

Relazione di calcolo

Progetto: Analisi di stabilità **interferenza n.19**
Comune: Bussi sul Tirino, (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:

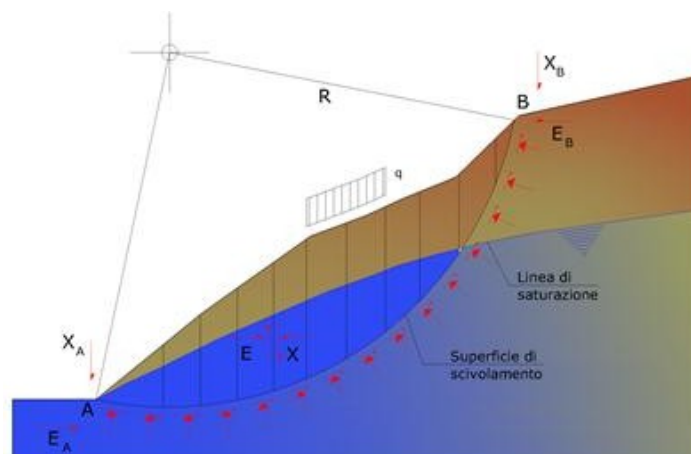
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido 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 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 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	sfuerzo normale alla base della striscia
T	sfuerzo 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 $|f(x)| \leq 1$ 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:

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

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

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

I termini del sistema sono dati da:

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

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

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

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

nelle quali **k** ed **m** sono i due parametri assegnati striscia per striscia per definire il rapporto tra la risultante delle forze tangenziali, **X**, all'interfaccia e quella delle pressioni normali, **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 **X** ed **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 F ed a λ ;

si calcolano M_i ed E_i dalle equazioni riportate;

si calcolano $\delta\lambda$ e δF ;

si incrementano $\lambda = \lambda + \delta\lambda$ ed $F = F + \delta F$;

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

dove gli incrementi per λ ed 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 M_n ed E_n sono i valori di M ed 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/cmq
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

n°	Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ' [°]	c' [kg/cmq]
1	calcarei micritrici sabb. limosa	2000	2200	40.00	0,050
2	sabbia e detriti calcarenitici	1900	2000	28.00	0,020
3	limo argilloso	1900	2000	28.00	0,100

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	423,10
2	1,79	423,26
3	3,79	423,38
4	6,80	423,66
5	8,80	423,96
6	10,80	424,18
7	13,80	424,67
8	15,16	424,80
9	16,80	425,26
10	18,79	425,76
11	20,79	426,34
12	23,79	426,64
13	25,79	426,88
14	27,80	427,00
15	29,80	427,49
16	31,80	427,70
17	33,80	428,09
18	35,80	428,42
19	39,79	429,09
20	41,79	429,52
21	43,79	429,98

n°	X [m]	Y [m]
22	45,79	430,74
23	47,79	430,74
24	49,80	430,69
25	51,80	430,66
26	52,80	430,82
27	54,80	431,67
28	56,80	432,26
29	59,80	432,68
30	61,80	433,09
31	63,79	433,46
32	65,79	434,07
33	68,79	434,40
34	71,79	435,04
35	73,80	435,47
36	75,80	436,14
37	77,80	436,44
38	80,80	437,07
39	82,80	437,54
40	85,78	438,03
41	87,79	438,58
42	90,79	439,24
43	93,79	439,86
44	95,79	440,16
45	98,80	440,73
46	100,80	441,22
47	102,80	441,89
48	104,80	442,52
49	107,80	443,12
50	109,79	443,71
51	112,79	444,39
52	115,79	445,12
53	118,79	446,12
54	119,79	446,51
55	122,80	447,46
56	124,80	448,53
57	126,80	449,58
58	128,80	451,02
59	129,80	451,37
60	132,79	451,95
61	134,79	452,12
62	135,79	452,30
63	138,79	452,72
64	140,79	453,35
65	143,79	454,03
66	145,80	454,94
67	147,80	455,26
68	149,80	456,06
69	152,80	456,85
70	155,80	457,61
71	157,79	458,18
72	160,79	459,04
73	162,79	459,44
74	164,79	460,07
75	166,80	460,79
76	168,80	461,35
77	171,80	462,38
78	174,80	463,64
79	176,80	464,37
80	179,79	465,72
81	182,79	467,11
82	184,79	467,76
83	186,79	468,63
84	189,79	469,46
85	191,80	470,09
86	194,80	471,06
87	196,80	471,68
88	199,80	472,95
89	201,80	473,48
90	203,79	474,50
91	205,79	475,06
92	208,79	476,32
93	210,79	477,31
94	212,80	478,02
95	214,80	479,06
96	215,80	479,51

n°	X	Y
	[m]	[m]
97	218,80	480,75
98	221,80	482,26
99	225,00	484,58
100	226,79	485,61
101	229,79	487,34
102	232,79	489,59
103	235,00	491,51
104	237,80	492,90
105	239,80	494,34
106	241,80	495,68
107	243,80	496,76
108	244,80	496,90
109	247,80	496,63
110	250,79	496,84
111	251,79	497,93
112	252,79	499,50
113	254,79	501,46
114	256,79	502,50
115	258,79	503,65
116	261,80	505,19
117	263,80	506,18
118	266,80	507,50
119	269,80	509,21
120	272,79	510,88
121	274,79	511,62
122	277,79	513,26
123	281,79	515,39
124	285,80	517,45
125	288,80	518,74
126	293,37	521,09
127	296,79	522,86
128	299,79	524,42
129	302,79	526,00
130	305,80	527,66
131	306,80	528,56
132	309,80	530,23
133	311,80	531,18
134	316,80	534,06
135	319,79	535,99
136	321,79	537,12
137	323,79	538,36
138	325,79	539,49
139	327,79	540,81
140	329,80	541,83
141	330,19	542,51
142	330,80	542,84
143	332,80	543,74
144	333,80	544,59
145	334,80	545,38
146	335,80	546,28
147	336,80	546,61
148	338,80	548,16
149	339,09	548,30

