

Dott. Geologo Massimo Mosconi

via M.Buonarroti 30, 47021 S.Piero in Bagno (FC)

tel. 347/0714357 E-mail mosconi.massimo@tiscali.it

P.Iva 03421960406

Comune di Sarsina
Provincia di Forlì-Cesena

Committente: *Eurocave s.n.c. dei fratelli DeLuca*
Paolo e Gabriele

*Progetto di coltivazione di una cava di arenaria tipo pietra
serena, orizzonte alberese, in località Scalello (ambito
estrattivo 25S - Scalello 2 - UMI 1 e UMI 2)
Comune di Sarsina (FC)*

**Elaborato 4 - Verifiche stabilità
cumuli temporanei cappellaccio**

ANALISI DI STABILITA' DI PENDIO (CUMULI TEMPORANEI DI TERRENO DI SCAVO)

1) INTRODUZIONE

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.

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

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

2) VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

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

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- **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.

PARAMETRI SISMICI SITO IN ESAME

Sito in esame.

latitudine:43,867999

longitudine:12,091993

Classe:2

Vita nominale:50

Siti di riferimento

Sito 1ID: 19626Lat: 43,8759Lon: 12,0338Distanza: 4748,854

Sito 2ID: 19627Lat: 43,8767Lon: 12,1031Distanza: 1314,000

Sito 3ID: 19849Lat: 43,8267Lon: 12,1042Distanza: 4696,085

Sito 4ID: 19848Lat: 43,8259Lon: 12,0349Distanza: 6548,906

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30[anni]

ag: 0,068 g

Fo: 2,415

Tc*: 0,265[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50[anni]

ag: 0,086 g

Fo: 2,408

Tc*: 0,274[s]

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475[anni]
ag: 0,202 g
Fo: 2,451
Tc*: 0,311[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975[anni]
ag: 0,254 g
Fo: 2,510
Tc*: 0,320[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,796
Beta: 0,200
SLD:
Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,021
Kv: 0,010
Amax: 1,008
Beta: 0,200
SLV:
Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,073
Kv: 0,036
Amax: 2,379
Beta: 0,300
SLC:
Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,091
Kv: 0,046
Amax: 2,988
Beta: 0,300

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine:43.867051

longitudine:12.091028

3) RELAZIONE DI CALCOLO

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.

La stabilità è stata verificata in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche per cumuli di altezza pari a 6 m.

Nel metodo di calcolo, in condizioni dinamiche, è stato considerato l'effetto dell'azione sismica verticale positiva e negativa.

Le verifiche sono state eseguite in condizioni drenate ed in condizioni non drenate, con saturazione di acqua fino a circa 1.5 m dalla superficie sommitale del cumulo temporaneo di materiale di scavo.

Sono state analizzate 157 superfici di rottura mediante calcolo automatico.

La condizione di stato limite valutata è quella di salvaguardia della vita (SLV), come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

VERIFICHE DI STABILITA' PER CUMULI DI ALTEZZA PARI A 6M CON SCARPATE LATERALI DELL'ORDINE DI 1:2

Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Lat./Long.	44,05/12,19
Normativa	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi in Condizione drenata e non drenata	
Analisi in Condizione statica e dinamica	
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0,55 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	6,72 m
Ascissa vertice destro superiore xs	14,9 m
Ordinata vertice destro superiore ys	17,14 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: B
Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,64	2,42	0,27
S.L.D.	50,0	0,81	2,4	0,28
S.L.V.	475,0	2,01	2,42	0,31
S.L.C.	975,0	2,53	2,47	0,32

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,768	0,2	0,0157	0,0078
S.L.D.	0,972	0,2	0,0198	0,0099
S.L.V.	2,412	0,28	0,0689	0,0344
S.L.C.	2,8971	0,28	0,0827	0,0414

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,073
Coefficiente azione sismica verticale 0,036

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	5,0	0,0
3	17,0	6,0
4	27,0	6,0

Falda

Nr.	X m	y m
1	0,0	0,0
2	5,0	0,0
3	6,9	0,38
4	9,4	1,26
5	14,9	3,34
6	18,1	4,3
7	20,4	4,4
8	27,0	4,4

Vertici strato1

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	27,0	0,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1,1
Coesione efficace 1,3

