

## SRS - Soil Reinforcement System 2.0

### Generalità

**SRS** è un software di calcolo per il dimensionamento, in ossequio alle vigenti NTC 2018, di un sistema di rivestimento corticale di coltri instabili, costituito da reti metalliche solidarizzate al terreno mediante ancoraggi in barra.

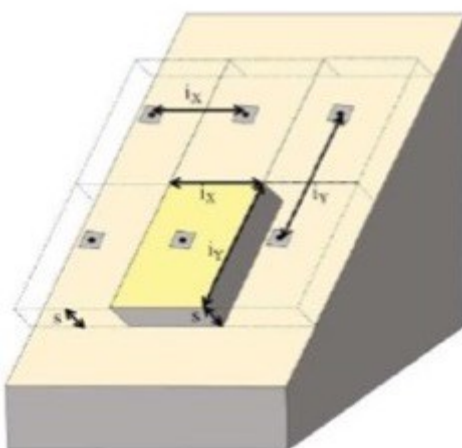
In **SRS**, invertendo l'usuale approccio progettuale, il Progettista fissa il valore del coefficiente di sicurezza di progetto ( $FS_{des}$ ) e il software consente di determinare lo sforzo (di trazione) nel singolo ancoraggio necessario per raggiungerlo.

Poiché viene quantificato l'incremento del coefficiente di sicurezza conseguito in seguito alla realizzazione del sistema di consolidamento, questo può essere considerato come "intervento di stabilizzazione" secondo quanto prescritto al punto 6.3.5 della NTC 2018.

### Schema di calcolo

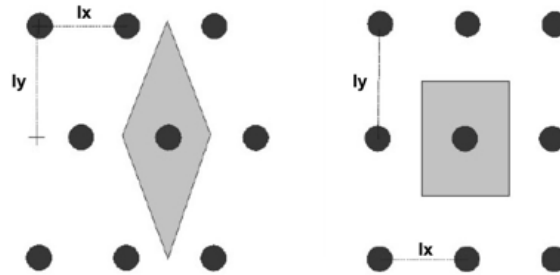
Lo schema adottato in **SRS** prevede l'analisi di stabilità rispetto a un cinematisma di tipo traslazionale del volume di terreno rappresentato planimetricamente dall'area di influenza del singolo ancoraggio e avente spessore pari allo spessore, misurato perpendicolarmente alla superficie di scorrimento, della coltre da stabilizzare ( $S$ ).

Viene ipotizzato che lo scorrimento possa avvenire sulla superficie di contatto tra la coltre e il sottostante substrato, che può essere costituito da terreno oppure da roccia, avente lo stesso angolo di inclinazione  $\alpha$  rispetto all'orizzontale della superficie topografica



L'analisi viene condotta anche in condizioni sismiche secondo l'approccio pseudostatico, così come previsto al punto 7.11.3.5.2 delle NTC 2018, considerando tali azioni secondo le condizioni più sfavorevoli.

Per la definizione del volume di terreno, può farsi riferimento ai seguenti schemi di disposizione degli ancoraggi (*raster* rettangolare o romboidale).

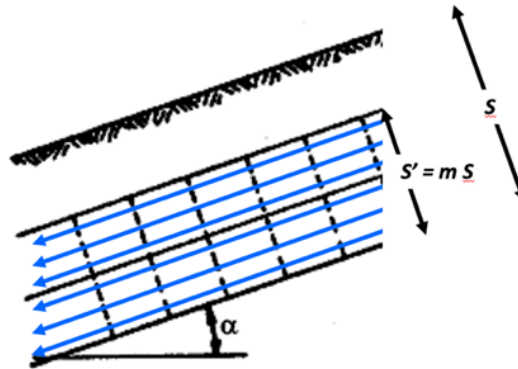


Il volume, sia in caso di *raster* romboidale che rettangolare, sarà dato da:

