

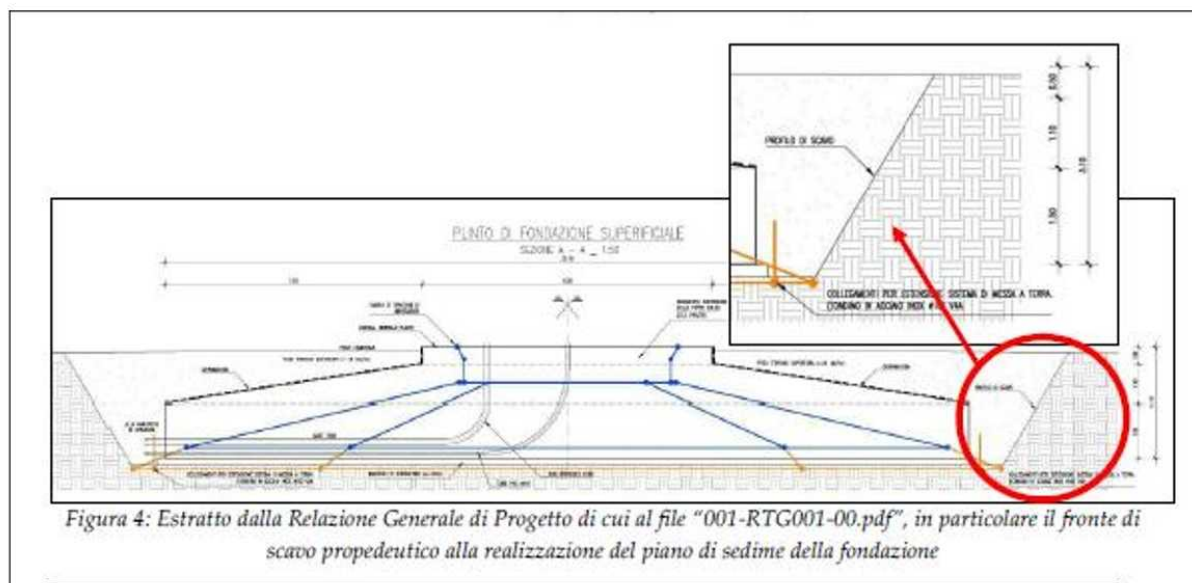


OGGETTO: IMPIANTO EOLICO "CASONI DI ROMAGNA" COMUNI MONTERENZIO E CASTEL DEL RIO PROVINCIA DI BOLOGNA - REGIONE EMILIA ROMAGNA PROGETTO A CORREDO DELLO STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE.

**GEOLOGIA - GEOTECNICA - IDROLOGIA
 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

DOCUMENTO INTEGRATIVO: Verifica di stabilità locale preventiva del fronte di scavo per la realizzazione del piano di sedime del plinto di fondazione.

Come richiesto dall'Unione dei Comuni di Loiano, Monghidoro, Monterenzio, Ozzano dell'Emilia e Pianoro in data 11 dicembre 2024 "OGGETTO: R.D.L. 3267/1923 VINCOLO IDROGEOLOGICO: PROCEDURA DI VERIFICA DI ASSOGGETTABILITÀ A VIA (SCREENING) RELATIVA AL PROGETTO DENOMINATO 'IMPIANTO EOLICO CASONI DI ROMAGNA' IN COMUNE DI MONTERENZIO – RICHIESTA DI INTEGRAZIONI" sono di seguito riportate le verifiche analitiche per valutare preventivamente la stabilità locale del fronte di scavo per la realizzazione del piano di sedime del plinto di fondazione degli aerogeneratori.



Stralcio documento Unione dei Comuni Valli Savena Prot. 0018422 del 11/12/2024

Le analisi sono state eseguite con il programma di calcolo "Slope" della Geostru Software, che consente di determinare il coefficiente di sicurezza relativo a ipotetiche superfici di rottura, pari al rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la resistenza al taglio mobilitata. I metodi di calcolo prevedono la suddivisione della porzione di pendio in oggetto in un numero determinato di conci di uguale ampiezza. Ipotizzando che la base di ciascun concio sia piana e che lungo la superficie di scorrimento valga il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, che correla tra loro le reazioni tangenziali e normali, le incognite risultano essere le reazioni laterali, i loro punti di applicazione e le reazioni normali alla base. La risoluzione del calcolo analitico si ottiene introducendo ulteriori condizioni sugli sforzi agenti sui conci, che risultano differenti a seconda del metodo di calcolo utilizzato (Bell, Bishop, ecc).

