

Relazione di calcolo

Progetto: Analisi di stabilità **interferenza n.20**
Comune: Navelli, (AQ)

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:

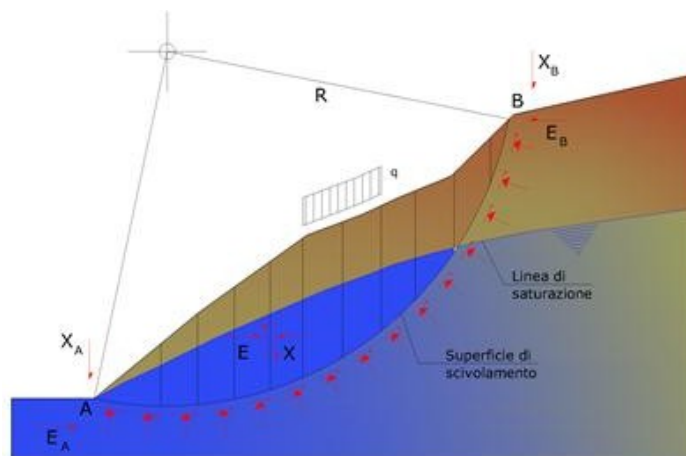
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido 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 di calcolo utilizzato per le analisi di stabilità 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 adotterà 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 **$\Delta X = X_d - X_s$**
- ΔE** variazione delle forze normali sulla striscia **$\Delta E = E_d - E_s$**

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 $|f(x)| \leq 1$ 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:

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

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

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

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	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 kg/cm ²
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ²

n°	Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ' [°]	c' [kg/cm ²]
1	calcarei molto fratturati	2250	2300	43.00	0,000
2	terreno vegetale	1630	1650	22.00	0,000
3	sabbia argillosa deb. limosa	1885	1940	23.13	0,150

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.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	703,71
2	1,59	704,38
3	2,59	704,68
4	3,59	704,90
5	4,59	705,20
6	5,59	705,38
7	6,59	705,42
8	7,59	705,54
9	8,59	705,88
10	9,59	706,10
11	10,59	706,24
12	11,59	706,45
13	12,59	706,72
14	13,59	706,81
15	14,59	707,01
16	15,59	707,27
17	16,59	707,46
18	17,59	707,91
19	18,59	708,23
20	19,59	708,31
21	20,58	708,52
22	21,59	708,83
23	22,58	709,17

n°	X [m]	Y [m]
24	23,59	709,31
25	24,58	709,58
26	25,59	709,81
27	26,58	709,92
28	27,59	710,22
29	28,58	710,72
30	29,59	710,94
31	30,58	711,09
32	31,59	711,24
33	32,58	711,39
34	33,59	711,68
35	34,58	711,85
36	35,59	712,03
37	36,58	712,40
38	37,59	712,74
39	38,59	713,06
40	39,59	713,16
41	40,59	713,19
42	41,59	713,47
43	42,59	713,69
44	43,59	714,02
45	44,59	714,32
46	45,59	714,42
47	46,59	714,58
48	47,59	714,87
49	48,59	715,01
50	49,59	715,43
51	50,59	715,78
52	51,59	715,97
53	52,59	716,12
54	53,58	716,60
55	54,59	716,78
56	55,59	716,74
57	56,59	716,77
58	57,58	717,06
59	58,59	717,32
60	59,58	717,57
61	60,59	717,60
62	61,58	717,69
63	62,59	717,81
64	63,58	718,04
65	64,59	718,17
66	65,58	718,16
67	66,59	718,36
68	67,59	718,60
69	68,59	718,74
70	69,59	718,79
71	70,59	718,83
72	71,59	718,98
73	72,59	719,17
74	73,59	719,43
75	74,59	719,49
76	75,59	719,61
77	76,59	719,78
78	77,59	720,00
79	78,59	720,21
80	79,59	720,41
81	80,59	720,51
82	81,59	720,68
83	82,59	720,97
84	83,59	721,18
85	84,59	721,52
86	85,59	721,81
87	86,58	722,10
88	87,59	722,26
89	88,58	722,72
90	89,59	722,89
91	90,58	722,91
92	91,59	723,38
93	92,58	723,59
94	93,59	723,72
95	94,58	723,95

n°	X [m]	Y [m]
96	95,59	724,13
97	96,58	724,19
98	97,59	724,38
99	98,59	724,66
100	99,59	724,80
101	100,59	724,97
102	101,59	725,29
103	102,59	725,40
104	103,59	725,60
105	104,59	725,88
106	105,59	726,25
107	106,59	726,36
108	107,59	726,48
109	108,59	726,58
110	109,59	726,69
111	110,59	726,83
112	111,59	726,97
113	112,59	727,07
114	113,59	727,25
115	114,59	727,50
116	115,59	727,63
117	116,59	727,90
118	117,58	728,20
119	118,59	728,67
120	119,58	728,81
121	120,59	729,27
122	121,58	729,95
123	122,59	730,01
124	123,58	730,30
125	124,59	730,48
126	125,58	730,59
127	126,59	730,78
128	127,58	730,95
129	128,59	731,13
130	129,58	731,22
131	130,59	731,29
132	131,58	731,50
133	132,59	731,86
134	133,58	732,08
135	134,59	732,21
136	135,59	732,41
137	136,59	732,60
138	137,59	732,85
139	138,59	733,02
140	139,59	733,39
141	140,59	733,99
142	141,59	734,23
143	142,59	734,37
144	143,59	734,56
145	144,59	734,67
146	145,59	734,93
147	146,58	735,30
148	147,59	735,76
149	148,59	736,15
150	149,59	736,37
151	150,58	736,53
152	151,59	736,73
153	152,59	737,08
154	153,59	737,40
155	154,58	737,60
156	155,59	737,90
157	156,58	738,20
158	157,59	738,42
159	158,58	738,76
160	159,59	739,15
161	160,58	739,60
162	161,59	739,99
163	162,58	740,44
164	163,59	740,78
165	164,59	740,94
166	165,59	741,29
167	166,59	741,83

n°	X	Y
	[m]	[m]
168	167,59	742,18
169	168,59	742,60
170	169,59	743,23
171	170,59	743,66
172	171,59	744,00
173	172,59	744,33
174	173,59	744,61
175	174,59	745,26
176	175,59	745,64
177	176,59	745,99
178	177,59	746,52
179	178,59	746,89
180	179,59	747,15
181	180,59	747,47
182	181,59	747,90
183	182,59	748,32
184	183,58	748,65
185	184,59	748,99
186	185,58	749,03
187	186,59	749,13
188	187,58	749,57
189	188,59	749,93
190	189,58	750,20
191	190,59	750,55
192	191,58	750,86
193	192,59	751,08
194	193,58	751,42
195	194,59	751,75
196	195,58	752,16
197	196,59	752,36
198	197,58	752,80
199	198,59	753,20
200	199,58	753,45
201	200,59	753,82
202	201,59	754,33
203	202,59	754,69
204	203,59	755,15
205	204,59	755,49
206	205,59	755,80
207	206,59	756,46
208	207,59	756,82
209	208,59	757,16
210	209,59	757,91
211	210,59	758,37
212	211,59	758,65
213	212,59	758,93
214	213,59	759,34
215	214,58	759,95
216	215,59	760,62
217	216,59	761,63
218	217,59	762,61
219	218,60	762,63

