

Provincia di Bergamo



Comune di Castione della Presolana

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Num. Elab	Titolo		
R04	RELAZIONE DI CALCOLO		
Det. di incarico n. 291 del 10/08/2020		CUP:C57H19002790006	CIG: ZB82DC00A9
COMMITTENTE: Comune di Castione della Presolana Piazza Roma, 3 24020 Castione della Presolana (BG)			
RTP – RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROFESSIONISTI			
dott. ing. Luca Ghilardi Via Vittoria 11 24027 Nembro (BG) Tel. 3474703051 E mail: luca@ghilardistudiotecnico.it Ordine degli Ingegneri di Bergamo n. 2538		dott. geol. Dimitri Bassanelli Via Cavour 3/c 24027 Nembro (BG) Tel. 3404935794 E mail: dimitri.bassanelli@gmail.com Ordine dei geologi della Lombardia n. 1243	
dott. agronomo Federico Blumer Via per Grumello, 69 24127 Bergamo (BG) Tel. 3485617672 E mail: f.blumer@studioalnus.it Ordine degli Agronomi e Forestali della Provincia di Bergamo n. 139A		geom. Mauro Ghilardi Via Vittoria 11 24027 Nembro (BG) Tel. 3805197892 E mail: mauro@ghilardistudiotecnico.it Albo dei Geometri di Bergamo n. 2771	
Ottobre 2020			

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

Sommario

1 – Premessa	2
2 – Dati di input.....	3
2.1 Caratteristiche degli elementi costitutivi	3
2.2 Geometria e parametri geotecnici.....	4
2.3 Fattori di sicurezza per le verifiche strutturali	5
2.4 Calcolo della resistenza equivalente della rete armata	5
2.5 Definizione del parametro di riduzione della resistenza della rete γ_{MH}	7
3 – Metodo di calcolo utilizzato	8
3.1 Dimensionamento degli ancoraggi.....	8
3.2 Lunghezza degli ancoraggi	11
3.3 Dimensionamento della rete – Stato limite ultimo	12
3.3 Dimensionamento della rete – Stato limite di servizio	14
3.3 Risultati delle elaborazioni	15

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

1 – Premessa

L'intervento in progetto è ubicato in Via Predusolo, in Località Bratto del Comune di Castione della Presolana. Appartiene alle opere classificate come *opere attive* quali gli interventi che agiscono direttamente sulle litologie interessate realizzando un miglioramento delle caratteristiche di resistenza meccanica dell'ammasso roccioso (chiodi, tiranti, rivestimento e tirantatura di reti metalliche, etc.).

Gli interventi saranno preceduti da opere di disgaggio per rimuovere preliminarmente eventuali blocchi e massi attualmente già instabili e di taglio delle ceppaie (limitatamente alle porzioni interferenti con la posa delle reti. Si riporta di seguito la relazione illustrativa sui materiali previsti per l'impiego e i dati geotecnici considerati per le verifiche strutturali.

Si ricorda che, per quanto attiene alla rete metallica in aderenza, la Norma prevede la certificazione CE delle stessa conseguentemente a quanto prescritto dalla ETAG 27 in possesso di certificazione CE in conformità alla Direttiva Europea Prodotti da Costruzione (CPD) 89/106/CEE, quindi possono venir posizionate solo reti metalliche conformi alla normativa vigente (rif. Capitolo 11 delle NTC 2018).

I riferimenti normativi sono di seguito elencati:

- UNI EN 1537:-2002 "Esecuzione di lavori geotecnici speciali: tiranti di ancoraggio".
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. giugno 2012 - "Ancoraggi nei Terreni e nelle Rocce"
- D. M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni";
- Circolare Applicativa delle norme tecniche delle costruzioni del 21 gennaio 2019.

Il dimensionamento e la verifica degli elementi componenti il sistema corticale è stato effettuato con l'ausilio del software di calcolo MACRO1 della Società MACCAFERRI spa. Nel paragrafo 3 della relazione sono illustrati i fondamenti teorici assunti dal codice di calcolo.

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

2 – Dati di input

2.1 Caratteristiche degli elementi costitutivi

Rete metallica a doppia torsione

La rete metallica utilizzata negli interventi in parete è a doppia torsione con maglia esagonale tipo 8x10 in accordo alle norme UNI – EN10223-3 del 2013. Il filo utilizzato nella produzione della rete metallica è in acciaio dolce trafilato a freddo con rivestimento in bagno galvanico a caldo in lega. Successivamente può essere applicato sul filo, mediante estrusione, un rivestimento in polimero plastico per consentire una maggiore protezione e durabilità in ambienti particolarmente aggressivi sia fisicamente che chimicamente. Al fine di irrobustire la struttura e consentire le legature tra i pannelli i bordi longitudinali sono rinforzati con un filo avente un diametro maggiore.

