

Studio di Geologia Applicata, Ambientale e Geotecnica
Dott. Geologo Tiziano Desiderio
66100 - CHIETI - Strada San Fele, 29/B
mail: studiogeotd@gmail.com Cell.: 347.5780523



REGIONE ABRUZZO



Provincia di CHIETI



**Comune di
RAPINO**

Oggetto:

**Progetto integrato per l'ampliamento
ed il recupero ambientale
di una cava di inerti
in Loc. "Sterparo"
ANALISI DI STABILITA'
DEI FRONTI DI SCAVO**

Committente:

Ditta Micucci Costruzioni s.r.l.s.

Via C. Iezzi, 79 - RAPINO (CH)

Copia n°:

Data Rilievo: 18/02/2018

Data Progetto: 15/05/2018

Il Progettista

Rev.: 16/05/2018



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.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

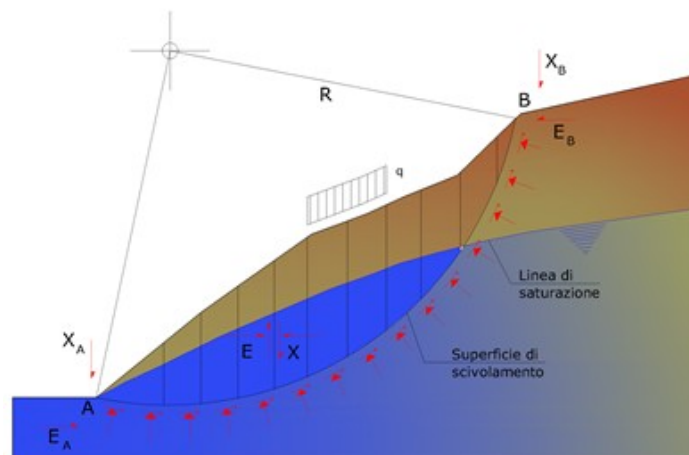
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido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

Metodo equilibrio limite (LEM)

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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



Metodo dei conci

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

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

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

Mentre le equazioni a disposizione sono:

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

Totale numero di equazioni $4n$.

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

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

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

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

Metodo di Fellenius (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

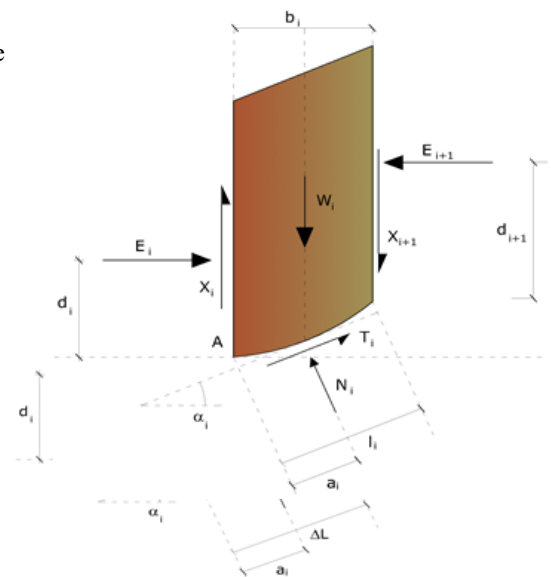
- n valori delle forze normali N_i ;
- n valori delle forze da taglio T_i ;
- 1 fattore di sicurezza.

Incognite $(2n+1)$.

Le equazioni a disposizione sono:

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

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \phi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

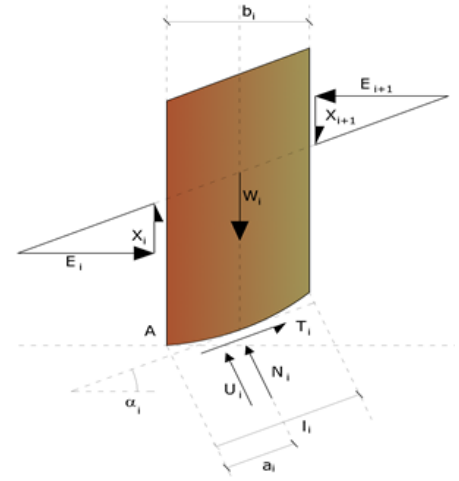
Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