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 (calcarei molto fratturati)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	218,60	761,46
2	217,51	760,80
3	216,43	760,08
4	215,24	759,27
5	214,61	758,87
6	213,42	758,13
7	212,29	757,54

n°	X [m]	Y [m]
8	211,50	757,12
9	210,74	756,73
10	209,60	756,16
11	208,60	755,67
12	207,62	755,18
13	206,61	754,69
14	205,63	754,22
15	204,60	753,72
16	203,58	753,25
17	202,63	752,81
18	201,69	752,38
19	200,69	751,93
20	199,61	751,45
21	198,65	751,02
22	197,72	750,60
23	196,83	750,23
24	195,57	749,68
25	194,68	749,31
26	193,79	748,93
27	192,75	748,51
28	191,90	748,16
29	190,59	747,61
30	189,60	747,22
31	188,93	746,95
32	188,25	746,69
33	187,51	746,39
34	186,56	746,01
35	184,68	745,29
36	183,92	745,00
37	182,87	744,62
38	181,62	744,15
39	180,58	743,76
40	179,52	743,36
41	178,47	742,99
42	177,59	742,67
43	176,58	742,32
44	175,67	741,99
45	174,45	741,55
46	173,42	741,20
47	172,41	740,84
48	171,59	740,57
49	170,61	740,23
50	169,65	739,91
51	168,64	739,56
52	167,75	739,28
53	166,60	738,86
54	165,64	738,56
55	164,63	738,22
56	163,52	737,84
57	162,61	737,54
58	161,59	737,23
59	160,63	736,89
60	159,47	736,53
61	158,58	736,25
62	157,60	735,91
63	156,54	735,58
64	155,54	735,27
65	154,70	734,99
66	153,56	734,62
67	152,61	734,33
68	151,67	734,02
69	150,76	733,73
70	149,67	733,38
71	148,58	733,03
72	147,83	732,78
73	146,85	732,46
74	145,78	732,13
75	144,72	731,79
76	143,59	731,45
77	142,66	731,14
78	141,69	730,83
79	140,64	730,51

n°	X [m]	Y [m]
80	139,61	730,17
81	138,59	729,84
82	137,40	729,45
83	136,63	729,21
84	135,68	728,89
85	134,59	728,54
86	133,83	728,29
87	133,01	728,01
88	132,23	727,76
89	131,54	727,51
90	129,58	727,11
91	128,57	726,89
92	127,64	726,68
93	126,58	726,41
94	125,62	726,20
95	124,62	725,98
96	123,63	725,73
97	122,30	725,41
98	121,56	725,37
99	121,30	725,17
100	119,58	724,73
101	118,54	724,48
102	117,53	724,21
103	116,53	723,91
104	115,53	723,65
105	114,59	723,52
106	113,59	723,26
107	112,59	723,08
108	111,59	722,98
109	110,59	722,85
110	109,59	722,71
111	108,59	722,59
112	107,59	722,50
113	106,59	722,38
114	105,56	722,27
115	104,56	721,90
116	103,56	721,63
117	102,56	721,42
118	101,56	721,31
119	100,58	721,01
120	99,58	720,83
121	98,58	720,70
122	97,58	720,42
123	96,58	720,22
124	95,58	720,16
125	94,58	719,98
126	93,58	719,75
127	92,58	719,62
128	91,58	719,42
129	90,58	718,95
130	89,58	718,92
131	88,58	718,76
132	87,58	718,30
133	86,58	718,13
134	85,58	717,85
135	84,58	717,56
136	83,58	717,22
137	82,58	717,01
138	81,58	716,72
139	80,58	716,55
140	79,58	716,45
141	78,58	716,25
142	77,58	716,04
143	76,58	715,82
144	75,58	715,65
145	74,58	715,53
146	73,58	715,47
147	72,58	715,21
148	71,58	715,02
149	70,58	714,87
150	69,58	714,83
151	68,58	714,78

n°	X [m]	Y [m]
152	67,58	714,63
153	66,58	714,40
154	65,58	714,20
155	64,58	714,21
156	63,58	714,08
157	62,58	713,86
158	61,58	713,73
159	60,58	713,64
160	59,58	713,61
161	58,58	713,36
162	57,58	713,09
163	56,58	712,81
164	55,58	712,77
165	54,58	712,82
166	53,58	712,63
167	52,58	712,15
168	51,58	712,00
169	50,58	711,82
170	49,58	711,46
171	48,58	711,05
172	47,58	710,90
173	46,58	710,61
174	45,58	710,45
175	44,58	710,35
176	43,58	710,05
177	42,58	709,72
178	41,58	709,50
179	40,58	709,22
180	39,58	709,19
181	38,61	709,11
182	37,61	708,79
183	36,61	708,45
184	35,61	708,08
185	34,61	707,90
186	33,61	707,73
187	32,61	707,44
188	31,61	707,29
189	30,61	707,14
190	29,57	706,97
191	28,57	706,75
192	27,57	706,25
193	26,57	705,94
194	25,57	705,84
195	24,57	705,60
196	23,57	705,39
197	22,55	705,16
198	21,57	704,86
199	20,59	704,55
200	19,59	704,34
201	18,61	704,08
202	17,65	703,80
203	16,59	703,49
204	15,59	703,31
205	14,59	703,04
206	13,59	702,84
207	12,59	702,75
208	11,59	702,49
209	10,59	702,28
210	9,59	702,15
211	8,59	701,93
212	7,59	701,59
213	6,59	701,46
214	5,59	701,42
215	4,59	701,25
216	3,59	700,95
217	2,59	700,72
218	1,59	700,42
219	0,00	699,77
220	0,00	0,00
221	218,60	0,00

