STUDIO di GEOLOGIA TECNICA dott. geol. GUIDO CARIERI

Via alla Rocca di LeginoViaVia Alla Rocca di Legino, 5b 17100 - SAVONA - Tel. 019801866;019807203; fax 0198403931; e-mail: guido@carieri.com P.I. 01211680093

COMMITTENTE: Soc. Bricco Biscea S.r.l.

COMUNE: Savona

LOCALITA': Cimavalle

OGGETTO: MODELLO GEOTECNICO A CORREDO DELL'ISTANZA DI AUTORIZZAZIONE ALLA VARIANTE AL PPROGRAMMA DELLE ATTIVITA' DI COLTIVAZIONE

CAVA DI GRANITO BRICCO BISCEA



DATA: Agosto 2018

INDICE

NORMATIVA 3
PREMESSA: 3
UNITÀ GEOLOGICHE E LITOLOGICHE 4
INQUADRAMENTO SISMICO 5
VERIFICHE DI STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO LUNGO LE SEZIONI DI PROGETTO 5
(sezioni n. 5, 6 ed 8) 5
VERIFICHE DI STABILITA' DEL RILEVATO IN TERRE E ROCCE DA SCAVO IN PROGETTO 7
CONCLUSIONI 9
ALLEGATI 10

NORMATIVA

- D.M. 14/01/2008-Testo Unitario Norme tecniche per le costruzioni
- Consiglio superiore dei lavori pubblici-"istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni" Circolare 2 febbraio 2009
- Consiglio superiore dei lavori pubblici-Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27/07/2007
- Eurocodice 8 (1998)-Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture (parte 5): Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- Eurocodice 7.1- Progettazione geotecnica
- Eurocodice 7.2- Progettazione geotecnica
- Eurocodice 7.3-Progettazione geotecnica
- L.R.L. n.4/1999-Vincolo idrogeologico
- Dlgs.n.152/2006, Dlgs n.4/2008, Decreto anticrisi, DGR n. 89/2013-Criteri per la gestione e l'utilizzo di terre e rocce da scavo

PREMESSA:

La Soc. Bricco Biscea S.r.l., con sede in via Cimavalle, Comune di Savona, è titolare dell'autorizzazione Regionale e paesaggistica all'esecuzione di Attività di Cava rilasciata con Delibera Regionale n. 888 del 02/08/2005 e D.D. n. 1353 del 16.05.2014, con la quale è stata rilasciata autorizzazione in variante al programma di coltivazione comportante l'espressione del parere di compatibilità ai sensi dell'art. 167 del D.lgs n. 42/2004 e s. m., relativamente ad alcune strutture e manufatti eseguiti in parziale difformità al programma approvato.

Per un'analisi corretta dello stato di fatto dei fronti di cava in relazione alla geometria dei gradoni secondo il progetto approvato si è realizzata la sovrapposizione tra il modello 3D dello stato di progetto autorizzato con la pianta di restituzione dell'ultimo rilievo celerimetrico eseguito nel mese di ottobre 2014.

Dal raffronto risulta che lungo l'intero fronte di estrazione non si sono ancora raggiunte le quote di progetto dei singoli gradoni, fatta eccezione per il primo gradone in cima al fronte in coltivazione.

Il profilo di superficie della restante area di cava risulta ancora al di sopra della superficie di progetto approvato e pertanto da assoggettare a coltivazione per raggiungere le previste quote di progetto.

La geometria dei gradoni e delle piste di arroccamento risulta interamente ricompresa all'interno del perimetro del piano cave vigente.

I nuovi gradoni previsti dalla variante al progetto approvato saranno profilati per sfruttare al meglio l'area dove è consentito l'ampliamento, senza aggirare la cresta orientale dell'area di cava (come

pure consentirebbe il piano cave), allo scopo di evitare un maggiore impatto visivo dalla vicina frazione di Cimavalle.
Le sezioni di progetto significative per il raffronto tra la situazione dello stato di fatto e quella di progetto, assunte quali sezioni maggiormente onerose anche ai fini della stabilità all'equilibrio limite dei fronti di scavo, sono: la n. 5, la n. 6 e la n. 8.
Per adeguare il completamento della cava alla situazione attuale del terreno è stata predisposta la variante al programma di coltivazione oggetto della presente.
Il nuovo progetto è teso ad incrementare, mediante un limitato ampliamento della cava – come consentito dalla pianificazione regionale PTRAC scheda n° 47, la possibilità di produzione di materiale utile e consentire la prosecuzione della attività estrattiva cercando di mitigare l'impatto che tale attività ha avuto sull'ambiente contermine, migliorando il sistema di coltivazione e le modalità di riqualificazione ambientale in oggi previste ed autorizzate per la medesima.

La presente relazione di sintesi del modello geotecnico, a corredo del progetto di cui sopra, viene estesa ai sensi della vigente normativa (Testo Unico per le costruzioni - D.M. 14/01/2008, Cap. 6.3.3 e 6.3.4) valutando le caratteristiche geologico strutturali del tratto di versante significativamente riconducibile alle aree di cava e le interferenze opere/terreno pregiudizievoli per la stabilità locale dei fronti di scavo/riporto in progetto (apertura di nuovi gradoni e parziale ricostruzione del versante a mezzo di colmata in materiali inerti).

UNITÀ GEOLOGICHE E LITOLOGICHE

La cava è situata all'interno del complesso litologico strutturale meglio identificato con il termine di "Massiccio di Savona" costituito unicamente da rocce afferenti al basamento cristallino pre-Namuriano" e più dettagliatamente nel comparto territoriale rappresentato dalle formazioni ultrametamorfiche degli gneiss (orto e paragneiss) e dai terreni risalenti ai periodi Carbonifero e Permiano delle formazioni scistose di Gorra e delle filladi di Murialdo.
Si tratta di rocce granitoidi a grana media note in letteratura come Ortogneiss II tipo Sanda (sulla carta geologica al 100.000 FOGLIO CEVA vengono indicate con il nome di Graniti del Torrente Letimbro). I minerali principali, riconoscibili anche alla scala macroscopica, sono rappresentati da quarzo, miche, con netta prevalenza della biotite sulla muscovite, e plagioclasi.

INQUADRAMENTO SISMICO

Il sito in esame ricade in zona 3 (DGR Liguria 216 del 17/03/2017. O.P.C.M. 3519/2016).
Tutte le verifiche, pertanto, devono fare riferimento a NTC2008.
Le analisi relative al calcolo della pericolosità sismica di base e di progetto delle aree estrattive sono oggetto dell'allegata relazione di inquadramento sismico.

VERIFICHE DI STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO LUNGO LE SEZIONI DI PROGETTO

(sezioni n. 5, 6 ed 8)

Le verifiche di stabilità sono svolte utilizzando il test di Matheson, che rappresenta un metodo di valutazione, mediante proiezione stereografica, teso ad identificare i potenziali cinematismi "attivi" e le possibili direzioni di movimento di porzioni del fronte di cava, rispetto alla presenza di giunti di discontinuità, che caratterizzano localmente l'ammasso roccioso, ed alle caratteristiche geometriche del fronte stesso.
Mediante il test di Matheson sono identificabili i cinematismi di scivolamento sia in campo "bidimensionale" (scivolamenti lungo un piano), che tridimensionale (scivolamenti a cuneo).
Le successive analisi di stabilità all'equilibrio limite dei fronti di scavo in progetto (scarpate intermedie ai gradoni), che verificano i potenziali cinematismi individuati mediante il test di Matheson, assumono le condizioni maggiormente onerose in campo statico e dinamico, tenendo conto della riduzione del valore del coefficiente di sicurezza Fs in funzione dell'accelerazione massima orizzontale al suolo "ag", che nel contesto di zona in interesse è calcolato nel valore di 0,056g (paragrafo Inquadramento sismico).
Le verifiche analitiche di calcolo assumono come dati in entrata le giaciture delle discontinuità che sono state rilevate localmente lungo il tratto di versante interessato dalla sezione di progetto.
Tale condizione d'analisi va a vantaggio di sicurezza, utilizzando nei calcoli i valori medi delle giaciture delle famiglie, calcolati sull'intero campione di misure rilevate (128 giaciture; vd. Allegato al modello geologico "classificazione e caratterizzazione geotecnica del litotipo").
Le verifiche di stabilità all'equilibrio limite assumono i criteri di rottura proposti rispettivamente da Hoek - Brown, che assume condizioni di comportamento isotrope del mezzo "roccia" e da Barton, che analizza la stabilità mediante le caratteristiche meccaniche dei giunti di discontinuità.

Partendo dai parametri propri del suddetto criterio di rottura, mediante correlazioni si ottengono i valori caratteristici dei parametri di resistenza a taglio propri del criterio di rottura introdotto da Mohr-Coulomb.
Pertanto, tenendo in debito conto le condizioni di applicabilità del criterio di Hoek – Brown, si ritiene che le condizioni ideali di analisi per valutare la stabilità all'equilibrio limite dei cinematismi attivi siano quelle di un contesto di roccia giuntata, in presenza di matrice di riempimento intesa come prodotto dell'alterazione chimico fisica della roccia "madre".
Le verifiche eseguite sono svolte lungo i profili di progetto (Sezioni geologiche interpretative; Tav. Geo 2 allegata).

Sezione di progetto n. 5 (12°/76°) - ARS n. 20-21 Tav Geo 1 - verifica di stabilità e risultati

L'analisi cinematica eseguita lungo la sezione di progetto, avente altezza massima pari a 15 m. individua un cinematismo a cuneo, indotto dall'interazione delle coppie di famiglie: 2-5 (319°/52° - 222°/80°).
I valori del coefficiente di sicurezza calcolati mediante il criterio di rottura di Hoek – Brown sono i seguenti:

- Cuneo 2-5: Fs = 1,95 che in condizioni sismiche si riduce a 1,69

L'analisi condotta mediante il criterio di rottura proposto da Barton per il medesimo cinematismo indica i seguenti valori del fattore di sicurezza:

- Cuneo 2-5: Fs = 47,61 che in condizioni sismiche si riduce a 44,48

Sezione di progetto n. 6 (11°/65°) – ARS n. 15.18.19 Tav. 1 Geo- verifica di stabilità e risultati

L'analisi mediante il test di Mathewson individua la presenza di n. 2 cinematismi a cuneo "attivi", determinati rispettivamente dalle famiglie di discontinuità 3 – 5 (23°/85° - 340°/51°) e 2 – 5 (85°/70° - 340°/51°).
I valori del coefficiente di sicurezza calcolati mediante il criterio di rottura di Hoek – Brown sono i seguenti:

- Cuneo 2-5: Fs = 1,31 che in condizioni sismiche si riduce a 1,20
- Cuneo 3-5: Fs = 3,98 che in condizioni sismiche si riduce a 3,72

L'analisi condotta mediante il criterio di rottura proposto da Barton per i medesimi cinematismi indica i seguenti valori del fattore di sicurezza:

- Cuneo 2-5: Fs = 2,02 che in condizioni sismiche si riduce a 1,99

- Cuneo 3-5: Fs = 1,32 che in condizioni sismiche si riduce a 1,19

Sezione di progetto n. 8(359°/75°) – ARS n. 10-14 Tav Geo 1 - verifica di stabilità e risultati

L'analisi cinematica eseguita lungo la sezione di progetto, avente altezza massima pari a 15 m. individua un cinematismo a cuneo, indotto dall'interazione delle coppie di famiglie: 1-2 (14°/50° - 110°/73°).

I valori del coefficiente di sicurezza calcolati mediante il criterio di rottura di Hoek – Brown sono i seguenti:

- Cuneo 1-2: Fs = 1,20 che in condizioni sismiche si riduce a 1,11

L'analisi condotta mediante il criterio di rottura proposto da Barton per il medesimo cinematismo indica i seguenti valori del fattore di sicurezza:

- Cuneo 1-2: Fs = 1,25 che in condizioni sismiche si riduce a 1,13

Le verifiche analitiche di stabilità all'equilibrio limite come sopra esplicitato forniscono sempre valori del coefficiente di sicurezza maggiori del valore indicato dalla normativa Fs = 1,1 (§ 6.2.3.1.2. e § 6.8.2 NTC).

VERIFICHE DI STABILITA' DEL RILEVATO IN TERRE E ROCCE DA SCAVO IN PROGETTO

Le analisi di stabilità all'equilibrio limite sono svolte in osservanza della vigente normativa geotecnica (Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008 par.6.3), che prevede la realizzazione di un modello geologico ed un modello geotecnico del versante. Le verifiche di sicurezza vanno svolte con metodi che tengano conto della forma e posizione della superficie di scorrimento, dei principali parametri geotecnici e del regime delle pressioni interstiziali.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo di collasso (SLC) le componenti verticali ed orizzontali dell'azione sismica si ricavano dalle seguenti relazioni: Fh=kh*W e Fv=kv*W (dove Fh e Fv sono gli incrementi di forza proporzionali a W e W è il peso di volume del terreno).

