144	2,459	0,295	1,200	1,400	1,000	1,200	1,500	0,138	0,413	2,177
SLV verticale	1	0,144	2,459	0,295	1,200	1,400	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000

Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS**

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione:
Muro rigido: True

Sito in esame.
latitudine: 44,073438 [°]
longitudine: 7,812782 [°]
Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Vita nominale: 50 [anni]
Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	18233	44,047050	7,784191	3718,7
Sito 2	18234	44,050370	7,853602	4149,4
Sito 3	18012	44,100270	7,848902	4150,2
Sito 4	18011	44,096940	7,779500	3727,7

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: E
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 50 anni
Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,031	2,559	0,194
Danno (SLD)	63	50	0,044	2,582	0,213
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,144	2,459	0,295
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,193	2,489	0,309

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,600	2,220	1,200	0,031	--	0,592	0,520
SLD	1,600	2,130	1,200	0,044	--	0,821	0,520
SLV	1,600	1,870	1,200	0,144	--	2,715	0,520
SLC	1,470	1,840	1,200	0,177	--	3,341	0,520

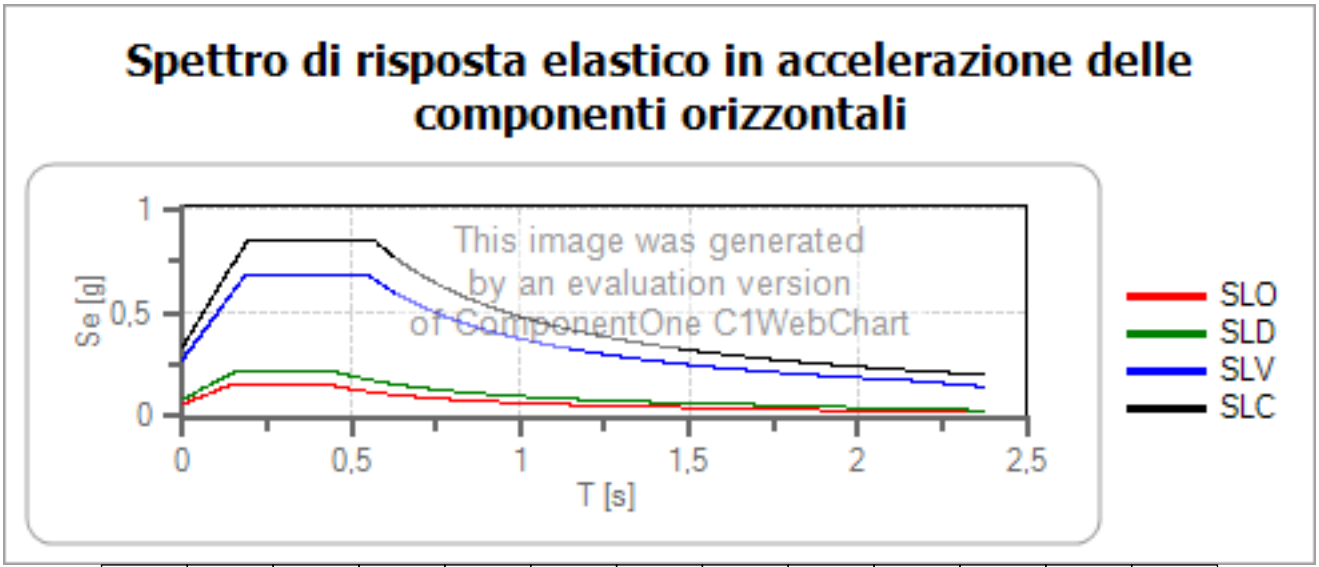
Geostru

Spettri di risposta

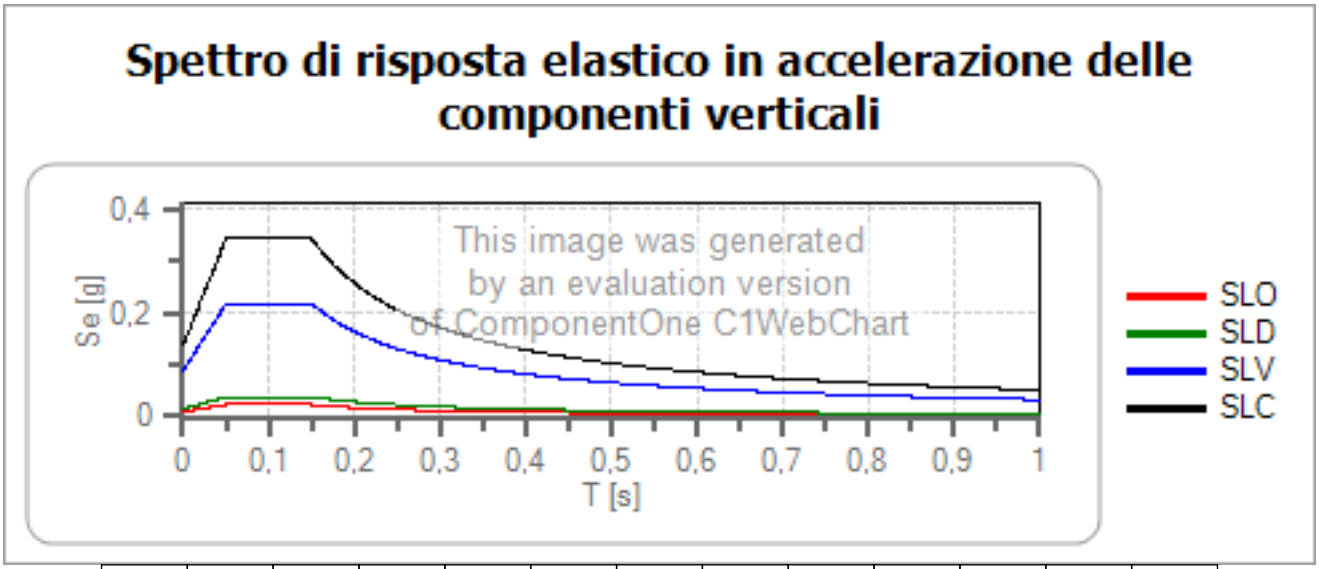
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,031	2,559	0,194	1,600	2,220	1,200	1,920	1,000	0,143	0,430	1,726
SLD	1	0,044	2,582	0,213	1,600	2,130	1,200	1,920	1,000	0,151	0,454	1,774
SLV	1	0,144	2,459	0,295	1,600	1,870	1,200	1,920	1,000	0,184	0,552	2,177
SLC	1	0,193	2,489	0,309	1,470	1,840	1,200	1,764	1,000	0,190	0,569	2,372



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,031	2,559	0,194	1,000	2,220	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,044	2,582	0,213	1,000	2,130	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,144	2,459	0,295	1,000	1,870	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,193	2,489	0,309	1,000	1,840	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

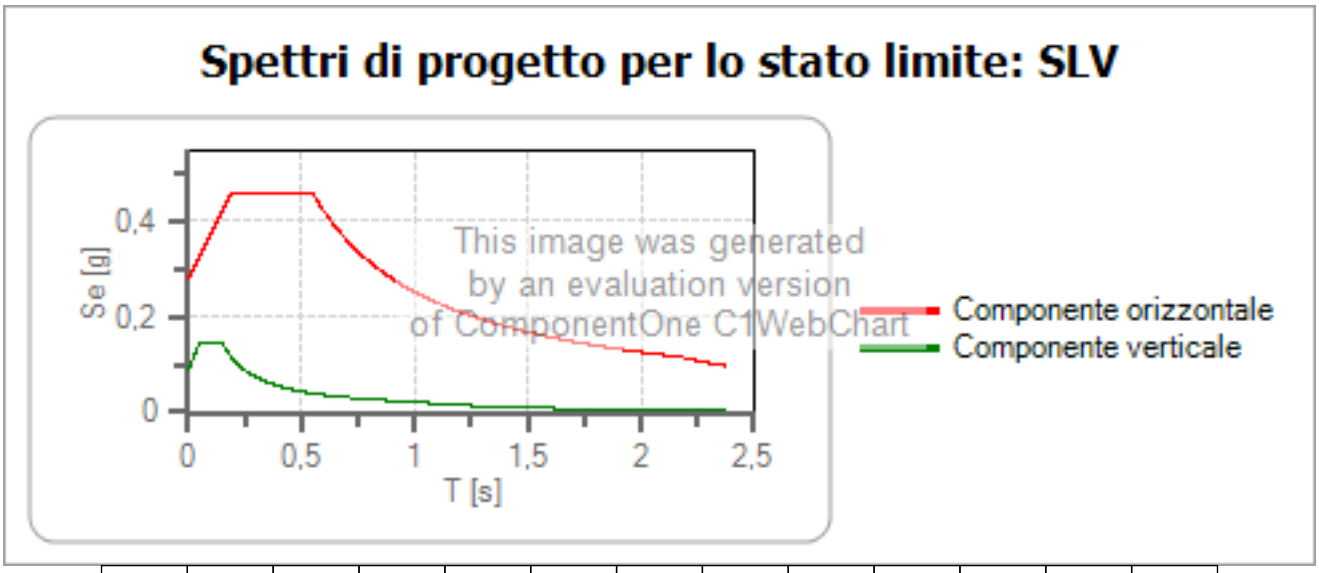
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5

per lo spettro orizzontale = 0,667

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5

per lo spettro verticale = 0,667

Stato limite: SLV



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLV orizzontale	1	0,144	2,459	0,295	1,600	1,870	1,200	1,920	1,500	0,184	0,552	2,177
SLV verticale	1	0,144	2,459	0,295	1,600	1,870	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000

Impresa: Geol Demis CILIBERTI
Committente: Amministrazione Comunale di Mendatica
Località sito: Località Mulino - SP 3
Data rilievo: lunedì 22 agosto 2022
Operatore: Geol Ciliberti
Caratteristiche del sito: Substrato calcareo-marnoso alterato e fratturato

Software: IS GeoRocce
di omnia IS, C.so Ferrucci 23, 10138 Torino - 0114337527 - www.omniais.it

In data lunedì 22 agosto 2022 è stato eseguito il rilievo dell'ammasso roccioso situato a Località Mulino - SP 3 da parte dell'operatore Geol Ciliberti per conto del committente Amministrazione Comunale di Mendatica. Sono anche state annotate le seguenti caratteristiche del sito in esame: Substrato calcareo-marnoso alterato e fratturato

E' stata quindi eseguita la seguente classificazione dell'ammasso roccioso in esame (foto).

