

REGIONE PIEMONTE  
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO  
COMUNE DI LOCANA



PROGETTO

# COMPLETAMENTO OPERE DI DIFESA DALLA CADUTA MASSI in LOC. CASTIGNE'

ELABORATO

## 02-B

OGGETTO

**RELAZIONE SPECIALISTICA:  
Calcolo delle strutture e degli impianti**

DATA

APRILE 2024

Consulenza specialistica: Ing. Rodolfo Luca

FASE PROGETTUALE

## PROGETTO ESECUTIVO

REVIS.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.
00	aprile 2024	progetto esecutivo	S.B.	D.B.	D.B.

redatto da



PREVENZIONE E CURA DEL TERRITORIO  
Davide Bolognini - Geologo

Pont Saint Martin (AO)  
via Caduti del lavoro 11A  
tel.: 0125.1969360  
cell.: 348.5146040  
studiosio2@studiosio2.it  
p.i.: 00635430077

IL SINDACO



## INDICE

<b>1</b>	<b><i>Premessa</i></b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b><i>Quadro normativo</i></b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b><i>Nota sugli Eurocodici</i></b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b><i>Modello di riferimento</i></b>	<b>2</b>
4.1	Azioni	3
4.2	Resistenze	3
<b>5</b>	<b><i>Modello di calcolo</i></b>	<b>4</b>
5.1	Verifica sezione acciaio	5
5.2	Verifica dell'interfaccia acciaio – malta	5
5.3	Verifica dell'interfaccia malta – substrato	6
<b>6</b>	<b><i>Carichi agenti sugli ancoraggi</i></b>	<b>7</b>
6.1	Carichi agenti sugli ancoraggi laterali e di monte	7
6.2	Carichi agenti sulle barre di fondazione dei montanti	8
<b>7</b>	<b><i>Dimensionamento degli ancoraggi flessibili e delle barre di fondazione</i></b>	<b>8</b>
7.1	Ancoraggi flessibili	11
7.1.1	Ancoraggi laterali e di monte	11
7.2	Barre di fondazione dei montanti	11
<b>8</b>	<b><i>Influenza delle azioni sismiche</i></b>	<b>13</b>
<b>9</b>	<b><i>Conclusioni</i></b>	<b>13</b>

## 1 Premessa

La presente relazione affronta il calcolo delle lunghezze delle fondazioni della barriera paramassi RXE-5000 omologata per una energia di assorbimento fino a 5000 kJ, in possesso di marcatura CE e relativo ETA.

Il calcolo delle fondazioni delle barriere paramassi è stato sviluppato in accordo con le Norme Tecniche delle Costruzioni utilizzate in parallelo agli Eurocodici (EC).

## 2 Quadro normativo

Il dimensionamento di un ancoraggio passivo rientra nelle “*Norme per le opere interagenti con i terreni e con le rocce, per gli interventi nei terreni e per la sicurezza dei pendii*” delle NTC, mentre è normato dall'Eurocodice 7 “*Progettazione geotecnica*”.

Le norme cui si fa riferimento sono le seguenti:

- D.M 17.01.2018 – Norme tecniche per le costruzioni
- EN1997-1 Progettazione Geotecnica
- ETAG 027 – Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits
- Raccomandazioni AICAP “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce” giugno 2012

## 3 Nota sugli Eurocodici

Gli Eurocodici sono stati sviluppati in ambito europeo, per armonizzare gli aspetti progettuali dei paesi membri, utilizzando come approccio la progettazione agli stati limite.

Negli Eurocodici, così come nelle Norme Tecniche per le Costruzioni, si utilizzano dei coefficienti di sicurezza parziali, da applicare o alle azioni, o alle resistenze o ad entrambi, in funzione dell'approccio utilizzato. Il valore dei coefficienti di sicurezza utilizzato è indicato a livello Europeo e viene poi lasciata alle singole nazioni la possibilità di variare questi valori in funzione della propria specificità.

Gli Eurocodici sono stati la base per la redazione delle Norme Tecniche, che ne recepiscono non solo lo spirito ma anche l'impostazione. L'applicazione degli Eurocodici deve essere fatta con conoscenza del fenomeno e con cognizione di causa, in quanto la scelta dell'approccio progettuale e dei coefficienti di sicurezza può influire molto sul risultato finale.

