



Unione Europea



# COMUNE DI PROCIDA

Città Metropolitana di Napoli



## SISTEMA PORTUALE ISOLA DI PROCIDA 1° LOTTO - PARTE D'OPERA 1

LAVORI URGENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA,  
IL CONSOLIDAMENTO ED IL RECUPERO DI MARINA CORRICELLA

CUP: C99I18000140002

### PROGETTO ESECUTIVO

Committente:	COMUNE DI PROCIDA		
Responsabile del procedimento:	<b>arch. Luca Imparato</b>	<i>Responsabile Settore V - Servizi Tecnici del Comune di Procida</i>	
Supporto al RUP:	<b>arch. Stefano Prisco</b>		
Geologia:	<b>geol. Francesco Maglione</b>		
Progettazione:	 <b>ARCHIMED s.r.l.</b>	Responsabile progetto:	<b>ing. Roberto de Rosa</b>
		Coordinatore sicurezza:	<b>arch. Rosamaria Vignale</b>
		con la collaborazione di:	ing. Riccardo Autieri ing. Giovanni Giannini

rev.	data	oggetto
2	luglio 2019	<i>aggiornamento interventi e rimodulazione spese generali</i>
1	giugno 2018	<i>aggiornamento</i>
0	gennaio 2018	<i>emissione</i>

Elaborato: <b>ST-RC2</b> rev.2	<b>CONSOLIDAMENTO COSTONE OVEST STRUTTURE: RELAZIONE DI CALCOLO MICROPALI SUL CIGLIO</b>	File:
		Scala:
		Data: luglio 2019