- "RMR '89" (Rock Mass Rating, Bieniawsky (1989))



Classificazione mediante l'indice RMR '89, Bieniawski (1989)

Le scelte dell'utente sono elencate e riassunte nei punti seguenti:

•P1 (Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta): 6.2 (da una Sigma c = 60 MPa)
•P2 (Indice di recupero percentuale modificato RQD (RockQualityDesignation): 7.4 (da un RQD = 35 %)
•P3 (Spaziatura delle discontinuità): 8 (da una Spaziatura = 0.2 m)
•P4 (Condizioni delle discontinuità): 13
v1 (- persistenza : 3 ÷ 10 m) : 2

v2 (- apertura : 1 ÷ 5 mm) : 1
v3 (- rugosità : Leggermente rugosa) : 3
v4 (- alterazione : Mediamente alterate) : 3
v5 (- riempimento : Compatto (< 5 mm)) : 4
•P5 (Venute d'acqua): nessuna, corrispondente al parametro 15
•P6 (Effetti della giacitura delle discontinuità rispetto alla direzione di scavo): mediocre e Pendii come tipologia opera, corrispondente al parametro -25

e si è pervenuto ad un indice RMRc pari a: 25 rispondente a una **qualità dell'ammasso roccioso SCADENTE**

RMRa (asciutto) = 35

RMRb (di base) = 50

Dall'indice RMRb sono stati calcolati:

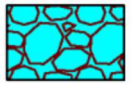
c = 250.00 [kPa]

phi = 30.00 [°]

E = 0.00 [GPa].

SEZIONI STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE

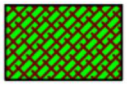
LEGENDA



Depositi alluvionali medio-grossolani e blocchi lapidei
Peso di volume secco: 2,0-2,1 tonn/mc
Peso saturo: 2.15 - 2.25 tonn/mc
Angolo di attrito efficace: 38-45°
Coesione efficace:0.1 - 0.2 kg/cmq



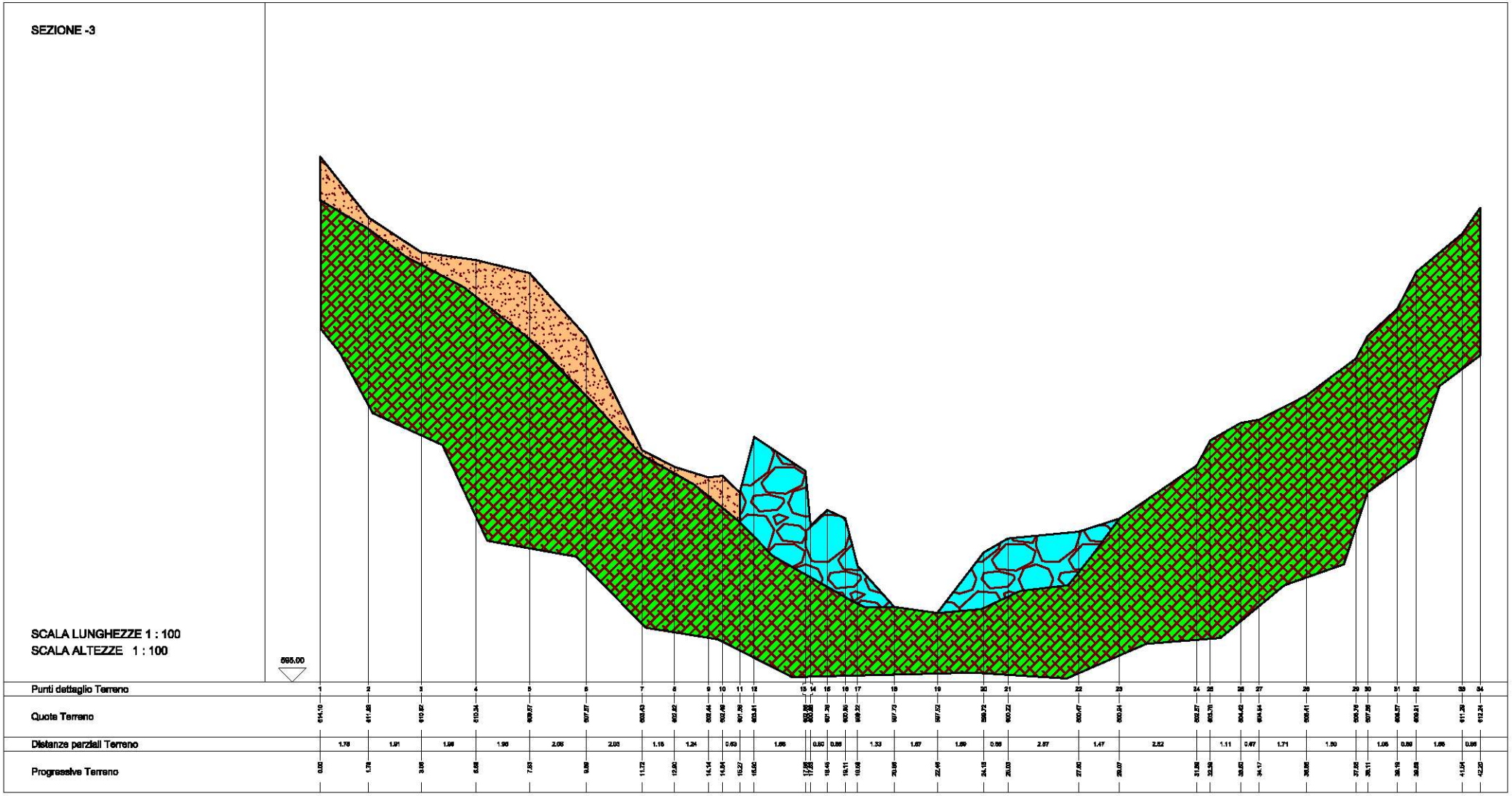
Coltre detritico-colluviale costituita da diffusi blocchi lapidei in matrtrice limoso-sabbiosa
Peso di volume secco: 1.85 - 1.95 tonn/mc
Peso saturo: 2.00 - 2.10 tonn/mc
Angolo di attrito efficace: 28 - 30°
Coesione efficace:006 - 0.07 kg/cmq



Substrato marnoso-calcareo alterato e fratturato
Peso di volume secco: 2.25 - 2.35 tonn/mc
Peso saturo: 2.30 - 2.40 tonn/mc
Angolo di attrito: 30 - 32°
Coesione:1.5 - 2.5 kg/cmq

