Firmato digitalmente da
Tommaso Buschiazzo
CN = Buschiazzo Tommaso
O = Ordine degli Ingegneri della Provincia di Imperia
C = IT

COMUNE DI SANREMO

Provincia di Imperia



INTERVENTO DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO NELL'AMBITO DELLA "SISTEMAZIONE DEL MOVIMENTO FRANOSO IN LOCALITA' LA VESCA - PISTA CICLABILE - BIVIO S.S. 1 AURELIA KM 667+800 - POGGIO" NEL COMUNE DI SANREMO (IM) CONSISTENTE IN UN TRATTO DI SCOGLIERA A MARE : LOTTO N. 1 - 2

PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato	n. Elaborato
RELAZIONE GEOTECNICA	R5

PROGETTISTA:

Dott. Ing. Tommaso BUSCHIAZZO
Via Roma 119 - 18038 Sanremo (IM)
e-mail : tommaso.buschiazzo@gmail.com
Tel. 0184/532770 Fax. 0184/532771

Scala

Data 16 agosto 2022

Rev.

COMUNE DI SANREMO

PROVINCIA DI IMPERIA

———————

PROGETTO DEFINITIVO

INTERVENTO DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO NELL'AMBITO DELLA "SISTEMAZIONE DEL MOVIMENTO FRANOSO IN LOCALITÀ LA VESCA-PISTA CICLABILE-BIVIO S.S. N.1 AURELIA KM 667+800-POGGIO" CONSISTENTE NELLA REALIZZAZIONE DI UN TRATTO DI SCOGLIERA A MARE : LOTTO N. 1 - 2

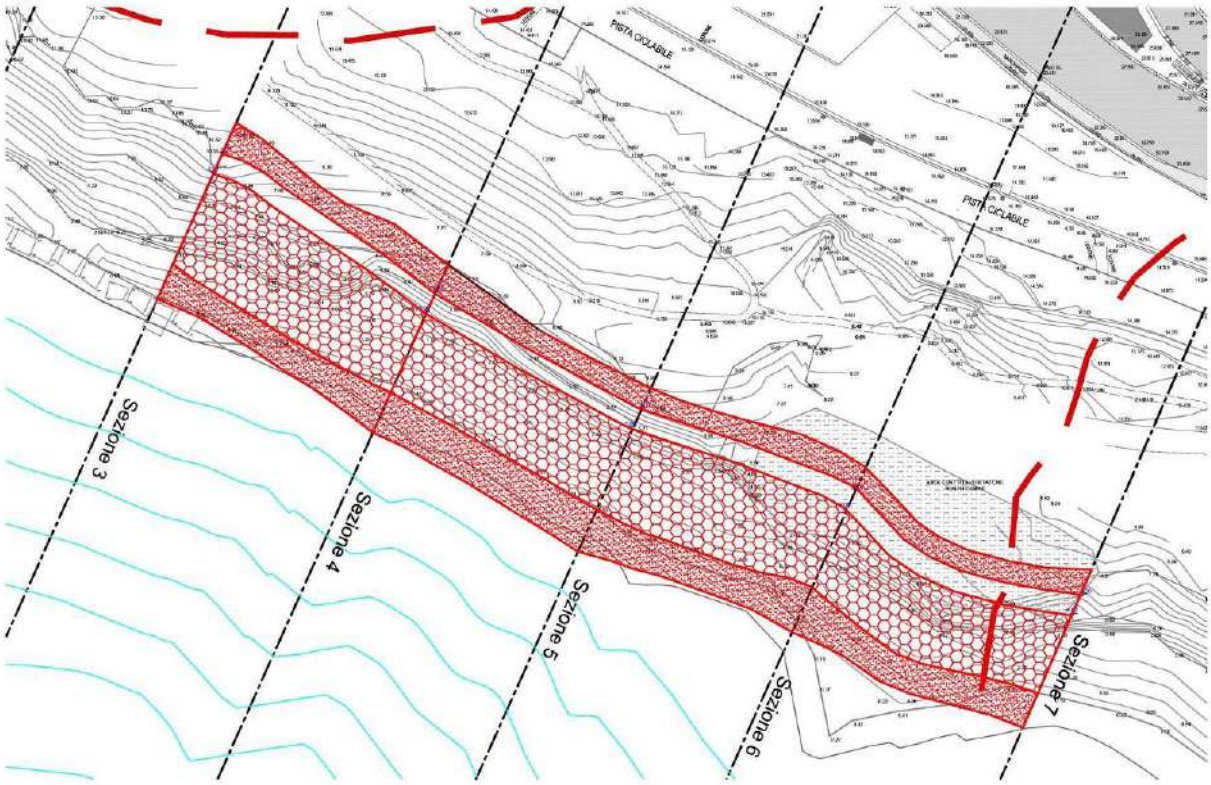
RELAZIONE GEOTECNICA

PREMESSA

L'intervento previsto in progetto riguarda le opere finalizzate alla mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico ed all'aumento del livello di resilienza delle strutture e infrastrutture interessate dal movimento franoso in località "La Vesca" in Comune di Sanremo (IM) consistenti nella realizzazione di una scogliera in massi naturali di lunghezza pari a circa 130 ml posta al piede del versante al fine di limitarne l'erosione progressiva della costa e garantire un incremento delle forze resistenti allo scorrimento lasciando invariate quelle destabilizzanti senza ostacolare il drenaggio delle acque di falda dalla scarpata a mare.

Tale opera sarà finanziata in parte con fondi regionali (lotto n. 1) ed in parte con fondi ministeriali di cui al Piano Nazionale di Resistenza e Resilienza PNRR (lotto n. 2); si evidenzia come il primo tratto dell'intervento sia stato oggetto di autorizzazione da parte

del Settore Valutazione Impatto Ambientale e Sviluppo Sostenibile della Regione Liguria con Atto n. 4272/2022 del 07/07/2022 (Protocollo Prot.-2022-478636).



planimetria di progetto

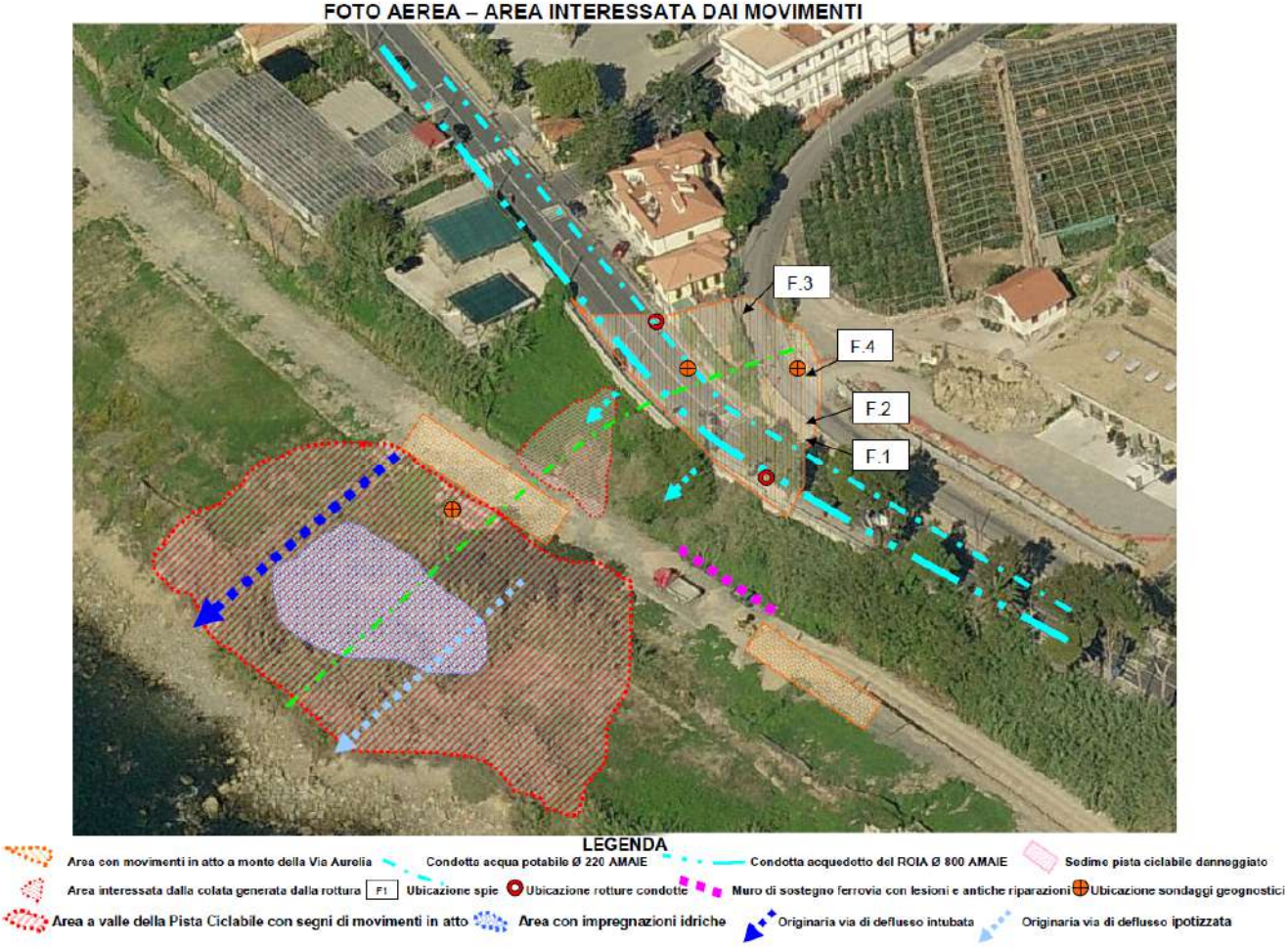
Il sito denominato La Vesca è infatti da sempre soggetto a fenomeni di frana: una lapide del 1918 ricorda un evento catastrofico che coinvolse un'area più vasta di quella attuale ove furono interessate l'Aurelia, costruzioni private e fu interrotta la ferrovia (anno 1916-1917).

Più recentemente negli anni Ottanta lo stesso sito fu oggetto di interventi da parte del Comune di Sanremo (palificazioni e messa in opera di tiranti a tre trefoli a monte dell'Aurelia) e di ANAS (ricostruzione di nuovo muro in c.a. su micropali a valle dell'Aurelia) con l'esecuzione di interventi di consolidamento del versante; a difesa della allora rete ferroviaria (attuale percorso della pista ciclabile) furono realizzate - a cura delle FF.SS. - gabbionate e trincee drenanti con la posa di scogliera frangiflutti lungo la linea di costa.

La riattivazione del fenomeno franoso ha avuto inizio nell'anno 2010, quando si verificò una prima rottura della condotta dell'Acquedotto del Roia con conseguente smottamento superficiale lungo la pista ciclabile; da allora il fenomeno è proseguito riacutizzandosi ad ogni evento di pioggia intenso con conseguenti rotture dei sottoservizi. In generale però l'intera area oggetto di indagine è costantemente in movimento con velocità misurate nel punto di massimo movimento

intorno 30-40 mm annui (saliti a ben 80 mm nel 2014, anno caratterizzato da intense piogge a Sanremo ed in tutta la provincia di Imperia, con picco di ben 420 mm in 27 giorni tra il Dicembre 2013 ed il Gennaio 2014).

FOTO AEREA – AREA INTERESSATA DAI MOVIMENTI



Continui e non risolutivi interventi si sono susseguiti negli anni, consistenti sostanzialmente nel ripristino della pavimentazione stradale lungo la S.S. n.1 Aurelia o la Via Duca D'Aosta (oppure in alcuni tratti della pista ciclopedonale posta più a valle) nonché dei sottoservizi; tale movimento incipiente ha ad ogni modo comportato nel tempo danni ad alcuni fabbricati limitrofi, assestamenti di muri e pavimentazioni stradali, rottura della rete fognaria e di adduzione dell'acqua potabile AMAIE.

Come si evince dalla fotografia aerea in precedenza riportata e dalla lettura del rapporto preliminare "SONDAGGI GEOGNOSTICI – PROVE DI LABORATORIO E MONITORAGGIO STRUMENTALE" redatto dal Settore LLPP del Comune di Sanremo è possibile in via preliminare classificare *"l'evento franoso come "complesso", con ridotta velocità delle masse in movimento "molto lento" (IUGS/WGL - 1995) in cui sono comprese*

litologie diverse "terra/roccia" (coltri e substrato roccioso fortemente fratturato e alterato), il contenuto di acqua nella massa in frana è generalmente basso, "secco/umido" ma in condizioni particolari è possibile la saturazione di parte della superficie di rottura (La falda è posta in profondità ma si ritiene possibile in condizioni di piogge intense e/o prolungate, una risalita del livello sino a livello della superficie di rottura, oppure si possono formare frange di sovrasaturazioni in corrispondenza della stessa, indotte dalle acque di infiltrazione). (…) ".

Si tratta sostanzialmente di un fenomeno "riattivato", che nella porzione a monte della S.S. n.1 Aurelia non presenta allo stato attuale ulteriori arretramenti, "costante" anche se presenta segni di "allargamento" laterale sia a destra (lato Ponente) sia a sinistra (lato Levante). La porzione dell'area in frana in prossimità della costa presenta inoltre evidenti fenomeni di arretramento della corona rispetto al movimento della massa "retrogressivo".

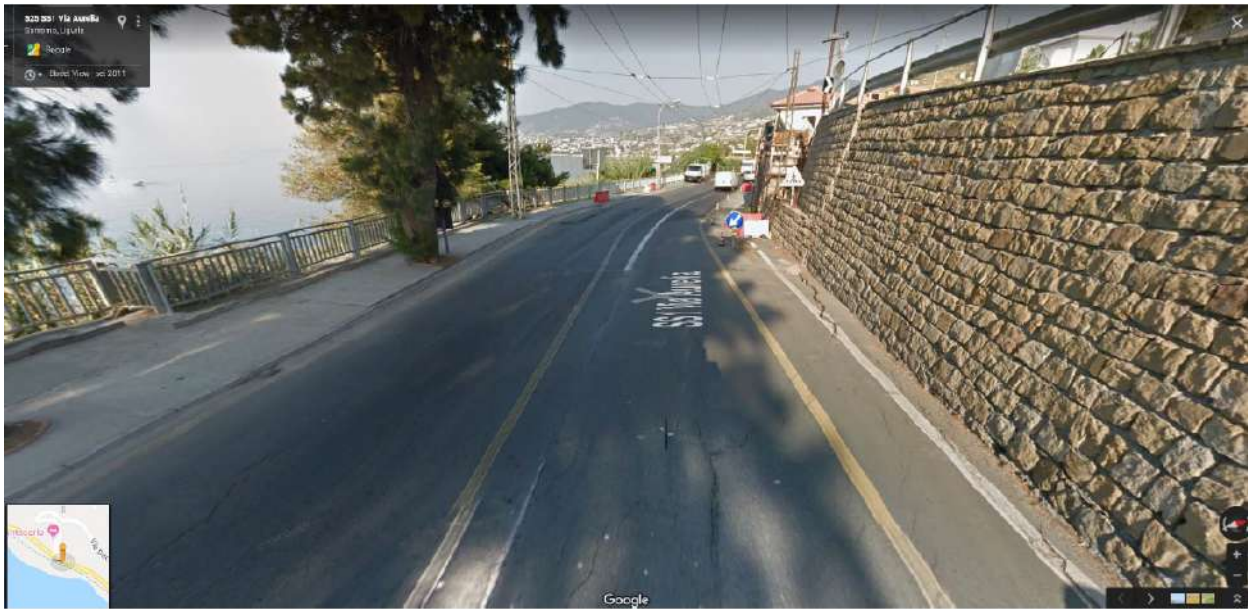




stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – luglio 2009



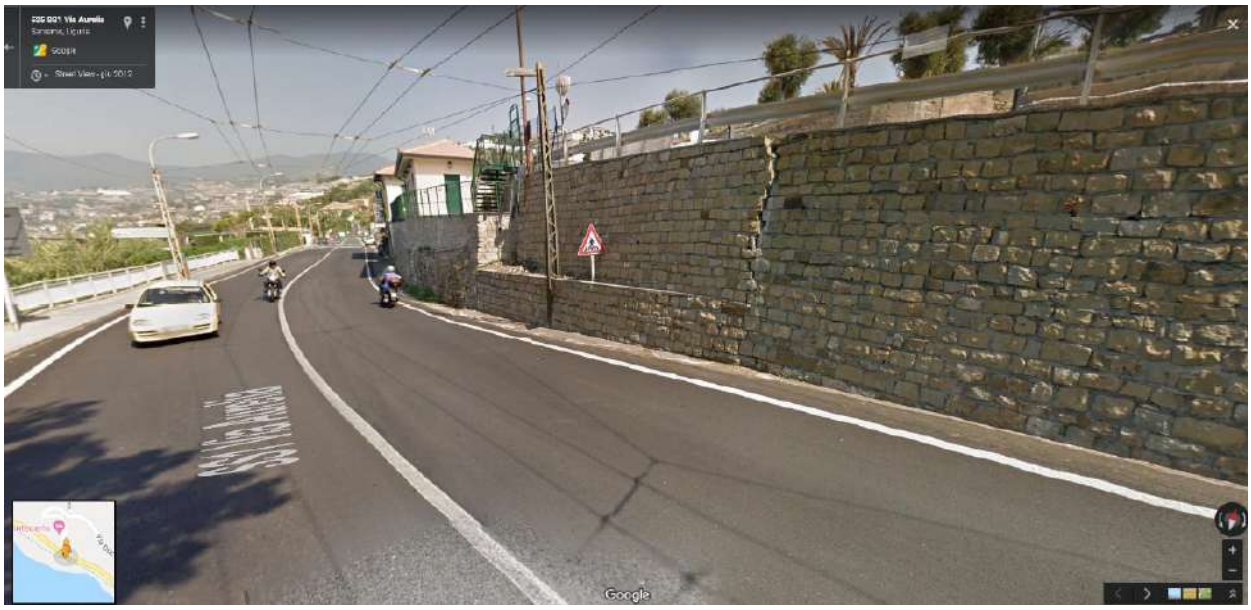
stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – luglio 2009



stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – settembre 2011



stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – settembre 2011



stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – giugno 2012



stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – luglio 2014



stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – luglio 2014



stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – luglio 2015



stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – ottobre 2017



stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – agosto 2018

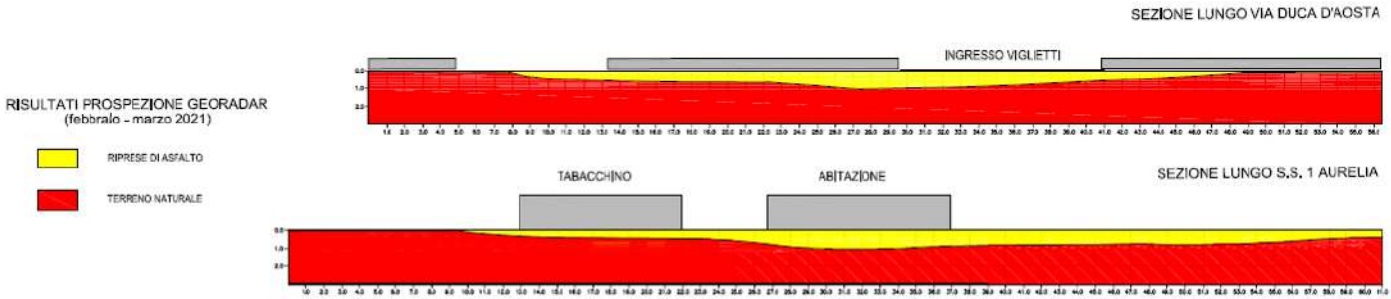


stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – giugno 2019



stato di consistenza S.S.1 Aurelia e muro di sostegno Via Duca D'Aosta – luglio 2021

Il tratto strada S.S.1 Aurelia interessato da tale movimento franoso ha in particolare evidenziato negli ultimi tre anni un progressivo e diffuso cedimento fondazionale che ha causato il parziale dissesto di una parte della carreggiata (particolarmente evidente sul tratto di valle, in corrispondenza della giunzione tra la mensola di monte dell'opera di sostegno esistente ed il retrostante terrapieno) che – come evidenziato anche della indagine eseguita con un georadar da parte del Dott. Geol. Marco Benedetto nel gennaio 2021 – ha comportato un approfondimento dei sottoservizi variabile da qualche decina di centimetri a oltre un metro (seguendo di fatto lo stesso andamento dell'approfondimento dell'asfalto).



