

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: *Emporio della Pietra s.a.s.*
via Mazzi-Para 21/A, 47028 Verghereto (FC)

*Progetto di coltivazione relativo alla prosecuzione ed
ampliamento di una cava di arenaria tipo pietra
serena, "Orizzonte Arenaria" e arenaria da frantoio, in località
Valspineto (ambito estrattivo 1S) Comune di Sarsina (FC)*

Elaborato 3 - Verifiche di stabilità ripristini

ANALISI DI STABILITA'

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:

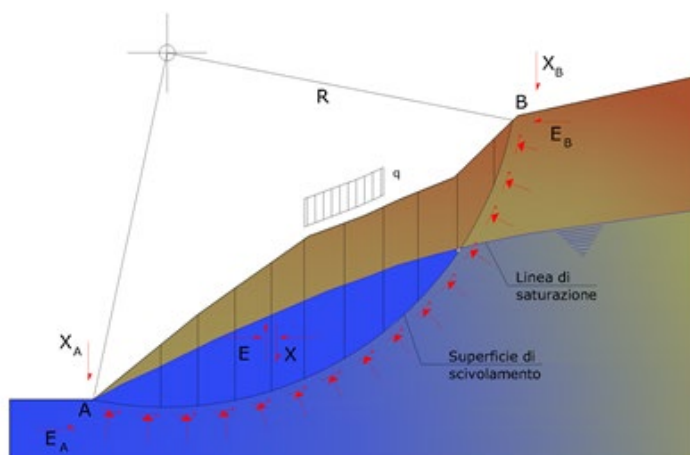
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido 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 (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 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.

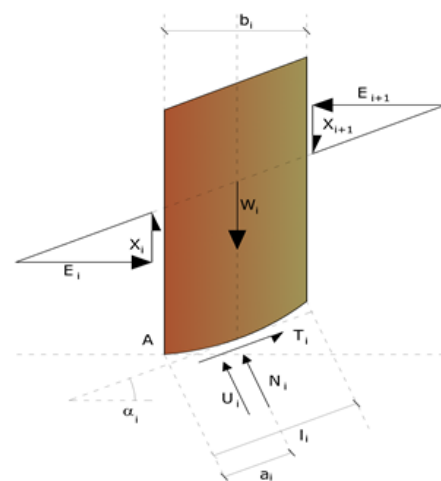
Metodo di Bishop (1955)

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:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

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

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

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 43,871615

longitudine: 12,090541

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1ID: 19626 Lat: 43,8759 Lon: 12,0338 Distanza: 4575,689

Sito 2ID: 19627 Lat: 43,8767 Lon: 12,1031 Distanza: 1154,064

Sito 3ID: 19849 Lat: 43,8267 Lon: 12,1042 Distanza: 5113,706

Sito 4ID: 19848 Lat: 43,8259 Lon: 12,0349 Distanza: 6764,963

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

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: 2,511
Tc*: 0,320[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,430
St: 1,200
Kh: 0,019
Kv: 0,010
Amax: 0,955
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,200
Kh: 0,025
Kv: 0,012
Amax: 1,209
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,390
St: 1,200
Kh: 0,082
Kv: 0,041
Amax: 2,854
Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,150
Cc: 1,380
St: 1,200
Kh: 0,098

Kv: 0,049
Amax: 3,435
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine:43.870667

longitudine:12.089576

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.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite lungo la sezione di ripristino 2-2', orientata nord est- sud ovest.

Nelle elaborazioni di calcolo si è tenuto conto del sovraccarico distribuito pari a $0,2 \text{ Kg/cm}^2$, presente nella sovrastante strada vicinale la Casa e provocato dal possibile transito veicolare nella stessa.

Il metodo di calcolo che si è utilizzato per l'analisi delle superfici circolari critiche è stato quello di Bishop.

Le verifiche sono state eseguite in condizioni drenate ed in condizioni non drenate.

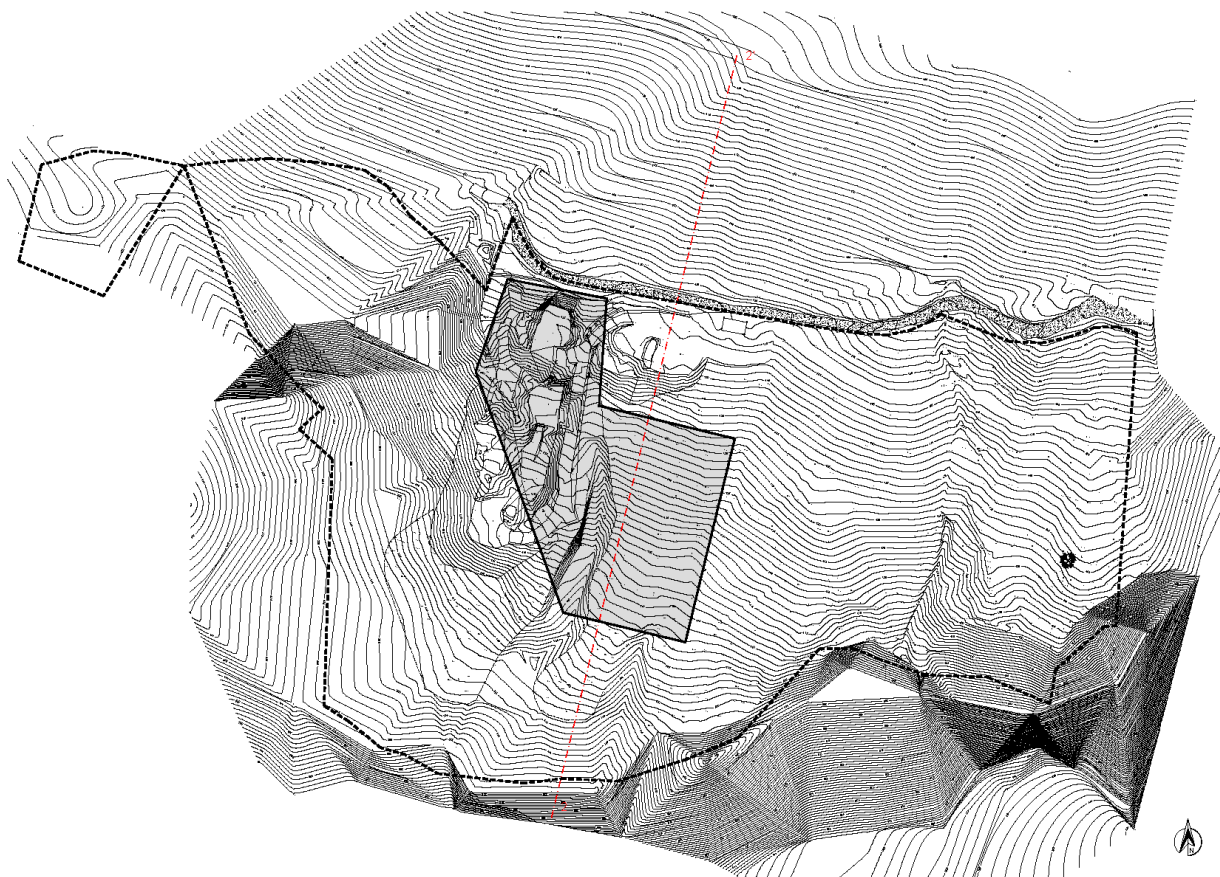
La stabilità del pendio è stata verificata in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche.

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

Nelle verifiche la condizione limite valutata è quella di salvaguardia della vita (SLV), come espressamente richiesto nelle NTC 2018.

I parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche sono quelli derivati dai dati di laboratorio e di archivio dell'area.

Per quanto riguarda il terreno di riporto sono stati attribuiti dei parametri geotecnici minimi da ottenere con la corretta posa, incastro e compattazione del materiale.



Ubicazione sezione verifica 2-2'

4) PARAMETRI INGRESSO VERIFICHE SEZIONE 2-2'

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	30.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi Condizione drenata e non drenata	
Condizioni statiche e dinamiche	
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	25.3 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	146.52 m
Ascissa vertice destro superiore xs	174.26 m
Ordinata vertice destro superiore ys	207.44 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.]