Le verifiche assumono la superfici di potenziale scorrimento che meglio approssima le condizioni critiche di stabilità (vincolo di sviluppo in testa ed al piede del rilevato in terre e rocce da scavo), interessando i riporti di progetto, costituenti la colmata in terre e rocce da scavo a parziale mascheramento del fronte di scavo.

Le verifiche svolte riguardano le sezioni di progetto n.: 5, 6, ed 8, ubicate lungo il fronte di cava (vd. tav. Geo 2 “Sezioni geologico Strutturali” in sc. 1. 1.000).

Tutte le verifiche sono svolte tenendo conto dell’inquadramento sismico dell’area d’intervento (zona 4 in osservanza della D.G.R. n. 216 del 17/03/2017. O.P.C.M. 3519/2016).

Nel corso delle sessioni di analisi si è assunta una superficie freatica rappresentativa di un regime idrostatico cautelativo ed a favore di sicurezza.

I valori dei parametri di resistenza a taglio dei terreni di riporto costituenti il rilevato di progetto (coesione ed angolo d’attrito interno), espressi in termini di tensioni efficaci, sono stati calcolati mediante l’interpretazione di prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH) realizzate ad altro titolo dallo scrivente su rilevati in terre e rocce provenienti da scavi in roccia e/o di splateamento in terreni prevalentemente incoerenti, quali quelli impiegati nella formazione del rilevato di progetto.

I valori “caratteristici”, calcolati come rapporto tra la deviazione standard ed il valore medio dell’intera popolazione statistica dei parametri desunti dalle indagini sia di superficie (caratterizzazione geomeccanica degli affioramenti -classificazione di Hoek&Brown “GSI”) che nel sottosuolo (indagine geognostica mediante prove DPSH), hanno condotto alla determinazione dei valori di “progetto” dei valori di coesione ed angolo d’attrito interno, applicando i coefficienti di sicurezza parziali (M2), contemplati dall’approccio n. 1, combinazione n. 2, in osservanza delle Norme Tecniche per le Costruzioni:

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	**(M1)**	**(M2)**
Tangente dell’angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell’unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Valori caratteristici parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche di stabilità all'equilibrio limite

Strato	Coesione (kN/m^2)	Coesione non drenata (kN/m^2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m^3)	Peso saturo (kN/m^3)	Litologia	
1	5		28	18	20	Riporti artificiali	
2	26		27.8	27	27	Ortogneiss II	

Nel seguito, si riportano sinteticamente gli esiti delle analisi di stabilità all'equilibrio limite eseguite mediante l'algoritmo di calcolo introdotto da Morgenstern&Price, sezione per sezione, indicando i valori dei fattori di sicurezza "complessivi", calcolati in corrispondenza delle superfici di taglio potenziali, individuate quali superfici maggiormente conservative:

Sezioni di progetto	Superfici di scivolamento considerate	Fs sup.1	Fs sup.2	Fs sup.3
n. 5	2	1,22	1,29	
n. 6	3	1,52	1,31	1,62
n. 8	3	2,29	2,51	1,93

Al piede della colmata in terre e rocce da scavo, realizzata a parziale mascheramento del fronte di cava, sarà realizzata una scogliera in massi di prima categoria avente le seguenti misure geometriche della sezione trapezia: base inferiore B = 3,0 m.; Altezza H = 2, 0 m.; base sommitale b = 1,0 m.

Le sessioni di verifica di stabilità dei fronti in riporto considerano l'azione di spinta passiva esercitata dall'opera di contenimento rispetto al terreno in appoggio sulla stessa.

La scogliera sarà realizzata secondo le procedure previste per le opere di difesa spondale in alveo e secondo i criteri della corretta esecuzione.

CONCLUSIONI

Riassumendo i risultati delle analisi e delle verifiche di calcolo di cui ai paragrafi precedenti, è possibile concludere che le scelte progettuali relative sia ai manufatti esistenti, che al programma di coltivazione della cava, sono pienamente coerenti e compatibili con l'assetto geotecnico e strutturale dell'ammasso roccioso coinvolto dalle attività antoropiche.

Al contempo si esclude l'insorgenza di elementi pregiudizievoli per la corretta esecuzione degli interventi previsti dal progetto autorizzato alla luce degli elementi tecnico-prescrittivi di cui al dettato normativo vigente (D.M. 14.01.2008; Eurocodici 7.1, 7.2, 7.3 - Eurocodice 8).
Coerentemente con quanto sopra, i fronti di scavo previsti nella zona di ampliamento del sito estrattivo risultano stabili, secondo i profili delle diverse sezioni di progetto, così come indicato dalle sessioni di calcolo del valore del coefficiente di sicurezza all'equilibrio limite.



Savona, agosto 2017

ALLEGATI

- Verifiche di stabilità all'equilibrio limite dei fronti di scavo in roccia

- Verifiche di stabilità all'equilibrio limite dei fronti in rilevato in terre e rocce da scavo

VERIFICHE DI STABILITA' SEZIONE 1

L'analisi dei cinematismi possibili all'interno dell'ammasso roccioso è stato eseguita con il test di Matheson.
A partire dalle metodologie proposte da Hoek e Bray (1981) e modificate da Goodman (1981), Matheson (1983) ha proposto un metodo di valutazione, successivamente ripreso da Hudson e Harrison (1992) che consente di riconoscere rapidamente mediante una proiezione stereografica le possibili direzioni di movimento e le condizioni per cui esso si può verificare:
- Scivolamento planare:
    - -Si deve avere parallelismo tra direzione di movimento e pendio entro ± 20°;
    - -L'inclinazione del piano deve essere minore dell'inclinazione del pendio;
    - -L'inclinazione del piano deve essere superiore all'angolo d'attrito del piano.
- Scivolamento a cuneo:
    - -L'inclinazione della retta di intersezione dei piani deve essere superiore all'angolo d'attrito;
    - -La retta di intersezione deve affiorare sul versante.

Condizioni statiche

In mancanza di un riferimento diretto in NTC2008, si richiama, in parte, quanto espresso da EC7 § 11.5.2 e, in parte, da NTC2008. Pertanto, dovendosi verificare lo stato limite ultimo di resistenza del terreno (GEO) ed estrapolando l'approccio al caso di fronti di scavo (NTC2008 § 6.8), si è adottato l'Approccio 1 Combinazione 2 di coefficienti parziali (A2+M2+R2), e utilizzato valori = 1 per il coefficiente di amplificazione del carico (azione permanente) e ridotto i parametri geotecnici e la resistenza di progetto in base ai relativi coefficienti parziali.
In condizioni statiche la combinazione fondamentale dei carichi, dovuta alla sola azione permanente esercitata dal peso proprio del terreno (G_1), si riduce a $\gamma_{G1}G_1$, in cui γ_{G1} è il coefficiente parziale per le azioni permanenti, quindi $\gamma_{G1}G_1 = G_1$.
Si rammenta che tale criterio di analisi che assume il principio di comportamento del mezzo introdotto da Mohr-Coulomb nell'ambito delle analisi delle condizioni di rottura è ammissibile in un contesto di roccia giuntata in presenza di matrice intesa come prodotto dell'alterazione della roccia madre lungo i giunti di discontinuità che localmente la caratterizzano.
Solo nel caso di cui sopra valgono i criteri d'analisi proposti da NTC2008 per i fronti di scavo (paragrafo 6.8.II).
Pertanto, per le verifiche di stabilità globale, sono applicabili metodi all'equilibrio limite. Ricordando l'equazione formale 2.2.1 di NTC2008 e la definizione di resistenza di progetto (NTC2008 6.2.3), si hanno condizioni di stabilità quando:

$$\frac{R}{E_d} = \frac{R}{G_1} \geq \gamma_R \qquad (7)$$

ove

- R = resistenza del sistema geotecnico;
- E_d = effetto delle azioni di progetto, dovute al peso proprio del terreno (G_1);
- γ_R = coefficiente parziale R2 per le resistenze del sistema geotecnico, pari a 1,1 (NTC2008 Tabella 6.8.I).

Con *R* ed E_d determinate adottando, rispettivamente, i coefficienti parziali riduttivi e amplificativi M2 e A2 indicati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II di NTC2008 e di seguito riportati:

Tabella 2.

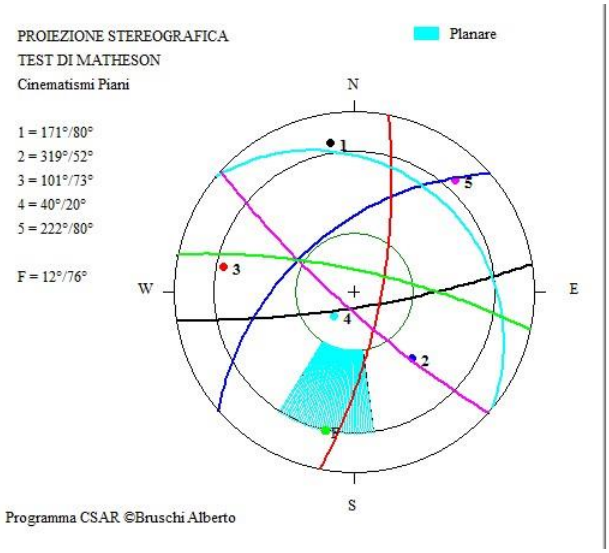
Coefficienti parziali per l'effetto delle azioni e per i parametri geotecnici del sistema

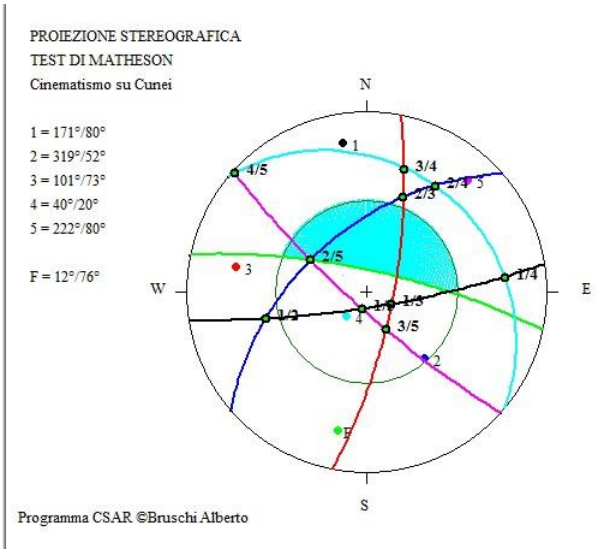
Carichi permanenti (peso proprio del terreno)	$\gamma_{G1} = 1,0$
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio di base dei giunti	$\gamma_{\varphi'} = 1,25$
Coesione efficace del materiale di riempimento dei giunti	$\gamma_{c'} = 1,25$
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu} = 1,6$

Condizioni dinamiche

L'analisi viene condotta valutando un incremento delle forze agenti lungo le superfici di scivolamento, mediante l'introduzione di forze inerziali pseudostatiche (Fh) calcolate a partire dall'accelerazione orizzontale attesa al suolo "ag", che determina una riduzione del valore del fattore di sicurezza assunto dall'analisi in condizioni statiche, mediante interpolazione lineare tra gli estremi del range di misura (valori di accelerazione e del Fattore di sicurezza).

SEZIONE D'ANALISI n. 5 DIREZIONE INCLINAZIONE 12°/76° - ALTEZZA SCAVO 15,0 m.





Dall'analisi del test di Matheson si evince la presenza di un cinematismo a cuneo formato dalla coppia di giunti 2 – 5 (319°/52° - 222°/80°).

ANALISI EFFETTUATE UTILIZZANDO IL CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK-BROWN – NTC 2008

ANALISI TRIDIMENSIONALE DEL CUNEO 2-5

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15,0	12,0	76,0	12,0	1,0	319,0	52,0	222,0	80,0

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Mohr-Coulomb

gamma	phi_A	c_A	phi_B	c_B
27,0	22,9	20,8	22,9	20,8

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
phi_A = Angolo d'attrito piano A (°)
c_A = Coesione piano A (kPa))
phi_B = Angolo d'attrito piano B (°)
c_B = Coesione piano B (kPa))

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	S
15,0	0,44	0,56	0,00	0,2	0,14	0,00	0,000

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°):	299,7
Inclinazione (°):	50,4

Coefficiente di Sicurezza = 52,377

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

Applicando il fattore di riduzione gr alle tensioni resistenti del sistema si ottiene il fattore del coefficiente di sicurezza definitivo in osservanza di NTC2008 (Approccio 1 Combinazione 2 GEO).