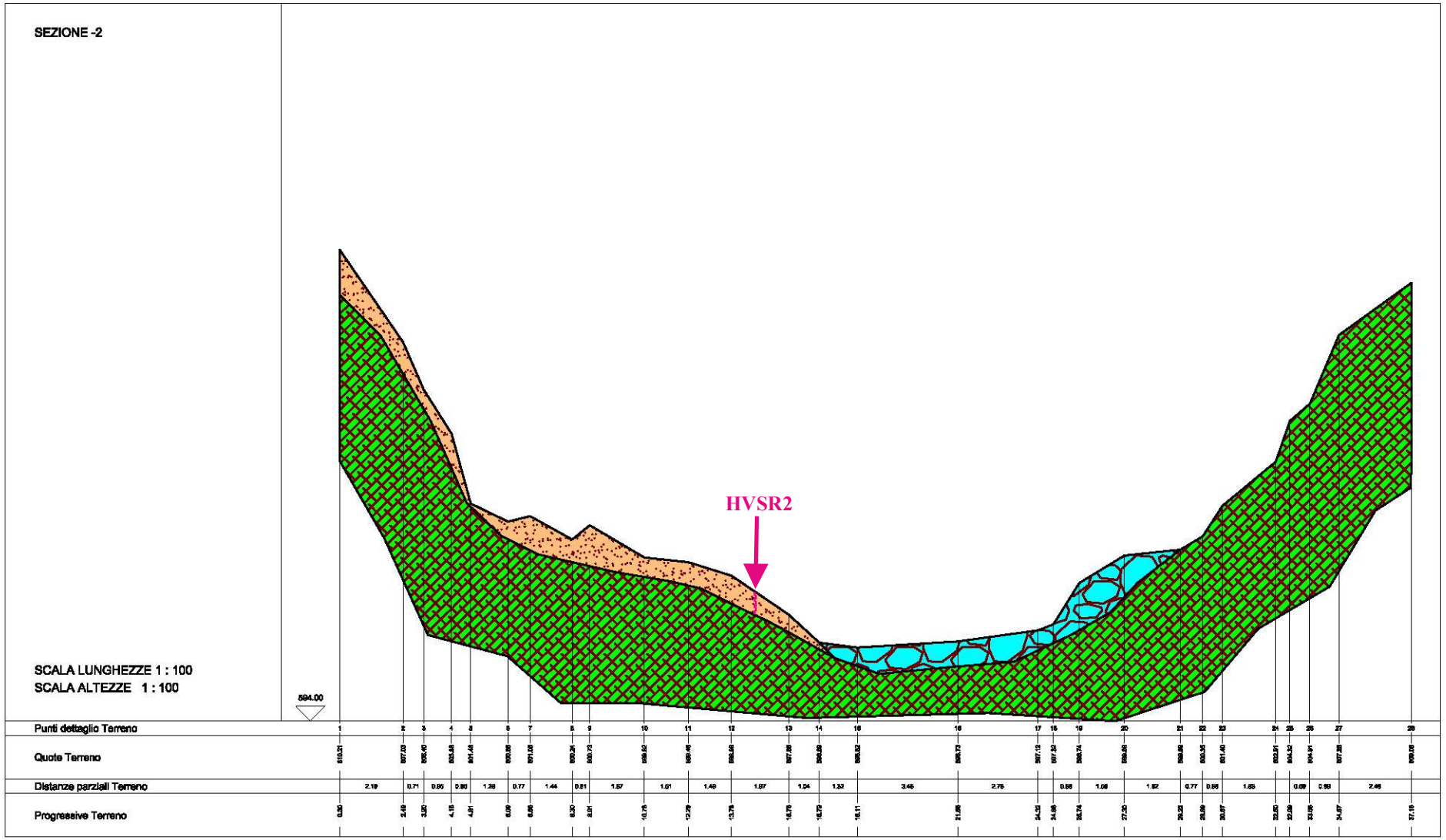
Sulla sezione -3 stato attuale

Scala 1:200



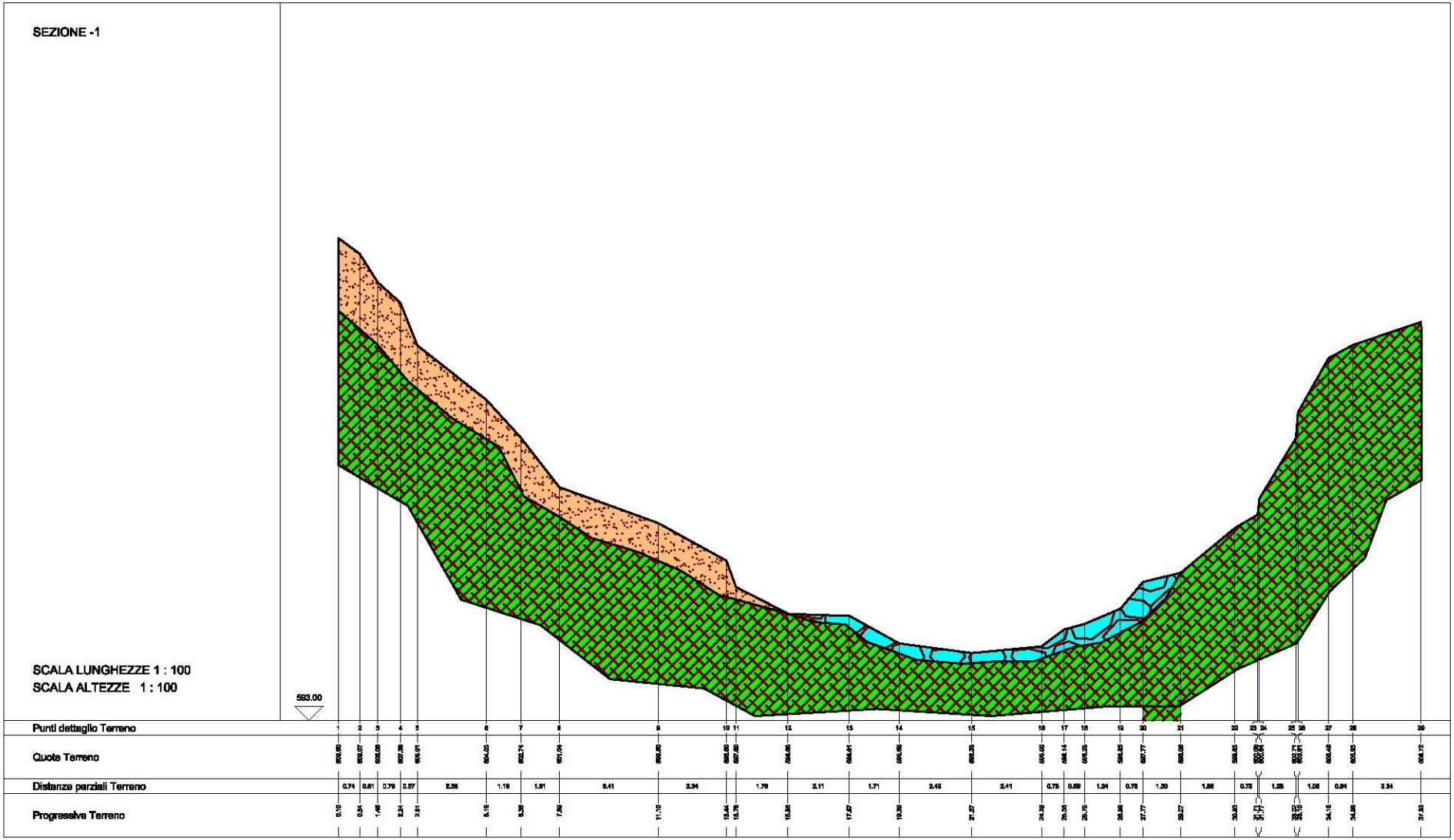
Sulla sezione -2 stato attuale

Scala 1:200



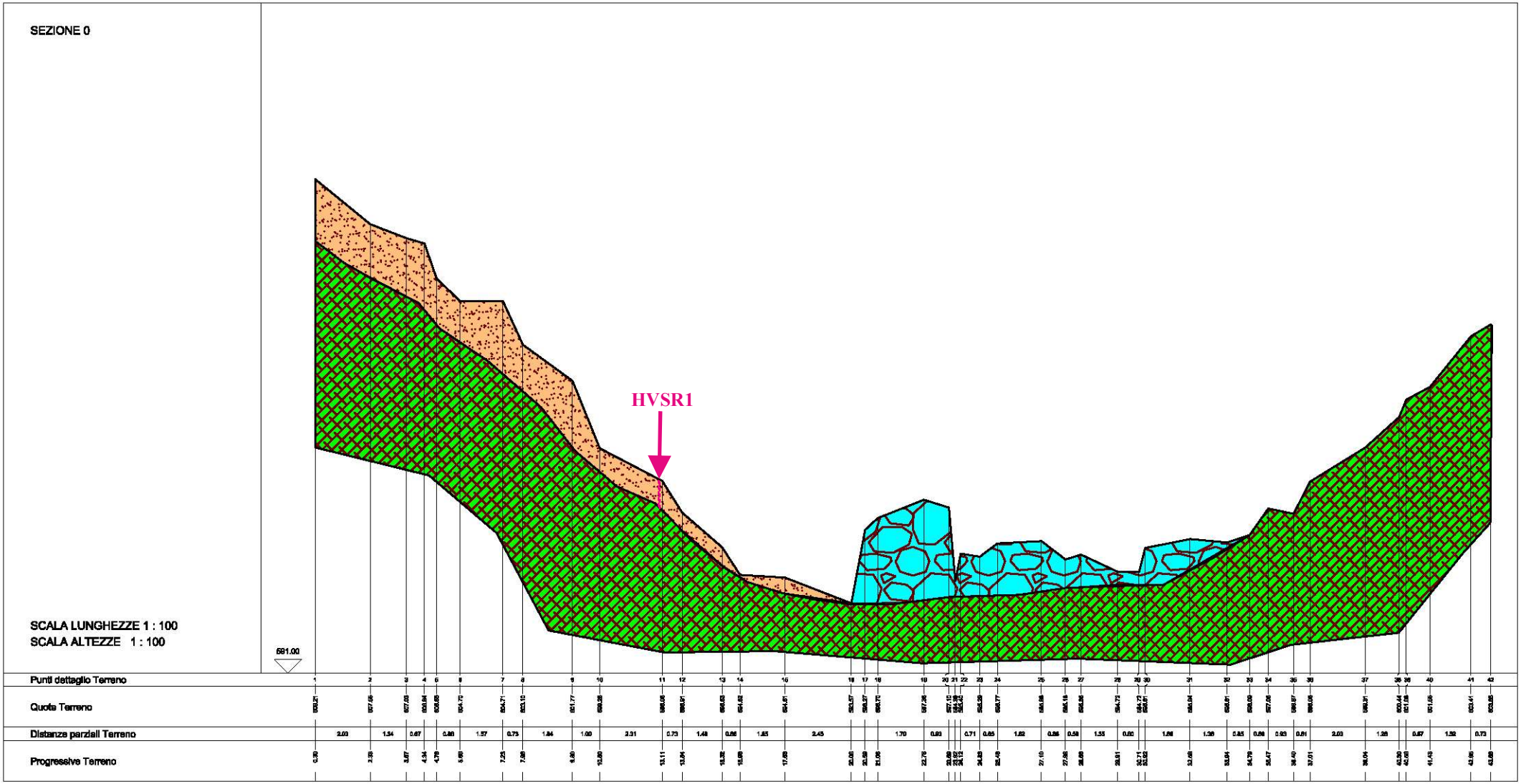
Sulla sezione -1 stato attuale

Scala 1:200



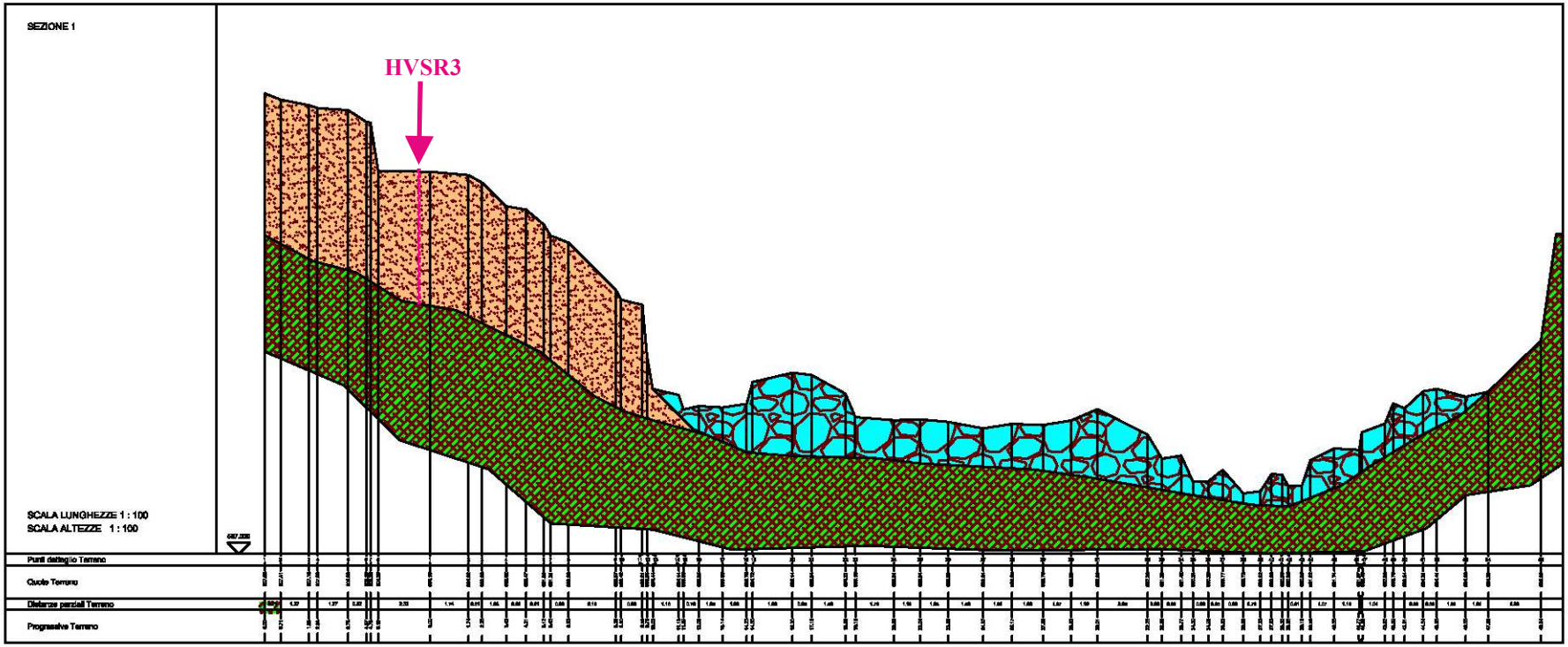
Sulla sezione 0 stato attuale

Scala 1:200



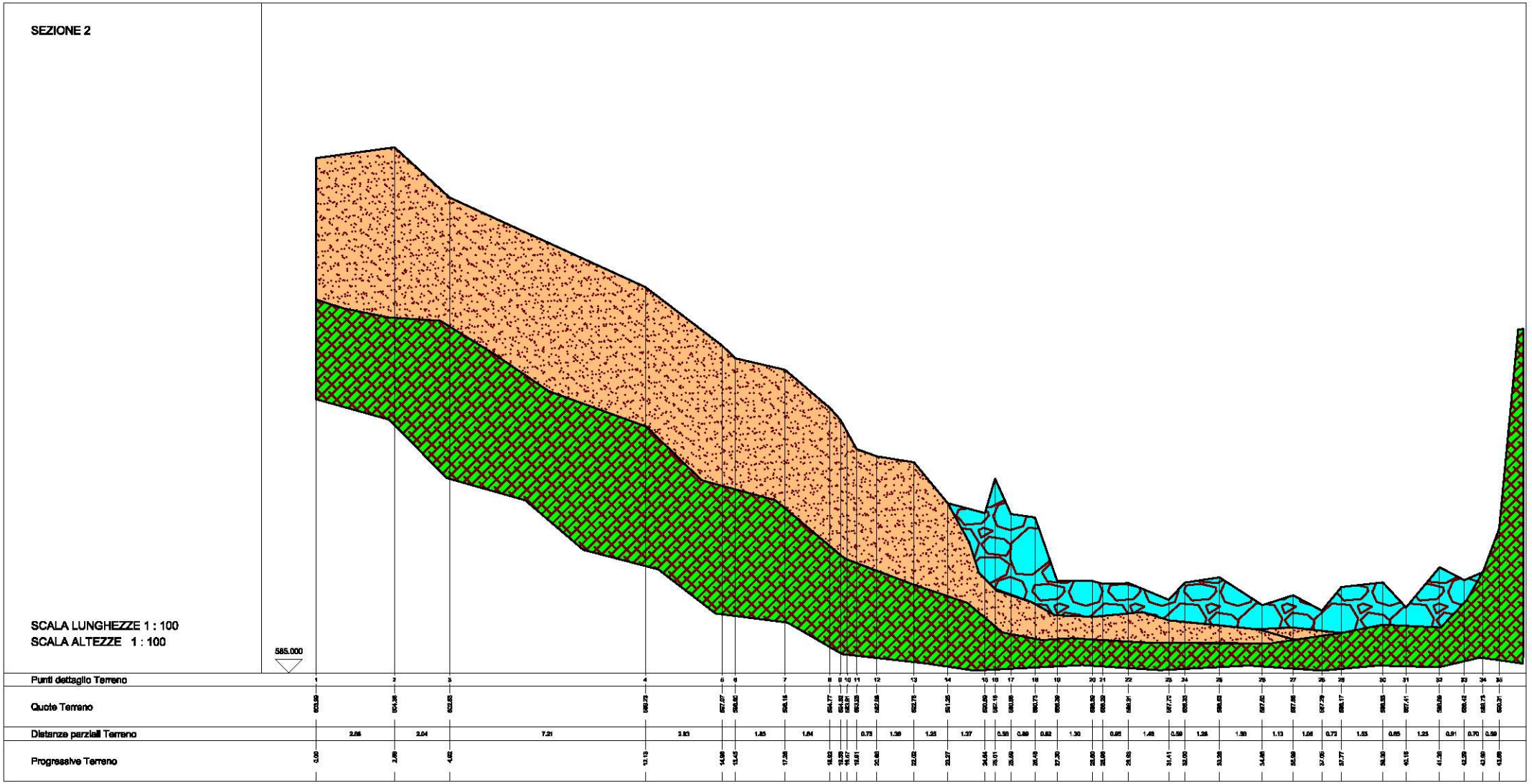
Sulla sezione 1 stato attuale

Scala 1:300



Sulla sezione 2 stato attuale

Scala 1:200



VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE IN CONDIZIONI DI PROGETTO

Sulle sezioni -1; 0 e 1

Verifiche allo SLU (SLV)