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.082
Coefficiente azione sismica verticale	0.041

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	39.17
2	31.02	44.88
3	44.39	43.64
4	114.15	61.57
5	127.61	65.33
6	133.55	69.56
7	144.31	72.83
8	146.37	73.83
9	156.79	81.25
10	158.22	81.35
11	162.8	81.08
12	169.02	81.26
13	186.23	82.55
14	189.37	83.18
15	192.16	84.56
16	196.66	84.73

17	198.36	86.86
18	199.33	87.5
19	209.17	91.27
20	228.7	97.02
21	265.53	107.48

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	39.17
2	31.02	44.88
3	37.64	40.05
4	37.64	36.83
5	127.61	62.11
6	127.61	65.33
7	133.55	69.56
8	144.31	72.83
9	160.96	77.42
10	169.41	79.1
11	183.15	81.45
12	188.16	82.56
13	189.37	83.18
14	189.37	83.18
15	189.37	83.18
16	192.16	84.56
17	196.72	84.74
18	198.36	86.86
19	199.33	87.5
20	209.17	91.27
21	228.7	97.02
22	265.53	107.48

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	35.45
2	9.51	37.75
3	29.83	41.57
4	34.38	42.42
5	37.64	40.05
6	37.64	36.83
7	127.61	62.11
8	127.61	65.33
9	130.07	67.08
10	151.74	72.61
11	171.22	78.17
12	185.23	81.52
13	196.66	84.73
14	224.13	93.27
15	265.53	106.16

Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.2	0.7	26	1900	2100	Riporti cava	
2	0.4	0.9	28	1900	2100	Coperture detritiche	
3	2	8	38	2400	2600	Alternanza di marne ed arenarie	

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	192.59	84.58	196.29	84.71979	0.2

ELABORATI DI CALCOLO SEZIONE 2-2'

SUPERFICI CIRCOLARI

METODO STATICO

A) ANALISI DI STABILITÀ IN CONDIZIONI DRENATE

FS = 1.95

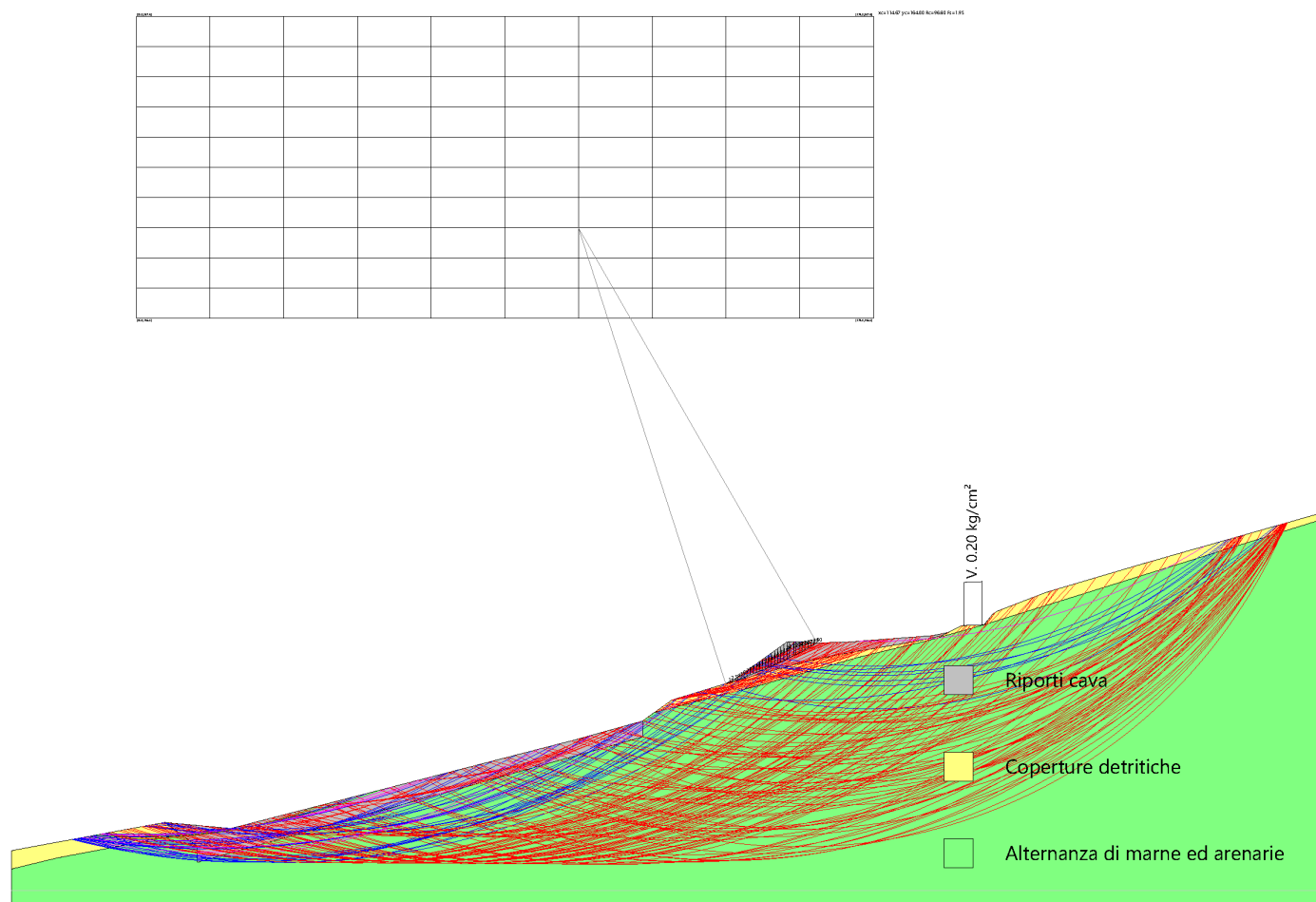


Figura rappresentante le superfici di rottura analizzate.