Coesione non drenata 1,2
 Riduzione parametri geotecnici terreno Si

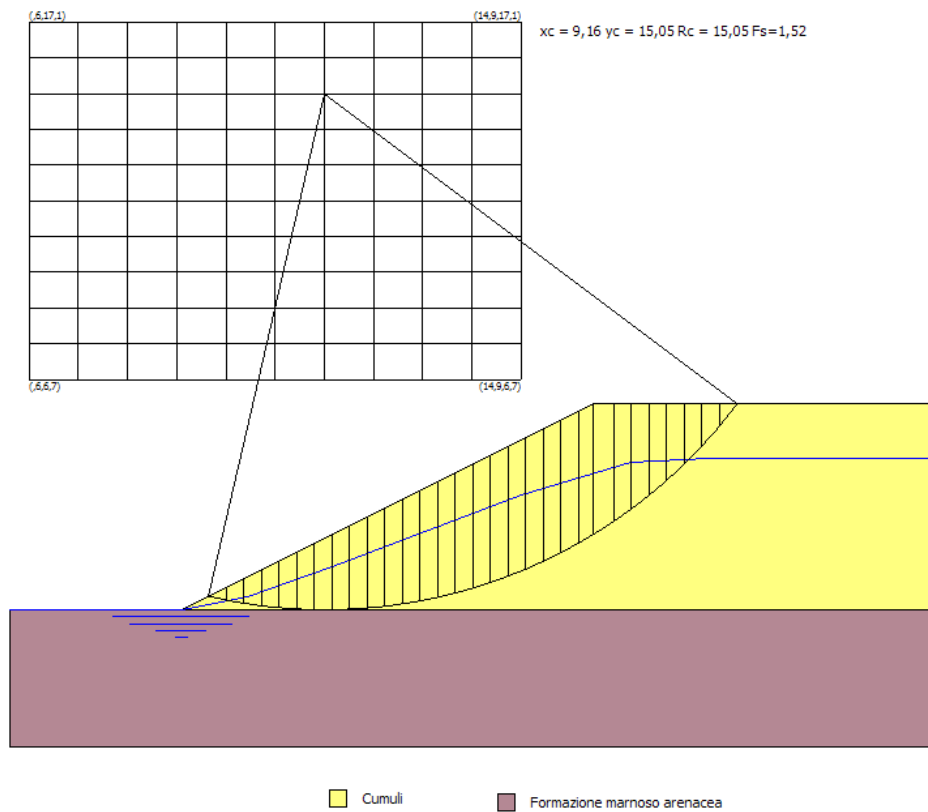
Stratigrafia

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

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia	
1	0,15	0,3	23	1700	2000	0,00	Cumuli	
2	2,00	4,00	35	2400,00	2700,00	0,00	Formazione marnoso arenacea	

METODO STATICO

A) ANALISI DI STABILITA' CUMULI TERRENO IN CONDIZIONI DRENATE



Risultati analisi pendio [NTC 2018: [A2+M2+R2]]

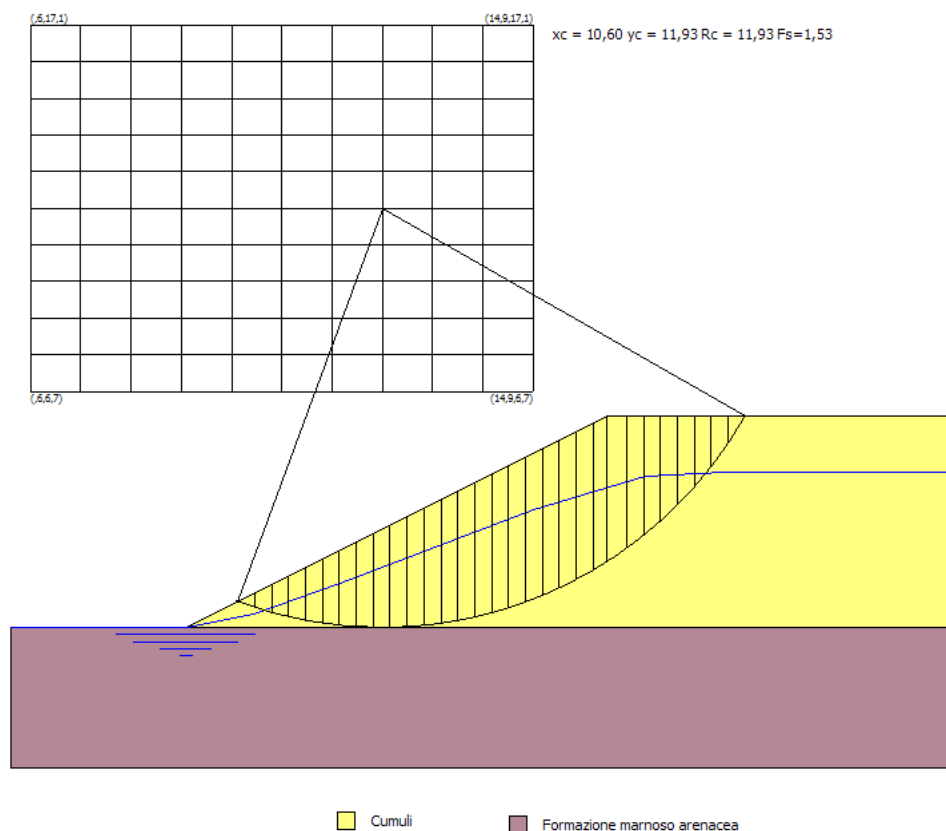
Fs minimo individuato	1,52
Ascissa centro superficie	9,16 m
Ordinata centro superficie	15,05 m
Raggio superficie	15,05 m

Analisi dei conci. Superficie... $x_c = 9,164$ $y_c = 15,054$ $R_c = 15,052$ $F_s = 1,522$

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	0,51	-12,0	0,53	161,97	0,0	0,0	0,12	21,1	0,0	255,1	420,8
2	0,51	-10,0	0,52	485,8	0,0	0,0	0,12	21,1	78,6	537,7	483,5
3	0,51	-8,0	0,52	813,62	0,0	0,0	0,12	21,1	287,2	747,5	529,9

