



Comune di Gavorrano

Provincia di Grosseto



CAVA "POGGIO GIROTONDO"



STUDIO GEOMECCANICO

Analisi di stabilità delle fronti di scavo

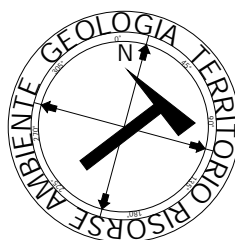
GEOLOGO INCARICATO:

Dott. Gloria Berretti



CAVA NUOVA BARTOLINA S.r.l.

Dicembre 2022



Studio Geologico Dott. Gloria Berretti
P.IVA 01452360538; C.F. BRRGLR79E43E202I
Via Marco Polo 17, 58023 GRILLI (GR)
Cell. 3396779392
e-mail: geol.berretti@gmail.com



INDICE

1.	PREMESSA	2
1.1	INDAGINI SVOLTE	4
2.	RILIEVI GEOSTRUTTURALI E GEOMECCANICI	4
2.1	RILEVAMENTO GEOSTRUTTURALE	4
2.2	CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO	7
2.2.1	CLASSIFICAZIONE DI BENIAWSKY	7
2.2.2	CLASSIFICAZIONE DI ROMANA	13
3.	VERIFICHE DI STABILITÀ	16
3.1	TEST DI MARKLAND	16
3.2	COLLASSO DELL'INTERO AMMASSO ROCCIOSO	21
4.	CONCLUSIONI	23
5.	BIBLIOGRAFIA	25

ALLEGATI CARTOGRAFICI

- Carta Strutturale (Scala 1:1.000)
- Sezioni di verifica n.8, n.10, n.14 e n.17 (Scala 1:2000)



1. PREMESSA

Il presente elaborato riferisce le risultanze dello studio finalizzato alla caratterizzazione del materiale di scavo dal punto di vista geotecnico con analisi di stabilità dei fronti di cava ante e post operam.

Le proprietà fisiche che controllano le caratteristiche di deformabilità della matrice rocciosa (composizione mineralogica, densità, struttura e tessitura, porosità, permeabilità, alterabilità, durezza, ecc.) sono il risultato della genesi, delle condizioni e dei processi geologici e tettonici subiti dalla roccia durante la propria storia.

Nel comportamento meccanico degli ammassi rocciosi influiscono inoltre le caratteristiche geologiche quali litologia e stratigrafia, struttura geologica, discontinuità tettoniche o diagenetiche, stati tensionali ecc.

Allo stesso modo la risposta meccanica è anche funzione di altri fattori come le condizioni idrogeologiche e le condizioni ambientali, il clima ed i fenomeni meteorologici, che agiscono sul mezzo geologico e che danno luogo a processi di alterazione ed erosione, modificando le proprietà iniziali delle rocce e degli ammassi rocciosi.

Lo stato e il comportamento meccanico degli ammassi rocciosi sono il risultato della combinazione di tutti questi fattori, con diverso grado di importanza a seconda della situazione.

Infatti, in superficie, saranno le discontinuità ed i processi di alterazione meteorologica a giocare un ruolo fondamentale nel comportamento meccanico degli ammassi.

Lo studio della struttura geologica e delle discontinuità sono un aspetto fondamentale della meccanica delle rocce; i piani di debolezza preesistenti controllano i processi di deformazione e rottura negli ammassi a livello superficiale.

La maggiore o minore influenza dei blocchi di matrice rocciosa nel comportamento generale dell'ammasso roccioso dipenderà dalle proprietà relative di entrambi i componenti, dal numero, dalla natura e dalle caratteristiche delle discontinuità.

In ammassi rocciosi formati da blocchi di rocce dure come quelli presenti nella cava di "Poggio Girotondo" con proprietà di resistenza elevate, saranno le discontinuità che controlleranno i processi di rottura e di deformazione.

Per quanto detto sopra, i rilevamenti geostrutturali e geomeccanici eseguiti (secondo quanto prescritto dalle norme ISRM, 1978) all'interno della cava "Poggio Girotondo" hanno avuto come obiettivo la caratterizzazione dell'ammasso roccioso, la cartografia delle fratture principali e la

verifica della stabilità delle fronti eseguite secondo quanto prescritto dal Decreto Ministeriale 14/01/2018 “Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni”.

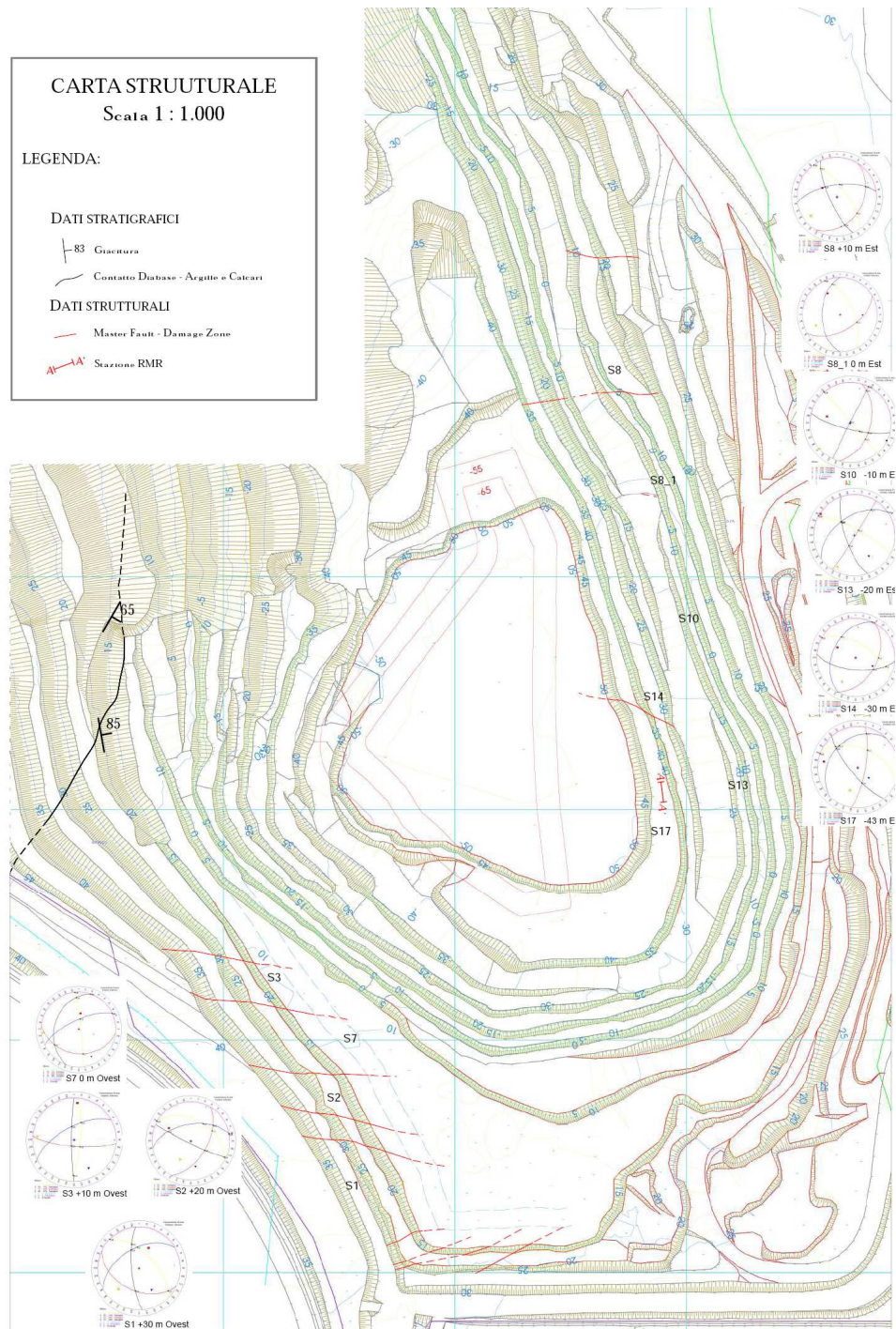


Fig.1_ Stralcio della “Carta Strutturale”. Stazioni per la misurazione morfometrica delle discontinuità.



1.1 INDAGINI SVOLTE

I rilevamenti geostruturali per la definizione delle instabilità dei fronti sono stati eseguiti lungo il versante est, ovest e sud (come visualizzato nella figura 1 precedente), partendo dal fondo scavo e procedendo lungo il perimetro di cava.

Gli stendimenti eseguiti sono stati tutti di lunghezze superiori ai 20 m e si sono svolti parallelamente allo sviluppo dei fronti per un totale di n°17 stazioni di misura per il rilevamento delle fratture.

All'interno di queste diciassette stazioni sono stati predisposti due ulteriori stendimenti RMR per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

I dati acquisiti sono riferiti a piani di discontinuità individuati all'interno della roccia; la buona esposizione dei fronti, ha permesso una completa descrizione e relativa cartografia delle zone di fratturazione, all'interno delle quali sono stati riconosciuti domini a diversa deformazione, principalmente riconducibili ad una damage zone estesa ma anche a qualche rara core.

Per ogni superficie di discontinuità è stata misurata la giacitura (direzione dell'immersione, inclinazione) e gli eventuali indicatori cinematici eventualmente rappresentati da scalini su roccia e da fibre di ricristallizzazione.

Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso e per la definizione dei parametri di resistenza si sono rilevati i parametri morfometrici delle discontinuità secondo quanto raccomandato da ISRM, 1978 e sono state scelte le stazioni RMR di lunghezza pari a 20 m.

Per l'analisi cinematica e numerica all'equilibrio limite delle instabilità più ricorrenti sono stati utilizzati il Test di Markland limitato al settore S1, S2, S3 e S7 e metodi numerici ipotizzando collassi gravitativi di roccia con movimento rotazionale.

2. RILIEVI GEOSTRUTTURALI E GEOMECCANICI

2.1 RILEVAMENTO GEOSTRUTTURALE

Nell'area della cava "Poggio Girotondo" sono stati rilevati una serie di joint principali riconducibili sostanzialmente a quattro sistemi.

I rilievi hanno permesso di ricostruire le ciclografiche delle principali famiglie di fratturazione.



Fig.2a_ Ciclografiche cumulative delle varie famiglie misurate (S1).

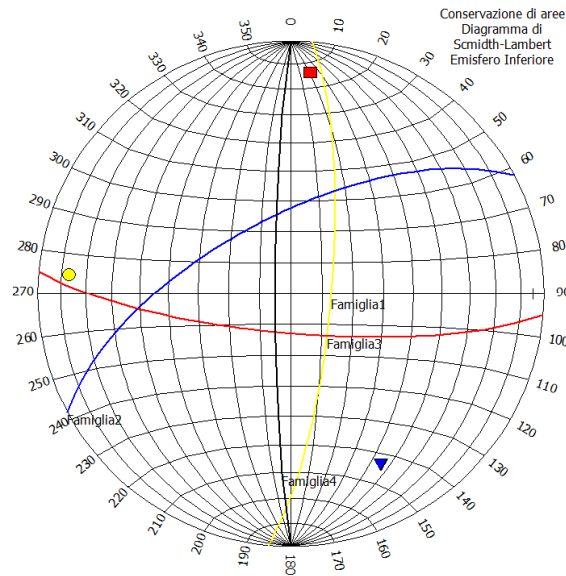


Fig.2b_ Ciclografiche cumulative delle varie famiglie misurate (S2).

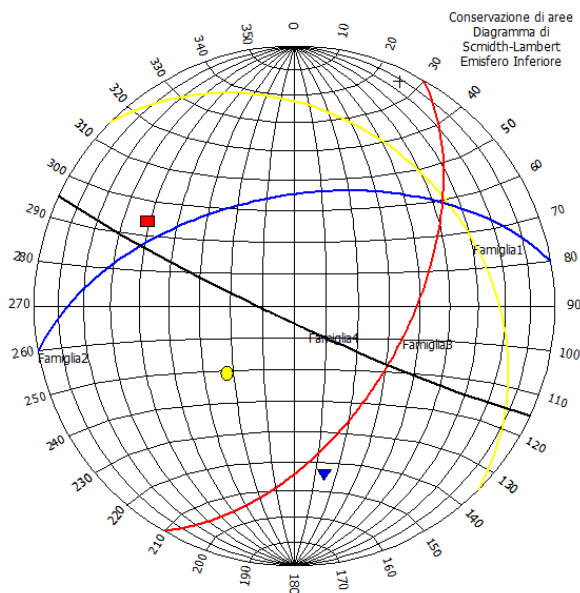




Fig.2c_ Ciclografiche cumulative delle varie famiglie misurate (S3).

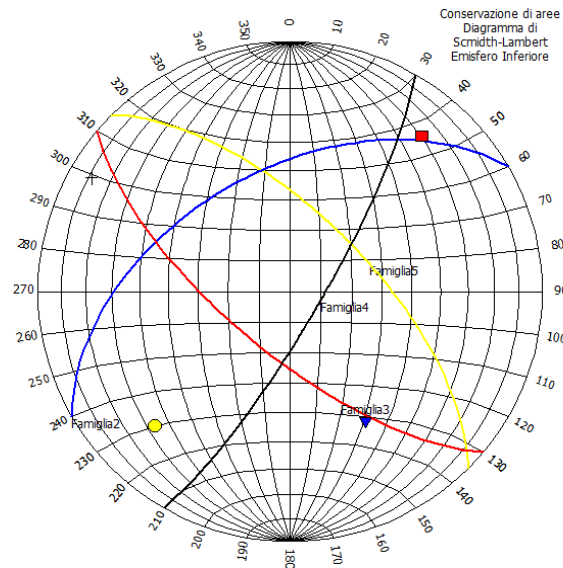
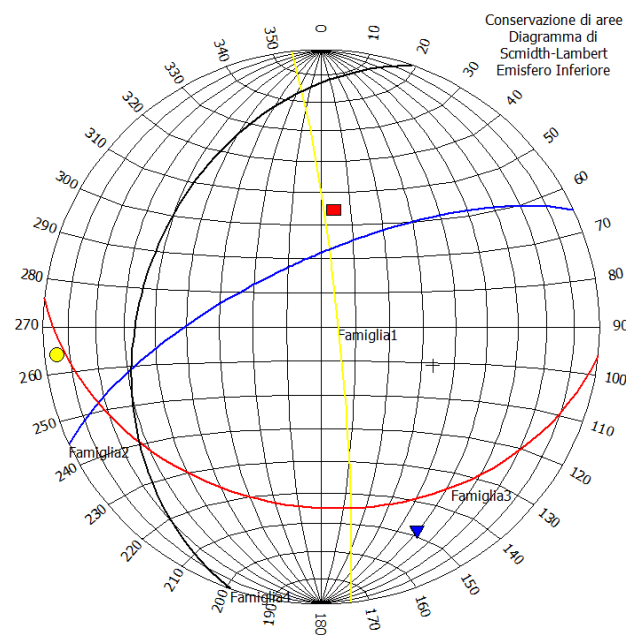


Fig.2d_ Ciclografiche cumulative delle varie famiglie misurate (S7).





2.2 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, nonché la definizione delle sue peculiarità di resistenza e deformabilità, è stata conseguita attraverso misurazioni morfometriche di dettaglio, sulla matrice rocciosa e sulle varie discontinuità incontrate all'interno delle stazioni RMR.

I vari metodi di classificazione utilizzano diversi parametri di input da immettere nelle equazioni ma, tutti, forniscono uno schema attraverso il quale, empiricamente, risolvere i problemi dovuti alla complessità del mezzo roccioso.

Nel nostro caso si è scelto di utilizzare la classificazione di Bieniawsky; confrontandola con altre classificazioni per assicurarsi che i valori geomeccanici dell'ammasso roccioso fossero rappresentativi.

La classificazione di Romana invece è stata utilizzata in quanto utile per una valutazione di massima delle condizioni di stabilità delle pareti rocciose

I risultati ottenuti nelle due stazioni RMR sono stati riassunti di seguito.

2.2.1 CLASSIFICAZIONE DI BENIAWSKY

Questa classificazione è stata sviluppata da Bieniawski nel 1923, aggiornata nel 1979 e 1989, costituisce un sistema di classificazione degli ammassi rocciosi che consente di correlare gli indici di qualità con parametri geotecnici dell'ammasso.

La classificazione tiene conto dei seguenti parametri geomeccanici:

- resistenza monoassiale della matrice rocciosa;
- grado di fratturazione in termini di RQD;
- spaziatura delle discontinuità;
- condizioni idrogeologiche.

L'incidenza di questi parametri nel comportamento geotecnico di un ammasso si esprime per mezzo dell'**indice di qualità RMR**, *rock mass rating*, che varia tra 0 e 100.

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = \text{RMRb} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$



$$\text{RMR corretto} = \text{RMRc} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

dove:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità.

A1:

A1 si può ricavare sia da prove di laboratorio (Point Load Test), sia da prove di campagna mediante sclerometro o da prove speditive (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione uniassiale Su.

Il valore di Su può essere stimata osservando la risposta della roccia alla sua percussione con il martello da geologo.

Dalla risposta della roccia si possono ricavare i seguenti valori:

La roccia si incide con l'unghia o si sbriciola con le mani	0,25 – 1 MPa
Si sbriciola sotto i colpi della punta, lastre sottili si rompono con facilità con le mani	1 – 5 MPa
La punta lascia deboli buchi, lastre sottili si rompono con forti pressioni delle mani	5 – 25 MPa
La roccia si frattura con un colpo	25 – 50 MPa
Si frattura dopo due-tre colpi	50 – 100 MPa
Si frattura solo dopo molti colpi	100 – 200 MPa
Si scheggia solamente	> 200 MPa

Definita la resistenza a compressione Su è possibile ricavare il valore del primo parametro A1 attraverso la tabella proposta da Beniawsky nell'ultima versione del sistema (1989):

Su (MPa)	> 200	100 - 200	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficiente A1	15	12	7	4	2	1	0



Nel nostro caso avremo:

Stazione	Resistenza a compressione Su (MPa)	A1
RMR quota - 43m settore est	100 - 200	12
RMR quota +20m settore ovest	100 - 200	7

A2:

L'RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100 e(0,1 n) (0,1 n + 1)$$

con n numero medio di giunti per metro.

Nel nostro caso avremo:

Stazione	Rock Quality Designation (RQD)
RMR quota - 43m settore est	39.10
RMR quota +20m settore ovest	22.60

Calcolato RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente A2 mediante le equazioni, che derivano sempre dai grafici di Beniauskis:

VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
< 26,5	$A2 = \frac{3}{26,6} RQD + 3$
26,5 ÷ 39	$A2 = \frac{2}{12,4} RQD + 1,71$
39 ÷ 76,6	$A2 = \frac{7}{37,6} RQD + 0,739$
> 76,6	$A2 = \frac{5}{23,4} RQD - 1,367$

Nel nostro caso avremo:

Stazione	A2
RMR quota - 43m settore est	8.01825532
RMR quota +20m settore ovest	5.54887218

**A3:**

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante le seguenti relazioni:

SPAZIATURA (m)	EQUAZIONE
< 0,2	$A3 = 15s + 5$
0,2 ÷ 0,4	$A3 = 10s + 6$
0,4 ÷ 0,66	$A3 = 7,752s + 5,9$
0,66 ÷ 0,94	$A3 = 7,067s + 7,35$
0,94 ÷ 1,6	$A3 = 6,07s + 8,288$
1,6 ÷ 2,0	$A3 = 5s + 10$
> 2,0	$A3 = 20$

Nel nostro caso avremo:

Stazione	A3
RMR quota - 43m settore est	12.2969
RMR quota +20m settore ovest	9.776

A4:

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniauwsky il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo.

Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

$$A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

I valori da assegnare sono:

Persistenza del giunto:

PERSISTENZA (m)	V1
< 1	6
1 ÷ 3	4
3 ÷ 10	2
10 ÷ 20	1
> 20	0

**Apertura del giunto:**

APERTURA (mm)	V2
Completamente chiuso	6
< 0,1	5
0,1 ÷ 1	4
1 ÷ 5	1
> 5	0

Rugosità del giunto:

RUGOSITA'	V3
Molto Rugosa	6
Rugosa	5
Leggermente rugosa	3
Liscia	1
Levigata	0

Alterazione delle pareti:

ALTERAZIONE	V4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0

Riempimento delle discontinuità:

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	V5
-	Assente	6
< 5	Compatto	4
> 5	Compatto	2
< 5	Soffice	2
> 5	Soffice	0

Nel nostro caso avremo:

Stazione	V1	V2	V3	V4	V5
RMR quota - 43m settore est	0	4	3	3	2
RMR quota +20m settore ovest	0	4	3	3	2



Stazione	A4
RMR quota - 43m settore est	12
RMR quota +20m settore ovest	12

A5:

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Beniawsky si ottiene:

Venute d'acqua su 10 m di lunghezza	Nessuna	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min
Condizione	Asciutta	Umida	Bagnata	Deboli venute	Forti venute
Coefficiente A5	15	10	7	4	0

Nel nostro caso avremo:

Stazione	A5
RMR quota - 43m settore est	4
RMR quota +20m settore ovest	4

A6:

Per quanto riguarda la stabilità dei versanti il coefficiente A6 proposto da Beniawsky risulta troppo "conservativo" e pertanto nel calcolo di RMR si utilizza la metodologia proposta da Romana.

ROCK MASS RATING

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMRc calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

RMRc	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<= 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore di RMRb si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Beniawsky assumono il valore:

$$\text{coesione di picco } c_p \text{ (kPa)} = 5 \text{ RMRb}$$

$$\text{angolo di attrito di picco } \phi_p = 0,5 \text{ RMRb} + 5$$



$$\text{modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} = 2 \text{ RMRb} - 100$$

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di RMRb modificato secondo la:

$$\text{RMRb} = \text{RMRb}(\text{originario}) - [0,2 * \text{RMRb}(\text{originario})] \text{ (Priest, 1983)}$$

La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E \text{ (GPa)} = 10(\text{RMRb} - 10 / 40)$$

Il valore di GSI (Geological Strength Index) viene ricavato dalla:

$$\text{GSI} = \text{RMR} - 5$$

dove RMR viene calcolato tenendo conto dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri e assumendo condizioni idrauliche asciutte ($A_5 = 15$). Tale relazione è da ritenersi valida per $\text{RMR} > 23$.

Pertanto, nel nostro caso avremo:

Classificazione dell'ammasso roccioso

Stazione	RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
RMR quota - 43m settore est	48.32	41.38	Terza	Mediocre
RMR quota +20m settore ovest	38.32	31.32	Quarta	Scadente

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Stazione	Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
RMR quota - 43m settore est	9.08	54.32	241.60	29.16	193.28	24.33
RMR quota +20m settore ovest	5.11	44.32	191.60	24.16	153.28	20.33

2.2.2 CLASSIFICAZIONE DI ROMANA

La classificazione di Romana rappresenta una variante di quella di Bieniawski del 1979. Viene utilizzata per la valutazione di massima delle condizioni di stabilità delle pareti rocciosi. L'indice S.M.R. (Slope Mass Rating) è fornito dalla seguente relazione:



$$SMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Gli indici A1-A5 già valutati nei paragrafi precedenti, sono quelli relativi alla classificazione di Bieniawski e tengono conto dei seguenti fattori:

A1 – Resistenza roccia intatta;

A2 – RQD %;

A3 – Spaziatura giunti;

A4 – Condizione giunti;

A5 – Condizioni idrauliche.

La somma dei 5 indici parziali fornisce il Basic RMR (BRMR). L'indice SMR di Romana si ottiene quindi con la relazione:

$$SMR = BRMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Le grandezze F1, F2, F3 sono collegate all'orientamento nello spazio del giunto meccanico più sfavorevole e del fronte della scarpata.

F1 è fornito dalla relazione:

$$F1 = [1 - \sin(\alpha_j - \alpha_f)]$$

dove α_j e α_f sono rispettivamente l'immersione del giunto più sfavorevole e quella del fronte della scarpata.

F2 si ricava dalla formula:

$$F2 = \tan^2 \beta_j$$

in cui β_j è l'inclinazione del giunto più sfavorevole.

Nel caso risulti $F2 > 1$ si deve porre $F2 = 1$.

F3 è una correzione da apportare al BRMR in funzione della differenza fra gli angoli di inclinazione del giunto più sfavorevole e del versante ($\beta_j - \beta_f$).

In pratica coincide con la correzione proposta da Bieniawski (1976).

Orientamento dei giunti ($\beta_j - \beta_f$)	Molto favorevole > 10°	Favorevole 10° - 0°	Discreto 0°	Sfavorevole 0° - (-10°)	Molto sfavorevole < -10°
Fattore F3	0	- 5	- 7	- 50	- 60



Il fattore F4 rappresenta una correzione da applicare in funzione delle modalità di scavo. Si ricava dalla seguente tabella:

Modalità di scavo	Scarpata naturale	Pesplitting	Smooth blasting	Esplosivo e meccanico	Deficient blasting
Fattore F4	15	10	8	0	- 8

Applicando alla BRMR le correzioni F1,F2,F3 e F4 si ottiene l'indice SMR, correlato alla qualità dell'ammasso roccioso e alle sue caratteristiche di stabilità.

Calcolato il valore di SMR, si possono avere indicazioni generali, fornite da Romana, sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematisimo di rottura che si può instaurare e su quanto possano pesare eventuali interventi di stabilizzazione:

SMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Molto buona	Buona	Mediocre	Scadente	Molto scadente
STABILITA'	Sicuramente stabile	Stabile	Parzialmente stabile	Instabile	Sicuramente instabile
MODO DI ROTTURA	Assente	Possibili blocchi	Lungo piani o per cunei	Lungo piani o su grandi cunei	Su grandi piani o rototraslazionali
STABILIZZAZIONE	Nessuna	Occasionale	Sistematica	Estesa	Riprofilare la scarpata

Pertanto nel nostro caso avremo:

Classificazione corretta dell'ammasso roccioso

Stazione	SMR	Classe	Descrizione
RMR quota - 43m settore est	44.07	Terza	Mediocre
RMR quota +20m settore ovest	34.07	Quarta	Scadente

Grado di stabilità, tipo di cinematisimo di rottura, eventuali interventi di stabilizzazione

Stazione	Stabilità	Modo di rottura	Stabilizzazione
RMR quota - 43m settore est	Parzialmente Stabile	Lungo piani o per cunei	Sistematica
RMR quota +20m settore ovest	Instabile	Lungo piani o su grandi cunei	Estesa



3. VERIFICHE DI STABILITÀ

3.1 TEST DI MARKLAND

Lo scopo del test di Markland è quello di quantificare la possibilità della rottura di un cuneo di roccia nel quale lo scorrimento avviene lungo la linea di intersezione di due discontinuità planari.

Il fattore di sicurezza del pendio dipende dalla inclinazione della linea di intersezione, dalla resistenza a taglio della superficie della discontinuità e dalla geometria del cuneo. Il caso limite si verifica quando il cuneo degenera in un piano, cioè i due piani hanno inclinazione ed immersione coincidenti e quando la resistenza a taglio di questo piano è dovuta solo all'attrito. Lo scorrimento, in queste condizioni, si verifica quando l'inclinazione del piano è maggiore dell'angolo di attrito e si può eseguire una verifica di stabilità preliminare confrontando l'inclinazione della linea di intersezione dei due piani e l'angolo di attrito della superficie rocciosa: il pendio è potenzialmente instabile quando il punto, in un diagramma equiareale, che definisce la linea di intersezione dei due piani cade all'interno dell'area delimitata dal grande cerchio che rappresenta il pendio ed il cerchio che rappresenta l'angolo di attrito.

Un ulteriore sviluppo del test di Markland è stato implementato da Hocking; il test infatti prevede la possibilità che lo scorrimento avvenga lungo uno dei piani che costituiscono il cuneo e non solo lungo la linea di intersezione dei due piani stessi.

Infatti se è soddisfatto il test di Markland e l'immersione di uno dei piani cade tra l'immersione del pendio e la direzione della linea di intersezione, lo scorrimento avverrà sul piano piuttosto che lungo la linea di intersezione.

I dati utilizzati per le verifiche sono stati rilevati all'interno delle fronti di cava, misurando la giacitura di tutte discontinuità presenti lungo stendimenti paralleli allo sviluppo dell'area estrattiva.

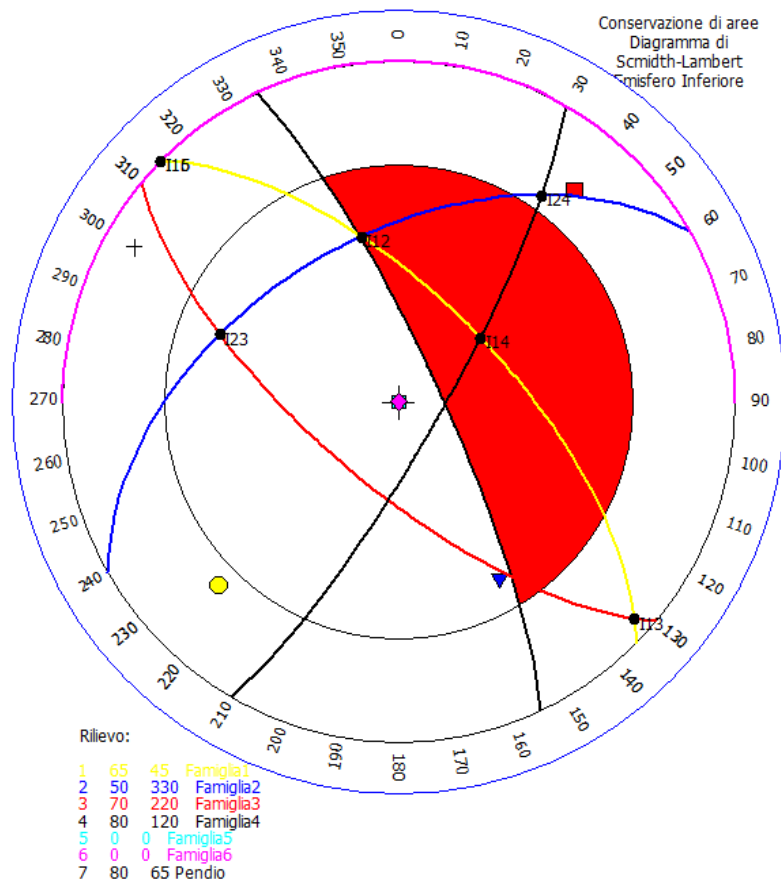
Le giaciture delle discontinuità sono state indicate con la notazione sintetica: direzione dell'immersione (da 0° a 360°)/ valore dell'immersione.

Per individuare quantitativamente le discontinuità che rappresentano piani di scivolamento in un pendio in roccia, è stata effettuata l'analisi statistica utilizzando il Test di Markland (figura 3).

Il procedimento fornisce un'indicazione qualitativa della stabilità del cuneo in funzione del suo orientamento nello spazio e della stima della resistenza al taglio mobilitabile lungo i piani di possibile scorrimento.

Di seguito si presentano in forma grafica i risultati del Test di Markland riferito al fronte sud/est nelle stazioni di misura S1, S2, S3 e S7 (figura 1).

Fig.3a_ Risultato del Test di Markland S1.



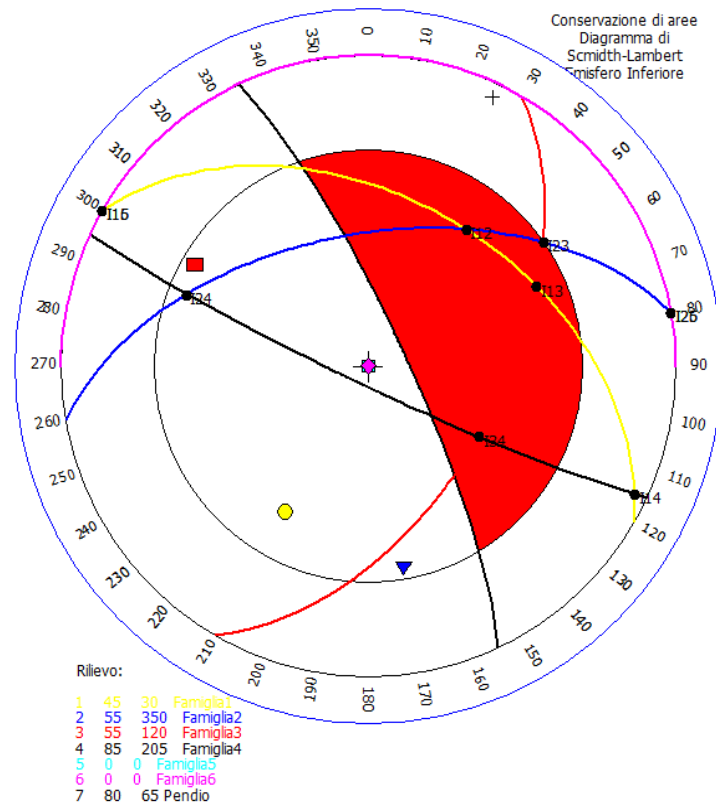
Rottura lungo l'intersezione tra il piano 1 e il piano 2

modulo intersezione: 75,33 modulo pendio: 72,99 modulo Attrito: 113,15

Rottura lungo l'intersezione tra il piano 1 e il piano 4

modulo intersezione: 44,64 modulo pendio: 17,95 modulo Attrito: 113,15

Fig.3b_ Risultato del Test di Markland S2.



Rottura lungo l'intersezione tra il piano 1 e il piano 2

modulo intersezione: 108,58 modulo pendio: 28,13 modulo Attrito: 139,28

Rottura lungo l'intersezione tra il piano 1 e il piano 3

modulo intersezione: 121,05 modulo pendio: 24,65 modulo Attrito: 139,28

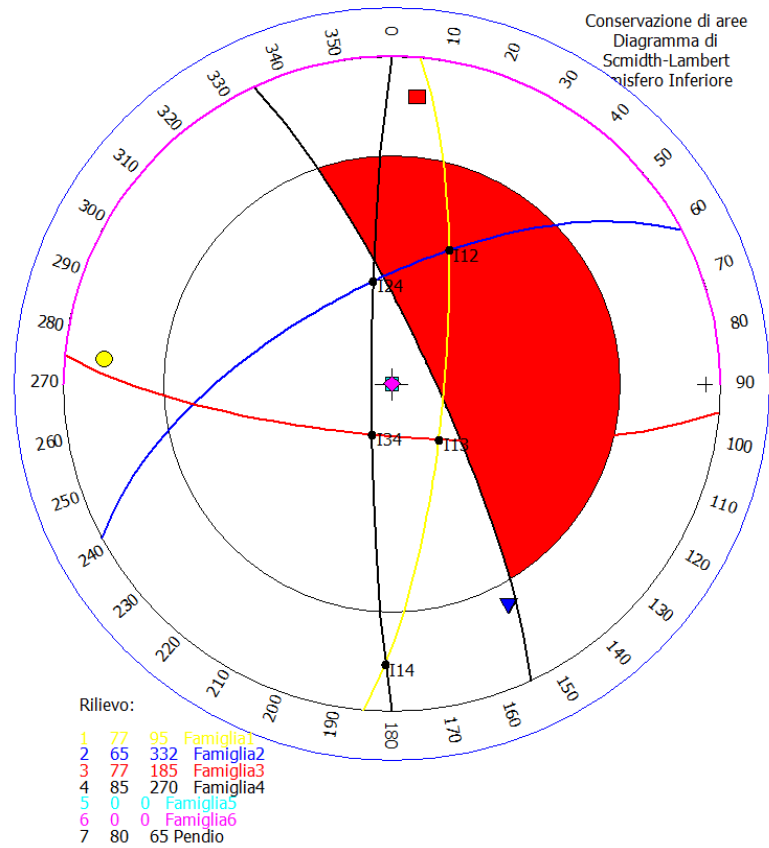
Rottura lungo l'intersezione tra il piano 2 e il piano 3

modulo intersezione: 139,03 modulo pendio: 25,02 modulo Attrito: 139,28

Rottura lungo l'intersezione tra il piano 3 e il piano 4

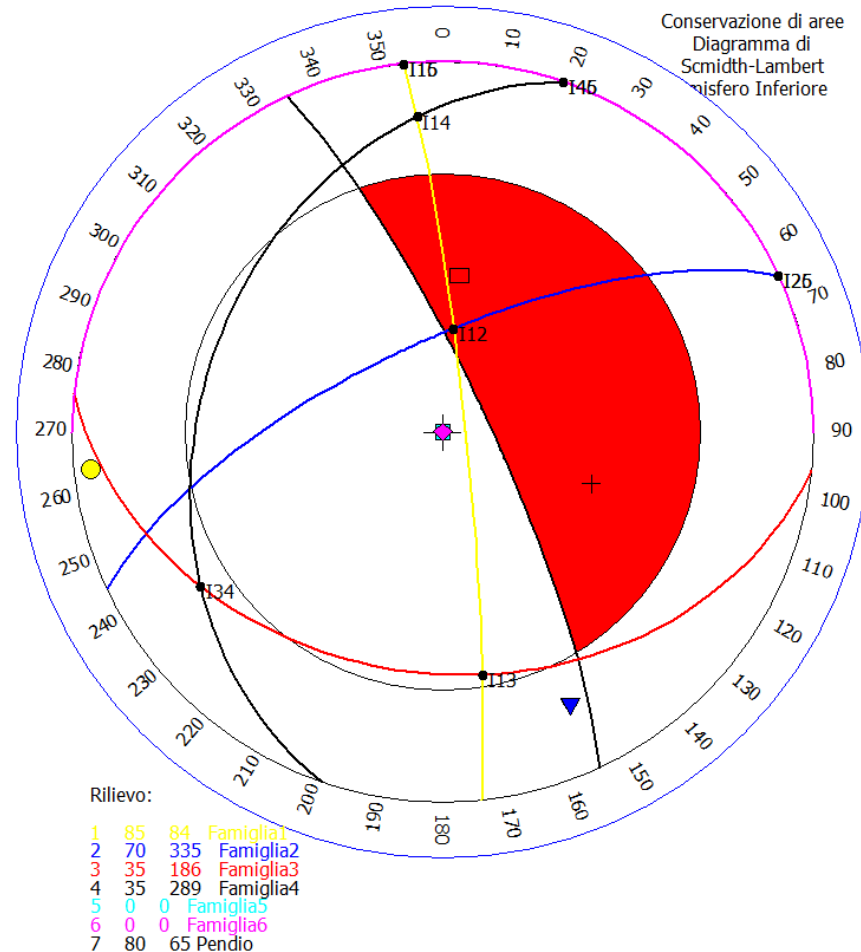
modulo intersezione: 85,10 modulo pendio: 44,29 modulo Attrito: 139,28

Fig.3c_ Risultato del Test di Markland S3.



Rottura lungo l'intersezione tra il piano 1 e il piano 2
modulo intersezione: 88,82 modulo pendio: 32,82 modulo Attrito: 139,28

Fig.3d_ Risultato del Test di Markland S7.



Rottura lungo l'intersezione tra il piano 1 e il piano 2
modulo intersezione: 40,67 modulo pendio: 33,38 modulo Attrito: 113,15

Da quanto sopra è possibile stabilire quanto segue:

1. Non ci sono settori rilevati privi di rischi collegati a rotture per cuneo.
2. Il settore più compromesso appare l'S2, con tutte le quattro famiglie principali di fratturazione capaci di generare cunei rocciosi in disequilibrio.

I test di Markland confermano la necessità in questo settore di procedere a sistemazioni sistematiche dei fronti di cava.



Le successive verifiche di stabilità numeriche permetteranno di simulare, quindi verificare il coefficiente di stabilità dell'intero ammasso roccioso ipotizzando collassi generali dell'intero fronte di cava.

3.2 COLLASSO DELL'INTERO AMMASSO ROCCIOSO

Sebbene le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso portino a ritenere improbabile le possibilità che si originino rotture sub - circolari che coinvolgano tutto il fronte di scavo e, quindi, anche la matrice rocciosa, si è provveduto comunque ad eseguire la verifiche di stabilità attraverso metodi di verifica pseudo-statici e dinamici.

Il software utilizzato per tali verifiche è "Pefs 2" della EPC S.r.l..

Il pendio elaborato si riferisce al fronte di cava allo stato finale rappresentato nella sezione 11, nei calcoli si è scelto di rappresentare la peggior situazione possibile in presenza di falda.