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Statiche = 47,615

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,000

Analisi dell'influenza dell'accelerazione sismica sul coefficiente di sicurezza

Ag	Fs
0,000	47,615
0,042	45,224
0,083	43,061

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Dinamiche per "ag" = 0,056 Fs = 44,485

ANALISI EFFETTUATE UTILIZZANDO IL CRITERIO DI ROTTURA DI BARTON

ANALISI TRIDIMENSIONALE DEL CUNEO 2-5

ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15,0	12,0	76,0	12,0	1,0	319,0	52,0	222,0	80,0

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
27,0	94,1	10,0	77,2	7,0	36,0

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	S
15,0	0,44	0,56	0,00	0,2	0,14	0,00	0,000

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°):	299,7
Inclinazione (°):	50,4

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°):	70,00
nel Piano B (°):	70,00

Coefficiente di Sicurezza = 2,147

Applicando il fattore di riduzione gr alle tensioni resistenti del sistema si ottiene il fattore del coefficiente di sicurezza definitivo in osservanza di NTC2008 (Approccio 1 Combinazione 2 GEO).

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Statiche = 1,952

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,000

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

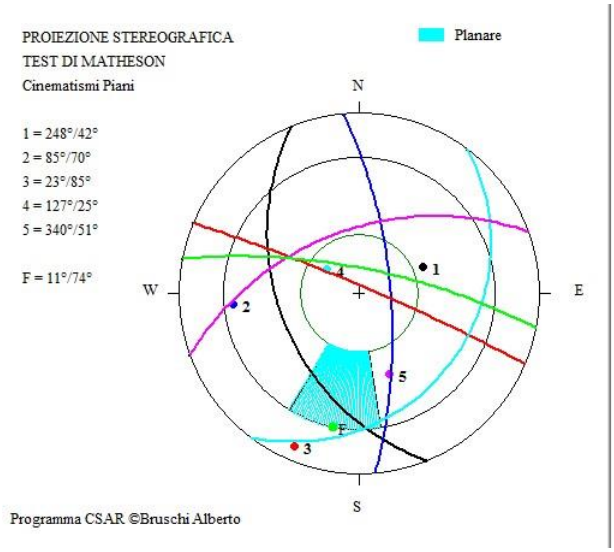
Circolazione idrica stillicidio

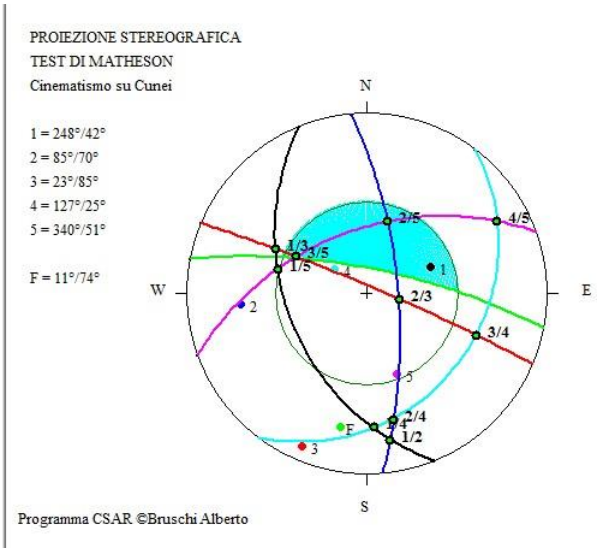
Analisi dell'influenza dell'accelerazione sismica sul coefficiente di sicurezza

Ag	Fs
0,000	1,952
0,042	1,756
0,083	1,570

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Dinamiche per “ag” = 0,056 Fs = 1,692

SEZIONE D'ANALISI n. 6 DIREZIONE INCLINAZIONE 12°/76°ALTEZZA SCAVO 15,0 m.





Dall'analisi del test di Matheson si evince la presenza di due cinematismi a cuneo formati dalle coppie di giunti 3 – 5 (23°/85° - 340°/51°) e 2 – 5 (85°/70° - 340°/51°).

ANALISI EFFETTUATE UTILIZZANDO IL CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK-BROWN – NTC 2008

ANALISI TRIDIMENSIONALE DEL CUNEO 3-5

ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15,0	11,0	74,0	11,0	1,0	23,0	85,0	340,0	51,0

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Mohr-Coulomb

gamma	phi_A	c_A	phi_B	c_B
27,0	27,2	28,0	27,2	28,0

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
phi_A = Angolo d'attrito piano A (°)
c_A = Coesione piano A (kPa))

phi_B = Angolo d'attrito piano B (°)
c_B = Coesione piano B (kPa))

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	S
15,0	14,42	7,46	0,00	67,7	0,00	42,62	0,000

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°):	297,6
Inclinazione (°):	42,4

Coefficiente di Sicurezza = 4,386

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica stillicidio

Applicando il fattore di riduzione gr alle tensioni resistenti del sistema si ottiene il fattore del coefficiente di sicurezza definitivo in osservanza di NTC2008 (Approccio 1 Combinazione 2 GEO).

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Statiche = 3,987

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,000

Analisi dell'influenza dell'accelerazione sismica sul coefficiente di sicurezza

Ag	Fs
0,000	3,987
0,042	3,784
0,083	3,599

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Dinamiche per “ag” = 0,056 Fs = 3,721

ANALISI TRIDIMENSIONALE DEL CUNEO 2-5

ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15,0	11,0	74,0	11,0	1,0	85,0	70,0	340,0	51,0

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Mohr-Coulomb

gamma	phi_A	c_A	phi_B	c_B
27,0	27,2	28,0	27,2	28,0

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
phi_A = Angolo d'attrito piano A (°)
c_A = Coesione piano A (kPa))
phi_B = Angolo d'attrito piano B (°)
c_B = Coesione piano B (kPa))

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	S
15,0	91,15	205,71	0,00	15570,3	5071,82	9665,66	0,000

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°):	16,3
Inclinazione (°):	44,9

Coefficiente di Sicurezza = 1,445

Applicando il fattore di riduzione gr alle tensioni resistenti del sistema si ottiene il fattore del coefficiente di sicurezza definitivo in osservanza di NTC2008 (Approccio 1 Combinazione 2 GEO).

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Statiche = 1,314

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,000

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica stillicidio

Analisi dell'influenza dell'accelerazione sismica sul coefficiente di sicurezza

Ag	Fs
0,000	1,314
0,042	1,232
0,083	1,157

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Dinamiche per "ag" = 0,056 Fs = 1,206

ANALISI EFFETTUATE UTILIZZANDO IL CRITERIO DI ROTTURA DI BARTON

ANALISI TRIDIMENSIONALE DEL CUNEO 3-5

ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15,0	11,0	74,0	11,0	1,0	23,0	85,0	340,0	51,0

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
27,0	93,5	8,0	80,5	6,0	36,0

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)

JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	S
15,0	14,42	7,46	0,00	67,7	0,00	42,62	0,000

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°):	297,6
Inclinazione (°):	42,4

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°):	70,00
nel Piano B (°):	60,89

Coefficiente di Sicurezza = 1,455

Applicando il fattore di riduzione gr alle tensioni resistenti del sistema si ottiene il fattore del coefficiente di sicurezza definitivo in osservanza di NTC2008 (Approccio 1 Combinazione 2 GEO).

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Statiche = 1,323

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,000

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica stillicidio

Analisi dell'influenza dell'accelerazione sismica sul coefficiente di sicurezza

Ag	Fs
0,000	1,323
0,042	1,225
0,083	1,138

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Dinamiche per “ag” = 0,056 Fs = 1,195

ANALISI TRIDIMENSIONALE DEL CUNEO 2-5

ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15,0	11,0	74,0	11,0	1,0	85,0	70,0	340,0	51,0

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
27,0	74,0	9,0	80,5	6,0	36,0

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
15,0	91,15	205,71	0,00	15570,3	5071,82	9665,66	0	0,000

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°):	16,3
Inclinazione (°):	44,9

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°):	64,11
nel Piano B (°):	55,40

Coefficiente di Sicurezza = 2,227

Applicando il fattore di riduzione gr alle tensioni resistenti del sistema si ottiene il fattore del coefficiente di sicurezza definitivo in osservanza di NTC2008 (Approccio 1 Combinazione 2 GEO).

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Statiche = 2,025

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,000

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

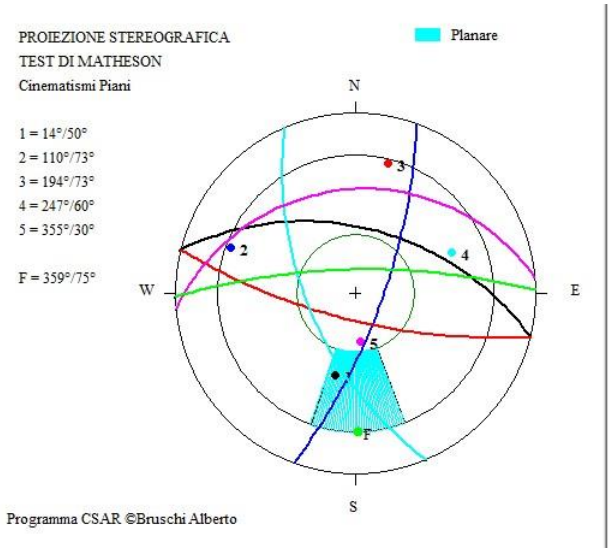
Circolazione idrica stillicidio

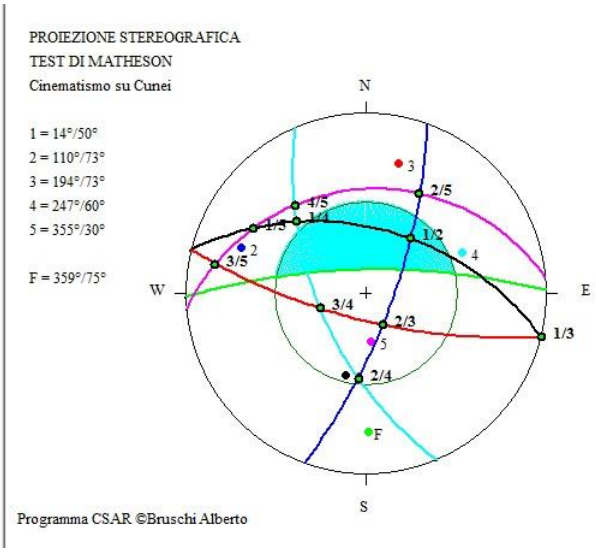
Analisi dell'influenza dell'accelerazione sismica sul coefficiente di sicurezza

Ag	Fs
0,000	2,227
0,042	2,049
0,083	1,882

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Dinamiche per “ag” = 0,056 Fs = 1,992

SEZIONE 8 DIREZIONE INCLINAZIONE 359°/75°ALTEZZA SCAVO METRI 15





Dall'analisi del test di Matheson si evince la presenza di cinematismo planare dovuto al giunto 1 (14°/50°) di un cinematismo a cuneo dovuto alla coppia di giunti 1 - 2 (14°/50° - 110°/73°).

ANALISI EFFETTUATE UTILIZZANDO IL CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK-BROWN – NTC 2008

ANALISI DELLO SCIVOLAMENTOPIANO 1

ANALISI DETERMINISTICA

GEOMETRIA DEL PROBLEMA

HF	In_F	In_Fs	In_P
15,0	75,0	1,0	49,0

HF = Altezza del fronte (m)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
In_P = Inclinazione del piano di scivolamento (°)

Non si è imposta la presenza di frattura di trazione

PARAMETRI GEOMECCANICI

Criterio di rottura di Mohr-Coulomb

gamma	phi	c
27	29,8	31,2

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
phi = Angolo d'attrito del giunto (°)
c = Coesione del giunto (kPa)

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

RISULTATI

LO SCIVOLAMENTO SUL PIANO 1 NON E' CINEMATICAMENTE POSSIBILE

ANALISI TRIDIMENSIONALE DEL CUNEO 1-2

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15,0	359,0	75,0	359,0	1,0	14,0	50,0	110,0	73,0

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Mohr-Coulomb

gamma	phi_A	c_A	phi_B	c_B
27,0	29,8	31,2	29,8	31,2

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
phi_A = Angolo d'attrito piano A (°)
c_A = Coesione piano A (kPa))
phi_B = Angolo d'attrito piano B (°)
c_B = Coesione piano B (kPa))

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	S
15,0	251,70	55,90	0,00	12205,5	7845,53	0,00	0,000

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°):	219,2
Inclinazione (°):	47,1

Coefficiente di Sicurezza = 1,320

Applicando il fattore di riduzione gr alle tensioni resistenti del sistema si ottiene il fattore del coefficiente di sicurezza definitivo in osservanza di NTC2008 (Approccio 1 Combinazione 2 GEO).

