



COMUNE DI PORTO AZZURRO

Provincia di Livorno

Oggetto:

Interventi per la messa in sicurezza della parete rocciosa a monte del palazzo comunale

Stato della progettazione:

PROGETTO ESECUTIVO



STUDIO **INGEO**

Ing. Lorenzo Corsini e associati
Piazza Cavour n. 14 - 58024 Massa Marittima (GR)
e-mail: studioassociatoingeo@gmail.com
Tel.: 0566902273

Il tecnico:

Ing. Lorenzo Corsini



Elaborato:

Relazione di calcolo strutturale

Data: 17/05/2024

Ubicazione: Banchina IV Novembre, Comune Porto Azzurro

Committente:

Comune di Porto Azzurro
Banchina IV Novembre n.19
57036 Porto Azzurro (LI)

ELABORATO:

RCS

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

La parete d'intervento è situata alle spalle del palazzo comunale di Porto Azzurro, lungo il versante Ovest del rilievo su cui sorge il Forte San Giacomo e si affaccia sul lungomare di Porto Azzurro. Allo stato attuale il versante si presenta come una parete verde caotica composta principalmente da piante grasse, rampicanti e arbusti locali.

L'area di intervento copre un dislivello medio di circa 15,00 m con un angolo di inclinazione di circa 55° e l'estensione, considerata al pari del fabbricato comunale, è di circa 26 m.

L'intervento prevede il consolidamento della parete rocciosa mediante la posa in opera di rete in acciaio a doppia torsione armata con perforazione e posa di chiodature. La rete sarà del tipo ad una resistenza alla trazione superiore a 1.770 N/mm² con filo d'acciaio di diametro 3 mm, dotata di chiodature in barra di diametro 32 mm e tensione di snervamento pari a 500 N/mm².

Le chiodature saranno poste con una maglia di 3.00 x 3.00 mt.

Il sistema di consolidamento con reti ancorate viene impiegato per mitigare l'effetto dello scorrimento superficiale del terreno, in tali condizioni è valida l'ipotesi di pendio infinito. Il metodo applicato si basa sul criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

L'intervento viene realizzato sfruttando le caratteristiche di resistenza della rete metallica e della chiodatura del terreno. La rete metallica a maglie romboidali viene realizzata con fili in acciaio ad alta resistenza e rivestita da uno strato di Al/Zn per proteggerla dalla corrosione. I chiodi vengono disposti come in Figura 1, la funzione principale della chiodatura e delle piastre è quella di trattenere la rete metallica dallo scorrimento indotto dal terreno instabile.

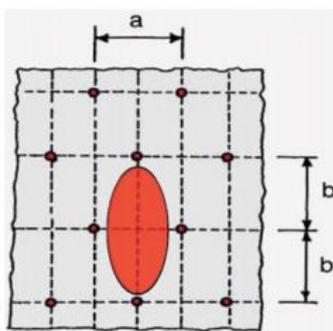


Figura 1-Schema di disposizione dei chiodi

La chiodatura trasmette al substrato stabile gli sforzi superficiali derivanti dal cinematismo di scorrimento, l'effetto di pre-tensione dei chiodi consente invece di uniformare la rete al terreno.

Le condizioni di verifica riguardano:

- l'instabilità superficiale dello strato piano parallelo
- l'instabilità locale del chiodo

Instabilità superficiale dello strato piano parallelo

Si analizza lo scorrimento degli strati di copertura, la chiodatura deve avere una resistenza sufficiente per contrastare gli effetti dello scorrimento superficiale, lo schema statico si riporta in Figura 2.

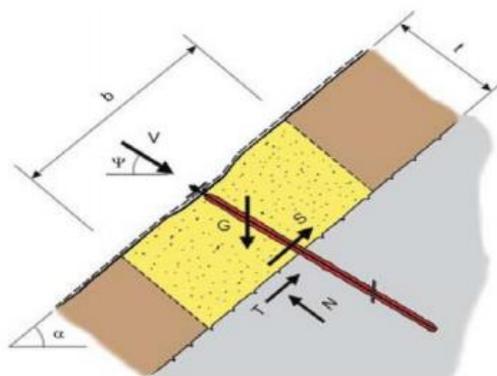


Figura 2-Forze che agiscono sul blocco ancorato

Dove:

G: peso proprio del blocco (identificato dal colore giallo in figura)

