

non drenata  $C_u$  del terreno e l'angolo di attrito non drenato è  $\phi_u=0$ . In conclusione si adottano due criteri di verifica:

- un criterio di rottura in termini di tensioni totali, per analizzare la stabilità in prima fase, quando esistono sovrappressioni  $\Delta_u$ , ma non sono ancora avvenuti processi significativi di dissipazione.
- Un criterio di rottura in termini di tensioni efficaci, per analizzare la stabilità nel lungo termine, quando si è ristabilita una condizione idraulica in equilibrio.

-La fase di drenaggio parziale è la più problematica (dissipazione della  $\Delta_u$  iniziate, ma non si conosce il valore residuo di  $\Delta_u$  in condizioni drenate): tale condizione transitoria non è di interesse pratico o quanto meno non è richiesta verifica per i progetti di routine.

-Nel caso in oggetto viene in aiuto il software SLOPE della Geostru, che consente di eseguire il calcolo di stabilità sia in condizione drenante che non drenante.

-Per l'analisi sono stati utilizzati sia il metodo di Bishop che quello di Morgenstern e Price: i listati di calcolo vengono allegati alla presente relazione.

Le verifiche di stabilità di pendii naturali in condizioni sismiche con metodi pseudostatici vengono condotte assimilando l'azione sismica ad un sistema di forze di inerzia orizzontali proporzionali all'accelerazione max del terremoto atteso.

-Categoria del sottosuolo: Categoria C (da profilo MASW)

-Parametri sismici :  
-latitudine 43.94484  
-longitudine 12.74503  
-categoria topografica T1  
-periodo di riferimento 50 anni  
-coefficiente  $C_n$  1,0



### Siti di riferimento

latitudine: 43,94484

longitudine: 12,74503



Figura 9

Sito 1	ID: 19414	Lat: 43,9324	Lon: 12,7265	Distanza: 2027,826
Sito 2	ID: 19415	Lat: 43,9329	Lon: 12,7959	Distanza: 4282,670
Sito 3	ID: 19193	Lat: 43,9829	Lon: 12,7953	Distanza: 5835,721
Sito 4	ID: 19192	Lat: 43,9824	Lon: 12,7258	Distanza: 4453,452

### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1.0

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,048 g

Fo: 2,423

Tc\*: 0,276 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]

ag: 0,063 g

Fo: 2,561

Tc\*: 0,277 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]

ag: 0,184 g

Fo: 2,482

Tc\*: 0,296 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

ag: 0,238 g

Fo: 2,524

Tc\*: 0,310 [s]

### Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500

Cc: 1,610

St: 1,000

Kh: 0,015

Kv: 0,007

Amax: 0,712

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,600

St: 1,000

Kh: 0,019

Kv: 0,009

Amax: 0,925

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,430

Cc: 1,570

St: 1,000

Kh: 0,063

Kv: 0,032

Amax: 2,576

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,340

Cc: 1,550

St: 1,000

Kh: 0,089

Kv: 0,045

Amax: 3,129

Beta: 0,280



## 6. PRESCRIZIONI ESECUTIVE.

### -COMPATTAZIONE:

La compattazione dovrà essere condotta con metodologia atta ad ottenere un addensamento uniforme: nel caso di necessità verranno usati mezzi di compattazione leggeri, quali piastre vibranti e costipatori vibranti azionati a mano. I mezzi dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele, garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari al 10% del mezzo costipante.

### -INERBIMENTO SCARPATE:

Le piante svolgono una funzione importante nella difesa del suolo contrastando l'azione disgregante degli agenti atmosferici, in particolare delle precipitazioni, tramite azioni di tipo meccanico e di tipo idrologico.

L'azione di tipo meccanico si manifesta con un miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche del terreno attraverso l'azione delle radici che in genere presentano una elevata resistenza a trazione, producendo un effetto paragonabile a quello che si ottiene mediante l'impiego di geosintetici: le radici sono efficaci sia nell'aumentare la resistenza a rottura, sia nel distribuire le tensioni nel terreno in modo da evitare stress locali e fessure.

