

## **COMUNE DI SORRENTO**

### **PROGETTO DI RIFACIMENTO DELLA SEDE STRADALE DI VIA FONTANELLE CROLLATA A SEGUITO DELL'EVENTO FRANOSO DEL 4/03/2014**

### **VERIFICHE DI STABILITA'**

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

**Direzione Generale LL.PP. E Protezione Civile**

**Regione Campania**

**Ing. S. Massimo**

**Geol. A.Malafronte**

**Geom. U. Nappi**

**Dott. G. Saggese**

**Geom. G. Punzo**

# VERIFICA STABILITA' PENDIO

## 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 ( $\phi$ ), 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.

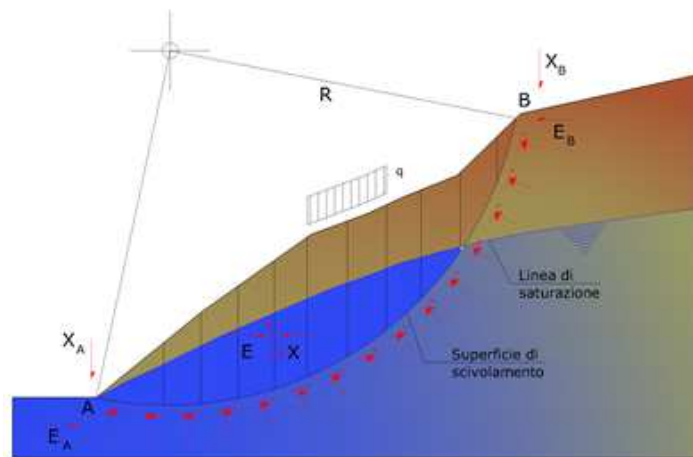
### Metodo equilibrio limite (LEM)

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 ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_p$ ), valutata secondo il criterio

di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

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 :

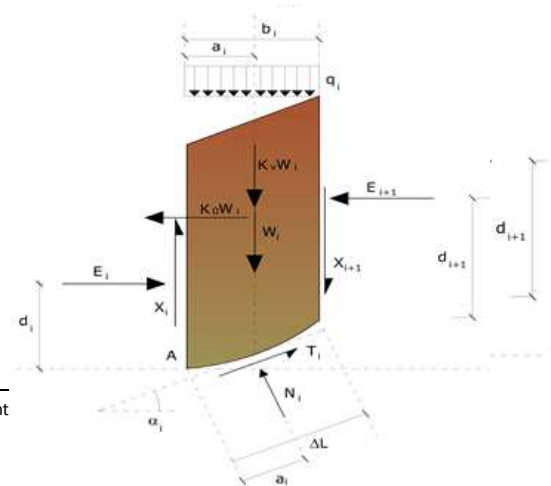
Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quanto si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

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  $(2n+1)$ .

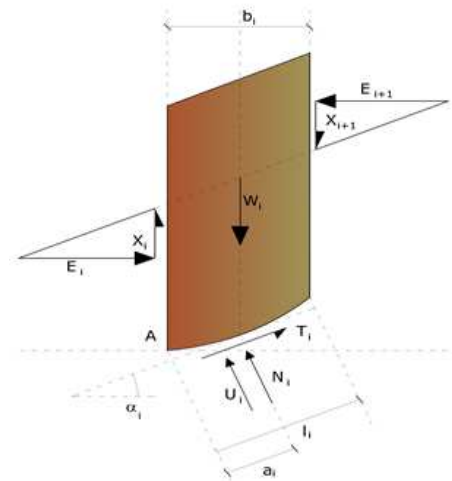
Le equazioni a disposizione sono:

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

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:

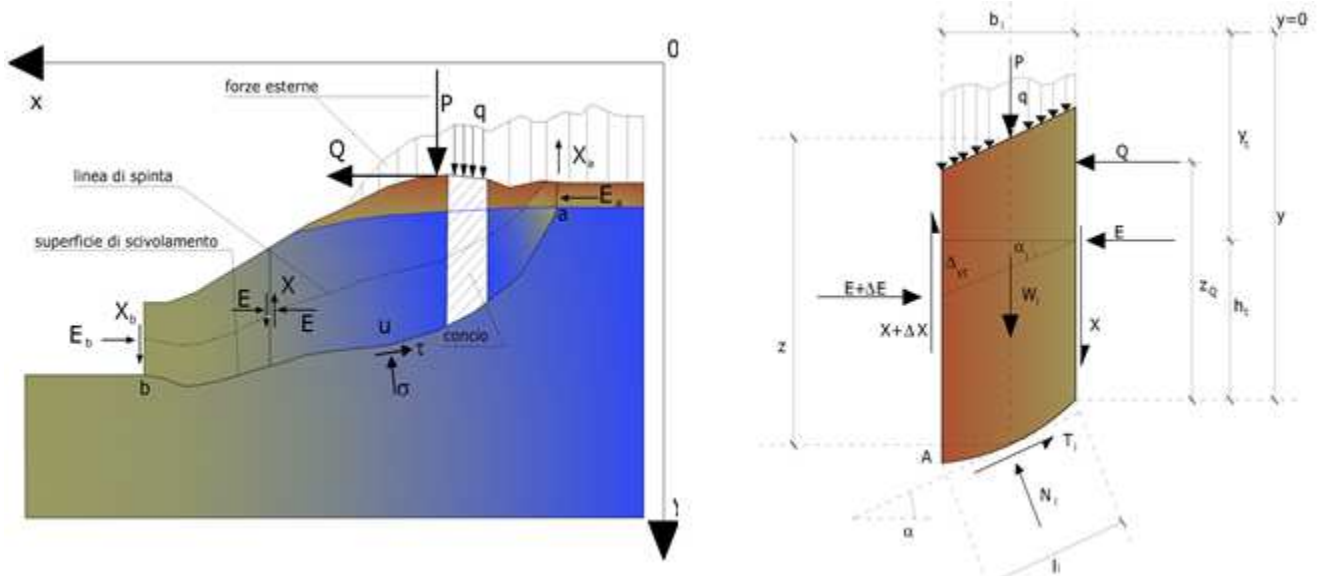


I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, 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.