$$V = l_x l_y S \text{ (m}^3\text{)}$$

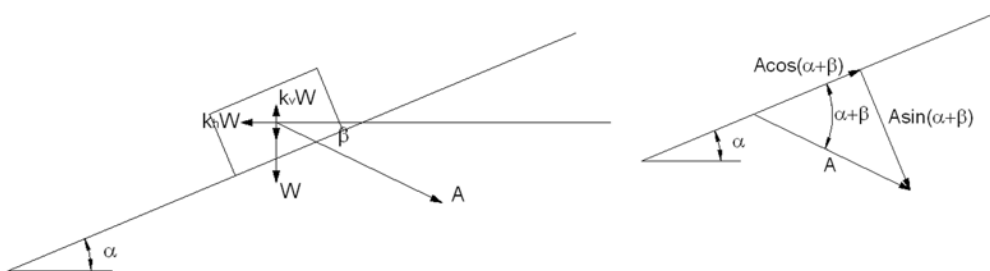
L'analisi di stabilità può essere condotta considerando, oltre alle azioni sismiche, anche la presenza di un moto di filtrazione con linee di flusso parallele al pendio che interessi la coltre per uno spessore:

$$S' = m S$$



In caso di assenza di falda:  $m = 0$ ; per falda a p.c.:  $m = 1$

Lo sforzo (di trazione)  $A$  da trasferire al singolo ancoraggio per ottenere il valore del coefficiente di sicurezza di progetto ( $FS_{des}$ ) è ottenuto risolvendo la seguente espressione:



$$FS_{des} = \frac{[(W \pm F_v) \cos \alpha - F_h \sin \alpha + A \sin(\alpha + \beta)] \tan \varphi}{(W \pm F_v) \sin \alpha + F_h \cos \alpha - A \cos(\alpha + \beta)}$$

Noto lo sforzo di trazione agente sull'ancoraggio per il raggiungimento di  $FS_{des}$ , vengono effettuate, applicando gli opportuni coefficienti parziali previsti dalle NTC 2018, le seguenti verifiche:

- 1) Verifica a trazione della barra;

- 2) Verifica a taglio della barra;
- 3) Verifica a sfilamento barra/malta;
- 4) Verifica a sfilamento fondazione/terreno;
- 5) Verifica a punzonamento della rete;
- 6) Verifica a trazione della rete.

Le verifiche si ritengono soddisfatte se le sollecitazioni  $E_d$  risultano inferiori alle resistenze  $R_d$ :

$$E_d < R_d$$

L'approccio di calcolo utilizzato, secondo le NTC 2018, è l'Approccio 2, che prevede l'unica combinazione (A1 + M1 + R3).

## INPUT

### Parametri del terreno e del substrato

#### Coltre

- I.1. *Inclinazione del pendio  $\alpha$* : angolo "medio" (in gradi sessagesimali) di inclinazione del pendio rispetto all'orizzontale
- I.2. *Spessore  $S$* : spessore (in m) della coltre da stabilizzare mediante il sistema, misurato perpendicolarmente alla superficie topografica;
- I.3. *Peso unità di volume  $\gamma_{col}$* : peso (in kN/m<sup>3</sup>) dell'unità di volume della coltre;
- I.4. *Angolo d'attrito  $\phi_{col}$* : angolo d'attrito (in gradi sessagesimali) del terreno;
- I.5. *Coesione drenata  $c'_{col}$* : coesione drenata (in kPa) del terreno.
- I.6. *Spessore (adimensionalizzato) interessato da moto di filtrazione  $m$* : rappresenta il rapporto  $m = S' / S$ , dove  $S'$  è lo spessore, misurato perpendicolarmente alla superficie di scorrimento, nel quale si verifica un moto di filtrazione con linee di flusso parallele alla superficie stessa ( $m = 0$  per falda assente,  $m = 1$  per falda al p.c.,  $0 < m < 1$  per situazioni intermedie).

#### Substrato

- I.7. *1 = terreno; 2 = roccia*: inserire il valore "1" in caso di substrato costituito da terreno, "2" in caso di substrato costituito da roccia.