La presenza di radici aumenta la resistenza al taglio del terreno essenzialmente andando ad incrementare la coesione efficace e, indirettamente, il termine di resistenza legato alla suzione, per la capacità traspirative dell'apparato radicale: nel caso di terreni non coesivi, quando sono raggiunte condizioni di completa saturazione, l'unico contributo di coesione è dato dalla presenza di radici.

Indicando con  $\Delta\tau_{r\ lim}$ , l'incremento di resistenza al taglio del terreno, offerto dalle radici, è possibile scrivere l'equazione di Mohr-Coulomb nella forma:

$$\tau = (c' + \Delta\tau_{r\ lim}) + \sigma' \operatorname{tg} \phi'$$

Con:

$\tau$  = resistenza al taglio totale

$c'$  = coesione efficace

$\phi'$  = angoli di resistenza al taglio

La valutazione dell'incremento di resistenza, secondo Wu ed altri, vale:

$$\Delta\tau_{r\ lim} = Tr \cdot \frac{Ar}{A} \cdot 1,2$$

Con:

$\frac{Ar}{A}$  = frazione della sezione di terreno occupata dalle radici

$Tr$  = resistenza a trazione media delle radici



Esistono in letteratura valori di resistenza a trazione di varie specie vegetali: particolarmente efficaci l'effetto della concentrazione terreno-radici per le piante erbacee appartenenti alla famiglia delle graminacee. Le sostanze assunte dalle radici, fra le quali gomma, cementano l'interfaccia rendendo molto forte il legame fra suolo e radici: effetto altrettanto benefico che rende meno probabile lo sfilamento delle radici, deriva dalla architettura radicale che si presenta ramificata, rendendo più difficile la estrazione meccanica della radice dalla matrice suolo. Le profondità fino a cui il terreno risente dell'effetto di rinforzo dell'apparato radicale variano entro limiti abbastanza ampi, in funzione del tipo di pianta: pochi centimetri per la vegetazione erbacea, fino a 1.50 ml. per la vegetazione arbustiva, fino a 3.00 ml. per gli alberi.

L'azione di tipo idrologico svolge un effetto positivo connesso alla evapotraspirazione e all'intercettazione delle acque meteoriche.

Mediante evapotraspirazione, la vegetazione, tramite le radici, sottrae acqua al terreno, diminuendo il grado di saturazione e determinando talora una pressione negativa dell'acqua (suzione) che favorisce ulteriormente la stabilità.

L'intercettazione delle acque effettuata dalle foglie, esercita un ruolo di protezione dall'impatto delle gocce di pioggia, consentendo dissipazione dell'energia e dell'intensità delle precipitazioni.

A titolo di esempio si riportano due tabelle relative, una alla resistenza allo strappo delle radici delle piante e l'altra al rapporto tra volume dell'apparato radicale e la parte aerea di diverse piante.

Tab. 8.8 – Resistenza allo strappo delle radici delle piante

Graminacee	5 – 10 MN/m <sup>2</sup>
Altre specie erbacee	3 – 60 MN/m <sup>2</sup>
Salici e pioppi	10 – 70 MN/m <sup>2</sup>

Tab. 8.7 – Rapporto fra il volume dell'apparato radicale e la parte aerea di diverse piante.



Tab. 8.7 - Rapporto tra il volume dell'apparato radicale e la parte aerea di diverse piante

Arbusti ed alberi	
<i>Salix glabra</i>	2,4
<i>Viburnum Lantana</i>	2,3
<i>Erica carnea</i>	2,0
<i>Salix eleagnos</i>	1,8
<i>Salix nigricans</i>	1,8
<i>Alnus viridis</i>	1,6
<i>Salix purpurea</i>	1,5
<i>Fraxinus excelsior</i>	1,5
<i>Ligustrum vulgare</i>	1,2
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1,1
<i>Hippophae rhamnoides</i>	1,0
<i>Berberis vulgaris</i>	0,6
<i>Salix alba</i>	0,5
Plante erbacee	
<i>Stipa species</i>	5-15
<i>Equisetum arvense</i>	5,5
<i>Rumex scutatus</i>	5,5
<i>Deschampsia caespitosa</i>	1,6
<i>Festuca ovina</i>	1,1
<i>Anthyllis vulneraria</i>	0,8
<i>Achillea millefolium</i>	0,7
<i>Lotus corniculatus</i>	0,7

Fonte: Florineth, 1993.