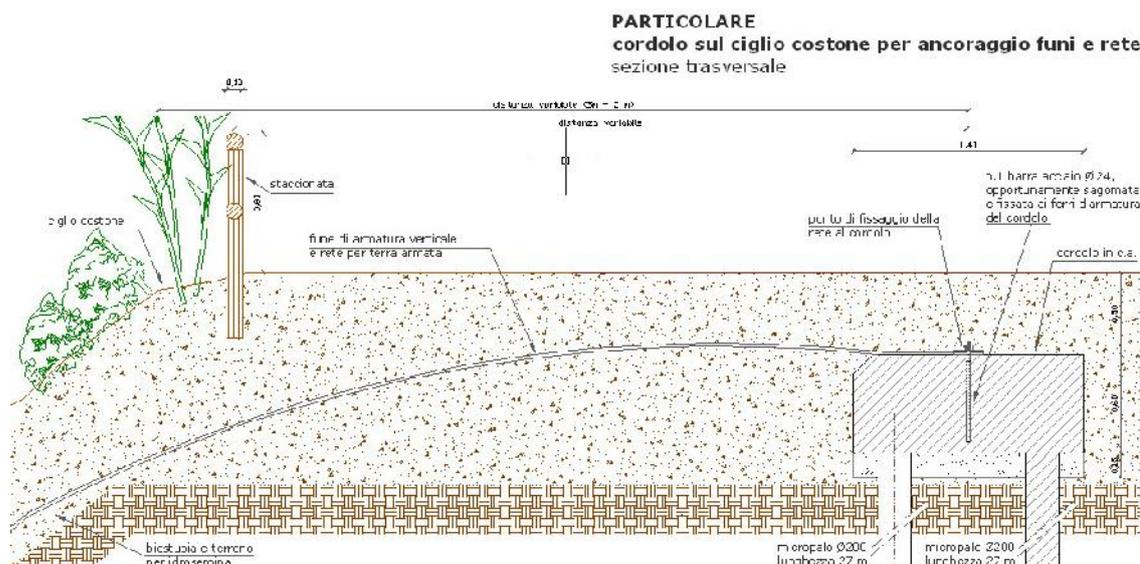
## INDICE

1. DESCRIZIONE GENERALE INTERVENTI
2. CALCOLI E DIMENSIONAMENTI
  - 2.1 Micropali
  - 2.2 Cordolo in c.a.
    - 2.2.1 *Premessa*
    - 2.2.2 *Dati di verifica*
    - 2.2.3 *Valori desunti*
  - 2.3 Chiodature
    - 2.3.1 *Premessa*
    - 2.3.2 *Introduzione*
    - 2.3.3 *Descrizione del metodo di dimensionamento*
    - 2.3.4 *Ipotesi esaminate*
    - 2.3.5 *Risultati - Interasse degli elementi di ancoraggio*
    - 2.3.6 *Commento ai risultati*
    - 2.3.7 *Calcolo delle lunghezze di ancoraggio*
    - 2.3.8 *Conclusioni*

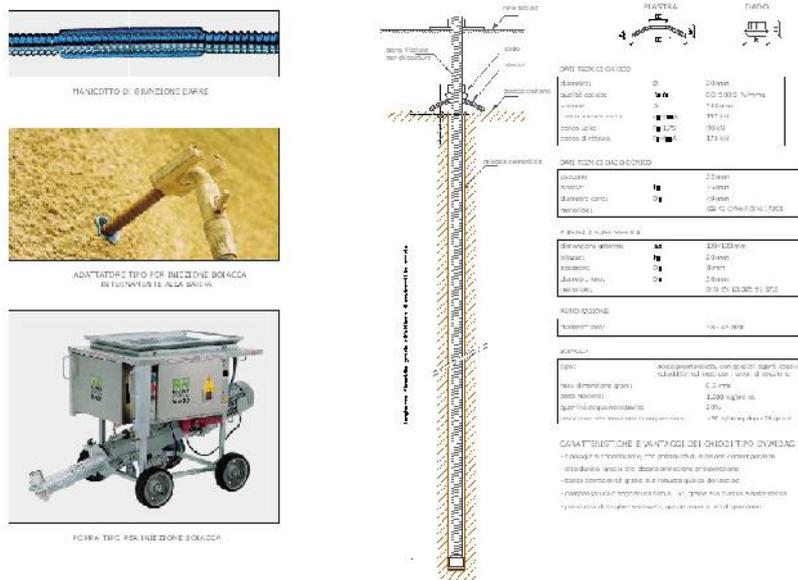
## 1. DESCRIZIONE GENERALE INTERVENTI

Considerate le qualità geologiche, l'orografia del luogo e la tipologia del dissesto, le opere per il consolidamento del costone, individuate come le più opportune ed idonee nell'ambito delle diverse tipologie descritte nell'introduzione, comprendono i seguenti interventi:

- cordolo superiore su paratia di micropali, con le seguenti caratteristiche:
  - lunghezza: per tutta la lunghezza del ciglio costone
  - larghezza: 1,40 m
  - altezza: 0,60 m
  - posa in opera: interrata a - 0,50 m dal piano di calpestio del fondo sovrastante
  - materiale: calcestruzzo armato
  - ancoraggio: a paratia di micropali  $\varnothing$  200 mm, posti su doppia fila nel senso longitudinale del cordolo, aventi la funzione prevalente di contenimento e di consolidamento in collaborazione con le chiodature da realizzare sulla parete del costone;