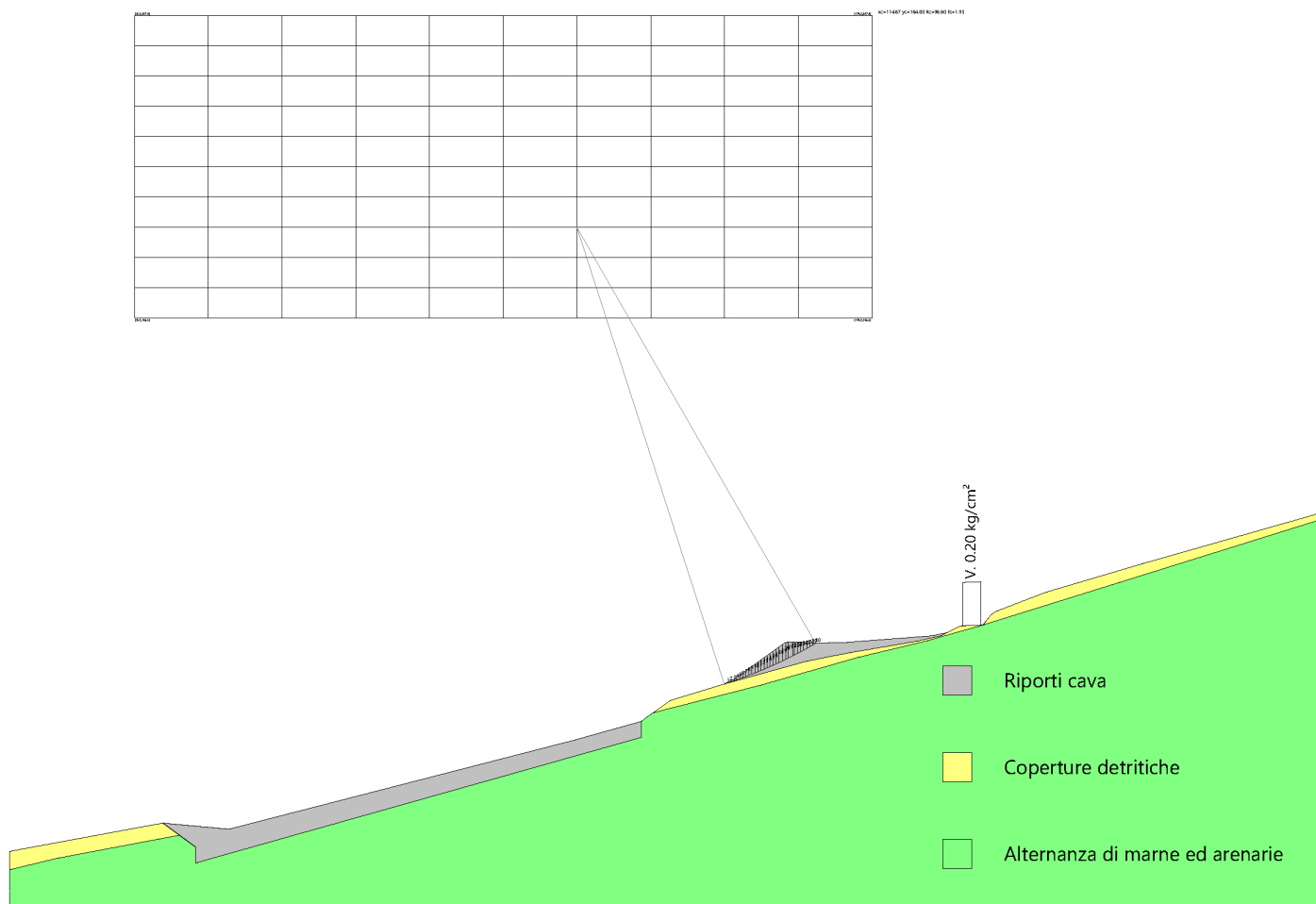


Figura rappresentante la superficie a fattore minimo (campitura a righe verticali).

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.95
Ascissa centro superficie	114.67 m
Ordinata centro superficie	164.8 m
Raggio superficie	96.6 m

$$x_c = 114.675 \quad y_c = 164.795 \quad R_c = 96.604 \quad F_s = 1.947$$

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	0.62	18.1	0.6	57.5	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	-92.4	466.8

2	0.62	18.5	0.6	168.52	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	14.5	487.4
3	0.71	18.9	0.8	326.78	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	143.6	588.7
4	0.52	19.3	0.5	379.68	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	243.0	454.5
5	0.62	19.7	0.7	688.09	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	522.2	583.3
6	0.62	20.1	0.7	940.44	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	771.2	629.8
7	0.62	20.4	0.7	1187.32	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	1015.3	675.5
8	0.62	20.8	0.7	1428.59	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	1254.4	720.3
9	0.62	21.2	0.7	1664.25	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	1488.5	764.3
10	0.62	21.6	0.7	1894.21	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	1717.6	807.3
11	0.62	22.0	0.7	2118.54	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	1941.7	849.5
12	0.62	22.4	0.7	2337.1	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	2160.7	890.8
13	0.62	22.8	0.7	2549.83	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	2374.5	931.2
14	0.62	23.2	0.7	2756.66	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	2583.2	970.6
15	0.62	23.6	0.7	2957.71	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	2786.7	1009.2
16	0.62	24.0	0.7	3152.75	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	2985.0	1046.9
17	0.62	24.4	0.7	3341.68	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	3177.9	1083.6
18	0.62	24.8	0.7	3524.7	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	3365.5	1119.4
19	0.62	25.2	0.7	3701.53	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	3547.8	1154.3
20	0.67	25.6	0.7	4229.78	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	4069.1	1297.0
21	0.56	26.0	0.6	3487.64	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	3355.6	1076.6
22	0.87	26.5	1.0	4920.08	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	4708.1	1583.9
23	0.36	26.9	0.4	1840.4	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	1748.9	620.6
24	0.62	27.2	0.7	2815.34	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	2651.7	1000.0
25	0.62	27.6	0.7	3399.21	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	2224.4	924.1
26	0.62	28.1	0.7	3976.62	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	1788.6	846.7
27	0.62	28.5	0.7	4547.27	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	1343.8	767.7
28	0.62	28.9	0.7	5111.2	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	890.0	687.1
29	0.62	29.3	0.7	568.28	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	426.8	604.9
30	0.62	29.7	0.7	218.45	0.0	0.0	0.16	21.3	0.0	-45.9	521.0

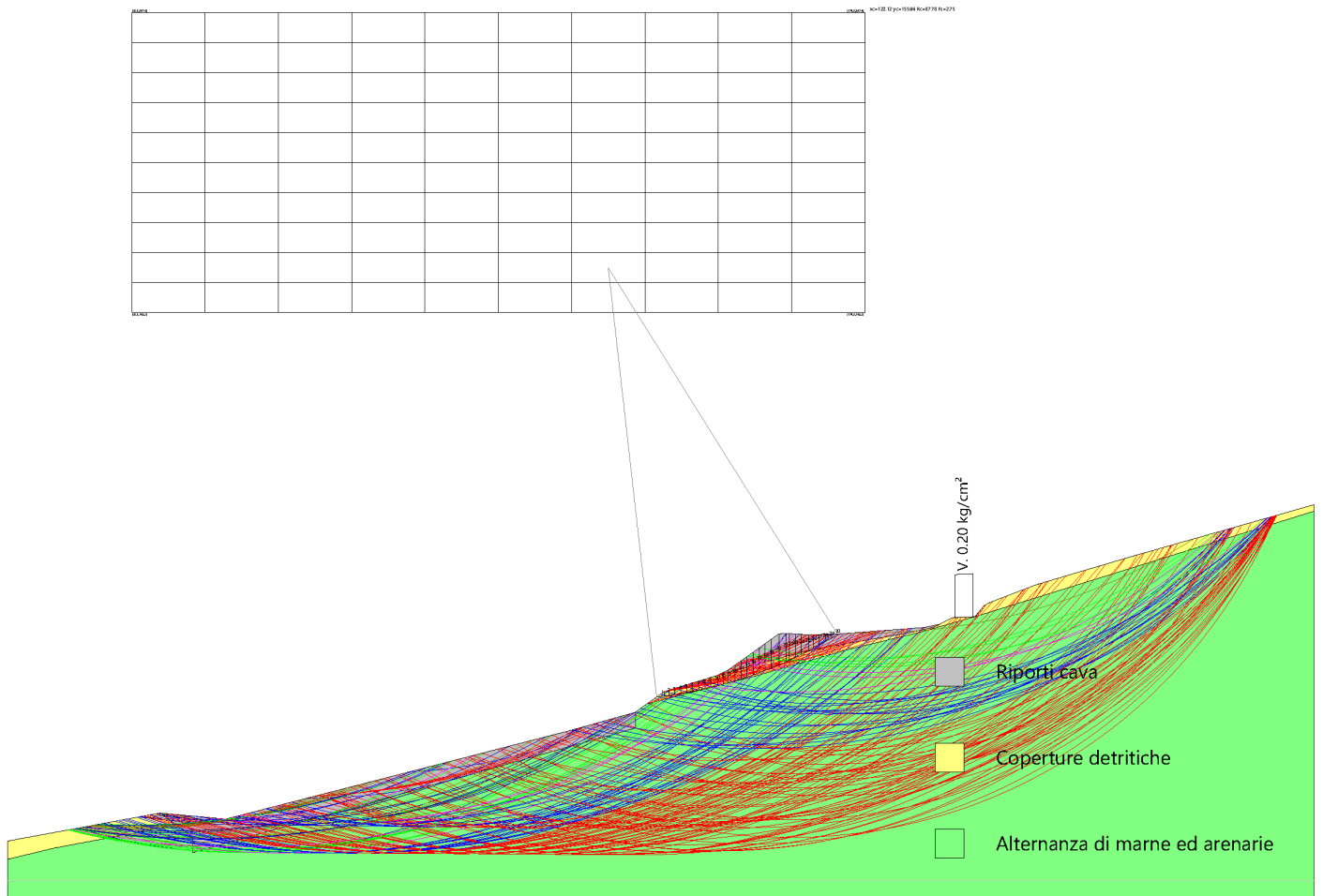
B) ANALISI DI STABILITA' IN CONDIZIONI NON DRENATE**FS = 2.75**

Figura rappresentante le superfici di rottura analizzate.