4	0,51	-6,1	0,52	1131,17	0,0	0,0	0,12	21,1	531,6	923,3	568,9
5	0,51	-4,1	0,52	1430,39	0,0	0,0	0,12	21,1	758,1	1087,0	605,5
6	0,51	-2,1	0,51	1711,44	0,0	0,0	0,12	21,1	967,0	1239,4	640,0
7	0,51	-0,2	0,51	1974,44	0,0	0,0	0,12	21,1	1158,3	1381,5	672,5
8	0,51	1,8	0,51	2220,32	0,0	0,0	0,12	21,1	1338,1	1511,9	702,7
9	0,51	3,7	0,51	2449,3	0,0	0,0	0,12	21,1	1507,7	1630,6	730,7
10	0,51	5,7	0,52	2660,15	0,0	0,0	0,12	21,1	1659,7	1740,9	757,1
11	0,51	7,7	0,52	2852,69	0,0	0,0	0,12	21,1	1793,8	1843,2	782,1
12	0,51	9,6	0,52	3026,72	0,0	0,0	0,12	21,1	1910,0	1937,8	805,8
13	0,51	11,6	0,52	3181,93	0,0	0,0	0,12	21,1	2007,8	2024,9	828,2
14	0,51	13,6	0,53	3317,96	0,0	0,0	0,12	21,1	2087,0	2104,7	849,5
15	0,51	15,7	0,53	3434,34	0,0	0,0	0,12	21,1	2147,1	2177,3	869,6
16	0,51	17,7	0,54	3530,54	0,0	0,0	0,12	21,1	2187,5	2242,6	888,6
17	0,51	19,8	0,55	3605,88	0,0	0,0	0,12	21,1	2207,6	2300,6	906,5
18	0,51	21,9	0,55	3659,58	0,0	0,0	0,12	21,1	2206,7	2351,0	923,4
19	0,51	24,0	0,56	3686,16	0,0	0,0	0,12	21,1	2154,1	2404,2	941,7
20	0,51	26,1	0,57	3687,48	0,0	0,0	0,12	21,1	2068,0	2453,0	959,8
21	0,51	28,3	0,58	3663,88	0,0	0,0	0,12	21,1	1957,7	2493,1	976,9
22	0,44	30,4	0,5	3065,61	0,0	0,0	0,12	21,1	1833,0	2136,4	840,3
23	0,59	32,7	0,7	3934,82	0,0	0,0	0,12	21,1	1671,6	2777,1	1125,3
24	0,51	35,3	0,63	3055,83	0,0	0,0	0,12	21,1	1464,9	2161,8	931,9
25	0,51	37,7	0,65	2679,13	0,0	0,0	0,12	21,1	1171,9	1934,5	893,3
26	0,51	40,2	0,67	2256,09	0,0	0,0	0,12	21,1	779,2	1705,6	856,7
27	0,51	42,8	0,7	1792,54	0,0	0,0	0,12	21,1	347,1	1444,8	815,7
28	0,51	45,5	0,73	1303,2	0,0	0,0	0,12	21,1	0,0	1089,5	756,7
29	0,51	48,4	0,77	822,67	0,0	0,0	0,12	21,1	0,0	506,7	650,3
30	0,51	51,5	0,82	289,55	0,0	0,0	0,12	21,1	0,0	-192,8	523,8

B) ANALISI DI STABILITA' CUMULI TERRENO IN CONDIZIONI NON DRENATE



Risultati analisi pendio [NTC 2018: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1,53
Ascissa centro superficie	10,6 m
Ordinata centro superficie	11,93 m
Raggio superficie	11,93 m

Analisi dei conchi. Superficie... $xc = 10,599$ $yc = 11,928$ $Rc = 11,928$ $Fs=1,5336$

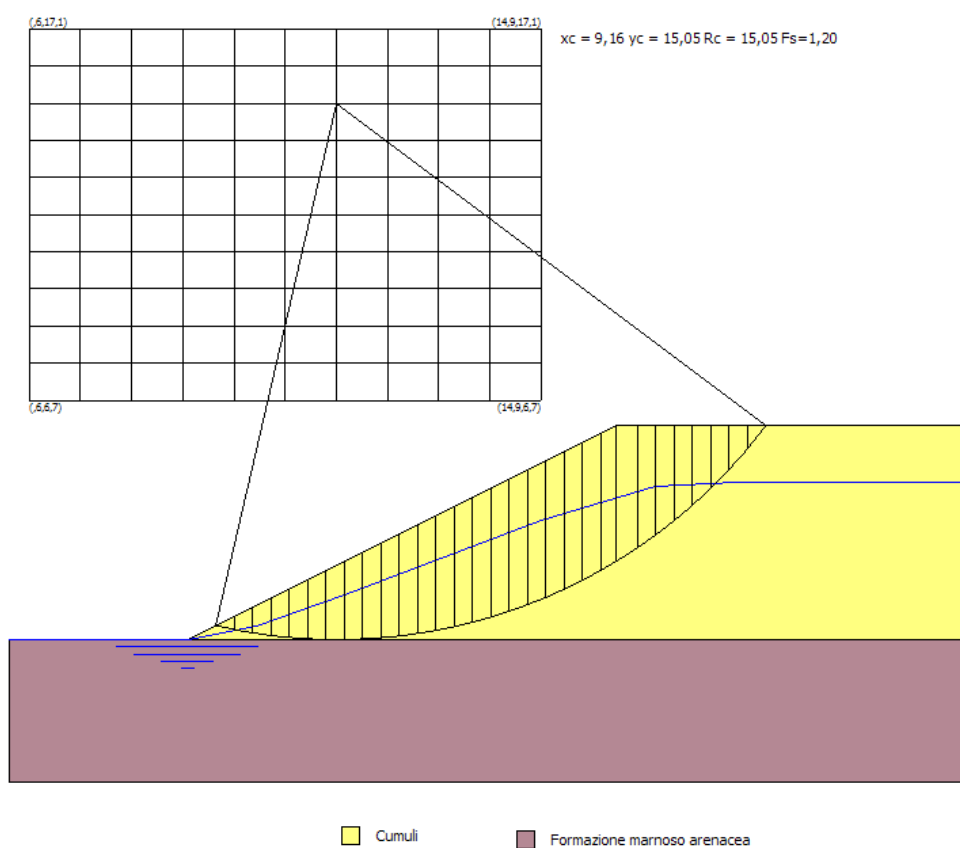
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,48	-19,0	0,51	199,45	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	471,6	756,4
2	0,48	-16,6	0,5	581,74	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	829,1	746,1
3	0,48	-14,2	0,5	942,63	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	1158,5	737,6
4	0,48	-11,8	0,49	1282,83	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	1463,0	730,5
5	0,48	-9,4	0,49	1602,93	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	1745,4	724,9
6	0,48	-7,1	0,49	1903,4	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	2007,7	720,6