Si evidenzia come la periodica formazione di nuove fratture nel manto stradale potrebbe far presagire eventuali problematiche ai sottoservizi presenti nell'area (in particolare: la tubazione dell'acquedotto del Roja, la tubazione del gas lungo la S.S. 1 Aurelia, la tubazione del gas o la condotta fognaria lungo la pista ciclabile, la tubazione della fognatura comunale lungo la Via Duca d'Aosta) che potrebbero - se non oggetto di periodiche ispezioni e verifiche - innescare un improvviso cedimento del versante attualmente in frana.

Si tenga presente inoltre **che la stabilità della strada S.S. 1 Aurelia (e quindi di tutti i manufatti posti a monte di essa, siano essi di proprietà pubblica o privata) è legata anche a tutti gli spostamenti delle fasce di terreno immediatamente a valle della stessa, dove l'accelerazione dei movimenti del fenomeno franoso ha comportato a inizio 2020 la rottura dei tubi inclinometrici I1 e I2 non permettendo più di ricavare nuovi dati nel settore di maggior movimento del corpo in frana.**



planimetria dell'area con indicazione dei sondaggi eseguito nel periodo 2010 – 2019

Si sottolinea in ultimo come - sulla base delle informazioni raccolte - sia emerso che in occasione di eventi piovosi intensi l'attuale sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche del versante porta e convoglia velocemente verso valle le acque, arrivando ad interessare la pista ciclabile con arrivi d'acqua tipo "cascata".

Questi fenomeni di arrivi massivi d'acqua possono nel medio-lungo periodo non solo provocare danni lungo il loro percorso vorticoso, ma portare anche grandi quantità d'acqua verso e dentro il piede della frana attiva (di fatto indebolendolo ulteriormente).

In conseguenza di ciò lo scrivente ritiene quindi molto importante programmare nel tempo, nel contesto di frana in esame soggetto a movimenti, una serie di accertamenti ed ispezioni/video ispezioni sullo stato di conservazione e di funzionamento dell'attuale sistema idraulico di smaltimento in modo da poter raccogliere le necessarie informazioni per il progetto di eventuali interventi di sistemazione e/o rifacimento/potenziamento delle attuali opere idrauliche.

Particolare attenzione dovrà essere inoltre posta nell'ispezione del sistema di smaltimento delle acque raccolte dalle trincee drenanti realizzate dalle FF.SS. dopo l'evento franoso del 1916, sul cui stato di conservazione e funzionalità non si hanno informazioni.

FINALITA' DELL'INTERVENTO DI MITIGAZIONE PROPOSTO

L'intervento descritto nella presente relazione riguarda le opere urgenti finalizzate alla mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico ed all'aumento del livello di resilienza delle strutture e infrastrutture interessate dal movimento franoso in località "La Vesca" in Comune di Sanremo (IM).

Tale proposta progettuale consiste nella realizzazione di una scogliera in massi naturali di lunghezza pari a circa 130 ml posta al piede del versante in maniera tale da limitarne l'erosione progressiva della costa e garantire la contestuale presenza di nuovi sovraccarichi al piede del versante in maniera tale da garantire un incremento delle forze resistenti allo scorrimento lasciando invariate quelle destabilizzanti senza ostacolare il drenaggio delle acque di falda dalla scarpata a mare.

La suddetta proposta si integra con l'intervento in fase di progettazione da parte di ANAS Spa - consistente nella realizzazione di una paratia di pali di grosso diametro intirantata da realizzarsi immediatamente a valle del muro di sostegno della S.S. n. 1 Aurelia – e con l'intervento del Comune di Sanremo finanziato con fondi regionali che prevederà nei prossimi mesi la realizzazione di un primo lotto di lavori consistente nella realizzazione di un sistema di trincee drenanti in grado di ridurre le pressioni neutre all'interno della massa in movimento e lungo il contorno (in prossimità della superficie di rottura), garantendo un controllo dell'innalzamento della piezometrica di falda.

Si evidenzia infatti come la stabilizzazione di un pendio non si possa raggiungere con un solo tipo di intervento ma al contrario necessiti di più tipologie di interventi di stabilizzazione combinate tra di loro; non deve inoltre essere trascurata l'interferenza reciproca fra i diversi interventi: occorre infatti evitare che lo sfasamento temporale tra i singoli interventi strutturali si traduca nel trasferimento della criticità da un'area oggetto di intervento prioritario ad un'area ove l'intervento era stato, almeno in origine, ritenuto meno urgente.

L'intervento proposto – pur non garantendo una soluzione risolutiva della problematica denunciata – produrrà una mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico presente nell'area in maniera tale da minimizzare il pericolo di attivazione di ulteriori dissesti; a seguito dell'ultimazione dei lavori si dovrà provvedere al ripristino della rete di monitoraggio inclinometrico e piezometrico presente sul corpo di frana - eventualmente danneggiata dalla più recente evoluzione del dissesto e dalle attività di cantiere - nonché alla implementazione del

sistema di monitoraggio dell'area: tale rete permetterà di controllare il comportamento meccanico e idrogeologico della frana e di conseguenza di valutare anche l'efficacia dell'intervento di mitigazione proposto.

Si evidenzia infine come l'intervento sia stato progettato mirando a produrre un impatto irrilevante sul contesto, con particolare riferimento alle eventuali ricadute su habitat e specie protette; nel corso dei lavori non saranno apportate variazioni significative al contesto paesaggistico, purché **in fase esecutiva dell'intervento sia prevista l'assistenza archeologica continuativa a tutte le operazioni che comportino scavo e/o movimentazione di terreno all'interno dell'area interessata**: in caso di rinvenimenti di particolare interesse ed entità potranno essere richiesti ulteriori sondaggi e scavi di verifica ai sensi dell'art. 25 del D.Lgs 50/2016 – Codice di Contratti Pubblici in materia di verifica preventiva dell'interesse archeologico.

L'eventuale rimozione e/o demolizione di beni archeologici sepolti rinvenuti in corso d'opera o in sede di indagine preventiva dovrà essere effettuata unicamente previa specifica autorizzazione, di competenza della Commissione Regionale per il Patrimonio Culturale ai sensi del D.P.C.M. 169/2019, art. 47, comma 2, lettera d).

INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOLOGICO

La presente relazione si basa sulla relazione geologica redatta dal Dott. Geol. Mauro Enotarpi, nel rispetto delle disposizioni nazionali e regionali in materia di edificabilità in zona sismica, che hanno attestato la compatibilità tra le previsioni del progetto di costruzione in oggetto e le condizioni morfologiche, geologiche ed idrogeologiche dell'area su cui insiste.
I dati sulle caratteristiche geotecniche del suolo e del sottosuolo sono da intendersi come valori medi e derivano da precedenti esperienze, da valori bibliografici e/o da prove eseguite sull'area di studio da parte del geologo incaricato.
Si sottolinea in particolare come si sia riscontrato sul posto uno spessore importante di substrato completamente alterato in un materiale assimilabile ad una terra avente una matrice prevalente di natura argillosa; come riporta il Dott. Geol. Mauro Enotarpi *"Nella zona del promontorio di Capo Verde-Valle Armea la bibliografia scientifica segnala la presenza di alcuni allineamenti di faglia con piano di sviluppo sub-verticale che è stata confermata con lo scavo delle gallerie del raddoppio ferroviario e dell'Aurelia Bis. L'ammasso roccioso della zona è spesso quindi caratterizzato da una intensa fratturazione e/o tettonizzazione con geostrutture tipiche delle rocce di faglia che si alternano con porzioni più resistenti meglio conservate; il livello di fratturazione/tettonizzazione nell'ammasso varia molto in maniera random sia verticalmente sia lateralmente. Lo stesso contesto è caratterizzato dalla presenza di importanti circolazioni d'acqua sotterranee secondo un modello idrogeologico non banale che potrebbe esser riconducibile ad uno schema a falde, "sacche", "fusi" ed orizzonti acquiferi a più livelli verosimilmente tra loro spesso non comunicanti; l'effetto globale è quello comunque di un sottosuolo saturo d'acqua con una piezometrica che si ricarica e risulta più superficiale nei periodi di più lunga ed intensa piovosità. Questa situazione di debolezza geologica-geomeccanica dei versanti della zona sommata alle significative circolazioni idrogeologiche ha creato, nel tempo geologico, le condizioni per il collasso di una importante paleofrana che caratterizza la morfologia della località La Vesca. …"*

La sezione stratigrafica di seguito riportate illustra graficamente il modello stratigrafico del pendio; esso prevede sostanzialmente la presenza di tre strati geotecnici principali :

- *Strato 0*: copertura detritica superficiale, di origine mista naturale-antropica: limo sabbioso argilloso inglobante scaglie lapidee abbondanti, eterometriche, di argillite, di marna e di arenaria; consistenza terrigena (Vp <750 m/s) ;
- *Strato 1*: orizzonte completamente alterato e destrutturato della formazione di substrato molto fratturata-tettonizzata ("cappellaccio di alterazione") che risulta trasformata in un

materiale con consistenza e comportamento terrigeni solo localmente semilitoide-litoide che può essere descritto come un limo argilloso, argilla limosa deb. sabbiosa, plastici, con inclusi centimetrici di marna, argillite ed arenaria, colore marrone chiaro con sfumature giallastre-grigiastre che diventa grigio verso la base dello strato. Nello spessore dello strato, la consistenza è crescente verso il basso (Vp 750-1750 m/s) ;

- *Strato 2*: ammasso con porzioni di roccia di faglia molto fratturata-tettonizzata, alterata sino a localmente molto alterata con particolare riferimento al primo spessore sotto allo strato 1, e con porzioni rocciose da fratturate a molto fratturate meglio conservate poco alterate; l'ammasso è caratterizzato da una prevalenza di strati grigio-scuro marnosi argillitici, argillitici con intercalazioni di strati grigio-chiaro di siltiti-arenarie fini. La resistenza del materiale aumenta progressivamente con la profondità (Vp >1750 m/s); consistenza da semilitoide a litoide ;

STRATI GEOTECNICI			PARAMETRI GEOTECNICI			
Strato geotecnico	Descrizione geotecnica	Vp (m/s)	γ (kN/mc)	φ (°)	c (kPa)	E (MPa)
0	Copertura detritica: limo sabbioso argilloso inglobante scaglie lapidee abbondanti, eterometriche, di argillite, marne ed arenaria	< 750	18-19	22-24	1-3	10-20
1	Orizzonte completamente alterato e destrutturato della formazione di substrato che risulta trasformata in un limo argilloso plastico con inclusi lapidei centimetrici	750-1750	19-20	20-22	5-10	30-40
2	Ammasso argillitico-marnoso-arenaceo con porzioni di roccia di faglia molto fratturata-tettonizzata, alterata sino a localmente molto alterata con particolare riferimento al primo spessore sotto allo strato 1, e con porzioni rocciose da fratturate a molto fratturate meglio conservate poco alterate	>1750	21-22	24-26	30-50	50-100

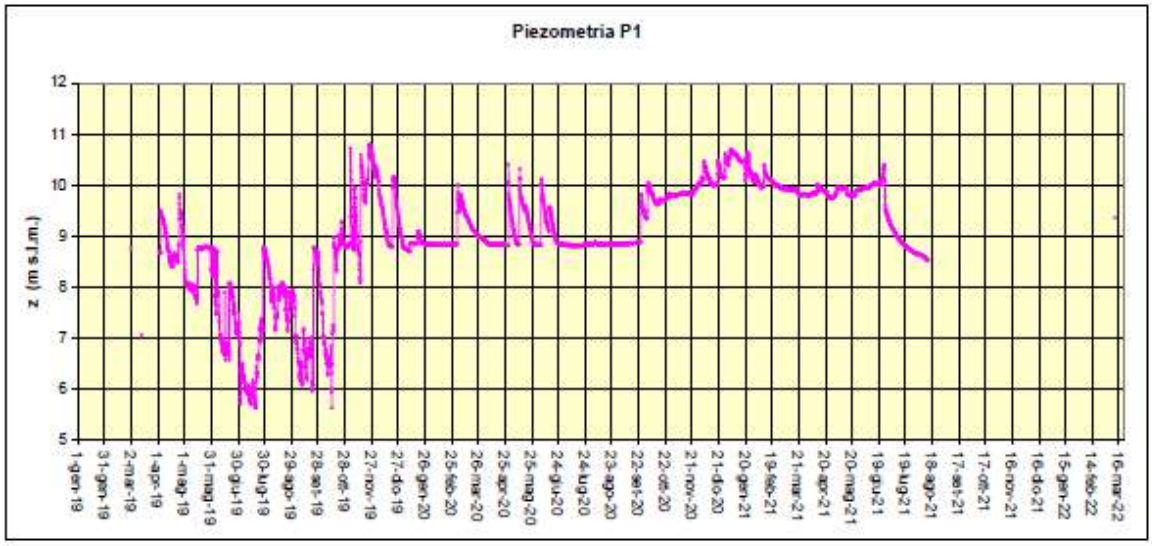
In particolare lo strato 1 presenta, nell'ambito di un volume generale di materiale molto alterato, caratteristiche variabili in maniera apparentemente casuale da punto a punto e caratterizzate, in termini di comportamento geotecnico, dalla matrice fine di natura argillosa; questo materiale nello spessore interessato dalla circolazione d'acqua può localmente risultare anche in parte rammollito.

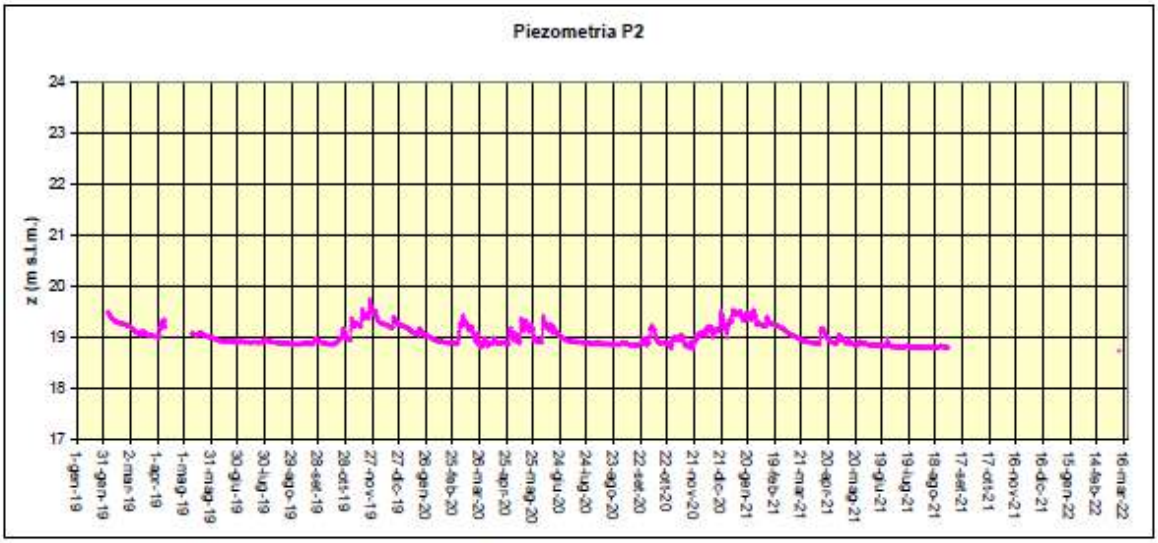
In termini di presenza d'acqua si segnala la presenza di una falda acquifera pressoché permanente nello strato 1 con livello variabile in funzione della piovosità stagionale.