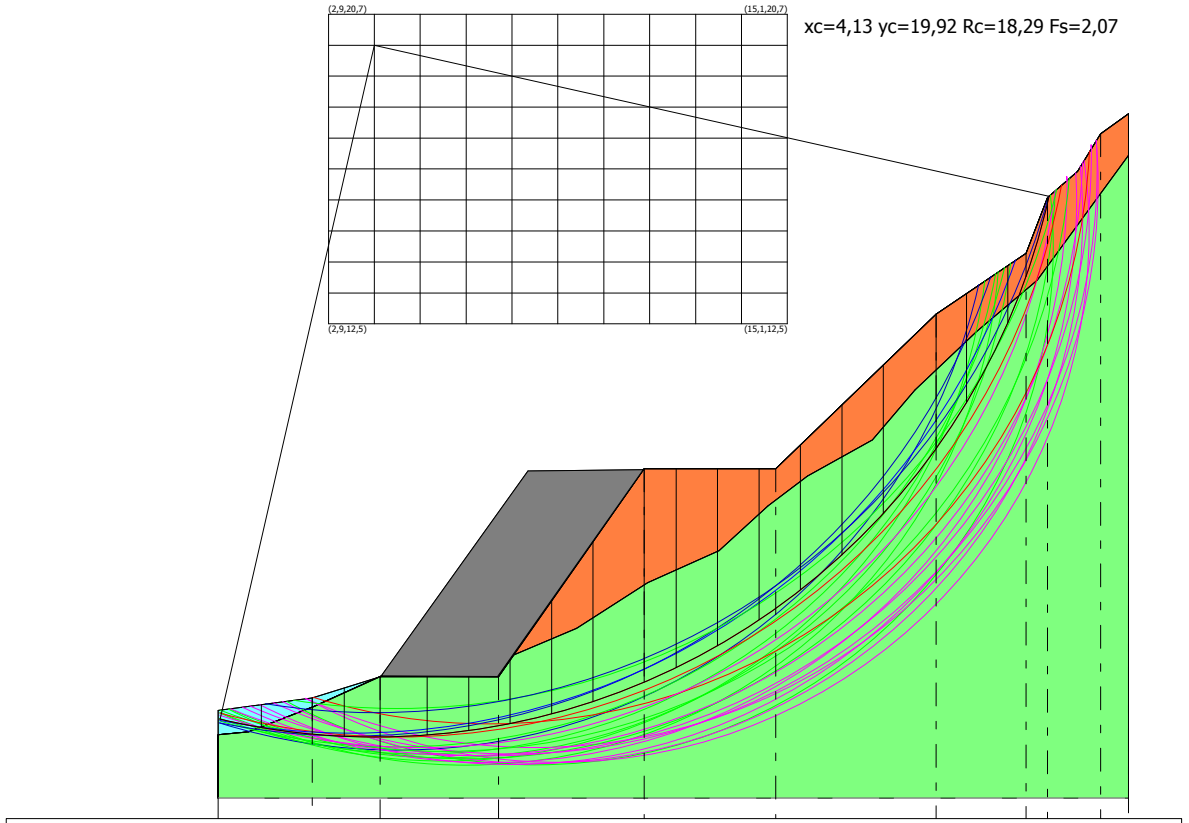
VERIFICA 1: STABILITA' ESTESA SEZIONE -1
Fsmin (SARMA): 2,07

VERIFICA 2: STABILITA' LOCALIZZATA SEZIONE -1
Fsmin (JANBU): 0,93

VERIFICA 3: STABILITA' ESTESA SEZIONE 0
Fsmin (BISHOP): 3,39

VERIFICA 4: STABILITA' LOCALIZZATA SEZIONE 0
Fsmin (JANBU): 0,71

VERIFICA 5: STABILITA' ESTESA SEZIONE 1
Fsmin (JANBU): 1,67

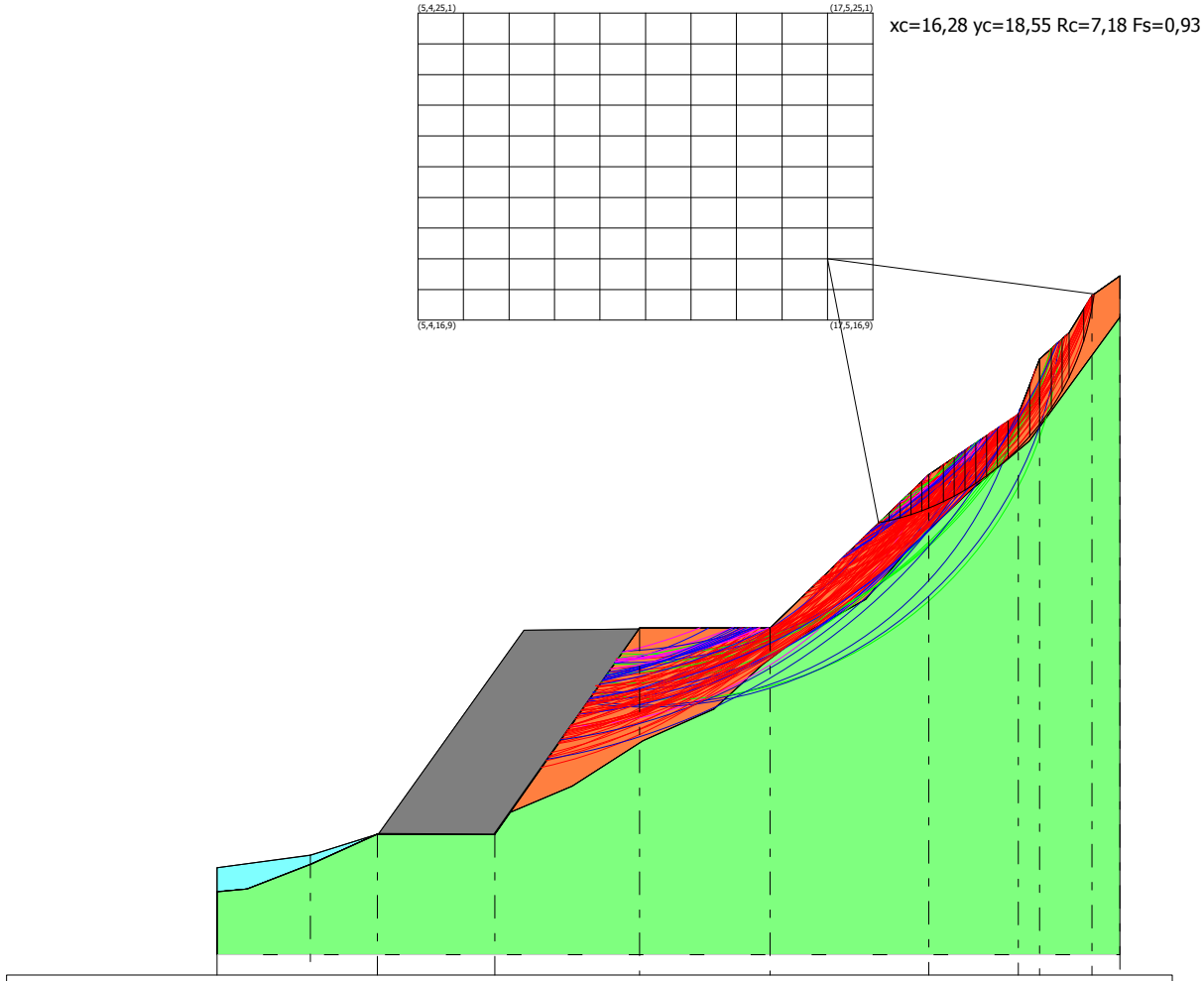


Quote	0,00	2,65	3,21	3,21	8,71	8,71	12,80	14,41	15,88	17,57	18,10	
Distanze Parziali	0,00	2,49	1,79	3,13	3,86	3,48	4,24	2,38	0,57	1,40	0,74	
Distanze Progressive	0,00	2,49	4,28	7,41	11,27	14,75	18,99	21,37	21,94	23,34	24,08	