I calcoli vengono eseguiti in osservanza alle vigenti Leggi ed in particolare del NTC 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

Di seguito si rappresentano le sezioni critiche individuate con il valore del coefficiente di sicurezza.

Per i calcoli sono state utilizzate le sez. 8 (stato attuale), la sez. 10 (stato modificato con falda), la sez. 14 (stato attuale e modificato), la sez. 17 (stato attuale).

I tabulati di calcolo sono riportati in allegato.

Riassumendo si ha:

Sezione 8 - Coeff. di resistenza del pendio, $YR = FRd/FEd = 1,759$

Risulta: $YR > 1,1$

Sezione 10 - Coeff. di resistenza del pendio, $YR = FRd/FEd = 1,248$

Risulta: $YR > 1,1$

Sezione 14 stato attuale - Coeff. di resistenza del pendio, $YR = FRd/FEd = 3,632$

Risulta: $YR > 1,1$

Sezione 14 stato di variante - Coeff. di resistenza del pendio, $YR = FRd/FEd = 1,841$

Risulta: $YR > 1,1$

Sezione 17 - Coeff. di resistenza del pendio, $YR = FRd/FEd = 1,892$

Risulta: $YR > 1,1$



DOTT. GEOL. GLORIA BERRETTI

Studio Geologico Dott. Gloria Berretti
P. IVA 01452360538; C.F. BRRL79E43E2021
Sede operativa - Via Carducci n. 22 58010 Sorano (GR)
Sede amministrativa - Via M.Polo n. 17 58023 Grilli (GR)
Cell. 339-6779392
e-mail geol.berretti@gmail.com

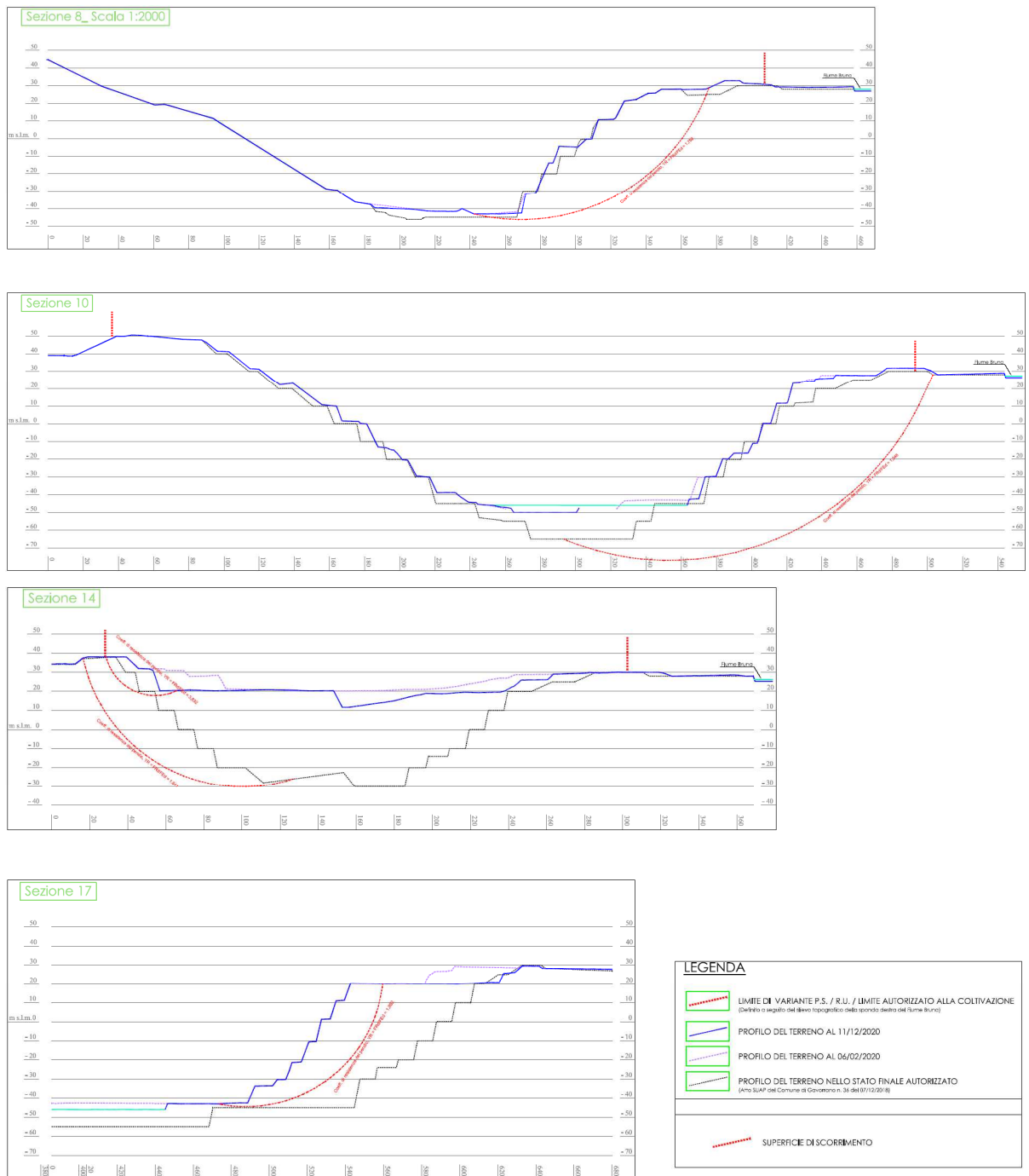


Fig. 7_ Sezioni di riferimento per la verifica di stabilità.

AOOGRT / AD Prot. 0024606 Data 17/01/2025 ore 10:58 Classifica P.140.020.



4. CONCLUSIONI

Dalle indagini geomeccaniche condotte è stato caratterizzato l'ammasso roccioso della cava "Poggio Girotondo".

Per la definizione delle instabilità dei fronti sono stati eseguiti rilievi sui gradoni del fronte Ovest e sui gradoni del fronte Est fino alla loro prosecuzione nel fronte Nord, nonché nei gradoni del fronte Sud.

Gli stendimenti eseguiti sono stati di lunghezze uguali a 20 m e si sono svolti parallelamente allo sviluppo del fronte (N-S) per un totale di 50 stazioni di misura.

I dati acquisiti sono riferiti a circa 900 piani di discontinuità individuati all'interno della roccia; la buona esposizione dei fronti, ha permesso una completa descrizione e relativa cartografia delle zone di faglia, all'interno delle quali sono stati riconosciuti domini a diversa deformazione, CORE e DAMAGE ZONE. *Le famiglie principali individuate su tutti i fronti indagati risultano essere quattro con una prevalente direzione NO-SE e NNE-SSO. In alcune stazioni di misura si arriva anche a direzioni O-E. La coesistenza di queste famiglia genera dei cunei di roccia.*

I valori dell'RMR variano leggermente lungo le due stazioni di misura portando classi dell'ammasso roccioso da mediocri a scadenti.

Questo aspetto è dovuto soprattutto alla spaziatura che intercorre fra le fratture appartenenti ad una stessa famiglia.

Le criticità maggiori infatti si riscontrano solo laddove due o più famiglie finiscono per intersecarsi.

Lungo questi settori si possono avere decadimenti geomeccanici dell'ammasso roccioso sebbene, le classi attribuite attraverso la classificazione geomeccanica RMR (Bieniawski, 1989), oscillano fra la III e la IV; cioè da qualità Mediocre a Scadente.

L'analisi di stabilità cinematica effettuata con il Test di Markland ha messo in evidenza l'instabilità di alcuni cunei e conferma la necessità di stabilizzazione sistematica nei settori più fratturati.

Le situazioni sopracitate si presentano areali e richiedono per lo più, un periodico controllo per programmare interventi di disaggio o di riprofilatura.



DOTT. GEOL. GLORIA BERRETTI

Studio Geologico Dott. Gloria Berretti
P. IVA 01452360538; C.F. BRRGLR79E43E202I
Sede operativa - Via Carducci n. 22 58010 Sorano (GR)
Sede amministrativa - Via M.Polo n. 17 58023 Grilli (GR)
Cell. 339-6779392
e-mail geol.berretti@gmail.com

Le verifiche di stabilità eseguite per l'intero pendio, ipotizzando un collasso globale dell'intero fronte di scavo allo stato attuale e finale, con falda ed in condizioni asciutte, ha permesso di escludere qualsiasi rischio connesso ad eventuali scivolamenti profondi.

Gavorrano, li Dicembre 2022

Dott. Geol. Gloria Berretti



AOOGRT / AD Prot. 0024606 Data 17/01/2025 ore 10:58 Classifica P.140.020.



5. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., Landslides, Investigation and mitigation. *T.R.B. Special report 247*.
- Barla G., Barla M., Continuo e discontinuo nella modellazione numerica di gallerie. *Gallerie n. 61, Patron Bologna*.
- Barton, N.R. and Choubey V., (1977), The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mech.* 10 (1-2), 1-54.
- Clerici A., Griffini L., & Pozzi R., (1990), Procedure for the execution of detailed geomechanical surveys on rock masses of rigid behavior. *Proc.Int. Conf.on Mech. Of jointed and faulted rocks, Vienna*.
- Goodman R.E., (1980), Introduction to Rock Mechanics.
- Hoek E. & Bray J., (1981), Rock slope engineering.
- Hoek E., Kaiser P.K. & Bawden W.F., (1995), Support of underground excavation in hard rock. *Balkema*.
- Hoek, E and Diederichs, M.S. (2006), Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 203–215
- Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., and Corkum, B. (2002), Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. *Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002*
- I.S.M.R. (1978), Suggested methods for quantitative description of discontinuity in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Mining Scie. & Geomech.*, Vol. 15.
- I.S.M.R. (1978), Suggested methods for the quantitative description of rock masses and discontinuity. *Int. J. Rock Mech. Mining Scie. & Geomech.*, Vol. 15.
- Markland J.T., (1972), A useful technique for estimating the stability of rock slopes. *Imperial College Rock mechanics research report*, 19.
- Romana M., (1991), SMR classification. *Inter. Sympos. Of rock mechan. Aachen*.
- Williamson D.A. & Kuhn R., (1988), The unified rock classification system, ASTM.



DOTT. GEOL. GLORIA BERRETTI

Studio Geologico Dott. Gloria Berretti
P. IVA 01452360538; C.F. BRRGLR79E43E202I
Sede operativa - Via Carducci n. 22 58010 Sorano (GR)
Sede amministrativa - Via M.Polo n. 17 58023 Grilli (GR)
Cell. 339-6779392
e-mail geol.berretti@gmail.com

“TABULATI DI CALCOLO VERIFICHE DI STABILITA”

AOOGRT / AD Prot. 0024606 Data 17/01/2025 ore 10:58 Classifica P.140.020.

COMUNE\UBICAZIONE: Gavorrano
LAVORI: Verifiche stabilità 2022_sez. 8
COMMITTENTE: C A V A N U O V A B A R T O L I N A S. r. l.
DATA: Dicembre 2022
DATA REVISIONE:
FILE: sez.8.pef

INDICE

1. Norme di calcolo
2. Unità di misura
3. Dati di calcolo
4. Potesi, Metodi, codici di calcolo
5. Superficie di scorrimento critica
6. Risultati dell'analisi

1. N O R M E D I C A L C O L O

I calcoli vengono eseguiti in osservanza alle vigenti Leggi ed in particolare

del D.M. 14 Gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

Si usano in modo congruente le seguenti unita' di misura del S.I.:
Forze [daN] - Lunghezze [cm]

2. D A T I S I S M I C I

Riferimenti: Long.\Lat.\Vn=.\CL=.\VR=.\TR=.\ecc.

Zona sismica	2
Categoria del suolo	B
Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, a_g ..	0,091g
Fattore amplificazione massima su suolo A, F_o	2,603
Fattore stratigrafico, $1 < S_s = 1,4 - 0,4 F_o * a_g / g < 1,2$	1,2
Fattore di amplificazione topografico, S_t	1,2
Coefficiente correttivo dell'azione sismica, β_s ...	0,2
Accelerazione sismica massima, $a_{max} = a_g * S_s * S_t$	0,131
Accelerazione sismica di calcolo, $K_h = \beta_s * a_{max}$	0,026
Accelerazione sismica verticale, $K_v = K_h / 2$	0,013
Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, Y_M ...	1
Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, Y_F	1

Lunghezza del pendio, L 7873cm

Dislivello del pendio, H 7060cm

3. D A T I S T R A T I G R A F I C I

Y_t = peso specifico del terreno (daN/cm³)

$\phi'k$ = angolo di attrito efficace caratteristico del terreno (gradi)

$c'k$ = coesione caratteristica del terreno (daN/cm²)

Strato n.	Y_t	$\phi'k$	$c'k$
1	0,002900	31,00	2,30

Posizione degli strati

Sez.	X	Zs1	Zs2	Zs3	Zs4	Zs5	Zs6
1	0	7922	0	0	0	0	0
2	258	8027	0	0	0	0	0
3	517	8080	0	0	0	0	0
4	776	8142	0	0	0	0	0
5	1034	8177	0	0	0	0	0
6	1293	8212	0	0	0	0	0
7	1552	8300	0	0	0	0	0
8	1811	8362	0	0	0	0	0
9	2069	8388	0	0	0	0	0
10	2328	8124	0	0	0	0	0
11	2587	8186	0	0	0	0	0
12	2846	8300	0	0	0	0	0
13	3104	8353	0	0	0	0	0
14	3363	8388	0	0	0	0	0
15	3622	8388	0	0	0	0	0

16	3881	8388	0	0	0	0	0
17	4139	8371	0	0	0	0	0
18	4398	8336	0	0	0	0	0
19	4657	8318	0	0	0	0	0
20	4916	8274	0	0	0	0	0
21	5174	8195	0	0	0	0	0
22	5433	8142	0	0	0	0	0
23	5692	8124	0	0	0	0	0
24	5951	8124	0	0	0	0	0
25	6209	8089	0	0	0	0	0
26	6468	8054	0	0	0	0	0
27	6727	8045	0	0	0	0	0
28	6986	8045	0	0	0	0	0
29	7244	8036	0	0	0	0	0
30	7503	8010	0	0	0	0	0
31	7762	8036	0	0	0	0	0
32	8021	8055	0	0	0	0	0
33	8279	8079	0	0	0	0	0
34	8538	8115	0	0	0	0	0
35	8797	8115	0	0	0	0	0
36	9056	8115	0	0	0	0	0
37	9314	8133	0	0	0	0	0
38	9573	8133	0	0	0	0	0
39	9832	8186	0	0	0	0	0
40	10091	8388	0	0	0	0	0
41	10349	8212	0	0	0	0	0
42	10608	8230	0	0	0	0	0
43	10867	8195	0	0	0	0	0
44	11126	8283	0	0	0	0	0
45	11384	8283	0	0	0	0	0
46	11643	8283	0	0	0	0	0
47	11902	8239	0	0	0	0	0
48	12161	8318	0	0	0	0	0
49	12419	8327	0	0	0	0	0
50	12678	8388	0	0	0	0	0
51	12937	8353	0	0	0	0	0
52	13195	8388	0	0	0	0	0

4. I P O T E S I, M E T O D I, C O D I C I D I C A L C O L O

La procedura di calcolo fa riferimento al metodo:
Espinoza unificato

Le ipotesi di calcolo considerano essenzialmente:

- che l'instabilità per slittamento possa avvenire secondo una superficie qualsiasi, con generatrici orizzontali;
- che prudenzialmente per vibrazioni sismiche sia nulla la variazione delle forze verticali d'interconcio, o almeno sia nullo il valore della funzione <If> di seguito indicata.

Le equazioni di equilibrio utilizzate si riferiscono alle forze normali alla base dei conci ed all'equilibrio globale delle forze orizzontali.

Il calcolo viene eseguito con conci di spessore 1 cm ed il procedimento è iterativo fino alla convergenza.

Il coefficiente di resistenza si esprime dunque con il rapporto tra le forze resistenti e le forze attive di scorrimento:

$$YR = R_d / E_d$$

avendo per ogni concio:

$$\begin{aligned} N &= \{W + S_a - [c' \cdot L \cdot \sin(\beta) + U \cdot \tan(\phi')] \cdot \sin(\beta)\} / YR / \{\cos(\beta) + [\sin(\beta) \cdot \tan(\phi')]\} / YR \\ R_d &= \sum \{[(W + S_a) \cdot \cos(\beta) - U] \cdot \tan(\phi') + c' \cdot L\} \cdot m \\ E_d &= \sum [(W + S_a) \cdot \sin(\beta) \cdot m] + \sum(SS) + If \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} m &= 1 / \cos(\beta) \cdot [1 + \tan(\phi') \cdot \tan(\beta) / YR] \\ If &= \sum [DV \cdot \tan(\phi' / YR - \beta)] = 0 \end{aligned}$$

Le sommatorie sono estese a tutti gli <n> conci.

In ogni caso si pone:

YR = coefficiente di sicurezza parziale di resistenza
 YM = coefficiente di sicurezza ai parametri geotecnici
 YF = coefficiente di sicurezza parziale per le azioni
 β = angolo di pendenza della base del concio
 L = lunghezza della base del concio
 h = altezza del concio di terreno di scorrimento
 h_w = altezza colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 u = altezza di terreno immerso dalla base del concio
 dx = $L / \cos(\beta)$, lunghezza orizzontale del concio
 $c'k$ = coesione caratt. alla base del concio (cu-per ver. a breve termine)
 c' = $c'k / YM$, coesione di progetto
 $\phi'k$ = angolo caratt. di attrito interno effettivo alla base del concio
 ϕ' = $Atn(\phi'k / YM)$, angolo di attrito di progetto

Yt = peso/volume saturo terreno del concio
Ya = peso/volume acqua (0.001 daN/cm³)
q = carico esterno verticale/superficie sul concio
W = (Yt*h+q)dx, peso agente sulla base del concio
Sa = (Ya*hw)dx, sovraccarico colonna acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
U = (u+hw)Ya*L, forza interstiziale dell'acqua alla base del concio
SS = W*Kh, forza orizzontale sismica su ogni concio
DV = differenza degli sforzi tangenziali verticali interconcio

5.1 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Con la detta simbologia, si ha la seguente superficie di scorrimento circolare critica:

Posizione cerchio scorrimento da testa pendio..... b1 = 2545cm
 Posizione cerchio scorrimento da piede pendio..... b2 = 2778cm
 Raggio del cerchio di scorrimento..... r = 10340cm

Si verifica per la seguente superficie critica di scorrimento:

x = posizione della sezione nel sistema di riferimento prescelto X-Z
 za = quota del pendio nel sistema di riferimento X-Z
 zb = quota base sezione scorrimento
 zu = quota falda d'acqua

Sezione n.	x (cm)	za (cm)	zb (cm)	zu (cm)
1	0	0	0	
2	258	0	807	
3	517	0	1447	
4	776	0	1988	
5	1034	0	2458	
6	1293	0	2879	
7	1552	0	3259	
8	1811	0	3606	
9	2069	0	3924	
10	2328	0	4219	
11	2587	37	4493	
12	2846	269	4747	
13	3104	501	4984	
14	3363	733	5206	
15	3622	965	5414	
16	3881	1198	5609	
17	4139	1429	5790	
18	4398	1661	5961	
19	4657	1893	6121	
20	4916	2126	6271	
21	5174	2357	6410	
22	5433	2589	6541	
23	5692	2822	6663	
24	5951	3054	6776	
25	6209	3285	6880	
26	6468	3517	6977	
27	6727	3750	7066	
28	6986	3982	7148	
29	7244	4213	7221	
30	7503	4446	7288	
31	7762	4678	7348	
32	8021	4910	7401	
33	8279	5141	7446	
34	8538	5374	7486	
35	8797	5606	7518	
36	9056	5838	7544	
37	9314	6070	7563	

38	9573	6302	7576
39	9832	6534	7582
40	10091	6766	7582
41	10349	6998	7575
42	10608	7060	7562
43	10867	7060	7543
44	11126	7060	7516
45	11384	7060	7483
46	11643	7060	7444
47	11902	7060	7397
48	12161	7060	7344
49	12419	7060	7284
50	12678	7060	7217
51	12937	7060	7142
52	13195	7060	7061

