

Relazione di calcolo

Progetto: Analisi di stabilità **interferenza n.3**
Comune: Alanno, (PE)

Introduzione

L'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:

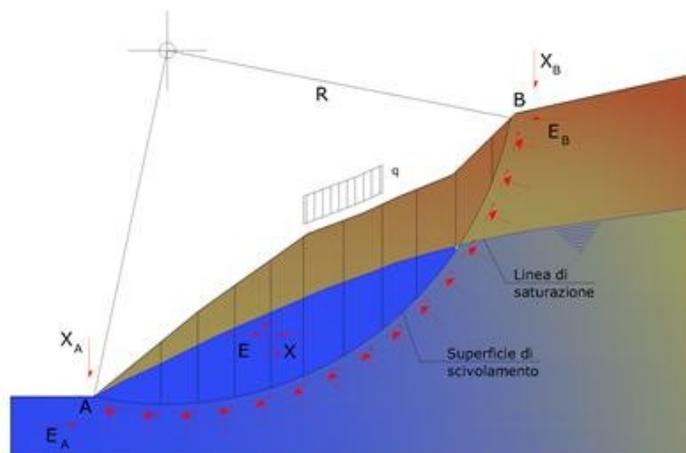
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo dell'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.



Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a γ_R .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adatterà la seguente simbologia:

l	lunghezza della base della striscia
α	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
b	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
c	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
u	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia ΔX = X_d - X_s
ΔE	variazione delle forze normali sulla striscia ΔE = E_d - E_s

Metodo di Morgenstern e Price

Nel metodo **Morgenstern e Price** le forze normali e tangenziali di interstriscia sono legate fra di loro dalla relazione

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E$$

dove $f(x)$ è una funzione di forma definita in modo che $|f(x)| < 1$ e λ è un parametro scalare che si ricava dal processo di soluzione.

Il coefficiente si ottiene dalla risoluzione del seguente sistema di equazioni differenziali:

$$\frac{dE}{dx} (Kx + L) + KE = Nx + P$$

$$X = \frac{dE}{dx} y - \frac{d}{dx} (E y_t)$$

le cui condizioni al contorno sono:

$$E(x) = E_a \quad \text{quando } x = x_0$$

$$E(x) = E_b \quad \text{quando } x = x_n$$

$$M = E(y - y_t) = \int_{x_0}^{x_n} (X - E \frac{dy}{dx}) dx = 0$$

I termini del sistema sono dati da:

$$K = \lambda k \left(\frac{\text{tg } \phi}{F} + A \right)$$

$$L = \lambda m \left(\frac{\text{tg } \phi}{F} + A \right) + A \frac{\text{tg } \phi}{F} - 1$$

$$N = p \left[A + \frac{\text{tg } \phi}{F} - r_u(1 + A^2) \frac{\text{tg } \phi}{F} \right]$$

$$P = q \left[A + \frac{\text{tg } \phi}{F} - r_u(1 + A^2) \frac{\text{tg } \phi}{F} \right] + \frac{\text{tg } \phi}{F} \frac{c}{F}$$

nelle quali \mathbf{k} ed \mathbf{m} sono i due parametri assegnati striscia per striscia per definire il rapporto tra la risultante delle forze tangenziali, \mathbf{X} , all'interfaccia e quella delle pressioni normali, \mathbf{E} , mentre la variabile λ è introdotta per pareggiare il numero delle equazioni e quello delle incognite oltre che utile per tarare la funzione lineare tra le forze di interstriscia \mathbf{X} ed \mathbf{E} .

Nella formulazione di **Morgenstern-Price**, il peso e la superficie di scorrimento, sono espresse come funzioni lineari della x .

Inoltre il termine r_u è il coefficiente adimensionale che tiene conto della pressione neutra ed è definito dalla relazione: $r_u = u_w/W b$.