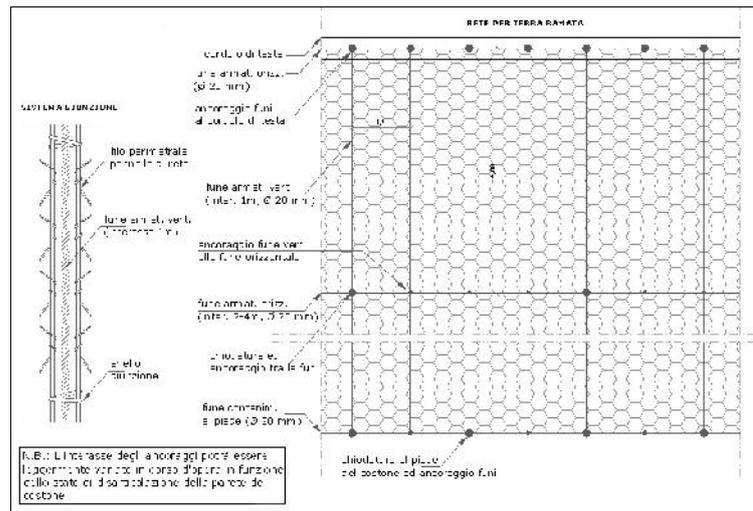


- chiodature nel terreno o tufo o materiale piroclastico, con le seguenti caratteristiche:
  - diametro: 20 mm
  - peso: 2,56 Kg/m
  - materiale: barre tipo Dywidag a filettatura continua St 900/1100, in acciaio controllato ai sensi della vigente normativa
  - ancoraggio: a piastra bombata e dado conico
  - protezioni: da corrosione mediante guaina in plastica corrugata
  - centraggio: mediante distanziatori interni
  - giunzioni barre: con manicotti e relative protezioni;



- funi di armatura verticale ed orizzontale, con le seguenti caratteristiche:
  - diametro: 20 mm
  - peso: 1,68 Kg/m
  - materiale: acciaio a trefolo 6x36 a 216 fili con anima metallica UNI 7297/74
  - carico rottura: 220 kg/mm<sup>2</sup>, pari a 3.508 kN/m
  - protezioni: zincatura a caldo
  - collegamenti:
    - al cordolo superiore, mediante barre di ancoraggio annegate nel c.a.
    - alla parete del costone, mediante fissaggio alle chiodature
    - tra loro, mediante opportuni morsetti
    - alla rete metallica, mediante opportuni morsetti di ancoraggio;
- biostuoia, costituita da strati di fibre naturali (paglia, cocco, paglia e cocco, juta o altre fibre vegetali biodegradabili e compatibili con l'ambiente), biodegradabili, spesse una decina di mm, assemblati in modo da formare una struttura intrecciata, semiaperta e deformabile, capace di adattarsi con facilità al terreno sul quale è stesa; il materiale sarà trattenuto su entrambi i lati da microreti in materiale organico (tipo juta) o sintetico (tipo polipropilene), o confinato entro una microrete su un lato ed un foglio di cellulosa sul lato a contatto con il terreno; al di sotto della biostuoia e prima della posa della stessa sarà riportato uno strato di terreno vegetale;
- rete metallica zincata per terra armata, con le seguenti caratteristiche:
  - superficie: pari al 100% della superficie complessiva del costone
  - armatura orizzontale: realizzata con elementi in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale min. 8x10cm tessuta con trafilato di ferro diametro min. 2,7 mm, zincato a caldo, resistenza nominale 30 kN/m, rivestito

- pannello esterno: in PVC spessore min. 0,4 mm, resistente ad UV, alte temperature ed agenti atmosferici, per un diametro complessivo del filo 3,7 mm;
- pannello esterno: rinforzato da barrette metalliche inserite nella rete e da ulteriore pannello di rete metallica a doppia torsione abbinato a un geosintetico o a una biostuoia-biofeltro;
- collegamenti: alle funi di armatura verticali ed orizzontali, mediante opportuni morsetti di ancoraggio;