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Statiche = 1,200

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,000

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica stillicidio

Analisi dell'influenza dell'accelerazione sismica sul coefficiente di sicurezza

Ag	Fs
0,000	1,200
0,042	1,133
0,083	1,072

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Dinamiche per "ag" = 0,056 Fs = 1,112

ANALISI EFFETTUATE UTILIZZANDO IL CRITERIO DI ROTTURA DI BARTON

ANALISI TRIDIMENSIONALE DEL CUNEO 1-2

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15,0	359,0	75,0	359,0	1,0	14,0	50,0	110,0	73,0

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
27,0	53,2	7,0	93,2	7,0	36,0

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	S
15,0	251,70	55,90	0,00	12205,5	7845,53	0,00	0,000

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°):	219,2
Inclinazione (°):	47,1

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°):	58,63
nel Piano B (°):	70,00

Coefficiente di Sicurezza = 1,376

Applicando il fattore di riduzione gr alle tensioni resistenti del sistema si ottiene il fattore del coefficiente di sicurezza definitivo in osservanza di NTC2008 (Approccio 1 Combinazione 2 GEO).

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Statiche = 1,251

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,000

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica stillicidio

Analisi dell'influenza dell'accelerazione sismica sul coefficiente di sicurezza

Ag	Fs
0,000	1,251
0,042	1,160
0,083	1,083

Coefficiente di Sicurezza Condizioni Dinamiche per “ag” = 0,056 Fs = 1,134

Relazione di calcolo

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

Introduzione all'analisi di stabilità
La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.
Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

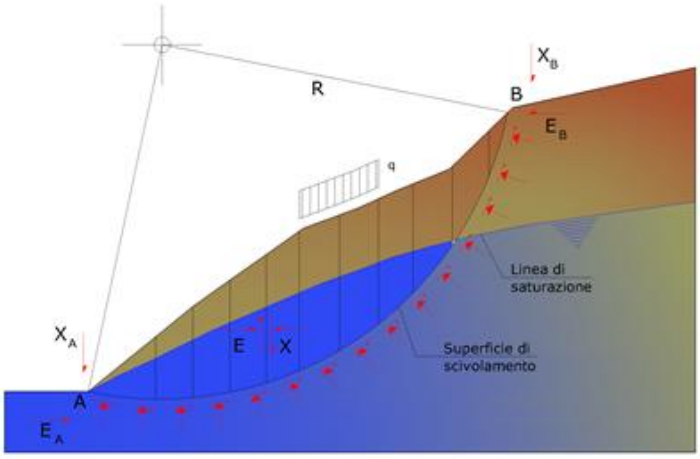
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido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

2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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



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

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

Complessivamente le incognite sono (6n-2).
Mentre le equazioni a disposizione sono:

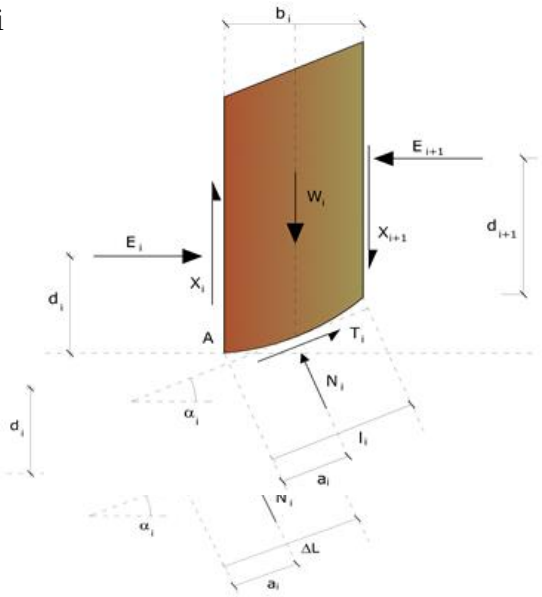
- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni 4n.
Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

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

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

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



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

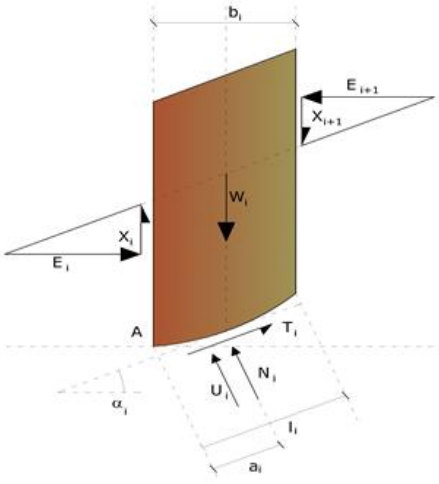
Incognite (2n+1).
Le equazioni a disposizione sono:

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

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

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

Metodo di Bishop (1955)
Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:



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

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

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come

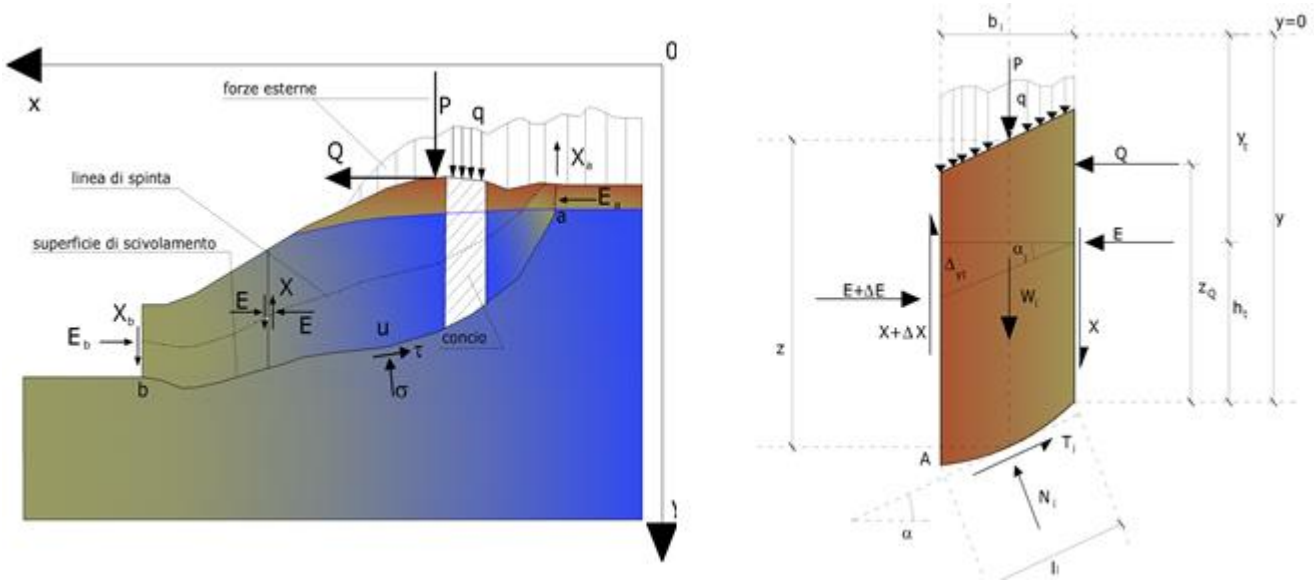
prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario,** gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Metodo di Janbu (1967)
Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.
Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel

caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente

valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

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

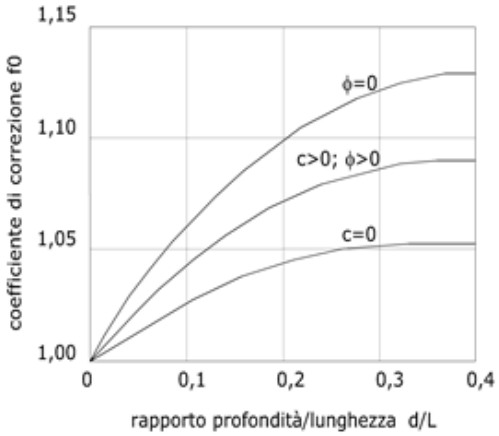


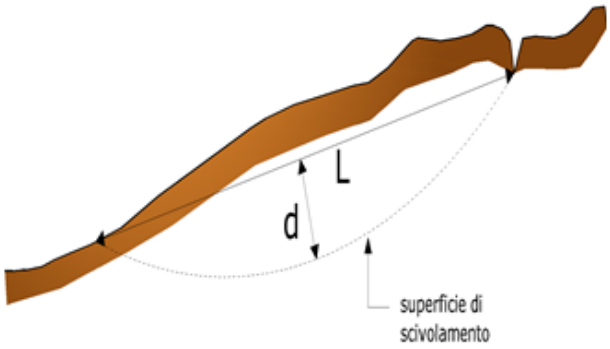
Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

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

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

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





Metodo di Bell (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, W, le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali $K_X W$ e $K_Z W$, le forze orizzontali e verticali X e Z applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori u che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell'i-esimo concio è data da:

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

in cui:

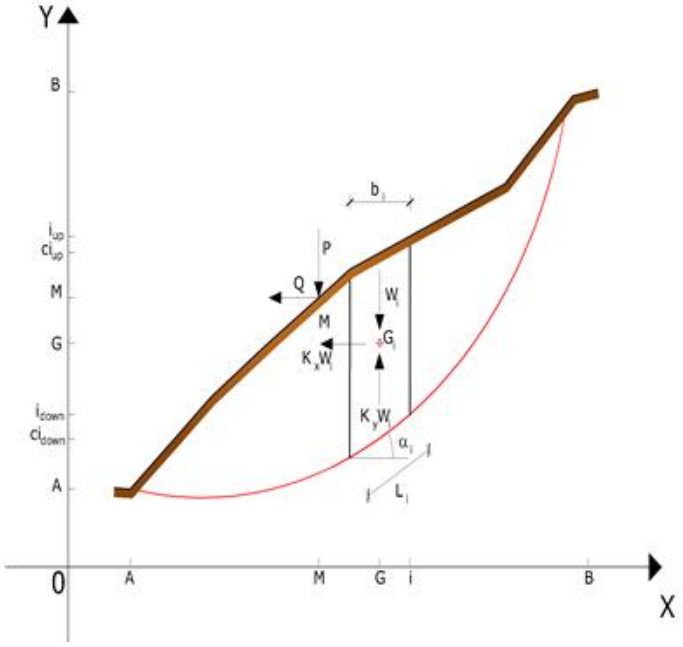
F = il fattore di sicurezza;

c_i = la coesione efficace (o totale) alla base dell'i-esimo concio;

ϕ_i = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell'i-esimo concio;

L_i = la lunghezza della base dell'i-esimo concio;

u_{ci} = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.



L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

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

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

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

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

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

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

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

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

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

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

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

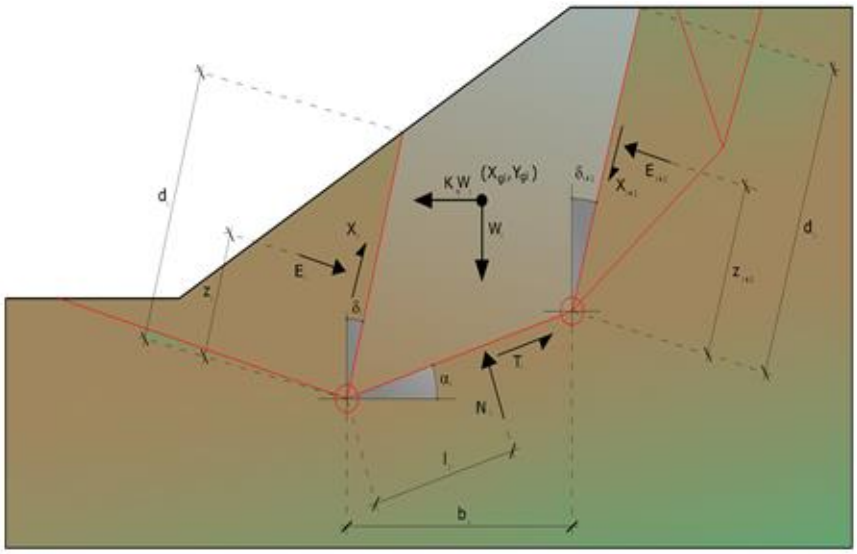
Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

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

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

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

dove E_i e X_i rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i-esima del concio generico i.
L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:



Azioni sull' iesimo concio, metodo di Sarma

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

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

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di **K** (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed

in particolare, trovare il valore dell'accelerazione **K** corrispondente al fattore di sicurezza **F = 1** , ossia l'accelerazione critica.
Si ha pertanto:

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

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

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

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

Metodo di Spencer (1967)
Il metodo è basato sull'assunzione:

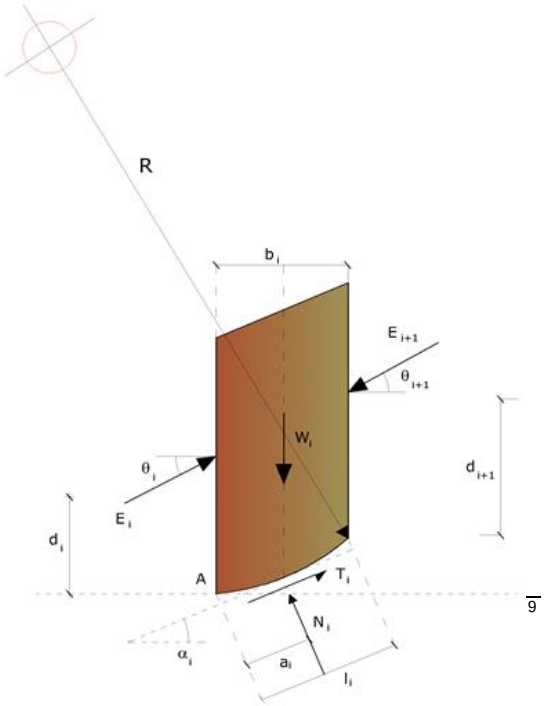
1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ;
2. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0$ con i=1…..n.