7	0,48	-4,8	0,48	2184,58	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	2251,9	717,6
8	0,48	-2,4	0,48	2446,71	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	2479,4	715,8
9	0,48	-0,1	0,48	2689,94	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	2691,4	715,1
10	0,48	2,2	0,48	2914,33	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	2889,0	715,6
11	0,48	4,5	0,48	3119,83	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3072,8	717,3
12	0,48	6,9	0,49	3306,29	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3243,5	720,3
13	0,48	9,2	0,49	3473,5	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3401,4	724,4
14	0,48	11,6	0,49	3621,12	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3546,8	729,9
15	0,48	13,9	0,5	3748,69	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3679,5	736,8
16	0,48	16,3	0,5	3855,63	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3799,4	745,2
17	0,48	18,8	0,51	3941,25	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3905,9	755,2
18	0,48	21,2	0,52	4004,67	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3998,2	767,2
19	0,48	23,7	0,53	4044,8	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	4075,2	781,2
20	0,48	26,3	0,54	4060,33	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	4134,9	797,7
21	0,48	28,9	0,55	4049,71	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	4175,3	817,0
22	0,39	31,3	0,46	3275,8	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3419,7	683,1
23	0,57	34,1	0,69	4513,84	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	4759,1	1022,9
24	0,48	37,2	0,61	3446,62	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3646,3	898,1
25	0,48	40,2	0,63	3073,5	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	3232,8	936,3
26	0,48	43,3	0,66	2658,02	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	2726,5	982,8
27	0,48	46,6	0,7	2193,46	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	2091,8	1040,6
28	0,48	50,1	0,75	1670,58	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	1271,4	1114,5
29	0,48	53,9	0,82	1075,96	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	164,1	1212,5
30	0,48	58,0	0,91	388,65	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	-1427,7	1349,9

METODO PSEUDO STATICO

A) ANALISI DI STABILITA' CUMULI TERRENO IN CONDIZIONI DRENATE

AZIONE SISMICA VERTICALE POSITIVA (Kv+)



Risultati analisi pendio [NTC 2018: [A2+M2+R2]]

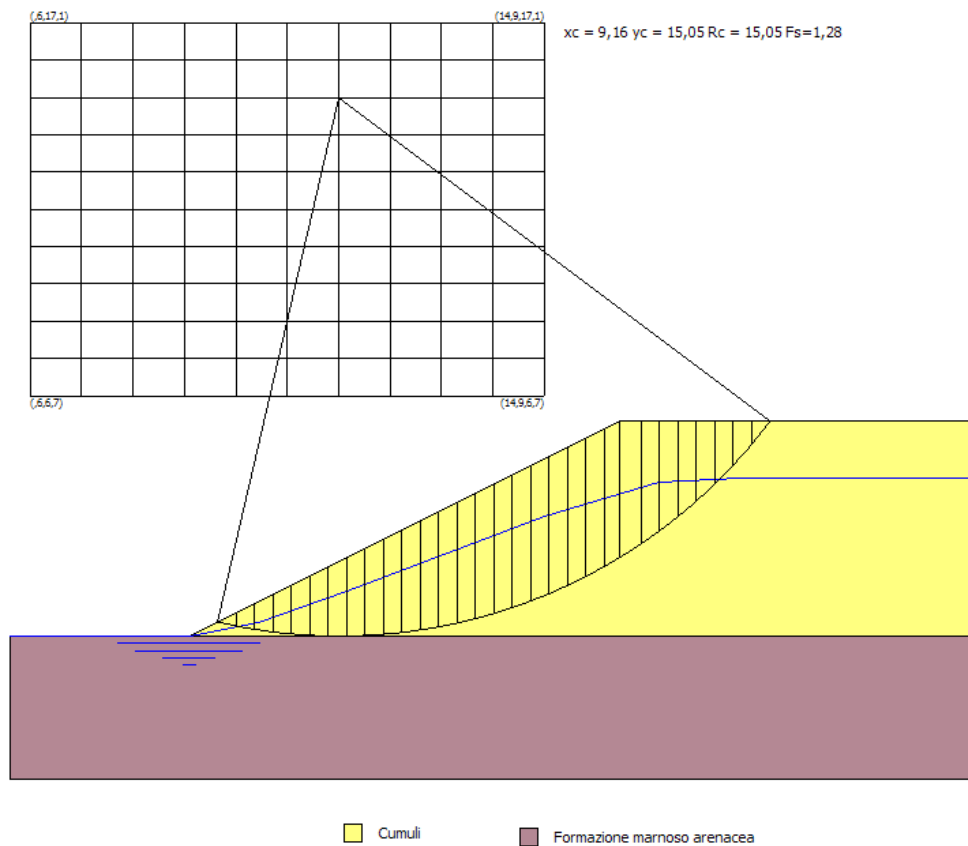
Fs minimo individuato	1,2
Ascissa centro superficie	9,16 m
Ordinata centro superficie	15,05 m
Raggio superficie	15,05 m

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 = 9,164 yc = 15,054 Rc = 15,052 Fs=1,1997