In conclusione, pur avendo avuto le verifiche di stabilità, esito favorevole, si prescrive di porre in opera vegetazione erbacea (graminacee) e vegetazione arbustiva (*ligustrum vulgare*, *salix nigricans* o simili).

## 7. ALLEGATI

- 1) Verifiche stabilità;
- 2) Listati di calcolo.



# 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:

(a) 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 ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) 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 ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

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

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

## Metodo dei conci

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

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;

$n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$

$(n-1)$  forze normali  $E_j$  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 quando 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;  
 $1$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

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

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:



$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_0 = 0$ , Criterio di rottura.

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

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  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.

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

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:

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

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  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

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

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

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

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_i L_i) \tan \phi_i}{F}$$

in cui

$F$  = il fattore di sicurezza;



$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;  
 $\phi_i$  = 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  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  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  $C_3$ .  
 Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza  $F$ . Il corretto valore di  $F$  può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left( \frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri  $F$  e  $C_3$ .  
 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:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= K W_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

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

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

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:

$$* \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi_i' - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$** \sum \Delta X_i \cdot [(y_m - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi_i' - \alpha_i) + (x_i' - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_m - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_m - y_G)$$

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  $F = 1$

$F = F_s$  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  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $K_c$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### Metodo di SPENCER

Il metodo è basato sull'assunzione:

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  $\theta$ . tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0 \quad i=1, \dots, n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo 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:

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

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{\tan \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + \tan \phi \tan(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

$R$  = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

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

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad \sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

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

$$\sum Q_i = 0$$

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  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia  $F_{sm} = F_{sf}$ .



### Metodo di MORGENSTERN e PRICE

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  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, sinusoidale, semisinusoidale, 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 neutre alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

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

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

$$X = \frac{d(E_y)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

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.

### VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita 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, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$



Essendo:

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_O$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_V$ : Coefficiente sismico verticale.

### Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti  $K_O$  e  $K_V$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_O = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

### 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  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.



## VERIFICA SEZ. A-A

- A) – Pendio naturale in condizioni non drenate
- B) - Pendio naturale in condizioni drenate
- C) - Pendio dopo i riporti , condizioni drenate





### Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Lat./Long.	43.943674/12.745961
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione non drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	1.47 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	21.4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	46.84 m
Ordinata vertice destro superiore ys	31.17 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	30.0
Numero di celle lungo y	10.0

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

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.47	2.42	0.28
S.L.D.	50.0	0.62	2.56	0.28
S.L.V.	475.0	1.8	2.48	0.3
S.L.C.	975.0	2.33	2.52	0.31

#### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.705	0.2	0.0144	0.0072
S.L.D.	0.93	0.2	0.019	0.0095
S.L.V.	2.5683	0.24	0.0629	0.0314
S.L.C.	3.1239	0.28	0.0892	0.0446

Coefficiente azione sismica orizzontale

0.0629



Coefficiente azione sismica verticale

0.0314

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0.0	9.67
2	1.66	9.67
3	3.12	10.74
4	7.79	14.12
5	13.06	15.46
6	18.64	15.44
7	19.88	15.44
8	21.58	15.44
9	24.55	15.44
10	27.05	16.16
11	28.03	16.45
12	30.8	17.0
13	34.05	17.78
14	42.68	20.2
15	45.68	20.2
16	50.68	20.2

**Vertici strato .....1**

N	X m	y m
1	0.0	4.0
2	1.66	4.0
3	3.12	4.0
4	7.79	4.0
5	13.06	4.0
6	18.64	4.0
7	19.88	4.0
8	21.58	4.0
9	24.55	4.0
10	27.05	4.0
11	28.03	4.0
12	30.8	4.0
13	34.05	4.0
14	42.68	4.0
15	45.68	4.0
16	50.68	4.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/m <sup>2</sup> )	cu (kg/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0	8000	0	2100	2300	0.00	Argilla o argilla limosa



						consistente	
2	0	36	1900	2100	0.00	Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa	

**Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]**

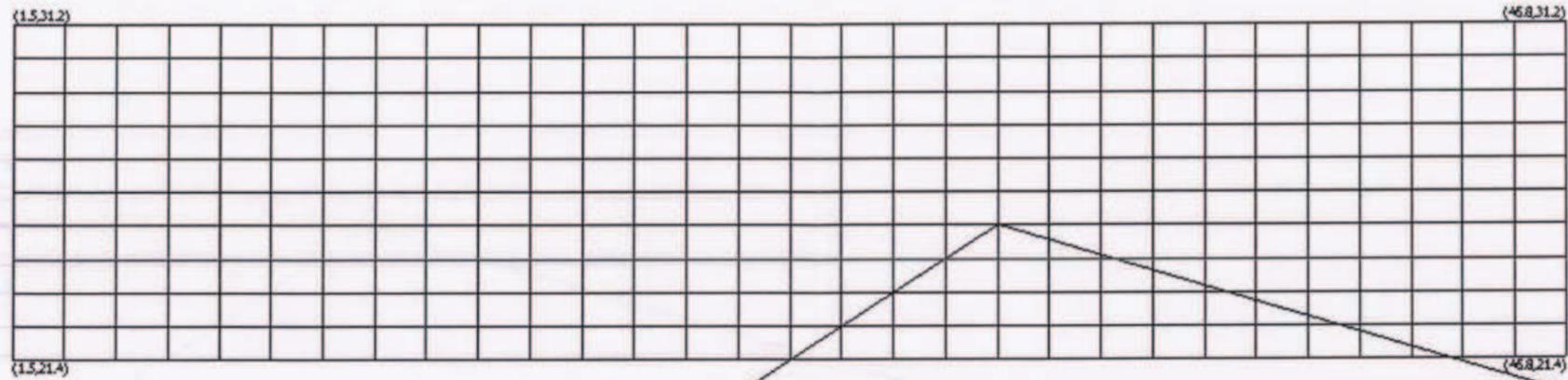
Fs minimo individuato	1.95
Ascissa centro superficie	30.2 m
Ordinata centro superficie	25.31 m
Raggio superficie	18.08 m

Analisi dei conci. Superficie... $x_c = 30.202$   $y_c = 25.308$   $R_c = 18.082$   $F_s = 1.9477$