#### Caso 1: terreno

- I.8. *Tensione di aderenza del terreno costituente il substrato  $ad_{soil}$*  (in MPa), desumibile da prove di estrazione o, in mancanza di determinazioni dirette, dalla tabella seguente:

TERRENO		Tensione di aderenza unitaria malta-terreno [Mpa]	
		min	max
<b>ROCCIA</b>			
✓	Basalto	5.50	6.00
✓	Calcere	2.80	4.80
✓	Arenaria	1.50	1.70
✓	Dolomite	1.70	1.90
✓	Scisti	0.50	0.70
✓	Scisti alterati	0.30	0.50
✓	Gesso	0.60	0.80
✓	Ardesia	1.60	1.80
<b>SCIOLTO</b>			
✓	Limi argillosi	0.06	0.09
✓	Argilla satura	0.05	0.08
✓	Argilla sabbiosa compatta	0.20	0.40
✓	Sabbia medio fine compatta	0.20	0.60
✓	Argilla medio plastica dura	0.20	0.50
✓	Argilla medio plastica media	0.16	0.29
✓	Sabbia grossa e ghiaia compatta	0.29	0.60

E. Segre, "Proposta di metodo di prove semplici per tiranti di ancoraggio"  
(Industria Italiana del Cemento 6/88)

- I.9. Coefficiente  $\alpha_{iniez}$ , che tiene conto delle modalità di iniezione, desumibile dalla tabella seguente:

LITOLOGIA		COEFFICIENTE $\alpha$			
		Iniezione ripetuta		Iniezione semplice	
		min	max	min	max
✓	Ghiaia	1.8	1.8	1.3	1.4
✓	Ghiaia sabbiosa	1.6	1.8	1.2	1.4
✓	Sabbia ghiaiosa	1.5	1.6	1.2	1.3
✓	Sabbia pulita	1.4	1.5	1.1	1.2
✓	Sabbia limosa	1.4	1.5	1.1	1.2
✓	Limo	1.4	1.6	1.1	1.2
✓	Argilla	1.8	2.0	1.2	1.2
✓	Marne e arenarie alterate e/o fratturate	1.8	1.8	1.1	1.2

Bustamante & Doix (1985)

### Caso 2: roccia

- I.10. Tensione di aderenza della roccia costituente il substrato  $\alpha_{rock}$  (in MPa), desumibile da prove di estrazione o, in mancanza di determinazioni dirette, dalle tabelle seguenti:

TERRENO		Tensione di aderenza unitaria malta-terreno [Mpa]	
		min	max
<b>ROCCIA</b>			
✓	Basalto	5.50	6.00
✓	Calcare	2.80	4.80
✓	Arenaria	1.50	1.70
✓	Dolomite	1.70	1.90
✓	Scisti	0.50	0.70
✓	Scisti alterati	0.30	0.50
✓	Gesso	0.60	0.80
✓	Ardesia	1.60	1.80
<b>SCIOLTO</b>			
✓	Limi argillosi	0.06	0.09
✓	Argilla satura	0.05	0.08
✓	Argilla sabbiosa compatta	0.20	0.40
✓	Sabbia medio fine compatta	0.20	0.60
✓	Argilla medio plastica dura	0.20	0.50
✓	Argilla medio plastica media	0.16	0.29
✓	Sabbia grossa e ghiaia compatta	0.29	0.60

**E. Segre, "Proposta di metodo di prove semplici per tiranti di ancoraggio" (Industria Italiana del Cemento 6/88)**

		Tensione di aderenza unitaria [Mpa]		
		min	med	max
✓	Basalto compatto		5.73	
✓	Granito alterato	1.5		2.5
✓	Basalto		3.86	
✓	Granito		4.83	
✓	Serpentino		1.55	
✓	Granito e basalto	1.72		3.10
✓	Scisto		2.80	
✓	Ardesia e argilla scistosa	0.83		1.38
✓	Calcare		2.83	
✓	Creta (Chalk)	0.22		1.07
✓	Calcare argilloso		2.75	
✓	Calcare tenero	1.03		1.52
✓	Calcare dolomitico	1.38		2.07
✓	Arenaria alterata	0.69		0.85
✓	Limo ben cementato		0.69	
✓	Arenaria compatta		2.24	
✓	Arenaria	0.83		1.73
✓	Marna del Keuper	0.17		0.25
✓	Argilla scistosa tenera		0.35	
✓	Argilla tenera e scistosa	0.21		0.83