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,51	-12,0	0,53	161,97	11,82	5,83	0,12	21,1	0,0	280,8	541,4
2	0,51	-10,0	0,52	485,8	35,46	17,49	0,12	21,1	78,6	561,9	620,5
3	0,51	-8,0	0,52	813,62	59,39	29,29	0,12	21,1	287,2	768,4	678,4
4	0,51	-6,1	0,52	1131,17	82,58	40,72	0,12	21,1	531,6	940,1	726,7
5	0,51	-4,1	0,52	1430,39	104,42	51,49	0,12	21,1	758,1	1098,9	771,7
6	0,51	-2,1	0,51	1711,44	124,94	61,61	0,12	21,1	967,0	1245,9	813,9
7	0,51	-0,2	0,51	1974,44	144,13	71,08	0,12	21,1	1158,3	1382,1	853,4
8	0,51	1,8	0,51	2220,32	162,08	79,93	0,12	21,1	1338,1	1506,1	889,9
9	0,51	3,7	0,51	2449,3	178,8	88,17	0,12	21,1	1507,7	1618,0	923,3
10	0,51	5,7	0,52	2660,15	194,19	95,77	0,12	21,1	1659,7	1721,2	954,8
11	0,51	7,7	0,52	2852,69	208,25	102,7	0,12	21,1	1793,8	1816,0	984,3
12	0,51	9,6	0,52	3026,72	220,95	108,96	0,12	21,1	1910,0	1902,8	1012,1
13	0,51	11,6	0,52	3181,93	232,28	114,55	0,12	21,1	2007,8	1981,7	1038,1
14	0,51	13,6	0,53	3317,96	242,21	119,45	0,12	21,1	2087,0	2053,0	1062,6
15	0,51	15,7	0,53	3434,34	250,71	123,64	0,12	21,1	2147,1	2116,8	1085,5
16	0,51	17,7	0,54	3530,54	257,73	127,1	0,12	21,1	2187,5	2172,9	1107,0
17	0,51	19,8	0,55	3605,88	263,23	129,81	0,12	21,1	2207,6	2221,4	1126,9
18	0,51	21,9	0,55	3659,58	267,15	131,75	0,12	21,1	2206,7	2262,0	1145,5
19	0,51	24,0	0,56	3686,16	269,09	132,7	0,12	21,1	2154,1	2304,6	1165,6
20	0,51	26,1	0,57	3687,48	269,19	132,75	0,12	21,1	2068,0	2342,3	1185,4
21	0,51	28,3	0,58	3663,88	267,46	131,9	0,12	21,1	1957,7	2370,8	1203,7
22	0,44	30,4	0,5	3065,61	223,79	110,36	0,12	21,1	1833,0	2023,3	1032,9
23	0,59	32,7	0,7	3934,82	287,24	141,65	0,12	21,1	1671,6	2613,6	1379,8
24	0,51	35,3	0,63	3055,83	223,08	110,01	0,12	21,1	1464,9	2015,1	1139,4
25	0,51	37,7	0,65	2679,13	195,58	96,45	0,12	21,1	1171,9	1783,2	1089,1
26	0,51	40,2	0,67	2256,09	164,69	81,22	0,12	21,1	779,2	1549,6	1041,3
27	0,51	42,8	0,7	1792,54	130,86	64,53	0,12	21,1	347,1	1285,0	988,2
28	0,51	45,5	0,73	1303,2	95,13	46,92	0,12	21,1	0,0	929,9	913,3
29	0,51	48,4	0,77	822,67	60,05	29,62	0,12	21,1	0,0	358,6	781,7
30	0,51	51,5	0,82	289,55	21,14	10,42	0,12	21,1	0,0	-322,0	626,8

AZIONE SISMICA VERTICALE NEGATIVA (Kv-)



Risultati analisi pendio [NTC 2018: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1,28
Ascissa centro superficie	9,16 m
Ordinata centro superficie	15,05 m
Raggio superficie	15,05 m

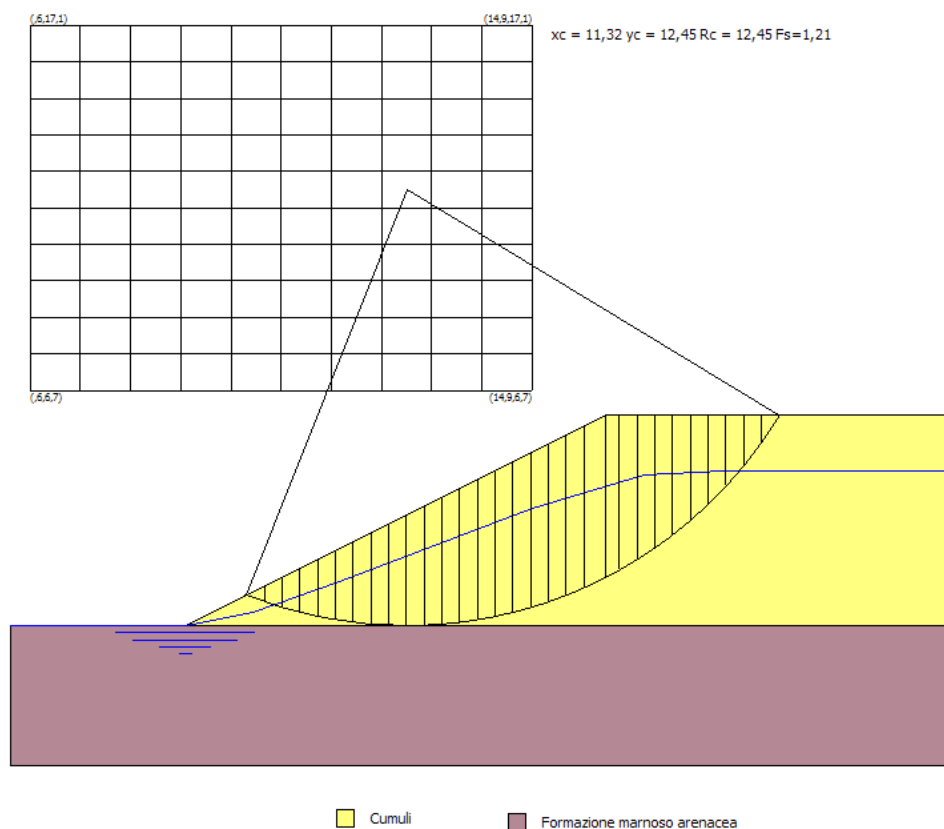
Analisi dei conci. Superficie... $x_c = 9,164 \quad y_c = 15,054 \quad R_c = 15,052 \quad F_s = 1,282$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,51	-12,0	0,53	161,97	11,82	-5,83	0,12	21,1	0,0	272,9	504,5
2	0,51	-10,0	0,52	485,8	35,46	-17,49	0,12	21,1	78,6	554,5	578,6
3	0,51	-8,0	0,52	813,62	59,39	-29,29	0,12	21,1	287,2	762,0	633,1
4	0,51	-6,1	0,52	1131,17	82,58	-40,72	0,12	21,1	531,6	935,0	678,6
5	0,51	-4,1	0,52	1430,39	104,42	-51,49	0,12	21,1	758,1	1095,2	721,1