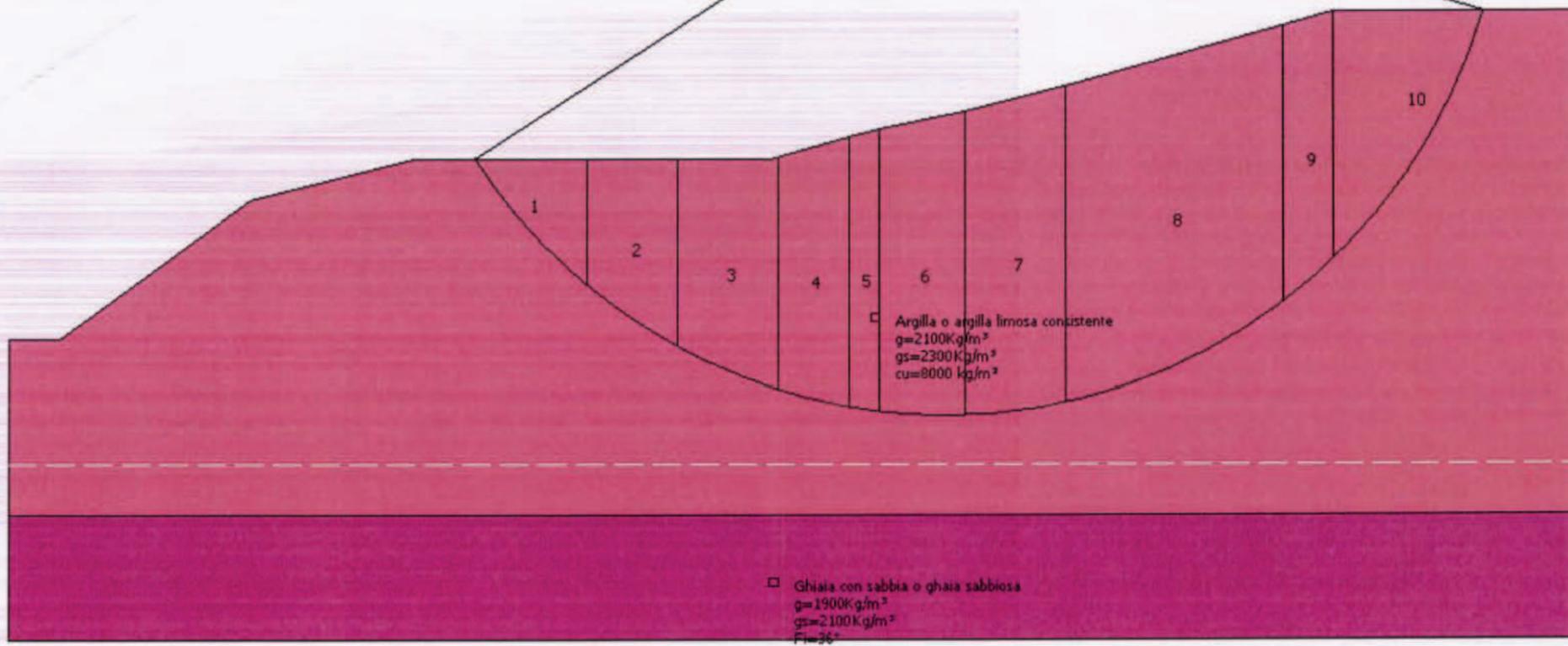
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3.6	-48.4	5.42	19213.79	1208.55	603.31	5714.29	0.0	0.0	45163.3	14443.4
2	2.9	-34.2	3.51	34207.28	2151.64	1074.11	5714.29	0.0	0.0	47706.0	9359.9
3	3.25	-23.0	3.53	50762.63	3192.97	1593.95	5714.29	0.0	0.0	59149.7	9419.2
4	2.26	-13.7	2.32	42008.36	2642.33	1319.06	5714.29	0.0	0.0	44755.2	6194.6
5	0.98	-8.5	0.99	20019.64	1259.24	628.62	5714.29	0.0	0.0	20633.9	2642.7
6	2.77	-2.5	2.77	60408.09	3799.67	1896.81	5714.29	0.0	0.0	60789.0	7395.1
7	3.25	7.1	3.28	74949.95	4714.35	2353.43	5714.29	0.0	0.0	74441.0	8735.1
8	7.0	24.6	7.69	160529.8	10097.33	5040.64	5714.29	0.0	0.0	167129.1	20519.2
9	1.63	40.2	2.14	31864.18	2004.26	1000.54	5714.29	0.0	0.0	36914.4	5706.9
10	4.87	58.6	9.35	57319.42	3605.39	1799.83	5714.29	0.0	0.0	69194.8	24928.9







$x_c = 30.20$   $y_c = 25.31$   $R_c = 18.08$   $F_s = 1.95$



### Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Lat./Long.	43.943674/12.745961
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	1.33 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	21.4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	44.65 m
Ordinata vertice destro superiore ys	31.72 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	30.0
Numero di celle lungo y	10.0

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

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.47	2.42	0.28
S.L.D.	50.0	0.62	2.56	0.28
S.L.V.	475.0	1.8	2.48	0.3
S.L.C.	975.0	2.33	2.52	0.31

#### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.705	0.2	0.0144	0.0072
S.L.D.	0.93	0.2	0.019	0.0095
S.L.V.	2.5683	0.24	0.0629	0.0314
S.L.C.	3.1239	0.28	0.0892	0.0446

Coefficiente azione sismica orizzontale

0.0629



Coefficiente azione sismica verticale

0.0314

**Vertici profilo**

N	X m	y m	
1		0.0	9.67
2		1.66	9.67
3		3.12	10.74
4		7.79	14.12
5		13.06	15.46
6		18.64	15.44
7		19.88	15.44
8		21.58	15.44
9		24.55	15.44
10		27.05	16.16
11		28.03	16.45
12		30.8	17.0
13		34.05	17.78
14		42.68	20.2
15		45.68	20.2
16		50.68	20.2