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

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

dove:

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



forza d'interazione fra i conci;
R = raggio dell'arco di cerchio;
θ = angolo d'inclinazione della forza Q_i rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos\theta) = 0$$
$$\sum (Q_i \operatorname{sen}\theta) = 0$$

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

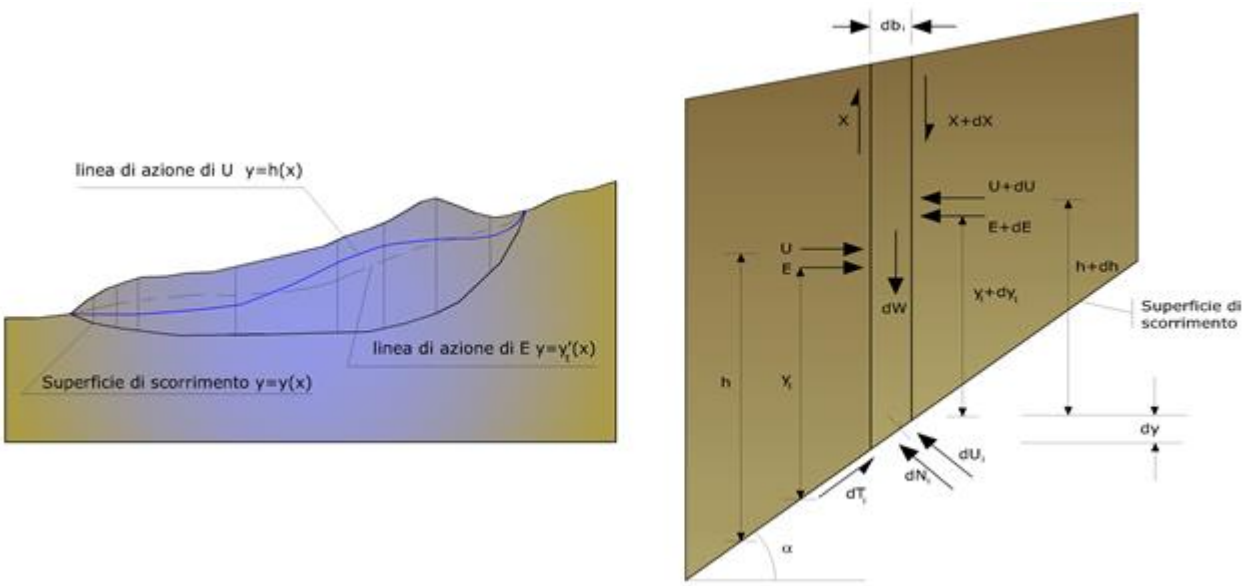
2) $\sum Q_i = 0$

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

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

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

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



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

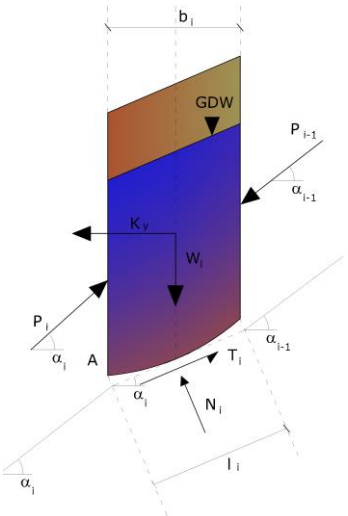
Una seconda equazione, detta "**equazione dei momenti**", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

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

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

Metodo di Zeng e Liang (2002)



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

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

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

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

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

Valutazione dell'azione sismica
La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.
Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

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

Essendo:

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

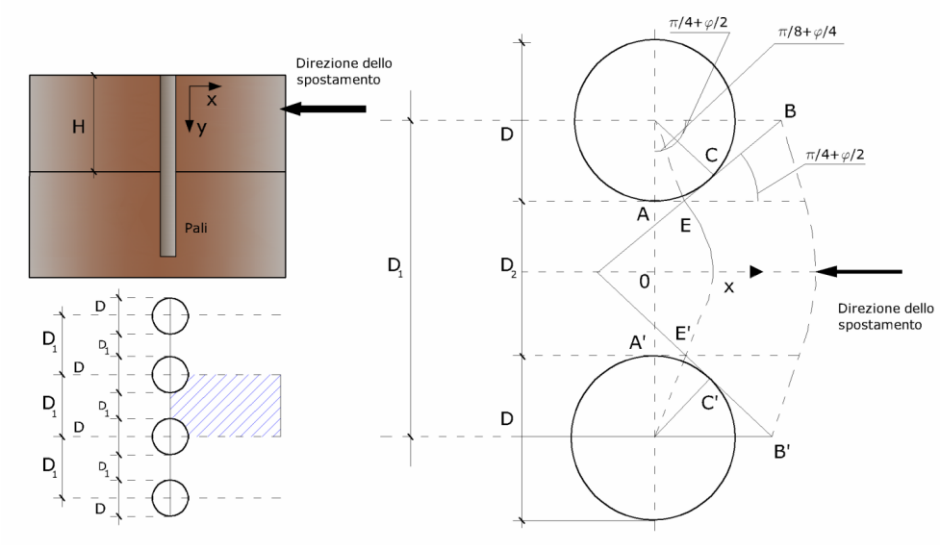
Ricerca della superficie di scorrimento critica
In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.
Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa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

Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali
La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già

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

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

Carico limite relativo all'interazione fra i pali ed il terreno laterale
Nei vari tipi di terreno che non hanno un comportamento omogeneo, le deformazioni in corrispondenza della zona di contatto non sono legate fra di loro. Quindi, non potendo associare al materiale un modello di comportamento perfettamente elastico (ipotesi che potrebbe essere assunta per i materiali lapidei poco fratturati), generalmente si procede imponendo che il movimento di massa sia nello stato iniziale e che il terreno in adiacenza ai pali sia nella fase massima consentita di plasticizzazione, oltre la quale si potrebbe verificare l'effetto indesiderato che il materiale possa defluire, attraverso la cortina di pali, nello spazio intercorrente fra un elemento e l'altro.



Imponendo inoltre che il carico assorbito dal terreno sia uguale a quello associato alla condizione limite ipotizzata e che fra due pali consecutivi, a seguito della spinta attiva, si instauri una sorta di effetto arco, gli autori T. Ito e T. Matsui (1975) hanno ricavato la relazione che permette di

determinare il carico limite. A questa si è pervenuto facendo riferimento allo schema statico, disegnato nella figura precedente e alle ipotesi anzidette, che schematicamente si ribadiscono.

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

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

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

dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:
C = coesione terreno;
φ = angolo di attrito terreno;
γ = peso specifico terreno;
D_1 = interasse tra i pali;
D_2 = spazio libero fra due pali consecutivi;
N_φ = $tag^2(\pi/4 + \varphi/2)$

$$K_1 = (N_\varphi)^{1/2} tag\varphi + N_\varphi - 1$$

$$K_2 = (D_1 - D_2)/D_2 \cdot N_\varphi tag(\pi/8 + \varphi/4)$$

$$K_3 = \left[2tag\varphi + 2(N_\varphi)^{1/2} + 1/(N_\varphi)^{1/2} \right] / \left[(N_\varphi)^{1/2} tag\varphi + N_\varphi - 1 \right]$$

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

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

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

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

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

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

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

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

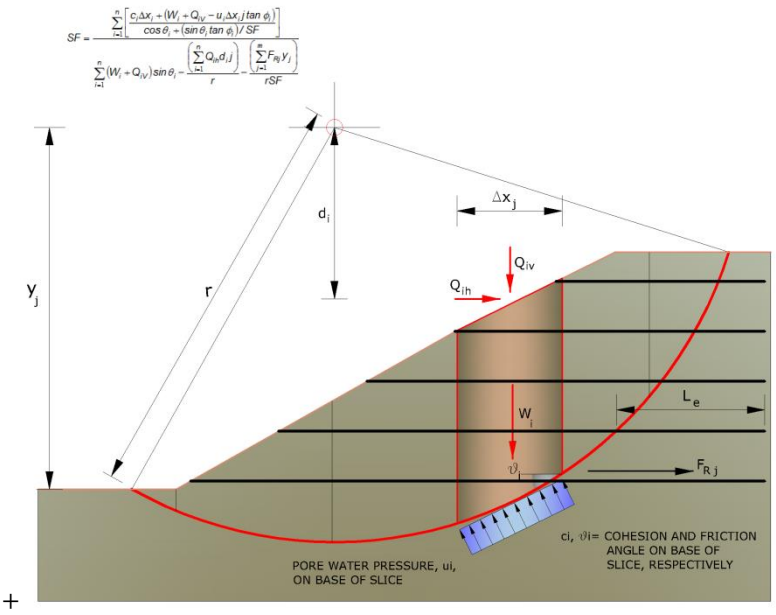
- A trovare, sul profilo topografico del pendio, la posizione che garantisca, a parità di altre condizioni, una distribuzione dei coefficienti di sicurezza più confortante;
- A determinare la disposizione planimetrica dei pali, caratterizzata dal rapporto fra interasse e distanza fra i pali (D2/D1), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno; sperimentalmente è stato riscontrato che,escludendo i casi limiti ($D_2 = 0$ P$\rightarrow \infty$ e $D_2 = D_1$ P$\rightarrow$ valore minimo), i valori più idonei allo scopo sono quelli per i quali tale rapporto risulta compreso fra 0,60 e 0,80;
- A valutare la possibilità di inserire più file di pali ed eventualmente, in caso affermativo, valutare, per le file successive, la posizione che dia più garanzie in termini di sicurezza e di spreco di materiali;
- Ad adottare il tipo di vincolo più idoneo che consente di ottenere una distribuzione più regolare delle sollecitazioni; sperimentalmente è stato constatato che quello che assolve, in maniera più soddisfacente, allo scopo è il vincolo che impedisce le rotazioni alla testa del palo.

Metodo del carico limite di Broms

Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.
Il problema di calcolo del carico limite orizzontale è stato affrontato da Broms sia per il mezzo puramente coesivo che per il mezzo incoerente, il metodo di calcolo seguito è basato su alcune ipotesi semplificative per quanto attiene alla reazione esercitata dal terreno per unità di lunghezza di palo in condizioni limite e porta in conto anche la resistenza a rottura del palo (*Momento di plasticizzazione*).

Elemento Rinforzo

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



Le verifiche di natura interna hanno lo scopo di valutare il livello di stabilità dell'ammasso rinforzato, quelle calcolate sono la verifica a rottura dell'elemento di rinforzo per trazione e la verifica a sfilamento (*Pullout*). Il parametro che fornisce la resistenza a trazione del rinforzo, T_{Allow}, si calcola dalla resistenza nominale del materiale con cui è realizzato il rinforzo ridotto da opportuni coefficienti che tengono conto dell'aggressività del terreno, danneggiamento per effetto creep e danneggiamento per installazione.
L' altro parametro è la resistenza a sfilamento (*Pullout*) che viene calcolata attraverso la seguente relazione:

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

Per geosintetico a maglie chiuse:

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

dove:

δ Rappresenta l'angolo di attrito tra terreno e rinforzo;

$T_{Pullout}$ Resistenza mobilitata da un rinforzo ancorato per una lunghezza L_e all'interno della parte stabile del terreno;

L_e Lunghezza di ancoraggio del rinforzo all'interno della parte stabile;

f_b Coefficiente di *Pullout*;

σ'_v Tensione verticale, calcolata alla profondità media del tratto di rinforzo ancorato al terreno.