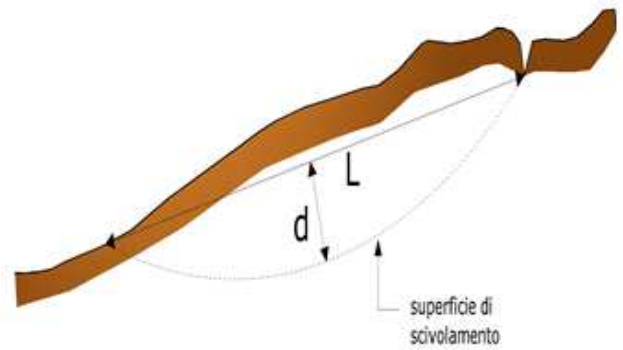
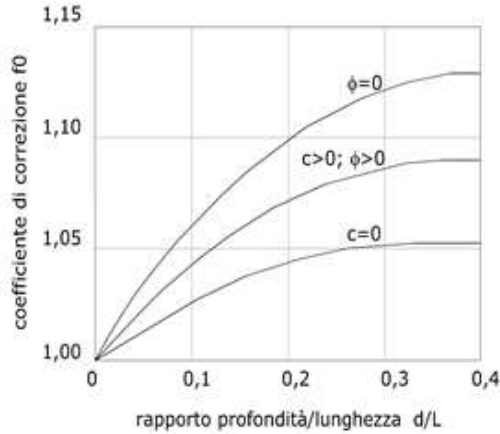
Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.



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

Assumendo  $\Delta X_1 = 0$  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:

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:

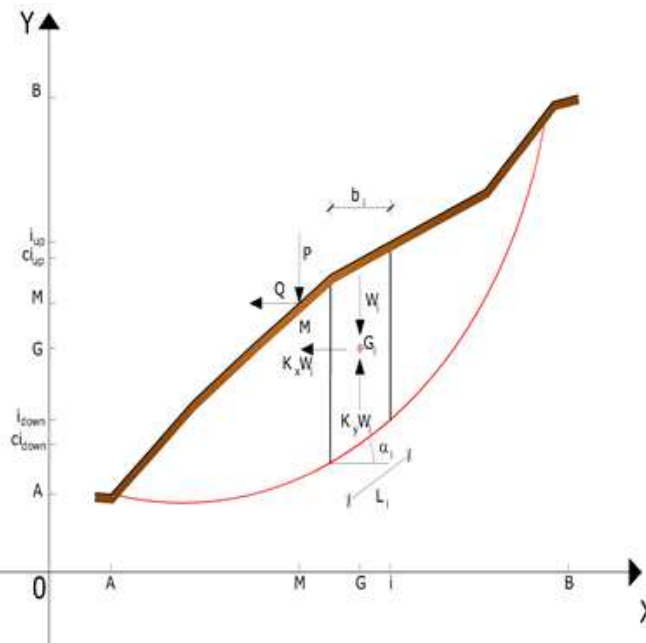
in cui:

$F$  = 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:

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

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

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:

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:

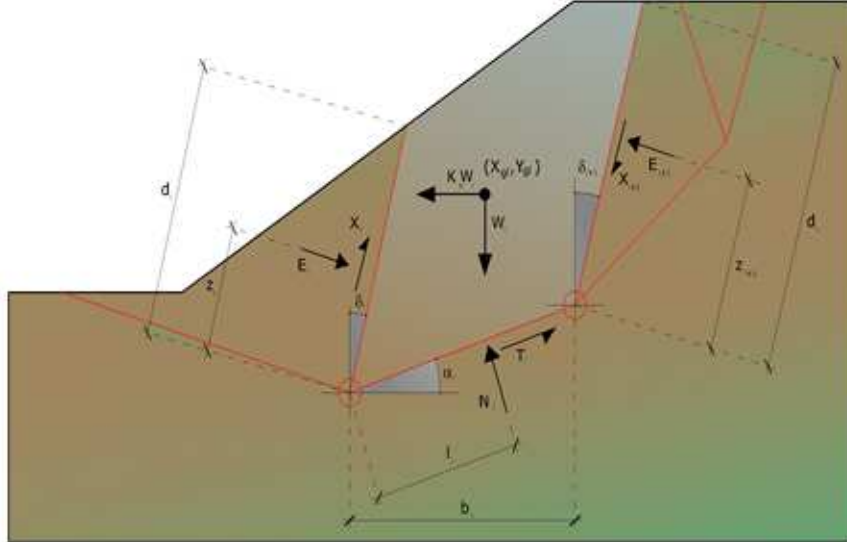
Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

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:



*Azioni sull'iesimo concio, metodo di Sarma*

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  $X_1$  ed  $E_1$  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  $X_i$ :

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

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

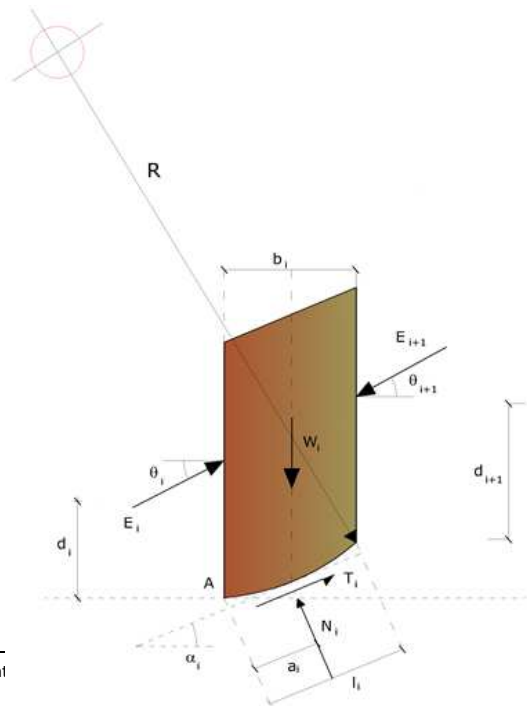
1)

dove:

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:

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

2)