**Falda**

Nr.	X m	y m	
1		0.0	0.0
2		0.0	0.0

**Vertici strato .....1**

N	X m	y m	
1		0.0	4.0
2		1.66	4.0
3		3.12	4.0
4		7.79	4.0
5		13.06	4.0
6		18.64	4.0
7		19.88	4.0
8		21.58	4.0
9		24.55	4.0
10		27.05	4.0
11		28.03	4.0
12		30.8	4.0
13		34.05	4.0
14		42.68	4.0
15		45.68	4.0
16		50.68	4.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

---

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

---

**Stratigrafia**

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di



Winkler Strato	c (kg/m <sup>2</sup> )	cu (kg/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	1000	0	25	1900	2000	0.00	Argilla o argilla limosa consistente
2	0		36	1900	2100	0.00	Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa

#### Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1.21
Ascissa centro superficie	2.78 m
Ordinata centro superficie	21.4 m
Raggio superficie	10.97 m

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

#### Analisi dei conci. Superficie...xc = 2.777 yc = 21.404 Rc = 10.972 Fs=1.2113

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.42	0.7	0.42	122.82	7.73	3.86	800.0	20.5	0.0	119.4	286.1
2	1.4	5.5	1.4	2026.58	127.47	63.63	800.0	20.5	0.0	1904.4	1375.0
3	0.91	11.5	0.93	2460.87	154.79	77.27	800.0	20.5	0.0	2268.3	1191.6
4	0.91	16.4	0.95	3205.18	201.61	100.64	800.0	20.5	0.0	2931.9	1389.4
5	0.91	21.5	0.98	3802.1	239.15	119.39	800.0	20.5	0.0	3472.8	1558.2
6	0.55	25.6	0.61	2520.08	158.51	79.13	800.0	20.5	0.0	2309.3	1012.4
7	1.27	31.1	1.48	5500.57	345.99	172.72	800.0	20.5	0.0	5037.0	2298.2
8	0.91	37.9	1.15	3134.31	197.15	98.42	800.0	20.5	0.0	2819.7	1480.7
9	0.91	44.2	1.27	2169.99	136.49	68.14	800.0	20.5	0.0	1797.6	1264.5
10	0.91	51.4	1.45	847.48	53.31	26.61	800.0	20.5	0.0	196.2	928.2





### Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

Lat./Long.	43.943674/12.745961
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	1.33 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	21.4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	44.65 m
Ordinata vertice destro superiore ys	31.72 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	30.0
Numero di celle lungo y	10.0

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

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.47	2.42	0.28
S.L.D.	50.0	0.62	2.56	0.28
S.L.V.	475.0	1.8	2.48	0.3
S.L.C.	975.0	2.33	2.52	0.31

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.705	0.2	0.0144	0.0072
S.L.D.	0.93	0.2	0.019	0.0095
S.L.V.	2.5683	0.24	0.0629	0.0314
S.L.C.	3.1239	0.28	0.0892	0.0446

Coefficiente azione sismica orizzontale

0.0629



Coefficiente azione sismica verticale

0.0314

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0.0	9.67
2	1.66	9.67
3	3.12	10.74
4	7.79	14.12
5	13.06	15.46
6	18.64	15.44
7	19.88	15.44
8	21.58	15.44
9	24.55	15.44
10	27.05	16.16
11	28.03	16.45
12	30.8	17.0
13	34.05	17.78
14	42.68	20.2
15	45.68	20.2
16	50.68	20.2

**Falda**

Nr.	X m	y m
1	0.0	15.3
2	50.68	15.3

**Vertici strato .....1**

N	X m	y m
1	0.0	4.0
2	1.66	4.0
3	3.12	4.0
4	7.79	4.0
5	13.06	4.0
6	18.64	4.0
7	19.88	4.0
8	21.58	4.0
9	24.55	4.0
10	27.05	4.0
11	28.03	4.0
12	30.8	4.0
13	34.05	4.0
14	42.68	4.0
15	45.68	4.0
16	50.68	4.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

---

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coazione efficace	1.25
Coazione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

---

**Stratigrafia**

c: coazione; cu: coazione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di



Winkler Strato	c (kg/m <sup>2</sup> )	cu (kg/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	1000	0	25	1900	2000	0.00	Argilla o argilla limosa consistente
2	0		36	1900	2100	0.00	Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa

### Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1.25
Ascissa centro superficie	2.78 m
Ordinata centro superficie	21.4 m
Raggio superficie	10.97 m

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

**Analisi dei concii. Superficie...xc = 2.777 yc = 21.404 Rc = 10.972 Fs=1.2489**  
 Lambda = 0.505

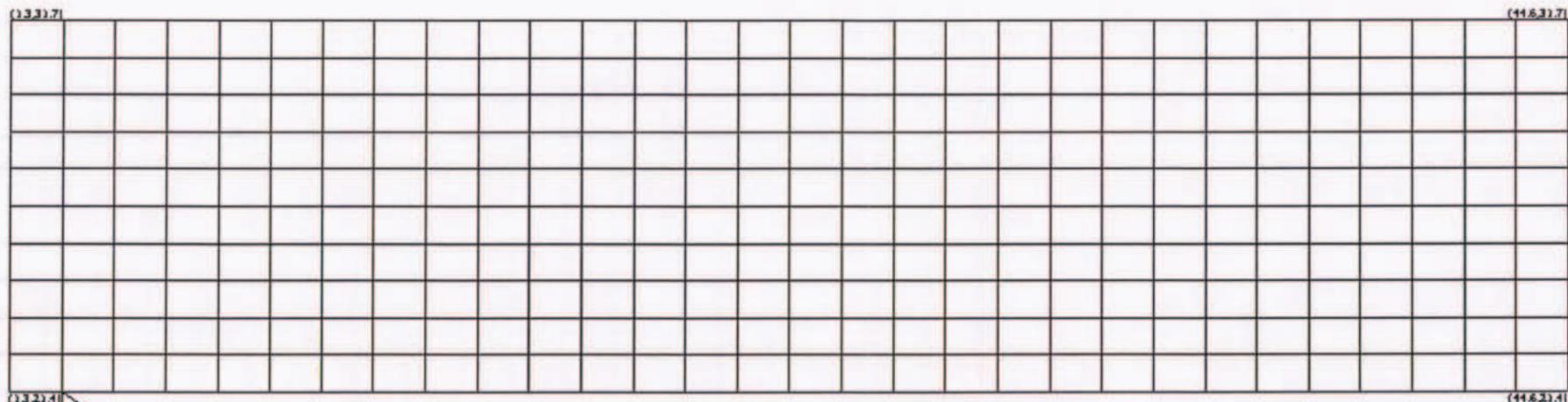
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	0.42	0.7	0.42	122.82
2	1.4	5.46	1.4	2026.58
3	0.91	11.54	0.93	2460.87
4	0.91	16.44	0.95	3205.18
5	0.91	21.46	0.98	3802.1
6	0.55	25.6	0.61	2520.08
7	1.27	31.05	1.48	5500.57
8	0.91	37.93	1.15	3134.31
9	0.91	44.25	1.27	2169.99
10	0.91	51.36	1.45	847.48