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (terreno vegetale)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	703,07
2	1,59	703,72
3	2,59	704,02
4	3,59	704,24
5	4,59	704,55
6	5,59	704,72
7	6,59	704,77
8	7,59	704,89
9	8,59	705,23
10	9,59	705,45
11	10,59	705,58
12	11,59	705,80
13	12,59	706,06
14	13,59	706,15
15	14,59	706,35
16	15,59	706,62
17	16,59	706,81
18	17,59	707,26
19	18,59	707,58
20	19,59	707,66
21	20,59	707,87
22	21,59	708,17
23	22,59	708,52
24	23,59	708,65
25	24,59	708,92
26	25,59	709,16
27	26,59	709,26
28	27,59	709,57
29	28,59	710,07
30	29,59	710,29
31	30,59	710,43
32	31,59	710,59
33	32,59	710,74
34	33,59	711,03
35	34,59	711,20
36	35,59	711,38
37	36,59	711,74
38	37,59	712,08
39	38,59	712,40
40	39,59	712,51
41	40,59	712,53
42	41,59	712,81
43	42,59	713,03
44	43,59	713,36
45	44,59	713,67
46	45,59	713,76
47	46,59	713,92
48	47,59	714,22
49	48,59	714,36
50	49,59	714,77
51	50,59	715,13
52	51,59	715,31
53	52,59	715,46
54	53,59	715,94
55	54,59	716,12
56	55,59	716,08
57	56,59	716,12
58	57,59	716,40
59	58,59	716,67
60	59,59	716,92
61	60,59	716,95
62	61,59	717,03
63	62,59	717,16
64	63,59	717,38
65	64,59	717,52
66	65,59	717,50
67	66,59	717,70
68	67,59	717,94
69	68,59	718,09

n°	X [m]	Y [m]
70	69,59	718,13
71	70,59	718,18
72	71,59	718,33
73	72,59	718,52
74	73,59	718,77
75	74,59	718,84
76	75,59	718,95
77	76,59	719,13
78	77,59	719,35
79	78,59	719,56
80	79,59	719,75
81	80,59	719,86
82	81,59	720,03
83	82,59	720,31
84	83,59	720,53
85	84,59	720,86
86	85,59	721,16
87	86,59	721,44
88	87,59	721,61
89	88,59	722,07
90	89,59	722,23
91	90,59	722,26
92	91,59	722,73
93	92,59	722,93
94	93,59	723,06
95	94,59	723,29
96	95,59	723,47
97	96,59	723,53
98	97,59	723,73
99	98,59	724,01
100	99,59	724,14
101	100,59	724,32
102	101,59	724,63
103	102,59	724,74
104	103,59	724,95
105	104,59	725,22
106	105,59	725,59
107	106,59	725,71
108	107,59	725,83
109	108,59	725,92
110	109,59	726,04
111	110,59	726,18
112	111,59	726,31
113	112,59	726,41
114	113,59	726,59
115	114,59	726,85
116	115,59	726,98
117	116,59	727,24
118	117,59	727,54
119	118,59	728,01
120	119,59	728,16
121	120,59	728,62
122	121,59	729,29
123	122,59	729,36
124	123,59	729,65
125	124,59	729,82
126	125,59	729,94
127	126,59	730,12
128	127,59	730,29
129	128,59	730,47
130	129,59	730,56
131	130,59	730,63
132	131,59	730,85
133	132,59	731,20
134	133,59	731,42
135	134,59	731,55
136	135,59	731,75
137	136,59	731,94
138	137,59	732,19
139	138,59	732,36
140	139,59	732,73
141	140,59	733,33

n°	X [m]	Y [m]
142	141,59	733,57
143	142,59	733,72
144	143,59	733,91
145	144,59	734,01
146	145,59	734,27
147	146,59	734,64
148	147,59	735,11
149	148,59	735,50
150	149,59	735,71
151	150,59	735,87
152	151,59	736,08
153	152,59	736,43
154	153,59	736,75
155	154,59	736,95
156	155,59	737,25
157	156,59	737,55
158	157,59	737,76
159	158,59	738,10
160	159,59	738,49
161	160,59	738,95
162	161,59	739,33
163	162,59	739,79
164	163,59	740,12
165	164,59	740,28
166	165,59	740,63
167	166,59	741,17
168	167,59	741,52
169	168,59	741,94
170	169,59	742,57
171	170,59	743,01
172	171,59	743,34
173	172,59	743,67
174	173,59	743,95
175	174,59	744,60
176	175,59	744,98
177	176,59	745,33
178	177,59	745,87
179	178,59	746,23
180	179,59	746,49
181	180,59	746,81
182	181,59	747,24
183	182,59	747,67
184	183,59	747,99
185	184,59	748,33
186	185,59	748,38
187	186,59	748,47
188	187,59	748,91
189	188,59	749,28
190	189,59	749,54
191	190,59	749,90
192	191,59	750,21
193	192,59	750,42
194	193,59	750,76
195	194,59	751,09
196	195,59	751,50
197	196,59	751,70
198	197,59	752,14
199	198,59	752,55
200	199,59	752,79
201	200,59	753,16
202	201,59	753,67
203	202,59	754,03
204	203,59	754,49
205	204,59	754,83
206	205,59	755,14
207	206,59	755,81
208	207,59	756,16
209	208,59	756,50
210	209,59	757,26
211	210,59	757,72
212	211,59	757,99
213	212,59	758,27

n°	X [m]	Y [m]
214	213,59	758,68
215	214,60	759,33
216	215,59	759,99
217	216,60	760,77
218	217,67	761,59
219	218,60	762,34
220	218,60	762,63
221	217,59	762,61
222	216,59	761,63
223	215,59	760,62
224	214,58	759,95
225	213,59	759,34
226	212,59	758,93
227	211,59	758,65
228	210,59	758,37
229	209,59	757,91
230	208,59	757,16
231	207,59	756,82
232	206,59	756,46
233	205,59	755,80
234	204,59	755,49
235	203,59	755,15
236	202,59	754,69
237	201,59	754,33
238	200,59	753,82
239	199,58	753,45
240	198,59	753,20
241	197,58	752,80
242	196,59	752,36
243	195,58	752,16
244	194,59	751,75
245	193,58	751,42
246	192,59	751,08
247	191,58	750,86
248	190,59	750,55
249	189,58	750,20
250	188,59	749,93
251	187,58	749,57
252	186,59	749,13
253	185,58	749,03
254	184,59	748,99
255	183,58	748,65
256	182,59	748,32
257	181,59	747,90
258	180,59	747,47
259	179,59	747,15
260	178,59	746,89
261	177,59	746,52
262	176,59	745,99
263	175,59	745,64
264	174,59	745,26
265	173,59	744,61
266	172,59	744,33
267	171,59	744,00
268	170,59	743,66
269	169,59	743,23
270	168,59	742,60
271	167,59	742,18
272	166,59	741,83
273	165,59	741,29
274	164,59	740,94
275	163,59	740,78
276	162,58	740,44
277	161,59	739,99
278	160,58	739,60
279	159,59	739,15
280	158,58	738,76
281	157,59	738,42
282	156,58	738,20
283	155,59	737,90
284	154,58	737,60
285	153,59	737,40