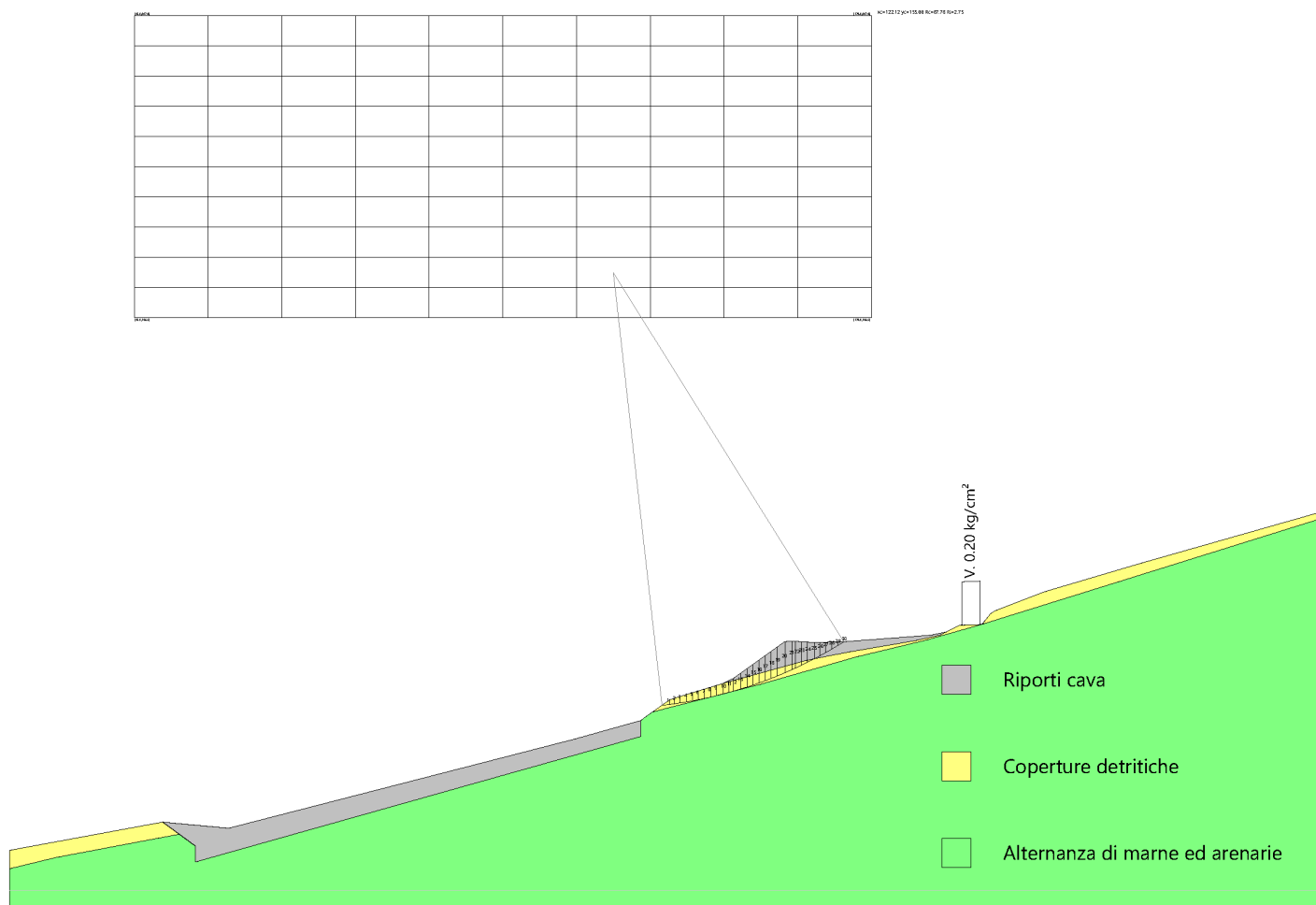


Figura rappresentante la superficie a fattore minimo (campitura a righe verticali).

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	2.75
Ascissa centro superficie	122.12 m
Ordinata centro superficie	155.66 m
Raggio superficie	87.78 m

$$x_c = 122.123 \quad y_c = 155.658 \quad R_c = 87.784 \quad F_s = 2.749$$

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	1.59	7.0	1.61584.31	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	1179.9	3411.0	
2	0.86	7.8	0.91822.71	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	1589.0	1838.6	
3	1.22	8.4	1.23037.62	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	2680.0	2632.4	
4	1.22	9.3	1.23504.39	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	3120.6	2638.2	

5	1.22	10.1	1.23925.47	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	3517.3	2644.5
6	1.22	10.9	1.24300.53	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	3869.6	2651.5
7	1.22	11.7	1.34629.03	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	4176.7	2659.0
8	1.22	12.5	1.34910.82	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	4438.3	2667.2
9	1.22	13.3	1.35145.31	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	4653.6	2676.0
10	1.33	14.2	1.45792.55	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	5238.0	2914.0
11	1.12	15.0	1.25249.77	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	4773.6	2466.9
12	0.94	15.7	1.04826.85	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	4430.7	2074.0
13	1.51	16.5	1.69068.81	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	8465.3	3349.9
14	1.22	17.5	1.38782.37	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	8347.9	2729.9
15	1.22	18.3	1.310008.07	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	9634.2	2742.8
16	1.22	19.2	1.311182.54	0.0	0.0	0.64	0.0	0.010880.6	2756.6	
17	1.22	20.0	1.312304.94	0.0	0.0	0.64	0.0	0.012086.4	2771.2	
18	1.22	20.9	1.313374.05	0.0	0.0	0.64	0.0	0.013250.6	2786.6	
19	1.22	21.7	1.314389.44	0.0	0.0	0.64	0.0	0.014372.9	2802.9	
20	1.56	22.7	1.719714.24	0.0	0.0	0.64	0.0	0.019866.3	3595.4	
21	1.43	23.8	1.617959.65	0.0	0.0	0.64	0.0	0.018161.4	3321.7	
22	0.68	24.5	0.87957.33	0.0	0.0	0.64	0.0	0.0	8016.8	1599.2
23	1.22	25.2	1.412957.87	0.0	0.0	0.64	0.0	0.012967.3	2878.0	
24	1.22	26.1	1.411258.8	0.0	0.0	0.64	0.0	0.011116.8	2899.5	
25	1.45	27.1	1.611021.82	0.0	0.0	0.64	0.0	0.010613.9	3451.8	
26	1.0	28.0	1.16247.98	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	6076.4	1879.5
27	1.22	28.8	1.46156.98	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	5755.6	2311.1
28	1.22	29.7	1.44482.99	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	3830.8	2331.9
29	1.22	30.6	1.42741.83	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1792.3	2353.9
30	1.22	31.6	1.4 931.62	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	-367.7	2377.2

METODO PSEUDOSTATICO

A) ANALISI DI STABILITA' IN CONDIZIONI DRENATE

AZIONE SISMICA VERTICALE POSITIVA (Kv+)