### Sforzi sui concii

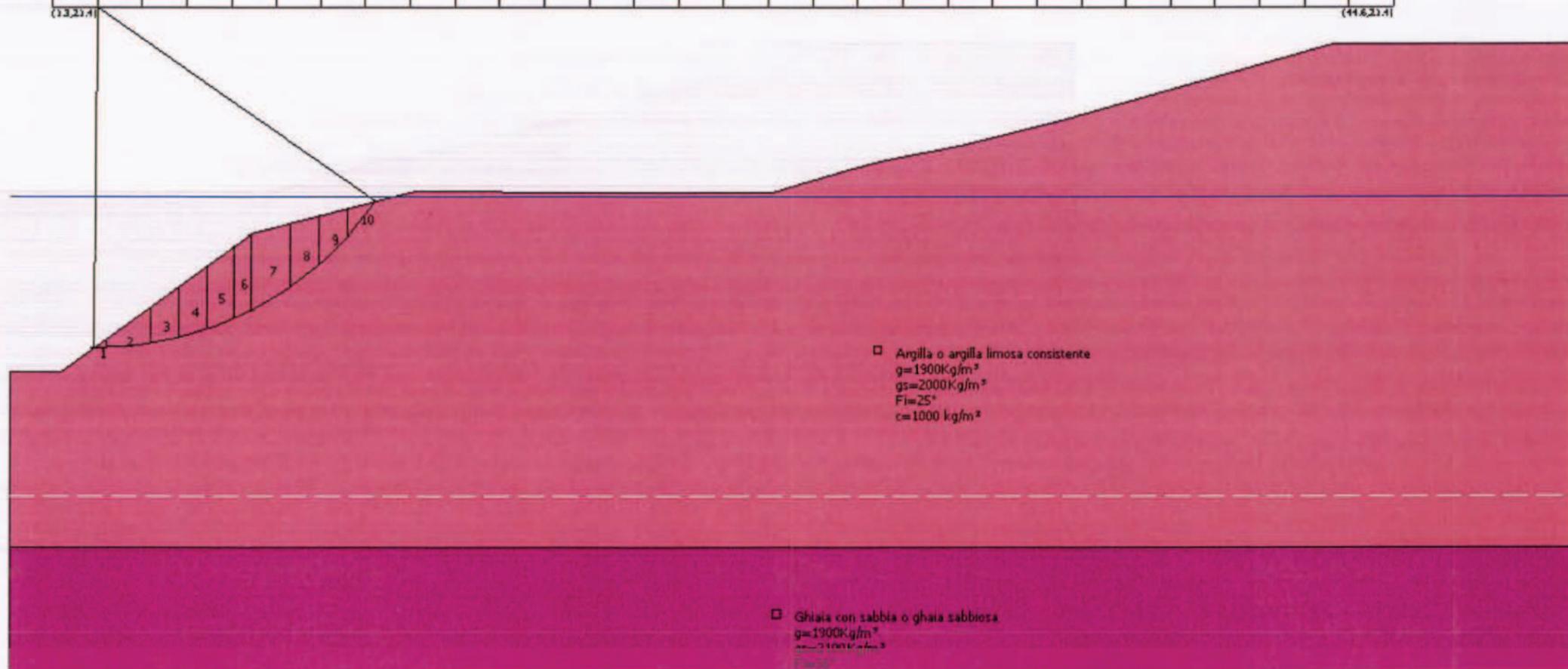
Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	320.47	635.12	0.0	0.0	-186.16	194.48	0.0
2	735.51	1457.67	320.47	635.12	1733.69	1287.25	0.0
3	1011.39	2004.41	735.51	1457.67	2294.94	1162.99	0.0
4	1140.6	2260.5	1011.39	2004.41	3062.22	1382.95	0.0
5	1084.18	2148.68	1140.6	2260.5	3573.79	1538.72	0.0
6	1056.29	2093.4	1084.18	2148.68	2276.88	973.09	0.0
7	465.57	922.69	1056.29	2093.4	4583.92	2105.96	0.0
8	111.5	220.98	465.57	922.69	2276.84	1288.76	0.0
9	-111.08	-220.14	111.5	220.98	1359.74	1107.54	0.0
10	6.96	13.8	-111.08	-220.14	613.2	1013.48	0.0







$x_c = 2.78$   $y_c = 21.40$   $R_c = 10.97$   $F_s = 1.25$



□ Argilla o argilla limosa consistente  
 $g = 1900 \text{ kg/m}^3$   
 $g_s = 2000 \text{ kg/m}^3$   
 $F_i = 25^\circ$   
 $c = 1000 \text{ kg/m}^2$

□ Ghiaia con sabbia o ghiaia sabbiosa  
 $g = 1900 \text{ kg/m}^3$   
 $g_s = 2100 \text{ kg/m}^3$   
 $F_i = 35^\circ$



### Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Lat./Long.	43.943674/12.745961
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	4.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	14.8 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	22.4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	36.46 m
Ordinata vertice destro superiore ys	29.29 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

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

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.47	2.42	0.28
S.L.D.	50.0	0.62	2.56	0.28
S.L.V.	475.0	1.8	2.48	0.3
S.L.C.	975.0	2.33	2.52	0.31

#### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.705	0.2	0.0144	0.0072
S.L.D.	0.93	0.2	0.019	0.0095
S.L.V.	2.5683	0.24	0.0629	0.0314
S.L.C.	3.1239	0.28	0.0892	0.0446

Coefficiente azione sismica orizzontale

0.0629