Lo schema iterativo che permette di determinare il coefficiente di sicurezza è il seguente:

si assegnano due valori ad \mathbf{F} ed a λ ;

si calcolano \mathbf{M}_i ed \mathbf{E}_i dalle equazioni riportate;

si calcolano $\delta\lambda$ e $\delta\mathbf{F}$;

si incrementano $\lambda = \lambda + \delta\lambda$ ed $\mathbf{F} = \mathbf{F} + \delta\mathbf{F}$;

si controlla la convergenza nel qual caso si ferma l'iterazione altrimenti si torna al punto 2.

dove gli incrementi per λ ed \mathbf{F} sono espressi da:

$$\delta\lambda = \frac{M_n \frac{dE_n}{dF} - E_n \frac{dM_n}{dF}}{\frac{dE_n}{d\lambda} - \frac{dM_n}{dF} - \frac{dM_n}{d\lambda} - \frac{dE_n}{dF}}$$

$$\delta\lambda = \frac{E_n \frac{dM_n}{dF} - M_n \frac{dE_n}{dF}}{\frac{dE_n}{d\lambda} - \frac{dM_n}{dF} - \frac{dM_n}{d\lambda} - \frac{dE_n}{dF}}$$

dove \mathbf{M}_n ed \mathbf{E}_n sono i valori di \mathbf{M} ed \mathbf{E} all'ultima striscia.

Verifiche in condizioni statiche e sismiche

La stabilità del pendio in oggetto è stata esaminata attraverso sia l'analisi in condizioni statiche, che in condizioni sismiche. I risultati vengono espressi attraverso un unico file di output mediante la combinazione A2+M2 delle verifiche statiche e sismiche in riferimento alle NTC2018. La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica in questo caso 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:

$$F_H = K_x W \quad F_V = K_y W$$

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.

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.

Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018).
- Circolare nr. 7 del 21/01/2019
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Dati

Descrizione terreno

Simbologia adottata

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kPa
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kPa

n°	Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ'	c'
		[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[kPa]
1	Argilla lim. const	2171	2253	25,00	0,05
2	Terreno vegetale limo arg.	2050	2131	21,60	0,02

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

<i>Nr.</i>	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	0,00	324,05
2	1,43	324,85
3	2,43	325,10
4	3,42	325,50
5	4,42	325,78
6	5,43	326,20
7	6,43	326,60
8	7,43	327,00
9	8,42	327,46
10	9,43	327,74
11	10,43	328,03
12	11,43	328,39
13	12,42	328,77
14	13,43	328,95
15	14,43	329,20
16	15,43	329,48
17	16,42	329,76
18	17,42	329,99
19	18,43	330,09
20	19,43	330,24

n°	X [m]	Y [m]
21	20,43	330,38
22	21,42	330,55
23	22,43	330,63
24	23,43	330,72
25	24,43	330,77
26	25,42	330,77
27	26,43	330,80
28	27,43	330,80
29	28,43	330,82
30	29,42	330,78
31	30,43	330,73
32	31,43	330,71
33	32,43	330,66
34	33,43	330,60
35	34,42	330,59
36	35,43	330,59
37	36,43	330,49
38	37,43	330,17
39	38,42	329,49
40	39,43	328,61
41	40,43	328,32
42	41,43	328,09
43	42,42	327,97
44	43,43	327,96
45	44,43	328,00
46	45,43	327,97
47	46,42	327,75
48	47,42	327,74
49	48,43	327,74
50	49,43	327,73
51	50,43	327,73
52	51,42	327,73
53	52,43	327,73
54	53,43	327,74
55	54,43	327,74
56	55,42	327,74
57	56,43	327,76
58	57,43	328,09
59	58,43	328,41
60	59,42	328,64
61	60,42	328,59
62	61,43	328,46
63	62,43	328,46
64	63,43	328,44
65	64,42	328,72
66	65,43	329,41
67	66,43	329,93
68	67,43	330,36
69	68,42	330,71
70	69,43	331,06
71	70,43	331,04
72	71,43	331,08
73	72,42	331,09
74	73,43	331,17
75	74,43	331,38
76	75,43	331,54
77	76,43	331,69
78	77,42	331,78
79	78,43	331,98
80	79,43	332,20
81	80,43	332,42
82	81,42	332,55
83	82,43	332,78
84	83,43	332,99
85	84,43	333,14
86	85,42	333,37
87	86,43	333,51
88	87,43	333,76
89	88,43	334,02
90	89,42	334,25
91	90,42	334,40
92	91,43	334,62