Nella definizione della più probabile superficie di scivolamento è stato scelto il metodo delle superfici circolari che permette di esaminare tutte le superfici aventi per centro il generico nodo di una maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Facendo riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 le analisi sono state eseguite seguendo l'Approccio 1 - Combinazione 2 verificando che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni, si ritengono pertanto verificate tutte quelle superfici che presentano un fattore di sicurezza $FS \geq 1,0$.

La stabilità dei fronti di scavo di natura provvisoria (durata inferiore ai 2 anni) è stata verificata nelle sole condizioni statiche, come previsto dalle NTC18 (cap.2 par. 2.4.1), utilizzando i parametri geotecnici non drenati in quanto rappresentativi dello stato critico dei terreni nel breve periodo. A titolo cautelativo il modello geotecnico è stato inoltre semplificato con la sola unità litotecnica superficiale (strato 1) caratterizzata dai parametri geotecnici richiamati nella seguente tabella.

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI VERIFICA DI STABILITÀ PREVENTIVA FRONTI DI SCAVO PROVVISORI		
<i>Unità litostratigrafica</i>	γ_k [t/m ³]	c_{uk} [KPa]
STRATO 1	1,8	50

Parametri geotecnici caratteristici verifiche di stabilità fronti di scavo provvisori. Modello geotecnico cautelativamente rappresentato dalla sola unità litotecnica superficiale. γ_k = peso di volume; c_{uk} = coesione non drenata.

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle analisi analitiche effettuate; la relazione di calcolo con i relativi tabulati sono allegati a fine testo.

VERIFICA ANALITICA DI STABILITÀ METODO DI CALCOLO DI BELL	
<i>Descrizione</i>	<i>Coefficiente di sicurezza minimo Cond. Statiche</i>
Stabilità preventiva dei fronti di scavo provvisori per la predisposizione del piano di sedime dei plinti di fondazione	3.11

Quadro sinottico verifiche analitiche di stabilità.

Come si può osservare l'analisi di stabilità del fronte di scavo provvisorio per la realizzazione del piano di sedime del plinto di fondazione è verificata mostrando un fattore di sicurezza ampiamente maggiore al valore minimo richiesto (fattore minimo richiesto $FS= 1.0$).



Bologna, febbraio 2024.

ALLEGATO A

VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITA'

Relazione di calcolo

Definizione

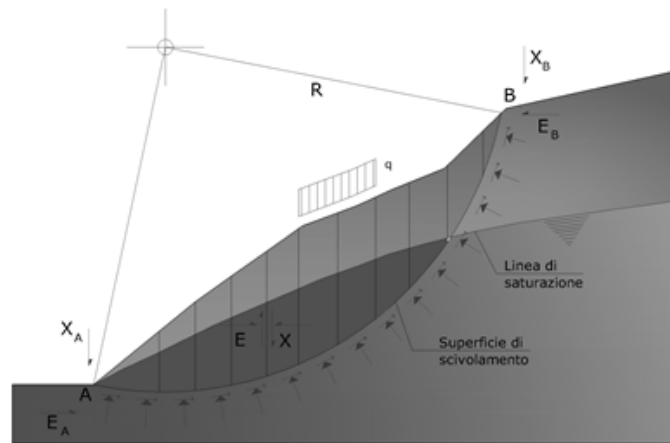
Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in concii considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei concii.



Metodo dei concii

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di concii. Se il numero dei concii è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei concii;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei concii;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di Bell (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, W , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali $K_X W$ e $K_Z W$, le forze orizzontali e verticali X e Z applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento. Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori u che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' i -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \Phi_i}{F}$$

in cui:

F = il fattore di sicurezza;

c_i = la coesione efficace (o totale) alla base dell' i -esimo concio;

Φ_i = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' i -esimo concio;

L_i = la lunghezza della base dell' i -esimo concio;

u_{ci} = la pressione dei pori al centro della base dell' i -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1 (1 - K_Z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$$W_i \cos \alpha_i / L_i = \text{valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei concii}$$

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

dove x_0 ed x_n sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre x_{ci} rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno $K_Z g$ può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore $(1 - K_Z)$.