n°	X [m]	Y [m]
286	152,59	737,08
287	151,59	736,73
288	150,58	736,53
289	149,59	736,37
290	148,59	736,15
291	147,59	735,76
292	146,58	735,30
293	145,59	734,93
294	144,59	734,67
295	143,59	734,56
296	142,59	734,37
297	141,59	734,23
298	140,59	733,99
299	139,59	733,39
300	138,59	733,02
301	137,59	732,85
302	136,59	732,60
303	135,59	732,41
304	134,59	732,21
305	133,58	732,08
306	132,59	731,86
307	131,58	731,50
308	130,59	731,29
309	129,58	731,22
310	128,59	731,13
311	127,58	730,95
312	126,59	730,78
313	125,58	730,59
314	124,59	730,48
315	123,58	730,30
316	122,59	730,01
317	121,58	729,95
318	120,59	729,27
319	119,58	728,81
320	118,59	728,67
321	117,58	728,20
322	116,59	727,90
323	115,59	727,63
324	114,59	727,50
325	113,59	727,25
326	112,59	727,07
327	111,59	726,97
328	110,59	726,83
329	109,59	726,69
330	108,59	726,58
331	107,59	726,48
332	106,59	726,36
333	105,59	726,25
334	104,59	725,88
335	103,59	725,60
336	102,59	725,40
337	101,59	725,29
338	100,59	724,97
339	99,59	724,80
340	98,59	724,66
341	97,59	724,38
342	96,58	724,19
343	95,59	724,13
344	94,58	723,95
345	93,59	723,72
346	92,58	723,59
347	91,59	723,38
348	90,58	722,91
349	89,59	722,89
350	88,58	722,72
351	87,59	722,26
352	86,58	722,10
353	85,59	721,81
354	84,59	721,52
355	83,59	721,18
356	82,59	720,97
357	81,59	720,68

n°	X [m]	Y [m]
358	80,59	720,51
359	79,59	720,41
360	78,59	720,21
361	77,59	720,00
362	76,59	719,78
363	75,59	719,61
364	74,59	719,49
365	73,59	719,43
366	72,59	719,17
367	71,59	718,98
368	70,59	718,83
369	69,59	718,79
370	68,59	718,74
371	67,59	718,60
372	66,59	718,36
373	65,58	718,16
374	64,59	718,17
375	63,58	718,04
376	62,59	717,81
377	61,58	717,69
378	60,59	717,60
379	59,58	717,57
380	58,59	717,32
381	57,58	717,06
382	56,59	716,77
383	55,59	716,74
384	54,59	716,78
385	53,58	716,60
386	52,59	716,12
387	51,59	715,97
388	50,59	715,78
389	49,59	715,43
390	48,59	715,01
391	47,59	714,87
392	46,59	714,58
393	45,59	714,42
394	44,59	714,32
395	43,59	714,02
396	42,59	713,69
397	41,59	713,47
398	40,59	713,19
399	39,59	713,16
400	38,59	713,06
401	37,59	712,74
402	36,58	712,40
403	35,59	712,03
404	34,58	711,85
405	33,59	711,68
406	32,58	711,39
407	31,59	711,24
408	30,58	711,09
409	29,59	710,94
410	28,58	710,72
411	27,59	710,22
412	26,58	709,92
413	25,59	709,81
414	24,58	709,58
415	23,59	709,31
416	22,58	709,17
417	21,59	708,83
418	20,58	708,52
419	19,59	708,31
420	18,59	708,23
421	17,59	707,91
422	16,59	707,46
423	15,59	707,27
424	14,59	707,01
425	13,59	706,81
426	12,59	706,72
427	11,59	706,45
428	10,59	706,24
429	9,59	706,10

n°	X	Y
	[m]	[m]
430	8,59	705,88
431	7,59	705,54
432	6,59	705,42
433	5,59	705,38
434	4,59	705,20
435	3,59	704,90
436	2,59	704,68
437	1,59	704,38
438	0,00	703,71

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (sabbia argillosa deb. limosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	0,00	699,77
2	1,59	700,42
3	2,59	700,72
4	3,59	700,95
5	4,59	701,25
6	5,59	701,42
7	6,59	701,46
8	7,59	701,59
9	8,59	701,93
10	9,59	702,15
11	10,59	702,28
12	11,59	702,49
13	12,59	702,75
14	13,59	702,84
15	14,59	703,04
16	15,59	703,31
17	16,59	703,49
18	17,65	703,80
19	18,61	704,08
20	19,59	704,34
21	20,59	704,55
22	21,57	704,86
23	22,55	705,16
24	23,57	705,39
25	24,57	705,60
26	25,57	705,84
27	26,57	705,94
28	27,57	706,25
29	28,57	706,75
30	29,57	706,97
31	30,61	707,14
32	31,61	707,29
33	32,61	707,44
34	33,61	707,73
35	34,61	707,90
36	35,61	708,08
37	36,61	708,45
38	37,61	708,79
39	38,61	709,11
40	39,58	709,19
41	40,58	709,22
42	41,58	709,50
43	42,58	709,72
44	43,58	710,05
45	44,58	710,35
46	45,58	710,45
47	46,58	710,61
48	47,58	710,90
49	48,58	711,05
50	49,58	711,46
51	50,58	711,82
52	51,58	712,00
53	52,58	712,15
54	53,58	712,63
55	54,58	712,82
56	55,58	712,77

n°	X [m]	Y [m]
57	56,58	712,81
58	57,58	713,09
59	58,58	713,36
60	59,58	713,61
61	60,58	713,64
62	61,58	713,73
63	62,58	713,86
64	63,58	714,08
65	64,58	714,21
66	65,58	714,20
67	66,58	714,40
68	67,58	714,63
69	68,58	714,78
70	69,58	714,83
71	70,58	714,87
72	71,58	715,02
73	72,58	715,21
74	73,58	715,47
75	74,58	715,53
76	75,58	715,65
77	76,58	715,82
78	77,58	716,04
79	78,58	716,25
80	79,58	716,45
81	80,58	716,55
82	81,58	716,72
83	82,58	717,01
84	83,58	717,22
85	84,58	717,56
86	85,58	717,85
87	86,58	718,13
88	87,58	718,30
89	88,58	718,76
90	89,58	718,92
91	90,58	718,95
92	91,58	719,42
93	92,58	719,62
94	93,58	719,75
95	94,58	719,98
96	95,58	720,16
97	96,58	720,22
98	97,58	720,42
99	98,58	720,70
100	99,58	720,83
101	100,58	721,01
102	101,56	721,31
103	102,56	721,42
104	103,56	721,63
105	104,56	721,90
106	105,56	722,27
107	106,59	722,38
108	107,59	722,50
109	108,59	722,59
110	109,59	722,71
111	110,59	722,85
112	111,59	722,98
113	112,59	723,08
114	113,59	723,26
115	114,59	723,52
116	115,53	723,65
117	116,53	723,91
118	117,53	724,21
119	118,54	724,48
120	119,58	724,73
121	121,30	725,17
122	121,56	725,37
123	122,30	725,41
124	123,63	725,73
125	124,62	725,98
126	125,62	726,20
127	126,58	726,41
128	127,64	726,68