## 4 Modello di riferimento

Per la realizzazione degli elementi di connessione tra terreno e struttura nella messa in opera delle barriere paramassi si opera nel seguente modo:

1. Si realizza un foro di lunghezza e diametro adeguati
2. Si inserisce nel foro un elemento metallico
3. Si inietta miscela cementizia per riempire l'intercapedine tra elemento metallico e foro

Per il corretto dimensionamento bisogna quindi considerare i seguenti elementi:

- la verifica della sezione di acciaio
- la verifica dell'adesione acciaio – malta
- la verifica dell'adesione malta – substrato

Per la progettazione strutturale degli ancoraggi si deve verificare la seguente disequaglianza:

$$a) \quad E_D \leq R_D$$

dove:

- $E_D$  sono le azioni o gli effetti delle azioni di progetto
- $R_D$  sono le resistenze o gli effetti delle resistenze di progetto

#### **4.1 Azioni**

Le azioni che sollecitano l'ancoraggio sono azioni che non derivano dallo stato di esercizio della struttura metallica quanto piuttosto da un evento eccezionale (in termini di probabilità di accadimento), ovvero l'urto del "masso di progetto".

Ci si riferisce quindi alla combinazione eccezionale 2.5.6 delle Norme Tecniche, ovvero:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_{jk} \Psi_{jk} Q_{jk}$$

Si deve inoltre notare che i valori delle azioni agenti sugli ancoraggi sono misurati durante i test in vera grandezza, come prescritto dalle norme di riferimento EOTA ETAG 027. I carichi massimi agenti sulle fondazioni durante la prova in vera grandezza secondo l'ETAG 027 corrispondono al MEL ("maximum energy level") e sono queste le azioni che si prendono in considerazione per la determinazione del tipo e lunghezza degli ancoraggi, con approccio a SLU.

#### **4.2 Resistenze**

Le resistenze considerate nella a) hanno significati diversi in funzione della verifica che si sta analizzando.

Fattori di resistenza parziale possono essere applicati sia alle proprietà del terreno (X), sia alle resistenze (R) o a entrambi i parametri.

Come anticipato si prendono in considerazione tre verifiche: della sezione di acciaio, dell'interfaccia acciaio-malta e dell'interfaccia malta- substrato.

In generale si ha:

$$R_D = R(y_F \cdot F_{Re\ p} ; X_k / M ; a_D)$$

oppure

$$R_D = R(y_F \cdot F_{Re\ p} ; X_k ; a_D / y_R)$$

oppure

$$R_D = R(\gamma_F \cdot F_{Rep}; X_k / M; a_D / \gamma_R)$$

dove:

- $F_{Rep}$  sono le azioni rappresentative (se influenzano la resistenza)
- $X_k$  sono i parametri dei materiali
- $a_D$  è l'accelerazione di progetto, nel caso sismico
- $M$  sono i fattori parziali per il terreno
- $R$  sono i fattori parziali per le resistenze

La resistenza di progetto degli ancoraggi  $R_d$ , è determinata in questo caso con metodi di calcolo, basati sui risultati di prove in sito e di laboratorio.

Si utilizza un approccio unico per tutti gli ancoraggi e nello specifico si assimilano a pali di fondazione e le verifiche vengono eseguite considerando l'approccio A1+M1+R3 indicato per i pali trivellati, (Tabella 6.4.II – Cap. 6 – Norme Tecniche per le Costruzioni 2018); per cui  $\gamma_R$  vale 1,25 a trazione e 1,3 a compressione.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

**Tabella 1. Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.**

Inoltre deve essere valutata la resistenza a sfilamento e ridurre il valore caratteristico di un fattore di correlazione ( $\xi_a$ ) che dipende sia della modalità con cui è stata definita la resistenza allo sfilamento (a. dai risultati di prove di progetto su ancoraggi di prova; b. con metodi di calcolo analitici, dai valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati di prove in sito e/o di laboratorio) sia della tipologia di ancoraggi considerati.

## 5 Modello di calcolo

Si riassumono nel seguito i modelli di calcolo per ogni verifica considerata:

1. verifica della sezione di acciaio
2. verifica dell'interfaccia acciaio – malta
3. verifica dell'interfaccia malta – substrato

Dopo aver eseguito le verifiche (2) e (3) si considera la lunghezza di ancoraggio maggiore, a favore di sicurezza.