5.2 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Si considerano i seguenti valori in asse dei conci:

dx = lunghezza orizzontale del concio
 L = $dx/\cos(\beta)$, lunghezza della base del concio
 h = altezza del concio
 hw = altezza sovraccarico colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 u = altezza d'acqua dalla base del concio (u=0=assenza di falda d'acqua)
 \varnothing = angolo di attrito di calcolo sulla base del concio
 β = angolo di inclinazione della base del concio
 c = coesione di calcolo sulla base del concio
 q = sovraccarico esterno sul concio

Concio	sez.	dx	L	h	hw	u	\varnothing	β	c
q									
n.	i - j	cm	cm	cm	cm	cm	gradi	gradi	daN/cm2
1	1 - 2	258	847	404	0	0	31,00	72,29	2,30
0,00									
2	2 - 3	259	690	1127	0	0	31,00	67,98	2,30
0,00									
3	3 - 4	259	599	1718	0	0	31,00	64,43	2,30
0,00									
4	4 - 5	258	536	2223	0	0	31,00	61,25	2,30
0,00									
5	5 - 6	259	494	2668	0	0	31,00	58,41	2,30
0,00									
6	6 - 7	259	459	3069	0	0	31,00	55,73	2,30
0,00									
7	7 - 8	259	433	3432	0	0	31,00	53,27	2,30
0,00									
8	8 - 9	258	409	3765	0	0	31,00	50,96	2,30
0,00									
9	9 - 10	259	392	4072	0	0	31,00	48,73	2,30
0,00									
10	10 - 11	259	377	4338	0	0	31,00	46,62	2,30
0,00									
11	11 - 12	259	362	4467	0	0	31,00	44,45	2,30
0,00									
12	12 - 13	258	350	4480	0	0	31,00	42,58	2,30
0,00									
13	13 - 14	259	341	4478	0	0	31,00	40,61	2,30
0,00									
14	14 - 15	259	332	4461	0	0	31,00	38,78	2,30
0,00									
15	15 - 16	259	324	4430	0	0	31,00	36,98	2,30
0,00									
16	16 - 17	258	315	4386	0	0	31,00	35,06	2,30
0,00									
17	17 - 18	259	310	4330	0	0	31,00	33,44	2,30
0,00									

18	18	19	259	304	4264	0	0	31,00	31,71	2,30
0,00										
19	19	20	259	299	4186	0	0	31,00	30,08	2,30
0,00										
20	20	21	258	293	4099	0	0	31,00	28,32	2,30
0,00										
21	21	22	259	290	4002	0	0	31,00	26,84	2,30
0,00										
22	22	23	259	286	3896	0	0	31,00	25,23	2,30
0,00										
23	23	24	259	282	3782	0	0	31,00	23,58	2,30
0,00										
24	24	25	258	278	3658	0	0	31,00	21,96	2,30
0,00										
25	25	26	259	276	3528	0	0	31,00	20,54	2,30
0,00										
26	26	27	259	273	3388	0	0	31,00	18,97	2,30
0,00										
27	27	28	259	271	3241	0	0	31,00	17,57	2,30
0,00										
28	28	29	258	268	3087	0	0	31,00	15,80	2,30
0,00										
29	29	30	259	267	2925	0	0	31,00	14,51	2,30
0,00										
30	30	31	259	265	2756	0	0	31,00	13,05	2,30
0,00										
31	31	32	259	264	2580	0	0	31,00	11,57	2,30
0,00										
32	32	33	258	261	2398	0	0	31,00	9,90	2,30
0,00										
33	33	34	259	262	2208	0	0	31,00	8,78	2,30
0,00										
34	34	35	259	260	2012	0	0	31,00	7,05	2,30
0,00										
35	35	36	259	260	1809	0	0	31,00	5,73	2,30
0,00										
36	36	37	258	258	1600	0	0	31,00	4,21	2,30
0,00										
37	37	38	259	259	1384	0	0	31,00	2,87	2,30
0,00										
38	38	39	259	259	1161	0	0	31,00	1,33	2,30
0,00										
39	39	40	259	259	932	0	0	31,00	0,00	2,30
0,00										
40	40	41	258	258	696	0	0	31,00	-1,55	2,30
0,00										
41	41	42	259	259	540	0	0	31,00	-2,87	2,30
0,00										
42	42	43	259	259	492	0	0	31,00	-4,20	2,30
0,00										
43	43	44	259	260	470	0	0	31,00	-5,95	2,30
0,00										
44	44	45	258	260	440	0	0	31,00	-7,29	2,30
0,00										
45	45	46	259	261	404	0	0	31,00	-8,56	2,30
0,00										
46	46	47	259	263	360	0	0	31,00	-10,29	2,30
0,00										
47	47	48	259	264	310	0	0	31,00	-11,57	2,30
0,00										

48	48	49	258	264	254	0	0	31,00	-13,09	2,30
0,00										
49	49	50	259	267	190	0	0	31,00	-14,51	2,30
0,00										
50	50	51	259	269	120	0	0	31,00	-16,15	2,30
0,00										
51	51	52	258	270	42	0	0	31,00	-17,43	2,30
0,00										

6. R I S U L T A T I D E L L' A N A L I S I

Indicando con:

Rd = forze resistenti

Ed = forze motrici

ed applicando il procedimento iterativo indicato
si ottengono i seguenti risultati, per spessore 1 cm dei conci:

Concio n.	W daN	Sa daN	U daN	c'*L daN	SS daN	m	Rd daN	Ed daN
1	302,27	0,00	0,00	1948,10	7,92	1,59	3180,92	465,06
2	846,49	0,00	0,00	1587,00	22,18	1,45	2570,14	1156,57
3	1290,39	0,00	0,00	1377,70	33,81	1,35	2314,66	1606,95
4	1663,25	0,00	0,00	1232,80	43,58	1,28	2195,41	1911,44
5	2003,94	0,00	0,00	1136,20	52,50	1,23	2168,60	2147,08
6	2305,13	0,00	0,00	1055,70	60,39	1,18	2171,46	2313,47
7	2577,78	0,00	0,00	995,90	67,54	1,15	2204,95	2436,99
8	2816,97	0,00	0,00	940,70	73,80	1,12	2241,95	2517,31
9	3058,48	0,00	0,00	901,60	80,13	1,09	2306,90	2588,14
10	3258,27	0,00	0,00	867,10	85,37	1,07	2365,41	2617,49
11	3355,16	0,00	0,00	832,60	87,91	1,05	2383,76	2552,75
12	3351,94	0,00	0,00	805,00	87,82	1,03	2365,14	2431,62
13	3363,43	0,00	0,00	784,30	88,12	1,02	2362,39	2318,23
14	3350,66	0,00	0,00	763,60	87,79	1,01	2348,51	2199,48
15	3327,37	0,00	0,00	745,20	87,18	1,00	2332,36	2079,94
16	3281,61	0,00	0,00	724,50	85,98	0,99	2304,62	1943,21
17	3252,26	0,00	0,00	713,00	85,21	0,98	2291,78	1837,37
18	3202,69	0,00	0,00	699,20	83,91	0,97	2267,78	1717,71
19	3144,10	0,00	0,00	687,70	82,38	0,96	2240,68	1602,60
20	3066,87	0,00	0,00	673,90	80,35	0,96	2202,91	1475,88
21	3005,90	0,00	0,00	667,00	78,75	0,96	2177,46	1375,17
22	2926,29	0,00	0,00	657,80	76,67	0,95	2140,99	1264,06
23	2840,66	0,00	0,00	648,60	74,43	0,95	2101,37	1153,07
24	2736,92	0,00	0,00	639,40	71,71	0,95	2051,48	1041,46
25	2649,88	0,00	0,00	634,80	69,43	0,95	2012,64	949,31
26	2544,73	0,00	0,00	627,90	66,67	0,95	1962,63	849,27
27	2434,32	0,00	0,00	623,30	63,78	0,95	1909,96	759,29
28	2309,69	0,00	0,00	616,40	60,51	0,95	1849,66	656,45
29	2196,97	0,00	0,00	614,10	57,56	0,95	1795,74	579,75
30	2070,03	0,00	0,00	609,50	54,23	0,95	1732,38	498,62
31	1937,84	0,00	0,00	607,20	50,77	0,95	1667,61	421,41
32	1794,18	0,00	0,00	600,30	47,01	0,96	1592,55	342,35
33	1658,43	0,00	0,00	602,60	43,45	0,96	1525,75	286,75
34	1511,21	0,00	0,00	598,00	39,59	0,97	1449,42	218,75
35	1358,74	0,00	0,00	598,00	35,60	0,97	1370,43	167,48
36	1197,12	0,00	0,00	593,40	31,36	0,98	1282,06	117,36
37	1039,52	0,00	0,00	595,70	27,24	0,98	1200,48	78,53
38	872,03	0,00	0,00	595,70	22,85	0,99	1111,04	42,89
39	700,03	0,00	0,00	595,70	18,34	1,00	1016,32	18,34
40	520,75	0,00	0,00	593,40	13,64	1,01	914,99	-0,62
41	405,59	0,00	0,00	595,70	10,63	1,02	854,81	-10,09
42	370,82	0,00	0,00	595,70	9,72	1,03	841,18	-18,19

43	353,02	0,00	0,00	598,00	9,25	1,04	843,38	-28,91
44	329,21	0,00	0,00	598,00	8,63	1,05	837,25	-35,41
45	303,44	0,00	0,00	600,30	7,95	1,07	832,19	-40,22
46	271,33	0,00	0,00	604,90	7,11	1,08	829,20	-45,38
47	233,64	0,00	0,00	607,20	6,12	1,10	817,29	-45,28
48	190,70	0,00	0,00	607,20	5,00	1,12	801,66	-43,18
49	143,69	0,00	0,00	614,10	3,76	1,13	790,49	-37,01
50	90,13	0,00	0,00	618,70	2,36	1,16	774,91	-26,60
51	31,42	0,00	0,00	621,00	0,82	1,17	750,21	-10,23

Sommando, si ha globalmente:

Forza resistente, FRd 88657,83

Forza attiva motrice, FEd 50398,47

$Rd - Ed = 38259,36 \text{ daN/cm}$

pertanto risulta:

Coeff. di resistenza del pendio, $YR = FRd/FEd = 1,759$

Risulta: $YR > 1,1$

COMUNE\UBICAZIONE: Gavorrano
LAVORI: Verifiche stabilità 2022_sez. 10
COMMITTENTE: C A V A N U O V A B A R T O L I N A S. r. l.
DATA: Dicembre 2022
DATA REVISIONE:
FILE: sez.10.pef

INDICE

1. Norme di calcolo
2. Unità di misura
3. Dati di calcolo
4. Potesi, Metodi, codici di calcolo
5. Superficie di scorrimento critica
6. Risultati dell'analisi

I calcoli vengono eseguiti in osservanza alle vigenti Leggi ed in particolare
del D.M. 14 Gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

Si usano in modo congruente le seguenti unita' di misura del S.I.:
Forze [daN] - Lunghezze [cm]

2. D A T I S I S M I C I

Riferimenti: Long.\Lat.\Vn=.\CL=.\VR=.\TR=.\ecc.
Zona sismica 2
Categoria del suolo B
Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, a_g .. 0,091g
Fattore amplificazione massima su suolo A, F_o 2,603
Fattore stratigrafico, $1 < S_s = 1,4 - 0,4 F_o * a_g / g < 1,2$ 1,2
Fattore di amplificazione topografico, S_t 1,2
Coefficiente correttivo dell'azione sismica, β_s ... 0,2
Accelerazione sismica massima, $a_{max} = a_g * S_s * S_t$ 0,131
Accelerazione sismica di calcolo, $K_h = \beta_s * a_{max}$ 0,026
Accelerazione sismica verticale, $K_v = K_h / 2$ 0,013
Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, Y_M ... 1
Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, Y_F 1

Lunghezza del pendio, L 12523cm
Dislivello del pendio, H 9000cm

3. D A T I S T R A T I G R A F I C I

Y_t = peso specifico del terreno (daN/cm³)
 $\phi'k$ = angolo di attrito efficace caratteristico del terreno (gradi)
 $c'k$ = coesione caratteristica del terreno (daN/cm²)

Strato n.	Y_t	$\phi'k$	$c'k$
1	0,002900	31,00	2,30

Posizione degli strati

Sez.	X	Zs1	Zs2	Zs3	Zs4	Zs5	Zs6
1	0	12346	0	0	0	0	0
2	398	12416	0	0	0	0	0
3	796	12430	0	0	0	0	0
4	1195	12472	0	0	0	0	0
5	1593	12458	0	0	0	0	0
6	1991	12388	0	0	0	0	0
7	2390	12290	0	0	0	0	0
8	2788	12276	0	0	0	0	0
9	3186	12206	0	0	0	0	0
10	3585	12136	0	0	0	0	0
11	3983	12150	0	0	0	0	0
12	4381	12122	0	0	0	0	0
13	4780	12094	0	0	0	0	0
14	5178	12094	0	0	0	0	0
15	5576	12164	0	0	0	0	0
16	5975	12248	0	0	0	0	0
17	6373	12290	0	0	0	0	0
18	6771	12276	0	0	0	0	0
19	7170	12164	0	0	0	0	0
20	7568	12276	0	0	0	0	0

21	7966	12276	0	0	0	0	0
22	8365	12290	0	0	0	0	0
23	8763	12290	0	0	0	0	0
24	9161	12332	0	0	0	0	0
25	9560	12360	0	0	0	0	0
26	9958	12346	0	0	0	0	0
27	10356	12290	0	0	0	0	0
28	10755	12248	0	0	0	0	0
29	11153	12276	0	0	0	0	0
30	11551	12304	0	0	0	0	0
31	11950	12346	0	0	0	0	0
32	12348	12346	0	0	0	0	0
33	12746	12374	0	0	0	0	0
34	13145	12402	0	0	0	0	0
35	13543	12388	0	0	0	0	0
36	13941	12332	0	0	0	0	0
37	14340	12234	0	0	0	0	0
38	14738	12262	0	0	0	0	0
39	15136	12276	0	0	0	0	0
40	15535	12276	0	0	0	0	0
41	15933	12276	0	0	0	0	0
42	16331	12220	0	0	0	0	0
43	16730	12164	0	0	0	0	0
44	17128	12150	0	0	0	0	0
45	17526	12038	0	0	0	0	0
46	17925	11926	0	0	0	0	0
47	18323	11926	0	0	0	0	0
48	18721	11926	0	0	0	0	0
49	19120	11954	0	0	0	0	0
50	19518	11954	0	0	0	0	0
51	19916	11954	0	0	0	0	0
52	20315	11954	0	0	0	0	0

La procedura di calcolo fa riferimento al metodo:
Espinoza unificato

Le ipotesi di calcolo considerano essenzialmente:

- che l'instabilità per slittamento possa avvenire secondo una superficie qualsiasi, con generatrici orizzontali;
- che prudenzialmente per vibrazioni sismiche sia nulla la variazione delle forze verticali d'interconcio, o almeno sia nullo il valore della funzione <If> di seguito indicata.

Le equazioni di equilibrio utilizzate si riferiscono alle forze normali alla base dei conci ed all'equilibrio globale delle forze orizzontali.

Il calcolo viene eseguito con conci di spessore 1 cm ed il procedimento è iterativo fino alla convergenza.

Il coefficiente di resistenza si esprime dunque con il rapporto tra le forze resistenti e le forze attive di scorrimento:

$$YR = R_d / E_d$$

avendo per ogni concio:

$$\begin{aligned} N &= \{W + S_a - [c' \cdot L \cdot \sin(\beta) + U \cdot \tan(\phi') \cdot \sin(\beta)] / YR\} / \{\cos(\beta) + [\sin(\beta) \cdot \tan(\phi')]\} / YR \\ R_d &= \sum \{[(W + S_a) \cdot \cos(\beta) - U] \cdot \tan(\phi') + c' \cdot L\} \cdot m \\ E_d &= \sum [(W + S_a) \cdot \sin(\beta) \cdot m] + \sum(SS) + If \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} m &= 1 / \cos(\beta) \cdot [1 + \tan(\phi') \cdot \tan(\beta) / YR] \\ If &= \sum [DV \cdot \tan(\phi' / YR - \beta)] = 0 \end{aligned}$$

Le sommatorie sono estese a tutti gli <n> conci.

In ogni caso si pone:

YR = coefficiente di sicurezza parziale di resistenza
YM = coefficiente di sicurezza ai parametri geotecnici
YF = coefficiente di sicurezza parziale per le azioni
 β = angolo di pendenza della base del concio
L = lunghezza della base del concio
h = altezza del concio di terreno di scorrimento
hw = altezza colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
u = altezza di terreno immerso dalla base del concio
dx = $L / \cos(\beta)$, lunghezza orizzontale del concio
c'k = coesione caratt. alla base del concio (cu-per ver. a breve termine)
c' = c'k / YM, coesione di progetto
 ϕ' k = angolo caratt. di attrito interno effettivo alla base del concio
 ϕ' = $\text{Atn}(\phi'k / YM)$, angolo di attrito di progetto
Yt = peso/volume saturo terreno del concio
Ya = peso/volume acqua (0.001 daN/cm³)
q = carico esterno verticale/superficie sul concio
W = (Yt * h + q) dx, peso agente sulla base del concio

$S_a = (Y_a \cdot h_w) dx$, sovraccarico colonna acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 $U = (u + h_w) Y_a \cdot L$, forza interstiziale dell'acqua alla base del concio
 $SS = W \cdot K_h$, forza orizzontale sismica su ogni concio
 $DV =$ differenza degli sforzi tangenziali verticali interconcio

PEFS VERS.2.0 / FILE:

D:\Geosorano\Lavoro\2022\Cava\Bartolina\VERIFICA_STABILITA\Lavoro completo\verifiche con Pefs\sez.8.pef

5.1 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Con la detta simbologia, si ha la seguente superficie di scorrimento circolare critica:

Posizione cerchio scorrimento da testa pendio..... $b_1 = 4550 \text{ cm}$
 Posizione cerchio scorrimento da piede pendio..... $b_2 = 3242 \text{ cm}$
 Raggio del cerchio di scorrimento..... $r = 15310 \text{ cm}$

Si verifica per la seguente superficie critica di scorrimento:

x = posizione della sezione nel sistema di riferimento prescelto X-Z
 z_a = quota del pendio nel sistema di riferimento X-Z
 z_b = quota base sezione scorrimento
 z_u = quota falda d'acqua

Sezione n.	$x \text{ (cm)}$	$z_a \text{ (cm)}$	$z_b \text{ (cm)}$	$z_u \text{ (cm)}$
1	0	0	0	-4
2	398	0	1006	10
3	796	0	1845	-4
4	1195	0	2575	10
5	1593	0	3221	10
6	1991	0	3803	10
7	2390	0	4333	38
8	2788	0	4819	38
9	3186	0	5266	66
10	3585	0	5682	94
11	3983	0	6066	150
12	4381	0	6425	150
13	4780	165	6760	220
14	5178	451	7072	472
15	5576	737	7364	724
16	5975	1024	7637	990
17	6373	1310	7891	1312
18	6771	1596	8129	1620
19	7170	1882	8352	1886
20	7568	2168	8558	2180
21	7966	2455	8751	2474
22	8365	2741	8929	2726
23	8763	3027	9094	3048
24	9161	3313	9246	3370
25	9560	3600	9386	3608
26	9958	3886	9513	3958
27	10356	4172	9629	4210
28	10755	4459	9733	4518

29	11153	4745	9826	4784
30	11551	5031	9907	5064
31	11950	5318	9978	5330
32	12348	5604	10038	5625
33	12746	5890	10087	5905
34	13145	6177	10126	6171
35	13543	6463	10154	6507
36	13941	6749	10172	6759
37	14340	7035	10179	7053
38	14738	7321	10176	7333
39	15136	7607	10163	7599
40	15535	7894	10139	7949
41	15933	8180	10105	8187
42	16331	8466	10060	8467
43	16730	8753	10005	8719
44	17128	9000	9939	8985
45	17526	9000	9862	8985
46	17925	9000	9774	9027
47	18323	9000	9674	8985
48	18721	9000	9564	8985
49	19120	9000	9441	8999
50	19518	9000	9307	8999
51	19916	9000	9160	9013
52	20315	9000	9001	9041