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 micritici sabb. limosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	339,09	530,02
2	338,80	529,88
3	336,80	528,33
4	335,80	528,00
5	334,80	527,10
6	333,80	526,31
7	332,80	525,46
8	330,80	524,56
9	330,19	524,24

n°	X	Y
	[m]	[m]
10	329,80	523,55
11	327,79	522,53
12	325,79	521,22
13	323,79	520,09
14	321,79	518,85
15	319,79	517,71
16	316,80	515,78
17	311,80	512,90
18	309,80	511,95
19	306,80	510,28
20	305,80	509,38
21	302,79	507,72
22	299,79	506,14
23	296,79	504,58
24	293,37	502,81
25	288,80	500,46
26	285,80	499,17
27	281,79	497,12
28	277,79	494,99
29	274,79	493,34
30	272,79	492,61
31	269,80	490,94
32	266,80	489,22
33	263,80	487,90
34	261,80	486,92
35	258,79	485,37
36	256,79	484,22
37	254,79	483,19
38	252,79	481,22
39	251,79	479,66
40	250,79	478,56
41	247,80	478,35
42	244,80	478,62
43	243,80	478,48
44	241,80	477,40
45	239,80	476,07
46	237,80	474,63
47	235,00	473,24
48	232,79	471,32
49	229,79	469,06
50	226,79	467,33
51	225,00	466,30
52	221,80	463,98
53	218,80	462,47
54	215,80	461,23
55	214,80	460,78
56	212,80	459,74
57	210,79	459,04
58	208,79	458,04
59	205,79	456,79
60	203,79	456,22
61	201,80	455,20
62	199,80	454,67
63	196,80	453,41
64	194,80	452,79
65	191,80	451,81
66	189,79	451,18
67	186,79	450,35
68	184,79	449,48
69	182,79	448,83
70	179,79	447,44
71	176,80	446,09
72	174,80	445,36
73	171,80	444,11
74	168,80	443,07
75	166,80	442,52
76	164,79	441,79
77	162,79	441,16
78	160,79	440,77
79	157,79	439,91
80	155,80	439,33
81	152,80	438,58
82	149,80	437,78
83	147,80	436,98
84	145,80	436,66

n°	X	Y
	[m]	[m]
85	143,79	435,75
86	140,79	435,07
87	138,79	434,44
88	135,79	434,03
89	134,79	433,84
90	132,79	433,67
91	129,80	433,09
92	128,80	432,74
93	126,80	431,31
94	124,80	430,25
95	122,80	429,19
96	119,79	428,23
97	118,79	427,84
98	115,79	426,85
99	112,79	426,11
100	109,79	425,43
101	107,80	424,85
102	104,80	424,24
103	102,80	423,62
104	100,80	422,95
105	98,80	422,45
106	95,79	421,88
107	93,79	421,58
108	90,79	420,96
109	87,79	420,30
110	85,78	419,75
111	82,80	419,27
112	80,80	418,79
113	77,80	418,16
114	75,80	417,86
115	73,80	417,19
116	71,79	416,76
117	68,79	416,12
118	65,79	415,79
119	63,79	415,18
120	61,80	414,81
121	59,80	414,40
122	56,80	413,98
123	54,80	413,40
124	52,80	412,55
125	51,80	412,38
126	49,80	412,41
127	47,79	412,46
128	45,79	412,46
129	43,79	411,71
130	41,79	411,24
131	39,79	410,81
132	35,80	410,14
133	33,80	409,82
134	31,80	409,42
135	29,80	409,21
136	27,80	408,73
137	25,79	408,60
138	23,79	408,37
139	20,79	408,06
140	18,79	407,49
141	16,80	406,99
142	15,16	406,52
143	13,80	406,39
144	10,80	405,91
145	8,80	405,68
146	6,80	405,38
147	3,79	405,10
148	1,79	404,98
149	0,00	404,84
150	0,00	0,00
151	339,09	0,00

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (sabbia e detriti calcarenitici)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	0,00	421,61

n°	X	Y
	[m]	[m]
2	1,79	421,75
3	3,79	421,87
4	6,80	422,15
5	8,80	422,45
6	10,80	422,68
7	13,80	423,16
8	15,16	423,29
9	16,80	423,76
10	18,79	424,26
11	20,79	424,83
12	23,79	425,14
13	25,79	425,37
14	27,80	425,50
15	29,80	425,98
16	31,80	426,19
17	33,80	426,59
18	35,80	426,91
19	39,79	427,59
20	41,79	428,01
21	43,79	428,48
22	45,79	429,23
23	47,79	429,24
24	49,80	429,19
25	51,80	429,15
26	52,80	429,32
27	54,80	430,17
28	56,80	430,76
29	59,80	431,17
30	61,80	431,58
31	63,79	431,95
32	65,79	432,56
33	68,79	432,89
34	71,79	433,53
35	73,80	433,96
36	75,80	434,63
37	77,80	434,93
38	80,80	435,56
39	82,80	436,04
40	85,78	436,52
41	87,79	437,07
42	90,79	437,73
43	93,79	438,35
44	95,79	438,65
45	98,80	439,23
46	100,80	439,72
47	102,80	440,39
48	104,80	441,01
49	107,80	441,62
50	109,79	442,20
51	112,79	442,88
52	115,79	443,62
53	118,79	444,61
54	119,79	445,00
55	122,80	445,96
56	124,80	447,02
57	126,80	448,08
58	128,80	449,51
59	129,80	449,86
60	132,79	450,44
61	134,79	450,61
62	135,79	450,80
63	138,79	451,22
64	140,79	451,84
65	143,79	452,52
66	145,80	453,43
67	147,80	453,75
68	149,80	454,55
69	152,80	455,35
70	155,80	456,10
71	157,79	456,68
72	160,79	457,54
73	162,79	457,94
74	164,79	458,56
75	166,80	459,29
76	168,80	459,84