n°	X [m]	Y [m]
93	92,43	334,84
94	93,43	335,03
95	94,42	335,18
96	95,43	335,29
97	96,43	335,43
98	97,43	335,60
99	98,42	335,79
100	99,43	335,91
101	100,43	336,09
102	101,43	336,32
103	102,42	336,56
104	103,42	336,71
105	104,43	336,75
106	105,43	336,93
107	106,43	337,07
108	107,42	337,13
109	108,43	337,20
110	109,43	337,33
111	110,43	337,47
112	111,42	337,57
113	112,43	337,72
114	113,43	337,79
115	114,43	337,87
116	115,42	337,94
117	116,42	338,08
118	117,43	338,16
119	118,43	338,26
120	119,43	338,34
121	120,42	338,49
122	121,43	338,59
123	122,43	338,64
124	123,43	338,80
125	124,42	338,92
126	125,43	339,03
127	126,43	339,07
128	127,43	339,22
129	128,42	339,30
130	129,42	339,42
131	130,43	339,52
132	131,43	339,55
133	132,42	339,67
134	133,42	339,75
135	134,43	339,89
136	135,43	339,96
137	136,43	340,10
138	137,42	340,23
139	138,43	340,37
140	139,43	340,57
141	140,43	340,61
142	141,42	340,63
143	142,42	340,77
144	143,43	340,91
145	144,43	341,11
146	145,43	341,29
147	146,42	341,36
148	147,43	341,38
149	148,43	341,56
150	149,43	341,73
151	150,42	342,12
152	151,43	342,17
153	152,43	341,83
154	153,43	341,67
155	154,42	341,29
156	155,42	340,86
157	156,43	340,57
158	157,43	340,26
159	158,43	339,99
160	159,42	339,15
161	160,43	338,78
162	161,43	338,81
163	162,43	338,83
164	163,42	338,79

n°	X	Y
	[m]	[m]
165	164,43	338,95
166	165,43	338,73
167	166,43	338,25
168	167,42	338,08
169	168,42	338,08
170	169,43	338,13
171	170,43	338,26
172	171,43	338,46
173	172,42	338,61
174	173,43	338,74
175	174,43	338,91
176	175,43	338,93
177	176,42	338,86
178	177,43	338,81
179	178,43	338,83
180	179,43	338,80
181	180,42	338,81
182	181,42	338,79
183	182,43	338,78
184	183,43	338,79
185	184,42	338,78

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Argilla lim. const)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	184,42	337,00
2	163,42	337,00
3	155,43	338,57
4	150,42	340,12
5	142,42	338,99
6	133,42	338,17
7	72,40	328,90
8	68,45	326,89
9	55,42	324,89
10	42,36	324,88
11	21,42	326,88
12	0,00	322,68
13	0,00	0,00
14	184,42	0,00