5.2 S U P E R F I C I E D I S C O R R I M E N T O C R I T I C A

Si considerano i seguenti valori in asse dei conci:

dx = lunghezza orizzontale del concio
 L = $dx/\cos(\beta)$, lunghezza della base del concio
 h = altezza del concio
 hw = altezza sovraccarico colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 u = altezza d'acqua dalla base del concio (u=0=assenza di falda d'acqua)
 ϕ = angolo di attrito di calcolo sulla base del concio
 β = angolo di inclinazione della base del concio
 c = coesione di calcolo sulla base del concio
 q = sovraccarico esterno sul concio

Concio	sez.	dx	L	h	hw	u	ϕ	β	c
q	n. i - j	cm	cm	cm	cm	cm	gradi	gradi	daN/cm2
daN/cm2									
1	1 2	398	1081	503	0	500	31,00	68,43	2,30
0,00									
2	2 3	398	928	1426	0	1423	31,00	64,63	2,30
0,00									
3	3 4	399	831	2210	0	2207	31,00	61,35	2,30
0,00									
4	4 5	398	758	2898	0	2888	31,00	58,37	2,30
0,00									

5	5	6	398	705	3512	0	3502	31,00	55,65	2,30
0,00										
6	6	7	399	663	4068	0	4044	31,00	53,04	2,30
0,00										
7	7	8	398	628	4576	0	4538	31,00	50,70	2,30
0,00										
8	8	9	398	598	5042	0	4991	31,00	48,33	2,30
0,00										
9	9	10	399	576	5474	0	5394	31,00	46,20	2,30
0,00										
10	10	11	398	553	5874	0	5752	31,00	43,98	2,30
0,00										
11	11	12	398	535	6246	0	6096	31,00	42,06	2,30
0,00										
12	12	13	399	520	6510	0	6408	31,00	40,03	2,30
0,00										
13	13	14	398	505	6608	0	6570	31,00	38,10	2,30
0,00										
14	14	15	398	493	6624	0	6620	31,00	36,27	2,30
0,00										
15	15	16	399	483	6620	24	6620	31,00	34,39	2,30
0,00										
16	16	17	398	472	6597	16	6597	31,00	32,55	2,30
0,00										
17	17	18	398	463	6557	0	6544	31,00	30,89	2,30
0,00										
18	18	19	399	457	6502	0	6488	31,00	29,21	2,30
0,00										
19	19	20	398	448	6430	0	6422	31,00	27,37	2,30
0,00										
20	20	21	398	442	6343	0	6328	31,00	25,88	2,30
0,00										
21	21	22	399	436	6242	0	6240	31,00	24,05	2,30
0,00										
22	22	23	398	430	6128	0	6125	31,00	22,52	2,30
0,00										
23	23	24	398	426	6000	0	5961	31,00	20,91	2,30
0,00										
24	24	25	399	422	5860	0	5827	31,00	19,34	2,30
0,00										
25	25	26	398	417	5706	0	5667	31,00	17,70	2,30
0,00										
26	26	27	398	414	5542	0	5487	31,00	16,25	2,30
0,00										
27	27	28	399	412	5366	0	5317	31,00	14,61	2,30
0,00										
28	28	29	398	408	5178	0	5129	31,00	13,16	2,30
0,00										
29	29	30	398	406	4978	0	4943	31,00	11,51	2,30
0,00										
30	30	31	399	405	4768	0	4746	31,00	10,09	2,30
0,00										
31	31	32	398	402	4547	0	4531	31,00	8,58	2,30
0,00										
32	32	33	398	401	4316	0	4298	31,00	7,02	2,30
0,00										
33	33	34	399	400	4073	0	4069	31,00	5,58	2,30
0,00										
34	34	35	398	398	3820	0	3801	31,00	4,03	2,30
0,00										

35	35	36	398	398	3557	0	3530	31,00	2,59	2,30
0,00										
36	36	37	399	399	3284	0	3270	31,00	1,01	2,30
0,00										
37	37	38	398	398	3000	0	2985	31,00	-0,43	2,30
0,00										
38	38	39	398	398	2706	0	2704	31,00	-1,87	2,30
0,00										
39	39	40	399	399	2400	0	2377	31,00	-3,44	2,30
0,00										
40	40	41	398	399	2085	0	2054	31,00	-4,88	2,30
0,00										
41	41	42	398	400	1760	0	1756	31,00	-6,45	2,30
0,00										
42	42	43	399	402	1423	17	1423	31,00	-7,85	2,30
0,00										
43	43	44	398	403	1096	25	1096	31,00	-9,42	2,30
0,00										
44	44	45	398	405	900	15	900	31,00	-10,95	2,30
0,00										
45	45	46	399	408	818	0	812	31,00	-12,44	2,30
0,00										
46	46	47	398	410	724	0	718	31,00	-14,11	2,30
0,00										
47	47	48	398	412	619	15	619	31,00	-15,45	2,30
0,00										
48	48	49	399	417	502	8	502	31,00	-17,14	2,30
0,00										
49	49	50	398	419	374	1	374	31,00	-18,61	2,30
0,00										
50	50	51	398	424	234	0	228	31,00	-20,27	2,30
0,00										
51	51	52	399	429	80	0	54	31,00	-21,73	2,30
0,00										

6. R I S U L T A T I D E L L' A N A L I S I

Indicando con:

Rd = forze resistenti

Ed = forze motrici

ed applicando il procedimento iterativo indicato
si ottengono i seguenti risultati, per spessore 1 cm dei conci:

Concio	W	Sa	U	c'*L	SS	m	Rd	Ed
n.	daN	daN	daN	daN	daN		daN	daN
1	582,56	0,00	540,50	2486,30	15,26	1,23	2809,46	679,77
2	1645,89	0,00	1320,08	2134,40	43,12	1,16	2044,72	1765,77
3	2557,19	0,00	1834,02	1911,30	67,00	1,11	1714,74	2555,41
4	3344,87	0,00	2189,10	1743,40	87,64	1,07	1586,83	3136,29
5	4053,55	0,00	2468,91	1621,50	106,20	1,04	1573,35	3585,90
6	4707,08	0,00	2681,17	1524,90	123,33	1,01	1638,26	3938,14
7	5281,62	0,00	2849,86	1444,40	138,38	0,99	1732,72	4201,18
8	5819,48	0,00	2984,32	1375,40	152,47	0,98	1862,29	4395,78
9	6333,97	0,00	3106,94	1324,80	165,95	0,96	2013,08	4563,93
10	6779,77	0,00	3180,86	1271,90	177,63	0,95	2175,52	4645,28
11	7209,13	0,00	3261,09	1230,50	188,88	0,94	2336,23	4723,78
12	7532,72	0,00	3331,90	1196,00	197,36	0,93	2474,31	4702,27
13	7626,95	0,00	3317,85	1161,50	199,83	0,92	2560,04	4541,45
14	7645,42	0,00	3263,66	1133,90	200,31	0,92	2637,21	4346,24
15	7660,00	9,38	3208,81	1110,90	200,69	0,91	2722,12	4148,68
16	7614,26	6,37	3121,34	1085,60	199,49	0,91	2786,43	3920,51
17	7568,09	0,00	3029,87	1064,90	198,28	0,90	2847,72	3712,87
18	7523,46	0,00	2964,79	1051,10	197,11	0,90	2903,30	3510,97
19	7421,51	0,00	2877,06	1030,40	194,44	0,90	2940,76	3269,94
20	7321,09	0,00	2796,76	1016,60	191,81	0,90	2968,63	3070,46
21	7222,62	0,00	2720,64	1002,80	189,23	0,90	3003,29	2842,03
22	7072,94	0,00	2633,54	989,00	185,31	0,90	3007,65	2630,00
23	6925,20	0,00	2539,39	979,80	181,44	0,90	3021,48	2415,75
24	6780,61	0,00	2458,99	970,60	177,65	0,91	3026,18	2213,22
25	6585,87	0,00	2362,93	959,10	172,55	0,91	3011,35	1994,40
26	6396,58	0,00	2271,62	952,20	167,59	0,91	2993,79	1802,67
27	6209,00	0,00	2190,60	947,60	162,68	0,92	2976,55	1600,74
28	5976,45	0,00	2092,43	938,40	156,58	0,92	2933,78	1411,97
29	5745,61	0,00	2006,66	933,80	150,53	0,93	2891,70	1215,59
30	5517,05	0,00	1921,93	931,50	144,55	0,94	2844,65	1048,87
31	5248,15	0,00	1821,26	924,60	137,50	0,94	2780,14	875,18
32	4981,53	0,00	1723,30	922,30	130,52	0,95	2718,20	709,53
33	4712,87	0,00	1627,40	920,00	123,48	0,96	2649,09	563,45
34	4409,04	0,00	1512,80	915,40	115,52	0,97	2568,72	415,55
35	4105,49	0,00	1404,94	915,40	107,56	0,98	2484,08	289,29
36	3799,92	0,00	1304,53	917,70	99,56	0,99	2396,87	165,67
37	3462,60	0,00	1187,83	915,40	90,72	1,00	2290,53	64,53
38	3123,27	0,00	1075,99	915,40	81,83	1,02	2179,92	-21,82
39	2777,04	0,00	948,42	917,70	72,76	1,03	2077,18	-99,26
40	2406,51	0,00	819,55	917,70	63,05	1,05	1953,05	-151,34
41	2031,39	0,00	702,20	920,00	53,22	1,06	1820,87	-189,67
42	1646,55	6,58	578,68	924,60	43,14	1,08	1687,56	-200,92
43	1265,00	9,75	451,56	926,90	33,14	1,10	1554,49	-196,57
44	1038,78	5,97	370,58	931,50	27,22	1,12	1488,24	-195,65

45	946,51	0,00	331,30	938,40	24,80	1,15	1483,19	-208,73
46	835,64	0,00	294,38	943,00	21,89	1,17	1469,68	-216,93
47	714,45	5,97	261,21	947,60	18,72	1,20	1445,33	-210,93
48	582,87	3,19	212,67	959,10	15,27	1,23	1434,84	-196,85
49	433,16	0,40	157,13	963,70	11,35	1,26	1405,37	-162,83
50	270,08	0,00	96,46	975,20	7,08	1,30	1386,43	-114,23
51	93,84	0,00	22,95	986,70	2,46	1,33	1365,46	-43,81

Sommando, si ha globalmente:

Forza resistente, FRd 116677,40
Forza attiva motrice, FEd 93463,48

$Rd - Ed = 23213,88 \text{ daN/cm}$

pertanto risulta:

Coeff. di resistenza del pendio, $YR = FRd/FEd = 1,248$

Risulta: $YR > 1,1$

COMUNE\UBICAZIONE: Gavorrano
LAVORI: Verifiche stabilità 2022_sez. 14_stato attuale
COMMITTENTE: C A V A N U O V A B A R T O L I N A S. r. l.
DATA: Dicembre 2022
DATA REVISIONE:
FILE: sez.14_stato attuale.pef

INDICE

1. Norme di calcolo
2. Unità di misura
3. Dati di calcolo
4. Potesi, Metodi, codici di calcolo
5. Superficie di scorrimento critica
6. Risultati dell'analisi

1. N O R M E D I C A L C O L O

I calcoli vengono eseguiti in osservanza alle vigenti Leggi ed in particolare

del D.M. 14 Gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

Si usano in modo congruente le seguenti unita' di misura del S.I.:
Forze [daN] - Lunghezze [cm]

2. D A T I S I S M I C I

Riferimenti: Long.\Lat.\Vn=.\CL=.\VR=.\TR=.\ecc.

Zona sismica	2
Categoria del suolo	B
Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, a_g ..	0,091g
Fattore amplificazione massima su suolo A, F_o	2,603
Fattore stratigrafico, $1 < S_s = 1,4 - 0,4 F_o * a_g / g < 1,2$	1,2
Fattore di amplificazione topografico, S_t	1,2
Coefficiente correttivo dell'azione sismica, β_s ...	0,2
Accelerazione sismica massima, $a_{max} = a_g * S_s * S_t$	0,131
Accelerazione sismica di calcolo, $K_h = \beta_s * a_{max}$	0,026
Accelerazione sismica verticale, $K_v = K_h / 2$	0,013
Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, Y_M ...	1
Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, Y_F	1

Lunghezza del pendio, L 1763cm

Dislivello del pendio, H 1770cm

3. D A T I S T R A T I G R A F I C I

Y_t = peso specifico del terreno (daN/cm³)

$\phi'k$ = angolo di attrito efficace caratteristico del terreno (gradi)

$c'k$ = coesione caratteristica del terreno (daN/cm²)

Strato n.	Y_t	$\phi'k$	$c'k$
1	0,002900	27,52	2,20

Posizione degli strati

Sez.	X	Zs1	Zs2	Zs3	Zs4	Zs5	Zs6
1	0	2366	0	0	0	0	0
2	76	2386	0	0	0	0	0
3	152	2393	0	0	0	0	0
4	229	2406	0	0	0	0	0
5	305	2412	0	0	0	0	0
6	382	2472	0	0	0	0	0
7	458	2478	0	0	0	0	0
8	534	2508	0	0	0	0	0
9	611	2502	0	0	0	0	0
10	687	2515	0	0	0	0	0
11	764	2521	0	0	0	0	0
12	840	2538	0	0	0	0	0
13	916	2498	0	0	0	0	0
14	993	2538	0	0	0	0	0
15	1069	2478	0	0	0	0	0

16	1146	2538	0	0	0	0	0
17	1222	2469	0	0	0	0	0
18	1299	2422	0	0	0	0	0
19	1375	2462	0	0	0	0	0
20	1451	2521	0	0	0	0	0
21	1528	2396	0	0	0	0	0
22	1604	2521	0	0	0	0	0
23	1681	2432	0	0	0	0	0
24	1757	2521	0	0	0	0	0
25	1833	2432	0	0	0	0	0
26	1910	2528	0	0	0	0	0
27	1986	2465	0	0	0	0	0
28	2063	2535	0	0	0	0	0
29	2139	2502	0	0	0	0	0
30	2215	2518	0	0	0	0	0
31	2292	2525	0	0	0	0	0
32	2368	2518	0	0	0	0	0
33	2445	2548	0	0	0	0	0
34	2521	2518	0	0	0	0	0
35	2598	2587	0	0	0	0	0
36	2674	2591	0	0	0	0	0
37	2750	2535	0	0	0	0	0
38	2827	2601	0	0	0	0	0
39	2903	2548	0	0	0	0	0
40	2980	2561	0	0	0	0	0
41	3056	2594	0	0	0	0	0
42	3132	2558	0	0	0	0	0
43	3209	2587	0	0	0	0	0
44	3285	2597	0	0	0	0	0
45	3362	2538	0	0	0	0	0
46	3438	2617	0	0	0	0	0
47	3514	2627	0	0	0	0	0
48	3591	2650	0	0	0	0	0
49	3667	2660	0	0	0	0	0
50	3744	2683	0	0	0	0	0
51	3820	2683	0	0	0	0	0
52	3897	2630	0	0	0	0	0

4. I P O T E S I, M E T O D I, C O D I C I D I C A L C O L O

La procedura di calcolo fa riferimento al metodo:
Espinoza unificato

Le ipotesi di calcolo considerano essenzialmente:

- che l'instabilità per slittamento possa avvenire secondo una superficie qualsiasi, con generatrici orizzontali;
- che prudenzialmente per vibrazioni sismiche sia nulla la variazione delle forze verticali d'interconcio, o almeno sia nullo il valore della funzione <If> di seguito indicata.

Le equazioni di equilibrio utilizzate si riferiscono alle forze normali alla base dei conci ed all'equilibrio globale delle forze orizzontali.

Il calcolo viene eseguito con conci di spessore 1 cm ed il procedimento è iterativo fino alla convergenza.

Il coefficiente di resistenza si esprime dunque con il rapporto tra le forze resistenti e le forze attive di scorrimento:

$$YR = R_d / E_d$$

avendo per ogni concio:

$$\begin{aligned} N &= \{W+Sa - [c' \cdot L \cdot \sin(\beta) + U \cdot \tan(\phi') \cdot \sin(\beta)] / YR \} / \{ \cos(\beta) + [\sin(\beta) \cdot \tan(\phi')] / YR \} \\ R_d &= \sum \{ [(W+Sa) \cdot \cos(\beta) - U] \cdot \tan(\phi') + c' \cdot L \} \cdot m \\ E_d &= \sum [(W+Sa) \cdot \sin(\beta) \cdot m] + \sum(SS) + If \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} m &= 1 / \cos(\beta) \cdot [1 + \tan(\phi') \cdot \tan(\beta) / YR] \\ If &= \sum [DV \cdot \tan(\phi' / YR - \beta)] = 0 \end{aligned}$$

Le sommatorie sono estese a tutti gli <n> conci.

In ogni caso si pone:

YR = coefficiente di sicurezza parziale di resistenza
YM = coefficiente di sicurezza ai parametri geotecnici
YF = coefficiente di sicurezza parziale per le azioni
 β = angolo di pendenza della base del concio
L = lunghezza della base del concio
h = altezza del concio di terreno di scorrimento
hw = altezza colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
u = altezza di terreno immerso dalla base del concio
dx = $L / \cos(\beta)$, lunghezza orizzontale del concio
c'k = coesione caratt. alla base del concio (cu-per ver. a breve termine)
c' = c'k / YM, coesione di progetto
 ϕ' k = angolo caratt. di attrito interno effettivo alla base del concio

ϕ' = $\text{Atn}(\phi'k/YM)$, angolo di attrito di progetto
Yt = peso/volume saturo terreno del concio
Ya = peso/volume acqua (0.001 daN/cm³)
q = carico esterno verticale/superficie sul concio
W = (Yt*h+q)dx, peso agente sulla base del concio
Sa = (Ya*hw)dx, sovraccarico colonna acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
U = (u+hw)Ya*L, forza interstiziale dell'acqua alla base del concio
SS = W*Kh, forza orizzontale sismica su ogni concio
DV = differenza degli sforzi tangenziali verticali interconcio

5.1 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Con la detta simbologia, si ha la seguente superficie di scorrimento circolare critica:

Posizione cerchio scorrimento da testa pendio..... b1 = 1115cm
 Posizione cerchio scorrimento da piede pendio..... b2 = 1019cm
 Raggio del cerchio di scorrimento..... r = 2750cm

Si verifica per la seguente superficie critica di scorrimento:

x = posizione della sezione nel sistema di riferimento prescelto X-Z
 za = quota del pendio nel sistema di riferimento X-Z
 zb = quota base sezione scorrimento
 zu = quota falda d'acqua

Sezione n.	x (cm)	za (cm)	zb (cm)	zu (cm)
1	0	0	0	
2	76	0	254	
3	152	0	445	
4	229	0	605	
5	305	0	741	
6	382	0	863	
7	458	0	971	
8	534	0	1068	
9	611	0	1159	
10	687	0	1240	
11	764	0	1317	
12	840	0	1387	
13	916	0	1452	
14	993	0	1513	
15	1069	0	1569	
16	1146	31	1621	
17	1222	107	1670	
18	1299	184	1715	
19	1375	261	1757	
20	1451	337	1796	
21	1528	414	1832	
22	1604	490	1865	
23	1681	568	1895	
24	1757	644	1923	
25	1833	720	1948	
26	1910	798	1971	
27	1986	874	1991	
28	2063	951	2009	
29	2139	1028	2024	
30	2215	1104	2038	
31	2292	1181	2049	
32	2368	1257	2058	
33	2445	1335	2065	
34	2521	1411	2069	
35	2598	1488	2072	
36	2674	1565	2072	
37	2750	1641	2071	
38	2827	1718	2067	
39	2903	1770	2061	

40	2980	1770	2052
41	3056	1770	2042
42	3132	1770	2029
43	3209	1770	2014
44	3285	1770	1997
45	3362	1770	1978
46	3438	1770	1956
47	3514	1770	1932
48	3591	1770	1905
49	3667	1770	1876
50	3744	1770	1843
51	3820	1770	1809
52	3897	1770	1770