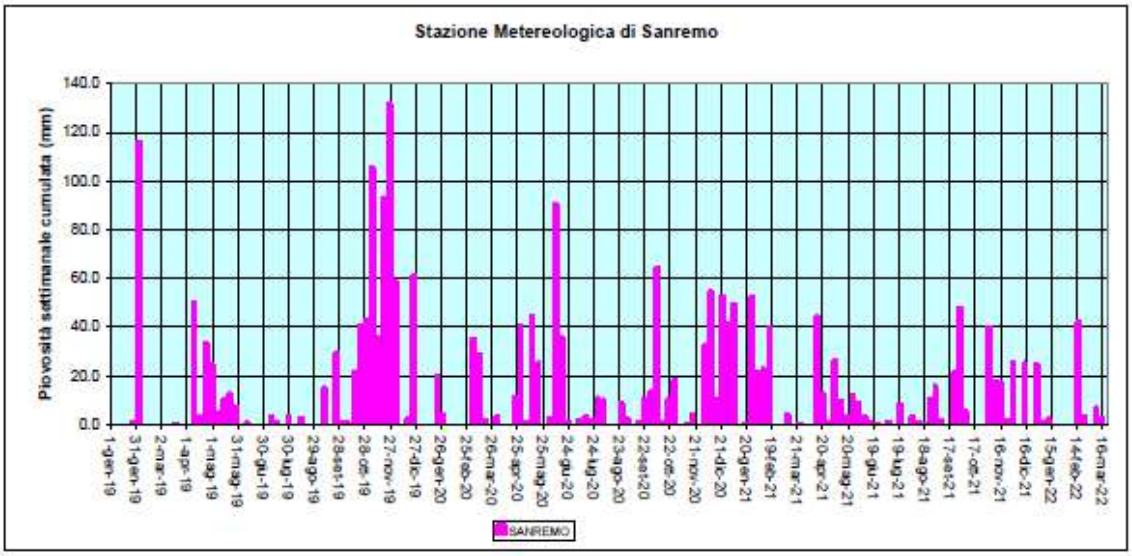
Si riportano di seguito i grafici della piezometrica registrata nei piezometri Pz1 e Pz2 in relazione alla piovosità del periodo 2019-2021; tra i due piezometri il Pz1, posto a valle della

pista ciclabile, risulta essere quello più significativo in quanto caratterizzato da una buona correlazione tra il livello misurato e la piovosità del periodo.

Il piede del pendio, coincidente con quello della frana, è infatti caratterizzato da circolazioni d'acqua significative e da numerose emergenze idrogeologiche in genere localizzate scarpata a mare che spesso è risultata impregnata d'acqua poco al di sotto del ciglio sommitale della scarpata stessa. Testimonianza di queste circolazioni diffuse è il canneto presente in questa zona.







Alla luce di quanto sopra esposto si evince, come riportato nella relazione geologica a firma del Dott. Geol. Mauro Enotarpi, come la scarpata a mare al piede del movimento franoso in esame risulti essere caratterizzata nell'insieme da una debolezza e scarsa resistenza intrinseca dei materiali costituenti che hanno una consistenza tipicamente terrigena.

Le caratteristiche di scarsa resistenza geotecnica della scarpata a mare la rendono vulnerabile nei confronti di differenti concause che sono :

- arrivi d'acqua piovani superficiali dai terreni a monte che vanno a concentrarsi ed ad infiltrarsi in testa alla scarpata ;
- circolazioni d'acqua nel sottosuolo (falda acquifera) provenienti dal pendio a monte che, nei periodi di maggiore e prolungata piovosità, tendono a saturare, imbibire e rammollire i terreni della scarpata ;
- accentuato imbibimento e rammollimento dei terreni della scarpata generato dalle onde e dagli spruzzi del mare durante le mareggiate ;
- erosione diretta della scarpata da parte delle onde durante le mareggiate: questo fenomeno erosivo è probabile sia andato accentuandosi dopo il 2001, anno di dismissione della ferrovia a partire dal quale è verosimile siano venuti meno gli interventi di ripascimento della scogliera ad oggi praticamente inesistente ;

L'insieme delle suddette concause - agenti singolarmente o anche in concomitanza a secondo delle condizioni meteo - porta inevitabilmente il tratto di scarpata a mare in condizioni di instabilità con rilasci verso mare di materiale terroso; questi rilasci hanno l'effetto di richiamare nuove instabilità verso la pista ciclabile, con un effetto complessivo di arretramento dei

fenomeni franosi tanto che la zona a valle della pista ciclabile appare oramai smembrata in più zolle con più ordini di cigli-scarpate di ribasso delle stesse.
Durante l'esecuzione delle opere previste dovrà comunque essere osservata la rispondenza della caratterizzazione geotecnica assunta in progetto - così come desunta dalla relazione geologica a firma del Dott. Geol. Mauro Enotarpi - alla situazione reale del sito; ciò per definire l'effettiva profondità del substrato roccioso e verificare l'effettiva quota di imposta del piano di fondazione della scogliera.

PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO

La definizione della pericolosità sismica di base è stata eseguita secondo le Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018 tramite una griglia regolare che copre tutto il territorio nazionale. Nei nodi della griglia il programma ha calcolato l'accelerazione sismica massima attesa e sulla base di quest'ultima vengono calcolati i parametri di pericolosità sismica come di seguito indicato :

· Tipo di opera : opera di importanza strategica
· Classe d'uso IV – Opere strategiche
· Vita nominale : 100 anni
· Vita di riferimento : 200 anni
· Comune : Sanremo (IM)
· Latitudine : 43,818823
· Longitudine : 7,824813
· Analisi SLU ag/g = 0,256
· Analisi SLE ag/g = 0,097
· Tipo sottosuolo "E"
· Categoria topografica T2

Si evidenzia come l'intervento previsto in progetto riguardi le opere finalizzate alla mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico ed all'aumento del livello di resilienza delle strutture e infrastrutture interessate dal movimento franoso in località "La Vesca" in Comune di Sanremo (IM) consistenti nella realizzazione di una scogliera in massi naturali posta al piede del versante al fine di limitarne l'erosione progressiva della costa e garantire la contestuale presenza di nuovi sovraccarichi al piede del versante; tale opera potrebbe essere pertanto classificata come *"costruzioni con presenza solo occasionale di persone …"* (classe d'uso I ai sensi del par. 2.4.2 dalle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018,* con conseguente vita di riferimento V_R = 35 anni), ma si è scelto di adottare per la verifica di stabilità del versante parametri più cautelativi che possano tenere in considerazione l'importanza strategica che la S.S. n.1 Aurelia o la pista ciclabile rivestono per il contesto cittadino.
Per l'amplificazione stratigrafica, come contemplato dalle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018*, è stato fatto riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_{eq} (in m/s) definita dall'espressione :

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

dove:

N = numero di strati
hi = spessore dello strato i-esimo
Vs,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s

Le linee sismiche Masw hanno fornito i dati di Vs utili per l'individuazione della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio (v_{eq}) e quindi della categoria sismica del sottosuolo locale.

I valori ottenuti con le Masw M1 e M3 sono riferibili a terreni della categoria C; ciò premesso e tenuto conto che la profondità del substrato rigido con Vs > 800 m/s risulta inferiore a 30 metri, ne deriva che il sottosuolo locale del sito di progetto sia correlabile prudenzialmente alla categoria E descritta come *"Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categoria C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m"*. Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, la morfologia del pendio è associabile, prudenzialmente, alla categoria topografica T2 (tab. 3.2.III NTC2018).

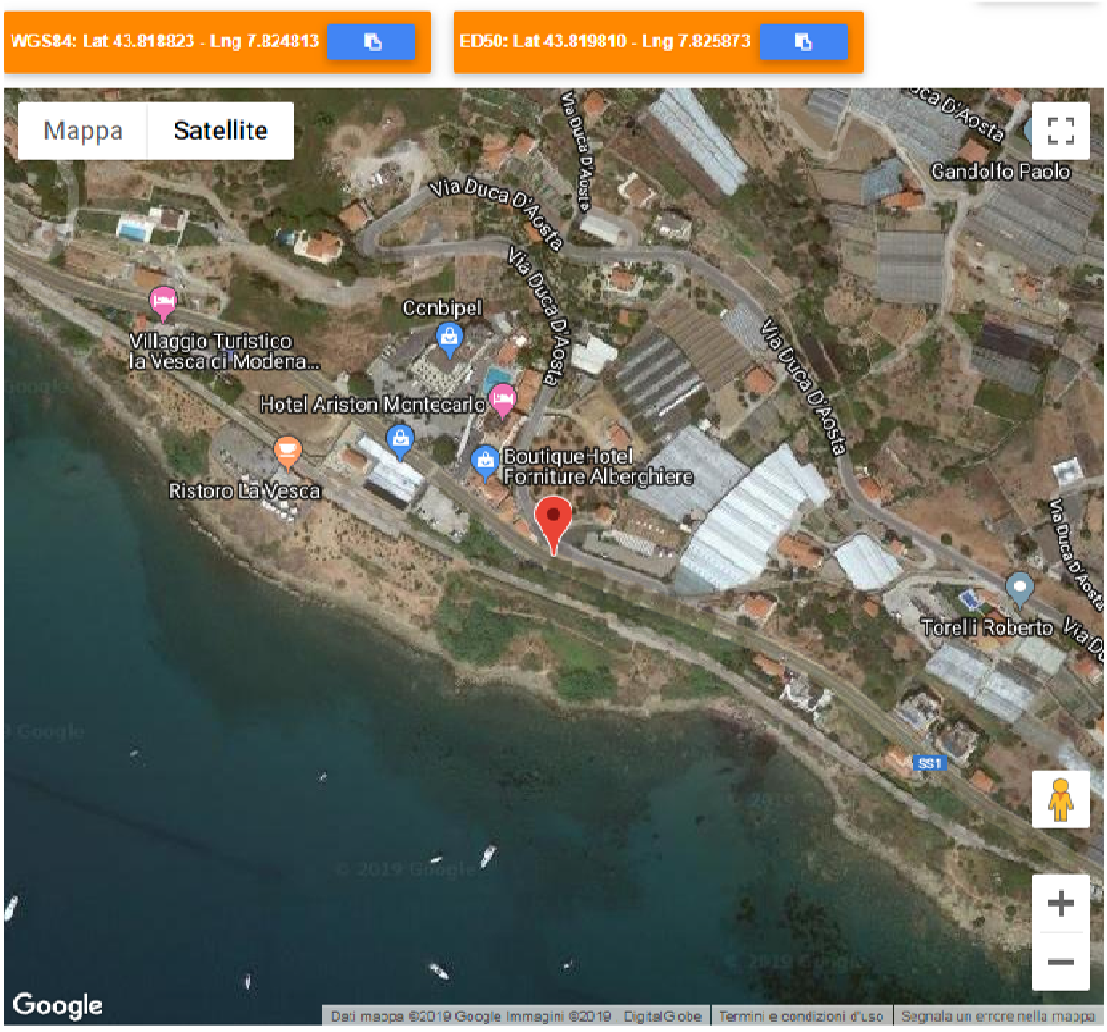
Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

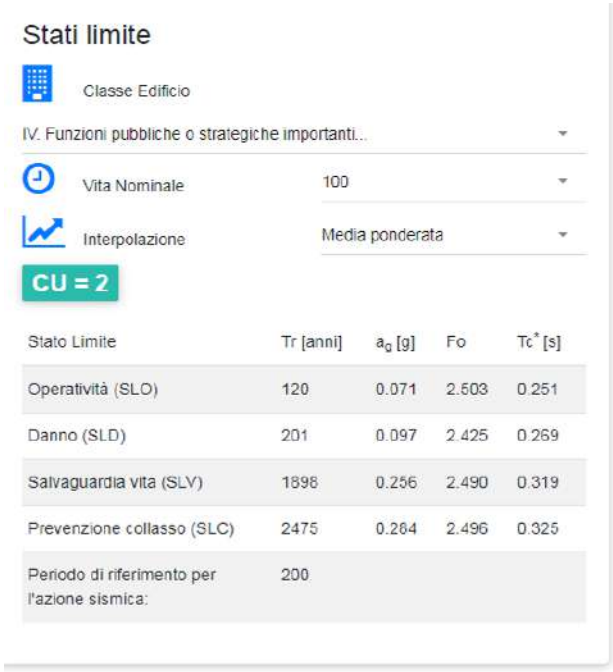
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo 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.

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°

Il sito di progetto è stato caratterizzato in fase di modellazione da sottosuolo di categoria **E** *"Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categoria C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m"* e da categoria topografica di categoria **T2** *"Pendii con inclinazione media i > 15°"* (con conseguente coefficiente di amplificazione topografica pari a S_t = 1,2).





Stati limite

Classe Edificio

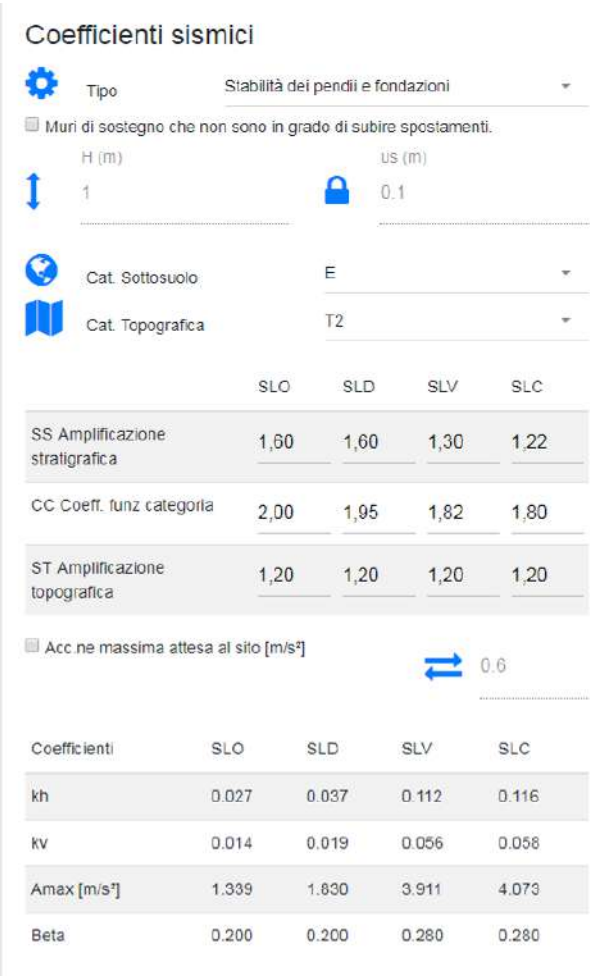
IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti..

Vita Nominale 100

Interpolazione Media ponderata

CU = 2

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	120	0.071	2.503	0.251
Danno (SLD)	201	0.097	2.425	0.269
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0.256	2.490	0.319
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.284	2.496	0.325
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			



Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) 1

us (m) 0.1

Cat. Sottosuolo E

Cat. Topografica T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,60	1,60	1,30	1,22
CC Coeff. funz categoria	2,00	1,95	1,82	1,80
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Acc ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.027	0.037	0.112	0.116
kv	0.014	0.019	0.056	0.058
Amax [m/s²]	1.339	1.830	3.911	4.073
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

<u>Parametri sismici</u>

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame

latitudine: 43,819810
longitudine: 7,825873
Classe: 4
Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1ID: 19343 Lat: 43,7976 Lon: 7,8074 Distanza: 2814,915
Sito 2ID: 19344 Lat: 43,8009 Lon: 7,8765 Distanza: 4586,160
Sito 3ID: 19122 Lat: 43,8508 Lon: 7,8719 Distanza: 5119,043
Sito 4ID: 19121 Lat: 43,8475 Lon: 7,8028 Distanza: 3613,450

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 200 anni

Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):
Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 120 [anni]
ag: 0,071 g
Fo: 2,503
Tc: 0,251 [s]*

Danno (SLD):
Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 201 [anni]
ag: 0,097 g
Fo: 2,425
Tc: 0,269 [s]*

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1898 [anni]
ag: 0,256 g
Fo: 2,490
Tc: 0,319 [s]*

Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 2475 [anni]
ag: 0,284 g
Fo: 2,496
Tc: 0,325 [s]*

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
Ss: 1,600
Cc: 2,000
St: 1,200
Kh: 0,027
Kv: 0,014
Amax: 1,338
Beta: 0,200

SLD:
Ss: 1,600
Cc: 1,950
St: 1,200
Kh: 0,037
Kv: 0,019
Amax: 1,829
Beta: 0,200

SLV:
Ss: 1,300
Cc: 1,820

St: 1,200
Kh: 0,112
Kv: 0,056
Amax: 3,910
Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,220
Cc: 1,800
St: 1,200
Kh: 0,116
Kv: 0,058
Amax: 4,071
Beta: 0,280

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Alla base delle verifiche strutturali di cui al progetto dovranno essere considerate le seguenti normative di riferimento :

- **NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI – D.M. 17/01/2018**
- **CIRCOLARE N. 7 del 21/01/2019 C.S.LL.PP.**

Le presenti *Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 17/01/2018* definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.
Esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Circa le indicazioni applicative per l'ottenimento delle prescritte prestazioni, per quanto non espressamente specificato nelle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018*, ci si può riferire a normative di comprovata validità e ad altri documenti tecnici elencati nel Cap. 12; in particolare quelle fornite dagli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle presenti norme.

INTERVENTO GENERALE DI CONSOLIDAMENTO DEL VERSANTE

L'intervento oggetto della presente relazione rientra nell'ambito di un più ampio programma di sistemazione e consolidamento del movimento franoso dell'area descritto in premessa.

Si evidenzia a tale scopo come nel piano preliminare degli interventi si siano analizzate le singole criticità e siano stati individuati i soli interventi che – eventualmente in sinergia fra loro – possano favorire la mitigazione del rischio per la zona interessata e per le aree che risentono di effetti indotti dalla criticità stessa; sono stati inoltre valutati gli effetti indotti, sia a valle sia a monte, dalle singole tipologie di intervento, selezionando le misure operative in modo da coordinare le modalità di intervento e le conseguenze delle opere alla scala dell'intero versante.

