VERIFICHE DI STABILITA’

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 (φ), 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 (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.
Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).
Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

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

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

(n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i;
una incognita costituita dal fattore di sicurezza *F*.

Complessivamente le incognite sono *(6n-2)*.
mentre le equazioni a disposizione sono:
Equazioni di equilibrio dei momenti *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale *n*
Equazioni relative al criterio di rottura *n*
Totale numero di equazioni *4n*

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

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

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

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

βs 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): $0.90 \leq Ss \leq 1.80$; 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$(S_T = 1.0)$ ***T2***$(S_T = 1.20)$ ***T3***$(S_T = 1.20)$ ***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×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	8,45 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	20,51 m
Ascissa vertice destro superiore xs	20,64 m
Ordinata vertice destro superiore ys	30,76 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	6,0
2	8,0	6,0
3	12,0	6,0
4	18,4	12,4
5	21,0	15,4
6	24,0	15,4
7	34,0	14,0

Vertici strato 1

N	X m	y m
1	0,0	6,0
2	8,0	6,0
3	12,0	6,0
4	18,4	12,4
5	34,0	11,6

Stratigrafia

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

Strato	c (kN/m²)	Fi (°)	G (kN/m³)	Gs (kN/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	5	32	19	19	0,00		
2	60	41	27	27	0,00		

Strato 1: condizioni statiche
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,65
Ascissa centro superficie	16,37 m
Ordinata centro superficie	21,03 m
Raggio superficie	8,85 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 = 16,373 yc = 21,025 Rc = 8,852 Fs=1,6498

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,48	14,9	0,5	1,98	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	1,5	2,1
2	0,48	18,1	0,51	5,73	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	4,9	3,4
3	0,48	21,4	0,52	9,2	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	8,1	4,6
4	0,48	24,8	0,53	12,38	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	11,0	5,8
5	0,67	29,0	0,77	22,06	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	19,8	9,8
6	0,29	32,6	0,34	10,04	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	9,1	4,5
7	0,48	35,6	0,59	14,32	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	12,9	6,7
8	0,48	39,6	0,62	10,95	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	9,6	5,5
9	0,48	43,7	0,66	7,07	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	5,8	4,2
10	0,48	48,2	0,72	2,55	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	1,0	2,6

Strato 1: condizioni sismiche

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,023
Coefficiente azione sismica verticale	0,012

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,55
Ascissa centro superficie	16,37 m
Ordinata centro superficie	21,03 m
Raggio superficie	8,85 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 16,373 yc = 21,025 Rc = 8,852 Fs=1,5525

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,48	14,9	0,5	1,98	0,05	0,02	5,0	32,0	0,0	1,5	2,2
2	0,48	18,1	0,51	5,73	0,13	0,07	5,0	32,0	0,0	4,9	3,6
3	0,48	21,4	0,52	9,2	0,21	0,11	5,0	32,0	0,0	8,0	4,9
4	0,48	24,8	0,53	12,38	0,28	0,15	5,0	32,0	0,0	10,8	6,1
5	0,67	29,0	0,77	22,06	0,51	0,26	5,0	32,0	0,0	19,5	10,3
6	0,29	32,6	0,34	10,04	0,23	0,12	5,0	32,0	0,0	8,9	4,7
7	0,48	35,6	0,59	14,32	0,33	0,17	5,0	32,0	0,0	12,6	7,0
8	0,48	39,6	0,62	10,95	0,25	0,13	5,0	32,0	0,0	9,4	5,8
9	0,48	43,7	0,66	7,07	0,16	0,08	5,0	32,0	0,0	5,6	4,4
10	0,48	48,2	0,72	2,55	0,06	0,03	5,0	32,0	0,0	0,8	2,7

Strato 2: condizioni statiche

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,65
Ascissa centro superficie	16,37 m
Ordinata centro superficie	21,03 m
Raggio superficie	8,85 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 10,276 yc = 25,124 Rc = 18,913 Fs=3,0018