5.2 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Si considerano i seguenti valori in asse dei conci:

dx = lunghezza orizzontale del concio
 L = $dx/\cos(\beta)$, lunghezza della base del concio
 h = altezza del concio
 hw = altezza sovraccarico colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 u = altezza d'acqua dalla base del concio (u=0=assenza di falda d'acqua)
 \varnothing = angolo di attrito di calcolo sulla base del concio
 β = angolo di inclinazione della base del concio
 c = coesione di calcolo sulla base del concio
 q = sovraccarico esterno sul concio

Concio	sez.	dx	L	h	hw	u	\varnothing	β	c
q									
n.	i - j	cm	cm	cm	cm	cm	gradi	gradi	daN/cm2
1	1 - 2	76	265	127	0	0	27,52	73,36	2,20
0,00									
2	2 - 3	76	205	350	0	0	27,52	68,32	2,20
0,00									
3	3 - 4	77	177	525	0	0	27,52	64,31	2,20
0,00									
4	4 - 5	76	155	673	0	0	27,52	60,81	2,20
0,00									
5	5 - 6	77	144	802	0	0	27,52	57,75	2,20
0,00									
6	6 - 7	76	132	917	0	0	27,52	54,88	2,20
0,00									
7	7 - 8	76	123	1020	0	0	27,52	51,93	2,20
0,00									
8	8 - 9	77	119	1114	0	0	27,52	49,77	2,20
0,00									
9	9 - 10	76	111	1200	0	0	27,52	46,83	2,20
0,00									
10	10 - 11	77	108	1278	0	0	27,52	45,01	2,20
0,00									
11	11 - 12	76	103	1352	0	0	27,52	42,66	2,20
0,00									
12	12 - 13	76	100	1420	0	0	27,52	40,55	2,20
0,00									
13	13 - 14	77	98	1482	0	0	27,52	38,39	2,20
0,00									
14	14 - 15	76	94	1541	0	0	27,52	36,39	2,20
0,00									
15	15 - 16	77	92	1580	0	0	27,52	34,04	2,20
0,00									
16	16 - 17	76	90	1576	0	0	27,52	32,82	2,20
0,00									
17	17 - 18	77	89	1547	0	0	27,52	30,31	2,20
0,00									

18	18	19	76	86	1514	0	0	27,52	28,93	2,20
0,00										
19	19	20	76	85	1478	0	0	27,52	27,17	2,20
0,00										
20	20	21	77	85	1438	0	0	27,52	25,06	2,20
0,00										
21	21	22	76	82	1396	0	0	27,52	23,48	2,20
0,00										
22	22	23	77	82	1351	0	0	27,52	21,29	2,20
0,00										
23	23	24	76	80	1303	0	0	27,52	20,23	2,20
0,00										
24	24	25	76	80	1254	0	0	27,52	18,21	2,20
0,00										
25	25	26	77	80	1200	0	0	27,52	16,64	2,20
0,00										
26	26	27	76	78	1145	0	0	27,52	14,75	2,20
0,00										
27	27	28	77	79	1088	0	0	27,52	13,16	2,20
0,00										
28	28	29	76	77	1027	0	0	27,52	11,17	2,20
0,00										
29	29	30	76	77	965	0	0	27,52	10,44	2,20
0,00										
30	30	31	77	77	901	0	0	27,52	8,13	2,20
0,00										
31	31	32	76	76	834	0	0	27,52	6,76	2,20
0,00										
32	32	33	77	77	766	0	0	27,52	5,20	2,20
0,00										
33	33	34	76	76	694	0	0	27,52	3,01	2,20
0,00										
34	34	35	77	77	621	0	0	27,52	2,23	2,20
0,00										
35	35	36	76	76	546	0	0	27,52	0,00	2,20
0,00										
36	36	37	76	76	468	0	0	27,52	-0,75	2,20
0,00										
37	37	38	77	77	390	0	0	27,52	-2,97	2,20
0,00										
38	38	39	76	76	320	0	0	27,52	-4,51	2,20
0,00										
39	39	40	77	77	286	0	0	27,52	-6,67	2,20
0,00										
40	40	41	76	76	277	0	0	27,52	-7,50	2,20
0,00										
41	41	42	76	77	266	0	0	27,52	-9,71	2,20
0,00										
42	42	43	77	78	252	0	0	27,52	-11,02	2,20
0,00										
43	43	44	76	77	236	0	0	27,52	-12,61	2,20
0,00										
44	44	45	77	79	218	0	0	27,52	-13,86	2,20
0,00										
45	45	46	76	79	197	0	0	27,52	-16,15	2,20
0,00										
46	46	47	76	79	174	0	0	27,52	-17,53	2,20
0,00										
47	47	48	77	81	148	0	0	27,52	-19,33	2,20
0,00										

48 0,00	48	49	76	81	120	0	0	27,52	-20,89	2,20
49 0,00	49	50	77	83	90	0	0	27,52	-23,20	2,20
50 0,00	50	51	76	83	56	0	0	27,52	-24,11	2,20
51 0,00	51	52	77	86	20	0	0	27,52	-26,87	2,20

6. R I S U L T A T I D E L L' A N A L I S I

Indicando con:

Rd = forze resistenti

Ed = forze motrici

ed applicando il procedimento iterativo indicato
si ottengono i seguenti risultati, per spessore 1 cm dei conci:

Concio	W	Sa	U	c'*L	SS	m	Rd	Ed
n.	daN	daN	daN	daN	daN		daN	daN
1	28,18	0,00	0,00	583,00	0,74	2,36	1384,66	64,41
2	77,14	0,00	0,00	451,00	2,02	1,99	926,17	144,52
3	117,64	0,00	0,00	389,40	3,08	1,78	738,99	191,39
4	148,33	0,00	0,00	341,00	3,89	1,63	617,74	215,10
5	179,09	0,00	0,00	316,80	4,69	1,53	559,66	235,89
6	202,11	0,00	0,00	290,40	5,30	1,44	506,64	243,87
7	224,81	0,00	0,00	270,60	5,89	1,37	469,86	248,41
8	248,76	0,00	0,00	261,80	6,52	1,32	457,37	257,89
9	264,48	0,00	0,00	244,20	6,93	1,27	429,09	251,43
10	285,38	0,00	0,00	237,60	7,48	1,24	423,90	257,05
11	297,98	0,00	0,00	226,60	7,81	1,20	409,25	250,23
12	312,97	0,00	0,00	220,00	8,20	1,17	403,09	246,62
13	330,93	0,00	0,00	215,60	8,67	1,15	401,81	244,08
14	339,64	0,00	0,00	206,80	8,90	1,12	392,36	235,23
15	352,81	0,00	0,00	202,40	9,24	1,10	390,25	226,47
16	347,35	0,00	0,00	198,00	9,10	1,09	381,29	214,09
17	345,45	0,00	0,00	195,80	9,05	1,07	375,30	195,32
18	333,69	0,00	0,00	189,20	8,74	1,06	361,38	179,60
19	325,75	0,00	0,00	187,00	8,53	1,05	353,86	164,24
20	321,11	0,00	0,00	187,00	8,41	1,03	350,24	149,10
21	307,68	0,00	0,00	180,40	8,06	1,03	336,05	133,83
22	301,68	0,00	0,00	180,40	7,90	1,02	332,22	119,22
23	287,18	0,00	0,00	176,00	7,52	1,01	320,26	108,02
24	276,38	0,00	0,00	176,00	7,24	1,01	314,44	94,06
25	267,96	0,00	0,00	176,00	7,02	1,00	310,01	83,77
26	252,36	0,00	0,00	171,60	6,61	1,00	297,69	70,61
27	242,95	0,00	0,00	173,80	6,37	0,99	295,17	61,32
28	226,35	0,00	0,00	169,40	5,93	0,99	282,60	49,37
29	212,69	0,00	0,00	169,40	5,57	0,99	275,77	43,74
30	201,19	0,00	0,00	169,40	5,27	0,99	270,40	33,44
31	183,81	0,00	0,00	167,20	4,82	0,99	259,73	26,22
32	171,05	0,00	0,00	169,40	4,48	0,99	255,88	19,83
33	152,96	0,00	0,00	167,20	4,01	0,99	245,27	12,00
34	138,67	0,00	0,00	169,40	3,63	1,00	240,43	9,01
35	120,75	0,00	0,00	167,20	3,16	1,00	230,11	3,16
36	103,50	0,00	0,00	167,20	2,71	1,00	221,56	1,35
37	87,39	0,00	0,00	169,40	2,29	1,01	216,77	-2,28
38	70,77	0,00	0,00	167,20	1,85	1,01	206,94	-3,80
39	64,08	0,00	0,00	169,40	1,68	1,02	207,42	-5,94
40	61,26	0,00	0,00	167,20	1,61	1,03	204,42	-6,61
41	58,63	0,00	0,00	169,40	1,54	1,04	207,50	-8,74
42	56,27	0,00	0,00	171,60	1,47	1,05	210,01	-9,80
43	52,01	0,00	0,00	169,40	1,36	1,06	207,34	-10,66
44	48,68	0,00	0,00	173,80	1,28	1,07	211,87	-11,18
45	43,57	0,00	0,00	173,80	1,14	1,09	212,46	-12,02

46	38,61	0,00	0,00	173,80	1,01	1,10	211,98	-11,76
47	33,28	0,00	0,00	178,20	0,87	1,12	217,09	-11,41
48	26,63	0,00	0,00	178,20	0,70	1,13	216,46	-10,05
49	20,10	0,00	0,00	182,60	0,53	1,16	222,83	-8,65
50	12,56	0,00	0,00	182,60	0,33	1,17	220,75	-5,67
51	4,47	0,00	0,00	189,20	0,12	1,21	231,21	-2,32

Sommando, si ha globalmente:

Forza resistente, FRd 18025,53

Forza attiva motrice, FEd 4962,98

$Rd - Ed = 13062,55 \text{ daN/cm}$

pertanto risulta:

Coeff. di resistenza del pendio, $YR = FRd/FEd = 3,632$

Risulta: $YR > 1,1$

COMUNE\UBICAZIONE: Gavorrano
LAVORI: Verifiche stabilità 2022_sez. 14_stato di variante
COMMITTENTE: C A V A N U O V A B A R T O L I N A S. r. l.
DATA: Dicembre 2022
DATA REVISIONE:
FILE: sez.14_stato di variante.pef

INDICE

1. Norme di calcolo
2. Unità di misura
3. Dati di calcolo
4. Potesi, Metodi, codici di calcolo
5. Superficie di scorrimento critica
6. Risultati dell'analisi

1. N O R M E D I C A L C O L O

I calcoli vengono eseguiti in osservanza alle vigenti Leggi ed in particolare

del D.M. 14 Gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

Si usano in modo congruente le seguenti unita' di misura del S.I.:

Forze [daN] - Lunghezze [cm]

2. D A T I S I S M I C I

Riferimenti: Long.\Lat.\Vn=.\CL=.\VR=.\TR=.\ecc.

Zona sismica	2
Categoria del suolo	B
Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, a_g ..	0,091g
Fattore amplificazione massima su suolo A, F_o	2,603
Fattore stratigrafico, $1 < S_s = 1,4 - 0,4 F_o * a_g / g < 1,2$	1,2
Fattore di amplificazione topografico, S_t	1,2
Coefficiente correttivo dell'azione sismica, β_s ...	0,2
Accelerazione sismica massima, $a_{max} = a_g * S_s * S_t$	0,131
Accelerazione sismica di calcolo, $K_h = \beta_s * a_{max}$	0,026
Accelerazione sismica verticale, $K_v = K_h / 2$	0,013
Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, Y_M ...	1
Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, Y_F	1

Lunghezza del pendio, L 7747cm

Dislivello del pendio, H 6519cm

3. D A T I S T R A T I G R A F I C I

Y_t = peso specifico del terreno (daN/cm³)

$\phi'k$ = angolo di attrito efficace caratteristico del terreno (gradi)

$c'k$ = coesione caratteristica del terreno (daN/cm²)

Strato n.	Y_t	$\phi'k$	$c'k$
1	0,002900	31,00	2,30

Posizione degli strati

Sez.	X	Zs1	Zs2	Zs3	Zs4	Zs5	Zs6
1	0	8703	0	0	0	0	0
2	218	8747	0	0	0	0	0
3	437	8791	0	0	0	0	0
4	655	8934	0	0	0	0	0
5	874	8868	0	0	0	0	0
6	1093	8923	0	0	0	0	0
7	1311	8978	0	0	0	0	0
8	1530	9066	0	0	0	0	0
9	1749	9077	0	0	0	0	0
10	1967	9099	0	0	0	0	0
11	2186	9099	0	0	0	0	0
12	2404	9022	0	0	0	0	0
13	2623	8945	0	0	0	0	0
14	2842	8890	0	0	0	0	0
15	3060	8780	0	0	0	0	0
16	3279	8714	0	0	0	0	0

17	3498	8681	0	0	0	0	0
18	3716	8659	0	0	0	0	0
19	3935	8615	0	0	0	0	0
20	4153	8582	0	0	0	0	0
21	4372	8560	0	0	0	0	0
22	4591	8461	0	0	0	0	0
23	4809	8450	0	0	0	0	0
24	5028	8428	0	0	0	0	0
25	5247	8406	0	0	0	0	0
26	5465	8362	0	0	0	0	0
27	5684	8351	0	0	0	0	0
28	5902	8285	0	0	0	0	0
29	6121	8241	0	0	0	0	0
30	6340	8186	0	0	0	0	0
31	6558	8186	0	0	0	0	0
32	6777	8186	0	0	0	0	0
33	6996	8219	0	0	0	0	0
34	7214	8219	0	0	0	0	0
35	7433	8219	0	0	0	0	0
36	7651	8219	0	0	0	0	0
37	7870	8230	0	0	0	0	0
38	8089	8230	0	0	0	0	0
39	8307	8263	0	0	0	0	0
40	8526	8274	0	0	0	0	0
41	8745	8307	0	0	0	0	0
42	8963	8274	0	0	0	0	0
43	9182	8296	0	0	0	0	0
44	9400	8450	0	0	0	0	0
45	9619	8340	0	0	0	0	0
46	9838	8373	0	0	0	0	0
47	10056	8527	0	0	0	0	0
48	10275	8450	0	0	0	0	0
49	10494	8494	0	0	0	0	0
50	10712	8549	0	0	0	0	0
51	10931	8560	0	0	0	0	0
52	11150	8560	0	0	0	0	0

4. I P O T E S I, M E T O D I, C O D I C I D I C A L C O L O

La procedura di calcolo fa riferimento al metodo:
Espinoza unificato

Le ipotesi di calcolo considerano essenzialmente:

- che l'instabilità per slittamento possa avvenire secondo una superficie qualsiasi, con generatrici orizzontali;
- che prudenzialmente per vibrazioni sismiche sia nulla la variazione delle forze verticali d'interconcio, o almeno sia nullo il valore della funzione <If> di seguito indicata.

Le equazioni di equilibrio utilizzate si riferiscono alle forze normali alla base dei conci ed all'equilibrio globale delle forze orizzontali.

Il calcolo viene eseguito con conci di spessore 1 cm ed il procedimento è iterativo fino alla convergenza.

Il coefficiente di resistenza si esprime dunque con il rapporto tra le forze resistenti e le forze attive di scorrimento:

$$YR = R_d / E_d$$

avendo per ogni concio:

$$\begin{aligned} N &= \{W + S_a - [c' \cdot L \cdot \sin(\beta) + U \cdot \tan(\phi')] \cdot \sin(\beta)\} / YR / \{\cos(\beta) + [\sin(\beta) \cdot \tan(\phi')]\} / YR \\ R_d &= \sum \{[(W + S_a) \cdot \cos(\beta) - U] \cdot \tan(\phi') + c' \cdot L\} \cdot m \\ E_d &= \sum [(W + S_a) \cdot \sin(\beta) \cdot m] + \sum(SS) + If \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} m &= 1 / \cos(\beta) \cdot [1 + \tan(\phi') \cdot \tan(\beta) / YR] \\ If &= \sum [DV \cdot \tan(\phi' / YR - \beta)] = 0 \end{aligned}$$

Le sommatorie sono estese a tutti gli <n> conci.

In ogni caso si pone:

YR = coefficiente di sicurezza parziale di resistenza
 Y_M = coefficiente di sicurezza ai parametri geotecnici
 Y_F = coefficiente di sicurezza parziale per le azioni
 β = angolo di pendenza della base del concio
 L = lunghezza della base del concio
 h = altezza del concio di terreno di scorrimento
 h_w = altezza colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 u = altezza di terreno immerso dalla base del concio
 dx = $L / \cos(\beta)$, lunghezza orizzontale del concio
 c'_k = coesione caratt. alla base del concio (cu-per ver. a breve termine)
 c' = c'_k / Y_M , coesione di progetto
 ϕ'_k = angolo caratt. di attrito interno effettivo alla base del concio
 ϕ' = $\text{Atn}(\phi'_k / Y_M)$, angolo di attrito di progetto
 Y_t = peso/volume saturo terreno del concio

Ya = peso/volume acqua (0.001 daN/cm³)
q = carico esterno verticale/superficie sul concio
W = (Yt*h+q)dx, peso agente sulla base del concio
Sa = (Ya*hw)dx, sovraccarico colonna acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
U = (u+hw)Ya*L, forza interstiziale dell'acqua alla base del concio
SS = W*Kh, forza orizzontale sismica su ogni concio
DV = differenza degli sforzi tangenziali verticali interconcio

5.1 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Con la detta simbologia, si ha la seguente superficie di scorrimento circolare critica:

Posizione cerchio scorrimento da testa pendio..... b1 = 1746cm
 Posizione cerchio scorrimento da piede pendio..... b2 = 1657cm
 Raggio del cerchio di scorrimento..... r = 8810cm

Si verifica per la seguente superficie critica di scorrimento:

x = posizione della sezione nel sistema di riferimento prescelto X-Z
 za = quota del pendio nel sistema di riferimento X-Z
 zb = quota base sezione scorrimento
 zu = quota falda d'acqua

Sezione n.	x (cm)	za (cm)	zb (cm)	zu (cm)
1	0	0	0	
2	218	0	802	
3	437	0	1404	
4	655	0	1897	
5	874	0	2324	
6	1093	0	2701	
7	1311	0	3038	
8	1530	0	3347	
9	1749	2	3629	
10	1967	185	3888	
11	2186	370	4130	
12	2404	553	4353	
13	2623	737	4562	
14	2842	922	4758	
15	3060	1105	4940	
16	3279	1289	5111	
17	3498	1474	5272	
18	3716	1657	5422	
19	3935	1842	5563	
20	4153	2025	5695	
21	4372	2209	5819	
22	4591	2394	5934	
23	4809	2577	6042	
24	5028	2761	6143	
25	5247	2946	6236	
26	5465	3129	6322	
27	5684	3313	6403	
28	5902	3497	6476	
29	6121	3681	6543	
30	6340	3865	6604	
31	6558	4049	6659	
32	6777	4233	6708	
33	6996	4417	6751	
34	7214	4601	6789	
35	7433	4785	6821	
36	7651	4968	6847	
37	7870	5153	6868	
38	8089	5337	6883	
39	8307	5520	6893	

40	8526	5705	6898
41	8745	5889	6897
42	8963	6073	6890
43	9182	6257	6878
44	9400	6440	6861
45	9619	6502	6838
46	9838	6469	6810
47	10056	6425	6776
48	10275	6370	6736
49	10494	6370	6691
50	10712	6403	6640
51	10931	6326	6583
52	11150	6304	6520

5.2 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Si considerano i seguenti valori in asse dei conci:

dx = lunghezza orizzontale del concio
 L = $dx/\cos(\beta)$, lunghezza della base del concio
 h = altezza del concio
 hw = altezza sovraccarico colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 u = altezza d'acqua dalla base del concio (u=0=assenza di falda d'acqua)
 \varnothing = angolo di attrito di calcolo sulla base del concio
 β = angolo di inclinazione della base del concio
 c = coesione di calcolo sulla base del concio
 q = sovraccarico esterno sul concio