G. S. Littlejohn, D.A. Bruce/Rock anchors – Design and quality control" (1975)

### Parametri sismici

- I.11. *Coefficiente sismico orizzontale  $K_h$* : tale coefficiente rappresenta il moltiplicatore della massa per ottenere, secondo l'approccio pseudostatico, la forza sismica orizzontale e verticale. Il valore del coefficiente si ricava, secondo la Normativa, in funzione dell'accelerazione massima attesa su sito rigido di riferimento, dipendente, a sua volta, dal tempo di ritorno considerato per l'azione sismica, opportunamente amplificato

attraverso i coefficienti  $S_s$  (amplificazione stratigrafica) e  $S_T$  (amplificazione topografica). Le forze sismiche sono considerate sempre secondo la direzione più cautelativa (aumento delle sollecitazioni, diminuzione delle resistenze).

### Fattore di sicurezza di progetto

- I.12.  **$FS_{des}$** : valore del coefficiente di sicurezza da raggiungere post-intervento. Poiché a tutte le grandezze che entrano in gioco vengono applicati, secondo Normativa, coefficienti parziali amplificativi (per le sollecitazioni) o riduttivi (per le resistenze), a tale variabile può essere attribuito di poco superiore all'unità (es.: 1,05).

### Parametri del sistema

#### Ancoraggi

- I.13. **Dim Y raster  $I_y$** : distanza (in m) in direzione verticale tra due ancoraggi;  
 I.14. **Dim X raster  $I_x$** : distanza (in m) in direzione orizzontale tra due ancoraggi;  
 I.15. **Inclinazione ancoraggi  $\beta$** : inclinazione (in °) degli ancoraggi rispetto all'orizzontale;  
 I.16. **Lunghezza degli ancoraggi  $L_a$** : lunghezza degli ancoraggi, considerando sia la parte che si sviluppa all'interno della coltre (non collaborante), che quella che si sviluppa nel substrato (collaborante);  
 I.17. **Diametro della perforazione  $D_f$** : diametro (in mm) del foro di alloggiamento degli ancoraggi;  
 I.18. **Diametro barra  $\phi_b$** : diametro (in mm) della barra di ancoraggio;  
 I.19. **Tensione di snervamento barra  $f_{yk}$** : tensione caratteristica di snervamento (in N/mm<sup>2</sup>) dell'acciaio costituente la barra (dato fornito dal produttore);  
 I.20. **Resistenza cubica a compressione malta  $R_{bk}$** : resistenza caratteristica a compressione (in N/mm<sup>2</sup>) della malta di iniezione;  
 I.21. **Coefficiente aderenza**: coefficiente riduttivo per la tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo, previsto al punto 4.1.2.1.1.4 delle NTC 2018, pari a 1 per buona aderenza e a 0,7 per non buona aderenza;  
 I.22. **Numero di profili di indagine per la definizione dei parametri geotecnici**: numero in base al quale si determinano i fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, secondo Tab. 6.6.III delle NTC 2018.

#### Rete

- I.23. **Resistenza a trazione unitaria rete  $R_{tr\_u\_rete}$** : resistenza (in kN/m) per metro di larghezza della rete scelta per il consolidamento (dato fornito dal produttore);  
 I.24. **Resistenza a punzonamento rete  $R_{punz}$** : resistenza (in kN) a punzonamento della rete scelta per il consolidamento (dato fornito dal produttore);  
 I.25. **Coefficiente resistenza rete  $\gamma_{rete}$** : coefficiente ( $\geq 1$ ) che l'Utente può applicare per ridurre i valori di resistenza a trazione e a punzonamento della rete forniti dal produttore (non previsto dalle NTC).