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

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

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

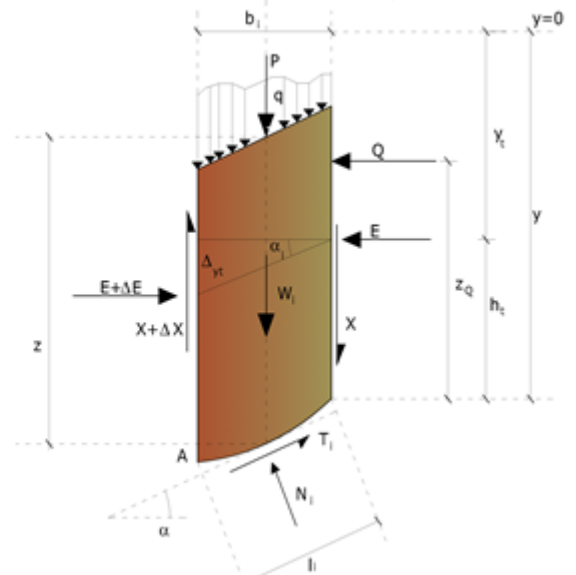
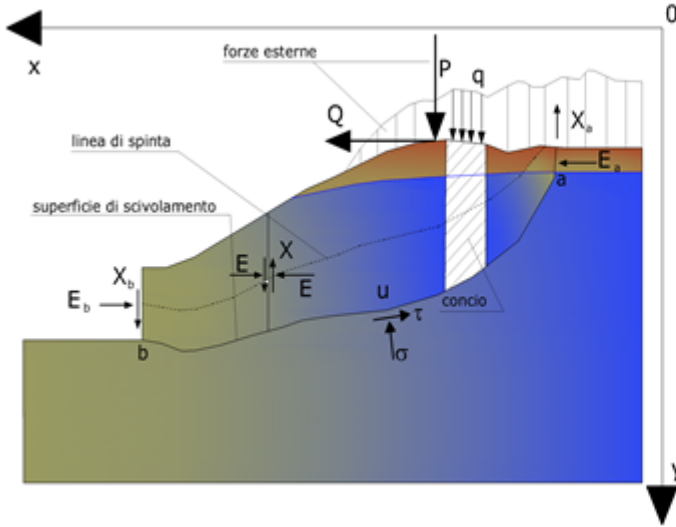


Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

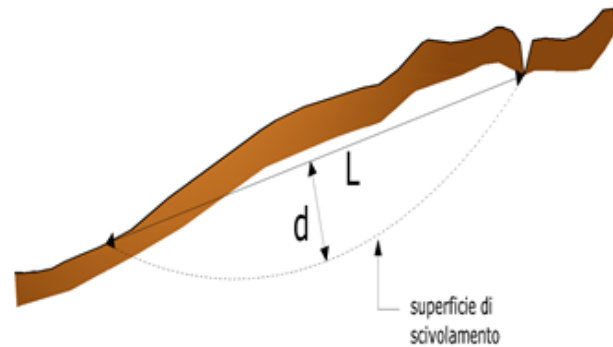
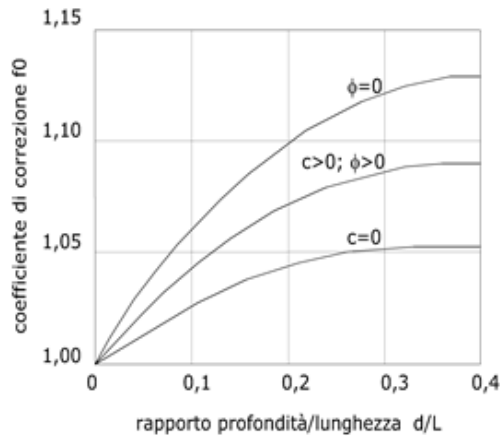


Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



Metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ ;
1. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0$ con $i=1, \dots, n$.