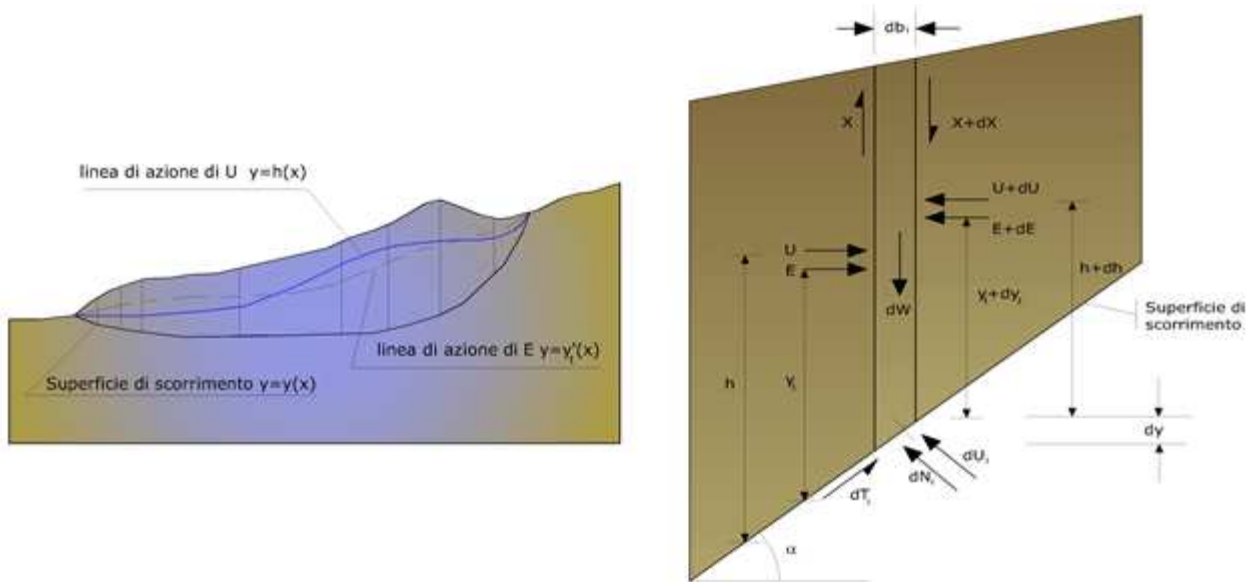
Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo 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

### **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  $\lambda$  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, senoide, semisenoide, 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**”:



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

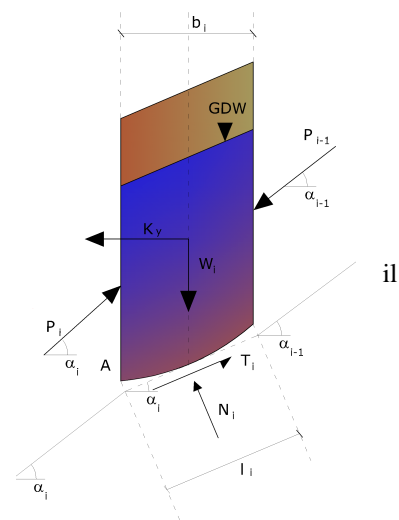
Una seconda equazione, detta “**equazione dei momenti**”, viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

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 una 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 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:

- $K_y$  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  $(P_{i-1})$  e  $P_i$  si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia ( $\alpha_i$ ), 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:

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:

Essendo:

- $F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- $W$  peso concio;
  - $K_x$  coefficiente sismico orizzontale;
  - $K_y$  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  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali

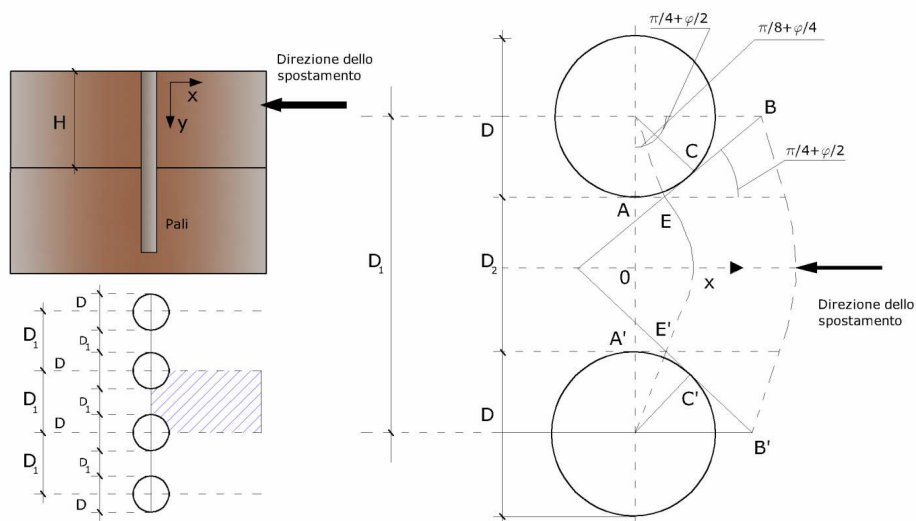
La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato 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 spinta 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  $+(45 + \varphi/2)$  e  $-(45 + \varphi/2)$ ;
- 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 rigidità a flessione e taglio.

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



dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:

$C$  = coesione terreno;

$\varphi$  = angolo di attrito terreno;

$\gamma$  = peso specifico terreno;

$D_1$  = interasse tra i pali;

$D_2$  = spazio libero fra due pali consecutivi;

$$N_{\varphi} = \tan^2(\pi/4 + \varphi/2)$$

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:

Per terreni coesivi (condizioni non drenate), con  $\varphi = 0$  e  $C \neq 0$ , si ha:

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 ( $D_2/D_1$ ), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno; sperimentalmente è stato riscontrato che, escludendo i casi limiti ( $D_2 = 0 \rightarrow P \rightarrow \infty$  e  $D_2 = D_1 \rightarrow P \rightarrow$  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**

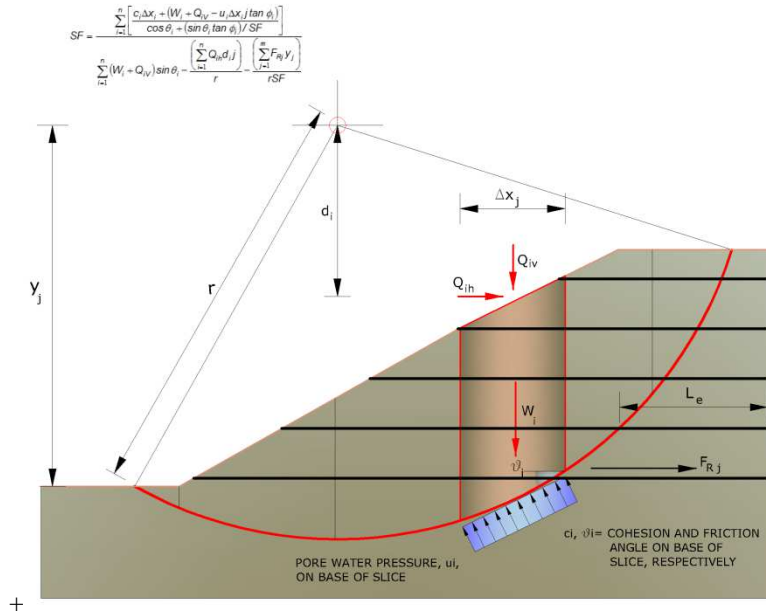
Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.