T ed N: reazione verticale e tangenziale agente sull'interfaccia di scorrimento

S: sollecitazione di taglio che agisce sul chiodo

t: spessore dello strato superficiale

b: interasse della chiodatura nella direzione di scorrimento

V: forza di pre-tensionamento del sistema

α : inclinazione del versante

ψ : inclinazione dei chiodi rispetto all'orizzontale

Sulla base delle indicazioni riportate sull'Eurocodice 7 occorre effettuare le seguenti verifiche:

- Verifica della resistenza dell'ancoraggio per effetto dello scorrimento del terreno;
- Verifica a punzonamento della rete metallica (perforazione)
- Verifica allo sforzo combinato scivolamento-punzonamento

Verifica della resistenza dell'ancoraggio per effetto dello scorrimento del terreno

Attraverso questa verifica si dimostra che il blocco di larghezza a, lunghezza b e spessore t non scivola sullo strato stabile inclinato di un angolo α .

La condizione di verifica è la seguente:

$$S_d \leq \frac{S_R}{\gamma_{SR}}$$

S_d : sollecitazione di taglio, funzione dei parametri geotecnici del terreno e della forza di pretensione.

S_R : resistenza ultima a taglio del chiodo

γ_{SR} : coefficiente riduttivo sulla resistenza a taglio

Le relazioni di calcolo sono:

$$S_d = \frac{1}{\gamma_{mod}} \cdot \{ \gamma_{mod} \cdot G \cdot \sin \alpha - V_d \cdot \gamma_{mod} \cdot \cos(\Psi + \alpha) - c_d \cdot A - [G \cdot \cos \alpha + V_d \cdot \sin(\Psi + \alpha)] \cdot \tan \varphi_d \}$$

$$G = \gamma_d \cdot a \cdot b \cdot t$$

$$A = a \cdot b$$

$$V_d = V \cdot \gamma_{v1}$$

Dove:

G: il peso morto del corpo scorrevole da analizzare

A: Superficie di scorrimento del corpo da analizzare

V_d : Valore di dimensionamento della forza di pretensionamento applicata per influenza positiva di V

γ_{v1} : Fattore di carico per l'influenza positiva della pretensione

V: Forza di pretensionamento del sistema

Verifica a punzonamento della rete metallica (perforazione)

Questa verifica consente di stabilire se la rete consente di assorbire la forza di pretensione V nella direzione del chiodo senza che si perfori.

La condizione di verifica è:

$$V_{d1} \leq \frac{D_R}{\gamma_{DR}}$$

Dove:

D_R : resistenza a punzonamento della rete metallica

γ_{DR} : Coefficiente riduttivo legato al punzonamento

V_{d1} : Valore di dimensionamento della forza di pretensionamento applicata per influenza negativa di V

$$V_{d1} = V \cdot \gamma_{v2}$$

In cui:

γ_{v2} = Fattore di carico per l'influenza negativa della pretensione

Verifica allo sforzo combinato scivolamento-punzonamento

È una verifica combinata che interessa il chiodo per effetto della sollecitazione di trazione indotta dallo sforzo di pretensione e per effetto del taglio indotto dallo scivolamento del blocco instabile.

La condizione di verifica a punzonamento è espressa dalla seguente relazione:

$$\sqrt{\left\{\frac{V_{d1}}{T_R/\gamma_{VR}}\right\}^2 + \left\{\frac{S_d}{S_R/\gamma_{SR}}\right\}^2} \leq 1$$

I termini dell'argomento della radice vengono esplicitati sopra.

T_R : Resistenza del chiodo alla trazione

γ_{VR} : Coefficiente riduttivo sulla resistenza a trazione

Instabilità locale tra chiodi

Si tratta di instabilità del terreno che si possono generare tra i chiodi, la verifica consente di stabilire se la rete riesca a contenere tali meccanismi e se le forze massime che si generano possono essere assorbite e trasferite al substrato stabile.

Poiché il chiodo viene precaricato dal serraggio del dado, vedi Figura 3, i coni di pressione generati tra due chiodi adiacenti individuano la sezione trasversale del blocco (meccanismo locale) che può scivolare.