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione $f(x) = 1$. Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h \sec \alpha) \frac{\tan \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[\frac{F_s + \tan \phi \tan(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

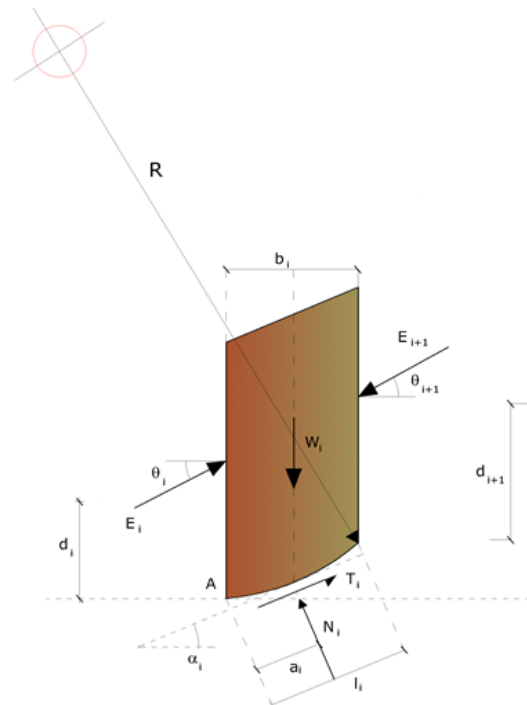
forza d'interazione fra i conci;

R = raggio dell'arco di cerchio;

θ = angolo d'inclinazione della forza Q_i rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\begin{aligned} \sum (Q_i \cos \theta) &= 0 \\ \sum (Q_i \sin \theta) &= 0 \end{aligned}$$



Con l'assunzione delle forze Q_i parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$2) \quad \sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia:

$$F_{sm} = F_{sf}$$

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.

Ancoraggi

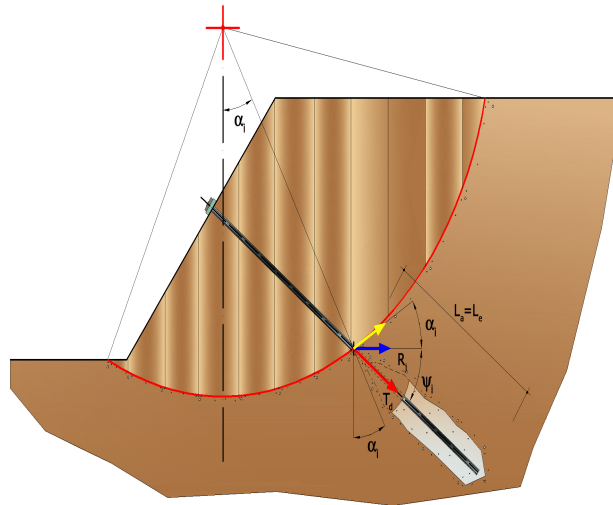
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

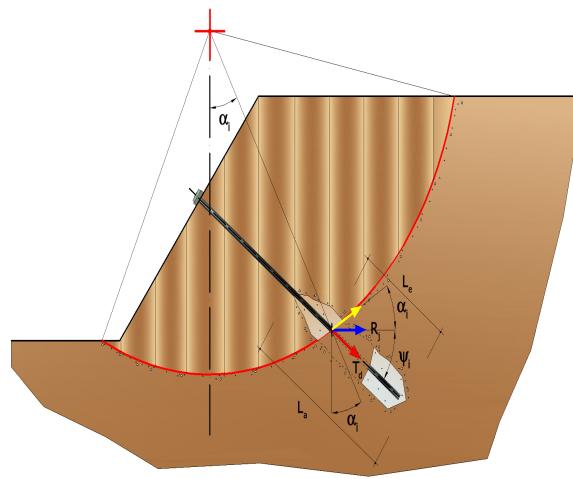
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.

Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficacia a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



Bulbo completamente ancorato



Bulbo parzialmente ancorato

Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

- per i tiranti di *tipo attivo*, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$F_s = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}$$

- per tiranti di *tipo passivo* e per i chiodi, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$F_s = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}{E_d}$$

Con R_j si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T_d \cdot \cos \Psi_i \cdot \left(\frac{1}{i} \right) \cdot \left(\frac{L_e}{L_a} \right)$$

dove:

T_d tiro esercizio;
 Ψ_i inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;
 i interasse;
 L_e lunghezza efficace;
 L_a lunghezza d'ancoraggio.

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

Analisi di stabilità dei pendii con: SPENCER (1967)

Zona	Rapino
Lat./Long.	42.217115/14.171471
Calcolo eseguito secondo	[A2+M1+R2]
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	12.57 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	11.32 m
Ascissa vertice destro superiore xs	29.3 m
Ordinata vertice destro superiore ys	25.42 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0156
Coefficiente azione sismica verticale	0.0078

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.94	0.02
2	24.88	0.02
3	29.04	4.18
4	32.04	4.18
5	37.04	9.18

6	40.04	9.18
7	45.04	14.18
8	53.91	14.3
9	65.6	14.3
10	71.58	14.3

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.94	-1.07
2	1.05	-1.07
3	6.33	-1.07
4	24.92	-1.16
5	45.81	-1.05
6	71.58	-1.0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	0.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	0.0

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	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0	0	35	1900	2000	Ghiaia con sabbia o ghiaia sabbiosa	
2	0.2	1.5	24	1950	2000	argilla	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1.51
Ascissa centro superficie	28.46 m
Ordinata centro superficie	19.08 m
Raggio superficie	20.37 m

Numero di superfici esaminate....(147)

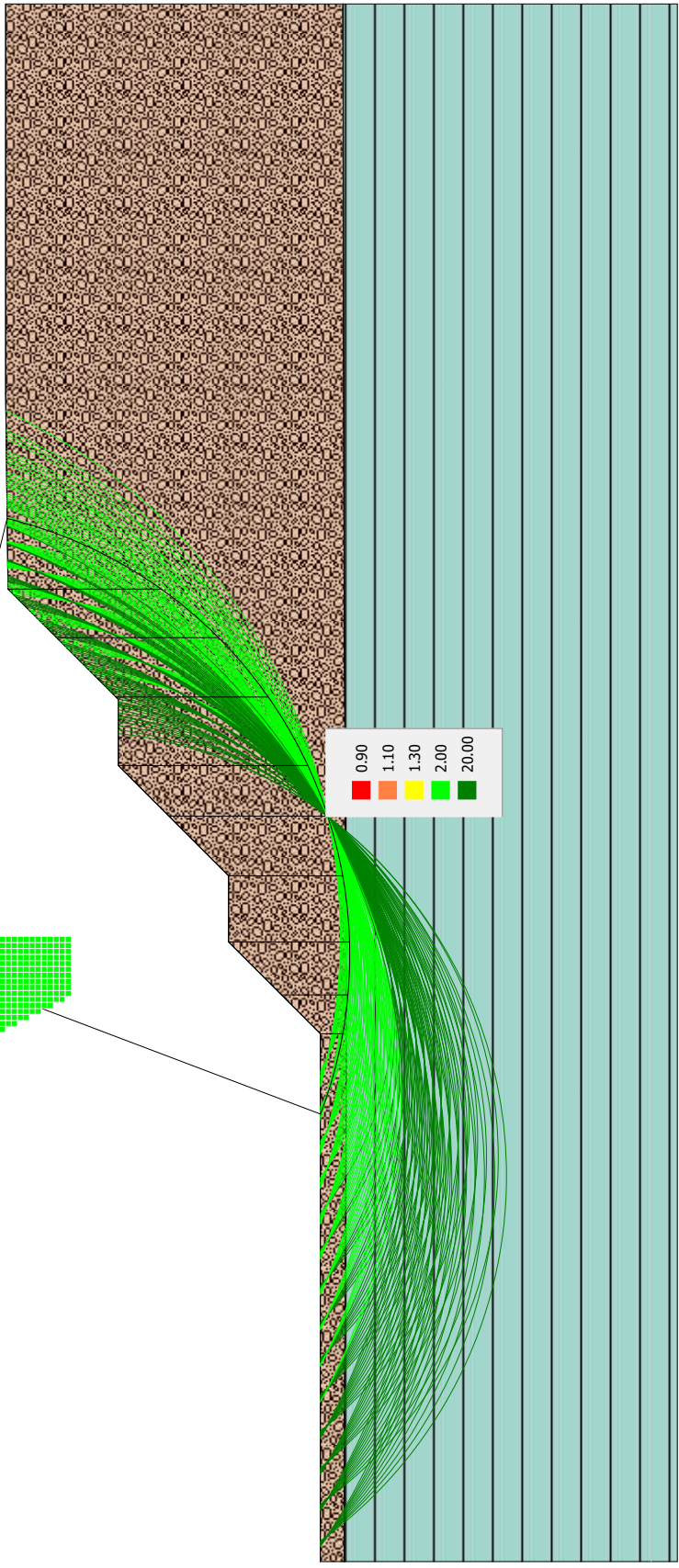
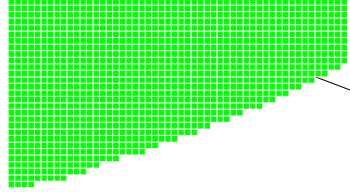
N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	18.4	12.0	20.4	4.17
2	19.3	11.3	19.4	3.96
3	20.1	12.0	19.1	3.42
4	20.9	11.3	18.0	3.25