FS = 1.57

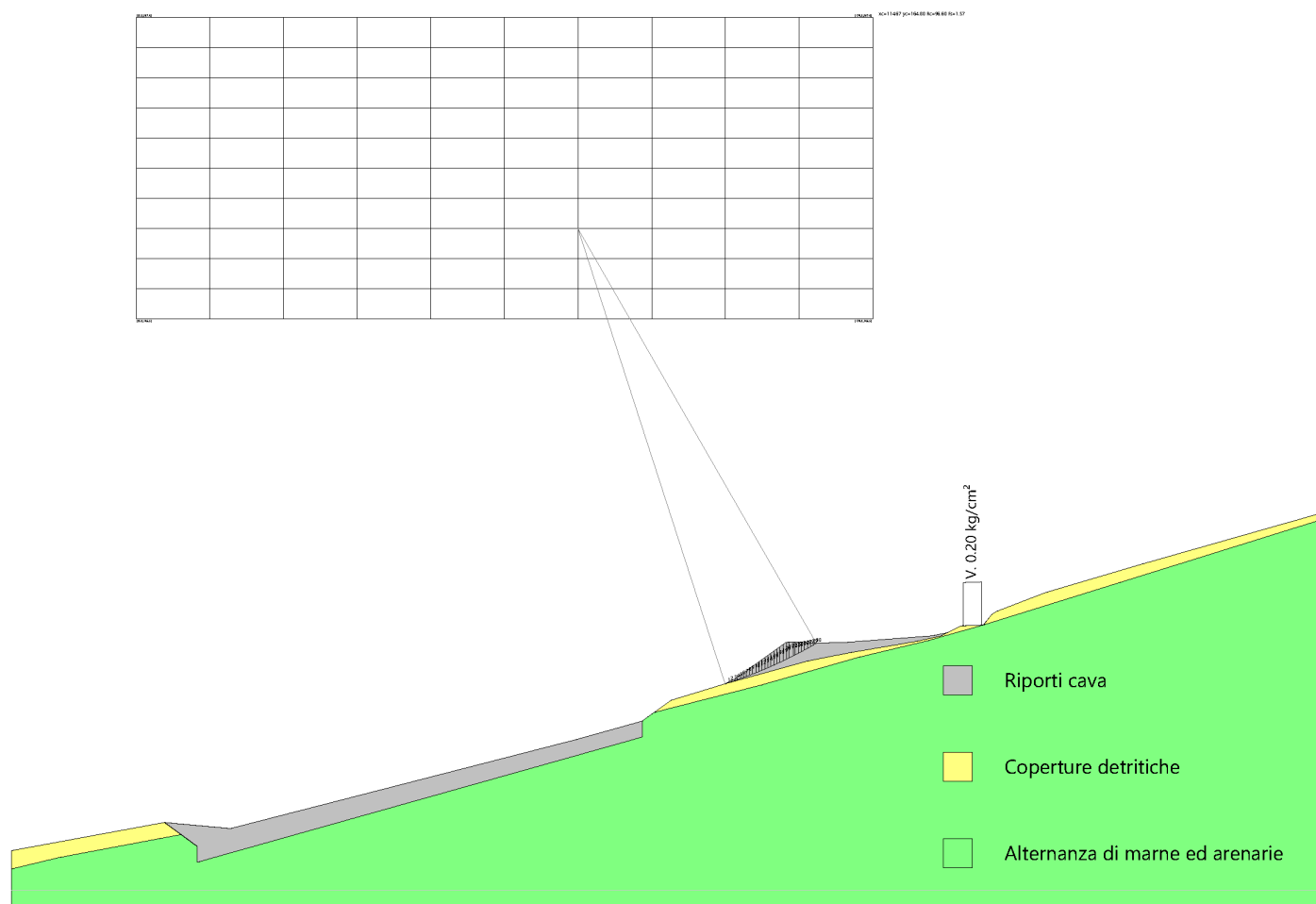


Figura rappresentante la superficie a fattore minimo (campitura a righe verticali).

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.57
Ascissa centro superficie	114.67 m
Ordinata centro superficie	164.8 m
Raggio superficie	96.6 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.

$$x_c = 114.675 \quad y_c = 164.795 \quad R_c = 96.604 \quad F_s = 1.567$$

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	0.62	18.1	0.6	57.5	4.72	2.36	0.16	21.3	0.0	-126.9	572.2
2	0.62	18.5	0.6	168.52	13.82	6.91	0.16	21.3	0.0	-22.3	597.2
3	0.71	18.9	0.8	326.78	26.8	13.4	0.16	21.3	0.0	98.1	721.2
4	0.52	19.3	0.5	379.68	31.13	15.57	0.16	21.3	0.0	207.2	556.6
5	0.62	19.7	0.7	688.09	56.42	28.21	0.16	21.3	0.0	475.4	714.1
6	0.62	20.1	0.7	940.44	77.12	38.56	0.16	21.3	0.0	719.7	770.9
7	0.62	20.4	0.7	1187.32	97.36	48.68	0.16	21.3	0.0	959.0	826.6
8	0.62	20.8	0.7	1428.59	117.14	58.57	0.16	21.3	0.0	1193.2	881.1
9	0.62	21.2	0.7	1664.25	136.47	68.23	0.16	21.3	0.0	1422.3	934.6
10	0.62	21.6	0.7	1894.21	155.32	77.66	0.16	21.3	0.0	1646.4	986.9
11	0.62	22.0	0.7	2118.54	173.72	86.86	0.16	21.3	0.0	1865.4	1038.2
12	0.62	22.4	0.7	2337.1	191.64	95.82	0.16	21.3	0.0	2079.2	1088.3
13	0.62	22.8	0.7	2549.83	209.09	104.54	0.16	21.3	0.0	2287.9	1137.3
14	0.62	23.2	0.7	2756.66	226.05	113.02	0.16	21.3	0.0	2491.2	1185.2
15	0.62	23.6	0.7	2957.71	242.53	121.27	0.16	21.3	0.0	2689.5	1231.9
16	0.62	24.0	0.7	3152.75	258.53	129.26	0.16	21.3	0.0	2882.3	1277.5
17	0.62	24.4	0.7	3341.68	274.02	137.01	0.16	21.3	0.0	3069.8	1321.9
18	0.62	24.8	0.7	3524.7	289.03	144.51	0.16	21.3	0.0	3252.0	1365.1
19	0.62	25.2	0.7	3701.53	303.53	151.76	0.16	21.3	0.0	3428.7	1407.2
20	0.67	25.6	0.7	4229.78	346.84	173.42	0.16	21.3	0.0	3933.0	1580.7
21	0.56	26.0	0.6	3487.64	285.99	142.99	0.16	21.3	0.0	3240.8	1311.7
22	0.87	26.5	1.0	4920.08	403.45	201.72	0.16	21.3	0.0	4536.0	1929.0
23	0.36	26.9	0.4	1840.4	150.91	75.46	0.16	21.3	0.0	1680.4	755.6
24	0.62	27.2	0.7	2815.34	230.86	115.43	0.16	21.3	0.0	2539.9	1217.2
25	0.62	27.6	0.7	2399.21	196.74	98.37	0.16	21.3	0.0	2119.5	1124.4
26	0.62	28.1	0.7	1976.62	162.08	81.04	0.16	21.3	0.0	1690.9	1029.9
27	0.62	28.5	0.7	1547.27	126.88	63.44	0.16	21.3	0.0	1253.9	933.5
28	0.62	28.9	0.7	1111.2	91.12	45.56	0.16	21.3	0.0	808.2	835.2
29	0.62	29.3	0.7	668.28	54.8	27.4	0.16	21.3	0.0	353.8	735.0
30	0.62	29.7	0.7	218.45	17.91	8.96	0.16	21.3	0.0	-109.8	632.8

AZIONE SISMICA VERTICALE NEGATIVA (Kv-)