**ELABORAZIONI**

- E.1. *Volume agente  $V$* : volume in (m<sup>3</sup>) individuato dall'area di influenza del singolo ancoraggio moltiplicata per lo spessore della coltre:

$$V = S \cdot l_x \cdot l_y;$$

- E.2. *Peso volume  $W$* : peso del volume (in kN) sopra calcolato:

$$W = \gamma_{col} V;$$

- E.3. *Sottospinta idraulica  $U$* : spinta verso l'alto (in kN) esercitata alla base del blocco di terreno in caso di presenza di moto di filtrazione nella coltre, calcolata come:

$$U = \gamma_w S' \cos \alpha \cdot i_x \cdot i_y$$

- E.4. *Forza sismica orizzontale  $F_h$* : forza sismica (in kN) in direzione orizzontale, ottenuta moltiplicando il coefficiente sismico orizzontale  $K_h$  per il peso del volume:

$$F_h = K_h W$$

- E.5. *Forza sismica verticale  $F_v$* : forza sismica (in kN) in direzione verticale, ottenuta moltiplicando per 0,5 la forza sismica orizzontale:

$$F_v = 0,5 F_h$$

- E.6. *Forza tangenziale resistente  $T_{res0}$* : resistenza (in kN) opposta lungo la superficie di scorrimento, ottenuta come:

$$T_{res0} = c'_{col} i_x i_y + [V (\gamma_{col} - m \gamma_w) \cos \alpha - F_h \sin \alpha - F_v \cos \alpha] \cos \alpha \tan \phi_{col}$$

- E.7. *Forza tangenziale agente  $Tag_0$* : forza (in kN) agente lungo la superficie di scorrimento, ottenuta come:

$$Tag_0 = W \sin \alpha + F_h \cos \alpha + F_v \sin \alpha$$

- E.8. *Coefficiente di sicurezza pre-intervento  $FS_0$* : ottenuto come:

$$FS_0 = T_{res0} / Tag_0$$

- E.9. *Forza di trazione  $A$* : sforzo di trazione nell'ancoraggio (in kN) necessario per raggiungere il valore del coefficiente di sicurezza di progetto  $FS_{des}$ , ottenuto come:

$$A = (FS_{des} Tag_0 - T_{res0}) / [\sin (\alpha + \beta) \tan \phi_{col} + FS_{des} \cos (\alpha + \beta)]$$

- E.10. *Sollecitazione di trazione di progetto nell'ancoraggio  $Ed$* : ottenuta moltiplicando il valore di  $A$  per il coefficiente parziale  $\gamma_{Q1} = 1,5$  (caso statico NTC 2018 A1 - 6.2.4.1.1) oppure 1,0 (caso sismico - Tab. 6.2.I e 7.11.1):

$$Ed = \gamma_{Q1} A$$

- E.11. *Sollecitazione di taglio di progetto  $T_d$* : ottenuta moltiplicando il valore di  $Tag_0$  per il coefficiente parziale  $\gamma_{Q1} = 1,5$  o 1,0 (NTC 2018 A1 - 6.2.4.1.1 - Tab. 6.2.I e 7.11.1):

$$T_d = \gamma_{Q1} Tag_0$$

- E.12. *Resistenza massima a trazione barra  $R_f$* : massimo sforzo di trazione (in kN) sopportabile dalla barra in funzione del tipo di acciaio e del diametro scelti, applicando il coefficiente amplificativo  $\gamma_f$  di stato limite ultimo per l'acciaio, pari a 1,15 (NTC 2018 4.1.2.1.1.3):

$$R_f = [f_{yk} (\phi_b^2/4) / \gamma_f] / 1000$$

- E.13. *Resistenza massima a taglio barra  $T_f$* : massimo sforzo di taglio (in kN) sopportabile dalla barra intesa come “chiodo” pari a:

$$T_f = R_f / (3)^{0,5}$$

- E.14. *Resistenza cilindrica a compressione malta  $f_{ck}$* : resistenza (in N/mm<sup>2</sup>) riferita a provini cilindrici, ottenuta moltiplicando la resistenza cubica per 0,83 (NTC 2018 11.2.10.1);