n°	X [m]	Y [m]
77	171,80	460,88
78	174,80	462,13
79	176,80	462,87
80	179,79	464,21
81	182,79	465,60
82	184,79	466,25
83	186,79	467,12
84	189,79	467,96
85	191,80	468,59
86	194,80	469,56
87	196,80	470,18
88	199,80	471,44
89	201,80	471,97
90	203,79	473,00
91	205,79	473,56
92	208,79	474,81
93	210,79	475,81
94	212,80	476,51
95	214,80	477,55
96	215,80	478,00
97	218,80	479,24
98	221,80	480,75
99	225,00	483,07
100	226,79	484,11
101	229,79	485,83
102	232,79	488,09
103	235,00	490,01
104	237,80	491,40
105	239,80	492,84
106	241,80	494,18
107	243,80	495,25
108	244,80	495,40
109	247,80	495,12
110	250,79	495,33
111	251,79	496,43
112	252,79	497,99
113	254,79	499,96
114	256,79	500,99
115	258,79	502,14
116	261,80	503,69
117	263,80	504,67
118	266,80	506,00
119	269,80	507,71
120	272,79	509,38
121	274,79	510,11
122	277,79	511,76
123	281,79	513,89
124	285,80	515,94
125	288,80	517,23
126	293,37	519,58
127	296,79	521,36
128	299,79	522,91
129	302,79	524,50
130	305,80	526,15
131	306,80	527,06
132	309,80	528,72
133	311,80	529,67
134	316,80	532,55
135	319,79	534,48
136	321,79	535,62
137	323,79	536,86
138	325,79	537,99
139	327,79	539,31
140	329,80	540,32
141	330,19	541,01
142	330,80	541,33
143	332,80	542,23
144	333,80	543,08
145	334,80	543,87
146	335,80	544,77
147	336,80	545,10
148	338,80	546,66
149	339,09	546,79
150	339,09	548,30
151	338,80	548,16

n°	X [m]	Y [m]
152	336,80	546,61
153	335,80	546,28
154	334,80	545,38
155	333,80	544,59
156	332,80	543,74
157	330,80	542,84
158	330,19	542,51
159	329,80	541,83
160	327,79	540,81
161	325,79	539,49
162	323,79	538,36
163	321,79	537,12
164	319,79	535,99
165	316,80	534,06
166	311,80	531,18
167	309,80	530,23
168	306,80	528,56
169	305,80	527,66
170	302,79	526,00
171	299,79	524,42
172	296,79	522,86
173	293,37	521,09
174	288,80	518,74
175	285,80	517,45
176	281,79	515,39
177	277,79	513,26
178	274,79	511,62
179	272,79	510,88
180	269,80	509,21
181	266,80	507,50
182	263,80	506,18
183	261,80	505,19
184	258,79	503,65
185	256,79	502,50
186	254,79	501,46
187	252,79	499,50
188	251,79	497,93
189	250,79	496,84
190	247,80	496,63
191	244,80	496,90
192	243,80	496,76
193	241,80	495,68
194	239,80	494,34
195	237,80	492,90
196	235,00	491,51
197	232,79	489,59
198	229,79	487,34
199	226,79	485,61
200	225,00	484,58
201	221,80	482,26
202	218,80	480,75
203	215,80	479,51
204	214,80	479,06
205	212,80	478,02
206	210,79	477,31
207	208,79	476,32
208	205,79	475,06
209	203,79	474,50
210	201,80	473,48
211	199,80	472,95
212	196,80	471,68
213	194,80	471,06
214	191,80	470,09
215	189,79	469,46
216	186,79	468,63
217	184,79	467,76
218	182,79	467,11
219	179,79	465,72
220	176,80	464,37
221	174,80	463,64
222	171,80	462,38
223	168,80	461,35
224	166,80	460,79
225	164,79	460,07
226	162,79	459,44

n°	X [m]	Y [m]
227	160,79	459,04
228	157,79	458,18
229	155,80	457,61
230	152,80	456,85
231	149,80	456,06
232	147,80	455,26
233	145,80	454,94
234	143,79	454,03
235	140,79	453,35
236	138,79	452,72
237	135,79	452,30
238	134,79	452,12
239	132,79	451,95
240	129,80	451,37
241	128,80	451,02
242	126,80	449,58
243	124,80	448,53
244	122,80	447,46
245	119,79	446,51
246	118,79	446,12
247	115,79	445,12
248	112,79	444,39
249	109,79	443,71
250	107,80	443,12
251	104,80	442,52
252	102,80	441,89
253	100,80	441,22
254	98,80	440,73
255	95,79	440,16
256	93,79	439,86
257	90,79	439,24
258	87,79	438,58
259	85,78	438,03
260	82,80	437,54
261	80,80	437,07
262	77,80	436,44
263	75,80	436,14
264	73,80	435,47
265	71,79	435,04
266	68,79	434,40
267	65,79	434,07
268	63,79	433,46
269	61,80	433,09
270	59,80	432,68
271	56,80	432,26
272	54,80	431,67
273	52,80	430,82
274	51,80	430,66
275	49,80	430,69
276	47,79	430,74
277	45,79	430,74
278	43,79	429,98
279	41,79	429,52
280	39,79	429,09
281	35,80	428,42
282	33,80	428,09
283	31,80	427,70
284	29,80	427,49
285	27,80	427,00
286	25,79	426,88
287	23,79	426,64
288	20,79	426,34
289	18,79	425,76
290	16,80	425,26
291	15,16	424,80
292	13,80	424,67
293	10,80	424,18
294	8,80	423,96
295	6,80	423,66
296	3,79	423,38
297	1,79	423,26
298	0,00	423,10

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (limo argilloso)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	404,84
2	1,79	404,98
3	3,79	405,10
4	6,80	405,38
5	8,80	405,68
6	10,80	405,91
7	13,80	406,39
8	15,16	406,52
9	16,80	406,99
10	18,79	407,49
11	20,79	408,06
12	23,79	408,37
13	25,79	408,60
14	27,80	408,73
15	29,80	409,21
16	31,80	409,42
17	33,80	409,82
18	35,80	410,14
19	39,79	410,81
20	41,79	411,24
21	43,79	411,71
22	45,79	412,46
23	47,79	412,46
24	49,80	412,41
25	51,80	412,38
26	52,80	412,55
27	54,80	413,40
28	56,80	413,98
29	59,80	414,40
30	61,80	414,81
31	63,79	415,18
32	65,79	415,79
33	68,79	416,12
34	71,79	416,76
35	73,80	417,19
36	75,80	417,86
37	77,80	418,16
38	80,80	418,79
39	82,80	419,27
40	85,78	419,75
41	87,79	420,30
42	90,79	420,96
43	93,79	421,58
44	95,79	421,88
45	98,80	422,45
46	100,80	422,95
47	102,80	423,62
48	104,80	424,24
49	107,80	424,85
50	109,79	425,43
51	112,79	426,11
52	115,79	426,85
53	118,79	427,84
54	119,79	428,23
55	122,80	429,19
56	124,80	430,25
57	126,80	431,31
58	128,80	432,74
59	129,80	433,09
60	132,79	433,67
61	134,79	433,84
62	135,79	434,03
63	138,79	434,44
64	140,79	435,07
65	143,79	435,75
66	145,80	436,66
67	147,80	436,98
68	149,80	437,78
69	152,80	438,58
70	155,80	439,33
71	157,79	439,91
72	160,79	440,77
73	162,79	441,16