Diametro nominale del filo	3.70	[mm]
Resistenza caratteristica a trazione	50	[kN/m]

Reticolo di funi

Reticolo da realizzarsi con funi in cavo metallico $\varnothing$ 16 mm incrociate con maglia 3x3 m, passanti entro golfare in testata di ancoraggi;

Diametro nominale del filo	16	[mm]
Resistenza caratteristica a trazione	141	[kN/m]

Ancoraggi in barra

Sono previsti ancoraggi con barre metalliche (diam. minimo $\varnothing$ 24 mm) di lunghezza variabile tra 1.5÷3 m, a seconda dello spessore alterato dell'ammasso roccioso. Acciaio in barre del tipo: B450C come definito al punto 11.3.2.1. D. M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni", che soddisfi le seguenti condizioni ed i seguenti rapporti minimi:

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450$	[MPa]
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540$	[MPa]
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s \geq 450/1.15 = 391.3$	[MPa]
Rapporto sulla tensione di snervamento	$(f_y / f_{y,nom})_k \leq 1.25$	-
Rapporto rottura/snervamento	$1.15 \leq (f_t / f_y)_k < 1.35$	-

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO
Boiaccia cementizia per ancoraggi

L'iniezione degli ancoraggi verrà eseguita con boiaccia cementizia così costituita da cemento tipo 325; additivo antiritiro (minimo 3% del peso cemento) rapporto A/C = 0,5 (dosaggio di circa 10 q.li/m³ di cemento); Resistenza cubica minima caratteristica a 28 gg.: $R_{ck} \geq 30$ MPa

Classe	C25/C30	-
R _{ck}	30	[MPa]

2.2 Geometria e parametri geotecnici

Considerate le caratteristiche litologiche e topografiche esame della parete rocciosa, si è adottato un approccio che, a titolo cautelativo, considera la combinazione delle condizioni più sfavorevoli presenti lungo il pendio. Le verifiche sono state condotte con riferimento ad un sistema di rinforzo a maglia 3x3, realizzato con barre di diametro 24 mm inserite in perforo da 40 mm. Con l'assunzione di uno spessore della porzione instabile dell'ammasso roccioso pari a 1,00 metro si ritiene adeguatamente cautelativa con riferimento alle condizioni osservate insito.

ϕ	Diametro delle barre di ancoraggio	24	[mm]
i_x	Interasse della chiodatura intermedia in direzione x	3	[m]
i_y	Interasse della chiodatura intermedia in direzione y	3	[m]
t	Spessore dello strato instabile	1	[m]
γ_r	Speso specifico della roccia	24	[kN/m ³]
	Inclinazione media della parete	75	[°]
	Rugosità JRC	2	-

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

2.3 Fattori di sicurezza per le verifiche strutturali

γ_{THI}	Coefficiente funzione dell'incertezza dello spessore instabile	1.20	[-]
γ_{WG}	Coefficiente funzione dell'incertezza del peso specifico della roccia	1.00	[-]
γ_{BH}	Coefficiente funzione dell'incertezza del comportamento della roccia	1.00	[-]
	Valore finale del coefficiente γ_{RW}	1.20	[-]
γ_{MO}	Coefficiente di sicurezza di riduzione delle forze stabilizzanti	1.00	[-]
γ_{OL}	Coefficiente parziale relativo alle incertezze superficiali	1.10	[-]
	Valore finale del coefficiente γ_{DW}	1.10	[-]
γ_{DF}	Coefficiente finale di amplificazione delle azioni sollecitanti ($\gamma_{RW} * \gamma_{DW}$)	1.32	[-]

γ_{MH}	Coefficiente di riduzione delle proprietà meccaniche della rete	1.30	[-]
γ_{bulg}	Coefficiente di riduzione per il massimo spostamento ammesso per la mesh	1.20	[-]

γ_{MH}	Coefficiente di riduzione delle proprietà meccaniche delle barre B450C	1.15	[-]
γ_{bulg}	Coefficiente di riduzione della resistenza a sfilamento del bulbo (1.8*1.2 – NTC – Paragrafo 6.6.2)	2.16	[-]

2.4 Calcolo della resistenza equivalente della rete armata

La posa in opera della rete sarà rinforzata mediante un'orditura di funi di rinforzo, (diam. 16 mm) posizionate come da schema successivo (vedi **Figura 1**). È quindi chiaro come la resistenza a trazione di un pannello di rete a doppia torsione posizionato all'interno di una maglia di ancoraggi 3x3 sia incrementata per effetto del contributo offerto dalla presenza delle due funi posizionate lungo le due diagonali del quadrato della maglia di ancoraggi.