n°	X [m]	Y [m]
129	128,57	726,89
130	129,58	727,11
131	131,54	727,51
132	132,23	727,76
133	133,01	728,01
134	133,83	728,29
135	134,59	728,54
136	135,68	728,89
137	136,63	729,21
138	137,40	729,45
139	138,59	729,84
140	139,61	730,17
141	140,64	730,51
142	141,69	730,83
143	142,66	731,14
144	143,59	731,45
145	144,72	731,79
146	145,78	732,13
147	146,85	732,46
148	147,83	732,78
149	148,58	733,03
150	149,67	733,38
151	150,76	733,73
152	151,67	734,02
153	152,61	734,33
154	153,56	734,62
155	154,70	734,99
156	155,54	735,27
157	156,54	735,58
158	157,60	735,91
159	158,58	736,25
160	159,47	736,53
161	160,63	736,89
162	161,59	737,23
163	162,61	737,54
164	163,52	737,84
165	164,63	738,22
166	165,64	738,56
167	166,60	738,86
168	167,75	739,28
169	168,64	739,56
170	169,65	739,91
171	170,61	740,23
172	171,59	740,57
173	172,41	740,84
174	173,42	741,20
175	174,45	741,55
176	175,67	741,99
177	176,58	742,32
178	177,59	742,67
179	178,47	742,99
180	179,52	743,36
181	180,58	743,76
182	181,62	744,15
183	182,87	744,62
184	183,92	745,00
185	184,68	745,29
186	186,56	746,01
187	187,51	746,39
188	188,25	746,69
189	188,93	746,95
190	189,60	747,22
191	190,59	747,61
192	191,90	748,16
193	192,75	748,51
194	193,79	748,93
195	194,68	749,31
196	195,57	749,68
197	196,83	750,23
198	197,72	750,60
199	198,65	751,02
200	199,61	751,45

n°	X [m]	Y [m]
201	200,69	751,93
202	201,69	752,38
203	202,63	752,81
204	203,58	753,25
205	204,60	753,72
206	205,63	754,22
207	206,61	754,69
208	207,62	755,18
209	208,60	755,67
210	209,60	756,16
211	210,74	756,73
212	211,50	757,12
213	212,29	757,54
214	213,42	758,13
215	214,61	758,87
216	215,24	759,27
217	216,43	760,08
218	217,51	760,80
219	218,60	761,46
220	218,60	762,34
221	217,67	761,59
222	216,60	760,77
223	215,59	759,99
224	214,60	759,33
225	213,59	758,68
226	212,59	758,27
227	211,59	757,99
228	210,59	757,72
229	209,59	757,26
230	208,59	756,50
231	207,59	756,16
232	206,59	755,81
233	205,59	755,14
234	204,59	754,83
235	203,59	754,49
236	202,59	754,03
237	201,59	753,67
238	200,59	753,16
239	199,59	752,79
240	198,59	752,55
241	197,59	752,14
242	196,59	751,70
243	195,59	751,50
244	194,59	751,09
245	193,59	750,76
246	192,59	750,42
247	191,59	750,21
248	190,59	749,90
249	189,59	749,54
250	188,59	749,28
251	187,59	748,91
252	186,59	748,47
253	185,59	748,38
254	184,59	748,33
255	183,59	747,99
256	182,59	747,67
257	181,59	747,24
258	180,59	746,81
259	179,59	746,49
260	178,59	746,23
261	177,59	745,87
262	176,59	745,33
263	175,59	744,98
264	174,59	744,60
265	173,59	743,95
266	172,59	743,67
267	171,59	743,34
268	170,59	743,01
269	169,59	742,57
270	168,59	741,94
271	167,59	741,52
272	166,59	741,17

n°	X [m]	Y [m]
273	165,59	740,63
274	164,59	740,28
275	163,59	740,12
276	162,59	739,79
277	161,59	739,33
278	160,59	738,95
279	159,59	738,49
280	158,59	738,10
281	157,59	737,76
282	156,59	737,55
283	155,59	737,25
284	154,59	736,95
285	153,59	736,75
286	152,59	736,43
287	151,59	736,08
288	150,59	735,87
289	149,59	735,71
290	148,59	735,50
291	147,59	735,11
292	146,59	734,64
293	145,59	734,27
294	144,59	734,01
295	143,59	733,91
296	142,59	733,72
297	141,59	733,57
298	140,59	733,33
299	139,59	732,73
300	138,59	732,36
301	137,59	732,19
302	136,59	731,94
303	135,59	731,75
304	134,59	731,55
305	133,59	731,42
306	132,59	731,20
307	131,59	730,85
308	130,59	730,63
309	129,59	730,56
310	128,59	730,47
311	127,59	730,29
312	126,59	730,12
313	125,59	729,94
314	124,59	729,82
315	123,59	729,65
316	122,59	729,36
317	121,59	729,29
318	120,59	728,62
319	119,59	728,16
320	118,59	728,01
321	117,59	727,54
322	116,59	727,24
323	115,59	726,98
324	114,59	726,85
325	113,59	726,59
326	112,59	726,41
327	111,59	726,31
328	110,59	726,18
329	109,59	726,04
330	108,59	725,92
331	107,59	725,83
332	106,59	725,71
333	105,59	725,59
334	104,59	725,22
335	103,59	724,95
336	102,59	724,74
337	101,59	724,63
338	100,59	724,32
339	99,59	724,14
340	98,59	724,01
341	97,59	723,73
342	96,59	723,53
343	95,59	723,47
344	94,59	723,29