## 5.1 Verifica sezione acciaio

Per questa verifica, essendo la tipologia di ancoraggio definita dal costruttore ed essendo le azioni agenti altrettanto fornite dal costruttore, ci si preoccupa semplicemente di verificare che la formula a) sia soddisfatta come disequazione, che nel caso specifico si esplicita nel seguente modo:

b)  $F_d \leq f_{yc} \cdot A / \gamma_s = R_d$

c)  $F_d \leq f_{yc} \cdot A / \gamma_s \cdot \sqrt{3} = R_d$

dove:

- $F_D$  è il valore di progetto dell'azione sollecitante
- $f_{yc}$  è il valore rappresentativo della resistenza a snervamento dell'ancoraggio
- $A$  rappresenta la sezione dell'acciaio
- $\gamma_s$  è il valore del fattore parziale dell'acciaio, pari a 1,15
- $R_D$  la resistenza di progetto dell'ancoraggio

## 5.2 Verifica dell'interfaccia acciaio – malta

In questo caso la formula a) si esplicita nel seguente modo:

d)  $F_d \leq (\tau_{a-m} / \gamma_m) \cdot S_{Lat} \cdot L$

dove:

- $F_D$  è l'azione di progetto
- $\gamma_M$  è il fattore parziale per l'adesione acciaio - malta, pari a 1,5
- $\tau_{a-m}$  è l'adesione acciaio-malta
- $S_{Lat}$  è la superficie effettiva di contatto malta – acciaio
- $L$  è la lunghezza dell'ancoraggio

Per l'adesione acciaio - malta si ha la seguente formulazione:

e)  $\tau_{a-m} = f_{bk} / 1,5$

Da cui sostituendo le equazioni sotto riportate diventa:

$$\tau_{a-m} = (2,25 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,3 f_{ck}^{2/3}) / 1,5$$

$$f_{bk} = 2.25 \cdot \eta \cdot f_{ctk} ;$$

dove  $\eta = 1$  per diametri  $\leq 32$  e pari a  $\eta = \frac{(132-\phi)}{100}$  per barre con diametro superiore.

$$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

Dove  $f_{ck}$  è la resistenza caratteristica della malta di iniezione.

In caso di ancoraggi in barra la superficie laterale è quella nominale:

$$S_{Lat} = \pi d$$

dove  $d$  è il diametro della barra.

In caso di ancoraggio flessibili si ha la seguente equazione:

$$S_{Lat} = \pi d_{ancoraggio}$$

Dove  $d_{ancoraggio}$  è il diametro utile dell'ancoraggio flessibile considerato.

Dalla d), inserendo la formula e), in funzione del caso analizzato, si ricava la lunghezza dell'ancoraggio.

$$f) \quad L_1 \leq \frac{\gamma_M \cdot F_D}{S_{lat} \cdot \tau_{a-m}}$$

### 5.3 Verifica dell'interfaccia malta – substrato

In questo caso la formulazione a) assume la seguente forma:

$$g) \quad F_D \leq R_{ac} / \gamma_R$$

- dove:
- $R_{ac}$  valore massimo di resistenza a sfilamento
  - $\gamma_R$  è il fattore di sicurezza parziale
  - $F_D$  è l'azione di progetto sull'ancoraggio

Mentre  $R_{ac}$  è pari a:

$$h) \quad R_{ac} = \pi D_s \cdot L \cdot (q_s / \xi_a)$$

- $D_s$  è il diametro reale del bulbo, considerando un coefficiente maggiorativo a seconda del substrato presente e il tipo di iniezione utilizzato;

- $L$  è la lunghezza dell'ancoraggio;
- $q_s$  è la resistenza unitaria limite allo scorrimento;
- $\xi_a$  è il fattore parziale sulla determinazione di  $q_s$ .