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

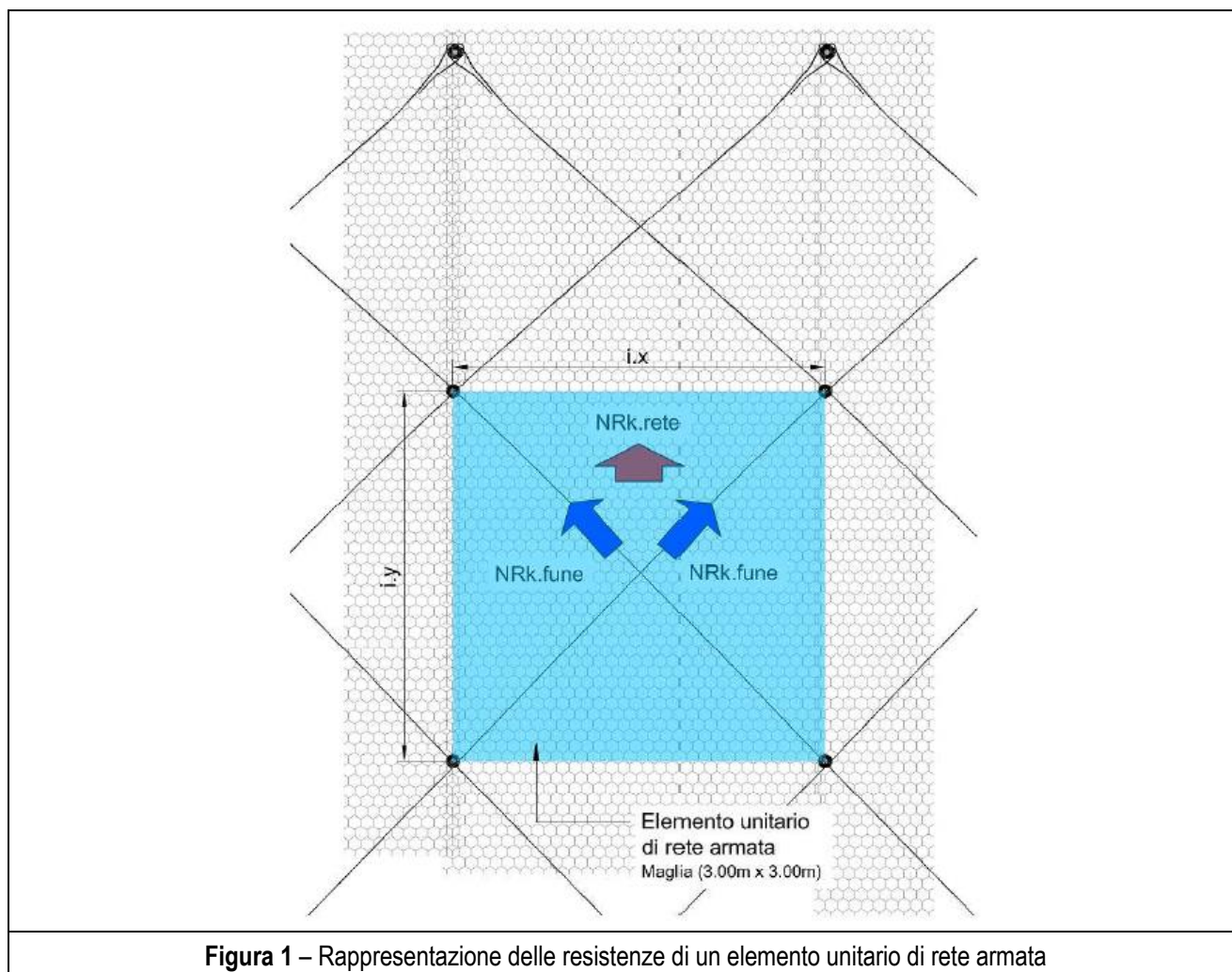


Figura 1 – Rappresentazione delle resistenze di un elemento unitario di rete armata

Il calcolo della resistenza equivalente di progetto per il pannello di rete armata con le funi di rinforzo è effettuato, come suggerito dal programma MACRO 1, con un coefficiente di riduzione per la resistenza nominale della rete (e cautelativamente anche delle funi) pari a 3.

