



REGIONE LAZIO

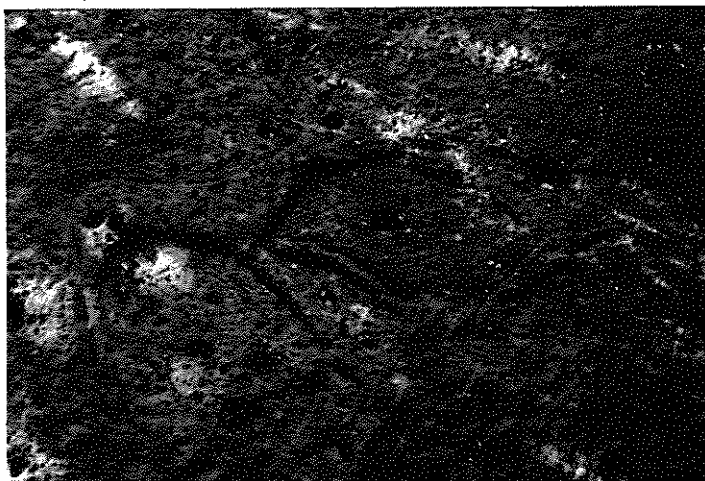
Dipartimento Territorio
Direzione Regionale Ambiente e
Cooperazione tra i Popoli

**SISTEMA REGIONALE DELLE
AREE NATURALI PROTETTE**



PARCO REGIONALE MARTURANUM

PROGRAMMAZIONE REGIONALE 2007-2013
PER IL SISTEMA REGIONALE DELLE AREE NATURALI PROTETTE

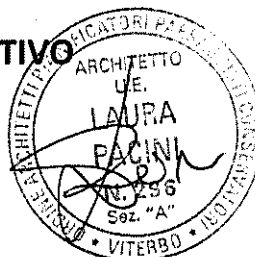


**RETE SENTIERISTICA PER L'ACCESSIBILITA'
(CUP G72D08000240006)**

PROGETTO ESECUTIVO

Progetto architettonico: arch. Laura Pacini

Progetto strutturale: Ing. Alessandro Stefanoni



RELAZIONE DI CALCOLO

IL DIRETTORE DEL PARCO
Dott. Stefano Cellini



Indice

1. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	2
2. BIBLIOGRAFIA	2
3. MATERIALI.....	3
4. ANALISI DEI CARICHI.....	5
4.1 Peso proprio	5
4.2 Spinta idraulica acqua nei giunti	5
4.3 Azione sismica	6
5. VERIFICHE	7
5.1 Cuneo 1	8
5.2 Cuneo 2	10
5.3 Cuneo 3	12
5.4 Cuneo 4	14
5.5 Cuneo 5	16
5.6 Cuneo 6	18

RELAZIONE DI CALCOLO

1. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- **D.M. 14 gennaio 2008**
Nuove norme tecniche per le costruzioni
- **Circolare 2 febbraio 2009 n.617**
Nuova circolare delle norme tecniche per le costruzioni
- **Eurocodice 7**
Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

2. BIBLIOGRAFIA

- **Meccanica delle Rocce**
- **Elementi di geotecnica – Pietro Colombo**
- **Fondazioni – Carlo Viggiani**

3. MATERIALI

- Ancoraggio in acciaio B450C;
- Bulloneria;
- Piastra in acciaio S355;
- Fune in acciaio;
- Resine in cartucce;
- Malta cementizia;
- Muratura in blocchi di tufo.

CALCESTRUZZO PER MAGRONE C16/20

ANCORAGGIO IN ACCIAIO (zincato elettroliticamente secondo UNI EN 1461:2009):

Acciaio in barre ad aderenza migliorata B450C controllato in stabilimento

- Tensione di rottura $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
- Tensione di snervamento $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$

ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA (zincato elettroliticamente secondo UNI EN 1461:2009):

- Qualità dell'acciaio S355
- Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$
- Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
- Modulo elastico $E = 210.000 \text{ MPa}$
- Coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$
- Coefficiente di dilatazione termica $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Peso specifico $\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$

BULLONERIA AD ALTA RESISTENZA CLASSE 8.8/6S zincata elettroliticamente (secondo UNI EN 1461:2009) e composta da

- Dadi 6S UNI 3740 e 5713
- Rosette acciaio C50 UNI 7845

FUNE IN ACCIAIO INOX:

Formazione 6x(9+9+1) + IWRC

- Tensione caratteristica di rottura $f_{ptk} \geq 1.770 \text{ MPa}$
- Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale $f_{p(1)k} \geq 1.570 \text{ MPa}$

RESINE IN CARTUCCE:

- Resina poliestere bi componente composta da una resina sintetica ed un catalizzatore.
- L'iniezione e la miscela deve essere in accordo con le raccomandazioni del produttore.