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:

Per geosintetico a maglie chiuse:

dove:

$\delta$  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*;

$\sigma'_v$  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

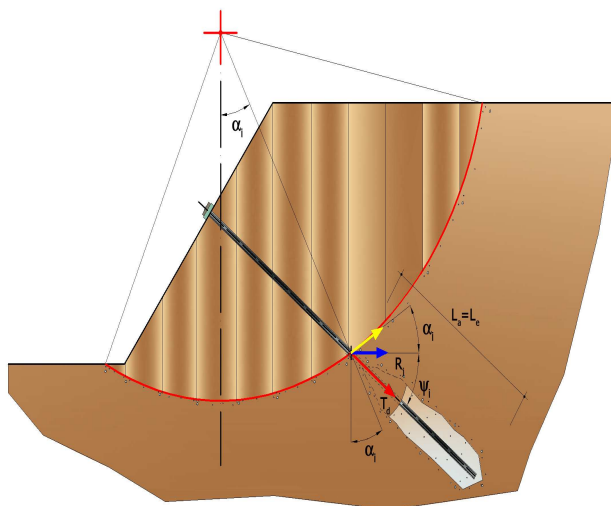
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

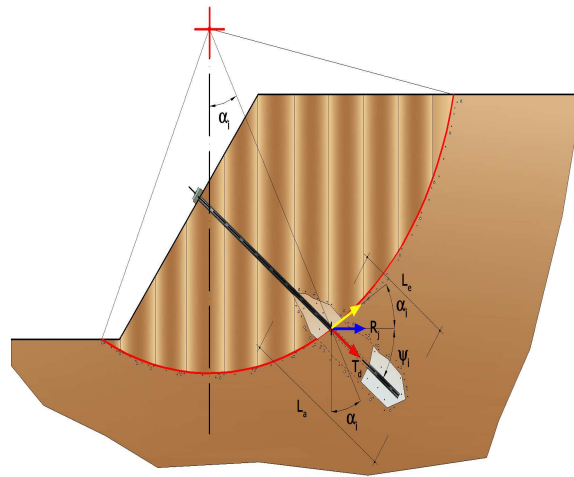
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

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

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

dove:

$T_d$  tiro esercizio;

$\Psi_i$  inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;

$i$  interasse;

$L_e$  lunghezza efficace;

$L_a$  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.

## SUPERFICIE GENERICA

### Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

---



---

Zona	sorrento
Normativa	NTC 2008 e Circ.
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

---



---

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	-34,99	19,77
2	-27,65	21,9
3	-19,92	23,44
4	-9,88	27,31
5	-6,79	27,31
6	7,12	28,27
7	21,03	30,01
8	36,09	35,61
9	43,24	39,67

10	49,23	43,92
11	55,6	48,55
12	61,98	49,52
13	72,6	59,37
14	83,8	62,46
15	99,83	64,78
16	114,9	66,9
17	127,84	69,03

**Piezometrica Nr..1**

Nr.	X (m)	y (m)
1	-34,99	22,29
2	-20,25	23,22
3	2,73	24,65
4	26,11	27,11
5	42,94	33,06
6	55,25	39,42
7	69,61	41,89
8	81,31	42,91
9	93,21	43,12
10	105,52	44,76
11	121,11	45,37
12	125,83	44,96
13	128,08	45,37

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

N	X	y
---	---	---



	(m)	(m)
1	-34,99	19,77
2	-27,65	21,9
3	-21,15	23,2
4	-1,58	24,88
5	20,16	26,93
6	34,94	30,01
7	48,89	35,96
8	59,56	42,53
9	70,64	52,17
10	78,43	56,68
11	114,13	62,22
12	127,84	64,15

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	-34,99	19,12
2	-3,63	20,37
3	20,16	20,78
4	38,63	24,47
5	60,17	31,45
6	71,87	38,42
7	80,49	45,6
8	91,97	54,63
9	99,98	57,09
10	111,06	58,74
11	120,49	61,81
12	127,84	64,06

**Vertici superficie Nr...1**

N	X m	y m
1	-20,28	23,47
2	-2,81	24,65
3	15,04	26,09
4	33,3	29,58
5	46,02	34,5
6	56,48	39,63
7	65,1	48,04
8	71,66	52,55
9	78,64	57,27
10	83,59	62,44

### 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	No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,02	2	15	1900	2100	Argilla o argilla limosa molle	
2	0,06	3	25	2100	2300	Argilla o argilla limosa	

						consistente	
3	0	0	45	2300	2500	Substrato roccioso	

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1,09

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	10,33	3,9	10,3532100,77	0,0	0,0	0,02	15,0	0,031388,2	11612,8		
2	10,33	4,1	10,3657132,88	0,0	0,0	0,06	25,0	0,054768,7	35189,8		
3	10,33	4,6	10,3656116,52	0,0	0,0	0,06	25,0	0,053515,4	34571,2		
4	10,33	8,6	10,4556387,71	0,0	0,0	0,06	25,0	0,051944,7	34085,0		
5	10,33	10,8	10,5174713,22	0,0	0,0	0,02	15,0	0,071575,8	23948,4		
6	10,33	19,9	10,9897866,39	0,0	0,0	0,02	15,0	0,093205,9	31935,0		
7	10,33	24,3	11,34142024,2	0,0	0,0	0,02	15,0	0,0136460,3	47112,7		
8	10,33	38,3	13,17138984,9	0,0	0,0	0,02	15,0	0,0141688,6	57208,6		
9	10,33	36,8	12,9106429,5	0,0	0,0	0,06	25,0	0,091307,2	69484,4		
10	10,33	40,4	13,5658202,55	0,0	0,0	0,02	15,0	0,058990,2	26868,2		

## SUPERFICIE CIRCOLARE

### Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Zona	sorrento	
Normativa	NTC 2008 e Circ.	
Numero di strati	3,0	
Numero dei conci	10,0	
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3	
Coefficiente parziale resistenza	1,0	
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco	
Analisi	Condizione drenata	
Superficie di forma circolare		