5	21.8	12.0	17.9	2.96
6	22.6	11.3	16.8	2.90
7	23.4	12.0	16.7	2.53
8	24.3	11.3	15.6	2.37
9	25.1	12.0	15.6	2.22
10	26.0	11.3	14.6	2.11
11	26.8	12.0	14.7	1.90
12	27.6	11.3	13.6	1.86
13	28.5	12.0	13.8	1.78
14	29.3	11.3	12.8	1.78
15	18.4	13.4	21.3	3.84
16	19.3	12.7	20.2	3.63
17	20.1	13.4	20.1	3.24
18	20.9	12.7	19.0	3.05
19	21.8	13.4	18.9	2.89
20	22.6	12.7	17.8	2.70
21	23.4	13.4	17.8	2.44
22	24.3	12.7	16.7	2.28
23	25.1	13.4	16.8	2.08
24	26.0	12.7	15.7	1.97
25	26.8	13.4	15.9	1.83
26	27.6	12.7	14.9	1.75
27	28.5	13.4	15.1	1.68
28	29.3	12.7	14.1	1.71
29	18.4	14.8	22.3	3.65
30	19.3	14.1	21.2	3.44
31	20.1	14.8	21.1	3.08
32	20.9	14.1	20.0	2.98
33	21.8	14.8	19.9	2.76
34	22.6	14.1	18.9	2.59
35	23.4	14.8	18.9	2.26
36	24.3	14.1	17.8	2.14
37	25.1	14.8	17.9	1.94
38	26.0	14.1	16.9	1.87
39	26.8	14.8	17.1	1.77
40	27.6	14.1	16.1	1.73
41	28.5	14.8	16.4	1.60
42	29.3	14.1	15.4	1.65
43	18.4	16.3	23.2	3.46
44	19.3	15.6	22.2	3.27
45	20.1	16.3	22.1	3.07
46	20.9	15.6	21.0	2.95
47	21.8	16.3	21.0	2.57
48	22.6	15.6	20.0	2.43
49	23.4	16.3	20.0	2.13
50	24.3	15.6	19.0	2.05
51	25.1	16.3	19.2	1.86
52	26.0	15.6	18.1	1.81
53	26.8	16.3	18.4	1.68
54	27.6	15.6	17.4	1.63
55	28.5	16.3	17.7	1.58
56	29.3	15.6	16.8	1.58
57	18.4	17.7	24.3	3.36
58	19.3	17.0	23.2	3.18
59	20.1	17.7	23.2	3.01
60	20.9	17.0	22.1	2.82
61	21.8	17.7	22.2	2.41