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

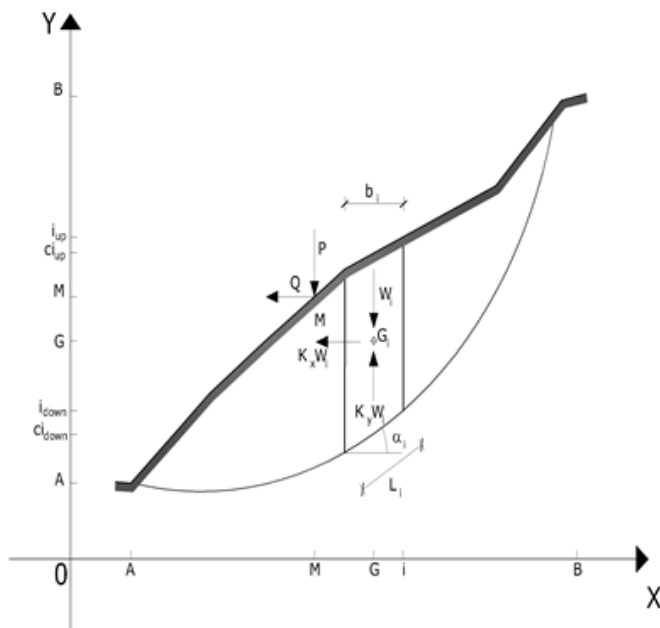
$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F , sostituendo l'espressione di N_i e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario C_3 . Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

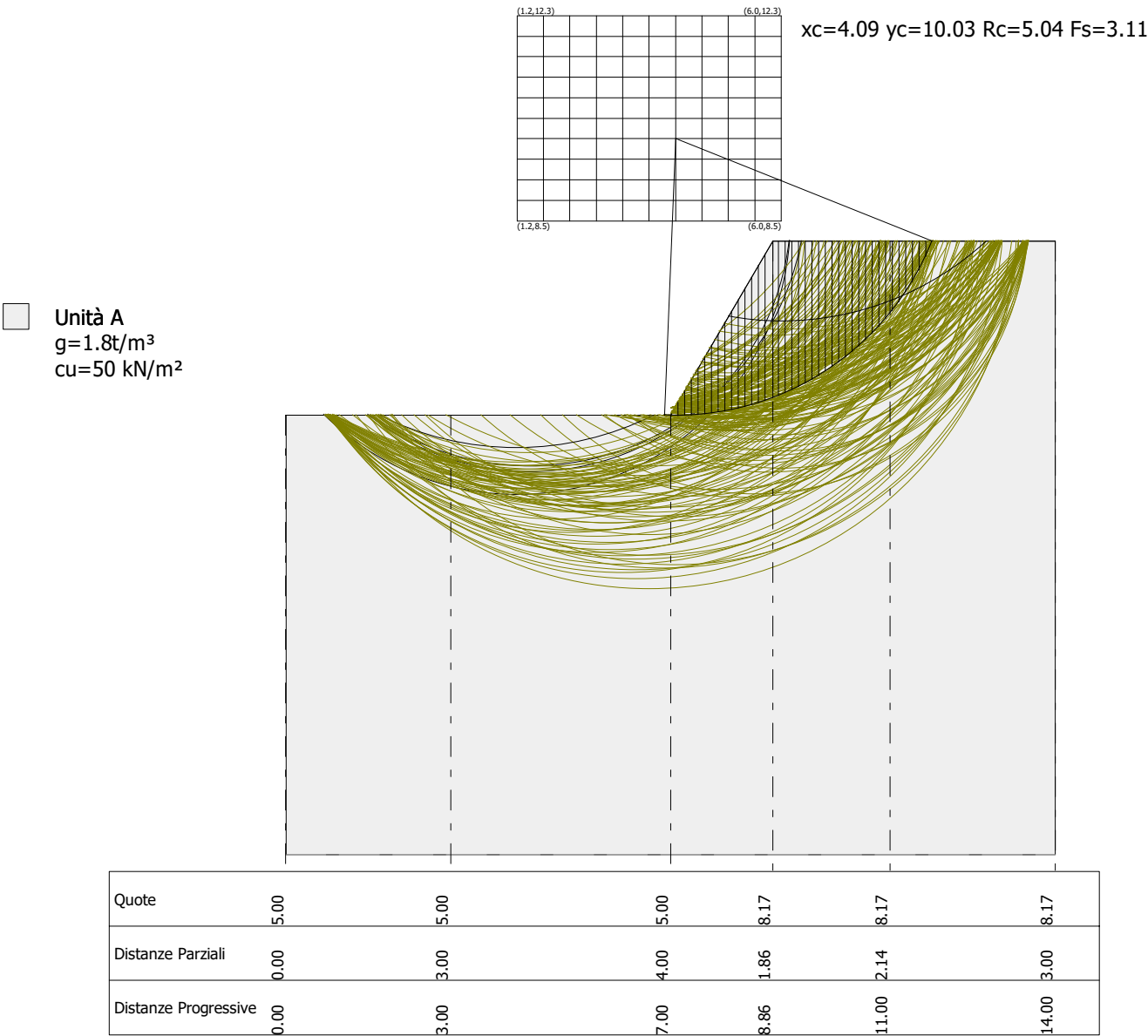
Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminare 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.