## 2. CALCOLI E DIMENSIONAMENTI

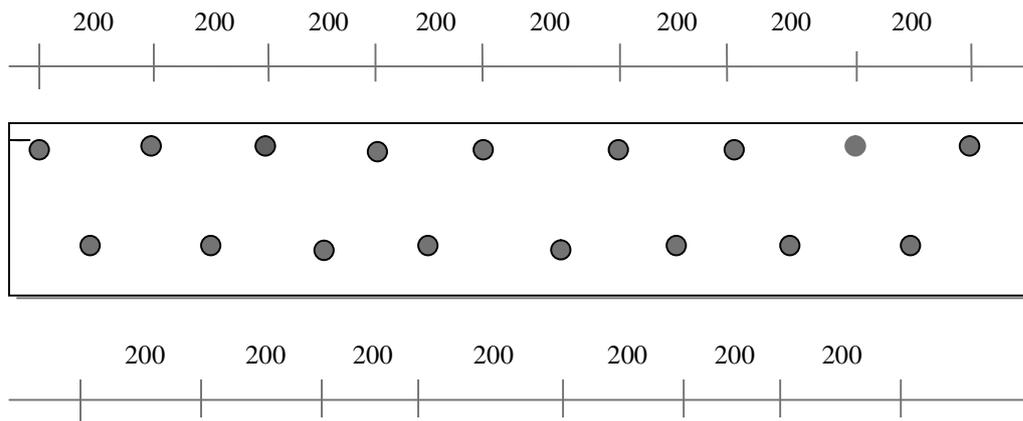
### 2.1 Micropali

Per il calcolo del valore limite del carico del micropalo viene applicata, a vantaggio di stabilità, la formula del Dörr :

$$\begin{aligned}
 Pa &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot D \cdot f(1 + \tan \alpha) + R \cdot H \cdot \tan(45^\circ + \frac{\alpha}{2}) = \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1800 \text{ Kg/mc} \cdot 1024 \cdot 3,14 \cdot 0,10 \cdot 0,57 (1 + 0,33) + 1800 \cdot 3,14 \cdot 0,010 \cdot 32 \cdot 2,99 = \\
 &= 219.000 + 5.407 = 224.407 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

detraendo il peso del palo, si ottiene la portanza limite che è pari a 223.000 kg, che, rapportata al coefficiente di sicurezza, definisce il carico di esercizio pari a circa 70.000 kg.

### 2.2 Cordolo in c.a.



*Pianta cordolo sommitale con interassi pali*

#### 2.2.1 Premessa

Il problema della verifica di stabilità di una scarpata si affronta supponendo che lo scorrimento si verifichi lungo una superficie cilindrica, riconducendo quindi il problema in piano: nella presente relazione e conformemente alla letteratura vigente si è assunta come direttrice un arco di cerchio.

La posizione più pericolosa del cerchio di scorrimento è stata ricercata per successivi tentativi, calcolando per ciascun cerchio di tentativo il coefficiente di sicurezza ed attribuendo alla scarpata il minimo fra i valori trovati.

Pur avendo assunto una superficie di scorrimento così schematica ed anche ammettendo che in tutti i punti della superficie stessa si verifichi contemporaneamente la condizione di equilibrio limite, l'analisi statica del problema è possibile solo in via approssimata.

Il caso più semplice al quale ci si è riferiti é quello di una scarpata omogenea, la cui sezione retta é rappresentata in piano.

Le forze agenti sul terreno compreso fra la superficie esterna ed il generico arco di cerchio AMB sono:

- peso proprio Q;
- forze esercitate lungo l'arco AMB dal terreno sottostante e che comprendono componenti normali "σ" e tangenziali "τ", fra le quali, in condizioni di equilibrio limite, deve sussistere la relazione:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

La forza tangenziale dovuta alla coesione é individuata in grandezza e direzione: ad esempio, se "c" è costante, la risultante "C" é parallela alla corda AB ed applicata ad una distanza dal centro pari a  $r \beta / \operatorname{sen} \beta$ .

Le forze dovute all'attrito e le forze normali ammettono una risultante F, la quale per l'equilibrio deve passare per il punto E in cui si intersecano le rette d'azione di Q e C; La forza F risulterà dalla somma vettoriale di una forza normale N, passante per il centro O, e di una forza tangenziale  $T = N \operatorname{tg} \varphi$ .