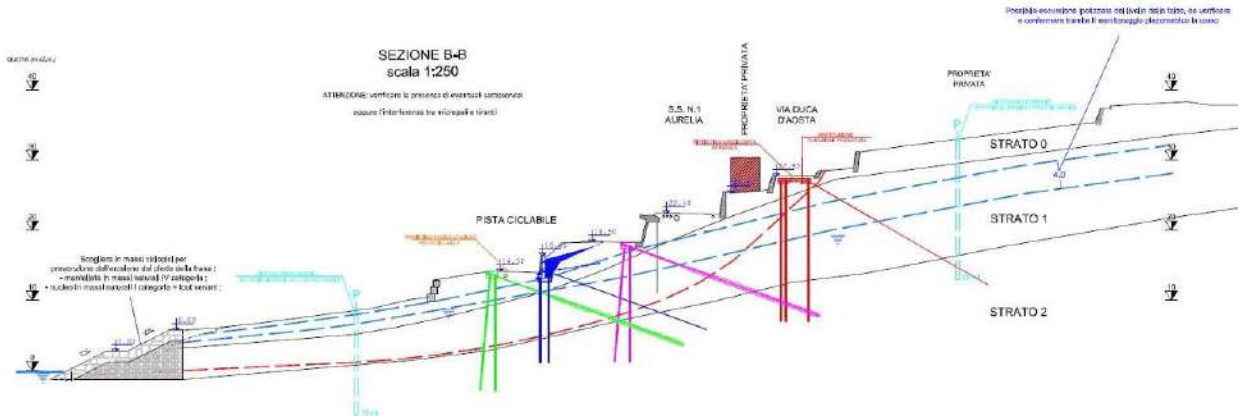
Nell'ottica di una pianificazione orientata alla minimizzazione del rischio, la programmazione degli interventi deve essere basata - oltre che sulle caratteristiche intrinseche delle diverse criticità individuate - soprattutto sul grado di rischio nei confronti degli abitati e delle infrastrutture; non deve tuttavia essere trascurata l'interferenza reciproca fra i diversi interventi: **occorre** infatti **evitare che lo sfasamento temporale tra i singoli interventi strutturali previsti si traduca nel trasferimento della criticità da un'area oggetto di intervento prioritario ad un'area ove l'intervento era stato, almeno in origine, ritenuto meno urgente.**

Dalle simulazioni preliminarmente eseguite mediante il programma di calcolo bidimensionale Slide® si è in grado pertanto di riportare quanto segue :

- una paratia di pali tirantata in sommità è in grado di trasferire i carichi di fondazione direttamente al substrato roccioso, oltrepassando il mezzo meccanicamente più debole costituito dal detrito di versante: questa misura risulta indispensabile (soprattutto considerando la causa d'innesco del fenomeno) in quanto il reticolo di pali agisce in modo passivo sul sistema aumentando le resistenze disponibili dei materiali ;
- gli interventi in grado di ridurre le pressioni neutre all'interno della massa in movimento e lungo il contorno (in prossimità della superficie di rottura), rappresentati da drenaggi superficiali e/o profondi, risultano maggiormente efficienti rispetto a quegli interventi in grado di trasferire gli sforzi tangenziali a formazioni rocciose non interessate da movimento ;
- la realizzazione del muro di sostegno della scarpata a monte della pista ciclabile comporta un minimo miglioramento della stabilità globale del versante e potrebbe pertanto essere rimandato ad una seconda fase di consolidamento del pendio (salvo che non sia necessaria

al fine di poter successivamente operare in sicurezza nella fascia di terreno posta a valle del muro di sostegno esistente della S.S.1 Aurelia) ;

- la realizzazione dell'intervento da realizzarsi lungo Via Duca d'Aosta – pur comportando un minimo miglioramento della stabilità globale del versante – risulta assolutamente necessario al fine di ridurre le problematiche locali riscontrate nel corso dei sopralluoghi sul posto (danni ad alcuni fabbricati limitrofi, assestamenti di muri di sostegno, assestamenti della pavimentazione stradale lungo Via Duca D'Aosta, rottura della rete fognaria lungo Via Duca D'Aosta, ecc), mirando allo stesso tempo a contribuire al consolidamento parziale di un'area caratterizzata da peculiarità geotecniche evolutive ;



L'intervento descritto nella presente relazione – pur non garantendo una soluzione risolutiva della problematica denunciata in quanto riguardante una porzione limitata di terreno posta al piede del pendio in frana – produrrà una mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico presente nell'area in maniera tale da minimizzare il pericolo di attivazione di ulteriori dissesti; alla luce di quanto sopra l'intervento di seguito descritto sarà finalizzato alla riduzione delle problematiche locali riscontrate nel corso dei sopralluoghi preliminari (erosione della costa a seguito di moto ondoso rilevante, con conseguente indebolimento del piede del versante per effetto della progressiva asportazione di materiale), mirando allo stesso tempo a contribuire al consolidamento parziale di un'area – come quella a valle della pista ciclabile – caratterizzata da peculiarità geotecniche evolutive.

La mitigazione del rischio connesso al dissesto idrogeologico può essere attuato attraverso azioni finalizzate alla moderazione e/o riduzione delle perdite e dei danni materiali, vale a dire misure che – seppur non in grado di evitare – possano perlomeno "rallentare" oppure proteggere dal fenomeno.

Si noti in tale ottica come non siano escluse ricadute negative sulla efficacia dell'intervento proposto qualora si verificasse un eccessivo sfasamento temporale rispetto agli interventi da realizzarsi per il consolidamento del versante in frana o – caso ancora peggiore – qualora uno o più degli stessi non venisse realizzato: dall'analisi preliminare eseguita sulla stabilità del versante si è potuto infatti evincere come solamente la sinergia tra più interventi possa garantire la mitigazione del rischio attualmente riscontrabile e/o la sistemazione del fenomeno.

E' evidente infatti come – sia da quanto desunto da informazioni storiche sulle problematiche di stabilità della zona sia da quanto risultante dai risultati del monitoraggio inclinometrico del versante nel periodo 2019/2022 – risulti assolutamente necessario che l'intervento proposto sia inserito all'interno di una progettazione e realizzazione di lavori di sistemazione e consolidamento estesi alla scala del versante, con particolare riferimento a tutto il settore di piede instabile compreso tra la parte bassa della Via Duca d'Aosta ed il mare.

A seguito dell'ultimazione dei lavori di cui alla presente relazione si dovrà provvedere al ripristino della rete di monitoraggio inclinometrico e piezometrico presente lungo l'intero corpo di frana - eventualmente danneggiata dalla più recente evoluzione del dissesto e dalle attività di cantiere - nonché alla implementazione del sistema di monitoraggio dell'area; tale rete permetterà di controllare costantemente il comportamento meccanico e idrogeologico della frana e di conseguenza di valutare anche l'efficacia dell'intervento di consolidamento proposto.

Qualora si volesse provvisoriamente evitare l'esecuzione di nuove perforazioni e l'installazione di costosi nuovi tubi inclinometrici, si consiglia di installare almeno alcuni estensimetri a filo di superficie con lettura automatica da posizionarsi in alcuni punti significativi del pendio per fornire una misurazione continua dello spostamento superficiale del corpo di frana.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO: REALIZZAZIONE DI UNA SCOGLIERA AL PIEDE / RIPROFILATURA DEL VERSANTE

L'intervento previsto in progetto riguarda le opere finalizzate alla mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico ed all'aumento del livello di resilienza delle strutture e infrastrutture interessate dal movimento franoso in località "La Vesca" in Comune di Sanremo (IM) consistenti nella realizzazione di una scogliera in massi naturali di lunghezza pari a circa 130 ml posta al piede del versante al fine di limitarne l'erosione progressiva della costa e garantire la contestuale presenza di nuovi sovraccarichi al piede del versante (oltre alla riprofilatura del versante immediatamente a monte), in maniera tale da garantire un incremento delle forze resistenti allo scorrimento lasciando invariate quelle destabilizzanti senza ostacolare il drenaggio delle acque di falda dalla scarpata a mare.

Con il termine di riprofilatura del versante si intendono tutti quegli interventi atti ad incrementarne la stabilità attraverso una ridistribuzione delle masse lungo il pendio: l'incremento del fattore di sicurezza può essere ottenuto grazie alla riduzione delle forze destabilizzanti (rimozione di materiale), all'incremento di quelle resistenti (apporto di materiale) oppure grazie alla combinazione di entrambi gli effetti.

Nel caso in esame si prevede in particolare l'applicazione di masse al piede del corpo di frana, realizzate mediante la posa in opera di massi naturali di entità sufficiente a proteggere la linea di costa dal moto meteo marino prevenendo l'erosione del piede di frana nonché limitare il movimento del versante in frana; l'applicazione di una massa a valle della linea neutra è infatti in grado di causare un significativo incremento delle forze resistenti lasciando invariate quelle destabilizzanti, determinando in questo modo un netto incremento del fattore di sicurezza.

Le caratteristiche geometriche della sezione della nuova scogliera in massi naturali sono quelle di seguito riassunte :

- pendenza della scarpa verso mare pari a 1:2,5 e verso terra pari a 1:1 ;
- mantellata realizzata con massi ciclopici di III - IV categoria (peso stimato : 3 t – 10 t) ;
- nucleo realizzato con massi naturali di I-II categoria integrati con materiale di ridotta pezzatura eventualmente reperito sul posto (peso 0,1 t – 1,5 t) ;

Non si esclude a priori la possibilità di provvedere al recupero parziale di materiali lapidei costituiti dagli scogli attualmente fuori sezione, ponendo sempre molta attenzione a non destabilizzare le opere esistenti; al fine di evitare che il nuovo manufatto in progetto possa costituire un ostacolo al naturale deflusso delle acque di versante, sarà posta particolare cura e

attenzione nella posa e realizzazione di uno strato anticapillare costituito da uno strato molto permeabile in grado di favorire lo scolo delle acque di versante senza alterare l'attuale condizione di deflusso del versante.

Nella scelta dei mezzi operativi in fase di realizzazione dei lavori sarà necessario tenere conto del tirante idrico lato mare e della presenza di bassi fondali a valle del manufatto in progetto, tale da richiedere preliminarmente l'intervento di un escavazione del fondale al fine di conseguire un approfondimento minimo fino alla quota -1,5 m.s.l.m. tale da consentire la manovra di approdo di un pontone con pescaggio massimo di 1,5 metri.

Si ritiene inoltre necessario provvedere alla parziale riprofilatura del versante in maniera tale da garantire una riduzione degli sforzi tangenziali agenti lungo la superficie di potenziale scivolamento; le operazioni da eseguirsi sono pertanto, a titolo esemplificativo, le seguenti :

- rimozione di detriti superficiali grossolani ;
- disgaggio di eventuale materiale instabile ;
- asportazione del materiale nella zona di corona ;
- taglio di piante (laddove ritenuto necessario) ;
- riprofilatura e livellamento del terreno ;

Si evidenzia infine l'esigenza di prevedere un adeguato sistema di raccolta ed allontanamento delle acque di ruscellamento superficiale, di cui sia garantito il costante e corretto funzionamento.

Dopo l'ultimazione dei lavori di cui alla presente relazione si dovrà provvedere al ripristino della rete di monitoraggio inclinometrico e piezometrico presente lungo l'intero corpo di frana - eventualmente danneggiata dalla più recente evoluzione del dissesto e dalle attività di cantiere - nonché alla implementazione del sistema di monitoraggio dell'area; tale rete permetterà di controllare costantemente il comportamento meccanico e idrogeologico della frana e di conseguenza di valutare anche l'efficacia dell'intervento di consolidamento proposto.

La messa a punto di un sistema di monitoraggio e di allarme sarà volta infatti a limitare la probabilità che la vita umana sia vulnerata dall'evento franoso (riduzione della probabilità di lesioni a persone) attraverso tutte quelle azioni volte a controllare - per mezzo di strumentazione idonea - l'evoluzione quantitativa del fenomeno naturale.

Gli strumenti di monitoraggio – in particolare se a controllo automatizzato con campagna di lettura sia manuale che automatizzata con consultazione mediante *web-monitoring online*, portale dedicato per garantire una migliore versatilità nella lettura dei dati in continuo nonché nella generazione di pagine di presentazione dei dati - potranno integrare le opere ingegneristiche

descritte nella presente relazione in accordo con quanto previsto al par. 6.3.6. delle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018*; in generale il monitoraggio dovrà progressivamente consentire l'esatta delimitazione del fenomeno franoso, in termini sia di estensione areale che di profondità interessate e quindi di volumetria, nonché una migliore definizione delle tipologie di movimento in atto e la loro variazione spazio-temporale al mutare delle condizioni idrauliche e meteorologiche.

VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE

L'analisi di Stabilità all'Equilibrio Limite Globale

La metodologia di studio dell'analisi di stabilità dei pendii utilizzata nel caso in esame è quella che si basa sul Metodo Generale dell'Equilibrio Limite Globale: il Metodo Generale dell'Equilibrio Limite Globale (GLE) è un approccio di analisi che vuole individuare la stabilità del versante rispetto allo scorrimento, problematica con cui più frequentemente ci si confronta nella professione.

Il processo deve avere i seguenti presupposti :

1. la rottura del versante avviene per scorrimento lungo una superficie ben definita ;
2. la massa in frana è perfettamente rigida (non vengono considerate possibili deformazioni o rotture entro la massa in frana) ;
3. le condizioni di stabilità sono espresse dal rapporto tra lo sforzo resistente e quello agente sulla superficie di scorrimento (è considerato quindi solo l'equilibrio statico del materiale) ;

Dal punto 2 ne consegue in particolare che :

a) la resistenza mobilitata lungo la superficie di scorrimento in condizioni di equilibrio limite è costante nel tempo, indipendente dalle deformazioni e quindi dai movimenti della frana (e ovunque pari alla resistenza al taglio) ;
b) non è possibile determinare né le deformazioni precedenti la rottura, né l'entità dei movimenti del blocco in frana, né la velocità del fenomeno.

Inoltre la maggior parte dei metodi di verifica della stabilità dei pendii considerano il problema piano, bidimensionale (cioè ipotizzano che la superficie di scorrimento sia di forma cilindrica con direttrici ortogonali al piano considerato), tramite l'analisi di una o più sezioni longitudinali al versante, trascurando pertanto gli effetti tridimensionali.

Un versante soggetto a potenziale franamento deve essere suddiviso, lungo il profilo longitudinale, in elementi denominati "conci", delimitati da due superfici verticali e da un piano di base appartenente alla potenziale superficie di scorrimento. Nella figura di seguito riportata è mostrata la nomenclatura di riferimento delle forze agenti sul concio di materiale, nella quale :

W = peso totale del concio
N = forza normale agente alla base del concio
S_m = forza di taglio mobilizzata alla base del concio

E = forza interconcio normale orizzontale (EL sinistra ER destra)

X = forza interconcio di taglio verticale (XL sinistra XR destra)

R = raggio di rotazione per una superficie di scorrimento circolare o braccio associato alla forza Sm per una superficie di scorrimento di forma qualunque

f = braccio della forza normale rispetto al centro di rotazione

x = braccio della forza peso rispetto al centro di rotazione

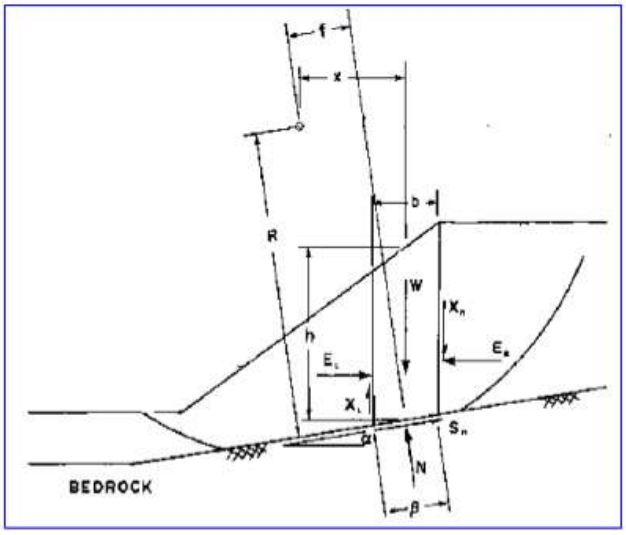
h = altezza del concio

β = lunghezza della base del concio

b = larghezza del concio

α = inclinazione della base del concio

h_n = punto di applicazione della forza normale sul concio



variabili in gioco nell'analisi GLE (Fonte: Berti, 2009)

Quando si effettua un'analisi di stabilità si vuole arrivare all'individuazione di un fattore o coefficiente di sicurezza (F_s). Il suo valore è dato dal rapporto :

$$\frac{\tau_R}{\tau_m} = \frac{\text{resistenza al taglio}}{\text{sforzo di taglio agente}}$$

Si evidenzia come – ai sensi del par. 6.3.4 delle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018* la valutazione del coefficiente di sicurezza del versante (F_s), espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la tensione di taglio agente lungo la superficie di scorrimento

individuata, debba essere eseguita impiegando sia parametri geotecnici (congruenti con i caratteri del cinematismo atteso o accertato) sia le azioni presi con il loro valore caratteristico.
Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto del tipo di frana e dei possibili cinematismi, considerando forma e posizione della eventuale superficie di scorrimento, le proprietà dei terreni e il regime delle pressioni interstiziali.

La normativa vigente sul trattamento dei parametri geotecnici

Le *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018* definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni nei riguardi delle prestazioni richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica, stabilità e di durabilità.
Esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e - più in generale - trattano gli aspetti attinenti la sicurezza strutturale delle opere.
In particolar modo la normativa impone la valutazione di sicurezza e le prestazioni di un'opera (o di una parte di essa) in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Lo stato limite viene definito come la condizione superata la quale l'opera non è più in grado di soddisfare le esigenze per le quali è stata progettata.
In particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti :
- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)* : capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone, ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)* : capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali :* capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce "collasso", mentre il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile oppure irreversibile.
La normativa adotta il metodo semiprobabilistico agli stati limite, tramite il quale vengono introdotte incertezze sui valori di calcolo, applicando dei coefficienti parziali di sicurezza γ che operano su azioni e resistenze.
La resistenza di progetto f_d viene rapportata al valore di progetto E_d delle azioni. Le azioni, definite al valore caratteristico F_k, sono moltiplicate per un coefficiente γ_F ottenendo il temine di

progetto F_d: in questo modo le azioni di progetto impiegate nel calcolo hanno un'intensità maggiore, con lo scopo di incrementare il livello di sicurezza. Per lo stesso principio le resistenze caratteristiche vengono diminuite di un termine γ_M, per ottenerne il termine f_d.
Le azioni vengono poi espresse in termini di prestazioni attese E_d (derivanti da analisi strutturali), mentre le resistenze in capacità di prestazione R_d: la verifica di sicurezza si basa pertanto sul principio per cui

$$R_d \geq E_d$$

La verifica della suddetta condizione è effettuata solitamente impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3):
- lo stato limite di equilibrio EQU considera la struttura, il terreno o l'insieme terreno-struttura come corpo rigido ;
- lo stato limite di resistenza della struttura STR riguarda gli elementi di fondazione e di sostegno del terreno. Si utilizza per tutti i dimensionamenti strutturali ;
- lo stato limite di resistenza del terreno GEO si utilizza per il dimensionamento geotecnico delle opere di fondazione e di sostegno e per tutte le strutture che interagiscono col terreno, ma anche per le verifiche di stabilità globale terreno-struttura ;

Tab. 6.2.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni*

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G_2 [1]	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

[1] Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tab. 6.2.II – *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - *Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo*

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Per le verifiche della stabilità del versante oggetto di indagine si è adottato l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) con (A2=M2=1); le verifiche di sicurezza – anche in relazione alle opere da eseguirsi – sono state basate ai sensi del par. 6.3.1 delle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018* sulla base dei dati acquisiti mediante specifiche indagini geognostiche eseguite a cura del geologo incaricato Dott. Geol. Mauro Enotarpi.