FS = 1.69

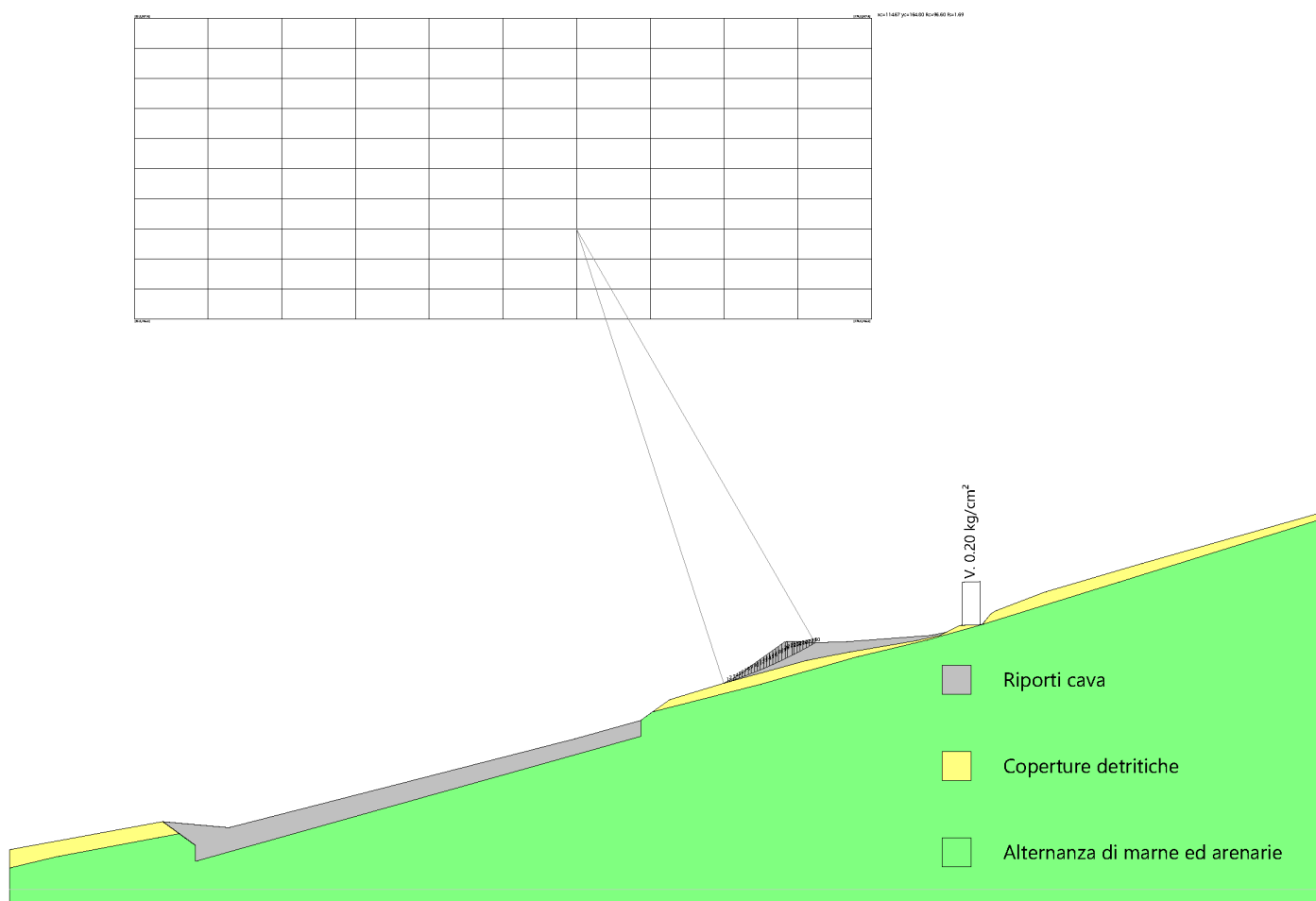


Figura rappresentante la superficie a fattore minimo (campitura a righe verticali).

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.69
Ascissa centro superficie	114.67 m
Ordinata centro superficie	164.8 m
Raggio superficie	96.6 m

$x_c = 114.675$ $y_c = 164.795$ $R_c = 96.604$ $F_s = 1.692$

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	0.62	18.1	0.6	57.5	4.72	-2.36	0.16	21.3	0.0	-114.0	532.8
2	0.62	18.5	0.6	168.52	13.82	-6.91	0.16	21.3	0.0	-8.5	556.2

3	0.71	18.9	0.8	326.78	26.8	-13.4	0.16	21.3	0.0	115.1	671.7
4	0.52	19.3	0.5	379.68	31.13	-15.57	0.16	21.3	0.0	220.6	518.5
5	0.62	19.7	0.7	688.09	56.42	-28.21	0.16	21.3	0.0	492.9	665.2
6	0.62	20.1	0.7	940.44	77.12	-38.56	0.16	21.3	0.0	738.9	718.2
7	0.62	20.4	0.7	1187.32	97.36	-48.68	0.16	21.3	0.0	980.0	770.2
8	0.62	20.8	0.7	1428.59	117.14	-58.57	0.16	21.3	0.0	1216.0	821.1
9	0.62	21.2	0.7	1664.25	136.47	-68.23	0.16	21.3	0.0	1447.0	871.0
10	0.62	21.6	0.7	1894.21	155.32	-77.66	0.16	21.3	0.0	1673.0	919.9
11	0.62	22.0	0.7	2118.54	173.72	-86.86	0.16	21.3	0.0	1893.9	967.8
12	0.62	22.4	0.7	2337.1	191.64	-95.82	0.16	21.3	0.0	2109.6	1014.6
13	0.62	22.8	0.7	2549.83	209.09	-104.54	0.16	21.3	0.0	2320.2	1060.4
14	0.62	23.2	0.7	2756.66	226.05	-113.02	0.16	21.3	0.0	2525.5	1105.2
15	0.62	23.6	0.7	2957.71	242.53	-121.27	0.16	21.3	0.0	2725.7	1148.9
16	0.62	24.0	0.7	3152.75	258.53	-129.26	0.16	21.3	0.0	2920.6	1191.5
17	0.62	24.4	0.7	3341.68	274.02	-137.01	0.16	21.3	0.0	3110.1	1233.0
18	0.62	24.8	0.7	3524.7	289.03	-144.51	0.16	21.3	0.0	3294.3	1273.6
19	0.62	25.2	0.7	3701.53	303.53	-151.76	0.16	21.3	0.0	3473.1	1313.0
20	0.67	25.6	0.7	4229.78	346.84	-173.42	0.16	21.3	0.0	3983.7	1475.0
21	0.56	26.0	0.6	3487.64	285.99	-142.99	0.16	21.3	0.0	3283.5	1224.1
22	0.87	26.5	1.0	4920.08	403.45	-201.72	0.16	21.3	0.0	4600.1	1800.5
23	0.36	26.9	0.4	1840.4	150.91	-75.46	0.16	21.3	0.0	1705.9	705.4
24	0.62	27.2	0.7	2815.34	230.86	-115.43	0.16	21.3	0.0	2581.5	1136.3
25	0.62	27.6	0.7	2399.21	196.74	-98.37	0.16	21.3	0.0	2158.5	1049.9
26	0.62	28.1	0.7	1976.62	162.08	-81.04	0.16	21.3	0.0	1727.3	961.7
27	0.62	28.5	0.7	1547.27	126.88	-63.44	0.16	21.3	0.0	1287.3	871.8
28	0.62	28.9	0.7	1111.2	91.12	-45.56	0.16	21.3	0.0	838.6	780.1
29	0.62	29.3	0.7	668.28	54.8	-27.4	0.16	21.3	0.0	380.9	686.6
30	0.62	29.7	0.7	218.45	17.91	-8.96	0.16	21.3	0.0	-86.1	591.2

B) ANALISI DI STABILITA' IN CONDIZIONI NON DRENATE

AZIONE SISMICA VERTICALE POSITIVA (Kv+)