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

$\gamma_{rete\ armata}$	Coefficiente di riduzione delle proprietà meccaniche della rete	3.00	[-]
Proprietà geometriche del pannello di rete			
ix	Interasse degli ancoraggi lungo la direzione orizzontale	3.00	[m]
iy	Interasse degli ancoraggi lungo la direzione verticale	3.00	[m]
α_{fune}	Inclinazione degli ancoraggi sullo sviluppo in pianta	45	[°]
Proprietà meccaniche degli elementi strutturali			
$NR_{k_{rete}}$	Resistenza caratteristica a trazione della rete per unità di lunghezza	50.00	[kN/m]
$NR_{k_{fune}}$	Resistenza caratteristica a trazione della fune	141	[kN]
Resistenza a trazione caratteristica di un pannello di rete armata di 3 m			
$NR_{k_{rete\ armata}}$	$NR_{k_{fune}} \cdot ix \cdot NR_{k_{fune}} \cdot 2 \cos(\alpha_{fune})$	349.40	[kN]
Resistenza a trazione di calcolo di un pannello di rete armata di 3 m			
$NR_d_{retearmata}$	$NR_{k_{retearmata}} / \gamma_{rete\ armata}$	116.46	[kN]
Resistenza a trazione di calcolo di un pannello di rete armata di 3 m per unità di lunghezza			
$nR_d_{rete\ armata}$	$NR_d_{retearmata} / ix$	38.82	[kN/m]

2.5 Definizione del parametro di riduzione della resistenza della rete γ_{MH}

Al fine di introdurre nel software di calcolo "Macro 1" la tipologia di rete armata precedentemente descritta, essendo tale tipologia assente dal database del software stesso, è stata utilizzata nelle verifiche una rete simile le cui proprietà meccaniche sono state ridotte di un coefficiente di riduzione tale per cui la resistenza di calcolo a trazione della rete fosse equivalente alla resistenza di calcolo equivalente della rete armata, così come calcolata al paragrafo 2.5. Introducendo nel software una rete con valore di resistenza caratteristica di trazione pari a 50kN/m, al fine di ottenere un valore resistente di calcolo pari a 38,82 kN/m, si è definito un coefficiente di riduzione γ_{MH} pari ad 1.30.

γ_{MH}	Coefficiente di riduzione delle proprietà meccaniche della rete	1.30	[-]
---------------	---	------	-----

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

3 – Metodo di calcolo utilizzato

3.1 Dimensionamento degli ancoraggi

In via cautelativa, si ipotizza che i chiodi sostengano l'intera parte corticale dell'ammasso che riveste il pendio. Questa coltre rappresenta la somma di tutti volumi rocciosi che potenzialmente possono originare gli episodi di caduta massi.

Il contributo resistente delle barre di ancoraggio inserite negli ammassi rocciosi può essere calcolato con ben note procedure descritte in letteratura (AICAP 1993, Wyllie e Mah 2004), includendo anche l'effetto dei chiodi in gruppo (Ferrero et Al. 1997).

Tenendo sempre presente che si tratta di elementi passivi, per cui si lavora con i parametri geotecnici in condizioni residue, il calcolo dei chiodi deve assumere che la porzione instabile dell'ammasso giaccia in condizione di equilibrio limite, dove il fattore di sicurezza è pari a 1.0.

Pertanto, le forze stabilizzanti hanno lo stesso valore delle forze destabilizzanti ed è vera la seguente equazione:

$$[1] \quad \text{forze stabilizzanti} = W \sin \beta = \text{forze destabilizzanti}$$

dove:

W = peso dell'ammasso roccioso instabile da consolidare

β = inclinazione della superficie secondo cui può manifestarsi lo scivolamento

Utilizzando il criterio di rottura di Barton-Bandis per i giunti, l'equazione [1] può essere riscritta per descrivere il miglioramento della stabilità (Hoek and Brown, 1981):

$$[2] \quad W \sin \beta - c \sin \beta \tan \phi + R \geq W (\sin \beta + c \cos \beta)$$

con

R = contributo stabilizzante dei chiodi

c = coefficienti sismici

ϕ = angolo di attrito residuo del giunto

Assumendo $\tan \phi \approx 1$ (angolo di attrito = 45°), e introducendo dei fattori di sicurezza per ridurre le forze stabilizzanti (γ_{RW}) e incrementare le forze destabilizzanti (γ_{DW}), la condizione di stabilità sarebbe:

$$[3] \quad W \cdot \sin \beta (1 - c) / \gamma_{RW} + R \geq W \cdot \gamma_{DW} \cdot (\sin \beta + c \cdot \cos \beta)$$

oppure

$$F_{S_{slp}} > F_{D_{slp}}$$

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

assumendo

$F_{Dslp} = (W \cdot \sin\beta + c \cdot \cos\beta) \gamma_{DW}$ = somma delle forze destabilizzanti

$F_{Sslp} = ((W \cdot \sin\beta) (1 - c)) / \gamma_{RW} + R$ = somma delle forze stabilizzanti

L'equazione [3] consente di determinare la forza del chiodo che consolida una massa rocciosa allo stato di equilibrio limite. È un'equazione conservativa ed è semplice da utilizzare in quanto l'unica variabile geotecnica è l'inclinazione del piano di scorrimento. I coefficienti di sicurezza (γ_{RW} , γ_{DW}) dipendono da diversi fattori. Le caratteristiche della massa rocciosa influenzano l'entità delle forze stabilizzanti, in modo che il loro coefficiente di sicurezza può essere descritto come:

$$\gamma_{RW} = \gamma_{THI} \gamma_{WG} \gamma_{BH}$$

dove:

γ_{THI} = descrive le incertezze nel determinare lo spessore superficiale instabile s. Il suo valore è compreso tra 1.20, quando la stima è basata su un rilievo geomeccanico, e 1.30, quando si basa su stima grossolana.