alluvioni grossolane
g=2050 Kg/m³
gs=2150 Kg/m³
Fi=38°

coltre detritica eterogenea
g=1900 Kg/m³
gs=2050 Kg/m³
Fi=28°

substrato roccioso alterato e fratturato
g=2300 Kg/m³
gs=2350 Kg/m³
Fi=30°

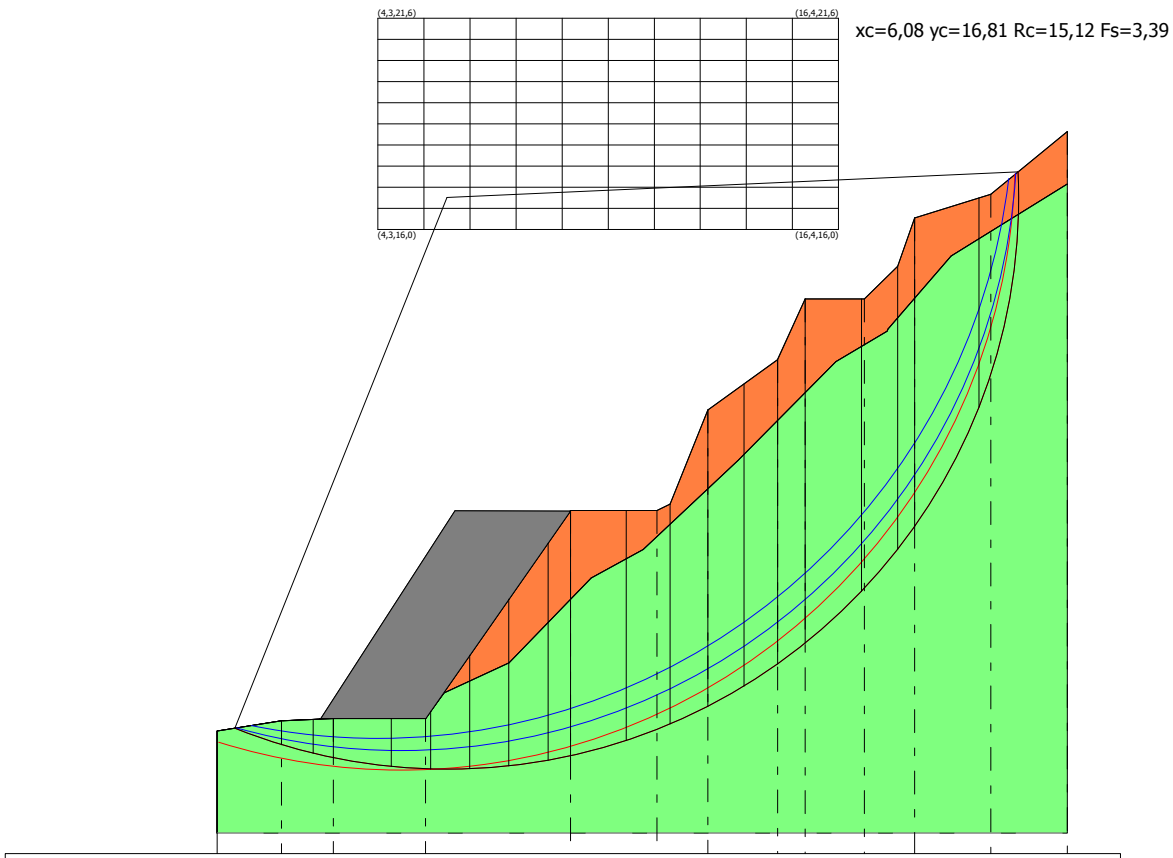


Quote	0,00	2,65	3,21	3,21	8,71	8,71	12,80	14,41	15,88	17,57	18,10	
Distanze Parziali	0,00	2,49	1,79	3,13	3,86	3,48	4,24	2,38	0,57	1,40	0,74	
Distanze Progressive	0,00	2,49	4,28	7,41	11,27	14,75	18,99	21,37	21,94	23,34	24,08	

alluvioni grossolane
g=2050 Kg/m³
gs=2150 Kg/m³
Fi=38°

coltre detritica eterogenea
g=1900 Kg/m³
gs=2050 Kg/m³
Fi=28°

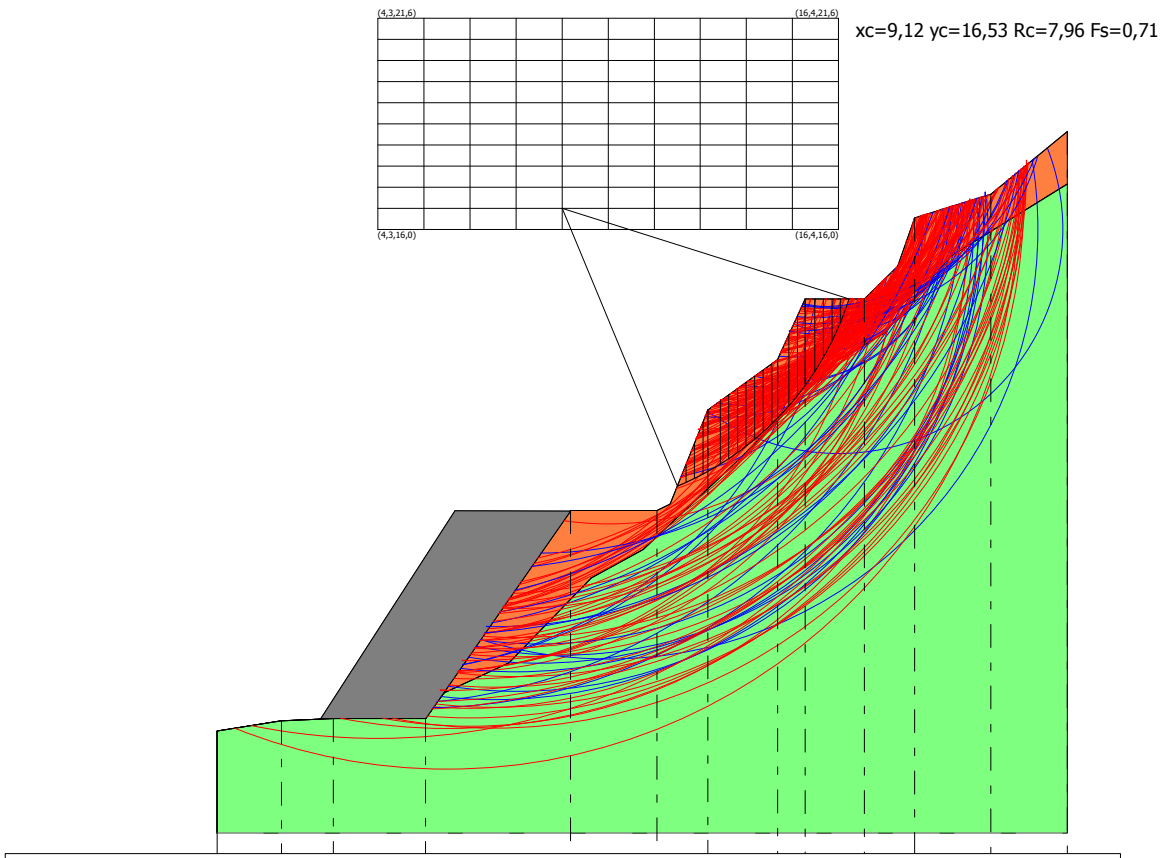
substrato roccioso alterato e fratturato
g=2300 Kg/m³
gs=2350 Kg/m³
Fi=30°



Quote	0,00	2,97	3,03	3,03	8,53	8,53	11,19	12,52	14,13	14,13	16,27	16,90	18,56	
Distanze Parziali	0,00	1,70	1,37	2,44	3,84	2,28	1,35	1,84	0,73	1,57	1,33	2,01	2,03	
Distanze Progressive	0,00	1,70	3,07	5,51	9,35	11,63	12,98	14,82	15,55	17,12	18,45	20,46	22,49	

coltre detritica eterogenea
g=1900 Kg/m³
gs=2050 Kg/m³
Fi=28°

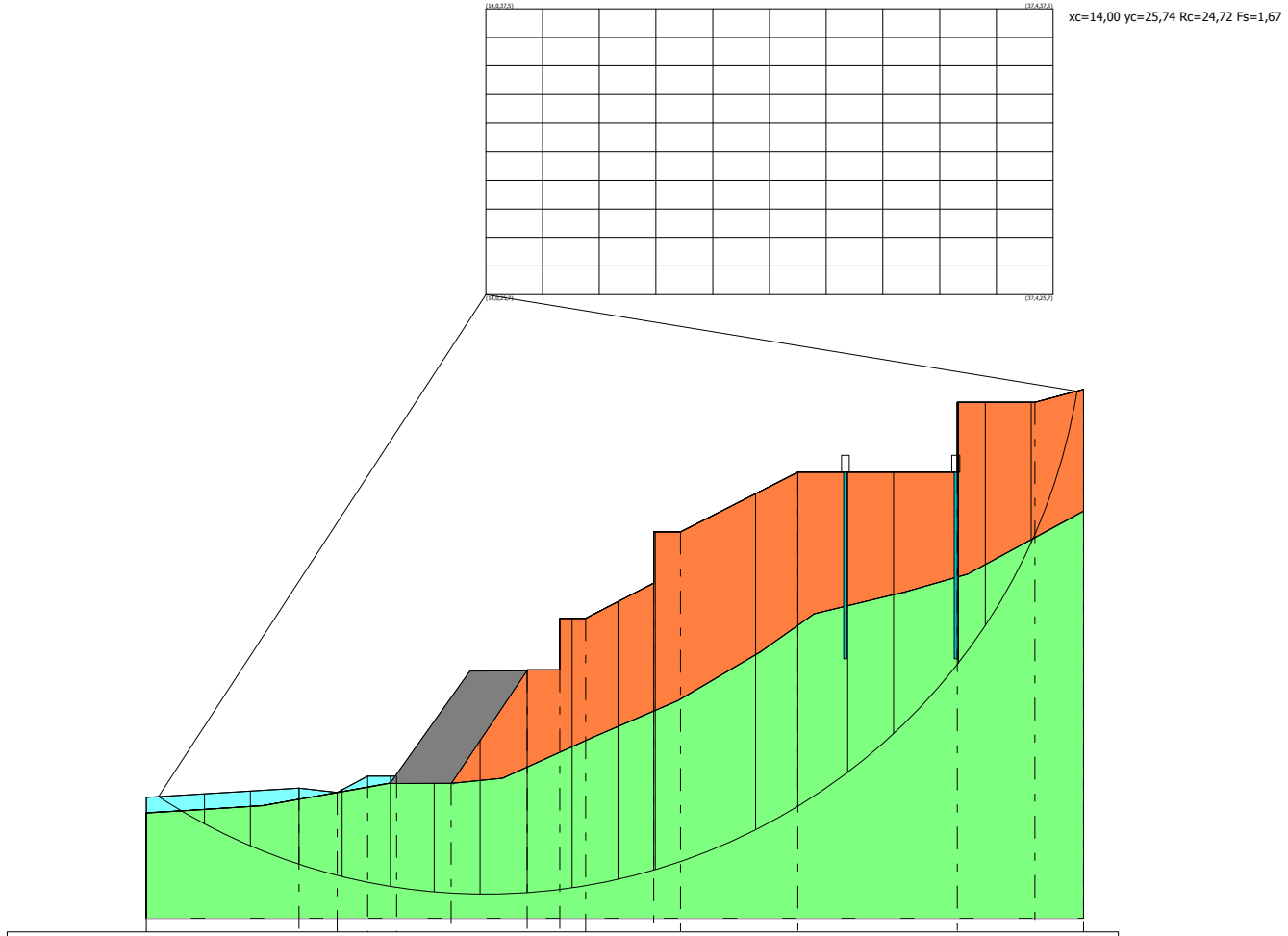
substrato rocciosos alterato e fratturato
g=2300 Kg/m³
gs=2350 Kg/m³
Fi=30°