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	34,73	m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	54,51	m
Ascissa vertice destro superiore xs	57,1	m
Ordinata vertice destro superiore ys	75,23	m
Passo di ricerca	10,0	
Numero di celle lungo x	10,0	
Numero di celle lungo y	10,0	

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	-34,99	19,77
2	-27,65	21,9
3	-19,92	23,44
4	-9,88	27,31
5	-6,79	27,31
6	7,12	28,27
7	21,03	30,01
8	36,09	35,61
9	43,24	39,67
10	49,23	43,92
11	55,6	48,55
12	61,98	49,52
13	72,6	59,37
14	83,8	62,46
15	99,83	64,78
16	114,9	66,9
17	127,84	69,03

**Piezometrica Nr..1**

Nr.	X (m)	y (m)
1	-34,99	22,29
2	-20,25	23,22
3	2,73	24,65

4	26,11	27,11
5	42,94	33,06
6	55,25	39,42
7	69,61	41,89
8	81,31	42,91
9	93,21	43,12
10	105,52	44,76
11	121,11	45,37
12	125,83	44,96
13	128,08	45,37

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

N	X (m)	y (m)
1	-34,99	19,77
2	-27,65	21,9
3	-21,15	23,2
4	-1,58	24,88
5	20,16	26,93
6	34,94	30,01
7	48,89	35,96
8	59,56	42,53
9	70,64	52,17
10	78,43	56,68
11	114,13	62,22
12	127,84	64,15

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	-34,99	19,12

2	-3,63	20,37
3	20,16	20,78
4	38,63	24,47
5	60,17	31,45
6	71,87	38,42
7	80,49	45,6
8	91,97	54,63
9	99,98	57,09
10	111,06	58,74
11	120,49	61,81
12	127,84	64,06

### 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 No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,02	2	15	1900	2100	Argilla o argilla limosa molle	
2	0,06	3	25	2100	2300	Argilla o argilla limosa consistente	
3	0	0	45	2300	2500	Substrato	

						roccioso	
--	--	--	--	--	--	----------	--

### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	0,56	
Ascissa centro superficie	57,1	m
Ordinata centro superficie	71,09	m
Raggio superficie	21,24	m

### Numero di superfici esaminate....(221)

N°	Xo	Yo	Ro Fs
1	34,7	54,5	20,80,67
2	35,9	55,5	20,90,64
3	37,0	54,5	20,60,64
4	38,1	55,5	21,00,64
5	39,2	54,5	20,40,66
6	40,3	55,5	17,10,64
7	41,4	54,5	16,50,63
8	42,6	55,5	17,00,65
9	43,7	54,5	16,70,68
10	44,8	55,5	16,80,70
11	45,9	54,5	13,00,68
12	47,0	55,5	12,70,73
13	48,2	54,5	13,20,77
14	49,3	55,5	12,90,83



---

15	50,4	54,5	13,10,89
16	51,5	55,5	13,20,93
17	52,6	54,5	12,70,92
18	53,7	55,5	13,40,87
19	54,9	54,5	12,20,96
20	56,0	55,5	13,01,08
21	57,1	54,5	8,61,21
22	34,7	56,6	21,90,65
23	35,9	57,6	22,80,63
24	37,0	56,6	21,70,63
25	38,1	57,6	22,70,64
26	39,2	56,6	21,60,66
27	40,3	57,6	18,30,65
28	41,4	56,6	17,20,64
29	42,6	57,6	18,10,66
30	43,7	56,6	17,20,67
31	44,8	57,6	17,90,71
32	45,9	56,6	17,40,75
33	47,0	57,6	17,70,79
34	48,2	56,6	17,50,78
35	49,3	57,6	17,60,80
36	50,4	56,6	13,00,92
37	51,5	57,6	17,61,02
38	52,6	56,6	12,91,00
39	53,7	57,6	13,50,93
40	54,9	56,6	13,20,86
41	56,0	57,6	13,40,81
42	57,1	56,6	13,41,02
43	34,7	58,7	24,00,63

---

44	35,9	59,7	24,90,64
45	37,0	58,7	23,80,64
46	38,1	59,7	24,80,66
47	39,2	58,7	23,60,68
48	40,3	59,7	20,30,65
49	41,4	58,7	19,20,65
50	42,6	59,7	20,10,68
51	43,7	58,7	19,00,70
52	44,8	59,7	20,00,74
53	45,9	58,7	18,80,77
54	47,0	59,7	19,80,78
55	48,2	58,7	18,60,79
56	49,3	59,7	19,60,75
57	50,4	58,7	18,50,88
58	51,5	59,7	19,40,96
59	52,6	58,7	18,31,04
60	53,7	59,7	14,80,91
61	54,9	58,7	13,60,89
62	56,0	59,7	14,50,77
63	57,1	58,7	13,50,76
64	34,7	60,7	26,00,63
65	35,9	61,8	27,00,65
66	37,0	60,7	25,90,66
67	38,1	61,8	22,60,67
68	39,2	60,7	21,50,65
69	40,3	61,8	22,40,66
70	41,4	60,7	21,30,67
71	42,6	61,8	22,20,71
72	43,7	60,7	21,10,72

---

73	44,8	61,8	22,00,76
74	45,9	60,7	20,90,76
75	47,0	61,8	21,80,75
76	48,2	60,7	20,70,75
77	49,3	61,8	21,60,82
78	50,4	60,7	20,50,96
79	51,5	61,8	17,00,99
80	52,6	60,7	15,90,95
81	53,7	61,8	16,80,80
82	54,9	60,7	15,70,78
83	56,0	61,8	16,60,70
84	57,1	60,7	15,50,76
85	34,7	62,8	28,10,64
86	35,9	63,8	29,00,66
87	37,0	62,8	27,90,67
88	38,1	63,8	24,60,66
89	39,2	62,8	23,50,66
90	40,3	63,8	24,50,69
91	41,4	62,8	23,30,70
92	42,6	63,8	24,30,74
93	43,7	62,8	23,10,75
94	44,8	63,8	24,10,75
95	45,9	62,8	23,00,75
96	47,0	63,8	23,90,71
97	48,2	62,8	22,80,71
98	49,3	63,8	23,70,91
99	50,4	62,8	22,60,91
100	51,5	63,8	19,10,86
101	52,6	62,8	18,00,82