FS = 2.18

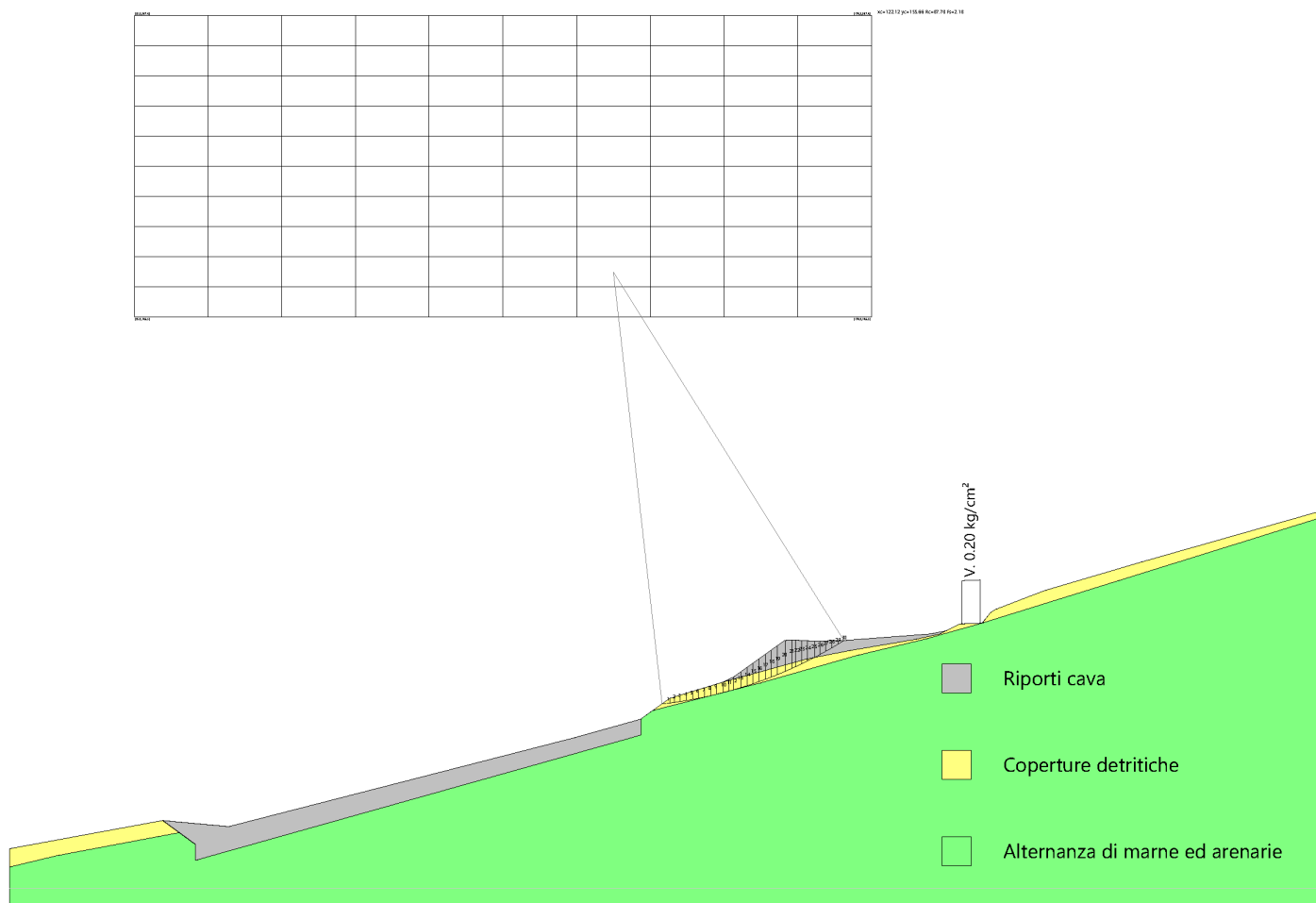


Figura rappresentante la superficie a fattore minimo (campitura a righe verticali).

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	2.18
Ascissa centro superficie	122.12 m
Ordinata centro superficie	155.66 m
Raggio superficie	87.78 m

$x_c = 122.123$ $y_c = 155.658$ $R_c = 87.784$ $F_s = 2.183$

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)

1	1.59	7.0	1.61584.31	129.91	64.96	0.64	0.0	0.0	1072.0	4295.8
2	0.86	7.8	0.91822.71	149.46	74.73	0.64	0.0	0.0	1524.0	2315.5
3	1.22	8.4	1.23037.62	249.08	124.54	0.64	0.0	0.0	2578.5	3315.2
4	1.22	9.3	1.23504.39	287.36	143.68	0.64	0.0	0.0	3009.1	3322.5
5	1.22	10.1	1.23925.47	321.89	160.94	0.64	0.0	0.0	3395.5	3330.5
6	1.22	10.9	1.24300.53	352.64	176.32	0.64	0.0	0.0	3737.4	3339.3
7	1.22	11.7	1.34629.03	379.58	189.79	0.64	0.0	0.0	4033.9	3348.7
8	1.22	12.5	1.34910.82	402.69	201.34	0.64	0.0	0.0	4284.8	3359.0
9	1.22	13.3	1.35145.31	421.92	210.96	0.64	0.0	0.0	4489.1	3370.1
10	1.33	14.2	1.45792.55	474.99	237.49	0.64	0.0	0.0	5046.8	3669.8
11	1.12	15.0	1.25249.77	430.48	215.24	0.64	0.0	0.0	4601.9	3106.8
12	0.94	15.7	1.04826.85	395.8	197.9	0.64	0.0	0.0	4279.3	2612.0
13	1.51	16.5	1.69068.81	743.64	371.82	0.64	0.0	0.0	8207.2	4218.8
14	1.22	17.5	1.38782.37	720.15	360.08	0.64	0.0	0.0	8124.8	3438.0
15	1.22	18.3	1.310008.07	820.66	410.33	0.64	0.0	0.0	9398.7	3454.3
16	1.22	19.2	1.311182.54	916.97	458.48	0.64	0.0	0.010632.1	3471.6	
17	1.22	20.0	1.312304.94	1009.01	504.5	0.64	0.0	0.011824.6	3490.0	
18	1.22	20.9	1.313374.05	1096.67	548.34	0.64	0.0	0.012975.1	3509.4	
19	1.22	21.7	1.314389.44	1179.93	589.97	0.64	0.0	0.014083.2	3529.9	
20	1.56	22.7	1.719714.24	1616.57	808.28	0.64	0.0	0.019476.1	4527.9	
21	1.43	23.8	1.617959.65	1472.69	736.35	0.64	0.0	0.017782.0	4183.3	
22	0.68	24.5	0.87957.33	652.5	326.25	0.64	0.0	0.0	7827.6	2014.0
23	1.22	25.2	1.412957.87	1062.55	531.27	0.64	0.0	0.012615.8	3624.5	
24	1.22	26.1	1.411258.8	923.22	461.61	0.64	0.0	0.010748.4	3651.6	
25	1.45	27.1	1.611021.82	903.79	451.89	0.64	0.0	0.010156.2	4347.2	
26	1.0	28.0	1.16247.98	512.33	256.17	0.5	0.0	0.0	5817.4	2367.0
27	1.22	28.8	1.46156.98	504.87	252.44	0.5	0.0	0.0	5426.0	2910.6
28	1.22	29.7	1.44482.99	367.6	183.8	0.5	0.0	0.0	3485.5	2936.8
29	1.22	30.6	1.42741.83	224.83	112.42	0.5	0.0	0.0	1430.6	2964.5
30	1.22	31.6	1.4	931.62	76.39	38.2	0.5	0.0	-746.7	2993.8

AZIONE SISMICA VERTICALE NEGATIVA (Kv-)