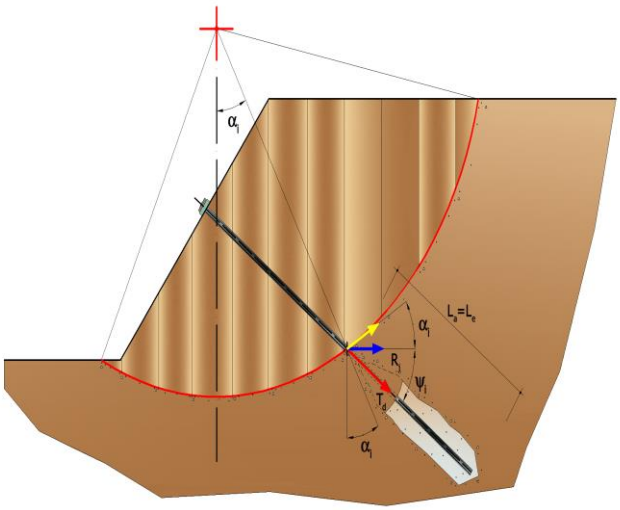
Ai fini della verifica si sceglie il valore minimo tra T_{Allow} e $T_{Pullout}$, la verifica interna verrà soddisfatta se la forza trasmessa dal rinforzo generata a tergo del tratto rinforzato non supera il valore della T'.

Ancoraggi

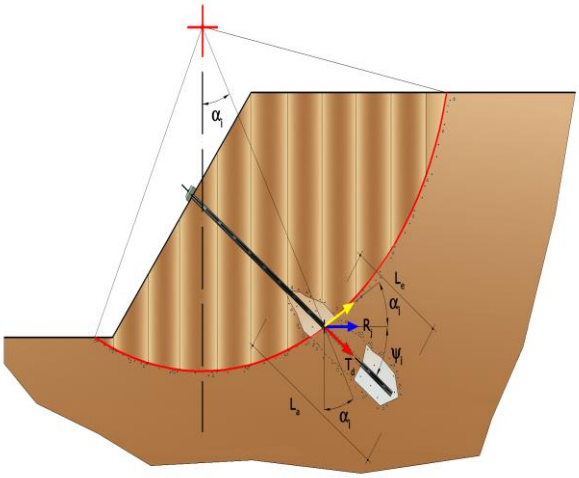
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.
Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

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

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



Bulbo completamente ancorato



Bulbo parzialmente ancorato

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

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

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

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

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

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

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

dove:

T_d tiro esercizio;
Ψ_i inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;
i interasse;
Le lunghezza efficace;
La lunghezza d'ancoraggio.

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

Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965) – sezone di progetto n. 5

==========

Zona	3,0
Lat./Long.	44,343916/8,412823
Normativa	NTC 2008 e Circ.
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

==========

Coefficienti sismici [N.T.C.]

==========

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
Classe d'uso: Classe II
Vita nominale: 50,0 [anni]
Vita di riferimento: 50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: A
Categoria topografica: T4

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,19	2,58	0,16
S.L.D.	50,0	0,24	2,55	0,19
S.L.V.	475,0	0,54	2,62	0,31
S.L.C.	975,0	0,67	2,69	0,33

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,266	0,2	0,0054	0,0027
S.L.D.	0,336	0,2	0,0069	0,0034
S.L.V.	0,756	0,2	0,0154	0,0077
S.L.C.	0,938	0,2	0,0191	0,0096

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,019
Coefficiente azione sismica verticale 0,01

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	2236,78	177,25
2	2236,78	177,25
3	2238,07	178,25
4	2240,24	179,06
5	2241,08	179,1
6	2244,71	179,14
7	2248,25	179,37
8	2249,96	179,4
9	2255,17	179,59
10	2255,17	179,59

11	2255,86	179,92
12	2258,68	179,92
13	2258,68	181,92
14	2268,85	186,25
15	2277,12	190,53
16	2285,08	194,34
17	2291,39	198,25
18	2295,12	200,25
19	2310,01	208,25
20	2313,83	210,25
21	2315,96	211,38
22	2323,66	211,57
23	2330,36	215,12
24	2360,86	221,29
25	2367,78	221,58
26	2409,23	240,91
27	2411,94	242,27
28	2421,16	242,46
29	2425,57	257,53
30	2434,34	257,7
31	2436,59	265,34
32	2438,97	272,79
33	2447,79	272,96
34	2452,24	288,05
35	2461,07	288,22
36	2461,08	288,25
37	2462,84	294,25
38	2465,54	303,2
39	2474,61	303,07
40	2476,75	310,25
41	2479,14	318,04
42	2488,18	317,9
43	2490,89	326,43
44	2492,79	331,25
45	2493,11	332,18
46	2504,63	339,95

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	2236,78	175,92
2	2255,19	178,7
3	2277,76	182,1
4	2344,62	194,03
5	2385,07	211,49
6	2413,18	227,24
7	2422,55	241,72

8	2436,6	257,05
9	2448,95	273,23
10	2460,44	286,43
11	2475,77	300,91
12	2490,25	317,09
13	2504,73	333,7

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	2236,78	177,25
2	2236,78	177,25
3	2238,07	178,25
4	2240,24	179,06
5	2241,08	179,1
6	2244,71	179,14
7	2248,25	179,37
8	2249,96	179,4
9	2255,17	179,59
10	2255,33	179,35
11	2260,13	179,49
12	2266,35	179,67
13	2272,66	179,72
14	2316,41	180,72
15	2367,74	182,2
16	2368,78	182,23
17	2369,08	182,23
18	2369,62	182,25
19	2370,31	182,27
20	2370,4	182,59
21	2373,75	196,27
22	2379,11	196,4
23	2382,46	196,47
24	2384,98	205,12
25	2386,77	211,57
26	2391,34	211,67
27	2395,48	211,77
28	2398,74	224,98
29	2399,33	226,99
30	2400,43	227,02
31	2407,98	227,2
32	2408,16	227,79
33	2410,09	234,54
34	2412,37	242,28
35	2412,76	242,29
36	2421,16	242,46
37	2422,18	245,96
38	2425,57	257,53
39	2428,58	257,59

40	2434,34	257,7
41	2436,59	265,34
42	2438,97	272,79
43	2442,41	272,86
44	2447,79	272,96
45	2448,99	277,02
46	2452,24	288,05
47	2453,75	288,08
48	2461,07	288,22
49	2462,46	293,0
50	2465,54	303,2
51	2466,69	303,18
52	2474,61	303,07
53	2476,49	309,38
54	2479,14	318,04
55	2486,35	317,93
56	2488,18	317,9
57	2490,89	326,43
58	2492,78	331,22
59	2493,11	332,18
60	2504,63	339,95

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	2259,71	182,47
2	2289,28	186,17
3	2349,7	199,39
4	2401,24	237,2

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	2260,43	182,78
2	2322,14	186,17
3	2354,24	208,83
4	2357,55	220,68

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia	
1	0,05		28	1800,00	2000	riporto	
2	0,26		27,8	2700	2700	rocce ignee	

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m³)
1	2258,68	179,92	0,5	0,5	2	1	3	2700

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

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1,22
Lambda = 0,392

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	4,7	7,18	4,74	5998,36
2	4,7	7,08	4,74	18030,34
3	4,7	7,08	4,74	32406,75
4	4,7	7,22	4,74	48001,87
5	4,7	7,08	4,74	62246,69
6	4,7	7,22	4,74	77388,66
7	4,7	11,28	4,79	95527,98
8	4,7	12,3	4,81	109068,9
9	4,7	12,3	4,81	121764,1
10	4,7	12,44	4,81	134409,1
11	4,7	12,3	4,81	147054,0
12	4,7	12,3	4,81	159303,2
13	4,7	12,44	4,81	159139,0
14	4,7	12,3	4,81	151370,7
15	4,7	12,3	4,81	163549,0
16	4,7	12,3	4,81	168626,3
17	4,7	12,44	4,81	167944,6
18	4,7	12,3	4,81	167262,7
19	4,7	12,3	4,81	166631,3

20	4,7	35,26	5,76	156270,6
21	4,7	36,33	5,84	135618,8
22	4,7	36,23	5,83	113974,7
23	4,7	36,33	5,84	86433,33
24	4,7	36,23	5,83	69088,34
25	4,7	36,23	5,83	58494,36
26	4,7	36,33	5,84	47849,75
27	4,7	36,23	5,83	37205,0
28	4,7	36,23	5,83	26610,75
29	4,7	36,33	5,84	15966,14
30	4,7	36,25	5,83	5309,39

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	1001,62	2554,66	0,0	0,0	5322,03	3101,76	0,0
2	2865,77	7309,27	1001,62	2554,66	16765,71	6731,45	0,0
3	5754,34	14676,68	2865,77	7309,27	30446,97	11071,19	0,0
4	9696,89	24732,3	5754,34	14676,68	45335,63	15794,38	0,0
5	14711,65	37522,66	9696,89	24732,3	58844,1	20078,87	0,0
6	20713,57	52830,79	14711,65	37522,66	73327,95	24673,65	0,0
7	24914,13	63544,49	20713,57	52830,79	92241,38	30689,44	0,0
8	28787,08	73422,6	24914,13	63544,49	105509,6	34903,53	0,0
9	33045,91	84284,91	28787,08	73422,6	117818,8	38808,05	0,0
10	37549,79	95772,24	33045,91	84284,91	130092,7	42702,14	0,0
11	42576,84	108594,0	37549,79	95772,24	142339,7	46586,16	0,0
12	47976,27	122365,4	42576,84	108594,0	154216,3	50353,49	0,0
13	53206,02	135704,1	47976,27	122365,4	154072,3	50308,57	0,0
14	58364,43	148860,8	53206,02	135704,1	146525,0	47913,78	0,0
15	63892,65	162960,8	58364,43	148860,8	158333,0	51659,32	0,0
16	69575,36	177454,8	63892,65	162960,8	163255,9	53220,89	0,0
17	75063,57	191452,7	69575,36	177454,8	162610,7	53016,98	0,0
18	80704,84	205841,0	75063,57	191452,7	161933,8	52801,5	0,0
19	86326,72	220179,8	80704,84	205841,0	161321,6	52607,32	0,0
20	68373,47	174389,3	86326,72	220179,8	115385,1	38318,27	0,0
21	52018,72	132675,8	68373,47	174389,3	97296,63	32603,68	0,0
22	38434,39	98028,46	52018,72	132675,8	82056,13	27767,23	0,0
23	28231,0	72004,3	38434,39	98028,46	62164,72	21459,7	0,0
24	20235,08	51610,38	28231,0	72004,3	49907,36	17569,51	0,0
25	13558,12	34580,53	20235,08	51610,38	42319,66	15162,67	0,0
26	8180,17	20863,84	13558,12	34580,53	34605,45	12717,79	0,0
27	4153,76	10594,34	8180,17	20863,84	27071,67	10325,94	0,0
28	1446,36	3688,99	4153,76	10594,34	19483,79	7919,04	0,0
29	55,91	142,6	1446,36	3688,99	11831,81	5493,91	0,0
30	0,0	0,0	55,91	142,6	4225,46	3079,54	0,0

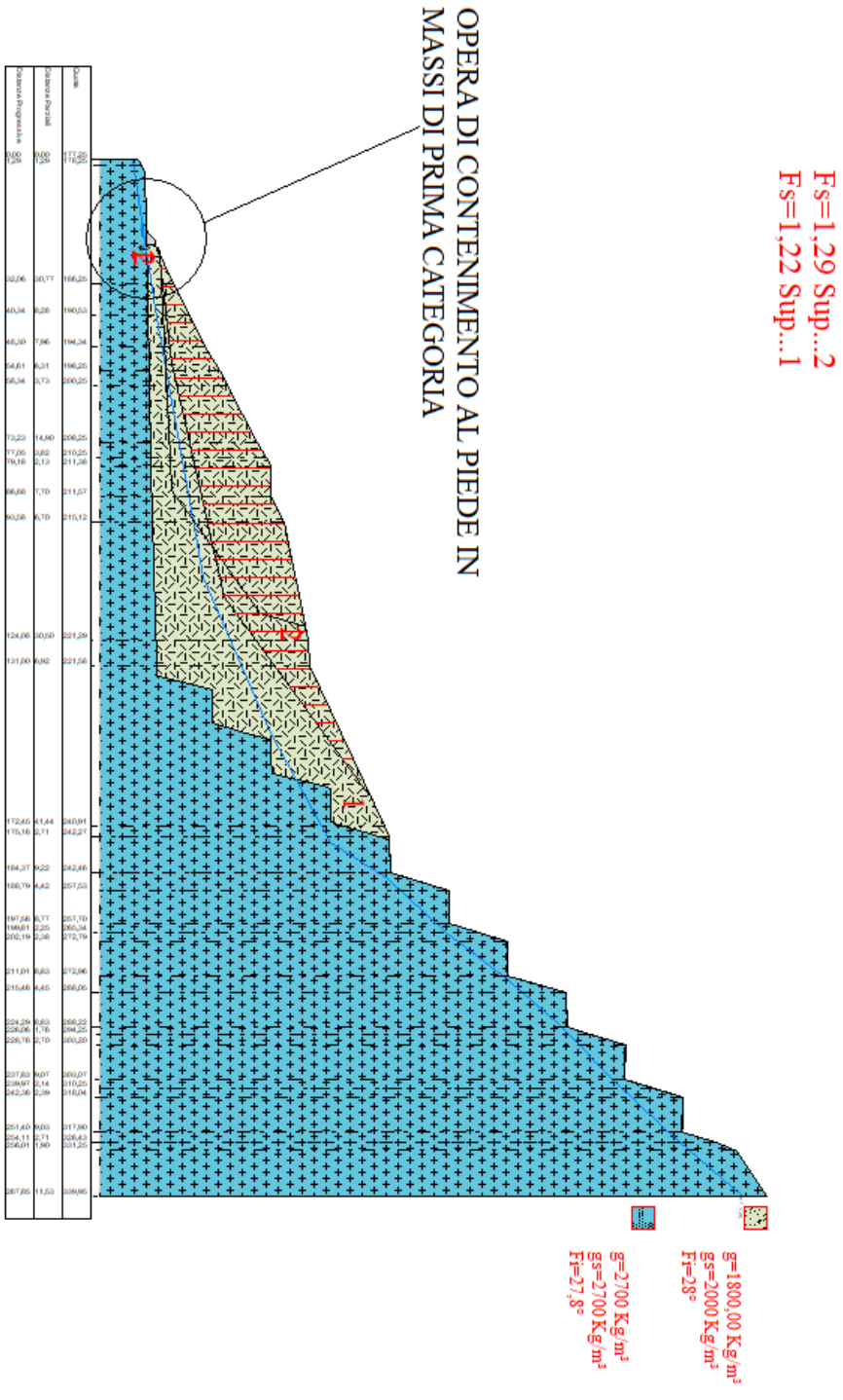
Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=1,29
Lambda = 0,375