---

102	53,7	63,8	18,90,72
103	54,9	62,8	17,70,71
104	56,0	63,8	18,70,78
105	57,1	62,8	17,50,86
106	34,7	64,9	30,10,66
107	35,9	65,9	31,10,68
108	37,0	64,9	25,80,68
109	38,1	65,9	26,70,67
110	39,2	64,9	25,60,68
111	40,3	65,9	26,50,71
112	41,4	64,9	25,40,72
113	42,6	65,9	26,30,75
114	43,7	64,9	25,20,75
115	44,8	65,9	26,10,72
116	45,9	64,9	25,00,71
117	47,0	65,9	26,00,76
118	48,2	64,9	24,80,76
119	49,3	65,9	25,80,88
120	50,4	64,9	20,20,91
121	51,5	65,9	21,20,76
122	52,6	64,9	20,00,73
123	53,7	65,9	20,90,66
124	54,9	64,9	19,80,66
125	56,0	65,9	20,70,82
126	57,1	64,9	19,60,86
127	34,7	66,9	32,20,67
128	35,9	68,0	33,20,69
129	37,0	66,9	27,80,68
130	38,1	68,0	28,80,69

---

131	39,2	66,9	27,60,70
132	40,3	68,0	28,60,74
133	41,4	66,9	27,50,75
134	42,6	68,0	28,40,74
135	43,7	66,9	27,30,72
136	44,8	68,0	28,20,68
137	45,9	66,9	27,10,68
138	47,0	68,0	28,00,81
139	48,2	66,9	26,90,87
140	49,3	68,0	23,40,84
141	50,4	66,9	22,30,79
142	51,5	68,0	23,20,69
143	52,6	66,9	22,10,67
144	53,7	68,0	23,00,65
145	54,9	66,9	21,90,77
146	56,0	68,0	22,80,93
147	57,1	66,9	21,60,94
148	34,7	69,0	34,30,69
149	35,9	70,1	35,20,68
150	37,0	69,0	34,10,68
151	38,1	70,1	30,80,71
152	39,2	69,0	29,70,72
153	40,3	70,1	30,60,75
154	41,4	69,0	29,50,74
155	42,6	70,1	30,40,71
156	43,7	69,0	29,30,69
157	44,8	70,1	30,30,65
158	45,9	69,0	29,10,75
159	47,0	70,1	30,10,87

---

160	48,2	69,0	28,90,87
161	49,3	70,1	25,50,74
162	50,4	69,0	24,30,71
163	51,5	70,1	25,30,65
164	52,6	69,0	24,10,65
165	53,7	70,1	25,00,81
166	54,9	69,0	23,90,86
167	56,0	70,1	20,30,60
168	57,1	69,0	19,20,56
169	34,7	71,1	36,30,68
170	35,9	72,1	37,30,67
171	37,0	71,1	36,20,66
172	38,1	72,1	32,90,73
173	39,2	71,1	31,80,75
174	40,3	72,1	32,70,73
175	41,4	71,1	31,60,72
176	42,6	72,1	32,50,67
177	43,7	71,1	31,40,66
178	44,8	72,1	32,30,74
179	45,9	71,1	31,20,82
180	47,0	72,1	32,10,81
181	48,2	71,1	26,60,78
182	49,3	72,1	27,50,67
183	50,4	71,1	26,40,66
184	51,5	72,1	27,30,64
185	52,6	71,1	26,20,75
186	53,7	72,1	27,10,84
187	54,9	71,1	21,50,68
188	56,0	72,1	22,40,57

---

189	57,1	71,1	21,20,56
190	34,7	73,2	38,40,67
191	35,9	74,2	39,30,65
192	37,0	73,2	34,00,73
193	38,1	74,2	34,90,76
194	39,2	73,2	33,80,74
195	40,3	74,2	34,80,70
196	41,4	73,2	33,60,68
197	42,6	74,2	34,60,64
198	43,7	73,2	33,40,63
199	44,8	74,2	34,40,82
200	45,9	73,2	33,30,85
201	47,0	74,2	29,80,73
202	48,2	73,2	28,70,69
203	49,3	74,2	29,60,65
204	50,4	73,2	28,50,64
205	51,5	74,2	29,40,79
206	52,6	73,2	28,20,79
207	53,7	74,2	24,70,64
208	54,9	73,2	23,50,59
209	56,0	74,2	24,40,57
210	57,1	73,2	23,30,57
211	34,7	75,2	40,50,65
212	37,0	75,2	36,10,76
213	39,2	75,2	35,90,71
214	41,4	75,2	35,70,65
215	43,7	75,2	35,50,75
216	45,9	75,2	31,00,80
217	48,2	75,2	30,70,66

218	50,4	75,2	30,50,64
219	52,6	75,2	25,90,77
220	54,9	75,2	25,60,58
221	57,1	75,2	25,40,59

---

=====



**Analisi di stabilità dei pendii con: ZENG LIANG (1995)**

=====

Zona            sorrento

Normativa    NTC 2008 e Circ.

Numero di strati            3,0

Numero dei conci            10,0

Grado di sicurezza ritenuto accettabile    1,3

Coefficiente parziale resistenza            1,0

Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:            Picco

Analisi            Condizione drenata

Superficie di forma circolare

=====

**Maglia dei Centri**

=====

Ascissa vertice sinistro inferiore xi            22,04            m

Ordinata vertice sinistro inferiore yi            62,13            m

Ascissa vertice destro superiore xs            64,97            m

Ordinata vertice destro superiore ys            81,48            m

Passo di ricerca            10,0

Numero di celle lungo x    10,0

Numero di celle lungo y    10,0

=====

**Vertici profilo**

Nr	X	y
----	---	---

---

	(m)	(m)
1	-34,99	19,77
2	-27,65	21,9
3	-19,92	23,44
4	-9,88	27,31
5	-6,79	27,31
6	7,12	28,27
7	21,03	30,01
8	36,09	35,61
9	43,24	39,67
10	49,23	43,92
11	55,6	48,55
12	61,98	49,52
13	72,6	59,37
14	83,8	62,46
15	99,83	64,78
16	114,9	66,9
17	127,84	69,03

**Piezometrica Nr..1**

Nr.	X (m)	y (m)
1	-34,99	22,29
2	-20,25	23,22
3	2,73	24,65
4	26,11	27,11
5	42,94	33,06
6	55,25	39,42
7	69,61	41,89

---

8	81,31	42,91
9	93,21	43,12
10	105,52	44,76
11	121,11	45,37
12	125,83	44,96
13	128,08	45,37