62	22.6	17.0	21.1	2.25
63	23.4	17.7	21.2	2.04
64	24.3	17.0	20.2	1.95
65	25.1	17.7	20.4	1.79
66	26.0	17.0	19.4	1.74
67	26.8	17.7	19.7	1.61
68	27.6	17.0	18.7	1.56
69	28.5	17.7	19.0	1.54
70	29.3	17.0	18.1	1.60
71	18.4	19.1	25.3	3.29
72	19.3	18.4	24.3	3.18
73	20.1	19.1	24.3	2.70
74	20.9	18.4	23.2	2.55
75	21.8	19.1	23.3	2.28
76	22.6	18.4	22.3	2.13
77	23.4	19.1	22.4	1.96
78	24.3	18.4	21.4	1.88
79	25.1	19.1	21.6	1.70
80	26.0	18.4	20.6	1.67
81	26.8	19.1	20.9	1.57
82	27.6	18.4	20.0	1.58
83	28.5	19.1	20.4	1.51
84	29.3	18.4	19.5	1.57
85	18.4	20.5	26.4	2.91
86	19.3	19.8	25.4	2.86
87	20.1	20.5	25.4	2.54
88	20.9	19.8	24.4	2.40
89	21.8	20.5	24.5	2.14
90	22.6	19.8	23.5	2.05
91	23.4	20.5	23.7	1.88
92	24.3	19.8	22.6	1.78
93	25.1	20.5	22.9	1.67
94	26.0	19.8	21.9	1.63
95	26.8	20.5	22.3	1.58
96	27.6	19.8	21.3	1.57
97	28.5	20.5	21.7	1.54
98	29.3	19.8	20.8	1.59
99	18.4	21.9	27.5	2.84
100	19.3	21.2	26.5	2.68
101	20.1	21.9	26.6	2.41
102	20.9	21.2	25.5	2.29
103	21.8	21.9	25.7	2.07
104	22.6	21.2	24.7	1.98
105	23.4	21.9	24.9	1.81
106	24.3	21.2	23.9	1.73
107	25.1	21.9	24.2	1.67
108	26.0	21.2	23.2	1.61
109	26.8	21.9	23.6	1.56
110	27.6	21.2	22.6	1.53
111	28.5	21.9	23.1	1.56
112	29.3	21.2	22.2	1.59
113	18.4	23.3	28.7	2.68
114	19.3	22.6	27.6	2.54
115	20.1	23.3	27.8	2.31
116	20.9	22.6	26.7	2.20
117	21.8	23.3	26.9	2.00
118	22.6	22.6	25.9	1.90

119	23.4	23.3	26.2	1.77
120	24.3	22.6	25.2	1.70
121	25.1	23.3	25.5	1.66
122	26.0	22.6	24.5	1.62
123	26.8	23.3	24.9	1.58
124	27.6	22.6	24.0	1.53
125	28.5	23.3	24.4	1.58
126	29.3	22.6	23.5	1.60
127	18.4	24.7	29.9	2.56
128	19.3	24.0	28.8	2.43
129	20.1	24.7	29.0	2.22
130	20.9	24.0	28.0	2.12
131	21.8	24.7	28.2	1.95
132	22.6	24.0	27.2	1.86
133	23.4	24.7	27.5	1.75
134	24.3	24.0	26.5	1.72
135	25.1	24.7	26.8	1.66
136	26.0	24.0	25.9	1.60
137	26.8	24.7	26.3	1.59
138	27.6	24.0	25.3	1.54
139	28.5	24.7	25.8	1.58
140	29.3	24.0	24.9	1.61
141	19.3	25.4	30.0	2.34
142	20.9	25.4	29.2	2.05
143	22.6	25.4	28.4	1.83
144	24.3	25.4	27.8	1.71
145	26.0	25.4	27.2	1.60
146	27.6	25.4	26.7	1.59
147	29.3	25.4	26.3	1.64

xc=28.46 yc=19.08 Rc=20.37 Fg=1.51



Ghiaia con sabbia

argilla