- E.15. *Resistenza media a trazione malta  $f_{ctm}$* : resistenza media (in N/mm<sup>2</sup>) a trazione della malta, ottenuta come (NTC 2018 11.2.10.2):

$$f_{ctm} = 0,3 (f_{ck})^{2/3}$$

- E.16. *Resistenza caratteristica a trazione malta  $f_{ctk}$* : resistenza caratteristica (in N/mm<sup>2</sup>) a trazione della malta, ottenuta come (NTC 2018 11.2.10.2):

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

- E.17. *Coefficiente diametro barre  $\eta_2$* : coefficiente definito al punto 4.1.2.1.1.4 delle NTC 2018 in funzione del diametro delle barre di ancoraggio, pari a 1,0 per barre di diametro  $\phi_b \leq 32\text{mm}$  e pari a  $(132 - \phi_b)/100$  per barre di diametro superiore;

- E.18. *Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza  $f_{bk}$* : resistenza tangenziale malta/barra (in N/mm<sup>2</sup>), data da (NTC 2018 4.1.2.1.1.4):

$$f_{bk} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk}$$

- E.19. *Resistenza tangenziale di aderenza di progetto  $f_{bd}$* : resistenza tangenziale di progetto per l'aderenza malta/barra (in N/mm<sup>2</sup>), data da (NTC 2018 4.1.2.1.1.4):

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$$

con  $\gamma_c = 1,5$  coefficiente parziale per il calcestruzzo (NTC 2018 4.1.2.1.1.1);

- E.20. *Resistenza allo sfilamento barra/malta  $R_{bm}$* : resistenza massima allo sfilamento (in kN) della barra dalla malta di iniezione, ottenuta come:

$$R_{bm} = f_{bd} S_{lat\_bar}$$

dove la superficie laterale della barra è data da:

$$S_{lat\_bar} = \pi \phi_b L_{tot}$$

(nell'ipotesi che la perforazione sia iniettata per tutta la sua lunghezza)

- E.21. *Lunghezza ancoraggio non collaborante  $L_{nc}$* : parte dell'ancoraggio (in m) che si sviluppa nella coltre e non considerata ai fini della verifica a sfilamento bulbo/substrato, calcolata come:



$$L_{nc} = S / \cos (\alpha + \beta)$$

E.22. *Lunghezza ancoraggio collaborante (bulbo)  $L_{bulb}$* : parte dell'ancoraggio (in m) che si sviluppa nel substrato e considerata ai fini della verifica a sfilamento bulbo/substrato, calcolata come:

$$L_{bulb} = L_{tot} - L_{nc}$$

E.23. *Aderenza media bulbo/substrato  $\tau_{sub}$* : valore (in MPa) dell'aderenza tra il bulbo e il substrato:

In caso di substrato costituito da terreno (I.7 = 1):

$$\tau_{sub} = \alpha_{iniez} ad_{soil}$$

In caso di substrato costituito da roccia (I.7 = 2):

$$\tau_{sub} = ad_{rock}$$

E.24. *Coefficiente riduttivo verticali investigate  $\xi_{a4}$* : coefficiente ricavato dalla Tab. 6.6.III delle NTC 2018 in funzione del numero dei profili di indagine per la definizione dei parametri geotecnici:

Tab. 6.6.III

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	$\geq 5$
$\xi_{a3}$	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
$\xi_{a4}$	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

E.25. *Coefficiente riduttivo ancoraggi permanenti  $\gamma_{Rap}$* : coefficiente ricavato dalla Tab. 6.6.I delle NTC 2018:

Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	$\gamma_R$	1,1
Permanenti	$\gamma_R$	1,2

E.26. *Resistenza allo sfilamento bulbo/substrato  $R_{bulb}$* : resistenza massima allo sfilamento (in kN) del bulbo di fondazione dal substrato, ottenuta considerando solo la parte dell'ancoraggio (diametro perforazione  $D_f$  in mm) che si sviluppa nel substrato  $L_{bulb}$  (in m, trascurando la lunghezza che si sviluppa nella coltre, non collaborante), applicando i coefficienti di Normativa per ancoraggi permanenti e per le verticali investigate:

$$R_{bulb} = (\tau_{sub} L_{bulb} \pi D_f) / \xi_{a4} / \gamma_{Rap}$$

E.27. *Resistenza a punzonamento rete di progetto  $R_{punz\_des}$* : (in kN) ottenuta dividendo il valore della resistenza a punzonamento  $R_{punz}$  per il coefficiente di resistenza della rete  $\gamma_{rete}$ :

$$R_{punz\_des} = R_{punz} / \gamma_{rete}$$

E.28. *Resistenza a trazione rete di progetto*  $R_{tr\_u\_rete\_des}$ : (in kN) ottenuta dividendo il valore della resistenza a punzonamento  $R_{tr\_u\_rete}$  per il coefficiente di resistenza della rete  $\gamma_{rete}$ :

$$R_{tr\_u\_rete\_des} = R_{tr\_u\_rete} / \gamma_{rete}$$

## OUTPUT

Viene fornito l'incremento del valore del coefficiente di sicurezza e vengono condotte le verifiche di sicurezza valutando, per ogni meccanismo, la condizione:

$$E_d < R_d$$

Viene, inoltre, per ogni meccanismo analizzato, fornito il valore del coefficiente di sicurezza **FS** definito come:

$$FS = R_d / E_d$$

R.1. *Incremento del coefficiente di sicurezza  $\Delta FS$* : ottenuto come differenza tra il valore del coefficiente di sicurezza pre-intervento  $FS_0$  e il valore del coefficiente di sicurezza di progetto  $FS_{des}$ :

$$\Delta FS = FS_{des} - FS_0$$

R.2. **Trazione barra**: si confronta lo sforzo di trazione  $E_d$  con la resistenza a trazione della barra  $R_f$ ;

R.3. **Taglio barra**: si confronta lo sforzo di taglio  $T_d$  con la resistenza a taglio della barra  $T_f$ ;

R.4. **Sfilamento barra/malta**: si confronta lo sforzo di trazione  $E_d$  con la resistenza allo sfilamento barra/malta  $R_{bm}$ ;

R.5. **Sfilamento bulbo/substrato**: si confronta lo sforzo di trazione  $E_d$  con la resistenza allo sfilamento bulbo/substrato  $R_{bulb}$ ;

R.6. **Punzonamento rete**: si confronta lo sforzo di trazione  $E_d$  con la resistenza al punzonamento della rete  $R_{punz}$ ;

R.7. **Trazione rete**: si confronta lo sforzo di taglio per metro di larghezza della rete ( $T_d / l_x$ ) con la resistenza alla trazione unitaria della rete  $R_{tr\_u\_rete\_des}$  (in questo caso, si ipotizza che tutta la sollecitazione di taglio debba essere assorbita dalla rete, la quale reagisce attraverso la propria resistenza a trazione):

Viene, infine, condotto un calcolo di massima sulle quantità riferite agli ancoraggi per ogni 100m<sup>2</sup> di rete:

R.8. **Numero di ancoraggi  $N_{tot}$** : numero di ancoraggi per ogni 100m<sup>2</sup> di rete, ottenuto come:

$$N_{tot} = 100 / (i_x i_y)$$

R.9. **Lunghezza totale delle perforazioni  $L_{tot}$** : lunghezza delle perforazioni per ogni 100m<sup>2</sup> di rete, ottenuto come:

$$L_{tot} = N_{tot} L_a$$