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

N	X (m)	y (m)
1	-34,99	19,77
2	-27,65	21,9
3	-21,15	23,2
4	-1,58	24,88
5	20,16	26,93
6	34,94	30,01
7	48,89	35,96
8	59,56	42,53
9	70,64	52,17
10	78,43	56,68
11	114,13	62,22
12	127,84	64,15

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	-34,99	19,12
2	-3,63	20,37
3	20,16	20,78
4	38,63	24,47
5	60,17	31,45

---

6	71,87	38,42
7	80,49	45,6
8	91,97	54,63
9	99,98	57,09
10	111,06	58,74
11	120,49	61,81
12	127,84	64,06

### 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 No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,02	2	15	1900	2100	Argilla o argilla limosa molle	
2	0,06	3	25	2100	2300	Argilla o argilla limosa consistente	
3	0	0	45	2300	2500	Substrato roccioso	

### Risultati analisi pendio

---

---

Fs minimo individuato	0,46	
Ascissa centro superficie	60,67	m
Ordinata centro superficie	64,07	m
Raggio superficie	13,87	m

---

---

**Numero di superfici esaminate....(221)**

---

---

N°	Xo	Yo	Ro Fs
1	22,0	62,1	32,30,78
2	24,2	63,1	33,20,68
3	26,3	62,1	32,10,65
4	28,5	63,1	32,90,62
5	30,6	62,1	27,70,59
6	32,8	63,1	28,50,54
7	34,9	62,1	27,40,56
8	37,1	63,1	28,20,58
9	39,2	62,1	22,90,55
10	41,4	63,1	23,60,59
11	43,5	62,1	22,50,63
12	45,7	63,1	23,30,65
13	47,8	62,1	22,10,66
14	49,9	63,1	22,90,84
15	52,1	62,1	17,30,80
16	54,2	63,1	18,10,68
17	56,4	62,1	16,90,72
18	58,5	63,1	17,70,89

---

SLOPE

---

19	60,7	62,1	16,51,02
20	62,8	63,1	12,70,48
21	65,0	62,1	11,50,55
22	22,0	64,1	34,20,74
23	24,2	65,0	35,10,65
24	26,3	64,1	34,00,63
25	28,5	65,0	30,70,63
26	30,6	64,1	29,60,56
27	32,8	65,0	30,40,55
28	34,9	64,1	29,30,56
29	37,1	65,0	25,90,57
30	39,2	64,1	24,80,56
31	41,4	65,0	25,60,61
32	43,5	64,1	24,40,64
33	45,7	65,0	25,20,63
34	47,8	64,1	24,10,69
35	49,9	65,0	20,40,81
36	52,1	64,1	19,30,72
37	54,2	65,0	20,00,63
38	56,4	64,1	18,80,75
39	58,5	65,0	19,60,86
40	60,7	64,1	13,90,46
41	62,8	65,0	14,60,50
42	65,0	64,1	13,40,69
43	22,0	66,0	36,20,70
44	24,2	67,0	37,00,63
45	26,3	66,0	35,90,62
46	28,5	67,0	32,70,59
47	30,6	66,0	31,60,55

---

SLOPE

---

48	32,8	67,0	32,40,55
49	34,9	66,0	31,30,57
50	37,1	67,0	27,80,57
51	39,2	66,0	26,70,57
52	41,4	67,0	27,50,62
53	43,5	66,0	26,30,63
54	45,7	67,0	27,10,61
55	47,8	66,0	26,00,70
56	49,9	67,0	22,40,72
57	52,1	66,0	21,20,65
58	54,2	67,0	21,90,60
59	56,4	66,0	20,80,81
60	58,5	67,0	17,00,46
61	60,7	66,0	15,80,46
62	62,8	67,0	16,50,52
63	65,0	66,0	15,30,83
64	22,0	67,9	38,10,68
65	24,2	68,9	38,90,61
66	26,3	67,9	37,90,61
67	28,5	68,9	34,60,56
68	30,6	67,9	33,50,55
69	32,8	68,9	34,30,56
70	34,9	67,9	33,20,58
71	37,1	68,9	29,80,57
72	39,2	67,9	28,60,59
73	41,4	68,9	29,40,62
74	43,5	67,9	28,30,61
75	45,7	68,9	29,00,59
76	47,8	67,9	27,90,77

---

SLOPE

---

77	49,9	68,9	24,30,65
78	52,1	67,9	23,10,61
79	54,2	68,9	23,90,72
80	56,4	67,9	22,70,83
81	58,5	68,9	18,90,46
82	60,7	67,9	17,70,48
83	62,8	68,9	18,40,59
84	65,0	67,9	17,20,85
85	22,0	69,9	40,00,65
86	24,2	70,8	40,90,61
87	26,3	69,9	39,80,62
88	28,5	70,8	36,50,55
89	30,6	69,9	35,40,56
90	32,8	70,8	36,20,57
91	34,9	69,9	35,10,58
92	37,1	70,8	35,90,58
93	39,2	69,9	30,50,61
94	41,4	70,8	31,30,61
95	43,5	69,9	30,20,59
96	45,7	70,8	31,00,67
97	47,8	69,9	25,40,76
98	49,9	70,8	26,20,60
99	52,1	69,9	25,00,58
100	54,2	70,8	25,80,76
101	56,4	69,9	20,10,48
102	58,5	70,8	20,80,47
103	60,7	69,9	19,60,50
104	62,8	70,8	20,30,76
105	65,0	69,9	14,50,66

---



SLOPE

---

106	22,0	71,8	41,90,63
107	24,2	72,8	42,80,61
108	26,3	71,8	37,60,59
109	28,5	72,8	38,40,55
110	30,6	71,8	37,30,55
111	32,8	72,8	38,10,57
112	34,9	71,8	37,00,57
113	37,1	72,8	33,60,60
114	39,2	71,8	32,50,62
115	41,4	72,8	33,30,59
116	43,5	71,8	32,10,57
117	45,7	72,8	32,90,74
118	47,8	71,8	27,40,67
119	49,9	72,8	28,10,58
120	52,1	71,8	26,90,57
121	54,2	72,8	23,20,55
122	56,4	71,8	22,00,47
123	58,5	72,8	22,70,49
124	60,7	71,8	21,50,52
125	62,8	72,8	22,30,83
126	65,0	71,8	16,40,68
127	22,0	73,7	43,90,61
128	24,2	74,7	44,70,62
129	26,3	73,7	39,60,56
130	28,5	74,7	40,40,55
131	30,6	73,7	39,30,56
132	32,8	74,7	40,10,56
133	34,9	73,7	39,00,57
134	37,1	74,7	35,50,62