La grandezza ed il punto di applicazione della forza N dipendono dalla distribuzione delle tensioni lungo l'arco AMB e pertanto sono indeterminati; in conseguenza di ciò esistono infinite coppie di valori di c e φ che soddisfano le condizioni di equilibrio limite.

Per rendere determinato il problema, occorre introdurre un'ipotesi; i vari metodi di cui oggi si dispone per l'analisi della stabilità di una scarpata si differenziano fra loro proprio per le diverse ipotesi introdotte.

Per la verifica della struttura si è quindi proceduto prioritariamente alla valutazione di stabilità del pendio i cui risultati sono come appresso sintetizzati.

### 2.2.2 Dati di verifica

Numero dei conci	$N_c = 12$
Larghezza dei conci	$B_c = 0,42 \text{ m}$
Raggio cerchio critico	$R = 6,57 \text{ m}$
Lunghezza arco cerchio critico	$L_c = 5,93 \text{ m}$
Resistenza al taglio disponibile	$R_t = 45893 \text{ daN}$
Resistenza al taglio mobilitata	$R_s = 23088 \text{ daN}$
Coefficiente di sicurezza equilibrio globale	$E = 1,99$

### 2.2.3 Valori desunti

Concio	h	el	wi	a	Ni	Ti	Si
1	0,25	1,23	421	-24,02	384	269	-171
2	2,5	1,90	20248	0,00	20248	14187	0
3	2,40	0,43	5687	10,17	5598	3920	1005
4	2,31	0,43	5631	13,93	5465	3827	1355
5	2,19	0,44	5555	17,74	5291	3705	1693
6	2,04	0,45	5460	21,64	5075	3554	2014
7	1,85	0,47	5344	25,65	4818	3373	2313
8	1,63	0,48	5204	29,79	4517	3163	2586
9	1,37	0,51	5039	34,12	4172	2921	2826
10	1,06	0,54	4843	38,68	3781	2647	3027
11	0,69	0,58	4611	43,55	3342	2340	3177
12	0,25	0,64	4335	48,85	2852	1997	3264

La forza applicata al metro lineare è pari a:

$$14.187 * 0,9 = 12.768 \text{ Kg/ml}$$

Il valore estrema della caratteristica flettente nel cordolo sommatore vale circa 1500 Kgm/m.

Pertanto:

## 2.3 Chiodature

### 2.3.1 Premessa

Per il dimensionamento dell'intervento di consolidamento ci si è confrontati con un modello di calcolo della RUVOLUM®, i cui risultati vengono riportati nel seguito e che modella la scarpata analizzandone la stabilità globale (intesa come scorrimento probabile di uno strato di terreno, o roccia alterata, su un substrato ritenuto stabile) e la stabilità locale (intesa come contenimento delle porzioni dello strato superficiale comprese nel reticolo degli elementi di ancoraggio, normalmente barre in acciaio ad alta resistenza).

Il programma non verifica l'instabilità globale ricercando superfici di scorrimento profonde, che sottopassano cioè lo spessore instabile con emergenza al piede, o oltre questo, del versante o lungo lo stesso: tale verifica si dovrà attenere a considerazioni di geotecnica profonda.

### 2.3.2 Introduzione

Con riferimento alle informazioni di carattere geologico, i terreni affioranti sono piroclastiti variamente addensate, con le seguenti caratteristiche:

angolo di attrito [°]	27-31
coesione [kPa = kN/m <sup>2</sup> ]	0
peso di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	11-16

Da un punto di vista morfologico, in questa ipotesi è stata valutata una inclinazione del versante pari a circa 70°: allorchè presenti pendenze superiori saranno sicuramente caratterizzate da caratteristiche geotecniche maggiori e quindi tendenzialmente con maggiore capacità di autosostegno.

### 2.3.3 *Descrizione del metodo di dimensionamento*

Il sistema di calcolo RUVOLUM ® per la stabilizzazione e/o il consolidamento di un versante, che avvenga per mezzo di ancoraggi strutturali attivi e passivi, tiene conto del contributo del rivestimento superficiale del versante stesso.