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1,4	8,3	1,41	23,02	0,0	0,0	60,0	41,0	0,0	18,3	33,6
2	1,4	12,7	1,43	66,01	0,0	0,0	60,0	41,0	0,0	57,5	45,3
3	1,4	17,0	1,46	104,8	0,0	0,0	60,0	41,0	0,0	92,4	56,0
4	1,88	22,3	2,04	194,95	0,0	0,0	60,0	41,0	0,0	173,4	90,9
5	0,91	27,0	1,02	110,59	0,0	0,0	60,0	41,0	0,0	99,1	49,1
6	1,69	31,5	1,98	219,01	0,0	0,0	60,0	41,0	0,0	197,6	96,8
7	1,11	36,6	1,38	135,22	0,0	0,0	60,0	41,0	0,0	121,8	62,8
8	1,4	41,6	1,87	131,66	0,0	0,0	60,0	41,0	0,0	113,7	70,3
9	1,4	47,5	2,07	80,84	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	94,5	23,1
10	1,4	54,3	2,39	30,15	0,0	0,0	5,0	32,0	0,0	35,7	11,4

Strato 2: condizioni sismiche

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,023
Coefficiente azione sismica verticale	0,012

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,55
Ascissa centro superficie	16,37 m
Ordinata centro superficie	21,03 m
Raggio superficie	8,85 m

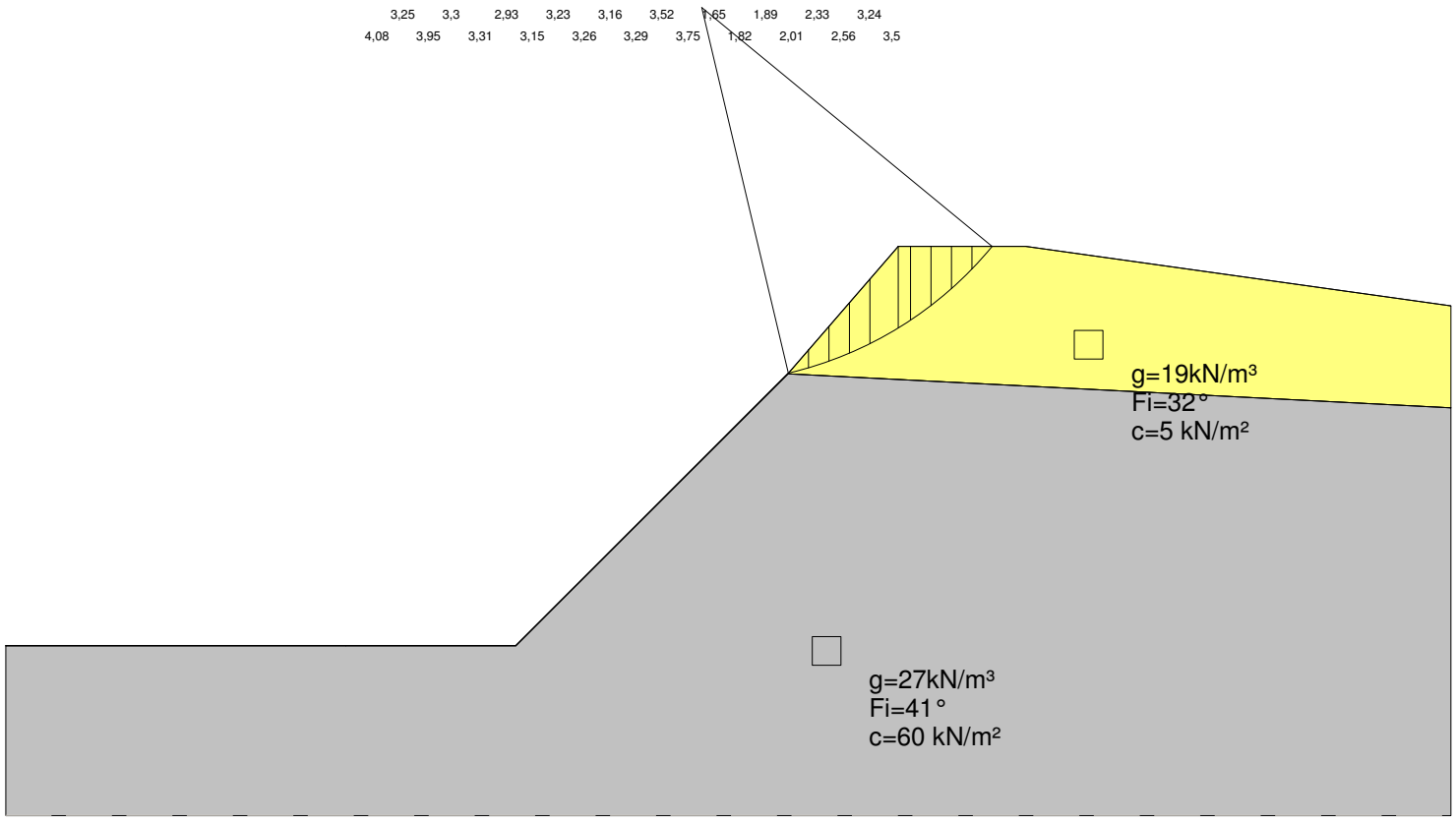
Analisi dei conci. Superficie...xc = 12,105 yc = 20,513 Rc = 13,983 Fs=2,9742

