Verifica di stabilità del rilevato

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

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

Complessivamente le incognite sono *(6n-2)*.

mentre le equazioni a disposizione sono:
Equazioni di equilibrio dei momenti *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale *n*
Equazioni relative al criterio di rottura *n*
Totale numero di equazioni *4n*

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

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

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a *(n-2)* in 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.

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

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

Metodo di BISHOP (1955)

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

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

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

I valori di *F* e di *ΔX* per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre *ΔX= 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 si scorrimento di forma qualsiasi.
Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

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

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:

$F_{corretto} = f_0 F$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

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

Analisi di stabilità dei pendii con JANBU

==========

Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	27.25 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	32.58 m
Ascissa vertice destro superiore xs	46.26 m
Ordinata vertice destro superiore ys	60.64 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

Descrizione:	
Latitudine:	44.47
Longitudine:	8.83
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T3

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.23	2.55	0.18
S.L.D.	50.0	0.28	2.52	0.2
S.L.V.	475.0	0.68	2.53	0.29
S.L.C.	975.0	0.88	2.52	0.29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.276	0.2	0.0056	0.0028
S.L.D.	0.336	0.2	0.0069	0.0034
S.L.V.	0.816	0.2	0.0166	0.0083
S.L.C.	1.056	0.2	0.0215	0.0108

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0166
Coefficiente azione sismica verticale	0.0083

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0.0	20.0
2	10.0	20.0
3	33.0	20.0
4	73.0	28.0
5	76.0	35.0
6	82.0	35.0
7	89.0	51.0
8	95.0	51.0
9	102.0	67.0
10	107.0	67.0

Falda

Nr.	X m	y m
1	0.0	14.77
2	23.99	17.95
3	50.88	21.52
4	73.25	25.8
5	107.0	32.27

Vertici strato 1

N	X m	y m
1	0.0	20.0
2	10.0	20.0
3	17.0	5.0
4	57.0	5.0
5	63.0	20.0
6	69.0	20.0
7	76.0	35.0
8	82.0	35.0
9	89.0	51.0
10	95.0	51.0
11	102.0	67.0
12	107.0	67.0

Stratigrafia

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

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (t/m³)	Gs (t/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	0	37.5	1.80	2	0.00		Riempimento
2	0	42	2.89	2.89	0.00		Substrato

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato	2.58
Ascissa centro superficie	43.41 m
Ordinata centro superficie	42.4 m
Raggio superficie	25.4 m

==========

Analisi dei conci. Superficie...xc = 43.405 yc = 42.40 Rc = 25.40 Fs=2.5816

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3.13	-24.3	3.44	4339.33	72.03	36.02	0.0	31.5	0.0	5461.1	1708.8
2	3.13	-16.7	3.27	15385.3	255.4	127.7	0.0	31.5	1497.8	12205.6	3635.2
3	3.13	-9.4	3.18	23717.49	393.71	196.86	0.0	31.5	2637.9	16440.2	4754.2
4	3.13	-2.3	3.14	29516.92	489.98	244.99	0.0	31.5	3373.8	19179.8	5476.2
5	3.13	4.8	3.14	32879.61	545.8	272.9	0.0	31.5	3720.8	20798.2	5954.5
6	3.13	12.0	3.2	33785.53	560.84	280.42	0.0	31.5	3675.8	21466.0	6260.2
7	3.13	19.3	3.32	32126.4	533.3	266.65	0.0	31.5	3269.6	21080.3	6373.4
8	3.13	27.0	3.52	27649.17	458.98	229.49	0.0	31.5	2531.1	19325.8	6190.7
9	3.13	35.4	3.84	19712.0	327.22	163.61	0.0	31.5	1240.4	16137.9	5645.2
10	3.13	44.7	4.41	7722.93	128.2	64.1	0.0	31.5	0.0	8470.4	3397.9