Chiaramente, affinché il contributo sia sensibile, il materiale che riveste il versante, avente la funzione di distribuire lateralmente i carichi e le sollecitazioni, deve essere di caratteristiche tali da poter essere apprezzabili, ovvero avere una resistenza a trazione intrinseca elevata nelle due direzioni, ma anche una resistenza al punzonamento nota ed elevata.

Per la rete sono stati applicati i seguenti carichi di rottura sia per trazione che per punzonamento (ovvero il limite delle sollecitazioni che possono essere indotte dai meccanismi gravitativi della porzione di versante instabile sul sistema rete-ancoraggi) :

- resistenza della rete allo sforzo di trazione parallelamente al versante:  $Z_R = 30 \text{ kN}$ ;
- resistenza della rete allo sforzo di pressione nella direzione dell'ancoraggio:  $D_R = 180 \text{ kN}$ ;
- resistenza della rete allo sforzo di taglio nella direzione dell'ancoraggio immediatamente al di sopra della piastra:  $P_R = 90 \text{ kN}$ .

Tali valori, cui viene applicato un opportuno fattore di sicurezza riduttivo, nascono dalla sperimentazione in laboratorio del sistema e dei suoi singoli componenti; il programma ne tiene conto nella verifica che le sollecitazioni non superino le capacità del sistema stesso. Essi intervengono nel dimensionamento che opera nello spirito della verifica di quattro prove:

- prova di stabilizzazione dello strato instabile per mezzo degli ancoraggi secondo l'interasse calcolato (metodo del pendio indefinito);
- prova di resistenza della rete contro lo scorrimento del terreno al di sopra delle piastre di ripartizione citate;
- prova di resistenza della rete alla trasmissione del pre-carico dell'elemento di ancoraggio (normalmente mai superiore ai 50 kN);
- prova della resistenza dell'ancoraggio sotto l'azione combinata di taglio (data dalla sollecitazione indotta dallo strato instabile) e trazione (data dal pre-carico dell'ancoraggio).

Il modello applica l'*Eurocodice 7* in tema di progettazione geotecnica, ossia introducendo fattori di sicurezza parziali e tiene conto di:

- 1) inclinazione del versante
- 2) spessore dello strato instabile
- 3) angolo di attrito caratteristico del terreno
- 4) coesione caratteristica del terreno

5) peso di volume caratteristico del terreno.

Alle voci 3, 4 e 5 può essere applicato un Fattore di Sicurezza parziale (normalmente  $F = 1,25$  applicato alla tangente dell'angolo,  $F_c = 1,6$  e  $F = 1,0$ ) che ne riduce i valori; un ulteriore fattore di sicurezza parziale è legato all'incertezza del modello e viene normalmente imposto ( $F_{mod} = 1,1$ ).

Il programma permette poi di scegliere quale elemento di ancoraggio e consolidamento profondo sia ritenuto adatto e, in particolare, consente di individuare la tipologia, l'eventuale pre-tensione dell'elemento, l'angolo di applicazione del carico rispetto all'orizzontale e di imporre un decadimento delle proprietà meccaniche dell'acciaio a seguito di corrosione (ossidazione) che può avvenire se la cementazione dell'armatura del foro non viene eseguita in maniera corretta.