n°	X [m]	Y [m]
345	93,59	723,06
346	92,59	722,93
347	91,59	722,73
348	90,59	722,26
349	89,59	722,23
350	88,59	722,07
351	87,59	721,61
352	86,59	721,44
353	85,59	721,16
354	84,59	720,86
355	83,59	720,53
356	82,59	720,31
357	81,59	720,03
358	80,59	719,86
359	79,59	719,75
360	78,59	719,56
361	77,59	719,35
362	76,59	719,13
363	75,59	718,95
364	74,59	718,84
365	73,59	718,77
366	72,59	718,52
367	71,59	718,33
368	70,59	718,18
369	69,59	718,13
370	68,59	718,09
371	67,59	717,94
372	66,59	717,70
373	65,59	717,50
374	64,59	717,52
375	63,59	717,38
376	62,59	717,16
377	61,59	717,03
378	60,59	716,95
379	59,59	716,92
380	58,59	716,67
381	57,59	716,40
382	56,59	716,12
383	55,59	716,08
384	54,59	716,12
385	53,59	715,94
386	52,59	715,46
387	51,59	715,31
388	50,59	715,13
389	49,59	714,77
390	48,59	714,36
391	47,59	714,22
392	46,59	713,92
393	45,59	713,76
394	44,59	713,67
395	43,59	713,36
396	42,59	713,03
397	41,59	712,81
398	40,59	712,53
399	39,59	712,51
400	38,59	712,40
401	37,59	712,08
402	36,59	711,74
403	35,59	711,38
404	34,59	711,20
405	33,59	711,03
406	32,59	710,74
407	31,59	710,59
408	30,59	710,43
409	29,59	710,29
410	28,59	710,07
411	27,59	709,57
412	26,59	709,26
413	25,59	709,16
414	24,59	708,92
415	23,59	708,65
416	22,59	708,52

n°	X [m]	Y [m]
417	21,59	708,17
418	20,59	707,87
419	19,59	707,66
420	18,59	707,58
421	17,59	707,26
422	16,59	706,81
423	15,59	706,62
424	14,59	706,35
425	13,59	706,15
426	12,59	706,06
427	11,59	705,80
428	10,59	705,58
429	9,59	705,45
430	8,59	705,23
431	7,59	704,89
432	6,59	704,77
433	5,59	704,72
434	4,59	704,55
435	3,59	704,24
436	2,59	704,02
437	1,59	703,72
438	0,00	703,07

Dati zona sismica

Identificazione del sito

Latitudine 42.240247
 Longitudine 13.703991
 Comune Navelli
 Provincia L'Aquila
 Regione Abruzzo

Punti di interpolazione del reticolo 26976 - 26977 - 26755 - 26754

Tipo di opera

Tipo di costruzione Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari
 Vita nominale 50 anni
 Classe d'uso IV - Opere strategiche ed industrie molto pericolose
 Vita di riferimento 100 anni

	Simbolo	U.M.	SLV	SLD
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]	3.198	1.374
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]	0.326	0.140
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.401	2.294
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.362	0.298
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.087
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T1	1.000
Coefficiente riduzione pendio naturale	β_s		0.280	0.280
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)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*St*S)$	9.92	4.71
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h$	4.96	2.35

Fronti di scavo

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*St*S)$	13.46	7.90
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h$	6.73	3.95

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_r	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]	$X_0 = 22,00$	$Y_0 = 726,00$
Passo maglia	[m]	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi		$N_x = 11$	$N_y = 11$
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	14118
Coefficiente di sicurezza minimo	0.980
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
MORGENSTERN	14118	0.980	1	6.998	14118

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	42,00	744,00	30,00	43,67	54,61	3,13	0,980 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
2	C	42,00	746,00	32,00	43,66	55,01	3,92	0,984 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
3	C	40,00	746,00	32,50	42,00	54,02	4,08	1,006 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
4	C	42,00	744,00	30,00	43,67	54,61	3,13	1,031 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
5	C	42,00	746,00	32,00	43,66	55,01	3,92	1,035 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
6	C	38,00	744,00	31,00	38,41	51,00	3,60	1,058 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
7	C	40,00	746,00	32,50	42,00	54,02	4,08	1,060 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
8	C	42,00	744,00	30,00	43,67	54,61	3,13	1,099 (M)	[PC]	[SLV] H+V
9	C	42,00	746,00	32,00	43,66	55,01	3,92	1,103 (M)	[PC]	[SLV] H+V
10	C	38,00	746,00	33,00	38,41	51,73	4,45	1,104 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
11	C	36,00	744,00	31,50	36,91	48,19	4,44	1,114 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
12	C	38,00	744,00	31,00	38,41	51,00	3,60	1,117 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
13	C	40,00	746,00	32,50	42,00	54,02	4,08	1,131 (M)	[PC]	[SLV] H+V
14	C	42,00	744,00	30,00	43,67	54,61	3,13	1,133 (M)	[PC]	[SLV] H-V
15	C	42,00	746,00	32,00	43,66	55,01	3,92	1,137 (M)	[PC]	[SLV] H-V
16	C	38,00	746,00	33,00	38,41	51,73	4,45	1,165 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
17	C	40,00	746,00	32,50	42,00	54,02	4,08	1,167 (M)	[PC]	[SLV] H-V
18	C	42,00	744,00	30,00	43,67	54,61	3,13	1,177 (M)	[A2M2]	[SLD] H+V
19	C	36,00	744,00	31,50	36,91	48,19	4,44	1,179 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
20	C	42,00	746,00	32,00	43,66	55,01	3,92	1,182 (M)	[A2M2]	[SLD] H+V
21	C	38,00	744,00	31,00	38,41	51,00	3,60	1,195 (M)	[PC]	[SLV] H+V
22	C	42,00	744,00	30,00	43,67	54,61	3,13	1,201 (M)	[A2M2]	[SLD] H-V
23	C	40,00	746,00	32,50	42,00	54,02	4,08	1,213 (M)	[A2M2]	[SLD] H+V
24	C	38,00	744,00	31,00	38,41	51,00	3,60	1,234 (M)	[PC]	[SLV] H-V
25	C	38,00	746,00	33,00	38,41	51,73	4,45	1,245 (M)	[PC]	[SLV] H+V
26	C	36,00	744,00	31,50	36,91	48,19	4,44	1,265 (M)	[PC]	[SLV] H+V
27	C	38,00	746,00	33,00	38,41	51,73	4,45	1,285 (M)	[PC]	[SLV] H-V
28	C	38,00	744,00	31,00	38,41	51,00	3,60	1,286 (M)	[A2M2]	[SLD] H+V
29	C	36,00	744,00	31,50	36,91	48,19	4,44	1,309 (M)	[PC]	[SLV] H-V
30	C	42,00	744,00	30,00	43,67	54,61	3,13	1,319 (M)	[PC]	[SLD] H+V
31	C	42,00	746,00	32,00	43,66	55,01	3,92	1,325 (M)	[PC]	[SLD] H+V
32	C	42,00	744,00	30,00	43,67	54,61	3,13	1,329 (M)	[PC]	[SLD] H-V
33	C	42,00	746,00	32,00	43,66	55,01	3,92	1,335 (M)	[PC]	[SLD] H-V
34	C	38,00	746,00	33,00	38,41	51,73	4,45	1,338 (M)	[A2M2]	[SLD] H+V
35	C	40,00	746,00	32,50	42,00	54,02	4,08	1,364 (M)	[PC]	[SLD] H+V
36	C	36,00	744,00	31,50	36,91	48,19	4,44	1,366 (M)	[A2M2]	[SLD] H+V