Il diametro reale del bulbo viene calcolato con la seguente formula, inserendo il coefficiente maggiorativo  $\alpha_d$  (a seconda della tecnica di iniezione utilizzata) e il diametro di perforazione  $D_d$ .

$$D_s = \alpha_d \cdot D_d$$

Sostituendo la formula h) nella g) e risolvendola per la lunghezza di ancoraggio, si ottiene:

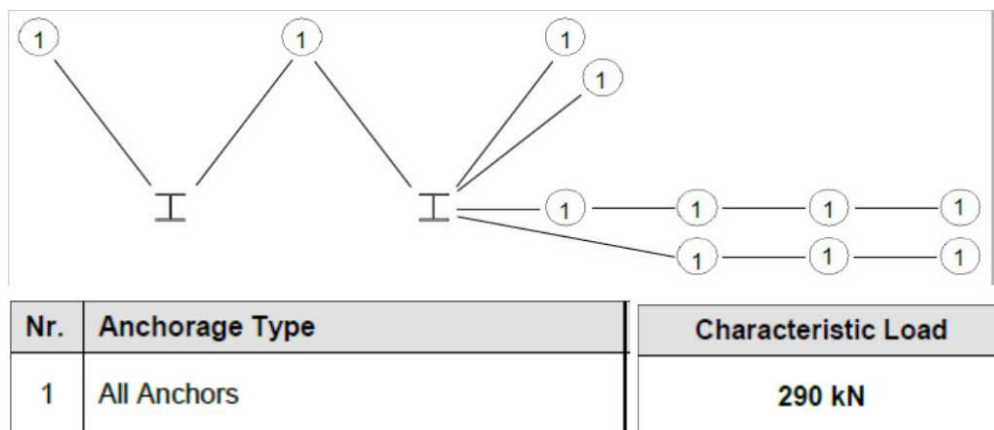
$$i) \quad L_2 \geq (\gamma_R \cdot \xi_a \cdot F_D) / (\pi \cdot D_s \cdot q_s)$$

## 6 Carichi agenti sugli ancoraggi

Per il dimensionamento degli ancoraggi delle barriere si fa riferimento ai valori misurati nel corso della prova in vera grandezza MEL (Maximum Energy Level) eseguita al campo prove di Walenstadt, in accordo alle procedure normate nelle EOTA ETAG 027.

### 6.1 Carichi agenti sugli ancoraggi laterali e di monte

Gli ancoraggi di monte e laterali sono distribuiti come rappresentato nello schema sotto indicato. Nella tabella sottostante il disegno sono riportati i carichi agenti a seconda della configurazione considerata.

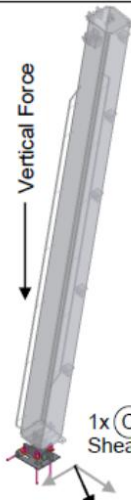
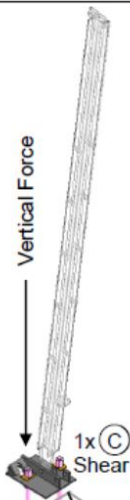
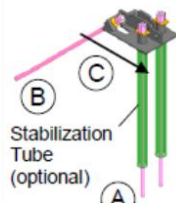
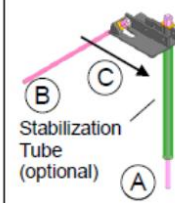


Questi sono i carichi definiti durante dopo le prove e corrispondono ai carichi massimi misurati in campo prove amplificati di un coefficiente correttivo per tener conto della variabilità delle condizioni di sito. Secondo l'approccio utilizzato (carico eccezionale, par. 2.5.6 NTC), questi sono i valori da utilizzare per il calcolo e la verifica.



## 6.2 Carichi agenti sulle barre di fondazione dei montanti

A seconda del tipo di substrato su cui si installano le fondazioni, le azioni agenti variano come illustrato nella figura sottostante. Per il sito in esame si è scelta la configurazione 1, con la presenza di una barra obliqua e una/due barre verticali a seconda che si tratti di montanti di bordo o intermedi.

BORDER POST				MIDDLE POST	
	Soil	Rock / Concrete	Soil	Rock / Concrete	
	2x GEWI NG 40 1x GEWI NG 40	2x GEWI NG 32	1x GEWI NG 40 1x GEWI NG 32 <sup>1)</sup>	2x GEWI NG 32	
	<b>Foundation</b> Recommendation 0.4 x 1.2 x 1.2 m		<b>Foundation</b> Recommendation 0.4 x 1.0 x 0.5 m	<b>Foundation</b> Acc. To project eng.	
					