Quote	0,00	2,97	3,03	3,03	8,53	8,53	11,19	12,52	14,13	14,13	16,27	16,90	18,56	
Distanze Parziali	0,00	1,70	1,37	2,44	3,84	2,28	1,35	1,84	0,73	1,57	1,33	2,01	2,03	
Distanze Progressive	0,00	1,70	3,07	5,51	9,35	11,63	12,98	14,82	15,55	17,12	18,45	20,46	22,49	

coltre detritica eterogenea
g=1900Kg/m³
gs=2050Kg/m³
Fi=28°

substrato rocciosos alterato e fratturato
g=2300Kg/m³
gs=2350Kg/m³
Fi=30°


xc=14,00 yc=25,74 Rc=24,72 Fs=1,67

| | | |

VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE
Relazione di calcolo

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:

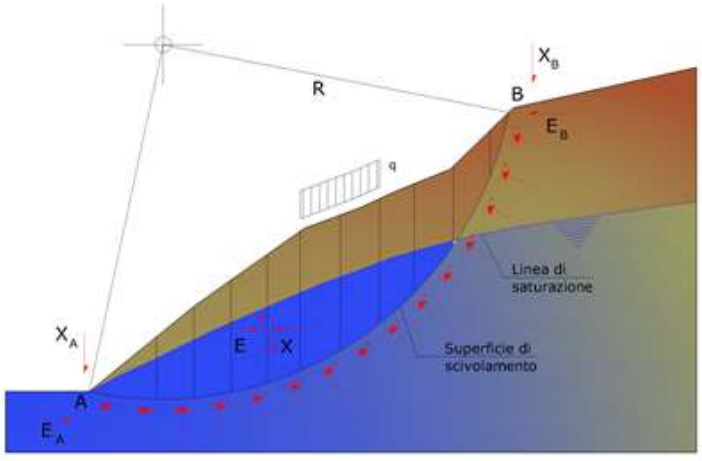
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido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

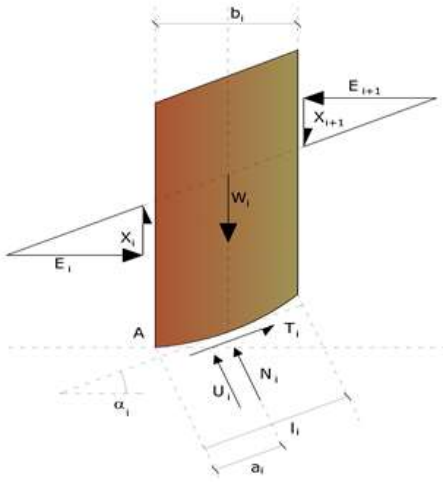
$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2$$

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 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:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \qquad \textbf{Criterio di rottura}$$

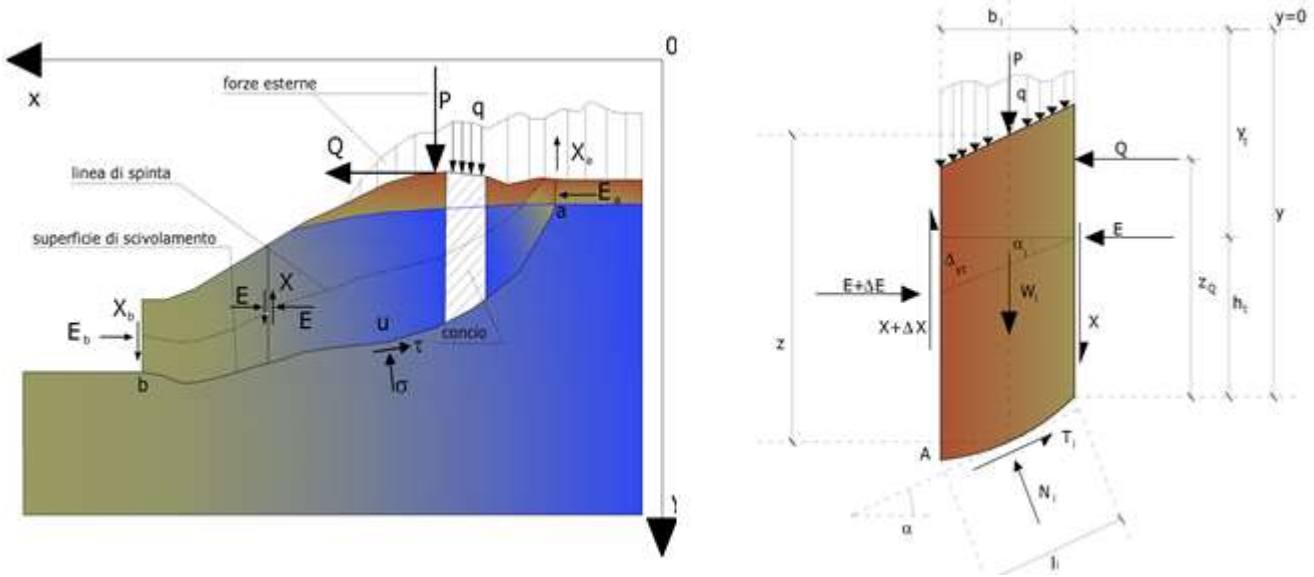
$$F = \frac{\Sigma\left\{c_i \times b_i + \left(W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i\right) \times \tan\varphi_i\right\} \times \dfrac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$



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.

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

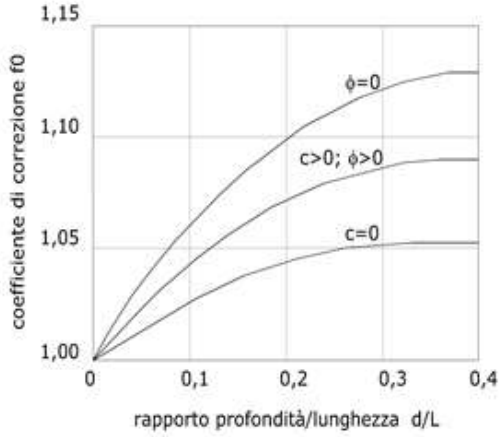


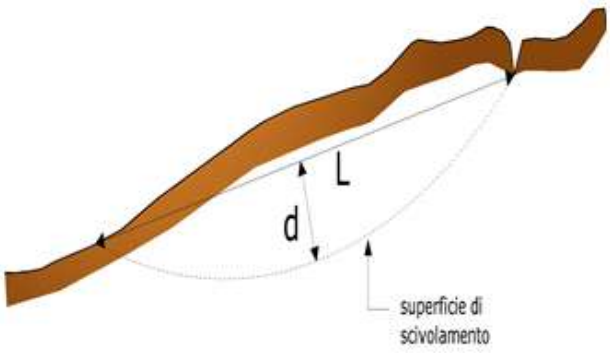
Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

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 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.

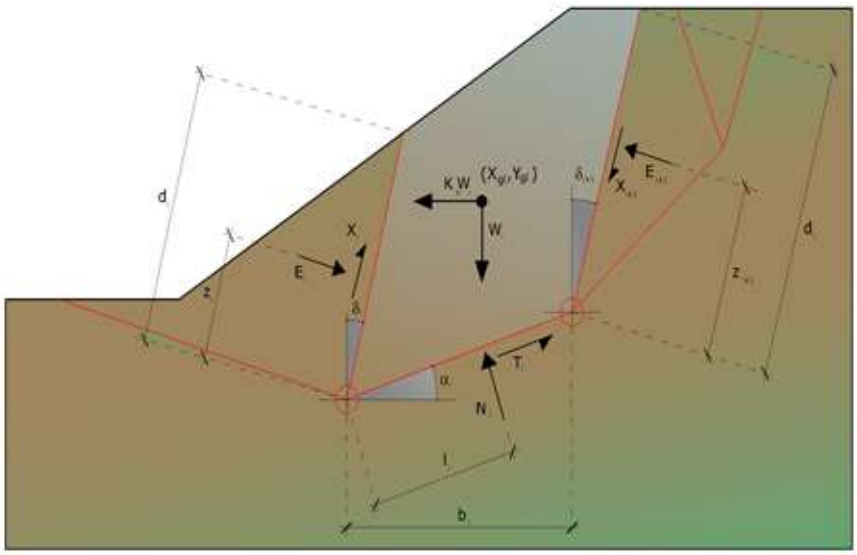
Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

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

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

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

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:

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

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 λ rappresenta un'incognita.
La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di K_c, λ e F, che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

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.

VERIFICA 1: STABILITA' ESTESA SEZIONE -1

Analisi di stabilità dei pendii con: SARMA (1973)

Lat./Long.	44,072457/7,811718
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2,92 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	12,54 m
Ascissa vertice destro superiore xs	15,06 m
Ordinata vertice destro superiore ys	20,73 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

==========

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:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,3	2,56	0,19
S.L.D.	50,0	0,43	2,58	0,21
S.L.V.	475,0	1,41	2,46	0,3
S.L.C.	975,0	1,89	2,49	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe II

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,36	1,0	0,0367	0,0184
S.L.D.	0,516	0,47	0,0247	0,0124
S.L.V.	1,692	0,38	0,0656	0,0328
S.L.C.	2,268	1,0	0,2313	0,1156

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0656
Coefficiente azione sismica verticale	0,0328

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	2,32
3	2,49	2,65
4	4,28	3,21
5	7,41	3,21
6	11,27	8,71
7	14,75	8,71
8	18,99	12,8
9	21,37	14,41
10	21,94	15,88
11	22,73	16,58
12	23,34	17,57

13	24,08	18,1

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	1,68
3	0,8	1,75
4	2,48	2,4
5	4,28	3,21
6	7,41	3,21
7	11,27	8,71
8	14,75	8,71
9	18,99	12,8
10	21,37	14,41
11	21,94	15,88
12	22,73	16,58
13	23,34	17,57
14	24,08	18,1

Vertici strato 2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	1,68
3	0,81	1,75
4	2,55	2,43
5	4,3	3,22
6	7,41	3,21
7	7,82	3,79
8	9,48	4,49
9	11,36	5,7
10	13,25	6,54
11	14,55	7,73
12	15,59	8,52
13	17,3	9,47
14	18,43	10,8
15	20,06	12,34
16	21,67	13,69
17	24,08	17,0

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 (kg/cm²)	Coesione non drenata	Angolo resistenza al	Peso unità di volume	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia	

		(kg/cm²)	taglio (°)	(Kg/m³)			
1	0.1		38	2050	2150	alluvioni grossolane	
2	0.06		28	1900	2050	coltre detritica eterogenea	
3	1.5		30	2300	2350	substrato roccioso alterato e fratturato	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