n°	X [m]	Y [m]
74	164,79	441,79
75	166,80	442,52
76	168,80	443,07
77	171,80	444,11
78	174,80	445,36
79	176,80	446,09
80	179,79	447,44
81	182,79	448,83
82	184,79	449,48
83	186,79	450,35
84	189,79	451,18
85	191,80	451,81
86	194,80	452,79
87	196,80	453,41
88	199,80	454,67
89	201,80	455,20
90	203,79	456,22
91	205,79	456,79
92	208,79	458,04
93	210,79	459,04
94	212,80	459,74
95	214,80	460,78
96	215,80	461,23
97	218,80	462,47
98	221,80	463,98
99	225,00	466,30
100	226,79	467,33
101	229,79	469,06
102	232,79	471,32
103	235,00	473,24
104	237,80	474,63
105	239,80	476,07
106	241,80	477,40
107	243,80	478,48
108	244,80	478,62
109	247,80	478,35
110	250,79	478,56
111	251,79	479,66
112	252,79	481,22
113	254,79	483,19
114	256,79	484,22
115	258,79	485,37
116	261,80	486,92
117	263,80	487,90
118	266,80	489,22
119	269,80	490,94
120	272,79	492,61
121	274,79	493,34
122	277,79	494,99
123	281,79	497,12
124	285,80	499,17
125	288,80	500,46
126	293,37	502,81
127	296,79	504,58
128	299,79	506,14
129	302,79	507,72
130	305,80	509,38
131	306,80	510,28
132	309,80	511,95
133	311,80	512,90
134	316,80	515,78
135	319,79	517,71
136	321,79	518,85
137	323,79	520,09
138	325,79	521,22
139	327,79	522,53
140	329,80	523,55
141	330,19	524,24
142	330,80	524,56
143	332,80	525,46
144	333,80	526,31
145	334,80	527,10
146	335,80	528,00
147	336,80	528,33
148	338,80	529,88

n°	X [m]	Y [m]
149	339,09	530,02
150	339,09	546,79
151	338,80	546,66
152	336,80	545,10
153	335,80	544,77
154	334,80	543,87
155	333,80	543,08
156	332,80	542,23
157	330,80	541,33
158	330,19	541,01
159	329,80	540,32
160	327,79	539,31
161	325,79	537,99
162	323,79	536,86
163	321,79	535,62
164	319,79	534,48
165	316,80	532,55
166	311,80	529,67
167	309,80	528,72
168	306,80	527,06
169	305,80	526,15
170	302,79	524,50
171	299,79	522,91
172	296,79	521,36
173	293,37	519,58
174	288,80	517,23
175	285,80	515,94
176	281,79	513,89
177	277,79	511,76
178	274,79	510,11
179	272,79	509,38
180	269,80	507,71
181	266,80	506,00
182	263,80	504,67
183	261,80	503,69
184	258,79	502,14
185	256,79	500,99
186	254,79	499,96
187	252,79	497,99
188	251,79	496,43
189	250,79	495,33
190	247,80	495,12
191	244,80	495,40
192	243,80	495,25
193	241,80	494,18
194	239,80	492,84
195	237,80	491,40
196	235,00	490,01
197	232,79	488,09
198	229,79	485,83
199	226,79	484,11
200	225,00	483,07
201	221,80	480,75
202	218,80	479,24
203	215,80	478,00
204	214,80	477,55
205	212,80	476,51
206	210,79	475,81
207	208,79	474,81
208	205,79	473,56
209	203,79	473,00
210	201,80	471,97
211	199,80	471,44
212	196,80	470,18
213	194,80	469,56
214	191,80	468,59
215	189,79	467,96
216	186,79	467,12
217	184,79	466,25
218	182,79	465,60
219	179,79	464,21
220	176,80	462,87
221	174,80	462,13
222	171,80	460,88
223	168,80	459,84

n°	X [m]	Y [m]
224	166,80	459,29
225	164,79	458,56
226	162,79	457,94
227	160,79	457,54
228	157,79	456,68
229	155,80	456,10
230	152,80	455,35
231	149,80	454,55
232	147,80	453,75
233	145,80	453,43
234	143,79	452,52
235	140,79	451,84
236	138,79	451,22
237	135,79	450,80
238	134,79	450,61
239	132,79	450,44
240	129,80	449,86
241	128,80	449,51
242	126,80	448,08
243	124,80	447,02
244	122,80	445,96
245	119,79	445,00
246	118,79	444,61
247	115,79	443,62
248	112,79	442,88
249	109,79	442,20
250	107,80	441,62
251	104,80	441,01
252	102,80	440,39
253	100,80	439,72
254	98,80	439,23
255	95,79	438,65
256	93,79	438,35
257	90,79	437,73
258	87,79	437,07
259	85,78	436,52
260	82,80	436,04
261	80,80	435,56
262	77,80	434,93
263	75,80	434,63
264	73,80	433,96
265	71,79	433,53
266	68,79	432,89
267	65,79	432,56
268	63,79	431,95
269	61,80	431,58
270	59,80	431,17
271	56,80	430,76
272	54,80	430,17
273	52,80	429,32
274	51,80	429,15
275	49,80	429,19
276	47,79	429,24
277	45,79	429,23
278	43,79	428,48
279	41,79	428,01
280	39,79	427,59
281	35,80	426,91
282	33,80	426,59
283	31,80	426,19
284	29,80	425,98
285	27,80	425,50
286	25,79	425,37
287	23,79	425,14
288	20,79	424,83
289	18,79	424,26
290	16,80	423,76
291	15,16	423,29
292	13,80	423,16
293	10,80	422,68
294	8,80	422,45
295	6,80	422,15
296	3,79	421,87
297	1,79	421,75
298	0,00	421,61