MALTA CEMENTIZIA

- Malta pre-miscelata tixotropica a ritiro compensato;
- Resistenza minima a compressione (24 h) $R_{ck} > 10 \text{ MPa}$
- Resistenza minima a compressione (28 gg) $R_{ck} > 40 \text{ MPa}$
- Rapporto acqua – cemento $0,33 < a/c < 0,35$
- La miscela deve essere utilizzata entro un ora dall'inizio del mix dei componenti

MURATURA IN BLOCCHI DI TUFO

- resistenza media a compressione della muratura $f_m = 18 \text{ kg/cm}^2$
- resistenza media a taglio della muratura $f_{vk0} = 0,35 \text{ kg/cm}^2$
- modulo di elasticità normale medio $E = 11.500 \text{ kg/cm}^2$
- modulo di elasticità tangenziale medio $E = 3.600 \text{ kg/cm}^2$
- peso specifico medio della muratura $\rho = 1.600 \text{ kg/m}^3$

4. Analisi dei carichi

Le azioni di calcolo considerate sono le seguenti:

1. permanenti:
 - peso proprio ammasso roccioso
2. variabili:
 - spinta idraulica acqua nei giunti
 - azione sismica

4.1 *Peso proprio*

- Si riportano le caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso:

Peso specifico	1600 kg/m ³
Angolo d'attrito	45°
Angolo d'attrito ridotto (2/3 – verifica a scorrimento)	30°
Coesione	0 kg/cm ²
• Peso specifico muratura in blocchi di tufo:	1600 kg/m ³

4.2 *Spinta idraulica acqua nei giunti*

Si è ipotizzato a favore di sicurezza, che l'acqua si incanala all'interno delle fratture a tergo del cuneo roccioso per un'altezza pari a quella del fronte roccioso.

Peso specifico	1000 kg/m ³
----------------	------------------------

4.3 Azione sismica

In riferimento al *D.M. 14 gennaio 2008 - "Nuove norme tecniche per le costruzioni"*, in particolare rispetto alla nuova zonazione della Regione Lazio, il sito oggetto dell'intervento è collocato in zona 3A.

In particolare individuata la posizione del sito oggetto di studio (lat. 42.252500 e long. 12.066940), si sono ricavati i valori di:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

riferiti ad una probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R del 10% (SLV), come riportato al *punto 3.2.1 del D.M. 14 gennaio 2008*. La vita nominale dell'intervento, V_N , è di 50 anni. Appartenendo l'intervento alla *III* classe d'uso ($C_U = 1.5$), il periodo di riferimento, V_R , è pari a 75 anni. La categoria del sottosuolo considerata, a favore di sicurezza, è la *D*.

Quindi i coefficienti considerati sono:

$$a_g = 0.1198;$$

$$F_0 = 2.45;$$

$$T_C^* = 0.2872.$$

L'accelerazione totale massima attesa al sito vale:

$$a_{max} = a_g S_S S_T = 0.3024$$

dove:

$$S_S = 1.8;$$

$$S_T = 1.4.$$

La massa dell'ammasso roccioso è stata moltiplicata per l'accelerazione totale massima, ricavando quindi l'azione sismica.

5. Verifiche

Si riportano di seguito le verifiche effettuate sui sistemi d'ancoraggio predisposti per le pareti rocciose che presentano rischio di distacco (intervento 1, 2, 3, 4 e 5).

In particolare si è verificato:

- La lunghezza d'ancoraggio, tale da contrastare l'azione di tiro del bullone da roccia;
- La pressione di contatto all'interfaccia piastra - superficie rocciosa, in modo tale da non produrre rotture locali;
- La piastra d'ancoraggio a presso flessione.

Per quanto riguarda l'intervento 6, si è proceduto alla verifica della scarpa di sostegno realizzata in blocchi di tufo.

Le verifiche sono state svolte implementando un foglio elettronico di calcolo.