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Terreno vegetale lim. arg.)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	0,00	322,68
2	21,42	326,88
3	42,36	324,88
4	55,42	324,89
5	68,45	326,89
6	72,40	328,90
7	133,42	338,17
8	142,42	338,99
9	150,42	340,12
10	155,43	338,57
11	163,42	337,00
12	184,42	337,00
13	184,42	338,78
14	183,43	338,79
15	182,43	338,78
16	181,42	338,79
17	180,42	338,81

n°	X [m]	Y [m]
18	179,43	338,80
19	178,43	338,83
20	177,43	338,81
21	176,42	338,86
22	175,43	338,93
23	174,43	338,91
24	173,43	338,74
25	172,42	338,61
26	171,43	338,46
27	170,43	338,26
28	169,43	338,13
29	168,42	338,08
30	167,42	338,08
31	166,43	338,25
32	165,43	338,73
33	164,43	338,95
34	163,42	338,79
35	162,43	338,83
36	161,43	338,81
37	160,43	338,78
38	159,42	339,15
39	158,43	339,99
40	157,43	340,26
41	156,43	340,57
42	155,42	340,86
43	154,42	341,29
44	153,43	341,67
45	152,43	341,83
46	151,43	342,17
47	150,42	342,12
48	149,43	341,73
49	148,43	341,56
50	147,43	341,38
51	146,42	341,36
52	145,43	341,29
53	144,43	341,11
54	143,43	340,91
55	142,42	340,77
56	141,42	340,63
57	140,43	340,61
58	139,43	340,57
59	138,43	340,37
60	137,42	340,23
61	136,43	340,10
62	135,43	339,96
63	134,43	339,89
64	133,42	339,75
65	132,42	339,67
66	131,43	339,55
67	130,43	339,52
68	129,42	339,42
69	128,42	339,30
70	127,43	339,22
71	126,43	339,07
72	125,43	339,03
73	124,42	338,92
74	123,43	338,80
75	122,43	338,64
76	121,43	338,59
77	120,42	338,49
78	119,43	338,34
79	118,43	338,26
80	117,43	338,16
81	116,42	338,08
82	115,42	337,94
83	114,43	337,87
84	113,43	337,79
85	112,43	337,72
86	111,42	337,57
87	110,43	337,47
88	109,43	337,33
89	108,43	337,20

n°	X [m]	Y [m]
90	107,42	337,13
91	106,43	337,07
92	105,43	336,93
93	104,43	336,75
94	103,42	336,71
95	102,42	336,56
96	101,43	336,32
97	100,43	336,09
98	99,43	335,91
99	98,42	335,79
100	97,43	335,60
101	96,43	335,43
102	95,43	335,29
103	94,42	335,18
104	93,43	335,03
105	92,43	334,84
106	91,43	334,62
107	90,42	334,40
108	89,42	334,25
109	88,43	334,02
110	87,43	333,76
111	86,43	333,51
112	85,42	333,37
113	84,43	333,14
114	83,43	332,99
115	82,43	332,78
116	81,42	332,55
117	80,43	332,42
118	79,43	332,20
119	78,43	331,98
120	77,42	331,78
121	76,43	331,69
122	75,43	331,54
123	74,43	331,38
124	73,43	331,17
125	72,42	331,09
126	71,43	331,08
127	70,43	331,04
128	69,43	331,06
129	68,42	330,71
130	67,43	330,36
131	66,43	329,93
132	65,43	329,41
133	64,42	328,72
134	63,43	328,44
135	62,43	328,46
136	61,43	328,46
137	60,42	328,59
138	59,42	328,64
139	58,43	328,41
140	57,43	328,09
141	56,43	327,76
142	55,42	327,74
143	54,43	327,74
144	53,43	327,74
145	52,43	327,73
146	51,42	327,73
147	50,43	327,73
148	49,43	327,73
149	48,43	327,74
150	47,42	327,74
151	46,42	327,75
152	45,43	327,97
153	44,43	328,00
154	43,43	327,96
155	42,42	327,97
156	41,43	328,09
157	40,43	328,32
158	39,43	328,61
159	38,42	329,49
160	37,43	330,17
161	36,43	330,49