#### 2.3.4 *Ipotesi esaminate*

Sono state esaminate due ipotesi facendo variare l'angolo di attrito come riportato nella seguente tabella:

ipotesi [n°]	spessore [m]	inclinaz. versante [°]	Ø [°]	c [kPa]	[kN/m³]	F [-]	F <sub>c</sub> [-]	F [-]	diametro ancoraggio [mm]	pre-tensione [kN]	dec.
1	2.0	70	27	0	16	1.25	1.6	1.1	28	50	no
2	2.0	70	31	0	16	1.25	1.6	1.1	28	50	no

dove:

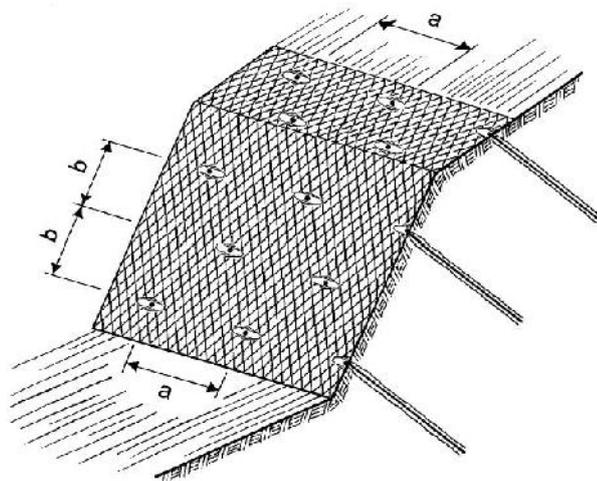
- lo spessore è stato ipotizzato pari a 2.0m: l'esperienza dimostra come, laddove l'inclinazione del versante è elevata, le delaminazioni assimilabili al pendio indefinito possono essere considerate contenute entro il metro di spessore e che lo stesso spessore è inversamente proporzionale all'inclinazione stessa (maggiore inclinazione sull'orizzontale, minore spessore instabile);
- per quanto riguarda coesione e angolo di attrito interno Ø quest'ultimo è stato fatto variare fra 27° e 31°, mentre la coesione è stata mantenuta prudenzialmente al valore di 0 kN/m²;
- i fattori di sicurezza parziali relativi all'attrito sono stati mantenuti costanti ed alti;
- l'ancoraggio ipotizzato è del tipo in barra piena a filettatura continua sinistra, di diametro 28 mm.
- ulteriore variabile in seno agli ancoraggi è il decadimento meccanico legato alla corrosione per ossidazione: non è stato ammesso il decadimento, ovvero si è considerata applicata ogni misura necessaria per realizzare l'ancoraggio a perfetta regola d'arte.

Per gli ancoraggi ipotizzati e del diametro 28 mm le resistenze sono:

snervamento N/mm²	area mm²	resist. traz. kN	taglio N/mm²	resist. taglio kN
500,00	615,75	307,88	288,68	177,75

### 2.3.5 Risultati - Interasse degli elementi di ancoraggio

Per effetto delle considerazioni sopra espresse, in riferimento agli allegati tabulati ed allo schema sottostante, si ottengono i seguenti risultati:



ipotesi	spaziatura orizzontale (a)	spaziatura verticale (b)	diam.	pre-tensionamento	decadimento
[n°]	[m]	[m]	[mm]	[KN]	sì/no
1	2.1	2.1	28	50	no
2	2.2	2.2	28	50	no

### 2.3.6 Commento ai risultati

Le condizioni di stabilità del versante sono ottenute per mezzo di quella coesione virtuale supplementare, ovvero l'incremento della resistenza al taglio, che la rete e gli ancoraggi sono in grado di fornire all'interfaccia tra la coltre superficiale (alterata o riportata) e il substrato stabile, se la stessa rete viene debitamente tensionata e vincolata agli ancoraggi strutturali.

In conclusione, per inclinazioni fino a 70° e spessori contenuti entro 2.0m di coltre alterata, un raster medio di 2.1 x 2.1 m (o 2.2m x 2.2m), con disposizione degli ancoraggi a quinconce, è da ritenersi accettabile, con l'impiego di ancoraggi aventi diametro 28 mm.