Secondo quanto riportato nell'allegato con i carichi sugli ancoraggi, le azioni agenti sulle barre di fondazione assumono i valori riportati in funzione del terreno di fondazione e del tipo di fondazione realizzata (interazione terreno-struttura).

		Border Post	Middle Post
A	Max. Vertical Force per Anchor	300 kN	290 kN
B	Inclined Anchor 45°	60 kN	210 kN
C	Shear Force, parallel to base Soil	200 kN	140 kN
D	Shear Force, parallel to base Rock	250 kN	265 kN

Tali azioni sono ricavate in backanalysis dai risultati delle prove in vera grandezza, durante le quali le celle di carico registrano le azioni scaricate sulla piastra di base. A partire da queste evidenze vengono definite le azioni sopra indicate, tramite modelli numerici agli elementi finiti tarati sulle evidenze del campo prove. Come già esposto, considerando i carichi come azioni eccezionali, i valori riportati sono valori di progetto da utilizzare nei calcoli.

## 7 Dimensionamento degli ancoraggi flessibili e delle barre di fondazione

Il presente capitolo si propone di stabilire e definire le caratteristiche delle fondazioni e degli ancoraggi. Di seguito vengono ripresi nuovamente i parametri necessari per il dimensionamento, riassumendo i valori utilizzati nei calcoli.

1)  $F_d$  azione di progetto;

Ancoraggi flessibili laterali e di

monte: Azione a trazione = 290 kN;

Ancoraggi in barra:

Azione di taglio [C] = 200 kN / 140 kN

Azione a compressione sulla singola barra [A] = 300 kN / 290

kN Azione a trazione sulla singola barra [B] = 60 kN / 210 kN

Per quanto riguarda le barre, sono riportati due valori, per tenere conto del fatto che si considerino i montanti intermedi o quelli di bordo. Rispettivamente il primo valore corrisponde ai montanti di bordo e il secondo a quelli intermedi.

2)  $R_d$  resistenza di progetto ancoraggi (già ridotta di un fattore pari a 1.15);

Ancoraggi flessibili laterali e di monte:

GA-7016 / 300 = 300 kN

Ancoraggi in barra diametro 40 mm ( $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ ):

$$\begin{aligned} \text{Resistenza a trazione / compressione} &= 546 \text{ kN} & R_d &= \frac{f_{yc}}{y_s} \frac{A}{\sqrt{3}} = \frac{500 \cdot 1.257}{1,15 \sqrt{3}} \\ \text{Resistenza a taglio} &= 315 \text{ kN} & R_d &= \frac{f_{yc}}{y_s} \frac{A}{\sqrt{3}} = \frac{500 \cdot 1.257}{1,15 \sqrt{3}} \end{aligned}$$

Ancoraggi in barra diametro 32 mm ( $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ ):

$$\begin{aligned} \text{Resistenza a trazione / compressione} &= 350 \text{ kN} & R_d &= \frac{f_{yc}}{y_s} \frac{A}{\sqrt{3}} = \frac{500 \cdot 804}{1,15 \sqrt{3}} \\ \text{Resistenza a taglio} &= 202 \text{ kN} & R_d &= \frac{f_{yc}}{y_s} \frac{A}{\sqrt{3}} = \frac{500 \cdot 804}{1,15 \sqrt{3}} \end{aligned}$$

3)  $\tau_{a-m}$  adesione acciaio-malta;

Dalla formulazione e), considerando un valore di  $f_{ck}$  pari a  $20 \text{ N/mm}^2$ , si ottiene  $\tau_{a-m} = 2.14 \text{ N/mm}^2$  e barre con diametro pari a 40 mm e pari a  $\tau_{a-m} = 2.32 \text{ N/mm}^2$  per barre con diametro pari a 32 mm.

4)  $y_M$  fattore parziale per l'adesione malta-acciaio

Pari a 1,5.

5)  $S_{Lat}$  è la superficie effettiva di contatto malta – acciaio

$S_{Lat}$  barre con diametro 40 mm =  $(2\pi r) 126 \text{ mm}$

$S_{Lat}$  barre con diametro 32 mm =  $(2\pi r) 100 \text{ mm}$

$S_{Lat}$  ancoraggi flessibili GA-7016 / 300 =  $(2\pi r)$  119 mm

6)  $R_{ac}$  valore massimo di resistenza a sfilamento

Calcolato con la formula h) e dipendente dai seguenti parametri 7), 8), 9), 10):

7)  $D_s$  è il diametro reale del bulbo considerando un coefficiente maggiorativo ( $\alpha_s$ )

Ancoraggi flessibili e in barra:

$D_d$  [diametro di perforazione] = 90 mm

$\alpha_s$  a favore di sicurezza si ipotizza pari a 1,0; qualora si abbiano indicazioni specifiche si può valutare la tabella delle Raccomandazioni AICAP, nel caso di iniezione globale con processo di messa in pressione unico (IGU), per terreno .....