n°	X [m]	Y [m]
162	35,43	330,59
163	34,42	330,59
164	33,43	330,60
165	32,43	330,66
166	31,43	330,71
167	30,43	330,73
168	29,42	330,78
169	28,43	330,82
170	27,43	330,80
171	26,43	330,80
172	25,42	330,77
173	24,43	330,77
174	23,43	330,72
175	22,43	330,63
176	21,42	330,55
177	20,43	330,38
178	19,43	330,24
179	18,43	330,09
180	17,42	329,99
181	16,42	329,76
182	15,43	329,48
183	14,43	329,20
184	13,43	328,95
185	12,42	328,77
186	11,43	328,39
187	10,43	328,03
188	9,43	327,74
189	8,42	327,46
190	7,43	327,00
191	6,43	326,60
192	5,43	326,20
193	4,42	325,78
194	3,42	325,50
195	2,43	325,10
196	1,43	324,85
197	0,00	324,05

Dati zona sismica

Identificazione del sito

Latitudine 42.279748
 Longitudine 13.974982
 Comune
 Provincia
 Regione

Punti di interpolazione del reticolo 26758 - 26980 - 26981 - 26759

Tipo di opera

Tipo di costruzione Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari
 Vita nominale 50 anni
 Classe d'uso II - Normali affollamenti e industrie non pericolose
 Vita di riferimento 50 anni

	Simbolo	U.M.	SLV	SLD
Accelerazione al suolo	a_0	[m/s ²]	1.882	0.772
Accelerazione al suolo	a_0/g	[%]	0.192	0.079
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.522	2.421
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.351	0.296
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T1	1.000
Coefficiente riduzione pendio naturale	β_s		0.240	0.240
Coefficiente riduzione fronti di scavo	β_s		0.380	0.470
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale			0.50	0.50

Pendio naturale

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*S_t*S)$	5.53	2.27
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h$	2.76	1.13

Fronti di scavo

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*S_t*S)$	8.75	4.44
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h$	4.37	2.22

Dati normativa

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 - D.M. 17/01/2018

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto	Simbologia	A2 Statico	A2 Sismico
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.30	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri	Simbologia	M2 Statico	M2 Sismico
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1.25	1.00
Coesione efficace	γ_c	1.25	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.40	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_v	1.00	1.00

Coefficiente di sicurezza richiesto

Tipo calcolo	Simbolo	Statico	Sismico
Pendio naturale	γ_R	1.00	1.00
Fronte di scavo	γ_R	1.10	1.20

Impostazioni delle superfici di rottura

Superfici di rottura circolari

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia	[m]	$X_0 = 142,00$	$Y_0 = 352,00$
Passo maglia	[m]	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi		$N_x = 13$	$N_y = 13$
Raggio	[m]	$R = 30,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0,50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Opzioni di calcolo

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:
- MORGENSTERN

Le superfici sono state analizzate sia in condizioni **statiche** che **sismiche**.

Le superfici sono state analizzate per i casi:

- Pendio naturale [PC] - Parametri caratteristici
- Fronte di scavo [A2-M2] - Parametri di progetto
- Sisma orizzontale e Sisma verticale (verso il basso e verso l'alto)

Analisi condotta in termini di **tensioni efficaci**

Condizioni di esclusione

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
- freccia inferiore a 0,50 m
- volume inferiore a 2,00 mc
- pendenza media della superficie inferiore a 1.00 [%]

Risultati analisi

Numero di superfici analizzate 2743
 Coefficiente di sicurezza minimo 2.093
 Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
MORGENSTERN	2743	2.093	1	54.603	4050

Caratteristiche delle superfici analizzate

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio
 F forma (C: circolare, S: spirale logaritmica, G: generica)

C_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v ascissa del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m ascissa del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [mc]

FS coefficiente di sicurezza. Tra parentesi il metodo di calcolo usato (F: Fellenius, B: Bishop, J: Janbu, C: Janbu completo, L: Bell, M: Morgenstern-Price P: Spencer, S: Sarma,

V: Maksimovic, G: GLE)

caso caso di calcolo

La colonna FS (fattore di sicurezza) potrebbe contenere più valori. Questo è dovuto alla presenza degli interventi quando considerati come incremento delle forze di interstriscia. In questo caso vengono analizzate più superfici di scorrimento ed ogni superficie è separata dalla successiva dall'intervento.