γ_{WG} = descrive le incertezze nella determinazione del peso unitario della massa rocciosa. Di solito si assume uguale 1.00, ma se ci sono gravi incertezze (litotipi molto eterogenei) può essere assunto pari 1.05.

γ_{BH} = descrive le incertezze relative al comportamento della massa rocciosa. Un'elevata erodibilità della superficie della roccia può provocare un denudamento dei chiodi e innescare un indebolimento dell'intero sistema. Solitamente il valore viene assunto pari 1.00, ma se ci sono condizioni ambientali gravose o la massa roccia è soggetta ad alterazione, può essere assunto pari a 1.05.

Le condizioni esterne, in particolare la morfologia del versante, svolgono un ruolo importante nell'entità delle forze destabilizzanti, il cui coefficiente di sicurezza è definito come:

$$\gamma_{DW} = \gamma_{MO} \gamma_{OL}$$

dove

γ_{MO} = descrive le incertezze relative alla morfologia del versante. Se la scarpata è molto accidentata, e quindi la rete di rivestimento non è in perfetta aderenza con la superficie della parete, e i blocchi instabili possono liberamente muoversi, in questo caso dovrebbe essere applicato un coefficiente di sicurezza di 1.30. Se la superficie del pendio è regolare, la rete di rivestimento è in aderenza con la parete e i movimenti dei blocchi instabili sono limitati, quindi in questo caso viene utilizzato un coefficiente di sicurezza pari a 1.10.

γ_{OL} descrive le incertezze relative ai carichi accidentali/addizionali applicati sul sistema di rivestimento. I carichi addizionali potrebbero essere correlati alla presenza di ghiaccio e neve, o di vegetazione che cresce sul pendio. Di solito è assunto pari 1.00, ma se sono previste condizioni gravose, può essere assunto pari a 1.20.

I chiodi di rinforzo lavorano principalmente in prossimità del giunto di scorrimento, dove sono sottoposti sia a sollecitazioni di taglio che di trazione. La forza resistente R, che viene mobilitata in funzione della presenza della barra lungo il piano di scorrimento, è derivata utilizzando la direttrice di lavoro massima:

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

[4]

$$R = \left[\frac{1 + \frac{m^2}{16}}{1 + \frac{m^2}{4}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot N_e$$

dove:

$m = \cotg(\varepsilon + \delta)$

ε = angolo tra l'asse della barra e la perpendicolare ai giunti di scivolamento, uguale a

$\varepsilon = 90^\circ - \beta - \Theta_0$, dove Θ_0 è l'inclinazione della perforazione rispetto all'orizzontale

δ = dilatanza della superficie di scivolamento

N_e = resistenza della barra (in condizioni di limite elastico) = $ESS_{\sigma_{adm}} = ESS_{\sigma_{ST}} / \gamma_{ST}$

γ_{ST} = coefficiente di riduzione della resistenza dell'acciaio

ESS = area efficace della barra di acciaio = $\pi / 4 \cdot (f_e - 2 f_c)^2 \cdot f_i^2$

f_e = diametro esterno della barra di acciaio

f_c = spessore di corrosione della corona esterna

f_i = diametro minore della barra di acciaio

In accordo con il criterio di rottura di Barton - Bandis, il valore δ (dilatanza della superficie di scivolamento) è approssimato come:

$$\delta \approx \frac{JRC \cdot \log \left[\frac{JCS}{\sigma_{plan}} \right]}{3}$$

$$\sigma_{plan} = \frac{i_x \cdot i_y \cdot s \cdot \gamma \cdot \cos \alpha}{i_x \cdot i_y}$$

dove:

α = inclinazione del piano di scorrimento più sfavorevole

σ_{plan} = sforzo di trazione sul piano di scivolamento

JRC = coefficiente di rugosità del giunto =

JCS = resistenza a compressione semplice del giunto riferita alla scala del giunto campione

JCS_0 = resistenza a compressione semplice del giunto riferita alla scala del giunto campione

JRC_0 = coefficiente di rugosità del giunto riferita alla scala del giunto campione

L_0 = lunghezza del giunto (assunta pari a 0.1 m per mancanza di dati)

L_g = lunghezza del giunto (assunta pari alla spaziatura verticale dei chiodi di 1.0 m per mancanza di dati).