6	0,51	-2,1	0,51	1711,44	124,94	-61,61	0,12	21,1	967,0	1243,9	761,0
7	0,51	-0,2	0,51	1974,44	144,13	-71,08	0,12	21,1	1158,3	1381,9	798,5
8	0,51	1,8	0,51	2220,32	162,08	-79,93	0,12	21,1	1338,1	1507,8	833,2
9	0,51	3,7	0,51	2449,3	178,8	-88,17	0,12	21,1	1507,7	1621,8	865,0
10	0,51	5,7	0,52	2660,15	194,19	-95,77	0,12	21,1	1659,7	1727,2	895,1
11	0,51	7,7	0,52	2852,69	208,25	-102,7	0,12	21,1	1793,8	1824,2	923,3
12	0,51	9,6	0,52	3026,72	220,95	-108,96	0,12	21,1	1910,0	1913,3	949,9
13	0,51	11,6	0,52	3181,93	232,28	-114,55	0,12	21,1	2007,8	1994,7	975,0
14	0,51	13,6	0,53	3317,96	242,21	-119,45	0,12	21,1	2087,0	2068,6	998,6
15	0,51	15,7	0,53	3434,34	250,71	-123,64	0,12	21,1	2147,1	2134,9	1020,8
16	0,51	17,7	0,54	3530,54	257,73	-127,1	0,12	21,1	2187,5	2193,8	1041,6
17	0,51	19,8	0,55	3605,88	263,23	-129,81	0,12	21,1	2207,6	2245,1	1061,0
18	0,51	21,9	0,55	3659,58	267,15	-131,75	0,12	21,1	2206,7	2288,6	1079,2
19	0,51	24,0	0,56	3686,16	269,09	-132,7	0,12	21,1	2154,1	2334,3	1098,8
20	0,51	26,1	0,57	3687,48	269,19	-132,75	0,12	21,1	2068,0	2375,3	1118,2
21	0,51	28,3	0,58	3663,88	267,46	-131,9	0,12	21,1	1957,7	2407,1	1136,3
22	0,44	30,4	0,5	3065,61	223,79	-110,36	0,12	21,1	1833,0	2056,8	975,8
23	0,59	32,7	0,7	3934,82	287,24	-141,65	0,12	21,1	1671,6	2662,0	1304,4
24	0,51	35,3	0,63	3055,83	223,08	-110,01	0,12	21,1	1464,9	2058,5	1078,0
25	0,51	37,7	0,65	2679,13	195,58	-96,45	0,12	21,1	1171,9	1827,8	1031,3
26	0,51	40,2	0,67	2256,09	164,69	-81,22	0,12	21,1	779,2	1595,6	987,0
27	0,51	42,8	0,7	1792,54	130,86	-64,53	0,12	21,1	347,1	1331,9	937,5
28	0,51	45,5	0,73	1303,2	95,13	-46,92	0,12	21,1	0,0	976,7	867,5
29	0,51	48,4	0,77	822,67	60,05	-29,62	0,12	21,1	0,0	401,9	743,3
30	0,51	51,5	0,82	289,55	21,14	-10,42	0,12	21,1	0,0	-284,4	596,8

B) ANALISI DI STABILITA' CUMULI TERRENO IN CONDIZIONI NON DRENATE

AZIONE SISMICA VERTICALE POSITIVA (Kv+)



Risultati analisi pendio [NTC 2018: [A2+M2+R2]]

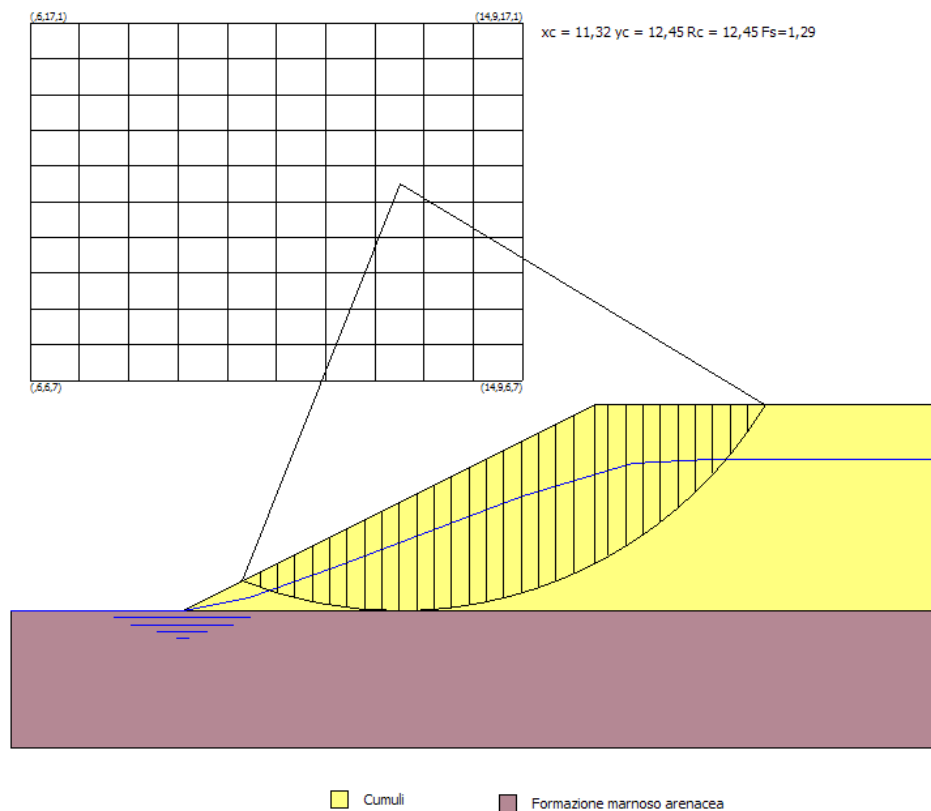
Fs minimo individuato	1,21
Ascissa centro superficie	11,32 m
Ordinata centro superficie	12,45 m
Raggio superficie	12,45 m