Concio	sez.	dx	L	h	hw	u	\varnothing	β	c
q									
n.	i - j	cm	cm	cm	cm	cm	gradi	gradi	daN/cm2
1	1 - 2	218	831	401	0	0	31,00	74,81	2,30
0,00									
2	2 - 3	219	640	1103	0	0	31,00	70,02	2,30
0,00									
3	3 - 4	218	539	1650	0	0	31,00	66,16	2,30
0,00									
4	4 - 5	219	479	2110	0	0	31,00	62,86	2,30
0,00									
5	5 - 6	219	435	2512	0	0	31,00	59,86	2,30
0,00									
6	6 - 7	218	401	2870	0	0	31,00	57,11	2,30
0,00									
7	7 - 8	219	378	3192	0	0	31,00	54,68	2,30
0,00									
8	8 - 9	219	357	3487	0	0	31,00	52,18	2,30
0,00									
9	9 - 10	218	338	3665	0	0	31,00	49,92	2,30
0,00									
10	10 - 11	219	326	3732	0	0	31,00	47,87	2,30
0,00									
11	11 - 12	218	311	3780	0	0	31,00	45,66	2,30
0,00									
12	12 - 13	219	302	3812	0	0	31,00	43,67	2,30
0,00									
13	13 - 14	219	293	3830	0	0	31,00	41,84	2,30
0,00									
14	14 - 15	218	283	3836	0	0	31,00	39,87	2,30
0,00									
15	15 - 16	219	277	3828	0	0	31,00	37,99	2,30
0,00									
16	16 - 17	219	271	3810	0	0	31,00	36,33	2,30
0,00									
17	17 - 18	218	264	3782	0	0	31,00	34,54	2,30
0,00									

18	18	19	219	260	3743	0	0	31,00	32,78	2,30
0,00										
19	19	20	218	254	3696	0	0	31,00	31,20	2,30
0,00										
20	20	21	219	251	3640	0	0	31,00	29,53	2,30
0,00										
21	21	22	219	247	3575	0	0	31,00	27,71	2,30
0,00										
22	22	23	218	243	3502	0	0	31,00	26,36	2,30
0,00										
23	23	24	219	241	3424	0	0	31,00	24,76	2,30
0,00										
24	24	25	219	237	3336	0	0	31,00	23,01	2,30
0,00										
25	25	26	218	234	3242	0	0	31,00	21,53	2,30
0,00										
26	26	27	219	233	3142	0	0	31,00	20,30	2,30
0,00										
27	27	28	218	229	3034	0	0	31,00	18,52	2,30
0,00										
28	28	29	219	229	2920	0	0	31,00	17,01	2,30
0,00										
29	29	30	219	227	2800	0	0	31,00	15,57	2,30
0,00										
30	30	31	218	224	2674	0	0	31,00	14,16	2,30
0,00										
31	31	32	219	224	2542	0	0	31,00	12,62	2,30
0,00										
32	32	33	219	223	2404	0	0	31,00	11,11	2,30
0,00										
33	33	34	218	221	2261	0	0	31,00	9,89	2,30
0,00										
34	34	35	219	221	2112	0	0	31,00	8,32	2,30
0,00										
35	35	36	218	219	1958	0	0	31,00	6,80	2,30
0,00										
36	36	37	219	220	1797	0	0	31,00	5,48	2,30
0,00										
37	37	38	219	219	1630	0	0	31,00	3,92	2,30
0,00										
38	38	39	218	218	1460	0	0	31,00	2,63	2,30
0,00										
39	39	40	219	219	1283	0	0	31,00	1,31	2,30
0,00										
40	40	41	219	219	1100	0	0	31,00	-0,26	2,30
0,00										
41	41	42	218	218	912	0	0	31,00	-1,84	2,30
0,00										
42	42	43	219	219	719	0	0	31,00	-3,14	2,30
0,00										
43	43	44	218	218	521	0	0	31,00	-4,46	2,30
0,00										
44	44	45	219	220	378	0	0	31,00	-6,00	2,30
0,00										
45	45	46	219	220	338	0	0	31,00	-7,29	2,30
0,00										
46	46	47	218	220	346	0	0	31,00	-8,87	2,30
0,00										
47	47	48	219	222	358	0	0	31,00	-10,35	2,30
0,00										

48	48	49	219	223	344	0	0	31,00	-11,61	2,30
0,00										
49	49	50	218	223	279	0	0	31,00	-13,17	2,30
0,00										
50	50	51	219	226	247	0	0	31,00	-14,59	2,30
0,00										
51	51	52	219	227	236	0	0	31,00	-16,05	2,30
0,00										

6. R I S U L T A T I D E L L' A N A L I S I

Indicando con:

Rd = forze resistenti

Ed = forze motrici

ed applicando il procedimento iterativo indicato
si ottengono i seguenti risultati, per spessore 1 cm dei conci:

Concio	W	Sa	U	c'*L	SS	m	Rd	Ed
n.	daN	daN	daN	daN	daN		daN	daN
1	254,39	0,00	0,00	1911,30	6,66	1,73	3380,21	431,88
2	700,52	0,00	0,00	1472,00	18,35	1,54	2491,25	1033,28
3	1043,13	0,00	0,00	1239,70	27,33	1,42	2124,13	1384,48
4	1340,06	0,00	0,00	1101,70	35,11	1,34	1967,23	1631,74
5	1595,37	0,00	0,00	1000,50	41,80	1,27	1888,96	1800,12
6	1814,41	0,00	0,00	922,30	47,54	1,22	1853,15	1911,70
7	2027,24	0,00	0,00	869,40	53,11	1,18	1863,39	2011,49
8	2214,59	0,00	0,00	821,10	58,02	1,15	1879,39	2065,77
9	2317,01	0,00	0,00	777,40	60,71	1,12	1873,03	2044,24
10	2370,19	0,00	0,00	749,80	62,10	1,10	1867,85	1986,92
11	2389,72	0,00	0,00	715,30	62,61	1,07	1843,55	1895,21
12	2421,00	0,00	0,00	694,60	63,43	1,05	1841,24	1825,09
13	2432,43	0,00	0,00	673,90	63,73	1,04	1831,01	1748,50
14	2425,12	0,00	0,00	650,90	63,54	1,02	1811,42	1654,58
15	2431,16	0,00	0,00	637,10	63,70	1,01	1808,22	1576,43
16	2419,73	0,00	0,00	623,30	63,40	1,00	1796,43	1498,01
17	2390,98	0,00	0,00	607,20	62,64	0,99	1775,02	1406,07
18	2377,18	0,00	0,00	598,00	62,28	0,98	1768,00	1327,00
19	2336,61	0,00	0,00	584,20	61,22	0,98	1742,51	1242,55
20	2311,76	0,00	0,00	577,30	60,57	0,97	1732,29	1165,32
21	2270,48	0,00	0,00	568,10	59,49	0,96	1712,38	1077,29
22	2213,96	0,00	0,00	558,90	58,01	0,96	1682,00	1002,15
23	2174,58	0,00	0,00	554,30	56,97	0,96	1666,19	928,64
24	2118,69	0,00	0,00	545,10	55,51	0,95	1638,17	845,69
25	2049,59	0,00	0,00	538,20	53,70	0,95	1603,58	770,01
26	1995,48	0,00	0,00	535,90	52,28	0,95	1579,67	710,83
27	1918,10	0,00	0,00	526,70	50,25	0,95	1539,66	629,26
28	1854,49	0,00	0,00	526,70	48,59	0,95	1513,90	564,43
29	1778,28	0,00	0,00	522,10	46,59	0,95	1476,25	500,63
30	1690,50	0,00	0,00	515,20	44,29	0,95	1429,38	438,34
31	1614,42	0,00	0,00	515,20	42,30	0,95	1396,02	378,93
32	1526,78	0,00	0,00	512,90	40,00	0,96	1353,34	321,72
33	1429,40	0,00	0,00	508,30	37,45	0,96	1300,82	273,20
34	1341,33	0,00	0,00	508,30	35,14	0,96	1259,57	222,21
35	1237,85	0,00	0,00	503,70	32,43	0,97	1204,16	174,53
36	1141,28	0,00	0,00	506,00	29,90	0,97	1157,83	136,02
37	1035,21	0,00	0,00	503,70	27,12	0,98	1102,25	96,48
38	923,01	0,00	0,00	501,40	24,18	0,99	1040,94	65,90
39	814,83	0,00	0,00	503,70	21,35	0,99	986,08	39,81
40	698,61	0,00	0,00	503,70	18,30	1,00	924,85	15,11
41	576,57	0,00	0,00	501,40	15,11	1,01	857,08	-3,60
42	456,64	0,00	0,00	503,70	11,96	1,02	793,01	-13,51
43	330,51	0,00	0,00	501,40	8,66	1,03	719,84	-17,79
44	240,90	0,00	0,00	506,00	6,31	1,04	676,73	-19,89

45	216,14	0,00	0,00	506,00	5,66	1,05	667,86	-23,18
46	219,50	0,00	0,00	506,00	5,75	1,07	678,55	-30,32
47	228,93	0,00	0,00	510,60	6,00	1,08	698,23	-38,47
48	218,47	0,00	0,00	512,90	5,72	1,09	701,97	-42,40
49	176,99	0,00	0,00	512,90	4,64	1,11	685,44	-40,19
50	157,41	0,00	0,00	519,80	4,12	1,13	690,35	-40,65
51	150,40	0,00	0,00	522,10	3,94	1,15	699,31	-43,81

Sommando, si ha globalmente:

Forza resistente, FRd 74573,72

Forza attiva motrice, FE_d 40517,77

R_d - E_d = 34055,95 daN/cm

pertanto risulta:

Coeff. di resistenza del pendio, YR = FR_d/FE_d = 1,841

Risulta: YR > 1,1

COMUNE\UBICAZIONE: Gavorrano
LAVORI: Verifiche stabilità 2022_sez. 17
COMMITTENTE: C A V A N U O V A B A R T O L I N A S. r. l.
DATA: Dicembre 2022
DATA REVISIONE:
FILE: sez.17.pef

INDICE

1. Norme di calcolo
2. Unità di misura
3. Dati di calcolo
4. Potesi, Metodi, codici di calcolo
5. Superficie di scorrimento critica
6. Risultati dell'analisi

1. NORME DI CALCOLO

I calcoli vengono eseguiti in osservanza alle vigenti Leggi ed in particolare

del D.M. 14 Gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

Si usano in modo congruente le seguenti unita' di misura del S.I.:
Forze [daN] - Lunghezze [cm]

2. DATI SISMICI

Riferimenti: Long.\Lat.\Vn=.\CL=.\VR=.\TR=.\ecc.

Zona sismica	2
Categoria del suolo	B
Accelerazione orizzontale sismica su suolo A, a_g ..	0,091g
Fattore amplificazione massima su suolo A, F_o	2,603
Fattore stratigrafico, $1 < S_s = 1,4 - 0,4 F_o * a_g / g < 1,2$	1,2
Fattore di amplificazione topografico, S_t	1,2
Coefficiente correttivo dell'azione sismica, β_s ...	0,2
Accelerazione sismica massima, $a_{max} = a_g * S_s * S_t$	0,131
Accelerazione sismica di calcolo, $K_h = \beta_s * a_{max}$	0,026
Accelerazione sismica verticale, $K_v = K_h / 2$	0,013
Coeff. di sicurezza ai parametri geotecnici, Y_M ...	1
Coeff. di sicurezza parziale per le azioni, Y_F	1

Lunghezza del pendio, L 5410cm

Dislivello del pendio, H 6282cm

3. DATI STRATIGRAFICI

γ_t = peso specifico del terreno (daN/cm³)

$\phi'k$ = angolo di attrito efficace caratteristico del terreno (gradi)

$c'k$ = coesione caratteristica del terreno (daN/cm²)

Strato n.	γ_t	$\phi'k$	$c'k$
1	0,002900	35,00	2,30

Posizione degli strati

Sez.	X	Zs1	Zs2	Zs3	Zs4	Zs5	Zs6
1	0	6985	0	0	0	0	0
2	169	6993	0	0	0	0	0
3	339	6962	0	0	0	0	0
4	509	6916	0	0	0	0	0
5	679	6901	0	0	0	0	0
6	849	7155	0	0	0	0	0
7	1019	6878	0	0	0	0	0
8	1189	7240	0	0	0	0	0
9	1359	7340	0	0	0	0	0
10	1528	7340	0	0	0	0	0
11	1698	7340	0	0	0	0	0
12	1868	7340	0	0	0	0	0
13	2038	7340	0	0	0	0	0
14	2208	7340	0	0	0	0	0
15	2378	7340	0	0	0	0	0

16	2548	7340	0	0	0	0	0
17	2718	7340	0	0	0	0	0
18	2888	7340	0	0	0	0	0
19	3057	7340	0	0	0	0	0
20	3227	7340	0	0	0	0	0
21	3397	7340	0	0	0	0	0
22	3567	7340	0	0	0	0	0
23	3737	7340	0	0	0	0	0
24	3907	7340	0	0	0	0	0
25	4077	7340	0	0	0	0	0
26	4247	7340	0	0	0	0	0
27	4416	7340	0	0	0	0	0
28	4586	7340	0	0	0	0	0
29	4756	7340	0	0	0	0	0
30	4926	7340	0	0	0	0	0
31	5096	7309	0	0	0	0	0
32	5266	7270	0	0	0	0	0
33	5436	7217	0	0	0	0	0
34	5606	7178	0	0	0	0	0
35	5776	7116	0	0	0	0	0
36	5945	7078	0	0	0	0	0
37	6115	7039	0	0	0	0	0
38	6285	7016	0	0	0	0	0
39	6455	6985	0	0	0	0	0
40	6625	6970	0	0	0	0	0
41	6795	6939	0	0	0	0	0
42	6965	6901	0	0	0	0	0
43	7135	6854	0	0	0	0	0
44	7304	6831	0	0	0	0	0
45	7474	6816	0	0	0	0	0
46	7644	6816	0	0	0	0	0
47	7814	6777	0	0	0	0	0
48	7984	6770	0	0	0	0	0
49	8154	6831	0	0	0	0	0
50	8324	6885	0	0	0	0	0
51	8494	6939	0	0	0	0	0
52	8664	6962	0	0	0	0	0

4. I P O T E S I, M E T O D I, C O D I C I D I C A L C O L O

La procedura di calcolo fa riferimento al metodo:
Espinoza unificato

Le ipotesi di calcolo considerano essenzialmente:

- che l'instabilità per slittamento possa avvenire secondo una superficie qualsiasi, con generatrici orizzontali;
- che prudenzialmente per vibrazioni sismiche sia nulla la variazione delle forze verticali d'interconcio, o almeno sia nullo il valore della funzione <If> di seguito indicata.

Le equazioni di equilibrio utilizzate si riferiscono alle forze normali alla base dei conci ed all'equilibrio globale delle forze orizzontali.

Il calcolo viene eseguito con conci di spessore 1 cm ed il procedimento è iterativo fino alla convergenza.

Il coefficiente di resistenza si esprime dunque con il rapporto tra le forze resistenti e le forze attive di scorrimento:

$$YR = R_d / E_d$$

avendo per ogni concio:

$$\begin{aligned} N &= \{W + S_a - [c' \cdot L \cdot \sin(\beta) + U \cdot \tan(\phi') \cdot \sin(\beta)] / YR\} / \{\cos(\beta) + [\sin(\beta) \cdot \tan(\phi')]\} / YR \\ R_d &= \sum \{[(W + S_a) \cdot \cos(\beta) - U] \cdot \tan(\phi') + c' \cdot L\} \cdot m \\ E_d &= \sum [(W + S_a) \cdot \sin(\beta) \cdot m] + \sum(SS) + If \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} m &= 1 / \cos(\beta) \cdot [1 + \tan(\phi') \cdot \tan(\beta) / YR] \\ If &= \sum [DV \cdot \tan(\phi' / YR - \beta)] = 0 \end{aligned}$$

Le sommatorie sono estese a tutti gli <n> conci.

In ogni caso si pone:

YR = coefficiente di sicurezza parziale di resistenza
 Y_M = coefficiente di sicurezza ai parametri geotecnici
 Y_F = coefficiente di sicurezza parziale per le azioni
 β = angolo di pendenza della base del concio
 L = lunghezza della base del concio
 h = altezza del concio di terreno di scorrimento
 h_w = altezza colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 u = altezza di terreno immerso dalla base del concio
 dx = $L / \cos(\beta)$, lunghezza orizzontale del concio
 $c'k$ = coesione caratt. alla base del concio (cu-per ver. a breve termine)
 c' = $c'k / Y_M$, coesione di progetto
 $\phi'k$ = angolo caratt. di attrito interno effettivo alla base del concio
 ϕ' = $\text{Atn}(\phi'k / Y_M)$, angolo di attrito di progetto
 Y_t = peso/volume saturo terreno del concio
 Y_a = peso/volume acqua (0.001 daN/cm³)

q = carico esterno verticale/superficie sul concio
W = $(Y_t \cdot h + q) dx$, peso agente sulla base del concio
Sa = $(Y_a \cdot h_w) dx$, sovraccarico colonna acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
U = $(u + h_w) Y_a \cdot L$, forza interstiziale dell'acqua alla base del concio
SS = $W \cdot K_h$, forza orizzontale sismica su ogni concio
DV = differenza degli sforzi tangenziali verticali interconcio

5.1 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Con la detta simbologia, si ha la seguente superficie di scorrimento circolare critica:

Posizione cerchio scorrimento da testa pendio..... b1 = 1699cm
 Posizione cerchio scorrimento da piede pendio..... b2 = 1555cm
 Raggio del cerchio di scorrimento..... r = 7210cm

Si verifica per la seguente superficie critica di scorrimento:

x = posizione della sezione nel sistema di riferimento prescelto X-Z
 za = quota del pendio nel sistema di riferimento X-Z
 zb = quota base sezione scorrimento
 zu = quota falda d'acqua

Sezione n.	x (cm)	za (cm)	zb (cm)	zu (cm)
1	0	0	0	
2	169	0	970	
3	339	0	1554	
4	509	0	2007	
5	679	0	2386	
6	849	0	2715	
7	1019	0	3008	
8	1189	0	3272	
9	1359	0	3514	
10	1528	0	3735	
11	1698	0	3940	
12	1868	707	4131	
13	2038	784	4309	
14	2208	1208	4475	
15	2378	1400	4631	
16	2548	1601	4777	
17	2718	1778	4914	
18	2888	2040	5044	
19	3057	2340	5164	
20	3227	2594	5278	
21	3397	2764	5386	
22	3567	2910	5487	
23	3737	3072	5581	
24	3907	3280	5670	
25	4077	3519	5753	
26	4247	3696	5831	
27	4416	3927	5903	
28	4586	4104	5971	
29	4756	4281	6033	
30	4926	4420	6091	
31	5096	4566	6144	
32	5266	4751	6192	
33	5436	4929	6236	
34	5606	5083	6276	
35	5776	5221	6311	
36	5945	5352	6342	
37	6115	5491	6369	
38	6285	5637	6391	
39	6455	5776	6410	

40	6625	5884	6424
41	6795	6038	6435
42	6965	6153	6441
43	7135	6282	6444
44	7304	6282	6442
45	7474	6282	6436
46	7644	6282	6427
47	7814	6282	6413
48	7984	6282	6395
49	8154	6282	6373
50	8324	6282	6347
51	8494	6282	6317
52	8664	6282	6282

5.2 SUPERFICIE DI SCORRIMENTO CRITICA

Si considerano i seguenti valori in asse dei conci:

dx = lunghezza orizzontale del concio
 L = $dx/\cos(\beta)$, lunghezza della base del concio
 h = altezza del concio
 hw = altezza sovraccarico colonna d'acqua sopra il pendio (scarpate sommerse)
 u = altezza d'acqua dalla base del concio (u=0=assenza di falda d'acqua)
 \varnothing = angolo di attrito di calcolo sulla base del concio
 β = angolo di inclinazione della base del concio
 c = coesione di calcolo sulla base del concio
 q = sovraccarico esterno sul concio