Dati zona sismica

Identificazione del sito

Latitudine 42.216182
 Longitudine 13.839003
 Comune Bussi Sul Tirino
 Provincia Pescara
 Regione Abruzzo
 Punti di interpolazione del reticolo 26978 - 27200 - 27201 - 26979

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]	3.071	1.306
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]	0.313	0.133
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.397	2.301
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.360	0.303
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.100
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)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*St*S)$	9.64	4.47
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h$	4.82	2.24

Fronti di scavo

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*St*S)$	13.08	7.51
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h$	6.54	3.75

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_γ	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]	$X_0 = 40,00$	$Y_0 = 450,00$
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	18260
Coefficiente di sicurezza minimo	1.881
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS_{min}	S_{min}	FS_{max}	S_{max}
MORGENSTERN	18260	1.881	1	7.149	18260

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	54,00	464,00	33,00	53,24	68,53	13,53	1,881 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
2	C	54,00	466,00	35,00	53,24	69,26	14,57	1,883 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
3	C	54,00	470,00	39,00	53,24	70,90	16,79	1,883 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
4	C	54,00	468,00	37,00	53,24	70,08	15,65	1,884 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
5	C	54,00	462,00	31,00	53,24	67,93	12,50	1,884 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
6	C	52,00	468,00	37,50	47,76	68,61	17,29	1,885 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
7	C	52,00	470,00	39,50	47,65	69,37	18,52	1,886 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
8	C	52,00	466,00	35,50	47,90	68,01	16,08	1,887 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
9	C	52,00	464,00	33,50	48,05	67,39	14,88	1,892 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
10	C	52,00	462,00	31,50	48,20	66,77	13,66	1,904 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
11	C	52,00	470,00	39,00	53,27	67,64	9,80	1,946 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
12	C	52,00	468,00	37,00	53,27	67,08	8,89	1,964 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
13	C	54,00	464,00	33,00	53,24	68,53	13,53	1,985 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
14	C	52,00	468,00	37,50	47,76	68,61	17,29	1,987 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
15	C	54,00	466,00	35,00	53,24	69,26	14,57	1,987 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
16	C	54,00	462,00	31,00	53,24	67,93	12,50	1,988 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
17	C	56,00	470,00	38,50	54,47	72,41	15,09	1,988 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
18	C	54,00	470,00	39,00	53,24	70,90	16,79	1,989 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
19	C	52,00	466,00	35,50	47,90	68,01	16,08	1,989 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
20	C	54,00	468,00	37,00	53,24	70,08	15,65	1,990 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
21	C	52,00	470,00	39,50	47,65	69,37	18,52	1,990 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
22	C	52,00	466,00	35,00	53,28	66,51	8,00	1,992 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
23	C	52,00	464,00	33,50	48,05	67,39	14,88	1,994 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
24	C	56,00	468,00	36,50	54,47	71,59	14,03	1,999 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
25	C	52,00	462,00	31,50	48,20	66,77	13,66	2,006 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
26	C	56,00	466,00	34,50	54,48	70,78	13,02	2,008 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
27	C	60,00	462,00	30,00	56,58	74,35	15,39	2,011 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
28	C	56,00	464,00	32,50	54,48	69,96	12,05	2,014 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
29	C	56,00	462,00	30,50	54,49	69,14	11,14	2,018 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
30	C	56,00	462,00	31,00	53,46	71,00	19,48	2,028 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
31	C	52,00	464,00	33,00	53,28	65,93	7,09	2,036 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
32	C	60,00	464,00	32,00	56,55	75,66	16,72	2,038 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
33	C	60,00	466,00	34,00	56,52	76,43	18,16	2,045 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
34	C	60,00	468,00	36,00	56,50	77,14	19,60	2,046 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
35	C	60,00	470,00	38,00	56,47	77,84	21,06	2,051 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
36	C	58,00	462,00	30,50	54,79	72,58	17,63	2,052 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
37	C	52,00	470,00	39,00	53,27	67,64	9,80	2,052 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
38	C	52,00	462,00	31,00	53,28	64,82	6,23	2,065 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
39	C	58,00	470,00	38,00	56,08	74,04	12,95	2,068 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
40	C	52,00	468,00	37,00	53,27	67,08	8,89	2,071 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
41	C	60,00	470,00	37,50	58,68	76,26	10,95	2,076 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
42	C	58,00	468,00	36,00	56,09	73,10	11,95	2,084 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
43	C	54,00	470,00	38,50	54,40	68,61	8,58	2,093 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
44	C	52,00	466,00	35,00	53,28	66,51	8,00	2,100 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
45	C	58,00	466,00	34,00	56,10	72,29	11,01	2,103 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
46	C	56,00	470,00	38,50	54,47	72,41	15,09	2,103 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
47	C	58,00	464,00	32,50	54,77	73,41	18,91	2,105 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
48	C	50,00	470,00	39,50	45,76	66,61	11,38	2,105 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
49	C	60,00	468,00	39,50	46,89	85,72	128,26	2,109 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
50	C	54,00	468,00	36,50	54,40	68,07	7,83	2,111 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
51	C	60,00	468,00	39,00	48,54	84,75	108,30	2,112 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
52	C	56,00	468,00	36,50	54,47	71,59	14,03	2,114 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
53	C	60,00	466,00	37,50	47,23	84,80	123,17	2,119 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
54	C	58,00	464,00	32,00	56,11	71,47	10,12	2,120 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
55	C	60,00	466,00	37,00	48,87	83,85	103,82	2,122 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
56	C	56,00	466,00	34,50	54,48	70,78	13,02	2,123 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
57	C	54,00	464,00	33,00	53,24	68,53	13,53	2,127 (M)	[PC]	[SLV] H+V
58	C	52,00	468,00	37,50	47,76	68,61	17,29	2,128 (M)	[PC]	[SLV] H+V
59	C	60,00	462,00	30,00	56,58	74,35	15,39	2,128 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
60	C	52,00	466,00	35,50	47,90	68,01	16,08	2,129 (M)	[PC]	[SLV] H+V
61	C	60,00	464,00	35,50	47,59	83,86	118,03	2,129 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
62	C	54,00	462,00	31,00	53,24	67,93	12,50	2,130 (M)	[PC]	[SLV] H+V
63	C	56,00	464,00	32,50	54,48	69,96	12,05	2,130 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
64	C	60,00	468,00	35,50	58,69	75,35	9,85	2,131 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V