I valori di rugosità e di resistenza a compressione semplice devono essere stimati sul giunto più sfavorevole.

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

3.2 Lunghezza degli ancoraggi

Nella valutazione della lunghezza dei chiodi viene considerato quanto segue:

- a) Il chiodo svolge il ruolo più importante nel consolidamento superficiale del versante. La sua lunghezza deve essere maggiore dello spessore instabile e dovrebbe permettere l'*immorsamento* della barra nella porzione stabile;
- b) La barra di acciaio e la malta sono esposti agli agenti atmosferici (ghiaccio, pioggia, salinità, variazioni di temperatura, ecc.).

La lunghezza minima teorica è calcolata come segue: $L_t = L_s + L_i + L_p$

Assumendo:

L_s = lunghezza nella porzione stabile dall'ammasso roccioso = $P / (\pi \phi_{drill} \tau_{lim} / \gamma_{gt})$

L_i = lunghezza nella porzione alterata = $s / \cos \varepsilon \gamma_{dw}$

L_p = lunghezza del foro con fenomeni di plasticità nella parte stabile dell'ammasso roccioso

con

ϕ_{drill} = diametro della perforazione

τ_{lim} = tensione di aderenza tra malta e roccia

γ_{gt} = coefficiente di sicurezza per laderenza tra malta e roccia

P = carico di sfilamento; più grande di:

$P_{Mesh} = ((W_{Sbar} - W_{Dbar}) \cos (\alpha + \Theta_o)) i_x$ = carico di sfilamento dovuto alla rete

$P_{Rock} = (F_{Sslp} - R - F_{Dslp}) \cos (\beta + \Theta_o)$ = carico di sfilamento dovuto all'Instabilità del versante

La lunghezza del chiodo, in questo modo, viene definita in maniera preliminare. La lunghezza finale delle barre deve essere valutata durante le operazioni di perforazione e validata da prove di sfilamento.

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

3.3 Dimensionamento della rete – Stato limite ultimo

Alcuni blocchi secondari potrebbero scivolare tra i chiodi su un piano con inclinazione α , dove α è minore della pendenza del versante β , e spingere sulla rete di rivestimento. La dimensione massima del blocco che esercita un carico per metro lineare del rivestimento dipende dallo spessore s e dalla spaziatura verticale i_y tra due chiodi.

Poiché il carico di spinta è asimmetrico e la rete si deforma in maniera non uniforme, le forze che agiscono sul paramento sono rappresentate da:

F = forza sviluppata dai blocchi che scivolano tra i chiodi su un piano con inclinazione α .

T = forza agente sul piano del rivestimento, che si presenta quando i blocchi scivolando spingono sul rivestimento. La forza può svilupparsi perché c'è un grande attrito tra la rete e i blocchi, e si forma una tasca. Il rivestimento, che è considerato essere chiodato solo sulla porzione superiore, reagisce a T mobilizzando la resistenza a trazione della rete.

M = forza di punzonamento sviluppata dai blocchi perpendicolari al piano del rivestimento. La forza si sviluppa in quanto ci sono diversi vincoli laterali, come la chiodatura (forte vincolo) e la rete (vincolo più debole). L'entità di M dipende largamente dalla rigidità della rete: maggiore è la rigidità della rete, maggiore sarà l'efficacia del rivestimento.

Nel caso della rete, lo stato limite ultimo è soddisfatto quando

$$T_{adm} - T \geq 0$$

dove

T_{adm} = resistenza a trazione ammissibile della rete

La resistenza ammissibile della rete sarà:

$$T_{adm} = T_m / \gamma_{MH}$$

dove

T_m = Resistenza a trazione della rete

γ_{MH} = coefficiente di sicurezza per la riduzione della resistenza a trazione. Tenendo in considerazione lo stato disomogeneo di stress agente sulla rete, il minimo coefficiente di sicurezza sarà non inferiore a 2.50.

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

Il carico T agente sulla rete dipende dalla spinta agente sulla rete che può essere calcolata utilizzando gli stessi principi della formula [3]

$$M = F \cdot \sin(\beta - \alpha) i_x = (M_{bdrv} - M_{bstb}) \sin(\beta - \alpha) i_x$$

dove:

$$M_{bdrv} = (M_b \sin \alpha + c \cos \alpha) \gamma_{DW} = \text{forze agenti}$$

$$M_{bstb} = (M_b \sin \alpha (1 - c)) \gamma_{RW} = \text{forse resistenti}$$

$$M_b = V \gamma = \text{peso della massa di roccia instabile}$$

V = volume instabile massimo tra i chiodi che è calcolato come segue:

$$(\text{Caso A}): \text{se } \alpha \geq (\beta - \arctan(s/i_y)) \text{ e } \alpha < \beta \quad V = 0.5 i_y^2 \tan(\beta - \alpha)$$

$$(\text{Caso B}): \text{se } \alpha < (\beta - \arctan(s/i_y)) \quad V = i_y s - 0.5 s^2 / \tan(\beta - \alpha)$$

$$(\text{Caso C}): \text{se } \alpha < (\beta - \arctg(s/i_y)) \quad V = 0.5 s^2 / \tan(\beta - \alpha)$$