FS = 2.33

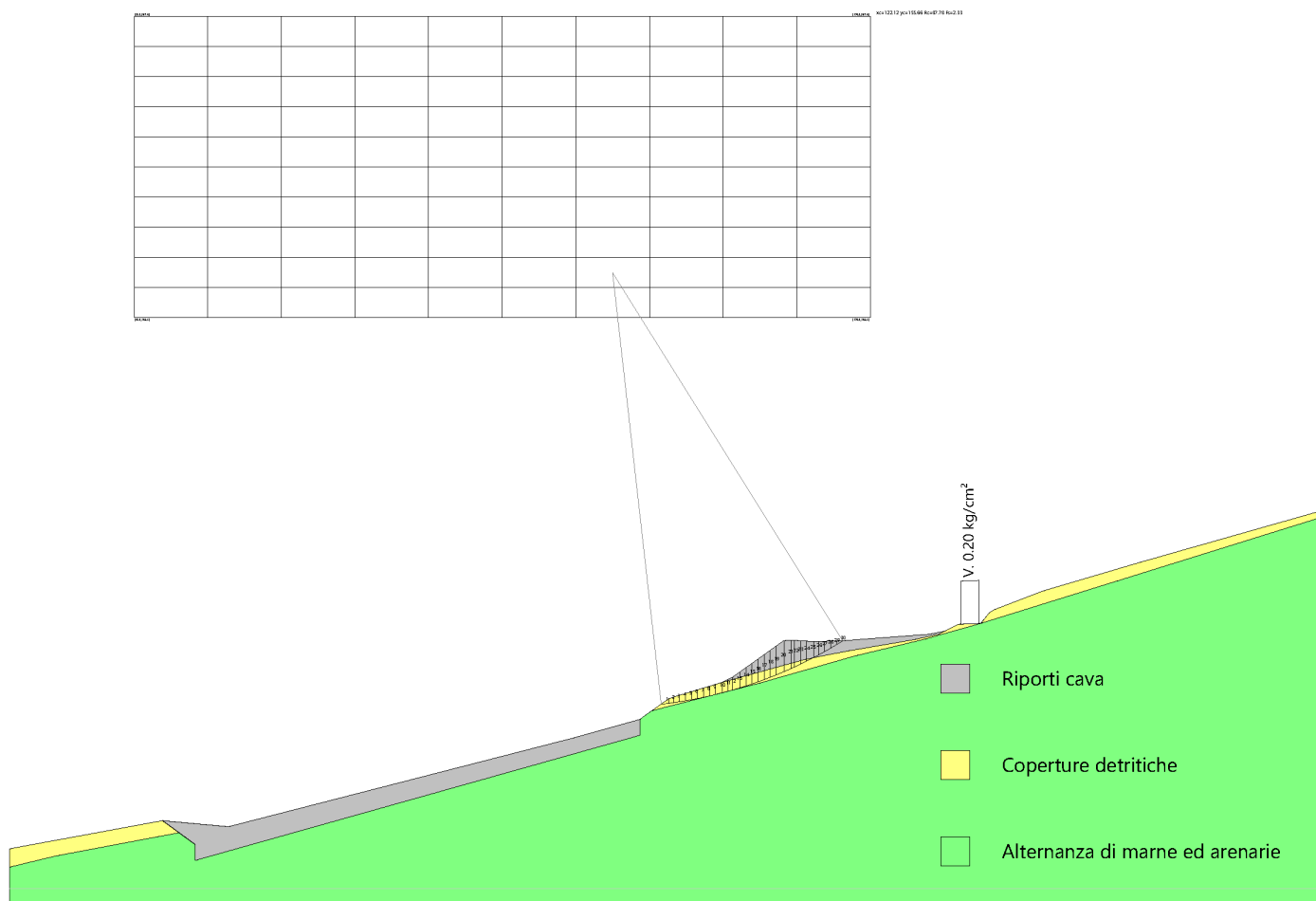


Figura rappresentante la superficie a fattore minimo (campitura a righe verticali).

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	2.33
Ascissa centro superficie	122.12 m
Ordinata centro superficie	155.66 m
Raggio superficie	87.78 m

$x_c = 122.123$ $y_c = 155.658$ $R_c = 87.784$ $F_s = 2.335$

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	1.59	7.0	1.61584.31	129.91	-64.96	0.64	0.0	0.0	1106.1	4016.1	
2	0.86	7.8	0.91822.71	149.46	-74.73	0.64	0.0	0.0	1544.5	2164.7	
3	1.22	8.4	1.23037.62	249.08	-124.54	0.64	0.0	0.0	2610.6	3099.3	

4	1.22	9.3	1.23504.39	287.36	-143.68	0.64	0.0	0.0	3044.4	3106.1	
5	1.22	10.1	1.23925.47	321.89	-160.94	0.64	0.0	0.0	3434.0	3113.6	
6	1.22	10.9	1.24300.53	352.64	-176.32	0.64	0.0	0.0	3779.2	3121.8	
7	1.22	11.7	1.34629.03	379.58	-189.79	0.64	0.0	0.0	4079.0	3130.7	
8	1.22	12.5	1.34910.82	402.69	-201.34	0.64	0.0	0.0	4333.3	3140.3	
9	1.22	13.3	1.35145.31	421.92	-210.96	0.64	0.0	0.0	4541.1	3150.6	
10	1.33	14.2	1.45792.55	474.99	-237.49	0.64	0.0	0.0	5107.3	3430.9	
11	1.12	15.0	1.25249.77	430.48	-215.24	0.64	0.0	0.0	4656.2	2904.5	
12	0.94	15.7	1.04826.85	395.8	-197.9	0.64	0.0	0.0	4327.2	2441.9	
13	1.51	16.5	1.69068.81	743.64	-371.82	0.64	0.0	0.0	8288.8	3944.1	
14	1.22	17.5	1.38782.37	720.15	-360.08	0.64	0.0	0.0	8195.3	3214.2	
15	1.22	18.3	1.310008.07	820.66	-410.33	0.64	0.0	0.0	9473.1	3229.4	
16	1.22	19.2	1.311182.54	916.97	-458.48	0.64	0.0	0.010710.7		3245.6	
17	1.22	20.0	1.312304.94	1009.01	-504.5	0.64	0.0	0.011907.4		3262.8	
18	1.22	20.9	1.313374.05	1096.67	-548.34	0.64	0.0	0.013062.2		3280.9	
19	1.22	21.7	1.314389.44	1179.93	-589.97	0.64	0.0	0.014174.8		3300.1	
20	1.56	22.7	1.719714.24	1616.57	-808.28	0.64	0.0	0.019599.4		4233.1	
21	1.43	23.8	1.617959.65	1472.69	-736.35	0.64	0.0	0.017901.9		3910.9	
22	0.68	24.5	0.87957.33	652.5	-326.25	0.64	0.0	0.0	7887.4	1882.9	
23	1.22	25.2	1.412957.87	1062.55	-531.27	0.64	0.0	0.012726.9		3388.5	
24	1.22	26.1	1.411258.8	923.22	-461.61	0.64	0.0	0.010864.9		3413.8	
25	1.45	27.1	1.611021.82	903.79	-451.89	0.64	0.0	0.010300.9		4064.1	
26	1.0	28.0	1.16247.98	512.33	-256.17	0.5	0.0	0.0	5899.3	2212.9	
27	1.22	28.8	1.46156.98	504.87	-252.44	0.5	0.0	0.0	5530.2	2721.1	
28	1.22	29.7	1.44482.99	367.6	-183.8	0.5	0.0	0.0	3594.7	2745.6	
29	1.22	30.6	1.42741.83	224.83	-112.42	0.5	0.0	0.0	1544.9	2771.5	
30	1.22	31.6	1.4	931.62	76.39	-38.2	0.5	0.0	0.0	-626.9	2798.9

5) CONCLUSIONI

Le verifiche di stabilità sono state eseguite, utilizzando il programma di calcolo Slope-Geostru Software, lungo la sezione di ripristino 2-2', orientata nord est- sud ovest.

Nelle elaborazioni di calcolo si è tenuto conto del sovraccarico distribuito pari a 0,2 Kg/cm², presente nella sovrastante strada vicinale la Casa e provocato dal possibile transito veicolare nella stessa.

Il metodo di calcolo che si è utilizzato per l'analisi delle superfici circolari critiche è stato quello di Bishop.

Le verifiche sono state eseguite in condizioni drenate ed in condizioni non drenate.

La stabilità del pendio è stata verificata in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche.

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 pendio 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 cinematisimo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza.

Nelle verifiche la condizione limite valutata è quella di salvaguardia della vita (SLV), come espressamente richiesto nelle NTC 2018.

I parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche sono quelli derivati dai dati di laboratorio e di archivio dell'area.

Per quanto riguarda il terreno di riporto sono stati attribuiti dei parametri geotecnici minimi da ottenere con la corretta posa, incastro e compattazione del materiale.

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.2	0.7	26	1900	2100	Riperti cava	
2	0.4	0.9	28	1900	2100	Coperture detritiche	
3	2	8	38	2400	2600	Alternanza di marne ed arenarie	

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

SEZIONE A-A'

SUPERFICI DI ROTTURA CIRCOLARI

- **1.95** a lungo termine (condizioni drenate) in regime statico tra le potenziali superfici di scorrimento circolari;
- **2.75** a breve termine (condizioni non drenate) in regime statico tra le potenziali superfici di scorrimento circolari;
- **1.57** a lungo termine (condizioni drenate) in regime dinamico, con azione sismica verticale positiva, tra le potenziali superfici di scorrimento circolari;
- **1.69** a lungo termine (condizioni drenate) in regime dinamico, con azione sismica verticale negativa, tra le potenziali superfici di scorrimento circolari;
- **2,18** a breve termine (condizioni non drenate) in regime dinamico, con azione sismica verticale positiva, tra le potenziali superfici di scorrimento circolari;
- **2,33** a breve termine (condizioni non drenate) in regime dinamico, con azione sismica verticale negativa, tra le potenziali superfici di scorrimento circolari;

Considerando che i fattori di sicurezza risultano sempre al di sopra del limite di legge (1.1), si rileva che le verifiche eseguite risultano soddisfatte per il versante in esame.