Si evidenzia come – ai sensi del par. 6.3.5 delle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018* – la scelta delle più idonee tipologie degli interventi di stabilizzazione debba tener conto delle cause promotrici della frana, del meccanismo di collasso ipotizzato o in atto, dei suoi caratteri cinematici e del regime delle pressioni interstiziali nel sottosuolo. Oltre alla valutazione dell'incremento di sicurezza indotto dagli interventi di stabilizzazione nei confronti del meccanismo di collasso più critico, sarà necessario verificare le condizioni di sicurezza connesse con altri (diversi) meccanismi di collasso compatibili con gli interventi ipotizzati.

Programma di analisi Slide-Rocscience

Nel dimensionamento degli interventi di stabilizzazione devono essere valutate le condizioni di stabilità iniziali, prima dell'esecuzione dell'intervento, e quelle finali, ad intervento eseguito, in maniera tale da poter valutare l'incremento del margine di sicurezza rispetto al cinematismo di collasso critico individuato.

Come riportato al paragrafo C6.3.5 della *Circolare n. 7 del 21/01/2019 C.S.LL.PP. "… Nel caso di frane di ampie dimensioni, per le quali non sempre è possibile giungere alla stabilizzazione, gli interventi possono essere progettati con il fine di rallentare l'evoluzione dei fenomeni in atto. In tal caso, l'efficacia di un intervento sul pendio deve essere valutata in termini di riduzione della pericolosità. […]".*

Le analisi di stabilità (e la definizione dei corrispondenti coefficienti di sicurezza) sono state eseguite mediante il programma di calcolo bidimensionale Slide® distribuito da Rocscience Inc., Toronto-Ontario.

Il suddetto software in dotazione allo scrivente permette l'analisi di superfici di scorrimento circolari o non, considerando terreni variamente stratificati e quindi innumerevoli tipologie di materiali; l'analisi è effettuata in presenza di falda idrica, pressioni interstiziali, sollecitazioni

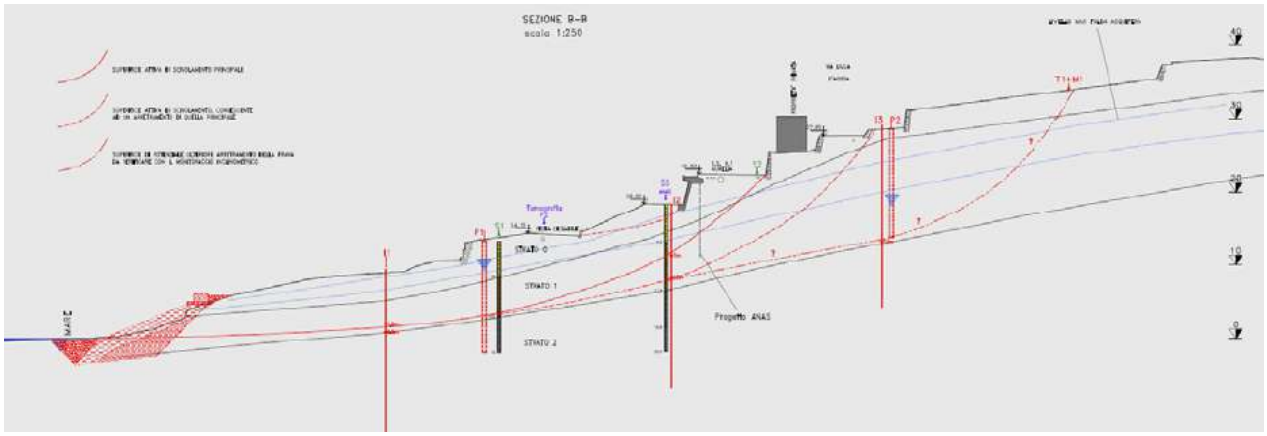
sismiche per via statica equivalente; è stato inoltre possibile l'inserimento di elementi di "carico" distribuiti, lineari o sismici.
Un'importante caratteristica del programma è la possibilità di inserimento di meccanismi di supporto: ancoraggi tirantati, geotessili, chiodature, micropali, ecc.
Il programma è in grado di fornire una soluzione generale al problema bidimensionale di stabilità del versante ricavando il coefficiente di sicurezza (F_s).
Le verifiche di stabilità possono essere effettuate fornendo il coefficiente di sicurezza secondo diversi possibili criteri, di cui i più utilizzati sono generalmente Morgenstern & Price, Spencer, Bishop, Janbu: per le finalità di questo studio si è utilizzato il criterio di Morgenstern & Price, con il quale il coefficiente di sicurezza viene ricercato soddisfando la condizione di equilibrio delle forze e dei momenti da superfici di scorrimento a direttrice circolare. Il criterio di rottura del terreno considerato è quello di Mohr-Coulomb.
I profili del versante ed i perimetri delle stratificazioni sono stati eseguiti in primo luogo su AUTO-Cad e successivamente importati in Slide tramite il formato .dxf.

Verifiche di stabilità in "back analysis" per determinazione delle condizioni inziali
Come espresso al par. 6.3.4 delle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018 "… Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini. […]"*.
Per poter estrapolare dei dati geotecnici oggettivi sono state realizzate reiterate verifiche di stabilità in "back-analysis", opportunamente predisposte allo scopo di valutare le caratteristiche di resistenza dei terreni presenti nel settore in frana oggetto della presente relazione.
La "back-analysis" consiste nell'analizzare un problema del quale sono noti la geometria e le condizioni al contorno, per ricavare a ritroso i parametri di resistenza del materiale, attraverso una risoluzione inversa delle equazioni di equilibrio o per tentativi o iterazioni successivi.

Tuttavia il fatto che uno o più set di parametri geotecnici forniscano in un modello analitico risultati comparabili a quanto si verifica in sito non è di per sé garanzia della bontà dei parametri e delle equazioni di equilibrio utilizzate. Per ottenere risultati sufficientemente cautelativi tramite la "back-analysis" sono state pertanto fissate le seguenti condizioni nel modello di calcolo :
- assenza di sollecitazioni sismiche;
- presenza di falda di versante (in base ai sopralluoghi effettuati ed alle letture piezometriche eseguite dal geologo Dott. Geol. Mauro Enotarpi);
- parametri geotecnici "reali" (non ridotti secondo i coefficienti parziali imposti dal D.M. 17/01/18) ;

Tenuto conto di tali condizioni di instabilità attuali - la parte di piede del versante compresa tra la parte più bassa della Via Duca d'Aosta ed il mare è ad oggi soggetta ad un movimento di scivolamento attivo a tutti gli effetti che coinvolge gli strati geotecnici 0 e 1 - si è ritenuto di assumere un fattore di sicurezza (F_s) minore di 1: le verifiche preliminari hanno pertanto evidenziato come la zolla possa scivolare sul cerchio principale solo se si ipotizza uno strato fittizio di base con caratteristiche residue di resistenza molto scadenti, vale a dire con angolo di attrito pari a circa 18°-19,5° in assenza di coesione (il valore di circa 18°-19,5° è prossimo all'inclinazione media del pendio interessato dal movimento franoso).

La sezione B-B, utile per le verifiche di stabilità globale del pendio, riporta il profilo della falda di massima e media piezometria; i due profili sono stati tarati sulla base del valore massimo e medio della piezometria registrata negli anni 2019-2021 nel piezometro P1 (il piezometro P2, a differenza del P1, ha registrato una piezometria pressoché costante poco o nulla correlata alla piovosità e per tale motivo è stato ritenuto poco significativo).



Soluzione proposta e considerazioni finali

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al paragrafo 6.8 delle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018*, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1 tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici, e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Al fine di valutare attentamente la stabilità del sistema opera/pendio, sono state eseguite delle verifiche di stabilità lungo la sezione più rappresentativa di progetto: le verifiche sono state eseguite tramite il software Slide® distribuito da Rocscience Inc., Toronto-Ontario.

Sotto l'effetto dell'azione sismica di progetto, le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti al paragrafo 3.2.1 delle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018*, con i requisiti di sicurezza indicati nel paragrafo 7.1 delle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018*.

Le verifiche agli stati limite ultimi di opere e sistemi geotecnici si riferiscono al solo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) di cui al paragrafo 3.2.1; quelle agli stati limite di esercizio si riferiscono al solo stato limite di danno (SLD) di cui allo stesso paragrafo 3.2.1.

Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali γ_R indicati nel capitolo 7 delle *Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018*, oppure con i γ_R indicati nel capitolo 6 laddove non espressamente specificato.

E' di seguito illustrato l'esito della verifica di stabilità del versante successivamente alla movimentazione franosa, da cui si evince come sia possibile raggiungere un valore del fattore di sicurezza del versante (F_s) superiore rispetto alla soglia di sicurezza definita solo per mezzo di interventi combinati dal momento che l'intervento proposto garantisce un aumento del livello di sicurezza senza però garantire una completa risoluzione della problematica riscontrata nell'area.

SEZIONE B-B

	Parametri geotecnici caratteristici				Parametri geotecnici (M2 Tab. 6.2.II)			
	γ	φ	c'	cu	γ	φ	c'	cu
	[kN/m^3]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN/m^3]	[°]	[kPa]	[kPa]
Strato 0	18,5	22	1	-	18,5	17,91	0,8	-
Strato 1	19,5	20	5	-	19,5	16,23	4	-
Strato 1a	19,5	19,5	0	-	19,5	15,82	0	-
Strato 2	21,5	24	30	-	21,5	19,61	24	-
Scogliera	22,0	45	0		22,0	38,66	0	
Riporto	20,0	35	0		20,0	29,26	0	

Azioni sismiche (T_R 200anni)	
Parametri Sismici (SLV)	
a_g/g	0,256
F_0	2,473
T^*_C	0,319
S_S	1,30
S_T	1,2
ag_{max}	0,400
β_m (tab.7.11.I)	0,38
k_h	0,152
k_v	0,076

				Carichi	Carichi
statica	1.5	accidentali	Ciclabile	5	7,5
	1.3	permanenti	Aurelia	20	30
			Casa	20	26
sismica	0.3	accidentali (cauzelativo)	Via Duca	15	22,5
	1	permanenti			

dati input adottati per la verifica di stabilità all' Equilibrio Limite del versante

Nel seguito si riportano i risultati grafici e numerici della verifiche condotte sia in condizione statica sia in condizione sismica. La superficie di scorrimento considerata è di tipo circolare, definita sulla base dei dati acquisiti mediante specifiche indagini geognostiche eseguite a cura del geologo incaricato Dott. Geol. Mauro Enotarpi e su un'attenta indagine visiva circa i cinematismi di rottura visibili nell'area di studio :

Situazione attuale :

IPOTESI 1a : verifica statica, falda misurata in periodi di scarse precipitazioni (+9 m s.l.m) ;

IPOTESI 2a : verifica sismica, falda misurata in periodi di scarse precipitazioni (+9 m s.l.m) ;

IPOTESI 3a : verifica statica, falda misurata in periodi di abbondanti precipitazioni (+10,7 m s.l.m) ;

IPOTESI 4a : verifica sismica, falda misurata in periodi di abbondanti precipitazioni (+10,7 m s.l.m) ;

Situazione post intervento

IPOTESI 1b : verifica statica, falda misurata in periodi di scarse precipitazioni (+9 m s.l.m) ;

IPOTESI 2b : verifica sismica, falda misurata in periodi di scarse precipitazioni (+9 m s.l.m) ;

IPOTESI 3b : verifica statica, falda misurata in periodi di abbondanti precipitazioni (+10,7 m s.l.m) ;

IPOTESI 4b : verifica sismica, falda misurata in periodi di abbondanti precipitazioni (+10,7 m s.l.m) ;

In ogni caso il rapporto tra la resistenza al taglio e lo sforzo di taglio agente non risulta a favore di stabilità, con un valore massimo del fattore di sicurezza del versante (F_s) pari a 0,912 (ipotesi 1b – situazione post intervento: verifica statica, falda misurata in periodi di scarse precipitazioni) ed un valore minimo pari a 0,550 (ipotesi 4a – situazione attuale: verifica sismica, falda misurata in periodi di abbondanti precipitazioni).

	FALDA ALTA		FALDA BASSA	
	FS Prog	*FS attuale*	*FS Prog*	*FS attuale*
condizione statica	0,792	0,663	0,912	0,781
condizione sismica	0,648	0,550	0,740	0,643

sintesi dei risultati della verifica di stabilità all' Equilibrio Limite del versante

Alla luce di quanto sopra esposto si evince come le configurazioni impostate non siano pertanto sufficienti a definire il versante come "stabile" dal momento che **l'intervento oggetto della presente relazione** – come descritto in premessa – **rientra nell'ambito di un più ampio programma di sistemazione e consolidamento del movimento franoso in atto e – pur non garantendo una soluzione risolutiva della problematica denunciata in quanto riguardante una porzione limitata di terreno posta al piede del pendio in frana – produrrà una mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico presente nell'area in maniera tale da minimizzare il pericolo di attivazione di ulteriori dissesti**

Si evidenzia in particolare come un eventuale futuro intervento di controllo della falda nel tratto di terreno immediatamente a monte della scogliera oggetto del presente intervento garantirebbe un ulteriore effetto stabilizzante dovuto all'abbassamento della tavola d'acqua all'interno del corpo di frana (e di conseguenza delle pressioni interstiziali e delle corrispondenti spinte del terreno); solo attraverso interventi combinati distribuiti lungo l'intero corpo di frana sarà però possibile garantire un fattore di sicurezza (F_s) superiore rispetto alla soglia di sicurezza prevista da normativa.

CONTROLLI E SISTEMI DI MONITORAGGIO

Il monitoraggio di un pendio o di una frana interessa le diverse fasi che vanno dallo studio attento del fenomeno al progetto, alla realizzazione ed alla gestione delle opere di stabilizzazione nonché al controllo della loro funzionalità e durabilità. Esso deve essere riferito principalmente agli spostamenti di punti significativi del pendio, in superficie e/o in profondità, al controllo di eventuali manufatti presenti ed alla misura delle pressioni interstiziali, da effettuare con periodicità e durata tali da consentire di definirne le variazioni periodiche e stagionali.

Il controllo dell'efficacia degli interventi di stabilizzazione dovrà comprendere la definizione delle soglie di attenzione e di allarme nonché i provvedimenti da assumere in caso del relativo superamento.

La messa a punto dei sistemi di monitoraggio e di allarme, in grado di consentire un adeguato preavviso, è volta infatti a limitare la probabilità che la vita umana sia vulnerata dall'evento franoso (riduzione della probabilità di lesioni a persone) attraverso tutte quelle azioni volte a controllare - per mezzo di strumentazione idonea - l'evoluzione quantitativa di un fenomeno naturale.

Gli strumenti di monitoraggio – in particolare se a controllo automatizzato con campagna di lettura sia manuale che automatizzata con consultazione mediante *web-monitoring online*, portale dedicato per garantire una migliore versatilità nella lettura dei dati in continuo nonché nella generazione di pagine di presentazione dei dati - possono integrare le opere ingegneristiche descritte nella presente relazione al fine di definirne e permettere di colmarne i limiti; in generale il monitoraggio dovrà progressivamente consentire l'esatta delimitazione del fenomeno franoso, in termini sia di estensione areale che di profondità interessate e quindi di volumetria, nonché la definizione delle tipologie di movimento in atto e la loro variazione spazio-temporale: ciò comporta anche la valutazione della dipendenza dei movimenti del terreno dal mutare delle condizioni idrauliche e meteorologiche.

Tale programma di monitoraggio, da eseguirsi a cura di tecnici incaricati dall'Amministrazione Comunale, sarà finalizzato a prestare la massima alle seguenti grandezze fisiche : parametri ambientali (piogge, temperature); accelerazione sismiche al suolo; pressioni interstiziali; spostamenti assoluti di punti sulla superficie e in profondità; spostamenti relativi tra punti interni al corpo di frana; deformazioni di elementi strutturali presenti nell'area ed in un suo intorno significativo (allargamento di lesioni e/o fessure esistenti, formazione di eventuali lesioni, rigonfiamento a valle delle opere di sostegno, ecc).

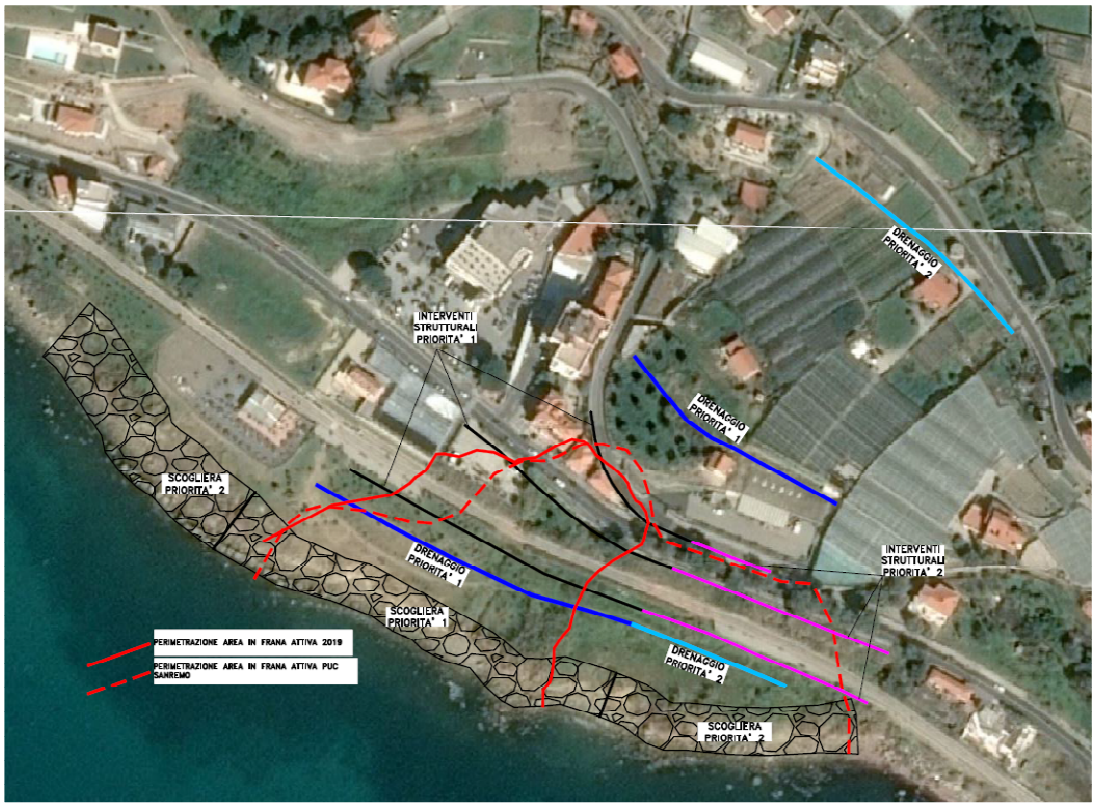
A seguito dell'ultimazione dei lavori descritti nella presente relazione si dovrà pertanto provvedere al ripristino della rete di monitoraggio inclinometrico e piezometrico presente lungo l'intero corpo di frana, eventualmente danneggiata dalla più recente evoluzione del dissesto e dalle attività di cantiere; tale rete permetterà di controllare in continuo il comportamento meccanico e idrogeologico della frana e di conseguenza di valutare anche l'efficacia dell'intervento di consolidamento eseguito.