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	3,23	3,23	3,23	3472,4
2	3,23	2,96	3,23	10462,3
3	3,23	3,17	3,23	17462,38
4	3,23	3,17	3,23	26103,79
5	3,23	3,17	3,23	34753,79
6	3,23	3,17	3,23	43096,39
7	3,23	3,17	3,23	51028,49
8	3,23	3,17	3,23	58960,59
9	3,23	3,17	3,23	69410,4
10	3,23	3,17	3,23	79985,39
11	3,23	2,96	3,23	89296,67
12	3,23	3,17	3,23	98606,11
13	3,23	3,17	3,23	107878,4
14	3,23	3,17	3,23	117150,5
15	3,23	3,17	3,23	126430,4
16	3,23	3,17	3,23	135644,3
17	3,23	3,17	3,23	144673,2
18	3,23	3,17	3,23	150189,5
19	3,23	3,17	3,23	149863,8
20	3,23	34,52	3,91	142952,8
21	3,23	35,22	3,95	138753,5
22	3,23	35,22	3,95	134604,4
23	3,23	35,22	3,95	125644,2
24	3,23	35,22	3,95	116211,3
25	3,23	35,22	3,95	106778,3
26	3,23	35,22	3,95	97345,27
27	3,23	35,22	3,95	87912,34
28	3,23	35,22	3,95	78479,23
29	3,23	37,36	4,06	68508,33
30	3,23	74,39	11,99	31627,23

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	687,83	1833,99	0,0	0,0	2914,57	1784,05	0,0
2	2041,6	5443,62	687,83	1833,99	9377,1	3720,75	0,0
3	4021,37	10722,37	2041,6	5443,62	15907,07	5678,09	0,0
4	6797,96	18125,7	4021,37	10722,37	23934,41	8084,04	0,0
5	10372,03	27655,41	6797,96	18125,7	31969,89	10492,42	0,0
6	14715,31	39236,08	10372,03	27655,41	39719,74	12815,2	0,0
7	19790,05	52767,11	14715,31	39236,08	47088,1	15023,63	0,0
8	25596,04	68247,86	19790,05	52767,11	54456,75	17232,16	0,0

9	32365,51	86297,62	25596,04	68247,86	64164,08	20141,63	0,0
10	40090,63	106895,4	32365,51	86297,62	73844,85	23043,14	159,11
11	48671,7	129775,5	40090,63	106895,4	81106,58	25219,44	1485,59
12	57794,98	154101,4	48671,7	129775,5	88795,16	27524,03	2773,63
13	67618,52	180294,3	57794,98	154101,4	96269,44	29764,21	4042,48
14	78142,56	208355,0	67618,52	180294,3	103743,3	32004,26	5311,29
15	89362,61	238271,5	78142,56	208355,0	111190,4	34236,32	6618,57
16	101277,5	270040,8	89362,61	238271,5	118610,5	36460,24	7887,42
17	113870,3	303617,5	101277,5	270040,8	125858,8	38632,69	9156,17
18	126817,0	338137,8	113870,3	303617,5	129843,9	39827,1	10425,02
19	139574,6	372154,1	126817,0	338137,8	128367,3	39384,56	11732,26
20	122301,8	326098,9	139574,6	372154,1	93769,2	29207,69	9712,15
21	105612,2	281598,4	122301,8	326098,9	95663,41	29784,87	4308,49
22	89948,89	239834,8	105612,2	281598,4	98299,1	30574,84	0,0
23	75353,2	200917,7	89948,89	239834,8	91773,64	28619,04	0,0
24	61881,43	164997,3	75353,2	200917,7	84903,87	26560,03	0,0
25	49533,69	132073,9	61881,43	164997,3	78034,41	24501,13	0,0
26	38309,76	102147,0	49533,69	132073,9	71164,19	22441,99	0,0
27	28209,74	75216,91	38309,76	102147,0	64294,41	20382,99	0,0
28	19233,74	51283,78	28209,74	75216,91	57424,79	18324,03	0,0
29	10612,53	28296,67	19233,74	51283,78	47113,43	15264,44	0,0
30	-0,01	-0,02	10612,53	28296,67	-16384,06	-1531,48	0,0


OPERA DI CONTENIMENTO AL PIEDE IN MASSI DI PRIMA CATEGORIA
Fs=1,29 Sup...2
Fs=1,22 Sup...1
g=1800,00 Kg/m³
gs=2000 Kg/m³
Fi=28°
g=2700 Kg/m³
gs=2700 Kg/m³
Fi=27,8°

Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965) –sezione di progetto n. 6

==========

Normativa	
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

==========

Sisma

==========

Coefficiente azione sismica verticale	0,01

==========

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	2582,7	170,26
2	2581,11	170,3
3	2574,78	170,11
4	2583,38	170,39
5	2586,07	172,02
6	2589,89	172,02
7	2589,89	174,02
8	2597,15	176,73
9	2599,7	177,79
10	2625,09	189,93
11	2627,05	190,77
12	2630,63	192,55
13	2642,42	197,83
14	2644,72	198,89
15	2651,37	202,05
16	2653,62	203,11
17	2656,13	204,32
18	2662,82	204,59
19	2665,94	204,73
20	2673,77	208,6
21	2678,36	211,24
22	2691,39	214,23
23	2693,9	214,66
24	2695,87	215,14

25	2701,08	216,27
26	2708,28	217,85
27	2712,89	218,73
28	2720,38	221,32
29	2722,58	221,84
30	2727,51	222,91
31	2729,84	222,97
32	2736,58	221,46
33	2738,0	221,41
34	2738,0	221,39
35	2741,89	224,26
36	2744,85	226,44
37	2747,99	228,62
38	2749,47	229,45
39	2751,2	230,49
40	2754,21	232,56
41	2761,75	237,87
42	2770,39	238,28
43	2774,35	253,48
44	2783,07	253,89
45	2786,03	265,35
46	2787,03	269,08
47	2795,49	269,47
48	2799,38	284,65
49	2807,82	285,04
50	2811,75	300,23
51	2820,19	300,62
52	2824,1	315,82
53	2832,51	316,22
54	2835,62	330,26
55	2836,02	330,71
56	2845,21	338,81
57	2853,02	345,49
58	2853,81	346,1
59	2860,1	351,85
60	2862,96	353,5

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	2582,7	171,27
2	2586,34	172,06
3	2620,29	179,43
4	2732,37	209,7
5	2762,23	236,7
6	2772,05	237,92
7	2783,09	252,65
8	2796,18	269,01
9	2807,64	283,33
10	2820,73	298,87

11	2832,59	314,01
12	2862,45	350,82
13	2862,96	351,45

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	2582,7	170,26
2	2581,11	170,3
3	2574,78	170,11
4	2583,38	170,39
5	2585,05	171,4
6	2713,41	177,48
7	2716,8	177,63
8	2717,18	177,65
9	2717,25	177,87
10	2720,94	191,0
11	2726,83	191,23
12	2729,95	191,37
13	2732,19	199,53
14	2734,15	206,58
15	2737,99	206,74
16	2743,25	206,98
17	2744,43	211,34
18	2747,51	222,18
19	2749,18	222,26
20	2757,41	222,64
21	2757,74	222,66
22	2757,78	222,66
23	2757,82	222,81
24	2761,75	237,87
25	2763,0	237,93
26	2770,39	238,28
27	2771,79	243,64
28	2774,35	253,48
29	2778,82	253,69
30	2783,07	253,89
31	2785,73	264,21
32	2787,03	269,08
33	2794,29	269,41
34	2795,49	269,47
35	2799,24	284,13
36	2799,38	284,65
37	2800,84	284,72
38	2807,82	285,04
39	2808,47	287,55
40	2811,75	300,23
41	2814,33	300,35
42	2820,19	300,62
43	2822,05	307,86
44	2824,1	315,82
45	2829,66	316,09

46	2832,51	316,22
47	2835,62	330,26
48	2836,02	330,71
49	2845,21	338,81
50	2861,18	352,47
51	2862,96	353,5

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	2575,78	170,24
2	2631,35	179,98
3	2683,75	189,0
4	2729,27	214,77
5	2736,64	219,62

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	2589,85	173,6
2	2625,3	173,14
3	2657,1	178,2
4	2685,28	202,05
5	2708,25	217,87

Vertici superficie Nr...3

N	X m	y m
1	2606,6	181,2
2	2623,13	176,39
3	2638,67	176,03
4	2647,34	176,39
5	2657,1	186,51
6	2670,11	200,24
7	2683,64	212,49

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

==========

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

==========

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia	
1	0,05		28	1800,00	2000	riporto	
2	2,6		27,8	2700	2700	rocce ignee	

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m³)
1	2589,88	172,02	0,5	0,5	2	1	3	2700

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1,52
Lambda = 0,295

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	14,67	9,94	14,89	74155,13
2	14,67	9,96	14,89	189192,0
3	14,67	9,89	14,89	307394,2
4	14,67	9,78	14,88	422344,8
5	14,67	9,78	14,88	560970,2
6	14,67	9,73	14,88	553932,2
7	14,67	22,28	15,85	593632,9
8	14,67	29,5	16,85	479829,3
9	14,67	29,5	16,85	339714,8
10	14,67	31,47	17,19	118479,4

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	3848,32	13053,15	0,0	0,0	65939,1	25466,83	6201,46
2	11664,32	39564,29	3848,32	13053,15	169702,1	58523,18	15157,47
3	23227,1	78784,16	11664,32	39564,29	271665,2	91004,96	29094,43
4	37959,09	128753,7	23227,1	78784,16	363757,0	120341,4	49848,48
5	60528,14	205305,8	37959,09	128753,7	479210,3	157121,6	71002,88
6	77030,81	261281,3	60528,14	205305,8	451202,8	148198,6	92070,0
7	56128,02	190381,0	77030,81	261281,3	452611,4	148937,5	87616,95
8	25277,59	85739,23	56128,02	190381,0	350291,6	116641,3	40767,6
9	6689,94	22691,64	25277,59	85739,23	283767,9	95448,59	0,0
10	0,0	-0,01	6689,94	22691,64	95924,77	35710,13	0,0

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=1,31
Lambda = 0,337

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	11,83	-0,73	11,83	59161,38
2	11,83	-0,75	11,83	182980,6
3	11,83	-0,67	11,83	312895,6
4	11,83	9,05	11,97	418963,6
5	11,83	9,05	11,97	495002,2
6	11,83	20,71	12,64	565290,1
7	11,83	40,26	15,5	412399,6
8	11,83	40,22	15,49	317062,3
9	11,83	34,97	14,43	180204,9
10	11,83	34,57	14,36	59083,0

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	9483,58	28104,91	0,0	0,0	42777,15	19939,71	7129,7
2	33015,87	97843,64	9483,58	28104,91	121102,4	48916,32	39244,64
3	71307,09	211321,0	33015,87	97843,64	205083,0	79985,02	71291,56
4	90457,77	268074,7	71307,09	211321,0	308326,5	118231,7	98334,34
5	113144,4	335307,3	90457,77	268074,7	366766,8	139851,8	113699,8
6	103205,9	305854,2	113144,4	335307,3	415633,3	158162,4	113910,1
7	49756,25	147454,3	103205,9	305854,2	169745,4	68188,32	66050,16
8	16476,52	48828,72	49756,25	147454,3	206225,1	81681,4	0,0
9	3214,84	9527,29	16476,52	48828,72	137487,9	55884,21	0,0
10	0,02	0,05	3214,84	9527,29	46375,28	22152,91	0,0