TERRENO	Valori di $\alpha$		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari mamosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

8)  $L$ , lunghezza degli ancoraggi

9)  $\xi_a$  fattore parziale sulla determinazione di  $q_s$

$\xi_a$  pari a 1,7 secondo quanto riportato per i pali di fondazione. Tali valori sono i valori massimi possibili in quanto non presenti prove di estrazione da cui ricavare un parametro di adesione malta-substrato.

10)  $q_s$  è la resistenza unitaria limite allo scorrimento

La resistenza unitaria viene ricavata valutando le caratteristiche litologiche del substrato e da queste tramite riferimenti bibliografici si è considerato un valore di resistenza unitaria che risulta essere pari a 0,3 N/mm<sup>2</sup>. Tale valore è valido per un substrato detritico.

11)  $\gamma_R$  fattore di sicurezza parziale sulla resistenza caratteristica

Pari a 1,3 per gli ancoraggi in compressione.

Pari a 1,25 per gli ancoraggi in trazione.

## 7.1 Ancoraggi flessibili

### 7.1.1 Ancoraggi laterali e di monte

Poiché i carichi agenti sugli ancoraggi di monte e su quelli laterali sono gli stessi, le verifiche sulle lunghezze vengono riassunte nello stesso capitolo qui descritto.

Verifica della sezione di acciaio:

$$F_D \leq R_D \qquad 290 \text{ kN} \leq 300 \text{ kN} \qquad [\text{soddisfatto}]$$

Verifica sfilamento acciaio – malta

$$L_1 \geq (y_m \cdot F_D) / S_{lat} \tau_{acciaio-malta} = (1,5 \cdot 290.000) / \pi \cdot 38,1 \cdot 2,32 = 1.698 \text{ mm}$$

Verifica sfilamento malta di iniezione - substrato

$$L_2 \geq (y_r \cdot \xi_a \cdot F_D) / \pi \cdot D_s \tau_{substrato-malta} = (1,25 \cdot 1,7 \cdot 290.000) / \pi \cdot 90 \cdot 0,35 = 6.227 \text{ mm}$$

**Considerando il valore massimo tra L1 e L2 ed approssimando all'unità superiore, la lunghezza di ancoraggio diviene pari a 7.0 m. Come anticipato, tale valore è valido sia per gli ancoraggi laterali sia per quelli di monte.**

## 7.2 Barre di fondazione dei montanti

La verifica deve essere diversificata a seconda che si considerino i montanti di bordo o i montanti intermedi.

Verifica a trazione e compressione della sezione di acciaio

Montanti di bordo →  $300 \text{ kN} \leq 546 \text{ kN}$  [soddisfatta la verifica a compressione]

Montanti intermedi →  $290 \text{ kN} \leq 546 \text{ kN}$  [soddisfatta la verifica a compressione]

Montanti di bordo →  $60 \text{ kN} \leq 546 \text{ kN}$  [soddisfatta la verifica a trazione]

Montanti intermedi →  $210 \text{ kN} \leq 350 \text{ kN}$  [soddisfatta la verifica a trazione]

In quest'ultima verifica si considera la presenza di una barra obliqua GEWI del 32 mm, da utilizzarsi solo per i montanti intermedi e solo per le barre oblique.

#### Verifica a taglio della sezione di acciaio

Si ipotizza che la forza di taglio si scarichi in maniera uniforme sulle barre. Per cui, sui montanti di bordo l'azione viene suddivisa sulle tre barre mentre sui montanti intermedi l'azione viene suddivisa sulle due barre.

Montanti di bordo  $\rightarrow$   $FD \leq RD$   $200 / 3 = 66.7 \text{ kN} \leq 315 \text{ kN}$  [soddisfatto]  
Montanti intermedi  $\rightarrow$   $FD \leq RD$   $140 / 2 = 70 \text{ kN} \leq 202 \text{ kN}$  [soddisfatto]

Per i montanti intermedi si considera la resistenza minima che si ha nel caso di barra da 32 mm.