Concio	sez.	dx	L	h	hw	u	\varnothing	β	c
q									
n.	i - j	cm	cm	cm	cm	cm	gradi	gradi	daN/cm2
1	1 - 2	169	984	485	0	0	35,00	80,13	2,30
0,00									
2	2 - 3	170	608	1262	0	0	35,00	73,78	2,30
0,00									
3	3 - 4	170	483	1780	0	0	35,00	69,44	2,30
0,00									
4	4 - 5	170	415	2196	0	0	35,00	65,85	2,30
0,00									
5	5 - 6	170	370	2550	0	0	35,00	62,69	2,30
0,00									
6	6 - 7	170	338	2862	0	0	35,00	59,89	2,30
0,00									
7	7 - 8	170	314	3140	0	0	35,00	57,23	2,30
0,00									
8	8 - 9	170	295	3393	0	0	35,00	54,92	2,30
0,00									
9	9 - 10	169	278	3624	0	0	35,00	52,61	2,30
0,00									
10	10 - 11	170	266	3838	0	0	35,00	50,34	2,30
0,00									
11	11 - 12	170	255	3682	0	0	35,00	48,34	2,30
0,00									
12	12 - 13	170	246	3474	0	0	35,00	46,33	2,30
0,00									
13	13 - 14	170	237	3396	0	0	35,00	44,33	2,30
0,00									
14	14 - 15	170	230	3249	0	0	35,00	42,55	2,30
0,00									
15	15 - 16	170	224	3204	0	0	35,00	40,67	2,30
0,00									
16	16 - 17	170	218	3156	0	0	35,00	38,87	2,30
0,00									
17	17 - 18	170	214	3070	0	0	35,00	37,41	2,30
0,00									
18	18 - 19	169	207	2914	0	0	35,00	35,38	2,30
0,00									

19	19	20	170	204	2754	0	0	35,00	33,85	2,30
0,00										
20	20	21	170	201	2653	0	0	35,00	32,43	2,30
0,00										
21	21	22	170	197	2600	0	0	35,00	30,72	2,30
0,00										
22	22	23	170	194	2543	0	0	35,00	28,95	2,30
0,00										
23	23	24	170	191	2450	0	0	35,00	27,64	2,30
0,00										
24	24	25	170	189	2312	0	0	35,00	26,03	2,30
0,00										
25	25	26	170	187	2184	0	0	35,00	24,65	2,30
0,00										
26	26	27	169	183	2056	0	0	35,00	23,08	2,30
0,00										
27	27	28	170	183	1922	0	0	35,00	21,81	2,30
0,00										
28	28	29	170	180	1810	0	0	35,00	20,04	2,30
0,00										
29	29	30	170	179	1712	0	0	35,00	18,84	2,30
0,00										
30	30	31	170	178	1624	0	0	35,00	17,32	2,30
0,00										
31	31	32	170	176	1510	0	0	35,00	15,77	2,30
0,00										
32	32	33	170	175	1374	0	0	35,00	14,51	2,30
0,00										
33	33	34	170	174	1250	0	0	35,00	13,24	2,30
0,00										
34	34	35	170	173	1142	0	0	35,00	11,64	2,30
0,00										
35	35	36	169	171	1040	0	0	35,00	10,40	2,30
0,00										
36	36	37	170	172	934	0	0	35,00	9,03	2,30
0,00										
37	37	38	170	171	816	0	0	35,00	7,38	2,30
0,00										
38	38	39	170	171	694	0	0	35,00	6,38	2,30
0,00										
39	39	40	170	170	587	0	0	35,00	4,71	2,30
0,00										
40	40	41	170	170	468	0	0	35,00	3,70	2,30
0,00										
41	41	42	170	170	342	0	0	35,00	2,02	2,30
0,00										
42	42	43	170	170	225	0	0	35,00	1,01	2,30
0,00										
43	43	44	169	169	161	0	0	35,00	-0,68	2,30
0,00										
44	44	45	170	170	157	0	0	35,00	-2,02	2,30
0,00										
45	45	46	170	170	150	0	0	35,00	-3,03	2,30
0,00										
46	46	47	170	170	138	0	0	35,00	-4,71	2,30
0,00										
47	47	48	170	170	122	0	0	35,00	-6,04	2,30
0,00										
48	48	49	170	171	102	0	0	35,00	-7,37	2,30
0,00										

49	49	50	170	171	78	0	0	35,00	-8,70	2,30
0,00										
50	50	51	170	172	50	0	0	35,00	-10,01	2,30
0,00										
51	51	52	170	173	18	0	0	35,00	-11,63	2,30
0,00										

6. R I S U L T A T I D E L L' A N A L I S I

Indicando con:

Rd = forze resistenti

Ed = forze motrici

ed applicando il procedimento iterativo indicato
si ottengono i seguenti risultati, per spessore 1 cm dei conci:

Concio	W	Sa	U	c'*L	SS	m	Rd	Ed
n.	daN	daN	daN	daN	daN		daN	daN
1	238,52	0,00	0,00	2263,20	6,25	1,86	4274,22	444,47
2	622,17	0,00	0,00	1398,40	16,30	1,58	2394,69	957,33
3	877,54	0,00	0,00	1110,90	22,99	1,43	1901,35	1200,37
4	1082,63	0,00	0,00	954,50	28,36	1,34	1693,31	1350,89
5	1257,15	0,00	0,00	851,00	32,94	1,27	1593,12	1450,60
6	1410,97	0,00	0,00	777,40	36,97	1,22	1549,05	1521,79
7	1548,02	0,00	0,00	722,20	40,56	1,17	1535,48	1567,21
8	1672,75	0,00	0,00	678,50	43,83	1,14	1540,25	1603,45
9	1776,12	0,00	0,00	639,40	46,53	1,11	1547,42	1611,73
10	1892,13	0,00	0,00	611,80	49,57	1,08	1578,79	1627,24
11	1815,23	0,00	0,00	586,50	47,56	1,06	1520,86	1488,09
12	1712,68	0,00	0,00	565,80	44,87	1,04	1454,76	1337,35
13	1674,23	0,00	0,00	545,10	43,86	1,03	1420,78	1244,76
14	1601,76	0,00	0,00	529,00	41,97	1,01	1373,22	1139,21
15	1579,57	0,00	0,00	515,20	41,38	1,00	1354,63	1070,80
16	1555,91	0,00	0,00	501,40	40,76	0,99	1335,22	1006,61
17	1513,51	0,00	0,00	492,20	39,65	0,98	1308,97	941,76
18	1428,15	0,00	0,00	476,10	37,42	0,97	1254,33	840,48
19	1357,72	0,00	0,00	469,20	35,57	0,96	1214,29	765,03
20	1307,93	0,00	0,00	462,30	34,27	0,96	1184,95	707,03
21	1281,80	0,00	0,00	453,10	33,58	0,95	1167,81	657,87
22	1253,70	0,00	0,00	446,20	32,85	0,95	1152,00	608,32
23	1207,85	0,00	0,00	439,30	31,65	0,95	1123,87	561,37
24	1139,82	0,00	0,00	434,70	29,86	0,94	1085,69	501,20
25	1076,71	0,00	0,00	430,10	28,21	0,94	1049,02	450,53
26	1007,65	0,00	0,00	420,90	26,40	0,94	1004,67	397,23
27	947,55	0,00	0,00	420,90	24,83	0,94	972,80	354,97
28	892,33	0,00	0,00	414,00	23,38	0,94	938,79	310,12
29	844,02	0,00	0,00	411,70	22,11	0,94	910,97	277,79
30	800,63	0,00	0,00	409,40	20,98	0,94	887,10	244,77
31	744,43	0,00	0,00	404,80	19,50	0,94	852,78	209,81
32	677,38	0,00	0,00	402,50	17,75	0,94	812,27	177,75
33	616,25	0,00	0,00	400,20	16,15	0,95	775,14	149,53
34	563,01	0,00	0,00	397,90	14,75	0,95	743,80	122,46
35	509,70	0,00	0,00	393,30	13,35	0,95	708,66	100,91
36	460,46	0,00	0,00	395,60	12,06	0,96	682,84	81,14
37	402,29	0,00	0,00	393,30	10,54	0,96	647,27	60,22
38	342,14	0,00	0,00	393,30	8,96	0,97	610,09	45,68
39	289,39	0,00	0,00	391,00	7,58	0,97	577,36	30,71
40	231,52	0,00	0,00	391,00	6,07	0,98	540,98	20,70
41	169,77	0,00	0,00	391,00	4,45	0,99	503,54	10,36
42	111,31	0,00	0,00	391,00	2,92	0,99	465,96	4,87
43	79,45	0,00	0,00	388,70	2,08	1,00	446,31	1,14

44	77,93	0,00	0,00	391,00	2,04	1,01	451,71	-0,75
45	73,95	0,00	0,00	391,00	1,94	1,02	452,19	-2,06
46	68,50	0,00	0,00	391,00	1,79	1,03	454,13	-4,02
47	60,56	0,00	0,00	391,00	1,59	1,05	453,35	-5,09
48	50,81	0,00	0,00	393,30	1,33	1,06	453,89	-5,57
49	38,98	0,00	0,00	393,30	1,02	1,07	450,68	-5,30
50	25,16	0,00	0,00	395,60	0,66	1,09	448,63	-4,09
51	8,87	0,00	0,00	397,90	0,23	1,11	446,48	-1,75

Sommando, si ha globalmente:

Forza resistente, FRd 55300,43

Forza attiva motrice, FE_d 29226,97

R_d - E_d = 26073,46 daN/cm

pertanto risulta:

Coeff. di resistenza del pendio, YR = FR_d/FE_d = 1,892

Risulta: YR > 1,1

Sezioni per la verifica di stabilità (sez. 8 e 10)

LEGENDA



LIMITE DI VARIANTE P.S. / R.U. / LIMITE AUTORIZZATO ALLA COLTIVAZIONE
(Definito a seguito del rilievo topografico della sponda destra del Fiume Bruna)



PROFILO DEL TERRENO AL 11/12/2020



PROFILO DEL TERRENO AL 06/02/2020

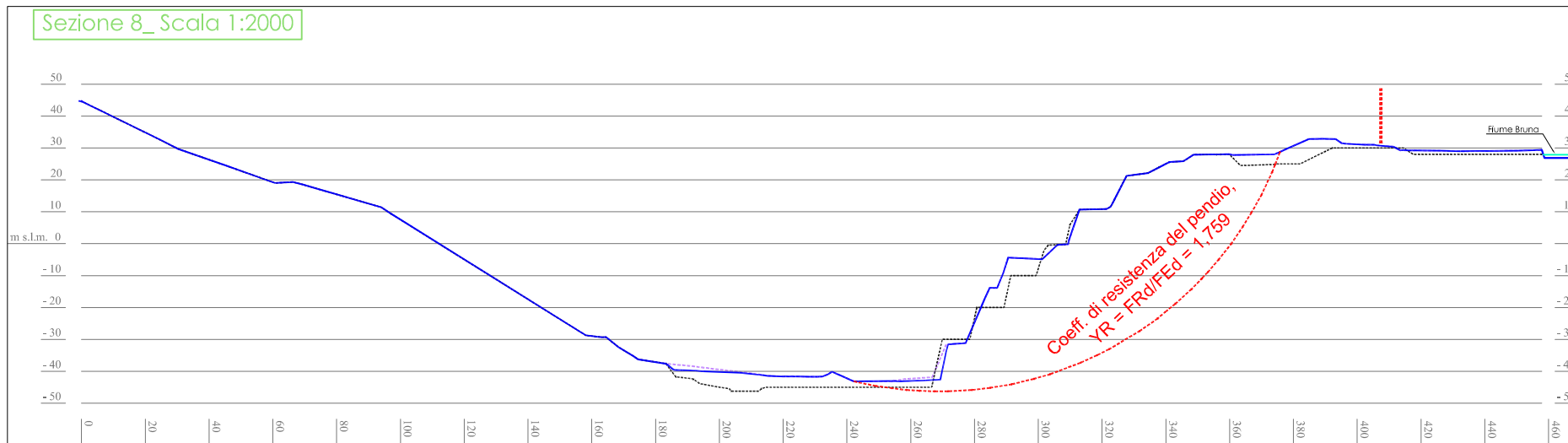


PROFILO DEL TERRENO NELLO STATO FINALE AUTORIZZATO
(Atto SUAP del Comune di Gavorrano n. 36 del 07/12/2018)

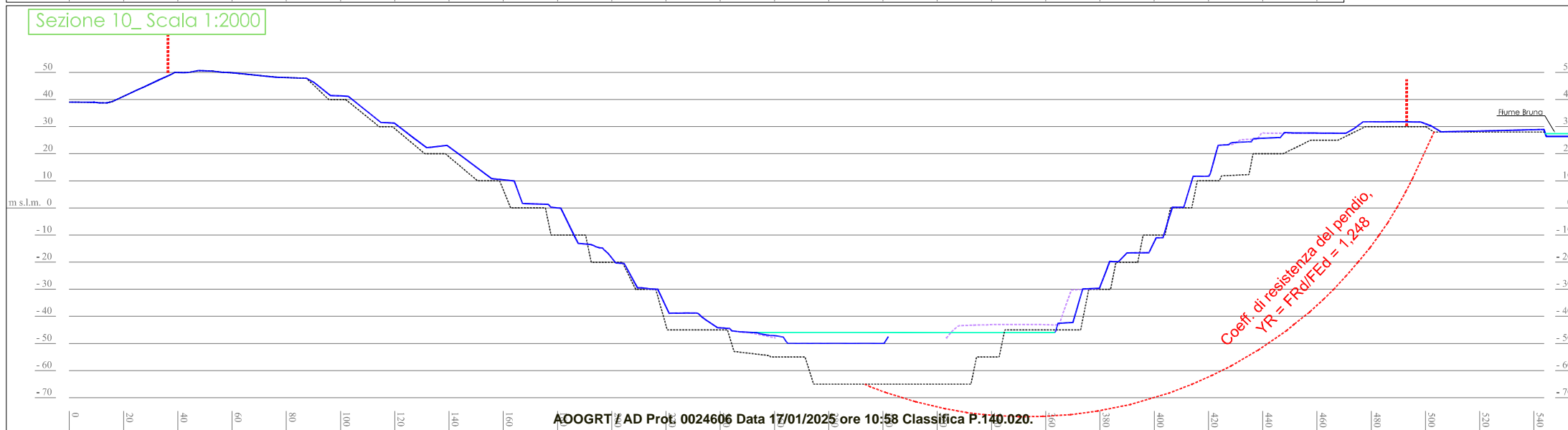


SUPERFICIE DI SCORRIMENTO

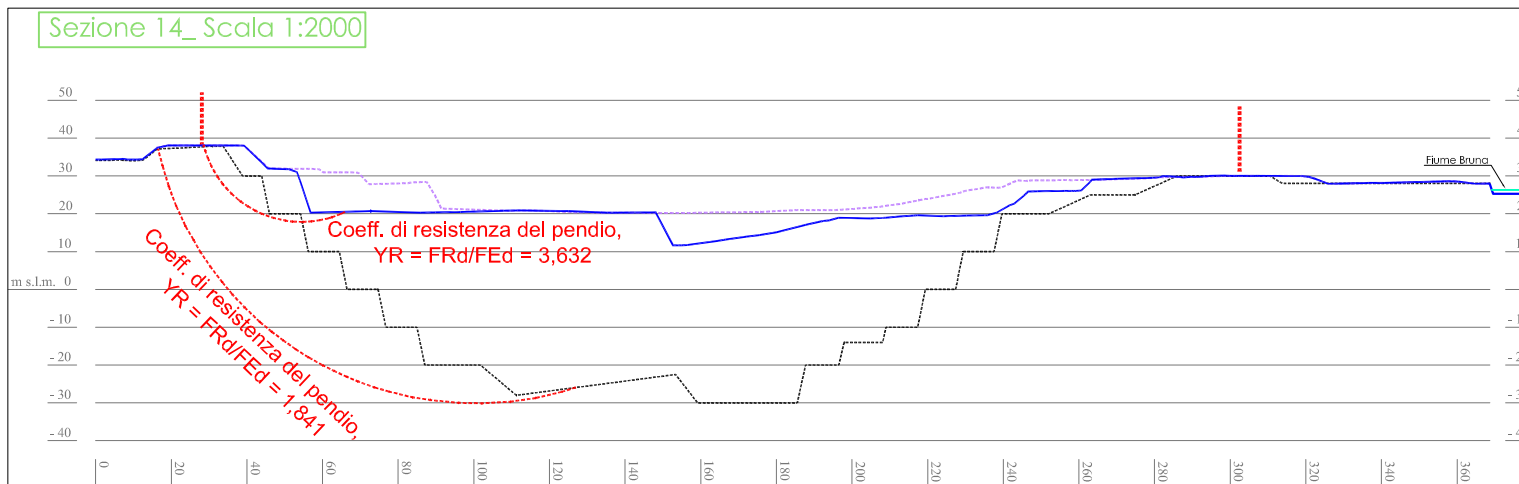
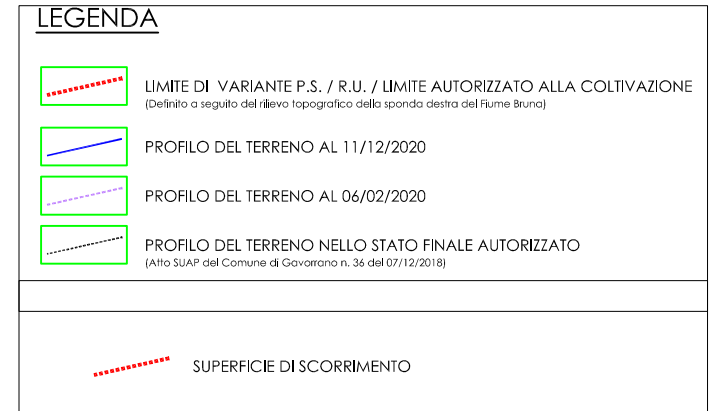
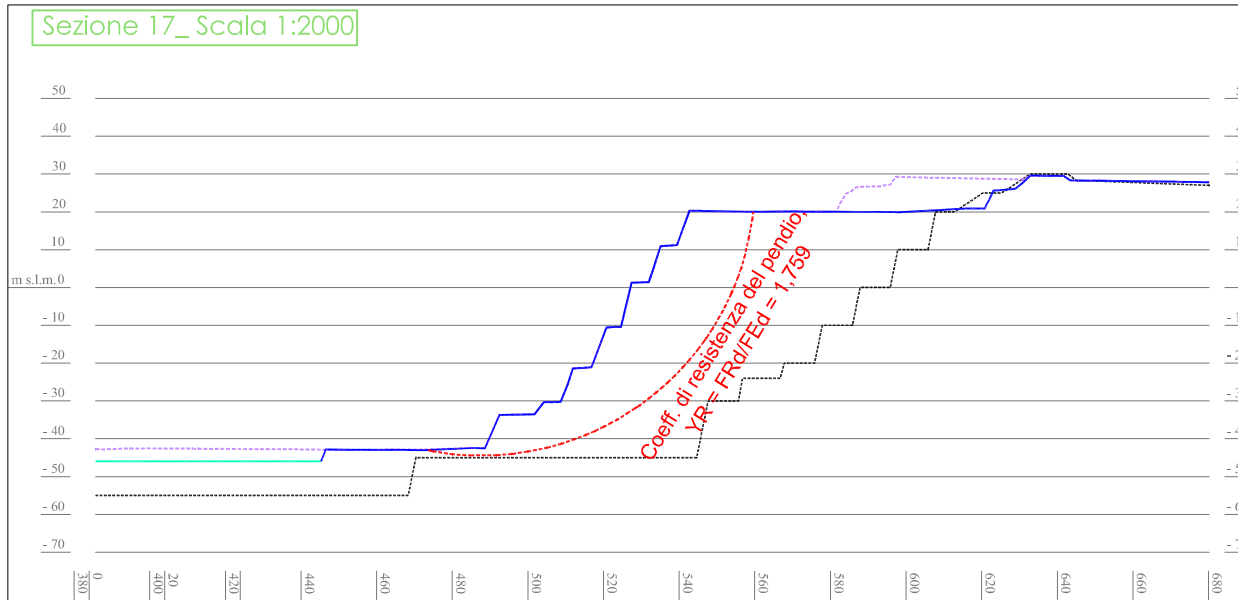
Sezione 8_Scala 1:2000



Sezione 10_Scala 1:2000



Sezioni per la verifica di stabilità (sez. 14 e 17)



CARTA STRUTTURALE

Scala 1 : 1.000

LEGENDA:

DATI STRATIGRAFICI

- 83 Giacitura
- Contatto Diabase - Argille e Calcari

DATI STRUTTURALI

- Master Fault - Damage Zone
- RMR quota - 43m settore est
- RMR quota +20m settore ovest
- Sezioni utilizzate per Verifiche di Stabilità
- Test di Markland