VERIFICA DI STABILITA' PREVENTIVA DEL FRONTE DI SCAVO PROVISORIO
PER LA REALIZZAZIONE DEL PIANO DI SEDIME DEL PLINTO DI FONDAZIONE
CONDIZIONI STATICHE



Analisi di stabilità dei pendii con: BELL (1968)

Lat./Long.	44.168362/10.9758
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	40.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione non drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	1.21 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	8.54 m
Ascissa vertice destro superiore xs	6.02 m
Ordinata vertice destro superiore ys	12.28 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	-3.0	5.0
2	0.0	5.0
3	4.0	5.0
4	5.86	8.17
5	8.0	8.17
6	11.0	8.17

Coefficienti parziali azioni

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

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso saturo (t/m ³)	Litologia
1		50		1.8		Unità A

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	3.11
Ascissa centro superficie	4.09 m
Ordinata centro superficie	10.03 m
Raggio superficie	5.04 m

Numero di superfici esaminate....(221)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	1.2	8.5	5.0	10.72
2	1.4	8.7	4.8	11.64
3	1.7	8.5	4.8	8.00
4	1.9	8.7	5.6	5.02
5	2.2	8.5	5.7	4.55
6	2.4	8.7	5.4	4.52
7	2.6	8.5	6.0	3.93
8	2.9	8.7	5.7	3.88
9	3.1	8.5	6.4	3.60
10	3.4	8.7	6.7	3.49
11	3.6	8.5	6.7	3.43
12	3.9	8.7	6.5	3.38
13	4.1	8.5	6.3	3.35
14	4.3	8.7	3.6	3.21
15	4.6	8.5	3.4	3.29
16	4.8	8.7	3.9	3.23
17	5.1	8.5	3.7	3.22
18	5.3	8.7	5.2	3.30
19	5.5	8.5	5.0	3.35
20	5.8	8.7	4.8	3.43
21	6.0	8.5	4.5	3.57
22	1.2	8.9	5.2	9.62
23	1.4	9.1	5.0	10.29
24	1.7	8.9	5.0	7.43
25	1.9	9.1	5.3	5.78
26	2.2	8.9	5.3	5.02
27	2.4	9.1	6.2	4.09
28	2.6	8.9	6.3	3.88
29	2.9	9.1	6.6	3.69
30	3.1	8.9	6.6	3.57
31	3.4	9.1	6.9	3.46
32	3.6	8.9	6.1	3.46
33	3.9	9.1	4.1	3.14
34	4.1	8.9	3.8	3.16
35	4.3	9.1	5.6	3.32
36	4.6	8.9	4.2	3.28
37	4.8	9.1	4.1	3.17
38	5.1	8.9	4.4	3.29
39	5.3	9.1	4.3	3.27
40	5.5	8.9	4.5	3.38
41	5.8	9.1	4.8	3.45
42	6.0	8.9	4.6	3.59
43	1.2	9.3	5.5	8.83