==========

Fs minimo individuato	**2,07**
Ascissa centro superficie	4,13 m
Ordinata centro superficie	19,92 m
Raggio superficie	18,29 m

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali.

xc = 4,131 yc = 19,916 Rc = 18,294 Fs=2,07

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	1,1	-11,16	1,12	959,52
2	1,35	-7,28	1,36	2310,39
3	0,85	-3,82	0,85	2139,08
4	0,94	-1,01	0,94	3109,09
5	1,25	2,43	1,25	4523,43
6	1,1	6,11	1,1	3748,13
7	1,1	9,58	1,11	3364,88
8	1,1	13,09	1,13	5706,31
9	1,1	16,64	1,14	8433,42
10	1,35	20,7	1,45	14012,84
11	0,84	24,42	0,92	9585,15
12	1,1	27,8	1,24	11495,58
13	1,1	31,77	1,29	10231,65
14	1,1	35,91	1,35	9004,02
15	1,1	40,28	1,44	9374,65
16	1,1	44,96	1,55	9305,34
17	1,39	50,85	2,21	11332,34
18	0,8	56,59	1,45	5533,04
19	1,1	62,6	2,38	5259,91
20	1,1	71,85	3,52	1249,07

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	197207,4	-103677,0	0,0	0,0	-212600,9	-63761,96	0,0
2	896323,6	-347077,8	197207,4	-103677,0	-722023,9	-153226,7	0,0
3	1130115,0	-410220,8	896323,6	-347077,8	-235346,0	-47599,7	0,0
4	1308701,0	-447106,1	1130115,0	-410220,8	-176102,3	-33818,45	0,0
5	1219525,0	-423078,1	1308701,0	-447106,1	92601,86	27912,13	0,0
6	930975,7	-383617,0	1219525,0	-423078,1	286439,8	70308,76	0,0

7	660972,3	-362959,6	930975,7	-383617,0	266123,4	65829,18	0,0
8	990499,3	-353633,8	660972,3	-362959,6	-317504,1	-64316,38	0,0
9	1294316,0	-326029,8	990499,3	-353633,8	-290881,7	-58267,61	0,0
10	1413723,0	-302534,4	1294316,0	-326029,8	-106829,7	-15452,81	0,0
11	1123427,0	-359919,5	1413723,0	-302534,4	296835,6	71586,96	0,0
12	588118,5	-501321,5	1123427,0	-359919,5	549701,9	129844,3	0,0
13	128506,5	-656970,2	588118,5	-501321,5	481473,5	114910,8	0,0
14	-171851,1	-781935,4	128506,5	-656970,2	323928,3	80129,35	0,0
15	-376572,1	-885046,3	-171851,1	-781935,4	230072,5	59671,78	0,0
16	-553221,5	-992478,9	-376572,1	-885046,3	207577,7	55304,05	0,0
17	-668626,9	-1076410,0	-553221,5	-992478,9	145217,5	45207,33	0,0
18	-644293,4	-1046758,0	-668626,9	-1076410,0	-35044,36	595,63	0,0
19	-474689,5	-829725,2	-644293,4	-1046758,0	-268258,2	-46040,86	0,0
20	0,09	0,06	-474689,5	-829725,2	-935890,1	-191500,8	0,0

VERIFICA 2: STABILITA' LOCALIZZATA SEZIONE -1

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	44,072457/7,811718
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	5,36 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	16,92 m
Ascissa vertice destro superiore xs	17,5 m
Ordinata vertice destro superiore ys	25,11 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

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:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,3	2,56	0,19

S.L.D.	50,0	0,43	2,58	0,21
S.L.V.	475,0	1,41	2,46	0,3
S.L.C.	975,0	1,89	2,49	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe II

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,36	1,0	0,0367	0,0184
S.L.D.	0,516	0,47	0,0247	0,0124
S.L.V.	1,692	0,38	0,0656	0,0328
S.L.C.	2,268	1,0	0,2313	0,1156

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0656
Coefficiente azione sismica verticale 0,0328

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	2,32
3	2,49	2,65
4	4,28	3,21
5	7,41	3,21
6	11,27	8,71
7	14,75	8,71
8	18,99	12,8
9	21,37	14,41
10	21,94	15,88
11	22,73	16,58
12	23,34	17,57
13	24,08	18,1

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	1,68
3	0,8	1,75
4	2,48	2,4
5	4,28	3,21
6	7,41	3,21
7	11,27	8,71
8	14,75	8,71
9	18,99	12,8
10	21,37	14,41
11	21,94	15,88
12	22,73	16,58
13	23,34	17,57
14	24,08	18,1

Vertici strato 2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	1,68
3	0,81	1,75

4	2,55	2,43
5	4,3	3,22
6	7,41	3,21
7	7,82	3,79
8	9,48	4,49
9	11,36	5,7
10	13,25	6,54
11	14,55	7,73
12	15,59	8,52
13	17,3	9,47
14	18,43	10,8
15	20,06	12,34
16	21,67	13,69
17	24,08	17,0

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 (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia	
1	0.1		38	2050	2150	alluvioni grossolane	
2	0.06		28	1900	2050	coltre detritica eterogenea	
3	1.5		30	2300	2350	substrato roccioso alterato e fratturato	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	**0,93**
Ascissa centro superficie	16,28 m
Ordinata centro superficie	18,55 m
Raggio superficie	7,18 m

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

xc = 16,285 yc = 18,555 Rc = 7,183 Fs=0,932

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,29	12,1	0,29	60,01	3,94	1,97	0,05	23,0	0,0	26,3	167,4
2	0,29	14,4	0,3	174,95	11,48	5,74	0,05	23,0	0,0	126,4	217,6
3	0,29	16,8	0,3	282,91	18,56	9,28	0,05	23,0	0,0	218,5	266,0
4	0,29	19,3	0,31	383,66	25,17	12,58	0,05	23,0	0,0	303,2	312,9
5	0,19	21,3	0,21	310,08	20,34	10,17	0,05	23,0	0,0	247,2	235,7
6	0,38	23,8	0,42	689,14	45,21	22,6	0,05	23,0	0,0	548,0	508,6
7	0,29	26,8	0,32	556,12	36,48	18,24	0,05	23,0	0,0	438,3	409,8
8	0,29	29,4	0,33	578,79	37,97	18,98	0,05	23,0	0,0	452,3	431,9
9	0,29	32,0	0,34	591,89	38,83	19,41	0,05	23,0	0,0	458,0	452,8
10	0,29	34,8	0,35	594,6	39,01	19,5	0,05	23,0	0,0	454,5	472,3
11	0,29	37,6	0,36	585,88	38,43	19,22	0,05	23,0	0,0	440,5	490,2
12	0,29	40,6	0,38	564,4	37,02	18,51	0,05	23,0	0,0	414,1	506,0
13	0,27	43,6	0,37	494,16	32,42	16,21	0,05	23,0	0,0	349,0	483,4
14	0,31	46,9	0,45	680,91	44,67	22,33	0,05	23,0	0,0	503,6	674,6
15	0,26	50,3	0,41	786,79	51,61	25,81	0,05	23,0	0,0	630,5	781,3
16	0,31	54,1	0,53	1003,94	65,86	32,93	0,05	23,0	0,0	817,0	1104,0
17	0,29	58,4	0,55	822,17	53,93	26,97	0,05	23,0	0,0	636,9	1094,3
18	0,19	62,2	0,4	463,69	30,42	15,21	0,05	23,0	0,0	321,8	760,1
19	0,39	67,9	1,03	796,64	52,26	26,13	0,05	23,0	0,0	380,9	1876,8
20	0,29	77,3	1,31	325,31	21,34	10,67	0,05	23,0	0,0	-498,2	2024,9

VERIFICA 3: STABILITA' ESTESA SEZIONE 0

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,072457/7,811718
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4,25 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	15,97 m
Ascissa vertice destro superiore xs	16,43 m
Ordinata vertice destro superiore ys	21,56 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

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: B
Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,3	2,56	0,19
S.L.D.	50,0	0,43	2,58	0,21
S.L.V.	475,0	1,41	2,46	0,3
S.L.C.	975,0	1,89	2,49	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe II

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,36	1,0	0,0367	0,0184
S.L.D.	0,516	0,47	0,0247	0,0124
S.L.V.	1,692	0,38	0,0656	0,0328
S.L.C.	2,268	1,0	0,2313	0,1156

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0656
Coefficiente azione sismica verticale 0,0328

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	2,7
3	1,7	2,97
4	3,07	3,03
5	5,51	3,03
6	9,35	8,53
7	11,63	8,53
8	11,98	8,7
9	12,98	11,19
10	14,82	12,52
11	15,55	14,13
12	17,12	14,13
13	18,0	14,99
14	18,45	16,27
15	20,46	16,9
16	22,49	18,56

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	2,7
3	1,7	2,97
4	1,76	2,97
5	3,07	3,03
6	5,51	3,04
7	5,51	3,04

8	6,0	3,71
9	7,72	4,5
10	9,89	6,75
11	11,27	7,5
12	13,78	9,86
13	16,36	12,47
14	17,72	13,27
15	17,74	13,34
16	19,41	15,26
17	22,49	17,17

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 (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia	
1	0.06		28	1900	2050	coltre detritica eterogenea	
2	1.5		30	2300	2350	substrato rocciosos alterato e fratturato	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	**3,39**
Ascissa centro superficie	6,08 m
Ordinata centro superficie	16,81 m
Raggio superficie	15,12 m

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

xc = 6,079 yc = 16,808 Rc = 15,122 Fs=3,391

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,24	-19,3	1,31	945,54	62,03	31,01	1,2	24,8	0,0	2757,5	5009,0

2	0,84	-15,2	0,87	1488,1	97,62	48,81	1,2	24,8	0,0	2465,8	3402,4
3	0,53	-12,5	0,55	1193,6	78,3	39,15	1,2	24,8	0,0	1703,4	2166,3
4	1,54	-8,5	1,56	4164,81	273,21	136,61	1,2	24,8	0,0	5141,9	6204,9
5	1,04	-3,6	1,04	3133,03	205,53	102,76	1,2	24,8	0,0	3400,5	4136,4
6	1,04	0,3	1,04	5352,7	351,14	175,57	1,2	24,8	0,0	5328,5	4391,8
7	1,04	4,2	1,04	8373,12	549,28	274,64	1,2	24,8	0,0	8041,7	4771,4
8	1,04	8,2	1,05	11345,67	744,28	372,14	1,2	24,8	0,0	10718,7	5163,7
9	0,6	11,3	0,61	7878,26	516,81	258,41	1,2	24,8	0,0	7400,7	3163,9
10	1,47	15,4	1,53	20387,97	1337,45	668,73	1,2	24,8	0,0	18946,1	7992,7
11	1,16	20,6	1,23	15193,15	996,67	498,34	1,2	24,8	0,0	13878,1	6258,3
12	1,0	25,1	1,11	5201,09	997,19	498,6	1,2	24,8	0,0	14059,0	5821,0
13	0,95	29,2	1,09	16615,01	1089,94	544,97	1,2	24,8	0,0	15682,1	5999,0
14	0,89	33,3	1,06	15774,56	1034,81	517,41	1,2	24,8	0,0	15059,1	5807,0
15	0,73	37,0	0,91	13823,84	906,84	453,42	1,2	24,8	0,0	13490,2	5073,7
16	1,49	42,6	2,03	28015,1	1837,79	918,9	1,2	24,8	0,0	27968,8	10978,7
17	0,96	49,2	1,47	16240,12	1065,35	532,68	1,2	24,8	0,0	16273,2	7414,8
18	0,45	53,5	0,76	7790,06	511,03	255,51	1,2	24,8	0,0	8004,1	3764,7
19	1,7	61,7	3,58	26666,77	1749,34	874,67	1,2	24,8	0,0	26095,5	16236,0
20	1,04	80,6	6,31	9682,29	635,16	317,58	1,2	24,8	0,0	-41351,8	16697,8