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1,25	4,3	1,26	20,05	0,46	0,24	60,0	41,0	0,0	17,8	30,5
2	1,25	9,5	1,27	57,27	1,32	0,69	60,0	41,0	0,0	51,3	40,6
3	1,25	14,8	1,3	90,52	2,08	1,09	60,0	41,0	0,0	80,5	49,7
4	1,25	20,2	1,33	119,56	2,75	1,43	60,0	41,0	0,0	106,1	57,9
5	0,85	24,8	0,94	95,74	2,2	1,15	60,0	41,0	0,0	85,2	43,9
6	1,65	30,7	1,92	204,18	4,7	2,45	60,0	41,0	0,0	182,7	92,1
7	0,95	37,1	1,19	121,55	2,8	1,46	60,0	41,0	0,0	109,9	56,1
8	1,56	43,9	2,16	169,97	3,91	2,04	60,0	41,0	0,0	151,4	87,8
9	1,25	52,6	2,06	83,19	1,91	1,0	60,0	41,0	0,0	59,7	59,0
10	1,25	62,4	2,7	33,86	0,78	0,41	5,0	32,0	0,0	45,9	14,2

verifica □
strato 1 □
condizioni [
statiche

1,8 3,41 2,78 1,93 2,02 2,19 2,48 2,84 3,58 4,26 5,28
3,26 1,71 3,47 1,91 2,04 2,26 2,66 2,99 4,08 4,96
3,2 3,34 2,77 1,89 1,91 2,08 2,34 2,89 3,29 3,94 4,93
3,35 1,71 3,51 1,81 2 2,14 2,46 3,19 3,69 4,55
3,16 3,27 2,76 1,85 1,96 2,13 2,3 2,65 3,05 4,26 5,42
2,89 3,22 3,47 1,93 3,04 3,25 2,42 2,89 3,39 4,19
3,13 3,2 2,79 3,51 2,92 3,03 2,58 2,45 3,2 3,85 4,95
3,18 3,15 3,43 1,89 2,86 3,06 2,59 2,65 3,15 4,52
3,42 3,13 2,86 3,41 2,75 3,42 2,4 2,64 2,91 3,53 4,57
3,2 3,07 3,34 1,86 3,24 3,42 2,41 2,8 3,25 4,08
3,11 3,07 3,02 3,31 3,17 3,21 2,23 2,45 2,68 3,73 4,91
3,16 3 3,25 1,83 3,58 3,73 2,23 2,55 2,96 3,74
3,23 3,01 3,26 3,22 3,18 3,51 2,06 2,28 2,75 3,35 4,44
3,14 2,93 3,16 1,79 3,48 3,49 2,07 2,37 2,73 3,91
3,41 2,96 3,18 3,13 3,25 3,31 1,92 2,12 2,5 3,06 4,04
3,12 3,35 3,08 3,37 3,48 3,83 1,92 2,2 2,75 3,52
3,69 2,92 3,11 3,27 2,77 3,61 1,78 1,97 2,33 3,12 4,22
3,08 3,32 3 3,3 3,44 3,59 1,78 2,04 2,51 3,22
3,77 3,15 3,07 3,21 3,34 3,24 1,67 1,82 2,16 2,8 3,8
3,25 3,3 2,93 3,23 3,16 3,52 1,65 1,89 2,33 3,24
4,08 3,95 3,31 3,15 3,26 3,29 3,75 1,82 2,01 2,56 3,5