Qualora si volesse provvisoriamente evitare l'esecuzione di nuove perforazioni e l'installazione di costosi nuovi tubi inclinometrici, si consiglia di installare almeno alcuni estensimetri a filo di superficie con lettura automatica da posizionarsi in alcuni punti significativi del pendio per fornire una misurazione continua dello spostamento superficiale del corpo di frana.

CONCLUSIONI

L'intervento previsto in progetto riguarda le opere finalizzate alla mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico ed all'aumento del livello di resilienza delle strutture e infrastrutture interessate dal movimento franoso in località "La Vesca" in Comune di Sanremo (IM) consistenti nella realizzazione di una scogliera in massi naturali di lunghezza pari a circa 130 ml posta al piede del versante al fine di limitarne l'erosione progressiva della costa e garantire la contestuale presenza di nuovi sovraccarichi al piede del versante (oltre alla riprofilatura del versante immediatamente a monte), in maniera tale da garantire un incremento delle forze resistenti allo scorrimento lasciando invariate quelle destabilizzanti senza ostacolare il drenaggio delle acque di falda dalla scarpata a mare.

Si evidenzia a tale scopo come nel piano preliminare degli interventi si siano analizzate le singole criticità e siano stati individuati i soli interventi che – eventualmente in sinergia fra loro – possano favorire la mitigazione del rischio per la zona interessata e per le aree che risentono di effetti indotti dalla criticità stessa; sono stati inoltre valutati gli effetti indotti, sia a valle sia a monte, dalle singole tipologie di intervento, selezionando le misure operative in modo da coordinare le modalità di intervento e le conseguenze delle opere alla scala dell'intero versante.



aree di intervento individuate in fase di progettazione preliminare (marzo 2019)

L'intervento descritto nella presente relazione – pur non garantendo una soluzione risolutiva della problematica denunciata in quanto riguardante una porzione limitata di terreno posta al piede del pendio in frana – produrrà una mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico presente nell'area in maniera tale da minimizzare il pericolo di attivazione di ulteriori dissesti; alla luce di quanto sopra l'intervento di seguito descritto sarà finalizzato alla riduzione delle problematiche locali riscontrate nel corso dei sopralluoghi preliminari (erosione della costa a seguito di moto ondoso rilevante, con conseguente indebolimento del piede del versante per effetto della progressiva asportazione di materiale), mirando allo stesso tempo a contribuire al consolidamento parziale di un'area – come quella a valle della pista ciclabile – caratterizzata da peculiarità geotecniche evolutive.

La mitigazione del rischio connesso al dissesto idrogeologico può essere attuato attraverso azioni finalizzate alla moderazione e/o riduzione delle perdite e dei danni materiali, vale a dire misure che – seppur non in grado di evitare – possano perlomeno "rallentare" oppure proteggere dal fenomeno.

Si noti in tale ottica come non siano escluse ricadute negative sulla efficacia dell'intervento proposto qualora si verificasse un eccessivo sfasamento temporale rispetto agli interventi da realizzarsi per il consolidamento del versante in frana o – caso ancora peggiore – qualora uno o più degli stessi non venisse realizzato: dall'analisi preliminare eseguita sulla stabilità del versante si è potuto infatti evincere come solamente la sinergia tra più interventi possa garantire la mitigazione del rischio attualmente riscontrabile e/o la sistemazione del fenomeno.

Alla luce di quanto sopra gli interventi di consolidamento inizialmente previsti dovranno essere accuratamente programmati per stralci successivi, procedendo (quando possibile) da valle verso monte; ogni stralcio dovrà essere finalizzato al consolidamento di singoli settori caratterizzati da peculiarità geotecniche ed evolutive.

E' evidente infatti come – sia da quanto desunto da informazioni storiche sulle problematiche di stabilità della zona sia da quanto risultante dai risultati del monitoraggio inclinometrico del versante nel periodo 2019/2022 – risulti assolutamente necessario che l'intervento proposto sia inserito all'interno di una progettazione e realizzazione di lavori di sistemazione e consolidamento estesi alla scala del versante, con particolare riferimento a tutto il settore di piede instabile compreso tra la parte bassa della Via Duca d'Aosta ed il mare.

A seguito dell'ultimazione dei lavori di cui alla presente relazione si dovrà provvedere al ripristino della rete di monitoraggio inclinometrico e piezometrico presente lungo l'intero

corpo di frana - eventualmente danneggiata dalla più recente evoluzione del dissesto e dalle attività di cantiere - nonché alla implementazione del sistema di monitoraggio dell'area; tale rete permetterà di controllare in continuo il comportamento meccanico e idrogeologico della frana e di conseguenza di valutare anche l'efficacia dell'intervento di consolidamento proposto.

Qualora si volesse provvisoriamente evitare l'esecuzione di nuove perforazioni e l'installazione di costosi nuovi tubi inclinometrici, si consiglia di installare almeno alcuni estensimetri a filo di superficie con lettura automatica da posizionarsi in alcuni punti significativi del pendio per fornire una misurazione continua dello spostamento superficiale del corpo di frana.

La messa a punto di un sistema di monitoraggio e di allarme sarà volta infatti a limitare la probabilità che la vita umana sia vulnerata dall'evento franoso (riduzione della probabilità di lesioni a persone) attraverso tutte quelle azioni volte a controllare - per mezzo di strumentazione idonea - l'evoluzione quantitativa del fenomeno naturale.

Sanremo (IM), lì agosto 2022

Il progettista

(Dott. Ing. Tommaso BUSCHIAZZO)

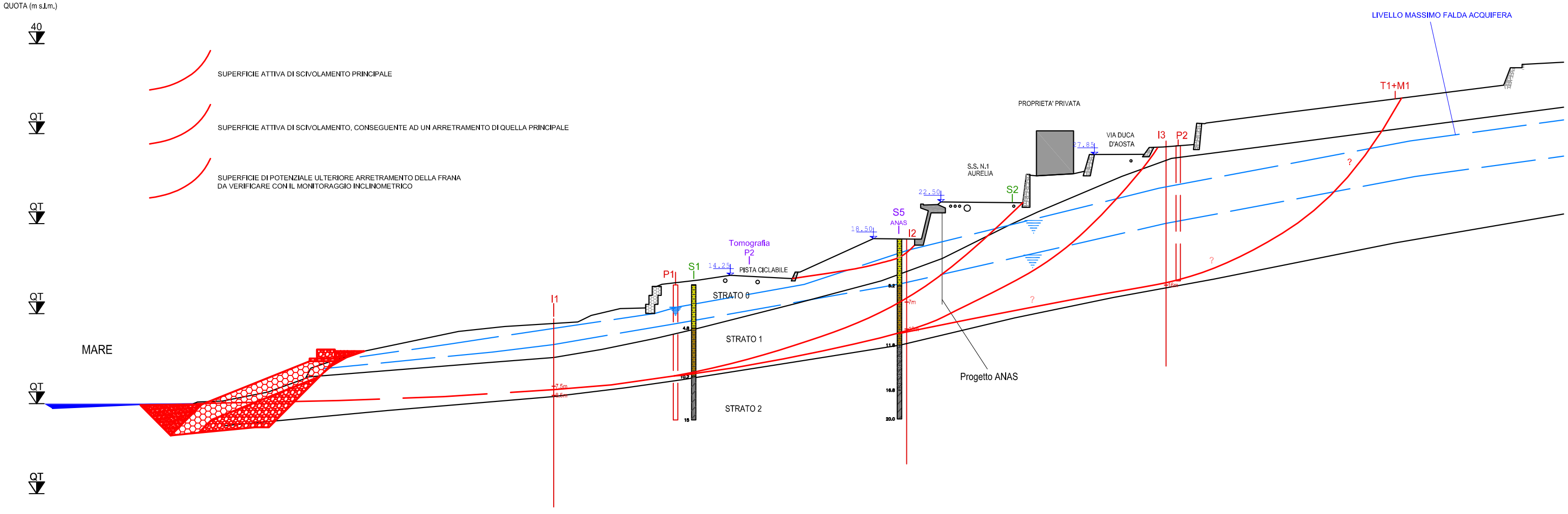
_____

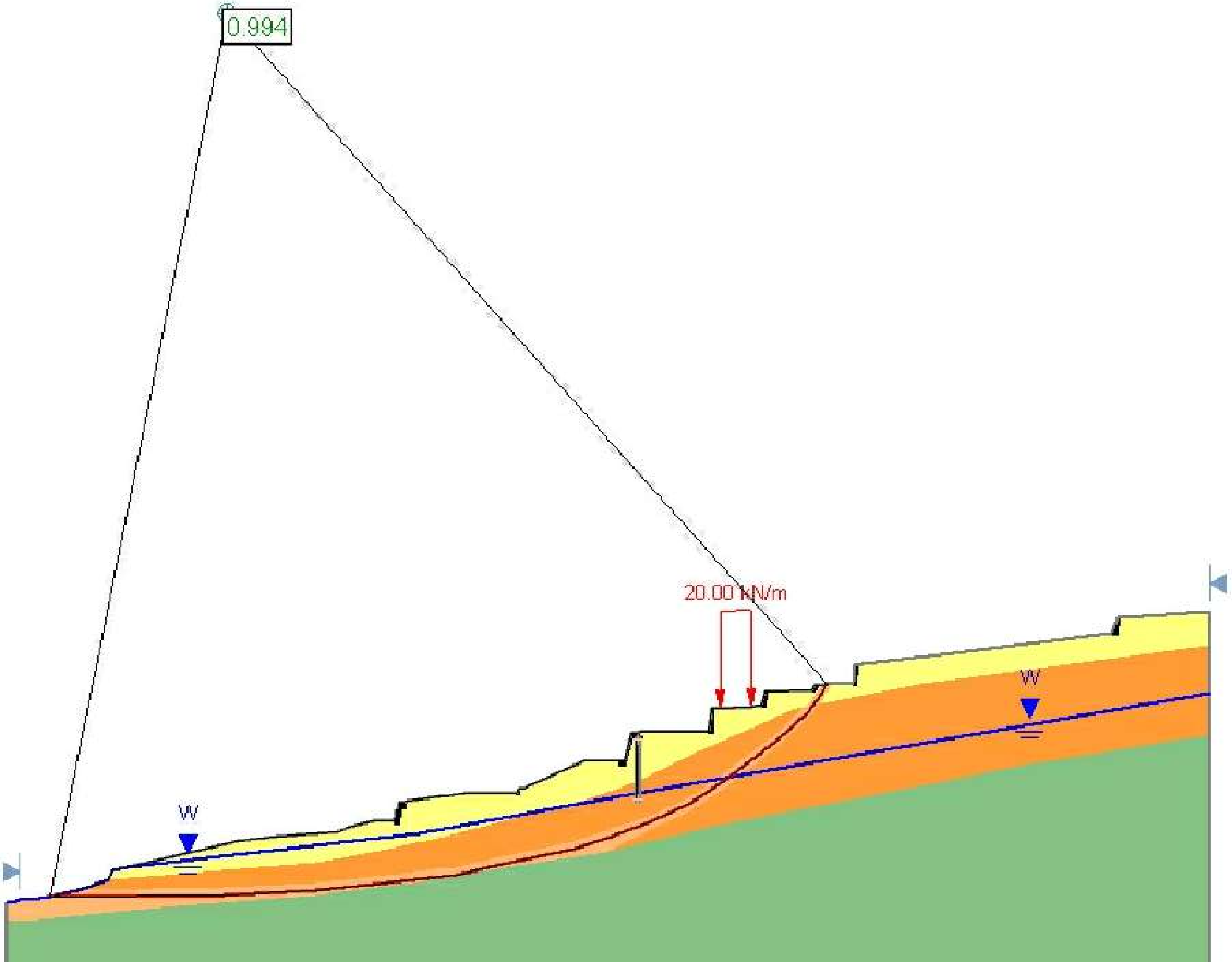
Il geologo

(Dott. Geol. Mauro Enotarpi)

_____

SEZIONE TRASVERSALE DEL VERSANTE (B-B)




0.994
20.00 kN/m
WV
WV

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: sezione_bb_backanalisys_superficie

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

Loading

1 Distributed Load present:
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 20 kN/m

Material Properties

Material: STRATO 0
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m3
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 22 degrees
Water Surface: Water Table

Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 20 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 2
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 30 kPa
Friction Angle: 24 degrees
Water Surface: None

Material: MURO
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 23 kN/m3
Cohesion: 150 kPa
Friction Angle: 60 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1a
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 19.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Support Properties

Support: Support 1
Support 1
Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 0.5 m
Pile Shear Strength: 20 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 0.993767
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=445116 kN-m
Driving Moment=447908 kN-m

Method: spencer
FS: 0.995739
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690

Resisting Moment=445136 kN-m
Driving Moment=447041 kN-m
Resisting Horizontal Force=3507.84 kN
Driving Horizontal Force=3522.85 kN

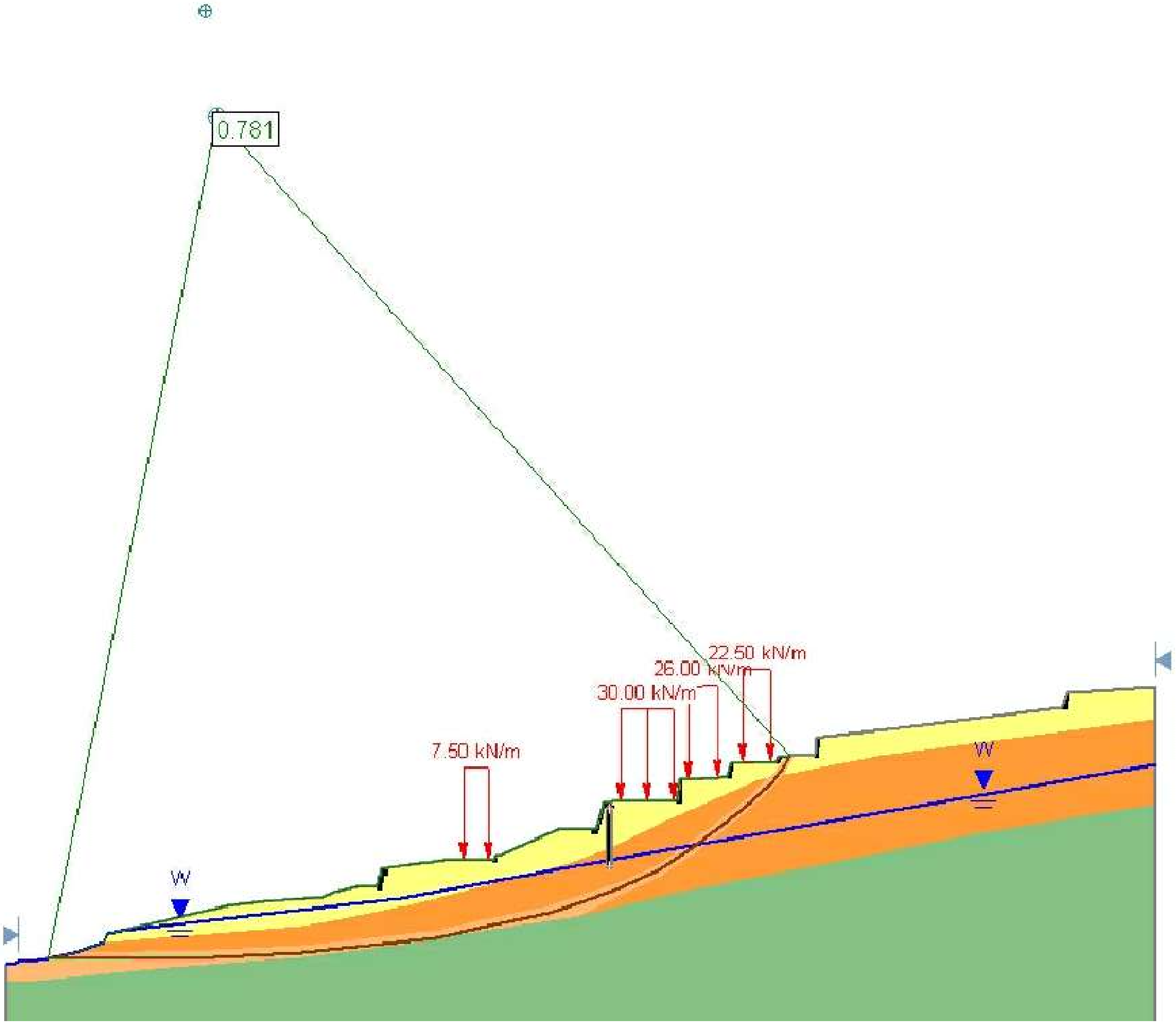
Method: gle/morgenstern-price
FS: 0.988567
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=443527 kN-m
Driving Moment=448657 kN-m
Resisting Horizontal Force=3502.06 kN
Driving Horizontal Force=3542.56 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0


0.781
22.50 kN/m
26.00 kN/m
30.00 kN/m
7.50 kN/m
W
W

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: sezione_bb_stato attuale

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

Loading

4 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 26 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 22.5 kN/m
Distributed Load #3 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 30 kN/m
Distributed Load #4 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 7.5 kN/m