44	1.4	9.5	5.8	6.55
45	1.7	9.3	5.8	5.55
46	1.9	9.5	5.6	5.62
47	2.2	9.3	5.6	4.91
48	2.4	9.5	5.9	4.39
49	2.6	9.3	6.5	3.84
50	2.9	9.5	6.8	3.66
51	3.1	9.3	6.8	3.55
52	3.4	9.5	7.1	3.45
53	3.6	9.3	6.8	3.40
54	3.9	9.5	4.3	3.28
55	4.1	9.3	4.1	3.30
56	4.3	9.5	4.6	3.28
57	4.6	9.3	4.4	3.15
58	4.8	9.5	5.8	3.28
59	5.1	9.3	4.6	3.26
60	5.3	9.5	5.4	3.32
61	5.5	9.3	5.1	3.36
62	5.8	9.5	4.9	3.46
63	6.0	9.3	4.6	3.69
64	1.2	9.7	5.8	8.26
65	1.4	9.8	6.1	6.33
66	1.7	9.7	6.1	5.42
67	1.9	9.8	6.4	4.75
68	2.2	9.7	6.4	4.35
69	2.4	9.8	6.1	4.36
70	2.6	9.7	6.7	3.82
71	2.9	9.8	6.4	3.81
72	3.1	9.7	4.6	3.44
73	3.4	9.8	4.7	3.31
74	3.6	9.7	4.5	3.29
75	3.9	9.8	6.8	3.38
76	4.1	9.7	6.5	3.34
77	4.3	9.8	4.8	3.13
78	4.6	9.7	4.6	3.22
79	4.8	9.8	5.0	3.23
80	5.1	9.7	4.7	3.24
81	5.3	9.8	5.0	3.28
82	5.5	9.7	4.7	3.52
83	5.8	9.8	4.6	4.15
84	6.0	9.7	4.7	3.96
85	1.2	10.0	5.6	18.18
86	1.4	10.2	5.9	8.25
87	1.7	10.0	5.9	6.51
88	1.9	10.2	6.7	4.71
89	2.2	10.0	6.7	4.32
90	2.4	10.2	6.4	4.34
91	2.6	10.0	6.4	4.04
92	2.9	10.2	6.7	3.82
93	3.1	10.0	4.9	3.46
94	3.4	10.2	5.0	3.47
95	3.6	10.0	4.7	3.46
96	3.9	10.2	6.9	3.41
97	4.1	10.0	5.0	3.11
98	4.3	10.2	5.0	3.31
99	4.6	10.0	5.2	3.31
100	4.8	10.2	5.1	3.30

101	5.1	10.0	5.3	3.31
102	5.3	10.2	5.2	3.52
103	5.5	10.0	5.3	3.39
104	5.8	10.2	5.2	3.88
105	6.0	10.0	4.9	4.27
106	1.2	10.4	6.4	7.48
107	1.4	10.6	6.7	6.02
108	1.7	10.4	6.7	5.25
109	1.9	10.6	7.0	4.68
110	2.2	10.4	5.4	4.25
111	2.4	10.6	7.2	4.03
112	2.6	10.4	6.7	4.04
113	2.9	10.6	7.6	3.67
114	3.1	10.4	5.2	3.51
115	3.4	10.6	7.4	3.52
116	3.6	10.4	7.2	3.46
117	3.9	10.6	5.5	3.18
118	4.1	10.4	5.3	3.24
119	4.3	10.6	5.7	3.33
120	4.6	10.4	5.4	3.14
121	4.8	10.6	5.7	3.31
122	5.1	10.4	5.4	3.30
123	5.3	10.6	5.8	3.34
124	5.5	10.4	5.5	3.57
125	5.8	10.6	5.3	4.19
126	6.0	10.4	5.0	4.63
127	1.2	10.8	6.7	7.21
128	1.4	11.0	7.0	5.92
129	1.7	10.8	7.0	5.20
130	1.9	11.0	7.2	4.67
131	2.2	10.8	5.7	4.18
132	2.4	11.0	6.0	3.63
133	2.6	10.8	7.5	3.83
134	2.9	11.0	7.3	3.85
135	3.1	10.8	5.5	3.69
136	3.4	11.0	7.1	3.69
137	3.6	10.8	5.7	3.13
138	3.9	11.0	5.7	3.37
139	4.1	10.8	5.5	3.44
140	4.3	11.0	5.9	3.24
141	4.6	10.8	5.6	3.39
142	4.8	11.0	5.9	3.36
143	5.1	10.8	5.6	3.57
144	5.3	11.0	5.5	4.16
145	5.5	10.8	5.2	4.52
146	5.8	11.0	5.0	5.50
147	6.0	10.8	4.7	6.20
148	1.2	11.2	7.0	7.01
149	1.4	11.3	5.9	9.03
150	1.7	11.2	7.3	5.16
151	1.9	11.3	6.1	4.87
152	2.2	11.2	6.0	4.14
153	2.4	11.3	6.3	3.65
154	2.6	11.2	7.8	3.85
155	2.9	11.3	7.6	3.88
156	3.1	11.2	7.9	3.63
157	3.4	11.3	6.2	3.28