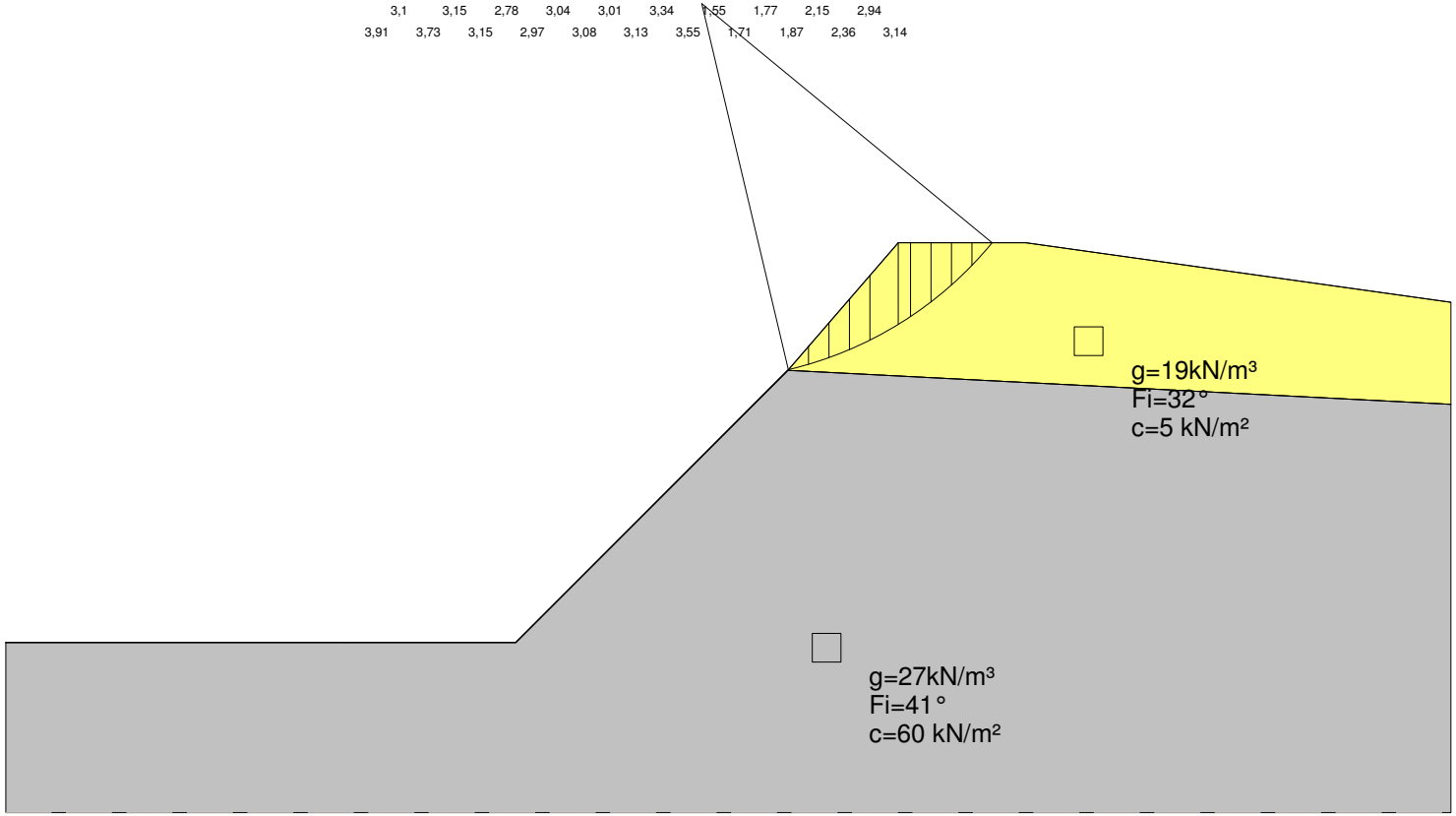
xc = 16,37 yc = 21,03 Rc = 8,85 Fs=1,65



verifica □
strato 1 □
condizioni □
sismiche

1,7 3,21 2,63 1,81 1,88 2,04 2,28 2,59 3,22 3,75 4,52
3,09 1,61 3,24 1,79 1,9 2,09 2,45 2,72 3,63 4,3
3,02 3,14 2,62 1,77 1,79 1,94 2,16 2,65 2,97 3,49 4,25
3,16 1,62 3,32 1,7 1,87 1,99 2,26 2,91 3,31 3,98
2,99 3,08 2,62 1,74 1,84 1,98 2,13 2,43 2,77 3,77 4,65
2,75 3,03 3,28 1,81 2,86 3,03 2,23 2,64 3,05 3,69
2,96 3,02 2,65 3,29 2,75 2,84 2,4 2,25 2,91 3,43 4,28
3,03 2,96 3,22 1,78 2,7 2,86 2,4 2,43 2,84 3,97
3,24 2,96 2,72 3,2 2,6 3,21 2,24 2,44 2,65 3,16 3,98
3,03 2,9 3,14 1,75 3,06 3,2 2,24 2,58 2,94 3,61
2,96 2,9 2,88 3,11 3 3,02 2,08 2,27 2,45 3,35 4,27
3 2,83 3,06 1,73 3,38 3,51 2,08 2,35 2,69 3,33
3,07 2,85 3,08 3,03 3,01 3,31 1,94 2,12 2,53 3,02 3,89
2,98 2,77 2,98 1,7 3,29 3,29 1,94 2,19 2,5 3,49
3,25 2,8 3,01 2,95 3,09 3,13 1,8 1,97 2,31 2,77 3,57
2,97 3,18 2,91 3,17 3,31 3,57 1,8 2,04 2,52 3,16
3,52 2,77 2,95 3,08 2,64 3,38 1,67 1,84 2,15 2,84 3,73
2,94 3,16 2,84 3,1 3,24 3,39 1,67 1,9 2,31 2,91
3,61 2,99 2,91 3,02 3,14 3,08 1,58 1,7 2,01 2,56 3,39
3,1 3,15 2,78 3,04 3,01 3,34 1,55 1,77 2,15 2,94
3,91 3,73 3,15 2,97 3,08 3,13 3,55 1,71 1,87 2,36 3,14