VERIFICA 4: STABILITA' LOCALIZZATA SEZIONE 0

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	44,072457/7,811718
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4,25 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	15,97 m
Ascissa vertice destro superiore xs	16,43 m
Ordinata vertice destro superiore ys	21,56 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

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:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,3	2,56	0,19
S.L.D.	50,0	0,43	2,58	0,21
S.L.V.	475,0	1,41	2,46	0,3
S.L.C.	975,0	1,89	2,49	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe II

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,36	1,0	0,0367	0,0184
S.L.D.	0,516	0,47	0,0247	0,0124
S.L.V.	1,692	0,38	0,0656	0,0328
S.L.C.	2,268	1,0	0,2313	0,1156

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0656
Coefficiente azione sismica verticale 0,0328

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	2,7
3	1,7	2,97
4	3,07	3,03
5	5,51	3,03
6	9,35	8,53
7	11,63	8,53
8	11,98	8,7
9	12,98	11,19
10	14,82	12,52
11	15,55	14,13
12	17,12	14,13
13	18,0	14,99
14	18,45	16,27
15	20,46	16,9
16	22,49	18,56

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	2,7
3	1,7	2,97
4	1,76	2,97
5	3,07	3,03
6	5,51	3,04
7	5,51	3,04
8	6,0	3,71
9	7,72	4,5
10	9,89	6,75
11	11,27	7,5
12	13,78	9,86

13	16,36	12,47
14	17,72	13,27
15	17,74	13,34
16	19,41	15,26
17	22,49	17,17

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 (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia	
1	0.06		28	1900	2050	coltre detritica eterogenea	
2	1.5		30	2300	2350	substrato rocciosos alterato e fratturato	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	**0,71**
Ascissa centro superficie	9,12 m
Ordinata centro superficie	16,53 m
Raggio superficie	7,96 m

xc = 9,124 yc = 16,529 Rc = 7,959 Fs=0,714

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,23	23,4	0,25	101,24	6,64	3,32	0,05	23,0	0,0	30,6	200,8
2	0,23	25,2	0,25	300,99	19,75	9,87	0,05	23,0	0,0	198,0	316,4
3	0,23	27,0	0,25	496,97	32,6	16,3	0,05	23,0	0,0	361,1	433,2
4	0,13	28,5	0,14	363,13	23,82	11,91	0,05	23,0	0,0	272,5	295,0
5	0,33	30,3	0,38	1023,65	67,15	33,58	0,05	23,0	0,0	769,4	824,9
6	0,23	32,7	0,27	724,55	47,53	23,77	0,05	23,0	0,0	539,0	596,1
7	0,23	34,6	0,28	730,15	47,9	23,95	0,05	23,0	0,0	538,2	614,4
8	0,23	36,7	0,28	730,73	47,94	23,97	0,05	23,0	0,0	533,3	632,4
9	0,23	38,7	0,29	725,89	47,62	23,81	0,05	23,0	0,0	523,9	649,9
10	0,23	40,8	0,3	715,16	46,91	23,46	0,05	23,0	0,0	509,2	666,9
11	0,23	43,0	0,31	697,96	45,79	22,89	0,05	23,0	0,0	488,7	683,3
12	0,15	44,9	0,21	450,02	29,52	14,76	0,05	23,0	0,0	309,5	461,9

13	0,3	47,3	0,45	994,72	65,25	32,63	0,05	23,0	0,0	693,8	1051,9
14	0,23	50,2	0,35	866,32	56,83	28,42	0,05	23,0	0,0	622,8	950,8
15	0,2	52,7	0,33	837,67	54,95	27,48	0,05	23,0	0,0	613,4	965,4
16	0,25	55,5	0,45	1025,22	67,25	33,63	0,05	23,0	0,0	734,8	1302,9
17	0,23	58,6	0,44	753,65	49,44	24,72	0,05	23,0	0,0	489,5	1122,7
18	0,23	62,0	0,48	582,17	38,19	19,1	0,05	23,0	0,0	297,4	1065,9
19	0,23	65,7	0,55	383,46	25,15	12,58	0,05	23,0	0,0	48,4	968,6
20	0,23	70,1	0,67	143,82	9,43	4,72	0,05	23,0	0,0	-307,0	775,2

VERIFICA 5: STABILITA' ESTESA SEZIONE 1

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	44,072457/7,811718
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	14,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	25,74 m
Ascissa vertice destro superiore xs	37,41 m
Ordinata vertice destro superiore ys	37,52 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

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:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,3	2,56	0,19
S.L.D.	50,0	0,43	2,58	0,21
S.L.V.	475,0	1,41	2,46	0,3
S.L.C.	975,0	1,89	2,49	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe II

S.L.	amax	beta	kh	kv

Stato limite	[m/s²]	[-]	[-]	[sec]
S.L.O.	0,576	1,0	0,0587	0,0294
S.L.D.	0,8256	1,0	0,0842	0,0421
S.L.V.	2,7072	1,0	0,2761	0,138
S.L.C.	3,3387	1,0	0,3405	0,1702

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,2761
Coefficiente azione sismica verticale 0,138

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	5,0
3	6,3	5,38
4	7,88	5,2
5	9,13	5,87
6	10,32	5,87
7	10,07	5,58
8	12,57	5,58
9	15,71	10,25
10	17,06	10,25
11	17,06	12,37
12	18,12	12,37
13	20,94	13,83
14	20,94	15,94
15	22,04	15,94
16	26,88	18,41
17	33,45	18,41
18	33,45	21,29
19	36,66	21,29
20	38,66	21,82

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	0,0	4,36
3	1,91	4,46
4	4,8	4,65
5	9,4	5,45
6	10,07	5,58
7	12,57	5,58
8	15,71	10,25
9	17,06	10,25
10	17,06	12,37
11	18,12	12,37
12	20,94	13,83
13	20,94	15,94
14	22,04	15,94
15	26,88	18,41
16	33,45	18,41
17	33,45	21,29
18	36,66	21,29
19	38,66	21,82

Vertici strato 2

N	X	y

	(m)	(m)
1	0,0	0,0
2	0,0	4,35
3	4,82	4,65
4	10,02	5,58
5	12,66	5,58
6	12,66	5,58
7	14,69	5,78
8	18,46	7,48
9	21,93	8,99
10	25,32	10,99
11	27,55	12,57
12	31,29	13,47
13	31,29	13,47
14	33,89	14,2
15	38,66	16,8

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 (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia	
1	0.1		38	2050	2150	alluvioni grossolane	
2	0.06		28	1900	2050	coltre detritica eterogenea	
3	1.5		30	2300	2350	substrato roccioso alterato e fratturato	

Pali...

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)	Resistenza al taglio (kg/cm²)	Momento plasticizzazione (kN*m)	Metodo stabilizzazione
1	33,32357	18,41	0,127	7,7	90	0,7	5	--	Tensione tangenziale
2	28,77327	18,41	0,127	7,7	90	0,7	5	--	Tensione tangenziale

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	**1,67**
Ascissa centro superficie	14,0 m
Ordinata centro superficie	25,74 m
Raggio superficie	24,72 m

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

xc = 14,005 yc = 25,737 Rc = 24,72 Fs=1,675

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,89	-30,5	2,2	2507,88	692,42	346,09	0,08	32,0	0,0	4529,4	3182,5
2	1,89	-25,6	2,1	7406,97	2045,07	1022,16	1,2	24,8	0,0	17747,2	22103,5
3	2,0	-20,6	2,14	12237,92	3378,89	1688,83	1,2	24,8	0,0	21043,4	22595,6
4	1,79	-16,0	1,86	13480,5	3721,97	1860,31	1,2	24,8	0,0	19374,3	19401,4
5	1,98	-11,5	2,03	19550,55	5397,91	2697,98	1,2	24,8	0,0	24267,3	21635,5
6	1,8	-7,1	1,82	18167,3	5015,99	2507,09	1,2	24,8	0,0	20620,4	18857,7
7	1,89	-2,7	1,92	1121,24	5831,57	2914,73	1,2	24,8	0,0	22088,5	19703,0
8	1,94	1,7	1,94	32385,54	8941,65	4469,2	1,2	24,8	0,0	31725,3	22664,6
9	1,85	6,1	1,86	36015,35	9943,84	4970,12	1,2	24,8	0,0	33796,8	22772,3
10	1,89	10,5	1,93	44702,77	12342,43	6168,98	1,2	24,8	0,0	40819,0	25487,8
11	1,49	14,5	1,54	36686,59	10129,17	5062,75	1,2	24,8	0,0	32713,9	20677,4
12	0,05	16,4	0,05	1353,44	373,68	186,77	1,2	24,8	0,0	1203,6	734,9
13	4,15	21,6	4,46	119661,0	33038,42	16513,22	1,2	24,8	0,0	104625,2	65399,3
14	1,74	29,1	1,99	50913,09	14057,1	7026,01	1,2	24,8	0,0	43626,5	30101,4
15	2,05	34,3	2,48	57056,5	15753,3	7873,8	1,2	24,8	0,0	47940,3	37471,5
16	1,89	40,0	2,47	46659,99	12882,82	6439,08	1,2	24,8	0,0	37390,2	36591,6
17	2,68	47,5	3,96	53142,86	14672,74	7333,71	1,2	24,8	0,0	36664,1	56921,8
18	1,11	54,3	1,92	2489,14	6209,25	3103,5	1,2	24,8	0,0	14131,8	30028,2
19	1,89	61,0	3,91	28677,75	7917,93	3957,53	1,2	24,8	0,0	5761,3	61056,5
20	1,89	73,1	6,53	12913,61	3565,45	1782,08	0,05	23,0	0,0	20861,0	24705,0

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

(stato dei luoghi Ottobre 2020. Fonte: Geom Velizzone)

Foto 1



Foto 2



Foto 3



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

(stato dei luoghi Ottobre 2020. Fonte: Geom Velizzone)

Foto 4



Foto 5



Foto 6



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

(stato dei luoghi Agosto-Settembre 2022)

Foto 7



Foto 8



Foto 9



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

(stato dei luoghi Agosto-Settembre 2022)

Foto 10



Foto 11



Foto 12