N°	F	C _x [m]	C _y [m]	R [m]	x _v [m]	x _m [m]	V [mc]	FS	Caso	Sisma
1	C	142,00	372,00	31,50	139,73	151,77	4,29	2,093 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
2	C	142,00	374,00	33,50	139,68	151,92	4,61	2,115 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
3	C	142,00	376,00	35,50	139,64	152,06	4,90	2,143 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
4	C	142,00	372,00	31,50	139,73	151,77	4,29	2,166 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
5	C	142,00	374,00	33,50	139,68	151,92	4,61	2,189 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X_s ascissa sinistra della striscia espressa in m

Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kPa
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

Superficie n° 1

Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso l'alto

Numero di strisce	25	
Coordinate del centro	X[m]= 142,00	Y[m]= 372,00
Raggio del cerchio	R[m]= 31,50	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X _v [m]= 139,73	Y _v [m]= 340,58
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 151,77	Y _m [m]= 342,05

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s [m]	Y _{ss} [m]	Y _{si} [m]	X _d [m]	Y _{ds} [m]	Y _{di} [m]	X _g [m]	Y _g [m]	L [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]
1	139,73	340,58	340,58	140,08	340,60	340,56	139,96	340,58	0,35	-3,81	26,00	0
2	140,08	340,60	340,56	140,43	340,61	340,54	140,27	340,58	0,35	-3,17	26,00	0
3	140,43	340,61	340,54	140,93	340,62	340,52	140,69	340,57	0,50	-2,40	26,00	0
4	140,93	340,62	340,52	141,42	340,63	340,51	141,18	340,57	0,50	-1,50	26,00	0
5	141,42	340,63	340,51	141,92	340,70	340,50	141,69	340,59	0,50	-0,60	26,00	0
6	141,92	340,70	340,50	142,42	340,77	340,50	142,18	340,62	0,50	0,31	26,00	0
7	142,42	340,77	340,50	142,93	340,84	340,51	142,68	340,66	0,51	1,23	26,00	0
8	142,93	340,84	340,51	143,43	340,91	340,53	143,18	340,70	0,51	2,14	26,00	0
9	143,43	340,91	340,53	143,93	341,01	340,56	143,69	340,75	0,50	3,06	26,00	0
10	143,93	341,01	340,56	144,43	341,11	340,59	144,19	340,82	0,50	3,97	26,00	0
11	144,43	341,11	340,59	144,93	341,20	340,64	144,68	340,89	0,50	4,88	26,00	0
12	144,93	341,20	340,64	145,43	341,29	340,69	145,18	340,95	0,50	5,80	26,00	0
13	145,43	341,29	340,69	145,93	341,33	340,75	145,68	341,01	0,50	6,71	26,00	0
14	145,93	341,33	340,75	146,42	341,36	340,81	146,17	341,06	0,50	7,61	26,00	0
15	146,42	341,36	340,81	146,93	341,37	340,89	146,67	341,11	0,51	8,53	26,00	0
16	146,93	341,37	340,89	147,43	341,38	340,97	147,17	341,15	0,51	9,46	26,00	0
17	147,43	341,38	340,97	147,93	341,47	341,06	147,68	341,22	0,51	10,39	26,00	0
18	147,93	341,47	341,06	148,43	341,56	341,16	148,18	341,31	0,51	11,32	26,00	0
19	148,43	341,56	341,16	148,93	341,64	341,27	148,68	341,41	0,51	12,25	26,00	0
20	148,93	341,64	341,27	149,43	341,73	341,39	149,18	341,51	0,51	13,18	26,00	0
21	149,43	341,73	341,39	149,93	341,93	341,51	149,69	341,64	0,51	14,11	26,00	0
22	149,93	341,93	341,51	150,42	342,12	341,65	150,18	341,80	0,51	15,04	26,00	0
23	150,42	342,12	341,65	150,93	342,14	341,79	150,66	341,92	0,53	15,98	26,00	0
24	150,93	342,14	341,79	151,43	342,17	341,95	151,16	342,01	0,53	16,94	26,00	0
25	151,43	342,17	341,95	151,77	342,05	342,05	151,54	342,06	0,36	17,75	26,00	0