Per semplicità la sezione trasversale può essere trasformata in una sezione equivalente rettangolare di larghezza:

$$a_{red} = \left(a - \frac{t}{\tan \delta} - 2\zeta \right)$$

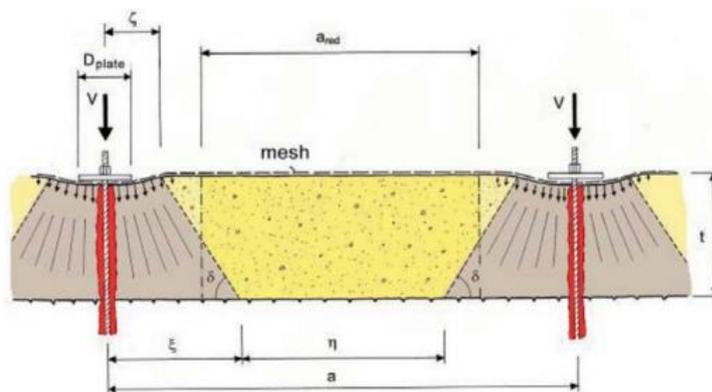


Figura 3 - Sezione del blocco di terreno che può scivolare per effetto del cono di pressione che si genera a seguito del serraggio del dado del chiodo.

Dove:

$D_{Piastra}$: diametro della piastra di ancoraggio

η : distanza tra la base del cono di pressione e i due chiodi adiacenti

V : forza di serraggio

ζ : raggio superiore del cono di pressione

ξ : raggio della base del cono di pressione

δ : angolo di diffusione del cono di pressione

I meccanismi di scorrimento che possono nascere sono indicati in Figura 4, si denotano come meccanismo A e meccanismo B.

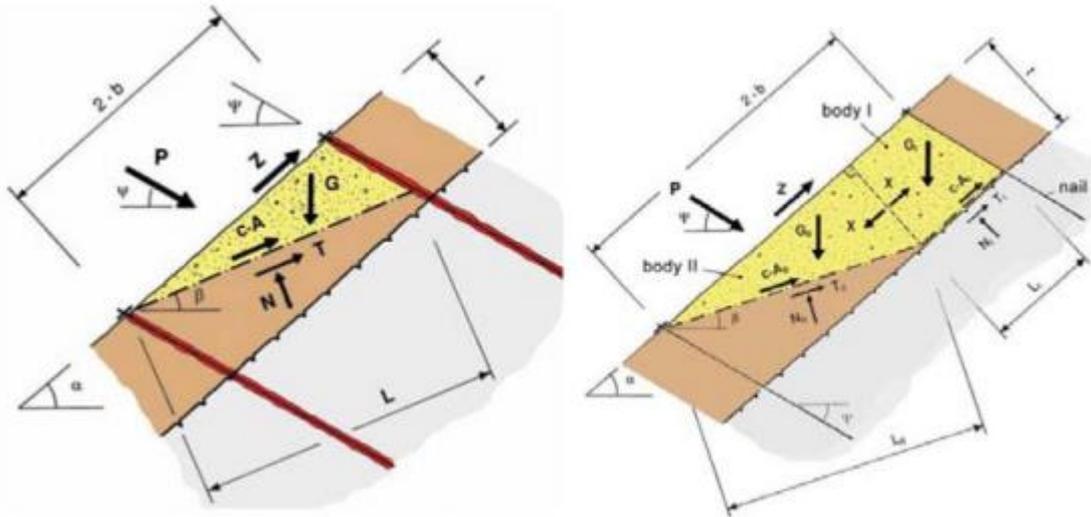


Figura 4- Rottura per meccanismo A e per meccanismo B

Dove:

P: sollecitazione massima sulla rete per effetto della pretensione

c.A: resistenza a taglio sull'interfaccia di scorrimento

Z: forza parallela al pendio

β : angolo di inclinazione del piano di scorrimento del corpo rispetto all'orizzontale

La forza P si determina da condizioni di equilibrio dai due schemi statici relativi ai meccanismi di collasso.