#### Verifica sfilamento acciaio-malta

La verifica viene fatta considerando l'azione massima agente che equivale all'azione che si scarica a compressione. Le lunghezze determinate a favore di sicurezza si considerano valide anche per le barre in trazione.

Montanti di bordo:

$$L_1 \geq (y_m \cdot F_D) / S_{lat} \tau_{acciaio-malta} = (1,5 \cdot 300.000) / \pi \cdot 40 \cdot 2,14 = 1.673 \text{ mm}$$

Montanti intermedi:

$$L_1 \geq (y_m \cdot F_D) / S_{lat} \tau_{acciaio-malta} = (1,5 \cdot 290.000) / \pi \cdot 40 \cdot 2,14 = 1.618 \text{ mm}$$

#### Verifica sfilamento malta di iniezione-substrato

La verifica viene fatta considerando l'azione massima agente che equivale all'azione che si scarica a compressione. Le lunghezze determinate a favore di sicurezza si considerano valide anche per le barre in trazione.

Montanti di bordo:

$$L_2 \geq (y_r \cdot \xi_a \cdot F_D) / \pi D_s \tau_{substrato-malta} = (1,3 \cdot 1,7 \cdot 300.000) / \pi \cdot 90 \cdot 0,35 = 6.699 \text{ mm}$$

Montanti intermedi:

$$L_2 \geq (y_r \cdot \xi_a \cdot F_D) / \pi D_s \tau_{substrato-malta} = (1,3 \cdot 1,7 \cdot 290.000) / \pi \cdot 90 \cdot 0,35 = 6.476 \text{ mm}$$

**Considerando il valore massimo tra L1 e L2 ed approssimando all'unità superiore. la lunghezza di ancoraggio diviene pari a 7.0 m.**

## 8 Influenza delle azioni sismiche

Per quanto riguarda l'influenza delle azioni sismiche sulle fondazioni si valuta quanto e se queste debbano essere considerate nel dimensionamento. In pratica per il calcolo delle azioni sulle fondazioni in caso di sisma si ricade nella situazione delle combinazioni rare di forze, quindi si considerano solo la forza peso e le azioni indotte dal sisma, con i coefficienti di sicurezza previsti dalla normativa in vigore. Tale azione, che dipende principalmente dal peso stesso della barriera e dai coefficienti sismici del luogo, risulta significativamente inferiore rispetto alle azioni sollecitanti nel caso di impatto di un masso. Si parla di rapporto tra le azioni di circa 1 a 20; per tale ragione le azioni sismiche possono essere trascurate nel calcolo delle fondazioni. Si può quindi concludere che se le fondazioni sono calcolate tenendo conto della natura dei terreni e delle azioni di progetto fornite dai risultati dei test in vera grandezza, non sussiste alcun pericolo per la struttura indotto dalla sollecitazione sismica definita per la zona in esame.

## 9 Conclusioni

Alla luce delle Norme Tecniche per le Costruzioni, sono state verificate le sezioni di acciaio e le lunghezze di ancoraggio del sistema di fondazioni della barriera paramassi per la trattenuta di energie fino a 5000 kJ e con una altezza utile pari a 6,0 m / 7.0 m, certificate secondo le norme di prodotto vigenti a livello europeo (intra CEE) e italiano. La scelta delle barriere suddette è motivata dal fatto che esse godono della marcatura CE e relativo ETA e rappresentano come tali lo stato dell'arte della qualità nell'ambito della protezione di uomini e cose.

Il calcolo è stato svolto avendo come dati i valori delle azioni scaricate dalla struttura alle fondazioni per la prova al "MEL" secondo le EOTA ETAG 027, nonché le caratteristiche dei terreni presenti in sito. Di seguito si illustra il riassunto dei risultati:

Descrizione	Tipologia ancoraggio	Lunghezza [m]
Ancoraggio laterale	GA – 7016 / 300	7,00
Ancoraggio monte		7,00
Tirafondi	GEWI 32 mm / GEWI 40 mm	7,00

**Tabella 2. Riepilogo della lunghezza degli ancoraggi.**