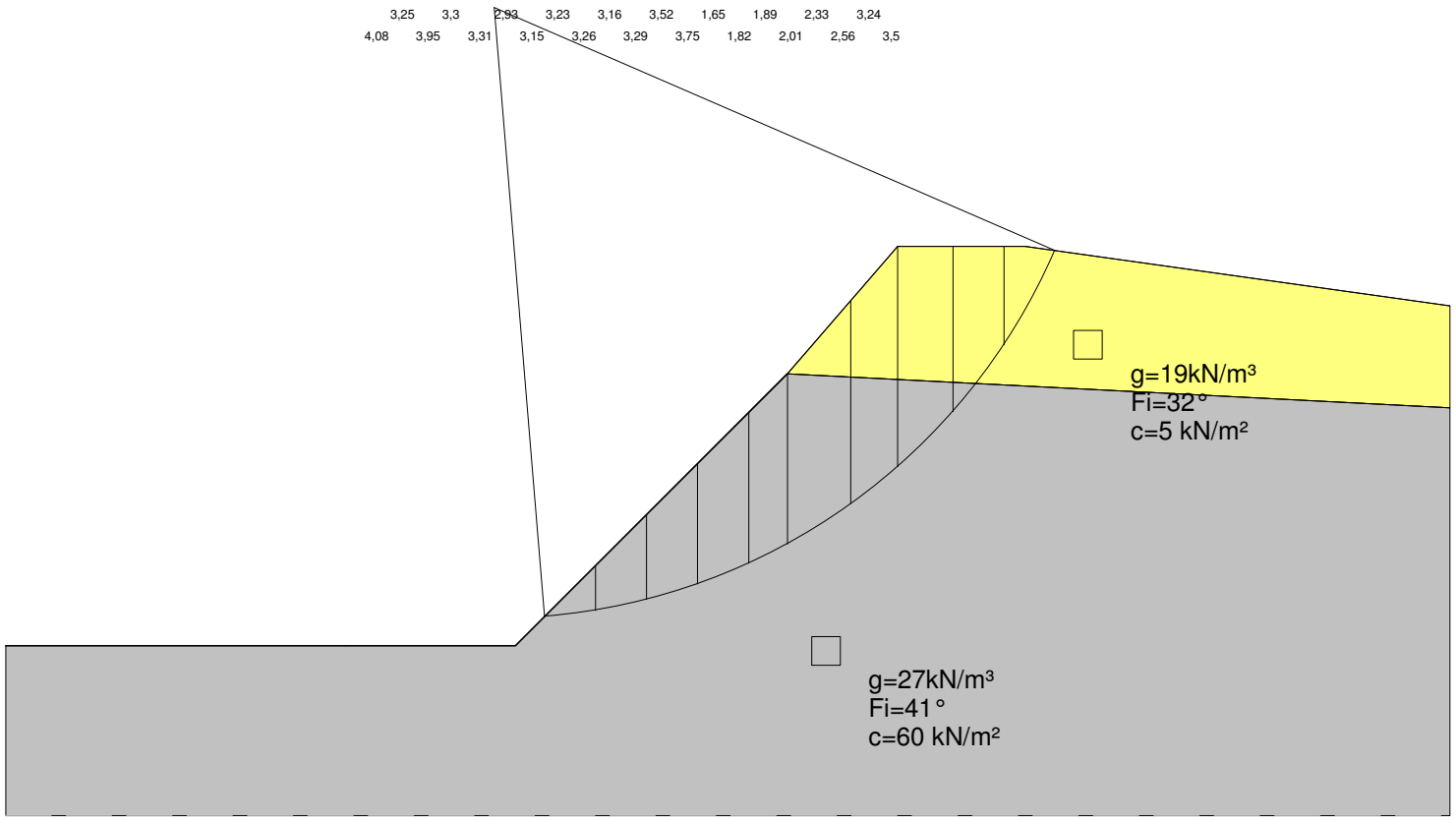
xc = 16,37 yc = 21,03 Rc = 8,85 Fs=1,55



verifica □
strato 2 □
condizioni □
statiche

1,8	3,41	2,78	1,93	2,02	2,19	2,48	2,84	3,58	4,26	5,28	
	3,26	1,71	3,47	1,91	2,04	2,26	2,66	2,99	4,08	4,96	
3,2	3,34	2,77	1,89	1,91	2,08	2,34	2,89	3,29	3,94	4,93	
	3,35	1,71	3,51	1,81	2	2,14	2,46	3,19	3,69	4,55	
3,16	3,27	2,76	1,85	1,96	2,13	2,3	2,65	3,05	4,26	5,42	
	2,89	3,22	3,47	1,93	3,04	3,25	2,42	2,89	3,39	4,19	
3,13	3,2	2,79	3,51	2,92	3,03	2,58	2,45	3,2	3,85	4,95	
	3,18	3,15	3,43	1,89	2,86	3,06	2,59	2,65	3,15	4,52	
3,42	3,13	2,86	3,41	2,75	3,42	2,4	2,64	2,91	3,53	4,57	
	3,2	3,07	3,34	1,86	3,24	3,42	2,41	2,8	3,25	4,08	
3,11	3,07	3,02	3,31	3,17	3,21	2,23	2,45	2,68	3,73	4,91	
	3,16	3	3,25	1,83	3,58	3,73	2,23	2,55	2,96	3,74	
3,23	3,01	3,26	3,22	3,18	3,51	2,06	2,28	2,75	3,35	4,44	
	3,14	2,93	3,16	1,79	3,48	3,49	2,07	2,37	2,73	3,91	
3,41	2,96	3,18	3,13	3,25	3,31	1,92	2,12	2,5	3,06	4,04	
	3,12	3,35	3,08	3,37	3,48	3,83	1,92	2,2	2,75	3,52	
3,69	2,92	3,11	3,27	2,77	3,61	1,78	1,97	2,33	3,12	4,22	
	3,08	3,32	3	3,3	3,44	3,59	1,78	2,04	2,51	3,22	
3,77	3,15	3,07	3,21	3,34	3,24	1,67	1,82	2,16	2,8	3,8	
	3,25	3,3	2,93	3,23	3,16	3,52	1,65	1,89	2,33	3,24	
4,08	3,95	3,31	3,15	3,26	3,29	3,75	1,82	2,01	2,56	3,5	