Infine

$$\text{se } M/i_x / \sin(\beta - \alpha) - \rho p < M_b \sin \beta$$

$$\text{allora } T = M/i_x / \sin(\beta - \alpha) - \rho p \text{ quindi } T = M_b \sin \beta$$

con

$$\rho p \approx \arctg(Z_{bulg}/1.5) = \text{angolo della deformazione della rete}$$

Z_{bulg} = deformazione correlata al carico di punzonamento M. É direttamente misurata da dati sperimentali.

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

3.3 Dimensionamento della rete – Stato limite di servizio

Lo stato limite di servizio fornisce informazioni riguardanti quanto segue:

- attività di manutenzione sul rivestimento necessaria;
- rischi di denudamento degli ancoraggi;
- interferenza tra l'infrastruttura e il rivestimento del versante come conseguenza di deformazioni eccessive.

Lo stato limite di servizio è soddisfatto se

$$B_{bulg} - Z_{bulg} \geq 0$$

dove

$$B_{bulg} = D_{mbulg} / \gamma_{mbulg} = \text{deformazione ammissibile}$$

D_{mbulg} = deformazione di progetto massima

γ_{mbulg} = coefficiente di sicurezza; varia tra 1.30 (rivestimento correttamente installato su un versante con una superficie regolare) e 3.00 (rivestimento installato non correttamente su un versante con una morfologia irregolare).

Z_{bulg} = deformazione del rivestimento derivato dai risultati dei test condotti sulla base del carico di punzonamento M.

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

3.3 Risultati delle elaborazioni

MACRO 1 Reinforced System

Rock and Soil Slope Protection Design Software

MACCAFERRI
 www.maccferri.com

 Cliente **CASTIONE DELLA PRESOLANA /**

pag. 1 of 2

● Informazioni sul progetto

Titolo	VIA PREDUSOLO	Descrizione
Numero		
Cliente	CASTIONE DELLA PRESOLANA	
Progettista		

● Input
Parete rocciosa

Inclinazione della parete [°]	75
Spessore instabile [m]	1.00
Peso dell'unità di volume della roccia [kN/m³]	24.00
Lunghezza di plasticizzazione nella roccia stabile [m]	0.10

Giunto più pericoloso

Inclinazione del giunto più pericoloso [°]	15
Resistenza a compressione semplice JCS [MPa]	5.00
Rugosità JCR	2.00

Accelerazione sismica

Coefficiente sismico orizzontale	0.05
----------------------------------	------

Rete

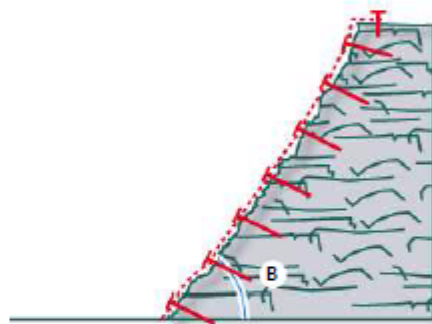
Tipo di rete	Steelgrid MO 300 PVC
Resistenza a trazione nominale [kN/m]	50.00
Massima deformazione ammissibile [m]	0.41

Barre di Ancoraggio
Geometria

Interasse orizzontale dei chiodi [m]	3.00
Interasse verticale dei chiodi [m]	3.00
Inclinazione della barra rispetto all'orizzontale	5

Tipo di ancoraggio

Tipo di barra	Steel bars B450C
Diametro interno della barra [mm]	0
Diametro esterno della barra [mm]	24
Spessore della corona di corrosione [mm]	0
Tensione di snervamento [MPa]	450.00
Coefficiente di adesione tra roccia e iniezione [MPa]	0.50


FS Fattore di Sicurezza

Incertezza sullo spessore medio della zona instabile	1.20
Incertezza sul peso di volume della roccia	1.00
Incertezza sulle condizioni ambientali di applicazione	1.00
Coefficiente di riduzione delle forze stabilizzanti	1.20
Morfologia del pendio da consolidare	1.00
Sovraccarichi esterni sul pendio	1.10
Coefficiente di aumento delle forze destabilizzanti	1.10
Fattore di sicurezza globale	1.32
Coefficiente della resistenza a trazione della rete	1.30
Coefficiente della deformazione massima ammissibile	1.20
Coefficiente della resistenza dell'acciaio	1.15
Coefficiente della adesione tra roccia e iniezione	2.16