N°	F	C _x [m]	C _y [m]	R [m]	x _v [m]	x _m [m]	V [mc]	FS	Caso	Sisma
65	C	54,00	466,00	35,00	53,24	69,26	14,57	2,132 (M)	[PC]	[SLV] H+V
66	C	52,00	470,00	39,50	47,65	69,37	18,52	2,132 (M)	[PC]	[SLV] H+V
67	C	60,00	468,00	38,50	50,55	83,75	89,90	2,133 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
68	C	58,00	466,00	34,50	54,76	74,52	20,26	2,133 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
69	C	56,00	462,00	30,50	54,49	69,14	11,14	2,133 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
70	C	52,00	464,00	33,50	48,05	67,39	14,88	2,133 (M)	[PC]	[SLV] H+V
71	C	60,00	466,00	38,00	45,83	85,71	143,84	2,133 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
72	C	54,00	470,00	39,00	53,24	70,90	16,79	2,135 (M)	[PC]	[SLV] H+V
73	C	54,00	468,00	37,00	53,24	70,08	15,65	2,135 (M)	[PC]	[SLV] H+V
74	C	60,00	464,00	35,00	49,21	82,94	99,32	2,135 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
75	C	58,00	462,00	30,00	56,12	70,65	9,28	2,136 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
76	C	50,00	460,00	30,00	44,96	64,25	15,83	2,137 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
77	C	54,00	466,00	34,50	54,40	67,52	7,09	2,138 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
78	C	58,00	468,00	36,50	54,74	75,81	21,75	2,142 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
79	C	60,00	462,00	33,50	47,97	82,91	112,86	2,142 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
80	C	56,00	462,00	31,00	53,46	71,00	19,48	2,143 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
81	C	58,00	470,00	38,50	54,73	76,52	23,35	2,143 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
82	C	60,00	464,00	36,00	46,22	84,75	138,09	2,143 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
83	C	52,00	462,00	31,50	48,20	66,77	13,66	2,145 (M)	[PC]	[SLV] H+V
84	C	60,00	466,00	36,50	50,81	82,87	86,01	2,146 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
85	C	60,00	466,00	33,50	58,69	73,78	8,91	2,146 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
86	C	52,00	464,00	33,00	53,28	65,93	7,09	2,147 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
87	C	60,00	466,00	38,50	45,13	86,73	165,58	2,149 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
88	C	60,00	462,00	33,00	49,56	81,92	94,81	2,151 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
89	C	58,00	468,00	39,00	46,48	82,17	94,47	2,153 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
90	C	60,00	462,00	34,00	46,63	83,78	132,26	2,154 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
91	C	50,00	468,00	37,50	45,78	66,02	10,30	2,154 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
92	C	60,00	466,00	39,00	44,45	87,71	188,45	2,156 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
93	C	60,00	464,00	32,00	56,55	75,66	16,72	2,156 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
94	C	50,00	462,00	32,00	44,91	65,41	17,11	2,157 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
95	C	60,00	460,00	31,50	48,37	81,86	107,66	2,158 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
96	C	60,00	466,00	39,50	43,79	88,60	212,32	2,159 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
97	C	60,00	466,00	34,00	56,52	76,43	18,16	2,161 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
98	C	58,00	468,00	39,50	45,36	83,24	114,05	2,161 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
99	C	60,00	464,00	36,50	45,34	85,62	159,15	2,162 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
100	C	60,00	464,00	34,50	51,09	81,88	82,13	2,162 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
101	C	60,00	468,00	36,00	56,50	77,14	19,60	2,162 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
102	C	58,00	466,00	37,00	46,79	81,18	90,35	2,164 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
103	C	48,00	460,00	30,50	43,29	62,65	19,24	2,164 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
104	C	60,00	470,00	38,00	56,47	77,84	21,06	2,166 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
105	C	60,00	460,00	31,00	49,91	80,88	90,35	2,167 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
106	C	60,00	460,00	32,00	47,04	82,79	126,37	2,168 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
107	C	58,00	468,00	38,50	48,36	80,99	76,42	2,169 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
108	C	58,00	462,00	30,50	54,79	72,58	17,63	2,171 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
109	C	60,00	464,00	31,50	58,70	72,97	8,09	2,172 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
110	C	60,00	464,00	37,00	44,68	86,57	181,37	2,173 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
111	C	58,00	466,00	37,50	45,52	82,28	109,29	2,173 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
112	C	58,00	466,00	39,50	42,48	85,93	195,13	2,174 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
113	C	60,00	462,00	34,50	45,58	84,63	152,87	2,175 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
114	C	58,00	464,00	35,00	47,10	80,21	86,28	2,176 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
115	C	52,00	462,00	31,00	53,28	64,82	6,23	2,177 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
116	C	54,00	464,00	32,50	54,40	66,97	6,34	2,178 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
117	C	60,00	462,00	32,50	51,37	80,87	78,36	2,178 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
118	C	60,00	464,00	37,50	44,03	87,50	204,53	2,179 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
119	C	60,00	464,00	38,00	43,30	88,36	228,68	2,179 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
120	C	60,00	464,00	38,50	42,53	89,18	253,81	2,180 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
121	C	60,00	468,00	38,00	52,43	82,68	73,19	2,181 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
122	C	58,00	466,00	39,00	43,31	85,06	172,17	2,182 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
123	C	58,00	466,00	36,50	48,65	80,05	72,96	2,182 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
124	C	60,00	464,00	39,00	41,78	89,99	279,85	2,182 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
125	C	50,00	464,00	34,00	44,87	66,22	18,53	2,183 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
126	C	60,00	458,00	30,00	47,47	81,70	120,45	2,184 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
127	C	58,00	464,00	35,50	45,69	81,26	104,56	2,185 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
128	C	58,00	466,00	38,00	44,80	83,27	129,37	2,185 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
129	C	60,00	464,00	39,50	41,02	90,77	306,94	2,186 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
130	C	58,00	466,00	38,50	44,10	84,17	150,22	2,187 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
131	C	58,00	470,00	38,00	56,08	74,04	12,95	2,187 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
132	C	56,00	466,00	39,50	41,17	83,51	178,48	2,189 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
133	C	58,00	464,00	38,50	41,15	86,63	235,71	2,189 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
134	C	60,00	460,00	32,50	45,85	83,62	146,31	2,190 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
135	C	58,00	464,00	39,00	40,37	87,51	261,06	2,190 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
136	C	60,00	462,00	35,00	44,93	85,45	174,26	2,190 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
137	C	58,00	462,00	33,00	47,43	79,24	82,21	2,190 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
138	C	58,00	464,00	38,00	41,95	85,73	211,36	2,191 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
139	C	58,00	464,00	39,50	39,58	88,33	287,41	2,191 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V