Verifica

$$q_{SLE} \leq q_t \quad \text{VERIFICA}$$

Verifica piastra d'ancoraggio:

Pressione max allo SLU

$$q_{SLU} = 3,7 \text{ MPa}$$

Momento flettente

$$M_{SLU} = 3652162 \text{ Nmm}$$

Tensione

$$\sigma_{SLU} = 274 \text{ MPa}$$

Verifica

$$\sigma_{SLU} \leq f_{yd} \quad \text{VERIFICA}$$

Verifica lunghezza d'ancoraggio:

Tensione di taglio ammissibile

$$\tau_{amm} = 5,0 \text{ kg/cm}^2$$

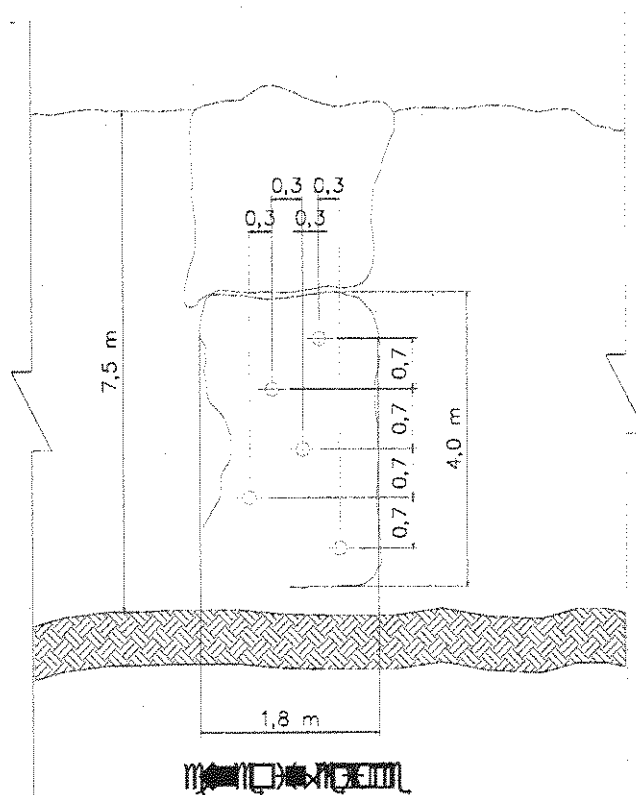
Forza di taglio ammissibile

$$T_{amm} = 14074 \text{ kg}$$

Verifica

$$Q_{SLE} \leq T_{amm} \quad \text{VERIFICA}$$

5.2 Cuneo 2



VERIFICHE SISTEMA D'ANCORAGGIO

Parametri di calcolo:

Larghezza cuneo effettiva	B =	2 m
Dimensione piastra ancoraggio (quadrata)	a =	200 mm
Spessore piastra ancoraggio	s =	20 mm
Modulo di resistenza	W =	13333 mm ³
Resistenza caratteristica di snervamento acciaio S355	f _{yk} =	355 MPa
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	γ _{M0} =	1,05
Resistenza di calcolo di snervamento acciaio S355	f _{yd} =	338 MPa
Numero bulloni da roccia	n _b =	5
Lunghezza d'ancoraggio	L _a =	280 cm
Diametro foro	d _f =	3,2 cm
Forza complessiva max/tirante (SLU)	Q _{SLU} =	9841 kg
Forza complessiva max/tirante (SLE)	Q _{SLE} =	7570 kg

Verifica pressione di contatto interfaccia piastra/roccia:

Resistenza a compressione tufo	$q_t =$	50 kg/cm ²
Pressione max in condizioni d'esercizio	$q_{SLE} =$	19 kg/cm ²
Verifica	$q_{SLE} \leq q_t$	VERIFICA