Meccanismo A:

$$\beta = \alpha - \arctan\{t_i/[2b + t_i/\tan(\alpha + \Psi)]\}$$

$$\rho = \alpha - \beta$$

$$h = 2b \cdot \sin \rho$$

$$L_2 = \frac{h}{\tan(\Psi + \beta)} = (2b \cdot \sin \rho) / \tan(\Psi + \beta)$$

$$L_2 = 2b \cdot \sin \rho$$

$$F_1 = h \cdot L_1/2$$

$$F_2 = h \cdot L_2/2$$

$$F = F_1 + F_2$$

$$a_{red} = a - t_i/\tan \delta - 2 \cdot \zeta$$

$$G = F \cdot a_{red} \cdot \gamma_d$$

$$A = (L_1 + L_2) \cdot a_{red}$$

$$P_d = \{G \cdot [\gamma_{mod} \cdot \sin \beta - \cos \beta \cdot \tan \varphi_d] - Z_d \cdot [\gamma_{mod} \cdot \cos(\alpha - \beta) - \sin(\alpha - \beta) \cdot \tan \varphi_d] - c_d \cdot A\} / \{\gamma_{mod} \cdot \cos(\beta + \Psi) + \sin(\beta + \Psi) \cdot \tan \varphi_d\}$$

Dove:

t_i = Spessore dello strato investigato

t = Spessore dello strato da investigare

A = Superfici

Meccanismo B:

È caratterizzato dallo sviluppo di due corpi che interagiscono, la forza di contatto X con cui il corpo trapezoidale preme sul corpo a forma di cuneo può essere determinata dalla seguente relazione:

$$X = \frac{1}{\gamma_{mod}} \cdot \{G_1 \cdot (\gamma \cdot \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \varphi_d) - c_d \cdot A_1\}$$

$$P = \{G_2 \cdot [\gamma_{mod} \cdot \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \varphi_d] + (X - Z_d) \cdot [\gamma_{mod} \cdot \cos(\alpha - \beta) - \sin(\alpha - \beta) \cdot \tan \varphi_d] - c_d \cdot A_2\} / \{\gamma_{mod} \cdot \cos(\beta + \Psi) + \sin(\beta + \Psi) \cdot \tan \varphi_d\}$$

Dove:

$$G_1 = F_1 \cdot a_{red} \cdot \gamma_k \cdot \gamma_\gamma$$

$$G_2 = F_2 \cdot a_{red} \cdot \gamma_k \cdot \gamma_\gamma$$

$$A_1 = L_1 \cdot a_{red}$$

$$A_2 = L_2 \cdot a_{red}$$

$$\rho_1 = \arctan(t/2b)$$

$$L_1 = 2b - t_i / \tan(\alpha - \beta) + t_i / \tan(\alpha + \Psi)$$

$$L_2 = t / \tan(\alpha + \beta)$$

$$F_1 = t_i \cdot [2b - t_i / \tan(\alpha - \beta) + t_i^2 / [2 \cdot \tan(\alpha + \Psi)]]$$

$$F_2 = t_i^2 / [2 \cdot \tan(\alpha - \beta)]$$

$$F = F_1 + F_2$$

$$a_{red} = a - t_i / \tan \delta - 2 \cdot \zeta$$

G_1 = Peso del corpo investigato 1

G_2 = Peso del corpo investigato 1

A_1 = Superficie di scorrimento del corpo investigato 1

A_2 = Superficie di scorrimento del corpo investigato 2

Verifica a taglio della rete per effetto dell'instabilità locale del terreno

Questa verifica consente di valutare se la rete è sufficientemente resistente all'azione di taglio indotta dai meccanismi di collasso.

La rete ha la funzione di trasferire le sollecitazioni indotte da tali meccanismi ai chiodi e attraverso questi al terreno stabile.

La condizione di verifica viene espressa dalla relazione:

$$P_d \leq \frac{P_R}{\gamma_{PR}}$$

Dove:

γ_{PR} = Coefficiente correttivo resistenza a taglio nella direzione del chiodo

Il valore di P_d si ricava come:

$$P_d = \max (P_{\max_mecc_A}; P_{\max_mecc_B})$$

Verifica di resistenza della rete al trasferimento della forza Z (componente della forza di scorrimento parallela al pendio) alla testa del chiodo

Verifica a trazione nella direzione di inclinazione del pendio. Questa verifica consente di stabilire se la rete è in grado di trasferire l'azione Z_d alla testa del chiodo.

$$Z_d \leq Z_R / \gamma_{ZR}$$

Z_d sollecitazione parallela al pendio

Z_R resistenza della rete a trazione

γ_{ZR} coefficiente correttivo sulla resistenza a trazione in direzione parallela al pendio