N°	F	C _x [m]	C _v [m]	R [m]	x _v [m]	x _m [m]	V [mc]	FS	Caso	Sisma
37	C	40,00	746,00	32,50	42,00	54,02	4,08	1,375 (M)	[PC]	[SLD] H-V
38	C	38,00	744,00	31,00	38,41	51,00	3,60	1,454 (M)	[PC]	[SLD] H+V
39	C	38,00	744,00	31,00	38,41	51,00	3,60	1,467 (M)	[PC]	[SLD] H-V
40	C	38,00	746,00	33,00	38,41	51,73	4,45	1,509 (M)	[PC]	[SLD] H+V
41	C	38,00	746,00	33,00	38,41	51,73	4,45	1,521 (M)	[PC]	[SLD] H-V
42	C	36,00	744,00	31,50	36,91	48,19	4,44	1,555 (M)	[PC]	[SLD] H+V
43	C	36,00	744,00	31,50	36,91	48,19	4,44	1,570 (M)	[PC]	[SLD] H-V
44	C	36,00	746,00	33,50	36,91	50,08	5,17	1,714 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
45	C	36,00	746,00	33,50	36,91	50,08	5,17	1,810 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
46	C	34,00	744,00	32,00	35,61	46,59	5,15	1,864 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
47	C	34,00	746,00	34,00	35,61	47,71	5,91	1,899 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
48	C	36,00	746,00	33,50	36,91	50,08	5,17	1,939 (M)	[PC]	[SLV] H+V
49	C	34,00	744,00	32,00	35,61	46,59	5,15	1,965 (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 kg/cmq
- L sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
- 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 23
 Coordinate del centro X[m]= 42,00 Y[m]= 744,00
 Raggio del cerchio R[m]= 30,00
 Intersezione a valle con il profilo topografico X_v[m]= 43,67 Y_v[m]= 714,05
 Intersezione a monte con il profilo topografico X_m[m]= 54,61 Y_m[m]= 716,78

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 [kg/cmq]
1	43,67	714,05	714,05	44,13	714,18	714,08	43,98	714,10	0,46	3,64	22,00	0,00
2	44,13	714,18	714,08	44,59	714,32	714,11	44,38	714,18	0,46	4,51	22,00	0,00
3	44,59	714,32	714,11	45,09	714,37	714,16	44,84	714,24	0,50	5,42	22,00	0,00
4	45,09	714,37	714,16	45,59	714,42	714,22	45,33	714,29	0,50	6,38	22,00	0,00
5	45,59	714,42	714,22	46,09	714,50	714,28	45,84	714,35	0,50	7,35	22,00	0,00
6	46,09	714,50	714,28	46,59	714,58	714,35	46,34	714,43	0,51	8,31	22,00	0,00
7	46,59	714,58	714,35	47,09	714,73	714,43	46,85	714,53	0,51	9,28	22,00	0,00
8	47,09	714,73	714,43	47,59	714,87	714,52	47,34	714,64	0,51	10,25	22,00	0,00
9	47,59	714,87	714,52	48,09	714,94	714,62	47,83	714,74	0,51	11,22	22,00	0,00
10	48,09	714,94	714,62	48,59	715,01	714,73	48,33	714,83	0,51	12,19	22,00	0,00
11	48,59	715,01	714,73	49,09	715,22	714,85	48,85	714,96	0,51	13,17	22,00	0,00
12	49,09	715,22	714,85	49,59	715,43	714,97	49,34	715,12	0,52	14,15	22,00	0,00
13	49,59	715,43	714,97	50,09	715,61	715,11	49,84	715,28	0,52	15,14	22,00	0,00
14	50,09	715,61	715,11	50,59	715,78	715,25	50,34	715,44	0,52	16,13	22,00	0,00
15	50,59	715,78	715,25	51,09	715,88	715,41	50,83	715,58	0,52	17,13	22,00	0,00

N°	X _s [m]	Y _{ss} [m]	Y _{si} [m]	X _d [m]	Y _{ds} [m]	Y _{di} [m]	X _a [m]	Y _a [m]	L [m]	α [°]	φ [°]	c [kg/cmq]
16	51,09	715,88	715,41	51,59	715,97	715,57	51,33	715,70	0,53	18,13	22,00	0,00
17	51,59	715,97	715,57	52,09	716,05	715,75	51,82	715,83	0,53	19,14	22,00	0,00
18	52,09	716,05	715,75	52,59	716,12	715,93	52,32	715,96	0,53	20,15	22,00	0,00
19	52,59	716,12	715,93	53,08	716,36	716,12	52,84	716,14	0,53	21,17	22,00	0,00
20	53,08	716,36	716,12	53,58	716,60	716,32	53,33	716,35	0,53	22,19	22,00	0,00
21	53,58	716,60	716,32	54,08	716,69	716,54	53,80	716,53	0,55	23,22	22,00	0,00
22	54,08	716,69	716,54	54,59	716,78	716,77	54,26	716,67	0,55	24,28	22,00	0,00
23	54,59	716,78	716,77	54,61	716,78	716,78	54,59	716,78	0,03	24,83	22,00	0,00