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=1,62
Lambda = 0,328

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	7,68	-16,2	8,0	40854,95
2	7,68	-16,22	8,0	124397,9
3	7,68	-3,38	7,7	198302,8
4	7,68	-1,33	7,69	256081,3
5	7,68	1,76	7,69	306489,8
6	7,68	37,08	9,63	325587,8
7	7,68	46,26	11,12	256888,8
8	7,68	46,53	11,17	144869,2
9	7,68	43,33	10,56	81470,78
10	7,68	42,13	10,36	35903,05

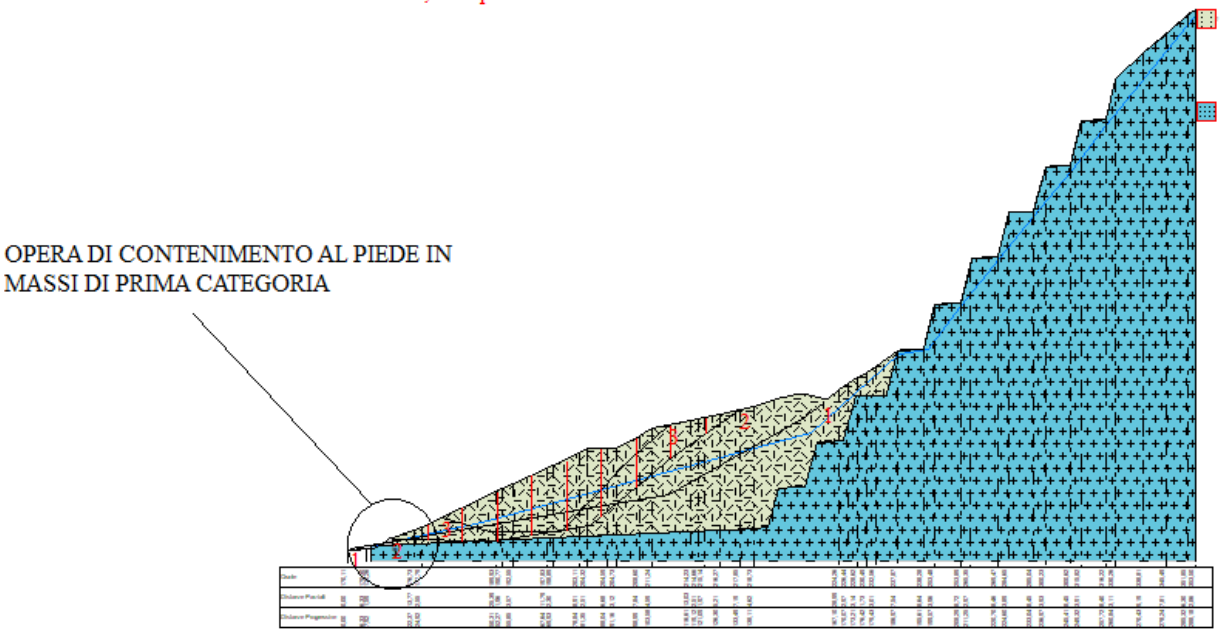
Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	12123,79	36994,59	0,0	0,0	17660,57	7517,27	0,0
2	45553,84	139003,3	12123,79	36994,59	50593,41	17347,21	9080,85
3	69577,84	212310,3	45553,84	139003,3	137050,2	43067,06	34525,93
4	95267,86	290700,9	69577,84	212310,3	178156,6	55333,24	52894,46
5	118214,9	360721,6	95267,86	290700,9	219984,1	67818,29	68610,89
6	80040,28	244235,4	118214,9	360721,6	153335,6	48470,78	61328,32
7	37037,52	113016,5	80040,28	244235,4	79430,09	26827,91	24099,52
8	14783,21	45109,59	37037,52	113016,5	66687,62	23039,84	0,0
9	4028,92	12293,88	14783,21	45109,59	45156,61	16443,38	0,0
10	-0,08	-0,25	4028,92	12293,88	21633,52	9365,33	0,0

VERIFICA AGLI STATI LIMITE SLC - SEZIONE DI PROGETTO n. 6

Algoritmo di clcolo di MrgensternPrice

Fs=1,62 Sup...3
Fs=1,31 Sup...2
Fs=1,52 Sup...1



Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965) –sezione di progetto n. 8

==========

Normativa	
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

==========

Sisma

==========

Coefficiente azione sismica verticale	0,0096

==========

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	2261,98	-30,05
2	2262,86	-29,6
3	2266,77	-29,6
4	2266,77	-27,6
5	2281,69	-19,96
6	2286,32	-17,77
7	2290,82	-15,37
8	2297,1	-12,39
9	2305,21	-9,01
10	2307,65	-8,01
11	2310,55	-8,01
12	2318,34	-7,01
13	2325,7	-6,01
14	2333,58	-4,75
15	2354,71	-2,38
16	2358,38	-0,77
17	2365,43	-0,93
18	2384,58	10,99
19	2396,92	12,99
20	2398,87	13,27
21	2405,02	14,19
22	2418,62	15,42
23	2423,43	15,99
24	2429,5	16,99

25	2443,62	19,86
26	2444,18	19,99
27	2462,75	24,25
28	2464,7	24,59
29	2480,07	27,77
30	2481,96	27,75
31	2495,45	27,5
32	2497,69	27,49
33	2499,14	32,29
34	2500,93	38,61
35	2509,62	38,7
36	2514,14	52,56
37	2514,5	53,75
38	2523,36	53,83
39	2523,38	53,88
40	2527,73	68,84
41	2529,33	68,81
42	2532,19	68,5
43	2536,62	68,58
44	2537,61	72,0
45	2540,14	71,99
46	2543,06	71,5
47	2557,44	70,99
48	2564,54	70,53
49	2569,58	71,26

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	2261,98	-29,54
2	2264,15	-29,33
3	2328,66	-22,78
4	2410,87	-20,81
5	2460,65	-10,0
6	2469,49	-7,38
7	2482,27	7,68
8	2497,33	21,11
9	2509,78	39,12
10	2524,19	52,88
11	2536,63	66,63
12	2566,76	70,24
13	2569,58	70,57

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	2261,98	-30,05
2	2288,31	-29,0
3	2291,16	-28,86
4	2297,0	-28,73
5	2302,35	-28,91

6	2307,68	-28,89
7	2311,93	-29,06
8	2325,7	-29,0
9	2334,57	-28,93
10	2340,35	-28,92
11	2356,3	-28,55
12	2361,32	-28,61
13	2369,87	-29,17
14	2377,61	-28,99
15	2381,91	-28,93
16	2398,27	-28,92
17	2407,59	-29,0
18	2409,87	-28,0
19	2413,07	-27,0
20	2425,37	-26,82
21	2429,88	-26,73
22	2446,01	-26,32
23	2448,87	-17,9
24	2457,86	-17,86
25	2461,34	-6,39
26	2463,91	-6,37
27	2470,28	-6,35
28	2471,54	-1,96
29	2474,35	8,7
30	2476,86	8,73
31	2482,98	8,75
32	2486,75	20,43
33	2487,64	23,45
34	2496,5	23,55
35	2498,44	30,0
36	2500,95	38,62
37	2509,65	38,71
38	2514,17	52,57
39	2514,53	53,76
40	2523,39	53,84
41	2523,4	53,89
42	2527,76	68,85
43	2529,36	68,82
44	2532,22	68,51
45	2536,65	68,59
46	2537,64	72,01
47	2540,16	72,0
48	2543,09	71,51
49	2557,47	71,0
50	2564,57	70,55
51	2569,58	71,26

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	2266,74	-28,21

2	2300,36	-23,62
3	2341,62	-22,85
4	2389,76	-19,8
5	2441,71	-5,66
6	2489,58	27,66

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	2268,48	-26,61
2	2338,18	-24,76
3	2369,51	-4,52
4	2385,18	11,13

Vertici superficie Nr...3

N	X m	y m
1	2365,79	-0,6
2	2388,23	-0,7
3	2412,46	14,9

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

==========

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

==========

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia	
1	0,05		28	1800,00	2000	riporto	
2	2,6		27,8	2700	2700	rocce ignee	

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m³)
1	2266,76	-29,6	0,5	0,5	2	1	3	2700

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=2,29
Lambda = 0,232

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	22,27	7,78	22,48	192093,9
2	22,27	4,48	22,34	528841,6
3	22,27	1,07	22,27	671658,8
4	22,27	2,7	22,3	760845,8
5	22,27	3,61	22,31	853614,7
6	22,27	9,28	22,57	1221450,0
7	22,27	15,24	23,08	1148367,0
8	22,27	18,46	23,48	1001482,0
9	22,27	34,85	27,14	736292,2
10	22,27	34,84	27,13	302882,3

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	4335,15	18683,59	0,0	0,0	190387,2	44596,27	0,0
2	22031,61	94951,66	4335,15	18683,59	520601,8	114189,1	0,0
3	54604,61	235334,5	22031,61	94951,66	648050,1	141046,8	0,0
4	85572,26	368798,6	54604,61	235334,5	740885,7	160623,7	1769,76
5	116783,4	503312,3	85572,26	368798,6	837425,8	180981,5	0,0
6	131074,3	564903,1	116783,4	503312,3	1212865,0	260186,3	0,0
7	116632,4	502661,5	131074,3	564903,1	1116187,0	239905,7	0,0
8	91421,52	394007,8	116632,4	502661,5	948596,3	204650,6	0,0
9	26132,34	112625,0	91421,52	394007,8	502784,5	111384,3	0,0
10	0,0	0,0	26132,34	112625,0	208075,3	49248,94	0,0

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=2,51
Lambda = 0,271

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	11,64	1,53	11,64	59368,25
2	11,64	1,53	11,64	174159,7
3	11,64	1,53	11,64	288086,3
4	11,64	1,53	11,64	368564,3
5	11,64	1,47	11,64	393084,1
6	11,64	2,72	11,65	421878,6
7	11,64	32,88	13,86	360564,1
8	11,64	32,88	13,86	239447,6
9	11,64	37,49	14,67	114441,5
10	11,64	44,96	16,45	51049,57

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)

1	3395,02	12543,02	0,0	0,0	56858,28	13054,05	0,0
2	12211,35	45115,21	3395,02	12543,02	167823,4	34417,53	0,0
3	26406,14	97558,29	12211,35	45115,21	277955,4	55620,63	0,0
4	43898,64	162184,9	26406,14	97558,29	346964,6	68906,57	9237,22
5	62118,64	229499,2	43898,64	162184,9	360797,7	71569,71	19432,96
6	78628,0	290493,6	62118,64	229499,2	387231,1	76660,48	24591,43
7	43420,45	160418,2	78628,0	290493,6	264666,3	53463,23	0,0
8	20257,14	74840,63	43420,45	160418,2	176016,5	36395,99	0,0
9	7165,93	26474,75	20257,14	74840,63	72631,19	16638,28	0,0
10	-0,01	-0,05	7165,93	26474,75	22829,66	7372,66	0,0

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=1,93
Lambda = 0,317

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	4,64	-0,23	4,64	12153,49
2	4,64	-0,22	4,64	36458,12
3	4,64	-0,29	4,64	60784,83
4	4,64	-0,22	4,64	85111,55
5	4,64	7,26	4,68	98091,84
6	4,64	32,81	5,52	89405,59
7	4,64	32,81	5,52	70691,24
8	4,64	32,7	5,52	51516,24
9	4,64	32,81	5,52	32192,02
10	4,64	32,76	5,52	10723,52

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	1454,52	4590,49	0,0	0,0	10797,21	3797,76	0,0
2	5061,25	15973,43	1454,52	4590,49	33157,29	9398,42	0,0
3	10854,68	34257,66	5061,25	15973,43	55480,28	14989,79	0,0
4	18771,25	59242,56	10854,68	34257,66	77915,23	20609,19	0,0
5	23012,89	72629,27	18771,25	59242,56	95723,74	25078,63	0,0
6	14630,85	46175,35	23012,89	72629,27	68579,7	18478,33	0,0
7	8083,14	25510,59	14630,85	46175,35	54293,99	14900,11	0,0
8	3441,65	10861,92	8083,14	25510,59	39757,96	11257,67	0,0
9	667,5	2106,64	3441,65	10861,92	24905,39	7538,98	0,0
10	-0,01	-0,03	667,5	2106,64	8525,96	3435,63	0,0

VERIFICA AGLI STATI LIMITE SLC - SEZIONE DI PROGETTO n. 8

Algoritmo di calcolo MorgensternPrice

Fs=1,93 Sup...3
Fs=2,51 Sup...2
Fs=2,29 Sup...1

OPERA DI CONTENIMENTO AL PIEDE IN MASSI DI PRIMA CATEGORIA