Material Properties

Material: STRATO 0
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m3

Cohesion: 0.8 kPa
Friction Angle: 17.91 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 4 kPa
Friction Angle: 16.23 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 2
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 24 kPa
Friction Angle: 19.61 degrees
Water Surface: None

Material: MURO
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 23 kN/m3
Cohesion: 150 kPa
Friction Angle: 60 degrees
Water Surface: None

Material: STRATO 1a
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 15.82 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Support Properties

Support: Palo d300
Palo d300
Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 1 m
Pile Shear Strength: 172 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 0.781224
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=367522 kN-m
Driving Moment=470445 kN-m

Method: spencer
FS: 0.782557
Axis Location: 24.255, 117.823

Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=367332 kN-m
Driving Moment=469401 kN-m
Resisting Horizontal Force=2886.18 kN
Driving Horizontal Force=3688.15 kN

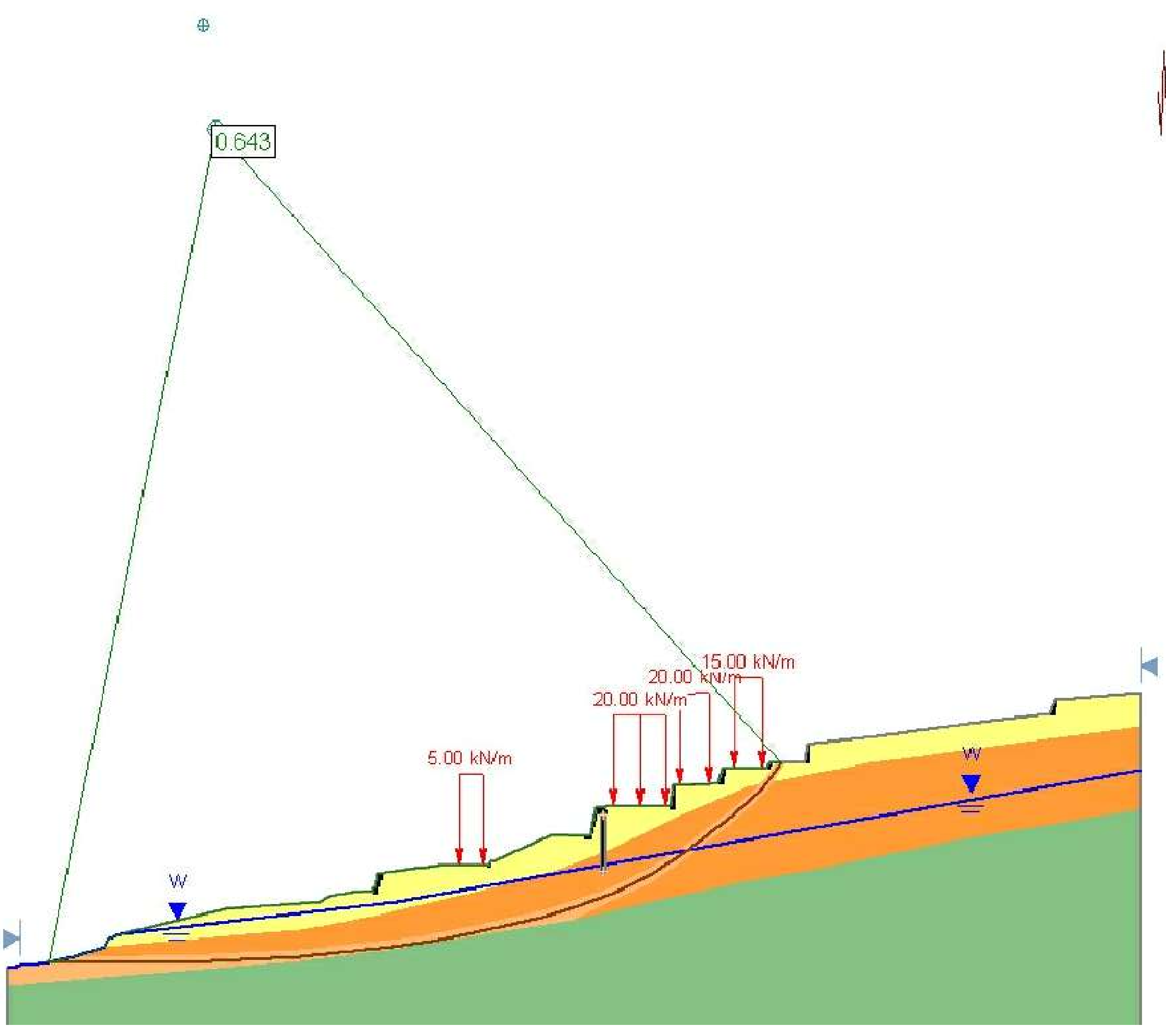
Method: gle/morgenstern-price
FS: 0.776634
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=365890 kN-m
Driving Moment=471122 kN-m
Resisting Horizontal Force=2881.02 kN
Driving Horizontal Force=3709.62 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0


0.152
0.076
0.643
15.00 kN/m
20.00 kN/m
20.00 kN/m
5.00 kN/m
W
W

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: sezione_bb_stato attuale_sismico

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.152
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.076
4 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 15 kN/m
Distributed Load #3 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #4 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 5 kN/m

Material Properties

Material: STRATO 0

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m3
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 22 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 20 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 2
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 30 kPa
Friction Angle: 24 degrees
Water Surface: None

Material: MURO
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 23 kN/m3
Cohesion: 150 kPa
Friction Angle: 60 degrees
Water Surface: None

Material: STRATO 1a
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 19.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Support Properties

Support: Palo d300
Palo d300
Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 1 m
Pile Shear Strength: 172 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 0.642550
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=476208 kN-m
Driving Moment=741122 kN-m

Method: spencer

FS: 0.643470
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=476272 kN-m
Driving Moment=740161 kN-m
Resisting Horizontal Force=3779.97 kN
Driving Horizontal Force=5874.35 kN

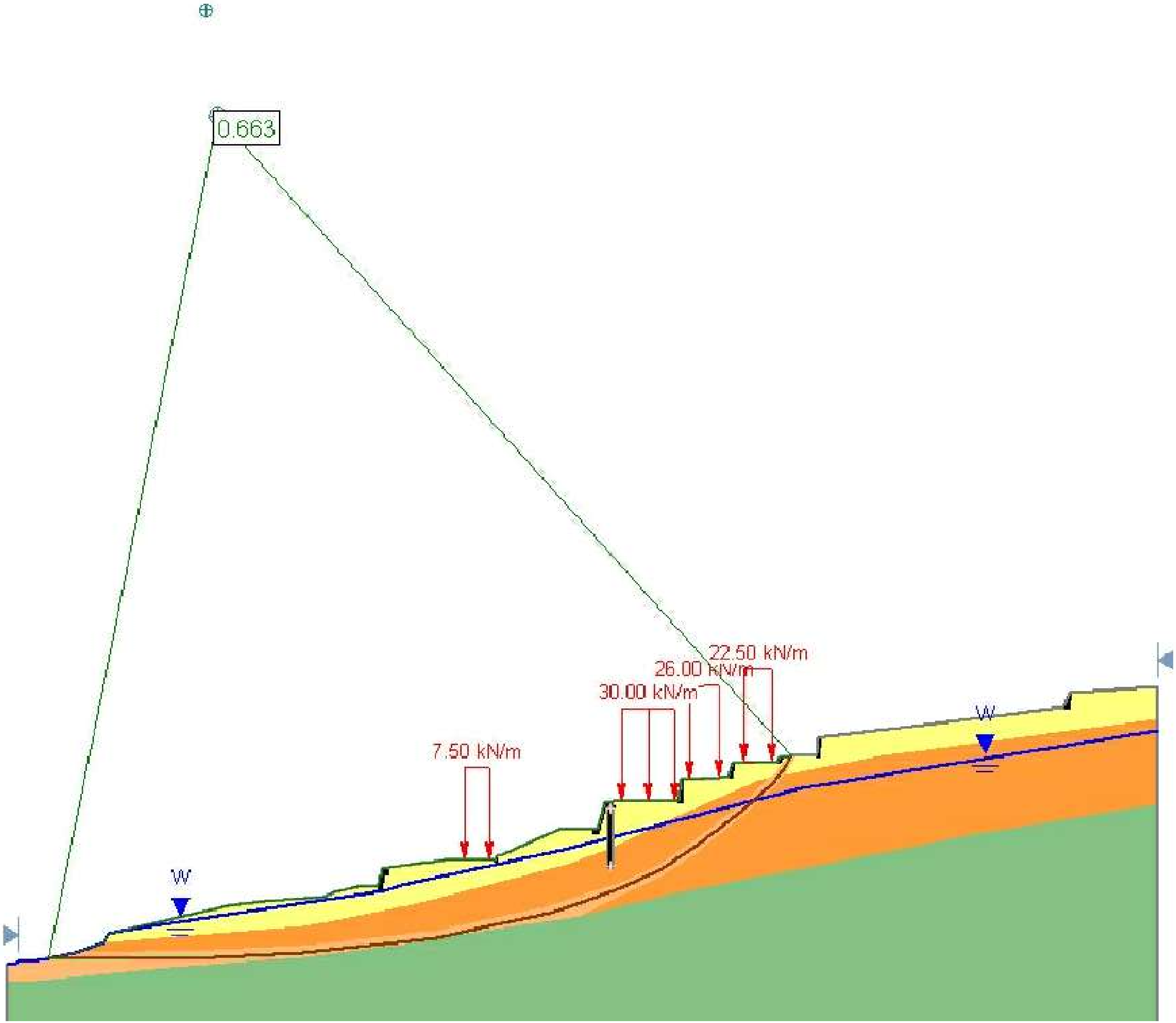
Method: gle/morgenstern-price
FS: 0.641707
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=476697 kN-m
Driving Moment=742859 kN-m
Resisting Horizontal Force=3775.74 kN
Driving Horizontal Force=5883.9 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0


0.663
22.50 kN/m
26.00 kN/m
30.00 kN/m
7.50 kN/m

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: sezione_bb_stato attuale_falda_alta

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

Loading

4 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 26 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 22.5 kN/m
Distributed Load #3 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 30 kN/m
Distributed Load #4 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 7.5 kN/m

Material Properties

Material: STRATO 0
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m3

Cohesion: 0.8 kPa
Friction Angle: 17.91 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 4 kPa
Friction Angle: 16.23 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 2
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 24 kPa
Friction Angle: 19.61 degrees
Water Surface: None

Material: MURO
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 23 kN/m3
Cohesion: 150 kPa
Friction Angle: 60 degrees
Water Surface: None

Material: STRATO 1a
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 15.82 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Support Properties

Support: Palo d300
Palo d300
Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 1 m
Pile Shear Strength: 172 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 0.663022
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=311653 kN-m
Driving Moment=470050 kN-m

Method: spencer
FS: 0.664417
Axis Location: 24.255, 117.823

Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=311851 kN-m
Driving Moment=469360 kN-m
Resisting Horizontal Force=2456.89 kN
Driving Horizontal Force=3697.82 kN

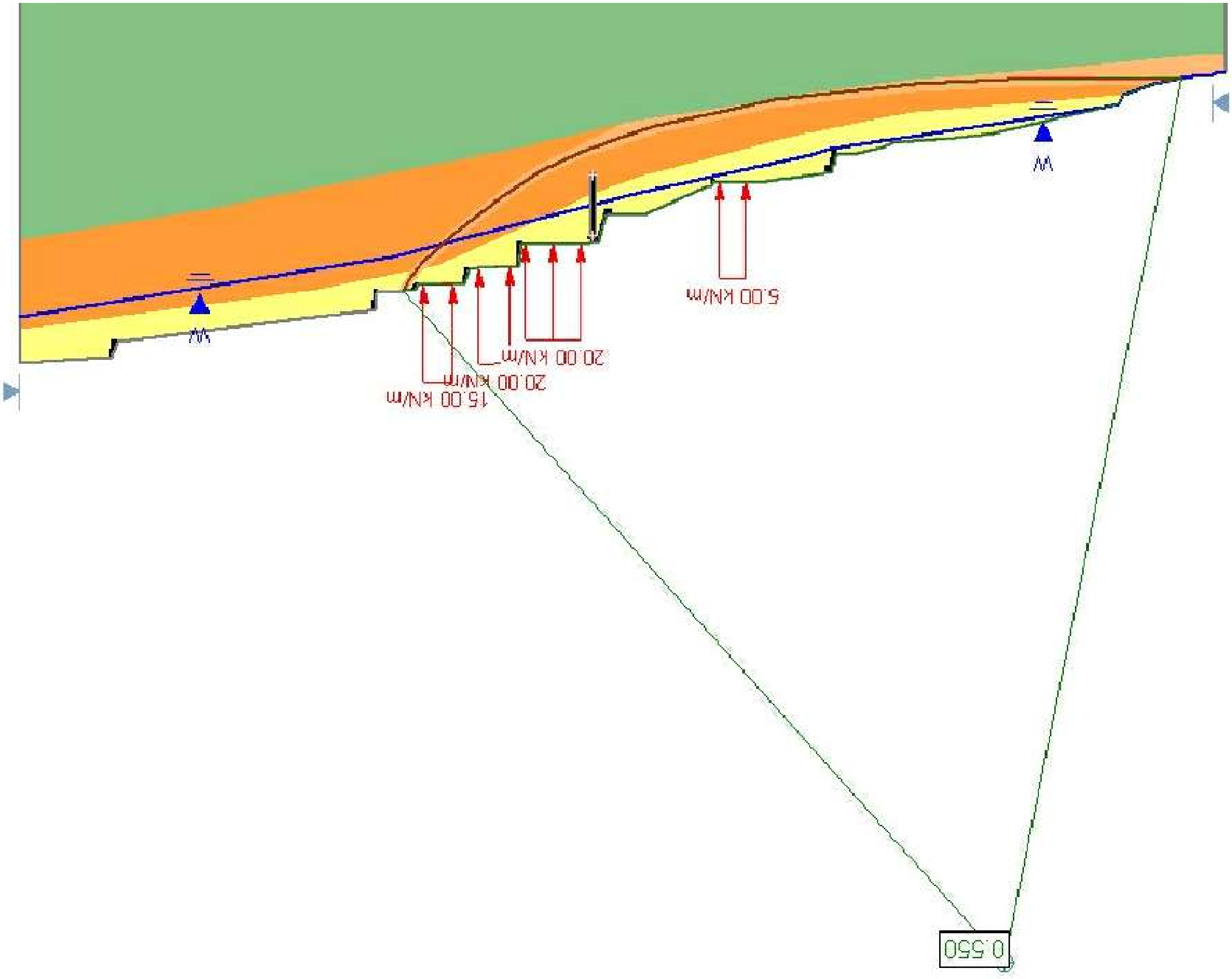
Method: gle/morgenstern-price
FS: 0.660048
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=310924 kN-m
Driving Moment=471064 kN-m
Resisting Horizontal Force=2452.38 kN
Driving Horizontal Force=3715.46 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0


5.00 KN/m
20.00 KN/m
20.00 KN/m
15.00 KN/m
0.550
0.076
0.152

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: sezione_bb_stato attuale_sismico_falda_alta

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.152
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.076
4 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 15 kN/m
Distributed Load #3 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #4 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 5 kN/m

Material Properties

Material: STRATO 0

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m3
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 22 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 20 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 2
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 30 kPa
Friction Angle: 24 degrees
Water Surface: None

Material: MURO
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 23 kN/m3
Cohesion: 150 kPa
Friction Angle: 60 degrees
Water Surface: None

Material: STRATO 1a
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 19.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Support Properties

Support: Palo d300
Palo d300
Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 1 m
Pile Shear Strength: 172 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 0.549692
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=407165 kN-m
Driving Moment=740714 kN-m

Method: spencer

FS: 0.553948
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=410123 kN-m
Driving Moment=740365 kN-m
Resisting Horizontal Force=3260.4 kN
Driving Horizontal Force=5885.76 kN

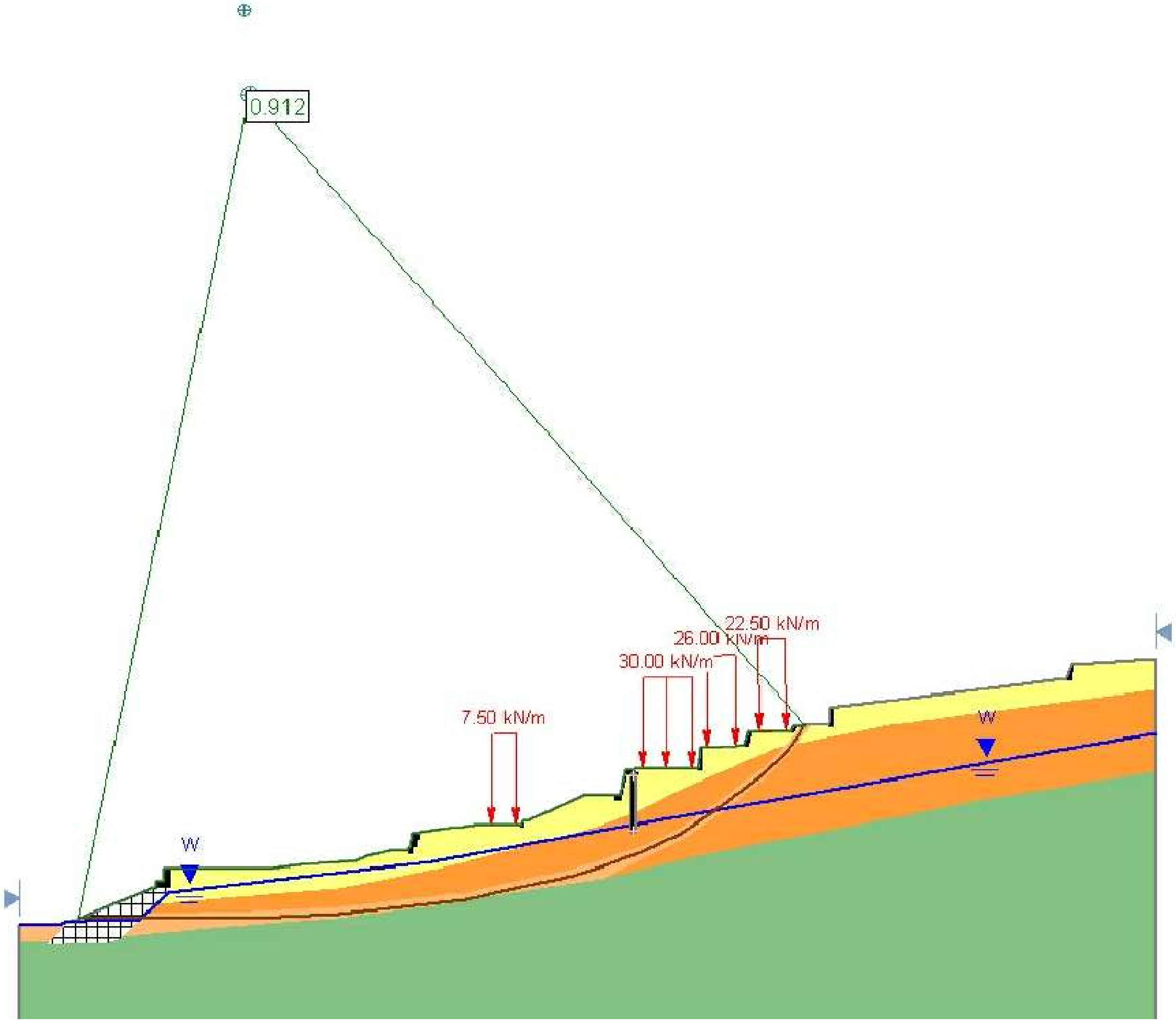
Method: gle/morgenstern-price
FS: 0.547166
Axis Location: 24.255, 117.823
Left Slip Surface Endpoint: 0.790, 0.555
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=406371 kN-m
Driving Moment=742683 kN-m
Resisting Horizontal Force=3244.2 kN
Driving Horizontal Force=5929.1 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0