158	3.6	11.2	6.0	3.32
159	3.9	11.3	6.4	3.56
160	4.1	11.2	6.2	3.21
161	4.3	11.3	6.5	3.46
162	4.6	11.2	6.2	3.23
163	4.8	11.3	6.1	3.64
164	5.1	11.2	6.2	3.35
165	5.3	11.3	5.6	4.56
166	5.5	11.2	5.8	4.16
167	5.8	11.3	5.2	6.12
168	6.0	11.2	4.9	6.96
169	1.2	11.5	6.4	6.35
170	1.4	11.7	6.7	4.77
171	1.7	11.5	7.6	5.14
172	1.9	11.7	6.4	4.78
173	2.2	11.5	6.3	4.12
174	2.4	11.7	6.6	3.69
175	2.6	11.5	6.5	3.36
176	2.9	11.7	8.3	3.76
177	3.1	11.5	6.5	3.25
178	3.4	11.7	6.5	3.47
179	3.6	11.5	6.2	3.52
180	3.9	11.7	6.6	3.23
181	4.1	11.5	6.3	3.36
182	4.3	11.7	6.7	3.27
183	4.6	11.5	6.4	3.44
184	4.8	11.7	6.7	3.39
185	5.1	11.5	6.4	3.60
186	5.3	11.7	5.8	5.01
187	5.5	11.5	6.0	4.52
188	5.8	11.7	5.9	5.42
189	6.0	11.5	5.6	6.07
190	1.2	11.9	6.8	5.91
191	1.4	12.1	7.0	4.64
192	1.7	11.9	7.9	5.13
193	1.9	12.1	8.2	4.69
194	2.2	11.9	6.7	4.13
195	2.4	12.1	6.9	3.74
196	2.6	11.9	6.8	3.42
197	2.9	12.1	7.0	3.41
198	3.1	11.9	6.7	3.44
199	3.4	12.1	6.7	3.68
200	3.6	11.9	7.8	3.69
201	3.9	12.1	6.8	3.50
202	4.1	11.9	7.0	3.48
203	4.3	12.1	6.8	3.53
204	4.6	11.9	6.5	3.72
205	4.8	12.1	6.4	4.31
206	5.1	11.9	6.1	4.62
207	5.3	12.1	6.0	5.54
208	5.5	11.9	5.7	6.11
209	5.8	12.1	5.6	7.73
210	6.0	11.9	5.3	8.94
211	1.2	12.3	7.1	5.60
212	1.7	12.3	8.2	5.13
213	2.2	12.3	7.0	4.15
214	2.6	12.3	7.2	3.48

215	3.1	12.3	7.0	3.64
216	3.6	12.3	7.1	3.37
217	4.1	12.3	7.2	3.37
218	4.6	12.3	7.2	3.44
219	5.1	12.3	6.3	5.08
220	5.5	12.3	6.4	5.36
221	6.0	12.3	5.6	10.26

Indice

1.Dati generali	1
2.Vertici profilo	2
3.Coefficienti parziali azioni	2
4.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	2
5.Stratigrafia	2
6.Risultati analisi pendio [NTC 2018]	2
Indice	7