Analisi dei conci. Superficie... $x_c = 11,317$ $y_c = 12,449$ $R_c = 12,449$ $F_s = 1,2135$

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	0,51	-20,3	0,54	227,24	16,59	8,18	0,25	0,0	0,0	617,5	1013,3
2	0,51	-17,8	0,53	662,78	48,38	23,86	0,25	0,0	0,0	1017,6	998,3
3	0,51	-15,4	0,53	1073,97	78,4	38,66	0,25	0,0	0,0	1385,6	985,7
4	0,51	-13,0	0,52	1461,72	106,71	52,62	0,25	0,0	0,0	1725,2	975,3

5	0,51	-10,6	0,52	1826,77	133,35	65,76	0,25	0,0	0,0	2039,6	966,8
6	0,51	-8,2	0,51	2169,7	158,39	78,11	0,25	0,0	0,0	2331,4	960,2
7	0,51	-5,9	0,51	2490,97	181,84	89,67	0,25	0,0	0,0	2602,7	955,3
8	0,51	-3,5	0,51	2790,9	203,74	100,47	0,25	0,0	0,0	2855,2	952,1
9	0,51	-1,2	0,51	3069,71	224,09	110,51	0,25	0,0	0,0	3090,4	950,5
10	0,51	1,1	0,51	3327,52	242,91	119,79	0,25	0,0	0,0	3309,4	950,5
11	0,51	3,5	0,51	3564,3	260,19	128,31	0,25	0,0	0,0	3513,1	952,1
12	0,51	5,8	0,51	3779,98	275,94	136,08	0,25	0,0	0,0	3702,3	955,2
13	0,51	8,2	0,51	3974,32	290,13	143,08	0,25	0,0	0,0	3877,3	960,0
14	0,51	10,5	0,52	4147,02	302,73	149,29	0,25	0,0	0,0	4038,4	966,6
15	0,51	12,9	0,52	4297,62	313,73	154,71	0,25	0,0	0,0	4185,6	975,0
16	0,51	15,3	0,53	4425,52	323,06	159,32	0,25	0,0	0,0	4318,7	985,4
17	0,51	17,8	0,53	4530,02	330,69	163,08	0,25	0,0	0,0	4437,1	997,9
18	0,51	20,2	0,54	4610,21	336,55	165,97	0,25	0,0	0,0	4540,1	1012,8
19	0,51	22,7	0,55	4664,96	340,54	167,94	0,25	0,0	0,0	4626,4	1030,5
20	0,62	25,6	0,68	5707,49	416,65	205,47	0,25	0,0	0,0	5714,7	1281,1
21	0,4	28,2	0,45	3599,01	262,73	129,56	0,25	0,0	0,0	3630,4	845,6
22	0,51	30,6	0,59	4330,87	316,15	155,91	0,25	0,0	0,0	4378,6	1104,1
23	0,51	33,4	0,61	4009,49	292,69	144,34	0,25	0,0	0,0	4051,3	1137,7
24	0,51	36,2	0,63	3652,06	266,6	131,47	0,25	0,0	0,0	3663,8	1177,6
25	0,51	39,2	0,65	3254,6	237,59	117,17	0,25	0,0	0,0	3199,2	1225,5
26	0,51	42,2	0,69	2812,01	205,28	101,23	0,25	0,0	0,0	2632,7	1283,6
27	0,51	45,5	0,72	2317,56	169,18	83,43	0,25	0,0	0,0	1927,1	1355,3
28	0,51	48,9	0,77	1761,98	128,62	63,43	0,25	0,0	0,0	1022,3	1446,3
29	0,51	52,6	0,84	1131,98	82,63	40,75	0,25	0,0	0,0	-184,6	1565,5
30	0,51	56,7	0,92	407,41	29,74	14,67	0,25	0,0	0,0	-1889,2	1729,7

AZIONE SISMICA VERTICALE NEGATIVA (Kv-)



Risultati analisi pendio [NTC 2018: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1,29
Ascissa centro superficie	11,32 m
Ordinata centro superficie	12,45 m
Raggio superficie	12,45 m

Analisi dei conchi. Superficie...xc = 11,317 yc = 12,449 Rc = 12,449 Fs=1,2865

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	0,51	-20,3	0,54	227,24	16,59	-8,18	0,25	0,0	0,0	596,2	955,8
2	0,51	-17,8	0,53	662,78	48,38	-23,86	0,25	0,0	0,0	999,4	941,7
3	0,51	-15,4	0,53	1073,97	78,4	-38,66	0,25	0,0	0,0	1370,2	929,8