0.912
22.50 kN/m
26.00 kN/m
30.00 kN/m
7.50 kN/m
W
W

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: sezione_bb_progetto_scogliera_statica

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

Loading

4 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 26 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 22.5 kN/m
Distributed Load #3 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 30 kN/m
Distributed Load #4 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 7.5 kN/m

Material Properties

Material: STRATO 0
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m3

Cohesion: 0.8 kPa
Friction Angle: 17.91 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 4 kPa
Friction Angle: 16.23 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 2
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 24 kPa
Friction Angle: 19.61 degrees
Water Surface: None

Material: MURO
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 23 kN/m3
Cohesion: 150 kPa
Friction Angle: 60 degrees
Water Surface: None

Material: STRATO 1a
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 15.82 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: SCOGLIERA
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38.66 degrees
Water Surface: None

Support Properties

Support: Support 1
Support 1
Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 0.5 m
Pile Shear Strength: 20 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 0.912494
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761

Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=436214 kN-m
Driving Moment=478046 kN-m

Method: spencer
FS: 0.916224
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=438959 kN-m
Driving Moment=479096 kN-m
Resisting Horizontal Force=3429.13 kN
Driving Horizontal Force=3742.68 kN

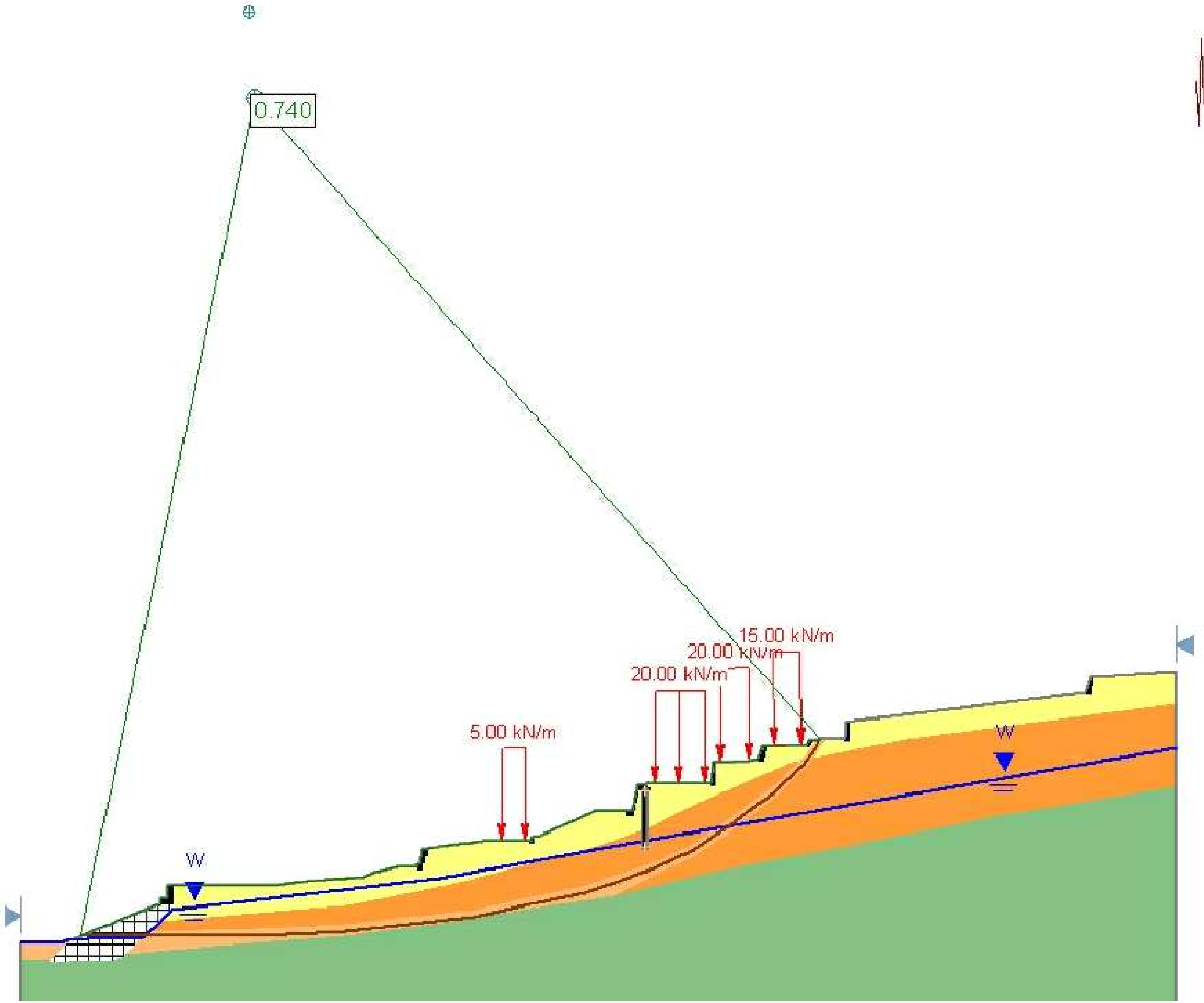
Method: gle/morgenstern-price
FS: 0.910959
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=437846 kN-m
Driving Moment=480643 kN-m
Resisting Horizontal Force=3402.73 kN
Driving Horizontal Force=3735.33 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0


0.740
0.152
0.076
15.00 kN/m
20.00 kN/m
20.00 kN/m
5.00 kN/m
W
W

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: sezione_bb_progetto_scogliera_sismica

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.152
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.076
4 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 15 kN/m
Distributed Load #3 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #4 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 5 kN/m

Material Properties

Material: STRATO 0

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m3
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 22 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 20 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 2
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 30 kPa
Friction Angle: 24 degrees
Water Surface: None

Material: MURO
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 23 kN/m3
Cohesion: 150 kPa
Friction Angle: 60 degrees
Water Surface: None

Material: STRATO 1a
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 19.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: SCOGLIERA
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 45 degrees
Water Surface: None

Support Properties

Support: Support 1
Support 1
Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 0.5 m
Pile Shear Strength: 20 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 0.740118

Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=569257 kN-m
Driving Moment=769143 kN-m

Method: spencer
FS: 0.762121
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=589870 kN-m
Driving Moment=773984 kN-m
Resisting Horizontal Force=4621.05 kN
Driving Horizontal Force=6063.4 kN

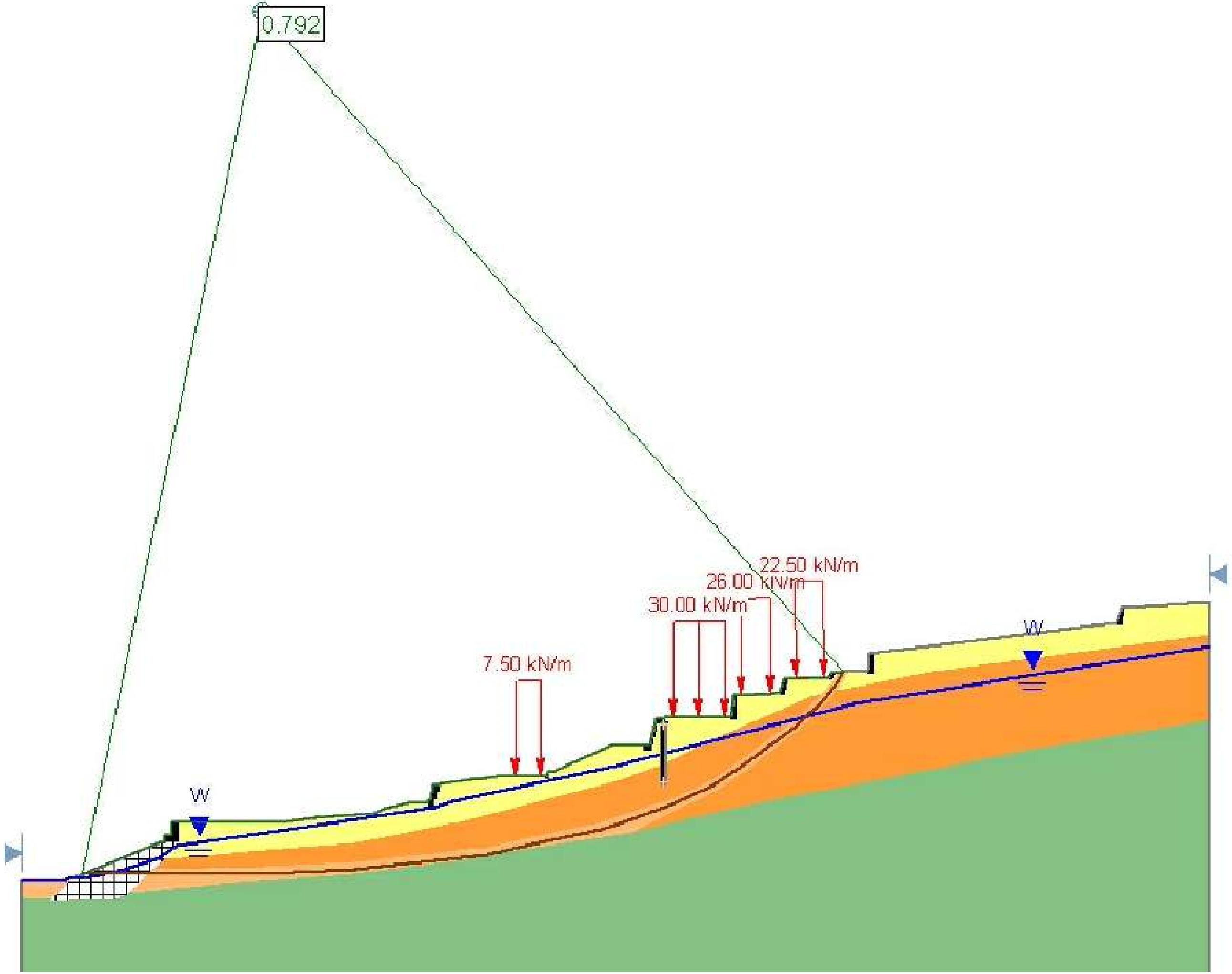
Method: gle/morgenstern-price
FS: 0.742801
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=575402 kN-m
Driving Moment=774639 kN-m
Resisting Horizontal Force=4503.51 kN
Driving Horizontal Force=6062.88 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0


0.792
22.50 kN/m
26.00 kN/m
30.00 kN/m
7.50 kN/m
VV
VV

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: sezione_bb_progetto_scogliera_statica_falda_alta

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

Loading

4 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 26 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 22.5 kN/m
Distributed Load #3 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 30 kN/m
Distributed Load #4 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 7.5 kN/m

Material Properties

Material: STRATO 0
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m3

Cohesion: 0.8 kPa
Friction Angle: 17.91 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 4 kPa
Friction Angle: 16.23 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 2
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 24 kPa
Friction Angle: 19.61 degrees
Water Surface: None

Material: MURO
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 23 kN/m3
Cohesion: 150 kPa
Friction Angle: 60 degrees
Water Surface: None

Material: STRATO 1a
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 15.82 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: SCOGLIERA
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38.66 degrees
Water Surface: None

Support Properties

Support: Support 1
Support 1
Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 0.5 m
Pile Shear Strength: 20 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 0.792050
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761

Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=378333 kN-m
Driving Moment=477664 kN-m

Method: spencer
FS: 0.799078
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=382969 kN-m
Driving Moment=479264 kN-m
Resisting Horizontal Force=3000.11 kN
Driving Horizontal Force=3754.46 kN

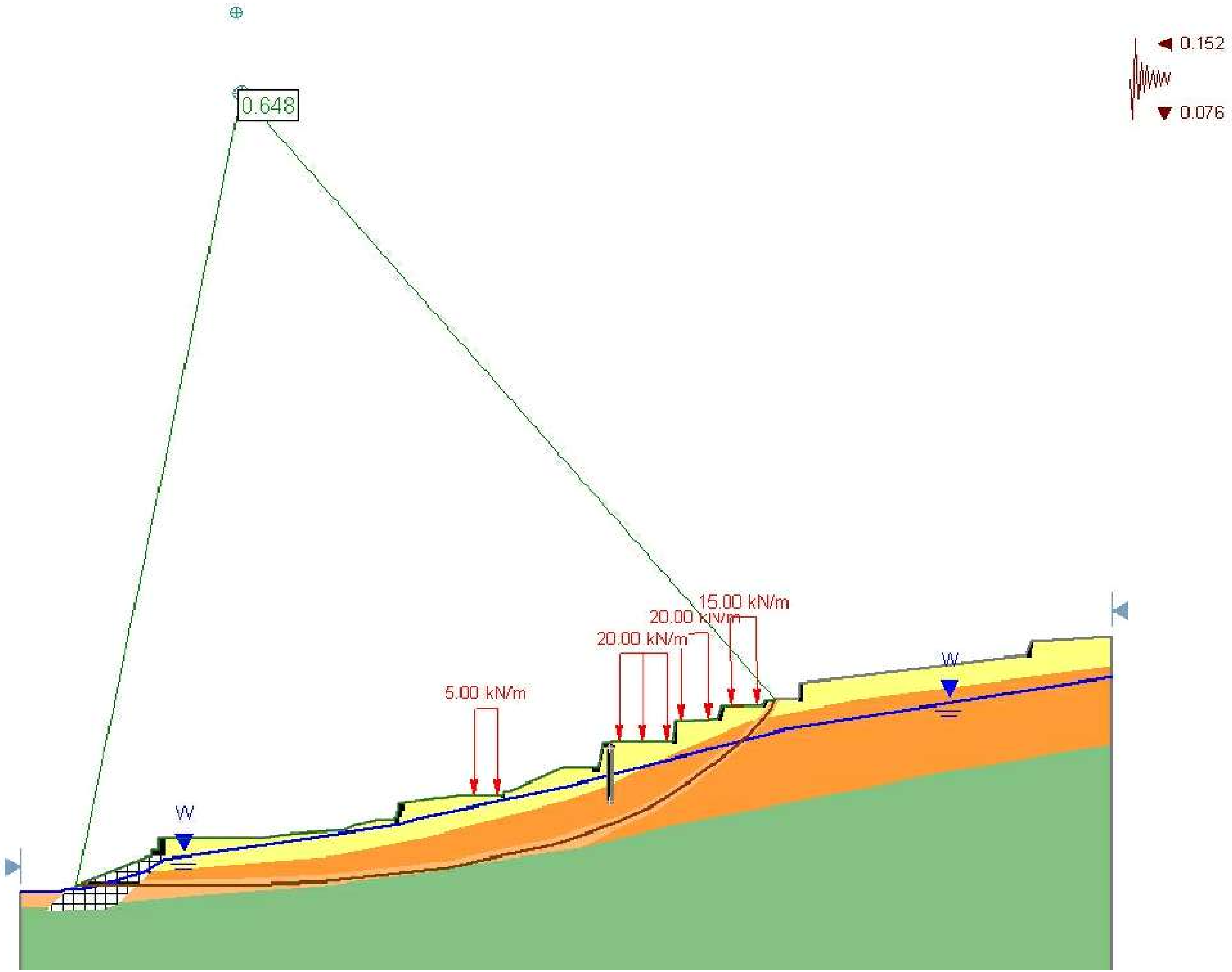
Method: gle/morgenstern-price
FS: 0.791486
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=380459 kN-m
Driving Moment=480689 kN-m
Resisting Horizontal Force=2967.59 kN
Driving Horizontal Force=3749.39 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0


0.152
0.076
0.648
15.00 kN/m
20.00 kN/m
20.00 kN/m
5.00 kN/m
W
W

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: sezione_bb_progetto_scogliera_sismica_falda_alta

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.152
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.076
4 Distributed Loads present:
Distributed Load #1 Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #2 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 15 kN/m
Distributed Load #3 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 20 kN/m
Distributed Load #4 Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 5 kN/m

Material Properties

Material: STRATO 0

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m3
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 22 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 1
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 20 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: STRATO 2
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 30 kPa
Friction Angle: 24 degrees
Water Surface: None

Material: MURO
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 23 kN/m3
Cohesion: 150 kPa
Friction Angle: 60 degrees
Water Surface: None

Material: STRATO 1a
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 19.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: SCOGLIERA
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 22 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 45 degrees
Water Surface: None

Support Properties

Support: Support 1
Support 1
Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 0.5 m
Pile Shear Strength: 20 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 0.648415

Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=498428 kN-m
Driving Moment=768686 kN-m

Method: spencer
FS: 0.678505
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=525918 kN-m
Driving Moment=775112 kN-m
Resisting Horizontal Force=4126.6 kN
Driving Horizontal Force=6081.9 kN

Method: gle/morgenstern-price
FS: 0.652565
Axis Location: 23.338, 120.171
Left Slip Surface Endpoint: -1.456, 0.761
Right Slip Surface Endpoint: 103.990, 28.690
Resisting Moment=505678 kN-m
Driving Moment=774907 kN-m
Resisting Horizontal Force=3974.86 kN
Driving Horizontal Force=6091.13 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 1
Number of Invalid Surfaces: 0