Metodo di **MORGENSTERN**

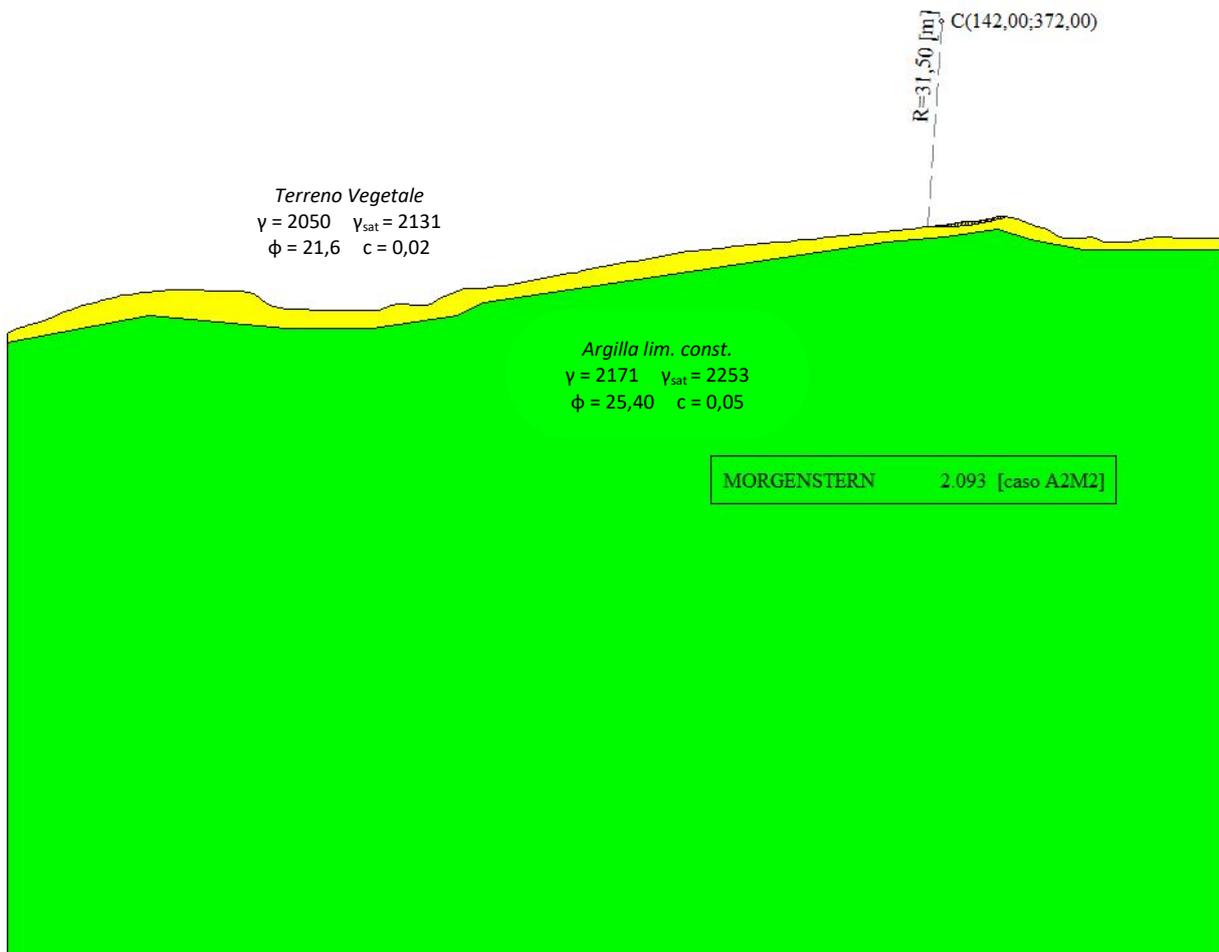
Coefficiente di sicurezza F_s= 2.093

Forze applicate sulle strisce

N°	W [kg]	Q [kg]	N [kg]	T [kg]	U [kg]	E _s [kg]	E _d [kg]	X _s [kg]	X _d [kg]	ID
1	12	0	12	3	0	0	3	0	-1	
2	34	0	35	8	0	3	11	-1	-2	
3	77	0	78	19	0	11	27	-2	-6	
4	101	0	101	24	0	27	45	-6	-10	
5	146	0	145	34	0	45	69	-10	-15	
6	210	0	207	49	0	69	100	-15	-21	
7	270	0	264	62	0	100	134	-21	-29	
8	320	0	311	73	0	134	169	-29	-36	

N°	W [kg]	Q [kg]	N [kg]	T [kg]	U [kg]	E _s [kg]	E _d [kg]	X _s [kg]	X _d [kg]	ID
9	373	0	360	84	0	169	202	-36	-43	
10	435	0	417	98	0	202	234	-43	-50	
11	486	0	463	108	0	234	261	-50	-56	
12	525	0	497	116	0	261	282	-56	-61	
13	527	0	496	116	0	282	294	-61	-63	
14	502	0	471	110	0	294	297	-63	-64	
15	468	0	437	102	0	297	292	-64	-63	
16	405	0	375	88	0	292	281	-63	-60	
17	367	0	339	79	0	281	265	-60	-57	
18	361	0	332	78	0	265	244	-57	-52	
19	346	0	317	74	0	244	218	-52	-47	
20	321	0	293	69	0	218	188	-47	-41	
21	335	0	305	72	0	188	153	-41	-33	
22	394	0	358	84	0	153	104	-33	-22	
23	376	0	340	80	0	104	52	-22	-11	
24	263	0	237	56	0	52	11	-11	-2	
25	69	0	62	15	0	11	0	-2	0	

Superficie di scorrimento con fattore di sicurezza minore



Conclusioni

Sulla base dei parametri geotecnici forniti si evince, dalle analisi effettuate, che il pendio risponde positivamente in termini di stabilità in quanto non sono presenti superfici di rottura critiche. In particolare il fattore di sicurezza minimo, restituito attraverso il metodo di calcolo di Morgenstern-Price (**F.S.= 2.093**) è maggiore del fattore di sicurezza minimo richiesto dalle NTC2018 (pari ad **1,2**). Di conseguenza si può considerare stabile il pendio in esame sia in condizioni statiche che dinamiche.

In considerazione della pendenza del pendio, e della sua stratigrafia geologica, **si consigliano interventi di "drenaggio fuori opera" tipo B** per l'intercettazione delle acque di scorrimento superficiali.

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi e le verifiche di stabilità sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

I metodi di calcolo implementati sono i classici metodi delle strisce, basati sul concetto dell'equilibrio limite globale. La superficie di rottura è suddivisa in un determinato numero di strisce che consentono di calcolare le grandezze che entrano in gioco nelle equazioni risolutive.

Nel modulo terreni si adotta il criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Nel modulo rocce si può adottare il criterio di rottura di Hoek-Brown o di Barton.

Il programma consente di inserire degli interventi di stabilizzazione, che possono intervenire secondo sue modalità diverse: variazione delle forze di interstriscia o resistenza a taglio equivalente.

L'analisi sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	STAP - Stabilità Pendii Terreni
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.