---

SLOPE

---

135	39,2	73,7	34,40,61
136	41,4	74,7	35,20,57
137	43,5	73,7	34,00,56
138	45,7	74,7	34,80,72
139	47,8	73,7	29,30,61
140	49,9	74,7	30,00,58
141	52,1	73,7	28,90,69
142	54,2	74,7	25,10,49
143	56,4	73,7	23,90,47
144	58,5	74,7	24,70,50
145	60,7	73,7	23,50,54
146	62,8	74,7	19,60,72
147	65,0	73,7	18,40,71
148	22,0	75,7	45,80,61
149	24,2	76,6	42,60,60
150	26,3	75,7	41,50,55
151	28,5	76,6	42,30,55
152	30,6	75,7	41,20,57
153	32,8	76,6	42,00,56
154	34,9	75,7	40,90,55
155	37,1	76,6	37,50,62
156	39,2	75,7	36,30,59
157	41,4	76,6	37,10,55
158	43,5	75,7	36,00,66
159	45,7	76,6	32,40,64
160	47,8	75,7	31,20,58
161	49,9	76,6	32,00,56
162	52,1	75,7	30,80,73
163	54,2	76,6	27,10,49

---

SLOPE

---

164	56,4	75,7	25,90,48
165	58,5	76,6	26,60,52
166	60,7	75,7	25,40,62
167	62,8	76,6	21,50,73
168	65,0	75,7	20,30,73
169	22,0	77,6	47,70,61
170	24,2	78,6	44,50,57
171	26,3	77,6	43,40,56
172	28,5	78,6	44,20,56
173	30,6	77,6	43,10,57
174	32,8	78,6	43,90,55
175	34,9	77,6	38,60,61
176	37,1	78,6	39,40,60
177	39,2	77,6	38,20,57
178	41,4	78,6	39,00,55
179	43,5	77,6	37,90,70
180	45,7	78,6	34,30,60
181	47,8	77,6	33,10,57
182	49,9	78,6	33,90,67
183	52,1	77,6	28,30,56
184	54,2	78,6	29,00,49
185	56,4	77,6	27,80,50
186	58,5	78,6	28,50,54
187	60,7	77,6	27,30,78
188	62,8	78,6	23,40,74
189	65,0	77,6	22,20,76
190	22,0	79,5	49,70,62
191	24,2	80,5	46,40,56
192	26,3	79,5	45,30,55

---

SLOPE

---

193	28,5	80,5	46,10,57
194	30,6	79,5	45,00,56
195	32,8	80,5	45,80,54
196	34,9	79,5	40,50,63
197	37,1	80,5	41,30,57
198	39,2	79,5	40,20,55
199	41,4	80,5	40,90,67
200	43,5	79,5	35,50,72
201	45,7	80,5	36,20,58
202	47,8	79,5	35,10,55
203	49,9	80,5	35,80,69
204	52,1	79,5	30,20,52
205	54,2	80,5	30,90,50
206	56,4	79,5	29,70,51
207	58,5	80,5	30,40,56
208	60,7	79,5	24,70,79
209	62,8	80,5	25,30,76
210	65,0	79,5	23,90,80
211	22,0	81,5	51,60,61
212	26,3	81,5	47,30,56
213	30,6	81,5	47,00,55
214	34,9	81,5	42,40,62
215	39,2	81,5	42,10,54
216	43,5	81,5	37,40,63
217	47,8	81,5	37,00,55
218	52,1	81,5	32,10,51
219	56,4	81,5	31,60,53
220	60,7	81,5	26,60,78
221	65,0	81,5	25,40,86

---

SLOPE

---

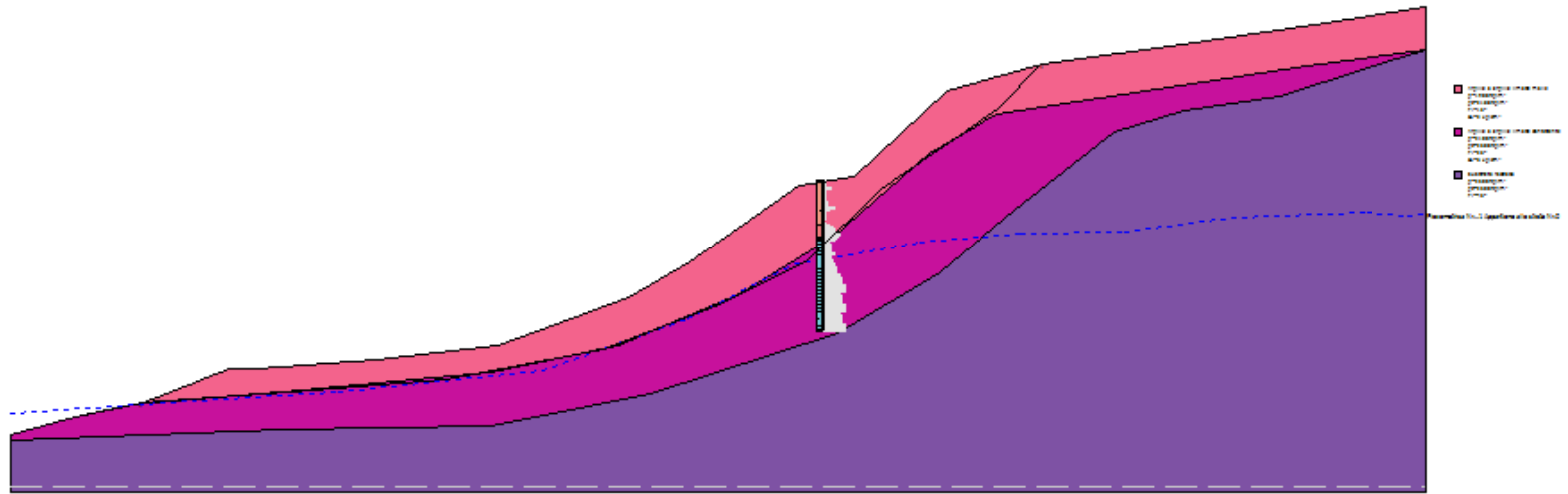
---

---

---

# SLOPE

---



SLOPE

---







# SLOPE