In tutti i casi, per garantire la stabilità devono essere rispettate le seguenti condizioni di posa in opera:

- 1) vengano rispettate le modalità di posa della rete in acciaio, ossia facendo aderire il più possibile la rete alla parete in maniera da esercitare una contropinta diffusa su tutta l'area;
- 2) gli ancoraggi siano realizzati secondo una maglia più o meno regolare, e che siano realizzati ancoraggi supplementari per la stabilizzazione di porzioni di versante palesemente instabili, pericolose principalmente per gli operatori impegnati in parete;

- 3) gli ancoraggi siano mantenuti in posizione centrata rispetto al foro per mezzo di opportuni dispositivi centratrici;
- 4) gli ancoraggi siano realizzati di profondità adeguata allo spessore ritenuto instabile, previo adeguato dimensionamento tenendo conto di:
  - carico massimo di esercizio per il Sistema impiegato (90kN di trazione)
  - condizioni geotecniche dei terreni attraversati
  - diametro di perforazione
- 5) la boiaccia cementizia sia confezionata con additivi antiritiro e sufficientemente fluida per intasare completamente il foro;
- 6) il pre-tensionamento degli ancoraggi avvenga effettuato con cura, per non eccedere mai i 50 kN previsti dal presente dimensionamento e a maturazione della boiaccia avvenuta, previa la posa in opera delle piastre speciali.

### 2.3.7 Calcolo delle lunghezze di ancoraggio

Si assumono i seguenti parametri:

- resistenza unitaria di sfilamento roccia-malta: 0,8 N/mmq
- resistenza unitaria di sfilamento acciaio-malta: 1,0 N/mmq
- carico di progetto: 90 kN
- ancoraggio: n.1 barra Ø 28mm (carico min. snerv. 307 kN)
- diametro di perforazione: 90 mm

#### a) *Verifica sfilamento bulbo - terreno*

Si applica la seguente formula:

$$F = f \varnothing_{perf} \tau L$$

dove:

“ $\tau$ ” è la resistenza al taglio nell’interfaccia roccia-malta iniezione

“L” è la lunghezza di ancoraggio necessaria nel terreno;

quindi:

$$L_1 = \frac{F}{f \varnothing_{perf} \tau} = \frac{90000}{3.14 * 90 * 0.8} = 398mm$$

#### b) *Verifica sfilamento malta di iniezione – acciaio*

Si applica la seguente formula:

$$F = f \varnothing_{perf} \tau L$$

dove:

“ $\tau$ ” è la resistenza al taglio nell’interfaccia acciaio-malta iniezione

“L” è la lunghezza di ancoraggio necessaria nel terreno;

quindi:

$$L_1 = \frac{F}{f\phi_{perf} \ddagger} = \frac{90000}{3.14 * 32 * 1.0} = 1023mm$$

c) *Verifica della resistenza dell'acciaio costituente la barra*

Questa verifica è superata in quanto il carico applicato di 90kN è minore della resistenza della barra Ø 32 che vale 377kN.

Considerando quindi un fattore di sicurezza minimo pari ad almeno 2.5, si assume per la barra di ancoraggio Ø 28 una lunghezza di 2,5 m oltre la superficie di ipotetico scorrimento.

Considerando che la parte di ancoraggio interessata allo strato di scorrimento superficiale non porta contributo alla resistenza dell'ancoraggio stesso, le lunghezze di ancoraggio compatibilmente con la profondità della superficie di scorrimento definita nella diverse ipotesi sono:

ipotesi	profondità superficie scorrimento	spaziatura orizzontale	spaziatura verticale	tipo barra	lunghezza barra
[n°]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[m]
1	2.0	2.1	2.1	28	4.5
2	2.0	2.2	2.2	28	4.5

### 2.3.8 Conclusioni

Se al momento della perforazione si dovessero ravvisare condizioni fortemente differenti da quanto ipotizzato, sarà necessaria una ulteriore verifica di stabilità con i nuovi dati acquisiti direttamente in cantiere, non ultimi quelli dedotti da prove di trazione di elementi posati ad inizio lavori e da considerarsi come campo prova.