N°	F	C _x [m]	C _y [m]	R [m]	x _v [m]	x _m [m]	V [mc]	FS	Caso	Sisma
140	C	60,00	470,00	37,50	58,68	76,26	10,95	2,193 (M)	[A2M2]	[SLV] H-V
141	C	58,00	464,00	37,50	42,75	84,92	188,05	2,194 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
142	C	50,00	466,00	36,00	44,82	66,85	19,94	2,195 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
143	C	58,00	464,00	34,50	48,94	79,12	69,50	2,196 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
144	C	60,00	466,00	36,00	52,55	81,71	69,91	2,196 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
145	C	58,00	462,00	33,50	45,96	80,25	99,84	2,196 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
146	C	56,00	464,00	39,00	38,91	84,98	242,85	2,197 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
147	C	52,00	468,00	37,50	47,76	68,61	17,29	2,197 (M)	[PC]	[SLV] H-V
148	C	52,00	466,00	35,50	47,90	68,01	16,08	2,197 (M)	[PC]	[SLV] H-V
149	C	46,00	468,00	38,50	42,42	62,52	17,08	2,197 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
150	C	54,00	464,00	33,00	53,24	68,53	13,53	2,197 (M)	[PC]	[SLV] H-V
151	C	56,00	464,00	39,50	38,07	85,76	268,53	2,198 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
152	C	52,00	470,00	39,00	53,27	67,64	9,80	2,198 (M)	[PC]	[SLV] H+V
153	C	60,00	460,00	30,50	51,66	79,89	74,57	2,198 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
154	C	56,00	464,00	38,50	39,77	84,18	218,21	2,198 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
155	C	50,00	466,00	35,50	45,88	65,03	9,26	2,199 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V
156	C	54,00	462,00	31,00	53,24	67,93	12,50	2,199 (M)	[PC]	[SLV] H-V
157	C	60,00	462,00	35,50	44,28	86,32	196,75	2,199 (M)	[A2M2]	[SLV] H+V

Non vengono riportate le restanti superfici di scorrimento con coefficienti di sicurezza di molto maggiori del minimo di normativa.

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_{sf}, E_d forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
- X_{sf}, 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]= 54,00	Y[m]= 464,00
Raggio del cerchio	R[m]= 33,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X _v [m]= 53,24	Y _v [m]= 431,01
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 68,53	Y _m [m]= 434,37

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	53,24	431,01	431,01	53,76	431,23	431,00	53,59	431,08	0,52	-0,87	28,00	0,02
2	53,76	431,23	431,00	54,28	431,45	431,00	54,05	431,18	0,52	0,03	28,00	0,02
3	54,28	431,45	431,00	54,80	431,67	431,01	54,55	431,29	0,52	0,93	28,00	0,02
4	54,80	431,67	431,01	55,46	431,87	431,03	55,14	431,40	0,67	1,96	28,00	0,02
5	55,46	431,87	431,03	56,13	432,06	431,07	55,81	431,51	0,67	3,12	28,00	0,02
6	56,13	432,06	431,07	56,80	432,26	431,12	56,47	431,63	0,67	4,28	28,00	0,02
7	56,80	432,26	431,12	57,55	432,37	431,19	57,17	431,73	0,75	5,52	28,00	0,02
8	57,55	432,37	431,19	58,30	432,47	431,28	57,92	431,83	0,76	6,83	28,00	0,02
9	58,30	432,47	431,28	59,05	432,58	431,39	58,67	431,93	0,76	8,14	28,00	0,02

N°	X _s [m]	Y _{ss} [m]	Y _{si} [m]	X _d [m]	Y _{ds} [m]	Y _{di} [m]	X _e [m]	Y _e [m]	L [m]	α [°]	φ [°]	c [kg/cmq]
10	59,05	432,58	431,39	59,80	432,68	431,51	59,42	432,04	0,76	9,46	28,00	0,02
11	59,80	432,68	431,51	60,46	432,82	431,64	60,13	432,16	0,68	10,71	28,00	0,02
12	60,46	432,82	431,64	61,13	432,95	431,78	60,80	432,30	0,68	11,89	28,00	0,02
13	61,13	432,95	431,78	61,80	433,09	431,93	61,46	432,44	0,68	13,07	28,00	0,02
14	61,80	433,09	431,93	62,46	433,21	432,10	62,13	432,58	0,68	14,26	28,00	0,02
15	62,46	433,21	432,10	63,12	433,34	432,29	62,79	432,73	0,69	15,45	28,00	0,02
16	63,12	433,34	432,29	63,79	433,46	432,48	63,45	432,89	0,69	16,65	28,00	0,02
17	63,79	433,46	432,48	64,45	433,66	432,70	64,12	433,08	0,70	17,86	28,00	0,02
18	64,45	433,66	432,70	65,12	433,87	432,93	64,79	433,29	0,71	19,08	28,00	0,02
19	65,12	433,87	432,93	65,79	434,07	433,18	65,45	433,51	0,71	20,31	28,00	0,02
20	65,79	434,07	433,18	66,47	434,15	433,45	66,12	433,71	0,74	21,57	28,00	0,02
21	66,47	434,15	433,45	67,16	434,22	433,74	66,80	433,88	0,74	22,86	28,00	0,02
22	67,16	434,22	433,74	67,85	434,30	434,05	67,47	434,06	0,75	24,15	28,00	0,02
23	67,85	434,30	434,05	68,53	434,37	434,37	68,07	434,24	0,76	25,47	28,00	0,02