4	0,51	-13,0	0,52	1461,72	106,71	-52,62	0,25	0,0	0,0	1712,4	920,0
5	0,51	-10,6	0,52	1826,77	133,35	-65,76	0,25	0,0	0,0	2029,3	912,0
6	0,51	-8,2	0,51	2169,7	158,39	-78,11	0,25	0,0	0,0	2323,5	905,7
7	0,51	-5,9	0,51	2490,97	181,84	-89,67	0,25	0,0	0,0	2597,1	901,1
8	0,51	-3,5	0,51	2790,9	203,74	-100,47	0,25	0,0	0,0	2851,8	898,1
9	0,51	-1,2	0,51	3069,71	224,09	-110,51	0,25	0,0	0,0	3089,2	896,6
10	0,51	1,1	0,51	3327,52	242,91	-119,79	0,25	0,0	0,0	3310,4	896,6
11	0,51	3,5	0,51	3564,3	260,19	-128,31	0,25	0,0	0,0	3516,4	898,0
12	0,51	5,8	0,51	3779,98	275,94	-136,08	0,25	0,0	0,0	3707,8	901,0
13	0,51	8,2	0,51	3974,32	290,13	-143,08	0,25	0,0	0,0	3885,1	905,6
14	0,51	10,5	0,52	4147,02	302,73	-149,29	0,25	0,0	0,0	4048,6	911,8
15	0,51	12,9	0,52	4297,62	313,73	-154,71	0,25	0,0	0,0	4198,3	919,7
16	0,51	15,3	0,53	4425,52	323,06	-159,32	0,25	0,0	0,0	4334,0	929,5
17	0,51	17,8	0,53	4530,02	330,69	-163,08	0,25	0,0	0,0	4455,3	941,3
18	0,51	20,2	0,54	4610,21	336,55	-165,97	0,25	0,0	0,0	4561,3	955,4
19	0,51	22,7	0,55	4664,96	340,54	-167,94	0,25	0,0	0,0	4650,9	972,0
20	0,62	25,6	0,68	5707,49	416,65	-205,47	0,25	0,0	0,0	5749,5	1208,4
21	0,4	28,2	0,45	3599,01	262,73	-129,56	0,25	0,0	0,0	3656,1	797,6
22	0,51	30,6	0,59	4330,87	316,15	-155,91	0,25	0,0	0,0	4415,7	1041,4
23	0,51	33,4	0,61	4009,49	292,69	-144,34	0,25	0,0	0,0	4093,8	1073,2
24	0,51	36,2	0,63	3652,06	266,6	-131,47	0,25	0,0	0,0	3712,7	1110,8
25	0,51	39,2	0,65	3254,6	237,59	-117,17	0,25	0,0	0,0	3255,8	1156,0
26	0,51	42,2	0,69	2812,01	205,28	-101,23	0,25	0,0	0,0	2698,9	1210,7
27	0,51	45,5	0,72	2317,56	169,18	-83,43	0,25	0,0	0,0	2005,3	1278,4
28	0,51	48,9	0,77	1761,98	128,62	-63,43	0,25	0,0	0,0	1116,4	1364,2
29	0,51	52,6	0,84	1131,98	82,63	-40,75	0,25	0,0	0,0	-68,3	1476,7
30	0,51	56,7	0,92	407,41	29,74	-14,67	0,25	0,0	0,0	-1739,9	1631,6

4) CONCLUSIONI

La stabilità è stata verificata in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche per cumuli di altezza pari a 6 m con scarpate laterali dell'ordine 1:2.

Nel metodo di calcolo, in condizioni dinamiche, è stato considerato l'effetto dell'azione sismica verticale positiva e negativa.

L'analisi delle condizioni di stabilità del cumulo di terreno in condizioni sismiche è stata eseguita mediante il metodo pseudostatico.

Nel metodo pseudostatico l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso del volume di terreno potenzialmente instabile.

La condizione di stato limite ultimo (SLU) viene riferita al cinematismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza.

La condizione di stato limite valutata è quella di salvaguardia della vita (SLV), come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

Le verifiche sono state eseguite in condizioni drenate ed in condizioni non drenate, con saturazione di acqua fino a circa 1.5m dalla superficie sommitale del cumulo temporaneo di materiale di scavo.

Sono state analizzate 157 superfici di rottura mediante calcolo automatico.

Le condizioni di equilibrio dei cumuli sono state verificate con il metodo di calcolo di Bishop.

Nelle elaborazioni effettuate, precisate negli elaborati di calcolo, sono stati ottenuti i seguenti fattori di sicurezza minimi:

CUMULI ALTEZZA 6 M

- 1,52 a lungo termine (condizioni drenate) in regime statico tra 157 potenziali superfici di scorrimento circolari;
- 1,53 a breve termine (condizioni non drenate) in regime statico tra 157 potenziali superfici di scorrimento circolari;
- 1,20 a lungo termine (condizioni drenate) in regime dinamico, con azione sismica verticale positiva, tra 157 potenziali superfici di scorrimento circolari;
- 1,28 a lungo termine (condizioni drenate) in regime dinamico, con azione sismica verticale negativa, tra 157 potenziali superfici di scorrimento circolari;
- 1,21 a breve termine (condizioni non drenate) in regime dinamico, con azione sismica verticale positiva, tra 157 potenziali superfici di scorrimento circolari;
- 1,29 a breve termine (condizioni non drenate) in regime dinamico, con azione sismica verticale negativa, tra 157 potenziali superfici di scorrimento circolari;

Risultano garantite le condizioni di stabilità dei cumuli temporanei di altezza pari a 6m, in quanto i fattori di sicurezza risultano essere superiori al valore limite pari a 1.1.