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

Cliente CASTIONE DELLA PRESOLANA /

pag. 2 of 2

• Risultati

Bar design check (Slope SF)

1.16 Soddisfatta

Mesh design check

3.80 Soddisfatta

Serviceability design check

1.03 Soddisfatta

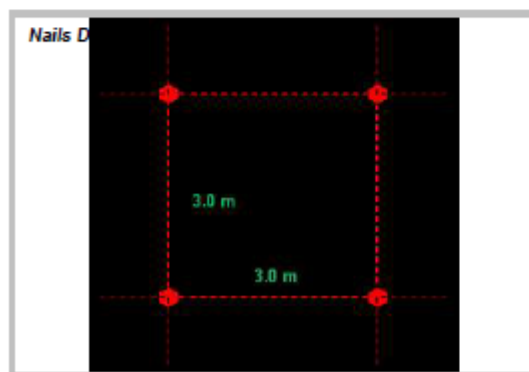
Progettazione degli ancoraggi

Forze stabilizzanti [kN]	270.41
Forze stabilizzanti sul piano di scivolamento corticale [kN]	232.58
Forze destabilizzanti sul piano di scivolamento	1.16
Angolo tra perpendicolare alla parete e asse della barra [°]	10.00
Snervamento ammissibile dell'acciaio [MPa]	391.30
Sezione di acciaio utile della barra [mm ²]	452.39
Sliding plane stabilizing forces - per anchorage [kN]	105.23
Diametro minimo di perforazione (nominale) [mm]	39.00
Forza di sfilamento dell'ancoraggio dovuta al carico trasmesso dalla rete [kN]	24.38
Forza di sfilamento dell'ancoraggio dovuta all'instabilità globale [kN]	11.70
Forza totale di sfilamento (totale) [kN]	24.38
Lunghezza minima di ancoraggio nella parte stabile della roccia [m]	0.90
Lunghezza minima di ancoraggio nella parte instabile della roccia [m]	1.20
Lunghezza minima di fondazione (nominale) [m]	2.20

Stato Limite di Servizio

Forze stabilizzanti [m]	0.34
Forze destabilizzanti sul piano di scivolamento corticale [m]	0.33
Rapporto tra carico e resistenza a trazione	1.03

Geometry

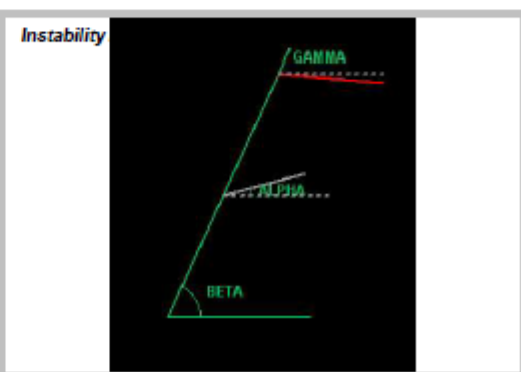


Progettazione della rete

Forza massima agente sulla fune [kN/m]	38.46
Massimo carico di trazione agente sulla rete [kN/m]	10.12
Rapporto tra resistenza a trazione e carico	3.80
Volume potenzialmente instabile - caso A [m ³ /m]	0.00
Volume potenzialmente instabile - caso B [m ³ /m]	2.42
Volume potenzialmente instabile - caso C [m ³ /m]	0.29
Massimo volume che può agire tra la maglia di chiodi. [m ³ /m]	2.71
Massimo peso che può agire tra la maglia di chiodi. [kN/m]	65.07
Sommatoria delle forze instabilizzanti agenti sulla superficie di scivolamento corticale [kN/m]	21.98
Sommatoria delle forze stabilizzanti agenti sulla superficie di scivolamento corticale [kN/m]	13.33
Forze di punzonamento agenti sulla rete [kN]	22.47
Angolo di deformazione della rete rispetto all'orizzontale (valore medio) [°]	12.25

Caratteristiche dell'instabilità

Pressione di contatto sul piano di scivolamento [MPa]	0.02
Dilatazione iniziale del giunto più pericoloso	1.31
Volume totale che spetta al singolo ancoraggio [m ³]	9.00
Peso totale che spetta al singolo ancoraggio [kN]	216.00



INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DISSESTO IDROGEOLOGICO IN VIA PREDUSOLO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

R04 - RELAZIONE DI CALCOLO

Riepilogo dei parametri dimensionali

ϕ barra	Diametro delle barre di ancoraggio	24	[mm]
L	Lunghezza di progetto	3	[m]
ϕ perforazione	Diametro di perforazione minimo	40	[mm]
i_x	Interasse della chiodatura intermedia in direzione x	3	[m]
i_y	Interasse della chiodatura intermedia in direzione y	3	[m]
ϕ fune	Diametro funi di rinforzo	16	[mm]