DATI DI INPUT

Geometria del versante

Spessore dello strato superficiale t [m]: 1

Spessore dello strato investigato dal meccanismo di scorrimento t_i [m]: 0.7

Inclinazione del versante α [°]: 60

Parametri geotecnici

Angolo di resistenza a taglio ϕ [°]: 35

Coesione c [kN/m²]: 0

Peso unità di volume terreno γ [kN/m³]: 22

Dati relativi ai chiodi

Interasse orizzontale a [m]: 3

Interasse lungo il versante b [m]: 3

Inclinazione sull'orizzontale Ψ [°]: 25

Raggio cono di pressione c [m]: 0.25

Forza parallela al pendio Z_d [kN]: 15

Inclinazione cono di pressione rispetto all'orizzontale δ [°]: 45

Studio Tecnico Associato INGEO

Piazza Cavour n. 14 – 58024 Massa M.ma

Tel.: 0566902273 – Fax: 0566902273

e-mail: studioassociatoingeo@gmail.com

**INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA PARETE
ROCCIOSA A MONTE DEL PALAZZO COMUNALE**

Forza di pretensionamento del sistema V [kN]: 30

Resistenza ultima a trazione T_R [kN]: 360Resistenza ultima a taglio S_R [kN]: 178**Dati relativi alla rete**Resistenza ultima, direzione parallela al pendio Z_R [kN]: 30Resistenza a punzonamento nella direzione del chiodo D_R [kN]: 180Resistenza a taglio nella direzione del chiodo P_R [kN]: 90**Coefficienti parziali sui parametri geotecnici e sul modello di calcolo**

Angolo di resistenza a taglio	γ_ϕ	1.25
Coazione	γ_c	1.25
Peso unità di volume	γ_Y	1
Correzione sull'incertezza sul modello	γ_{mod}	1.1

Coefficienti riduttivi sulle resistenze

Fattore di carico per l'influenza positiva della pretensione	γ_{v1}	0.8
Fattore di carico per l'influenza negativa della pretensione	γ_{v2}	1.5
Coefficiente correttivo sulla resistenza a taglio del chiodo	γ_{SR}	1.5
Coefficiente correttivo sulla resistenza a trazione del chiodo	γ_{VR}	1.5
Coefficiente correttivo resistenza a punzonamento nella direzione del chiodo	γ_{DR}	1.5
Coefficiente correttivo Resistenza a taglio nella direzione del chiodo	γ_{PR}	1.5
Coefficiente correttivo sulla resistenza a trazione in direzione parallela al pendio	γ_{ZR}	1.5

Studio Tecnico Associato INGEO

Piazza Cavour n. 14 – 58024 Massa M.ma

Tel.: 0566902273 – Fax: 0566902273

e-mail: studioassociatoingeo@gmail.com

**INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA PARETE
ROCCIOSA A MONTE DEL PALAZZO COMUNALE**

Verifiche	Sollecitazione	U.M.	Condizione di verifica
Resistenza ancoraggio per effetto dello scorrimento dello strato superficiale	106.79	kN	verificata
Resistenza della rete a punzonamento	45.00	kN	verificata
Resistenza del chiodo a punzonamento	0.92	-	verificata
Resistenza del chiodo a scivolamento	0.93	-	verificata
Resistenza della rete a taglio per instabilità locale	58.95	kN	verificata
Resistenza della rete a trazione della direzione parallela al pendio	15	kN	verificata

MATERIALI IMPIEGATI

Rete metallica zincata a doppia torsione a maglia esagonale mm 83x143, tessuta con filo d'acciaio ad alta resistenza, avente classe di resistenza superiore a 1.770 N/mm², allungamento minore o pari al 6%, avente un diametro pari 3.00 mm, rivestimento a forte zincatura con quantitativo non inferiore a 150 g/m².

Fune in trefoli d'acciaio zincato AMZ (Anima Metallica Zincata) per la realizzazione di struttura di sostegno e per orditure di maglia (rete armata) di rivestimenti in rete metallica a doppia torsione. Compresa la zincatura secondo DIN EN 244-2, tesatura, fornitura e posa di redance ed idonea morsettatura. - diametro mm 10/12.

Ancoraggi in barre di acciaio di diametro 32 mm con punto di snervamento per deformazione da trazione pari a 500 N/mm², resistenza a trazione del chiodo pari a minimo 308 KN e resistenza a taglio del chiodo pari a minimo 178 KN.

Massa Marittima, 17/05/2024

IL TECNICO
(ing. Lorenzo Corsini)