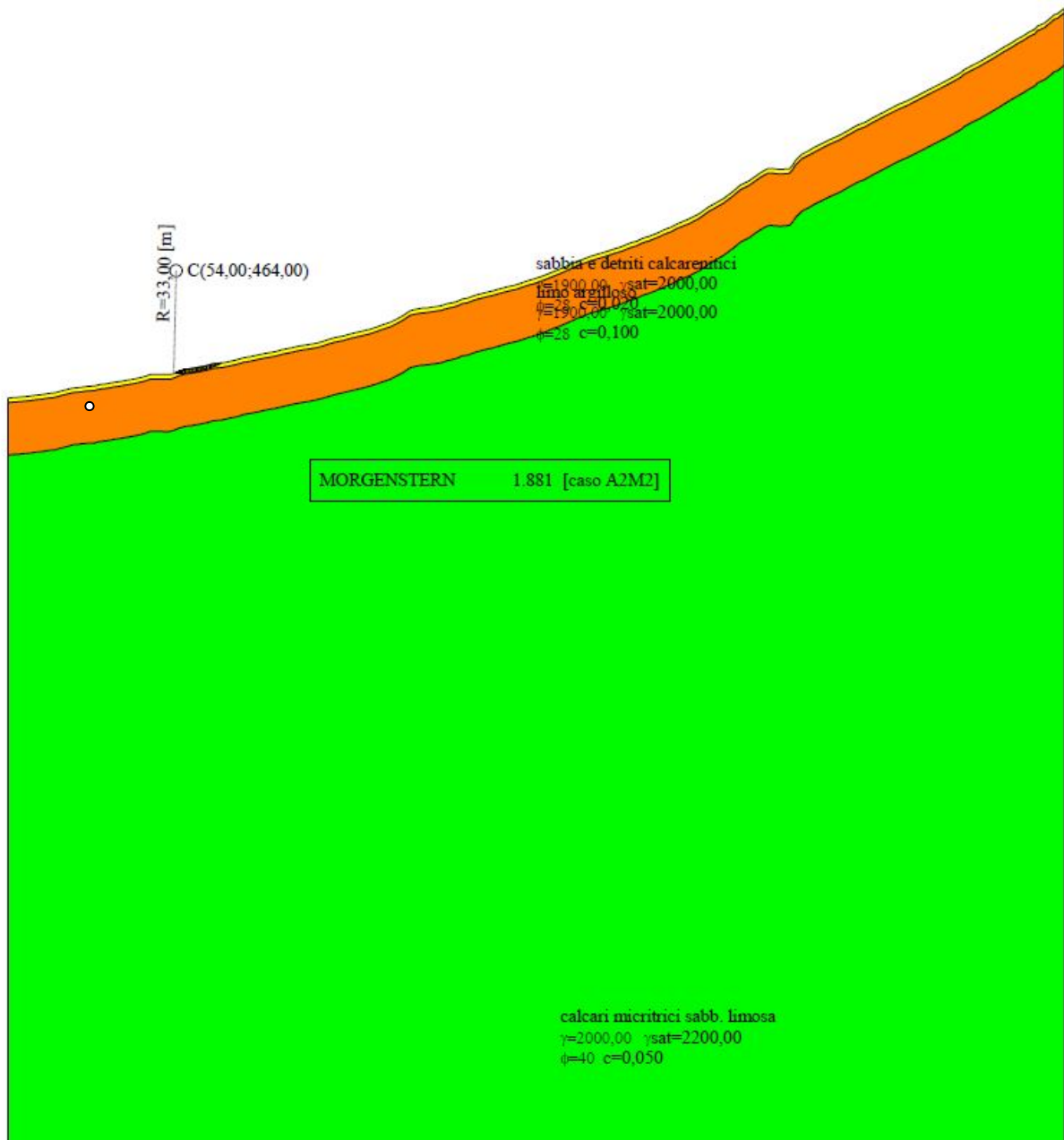
Metodo di **MORGENSTERN**

Coefficiente di sicurezza F_s= 1.881

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	112	0	136	94	0	0	82	0	-29	
2	333	0	352	155	0	82	196	-29	-70	
3	546	0	556	212	0	196	332	-70	-118	
4	947	0	940	337	0	332	519	-118	-185	
5	1158	0	1128	390	0	519	702	-185	-250	
6	1353	0	1295	437	0	702	870	-250	-310	
7	1649	0	1554	520	0	870	1027	-310	-366	
8	1684	0	1563	522	0	1027	1141	-366	-406	
9	1693	0	1550	519	0	1141	1213	-406	-432	
10	1677	0	1516	509	0	1213	1244	-432	-443	
11	1485	0	1326	447	0	1244	1238	-443	-441	
12	1489	0	1316	445	0	1238	1200	-441	-427	
13	1475	0	1291	438	0	1200	1132	-427	-403	
14	1428	0	1238	423	0	1132	1039	-403	-370	
15	1362	0	1170	404	0	1039	927	-370	-330	
16	1276	0	1088	381	0	927	800	-330	-285	
17	1228	0	1039	368	0	800	658	-285	-234	
18	1204	0	1010	361	0	658	496	-234	-176	
19	1159	0	965	349	0	496	320	-176	-114	
20	1037	0	857	321	0	320	151	-114	-54	
21	770	0	631	258	0	151	30	-54	-11	
22	479	0	388	190	0	30	-26	-11	9	
23	164	0	126	116	0	-26	0	9	0	

Superficie di scorrimento con fattore di sicurezza minimo



Scala 1:2000

o Posizione condotta di progetto

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. = 1,881**) è maggiore del fattore di sicurezza minimo richiesto dalle NTC2018 (pari ad **1,2**). Poiché la condotta attraversa la sezione in esame con (Raise Boring "Roccatagliata") in posizione tale da non interferire con la potenziale superficie di scorrimento, con coefficiente maggiore del minimo previsto anche in fase sismica, si ritiene non doversi prevedere alcuna opera di stabilizzazione.

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.