xc = 11,50 yc = 21,03 Rc = 14,39 Fs=2,93



verifica □
strato 2 □
condizioni [
sismiche

1,7 3,21 2,63 1,81 1,88 2,04 2,28 2,59 3,22 3,75 4,52
3,09 1,61 3,24 1,79 1,9 2,09 2,45 2,72 3,63 4,3
3,02 3,14 2,62 1,77 1,79 1,94 2,16 2,65 2,97 3,49 4,25
3,16 1,62 3,32 1,7 1,87 1,99 2,26 2,91 3,31 3,98
2,99 3,08 2,62 1,74 1,84 1,98 2,13 2,43 2,77 3,77 4,65
2,75 3,03 3,28 1,81 2,86 3,03 2,23 2,64 3,05 3,69
2,96 3,02 2,65 3,29 2,75 2,84 2,4 2,25 2,91 3,43 4,28
3,03 2,96 3,22 1,78 2,7 2,86 2,4 2,43 2,84 3,97
3,24 2,96 2,72 3,2 2,6 3,21 2,24 2,44 2,65 3,16 3,98
3,03 2,9 3,14 1,75 3,06 3,2 2,24 2,58 2,94 3,61
2,96 2,9 2,88 3,11 3 3,02 2,08 2,27 2,45 3,35 4,27
3 2,83 3,06 1,73 3,38 3,51 2,08 2,35 2,69 3,33
3,07 2,85 3,08 3,03 3,01 3,31 1,94 2,12 2,53 3,02 3,89
2,98 2,77 2,98 1,7 3,29 3,29 1,94 2,19 2,5 3,49
3,25 2,8 3,01 2,95 3,09 3,13 1,8 1,97 2,31 2,77 3,57
2,97 3,18 2,91 3,17 3,31 3,57 1,8 2,04 2,52 3,16
3,52 2,77 2,95 3,08 2,64 3,38 1,67 1,84 2,15 2,84 3,73
2,94 3,16 2,84 3,1 3,24 3,39 1,67 1,9 2,31 2,91
3,61 2,99 2,91 3,02 3,14 3,08 1,58 1,7 2,01 2,56 3,39
3,1 3,15 2,78 3,04 3,01 3,34 1,55 1,77 2,15 2,94
3,91 3,73 3,15 2,97 3,08 3,13 3,55 1,71 1,87 2,36 3,14

xc = 11,50 yc = 21,03 Rc = 14,39 Fs=2,78