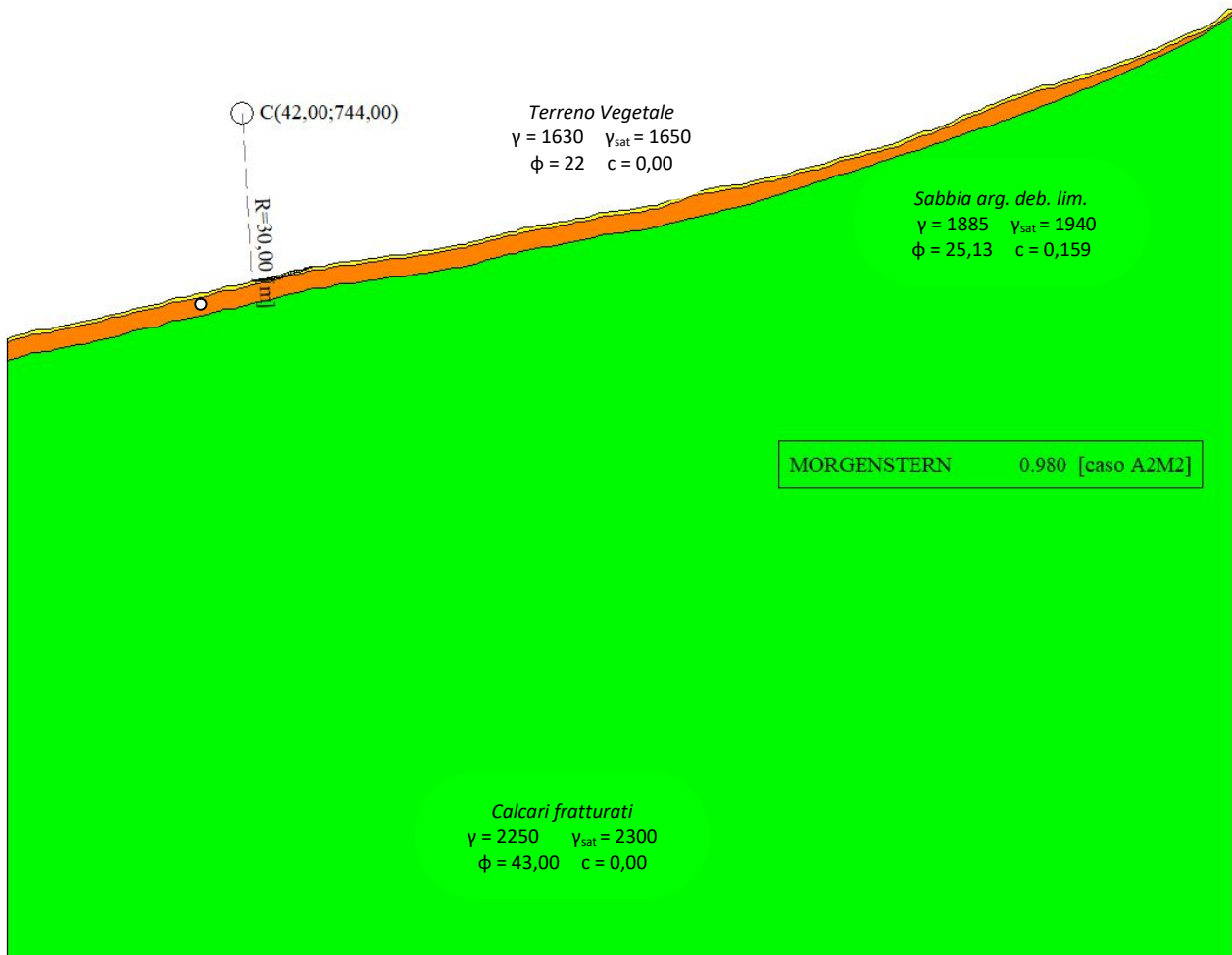
Metodo di **MORGENSTERN**

Coefficiente di sicurezza F_s= 0.980

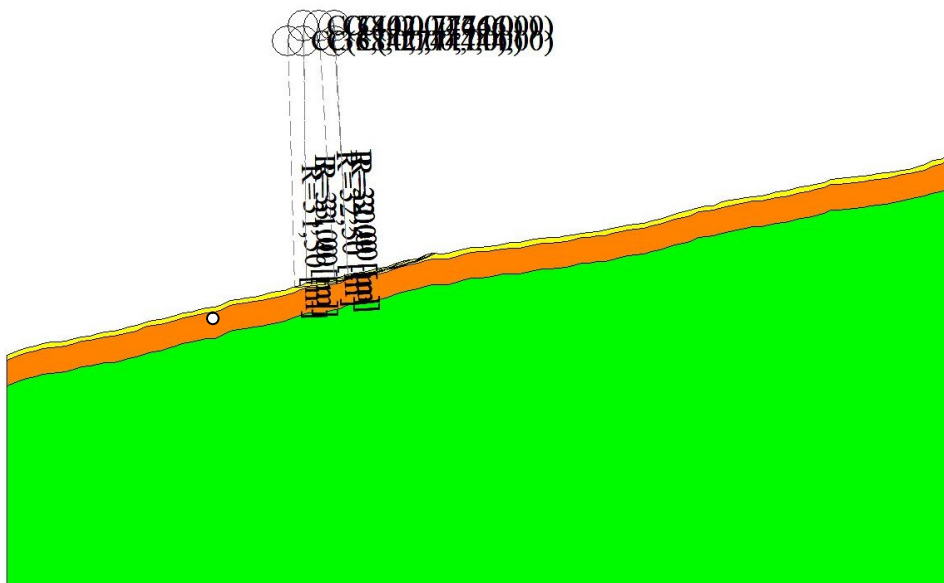
Forze applicate sulle strisce

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	40	0	39	16	0	0	9	0	-3	
2	117	0	114	47	0	9	32	-3	-11	
3	171	0	164	68	0	32	63	-11	-21	
4	169	0	161	66	0	63	90	-21	-30	
5	173	0	162	67	0	90	114	-30	-38	
6	183	0	169	70	0	114	135	-38	-45	
7	211	0	193	80	0	135	155	-45	-52	
8	259	0	235	97	0	155	175	-52	-59	
9	270	0	242	100	0	175	191	-59	-64	
10	242	0	215	89	0	191	200	-64	-67	
11	265	0	233	96	0	200	205	-67	-69	
12	337	0	293	121	0	205	205	-69	-69	
13	387	0	334	138	0	205	198	-69	-67	
14	416	0	356	147	0	198	183	-67	-62	
15	404	0	343	142	0	183	162	-62	-55	
16	352	0	297	122	0	162	137	-55	-46	
17	284	0	238	98	0	137	111	-46	-38	
18	199	0	166	68	0	111	90	-38	-30	
19	173	0	143	59	0	90	69	-30	-23	
20	208	0	171	70	0	69	40	-23	-13	
21	176	0	144	59	0	40	12	-13	-4	
22	67	0	54	22	0	12	0	-4	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Superficie di scorrimento con fattore di sicurezza minimo



Superfici di scorrimento con fattore di sicurezza < 1.2



Conclusioni

Sulla base dei parametri geotecnici forniti si evince, dalle analisi effettuate, che il pendio è instabile. In particolare il fattore di sicurezza minimo, restituito attraverso il metodo di calcolo di Morgenstern-Price (**F.S.=0,980**) è minore del fattore di sicurezza minimo richiesto dalle NTC 2018 (pari ad **1,2**). Poiché la condotta è posta a valle delle superfici di instabilità, **si consigliano interventi di "drenaggio fuori opera"**, a monte della stessa, 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 dall'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, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.