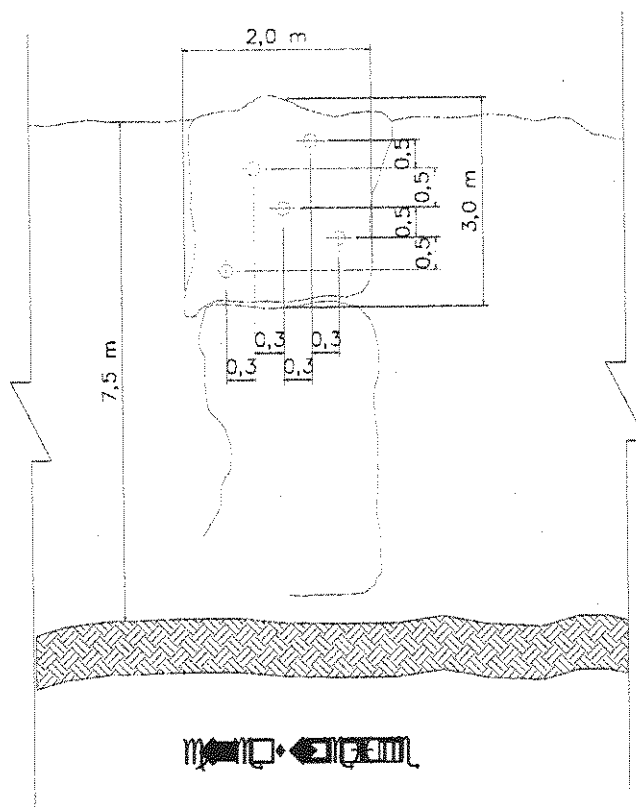
Verifica piastra d'ancoraggio:

Pressione max allo SLU	$q_{SLU} =$	2,5 MPa
Momento flettente	$M_{SLU} =$	2507943 Nmm
Tensione	$\sigma_{SLU} =$	188 MPa
Verifica	$\sigma_{SLU} \leq f_{yd}$	VERIFICA

Verifica lunghezza d'ancoraggio:

Tensione di taglio ammissibile	$\tau_{amm} =$	5,0 kg/cm ²
Forza di taglio ammissibile	$T_{amm} =$	14074 kg
Verifica	$Q_{SLE} \leq T_{amm}$	VERIFICA

5.3 Cuneo 3



VERIFICHE SISTEMA D'ANCORAGGIO

Parametri di calcolo:

Larghezza cuneo effettiva	B =	2 m
Dimensione piastra ancoraggio (quadrata)	a =	200 mm
Spessore piastra ancoraggio	s =	20 mm
Modulo di resistenza	W =	13333 mm ³
Resistenza caratteristica di snervamento acciaio S355	f _{yk} =	355 MPa
Coefficiente parziale di sicurezza del materiale	γ _{M0} =	1,05
Resistenza di calcolo di snervamento acciaio S355	f _{yd} =	338 MPa
Numero bulloni da roccia	n _b =	5
Lunghezza d'ancoraggio	L _a =	280 cm
Diametro foro	d _f =	3,2 cm
Forza complessiva max/tirante (SLU)	Q _{SLU} =	4837 kg
Forza complessiva max/tirante (SLE)	Q _{SLE} =	3721 kg

Verifica pressione di contatto interfaccia piastra/roccia:

Resistenza a compressione tufo

$$q_t = 50 \text{ kg/cm}^2$$

Pressione max in condizioni d'esercizio

$$q_{SLE} = 9 \text{ kg/cm}^2$$

Verifica

$$q_{SLE} \leq q_t \text{ VERIFICA}$$

Verifica piastra d'ancoraggio:

Pressione max allo SLU

$$q_{SLU} = 1,2 \text{ MPa}$$

Momento flettente

$$M_{SLU} = 1232652 \text{ Nmm}$$

Tensione

$$\sigma_{SLU} = 92 \text{ MPa}$$

Verifica

$$\sigma_{SLU} \leq f_{yd} \text{ VERIFICA}$$

Verifica lunghezza d'ancoraggio:

Tensione di taglio ammissibile

$$\tau_{amm} = 5,0 \text{ kg/cm}^2$$

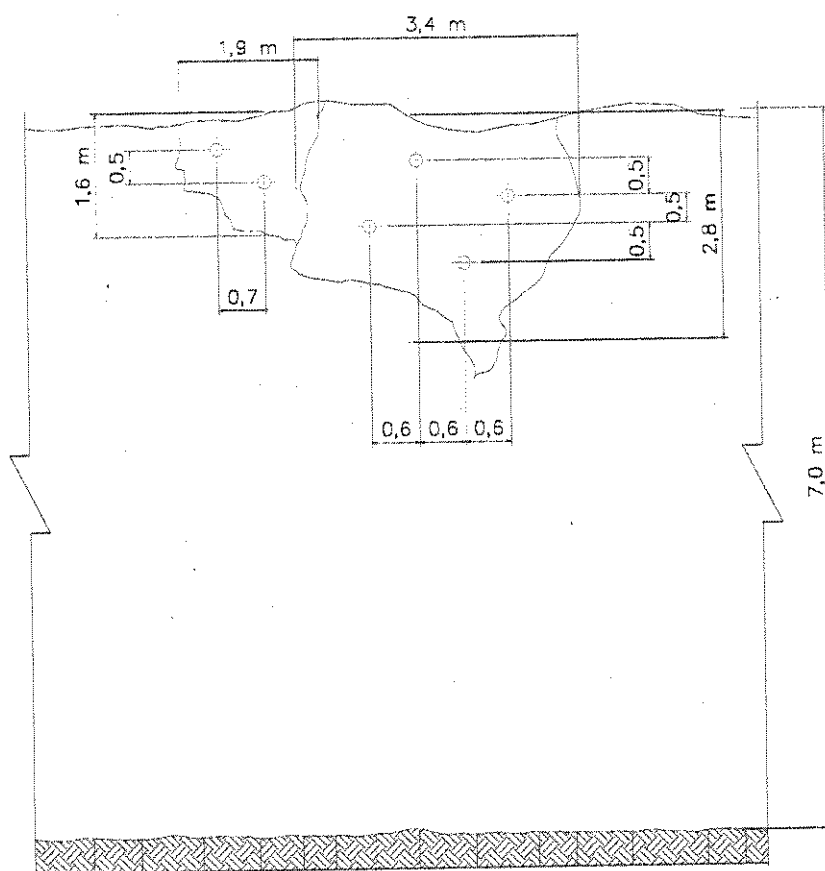
Forza di taglio ammissibile

$$T_{amm} = 14074 \text{ kg}$$

Verifica

$$Q_{SLE} \leq T_{amm} \text{ VERIFICA}$$

5.4 Cuneo 4



VERIFICHE SISTEMA D'ANCORAGGIO

Parametri di calcolo:

Larghezza cuneo effettiva

$$B = 5,5 \text{ m}$$

Dimensione piastra ancoraggio (quadrata)

$$a = 200 \text{ mm}$$

Spessore piastra ancoraggio

$$s = 20 \text{ mm}$$

Modulo di resistenza

$$W = 13333 \text{ mm}^3$$

Resistenza caratteristica di snervamento acciaio S355

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

Coefficiente parziale di sicurezza del materiale

$$\gamma_{M0} = 1,05$$

Resistenza di calcolo di snervamento acciaio S355

$$f_{yd} = 338 \text{ MPa}$$

Numero bulloni da roccia

$$n_b = 6$$

Lunghezza d'ancoraggio

$$L_a = 280 \text{ cm}$$

Diametro foro

$$d_f = 3,2 \text{ cm}$$

Forza complessiva max/tirante (SLU)	$Q_{SLU} =$	6172 kg
Forza complessiva max/tirante (SLE)	$Q_{SLE} =$	4748 kg

Verifica pressione di contatto interfaccia piastra/roccia:

Resistenza a compressione tufo	$q_t =$	50 kg/cm ²
Pressione max in condizioni d'esercizio	$q_{SLE} =$	12 kg/cm ²
Verifica	$q_{SLE} \leq q_t$	VERIFICA

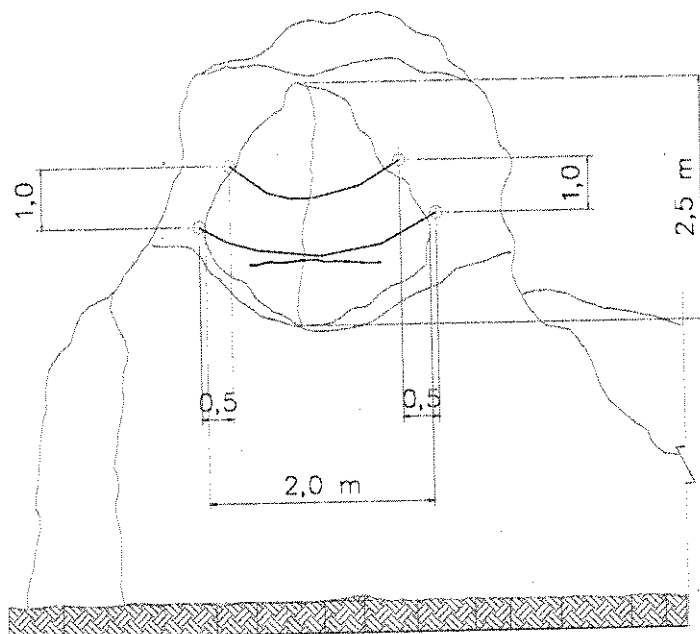
Verifica piastra d'ancoraggio:

Pressione max allo SLU	$q_{SLU} =$	1,6 MPa
Momento flettente	$M_{SLU} =$	1572866 Nmm
Tensione	$\sigma_{SLU} =$	118 MPa
Verifica	$\sigma_{SLU} \leq f_{yd}$	VERIFICA

Verifica lunghezza d'ancoraggio:

Tensione di taglio ammissibile	$\tau_{amm} =$	5,0 kg/cm ²
Forza di taglio ammissibile	$T_{amm} =$	14074 kg
Verifica	$Q_{SLE} \leq T_{amm}$	VERIFICA

5.5 Cuneo 5



VERIFICHE SISTEMA D'ANCORAGGIO

Parametri di calcolo:

Larghezza cuneo effettiva

$$B = 2 \text{ m}$$

Dimensione piastra ancoraggio (quadrata)

$$a = 200 \text{ mm}$$

Spessore piastra ancoraggio

$$s = 20 \text{ mm}$$

Modulo di resistenza

$$W = 13333 \text{ mm}^3$$

Resistenza caratteristica di snervamento acciaio S355

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

Coefficiente parziale di sicurezza del materiale

$$\gamma_{M0} = 1,05$$

Resistenza di calcolo di snervamento acciaio S355

$$f_{yd} = 338 \text{ MPa}$$

Numero bulloni da roccia

$$n_b = 4$$

Lunghezza d'ancoraggio

$$L_a = 280 \text{ cm}$$

Diametro foro

$$d_f = 3,2 \text{ cm}$$

Forza complessiva max/tirante (SLU)

$$Q_{SLU} = 7353 \text{ kg}$$

Forza complessiva max/tirante (SLE)

$$Q_{SLE} = 5656 \text{ kg}$$

Verifica pressione di contatto interfaccia piastra/roccia:

Resistenza a compressione tufo

$$q_t = 50 \text{ kg/cm}^2$$

Pressione max in condizioni d'esercizio
Verifica

$$q_{SLE} = 14 \text{ kg/cm}^2$$
$$q_{SLE} \leq q_i \text{ VERIFICA}$$

Verifica piastra d'ancoraggio:

Pressione max allo SLU

$$q_{SLU} = 1,9 \text{ MPa}$$

Momento flettente

$$M_{SLU} = 1873782 \text{ Nmm}$$

Tensione

$$\sigma_{SLU} = 141 \text{ MPa}$$

Verifica

$$\sigma_{SLU} \leq f_{yd} \text{ VERIFICA}$$

Verifica lunghezza d'ancoraggio:

Tensione di taglio ammissibile

$$\tau_{amm} = 5,0 \text{ kg/cm}^2$$

Forza di taglio ammissibile

$$T_{amm} = 14074 \text{ kg}$$

Verifica

$$Q_{SLE} \leq T_{amm} \text{ VERIFICA}$$

5.6 Cuneo 6

VERIFICA

Parametri meccanici parete rocciosa:

Peso specifico tufo	$\gamma =$	1600 kg/m ³
Angolo d'attrito	$\varphi =$	45 °
Angolo d'attrito ridotto (2/3)	$\varphi' =$	30 °
Coesione	$c =$	0 kg/cm ²

Parametri geometrici parete rocciosa:

Altezza del fronte	$H =$	3.5 m
Larghezza del cuneo	$B =$	2.3 m
Profondità	$S =$	1.5 m
Inclinazione del fronte	$\psi_f =$	85 °
Inclinazione della superficie di distacco	$\psi_p =$	60 °

Parametri di calcolo:

Lunghezza del piano di scivolamento	$A =$	4.04 m
Peso del cuneo di distacco	$W =$	13201 kg

Dimensioni Scarpa di sostegno:

Altezza del fronte	$H =$	3.5 m
Larghezza del cuneo	$B =$	2.3 m
Profondità	$S =$	1.5 m

Caratteristiche dei materiali:

Muratura a conci di pietra tenera	$f_m =$	18 kg/cm ²
(tufo, calcarenite, ecc.)	$\tau_0 =$	0.35 kg/cm ²
	$E =$	11500 kg/cm ²
	$G =$	3500 kg/cm ²
	$w =$	1600 kg/m ³

Verifica di resistenza

0.48 kg/cm² **verifica**