

I diritti di proprietà inerenti il presente elaborato, nonché ogni relativa integrazione, rimangono in capo al tecnico firmatario. Eventuali modifiche e/o aggiunte allo stesso saranno esclusivamente di proprietà di quest' ultimo. È fatto divieto a chiunque di riprodurre copiare o comunque utilizzare e/o consegnare senza preavviso, a terzi i grafici originali o le loro copie, nonché gli schemi parziali e quant' altro alla presente fornitura.



PROVINCIA DI BENEVENTO

COMUNE DI SAN GIORGIO LA MOLARA

Oggetto Lavori	SP.N.45 KM 11- LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA MOVIMENTO FRANOSO ALLA LOC. FOSSO DI BOSCO DEL COMUNE DI SAN GIORGIO LA MOLARA MESSA IN SICUREZZA COSTONE ROCCIOSO AL KM 10 E RIPRISTINO PIANO VIABILE
-----------------------	---

Stazione Appaltante	PROVINCIA DI BENEVENTO
----------------------------	-------------------------------

Fase Progettuale	PROGETTO DEFINITIVO	INTERVENTO SU S.P. N.45 KM 10 BARRIERA PARAMASSI
-------------------------	----------------------------	---

Allegati	<ol style="list-style-type: none"> 1. RELAZIONE GENERALE 2. RELAZIONE TECNICA 3. RILIEVI PLANOALTIMETRICI 4. ELEBORATI GRAFICI 5. CALCOLI DELLE STRUTTURE 6. DISCIPLINARE PRESTAZIONALE E DESCRITTIVO DEGLI ELEMENTI TECNICI 7. ELENCO PREZI UNITARI E EVENTUALI ANALISI 8. COMPUTO METRICO ESTIMATIVO 9. AGGIORNAMENTO STESURA PIANI DI SICUREZZA 10. QUADRO ECONOMICO 	<p>ELABORATO 5.</p> <p>CALCOLI DELLE STRUTTURE-</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE DELLE FONDAZIONI DELLA BARRIERA RMC 200/A</p>
-----------------	---	--

Il RUP	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 100%;"> Il progettista Ing. Tomaciello Giuseppe Via Il Vischetti n. 7 82020 Pesco Sannita </td> </tr> </table>	Il progettista Ing. Tomaciello Giuseppe Via Il Vischetti n. 7 82020 Pesco Sannita
Il progettista Ing. Tomaciello Giuseppe Via Il Vischetti n. 7 82020 Pesco Sannita		
Il Responsabile del Servizio		

INTRODUZIONE

La presente relazione ha lo scopo di verificare il sistema di fondazione e di ancoraggio delle barriere paramassi ad elevato assorbimento di energia progettate in merito all'intervento MESSA IN SICUREZZA COSTONE ROCCIOSO AL KM 10 S.P. N. 45.

L'intervento in esame prevede l'installazione di n. 1 barriera con uno sviluppo planimetrico di 30 metri lineari (e una altezza nominale di 4 metri fuori terra. Le barriere in progetto hanno una capacità dissipativa di oltre $E_p = 2000$ kJ (Barriera RMC 200/A).

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per il dimensionamento degli elementi resistenti si fa riferimento alla seguente normativa:

- **N.T.C 17/01/2018** – “Norme tecniche per le costruzioni”
- **Circolare 2 febbraio 2009, n. 617** – “Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008»

Si sono inoltre seguite le indicazioni fornite da testi specializzati quali:

- **A.I.C.A.P. - Ancoraggi nei terreni e nelle rocce: raccomandazioni**

Il calcolo e la verifica degli elementi costruttivi sono stati condotti secondo gli usuali metodi della Scienza delle Costruzioni.

Tenuto conto delle caratteristiche prestazionali delle strutture delle barriere paramassi, le verifiche sono eseguite allo stato limite ultimo.

DATI DI INPUT

Il calcolo è stato effettuato considerando un terreno di matrice omogenea caratterizzato quindi da parametri geotecnici, fisici e meccanici costanti per tutto il suo spessore.

Si prevede, inoltre, che la miscela di iniezione, per la realizzazione degli elementi di trasmissione al terreno degli sforzi indotti nella struttura in elevazione, sia di tipo cementizio e sia posta in opera secondo il processo di iniezione di tipo globale e messa in pressione unica (modello IGU: Iniezione Globale Unica) ed abbia un R_{ck} non inferiore a 300 daN/cm².

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali utilizzati devono soddisfare alle caratteristiche fisico-meccaniche impartite dalle normative vigenti ed indicate nei riferimenti del paragrafo precedente.

Si riportano in questa sede, per semplicità, le sole caratteristiche di resistenza dei materiali:

Acciaio per barre B450C

Tensione caratteristica a rottura dell'acciaio	$f_{tkS} = 5400$ daN/cm ²
Tensione caratteristica a snervamento dell'acciaio	$f_{ykS} = 4385$ daN/cm ²
coefficiente di sicurezza	$\gamma_s = 1,15$
resistenza di calcolo dell'acciaio $= f_{yk} / \gamma_s =$	$f_{yds} = 3813$ daN/cm ²
resistenza di calcolo di taglio acciaio $= f_{ykS} / \sqrt{3} \gamma_M =$	$f_{vds} = 2201$ daN/cm ²
modulo elastico dell'acciaio	$E = 2,06 \cdot 10^6$ daN/cm ²

Acciaio per funi spiroidale (classe 1570 N/mm²)

Carico rottura minimo per diametro nominale $\varnothing 20$	$T_{\varnothing 20} = 322,0$ kN
--	---------------------------------

Miscela cementizia per iniezioni R_{ck} 30 MPa (Classe C25/30)

confezionata con cemento tipo 325 o sup, utilizzo di additivo antiritiro, metodo iniezione IGU	
Resistenza cubica a compressione caratteristica	$R_{ck} = 300,0$ daN/cm ²
Resistenza monoassiale per carichi di breve durata	$f_{ck} = 249,0$ daN/cm ² = $0,83 \cdot R_{ck}$
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_m = 1,50$

Coefficiente di sicurezza per carico per lunga durata	$\gamma_{cc} = 0,85$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 141,1 \text{ daN/cm}^2$
Resistenza caratteristica di aderenza	$f_{bk} = 40,3 \text{ daN/cm}^2$
Resistenza di calcolo di aderenza	$f_{bd} = 26,9 \text{ daN/cm}^2$

Caratteristiche di progetto del terreno*

Resistenza di calcolo aderenza malta – terreno $\tau_{ds} = 5,00 \text{ daN/cm}^2$

* Le resistenze di calcolo delle aderenze malta-terreno sono da intendersi, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, già al netto del valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella Tab. 6.2.II del D.M. 14/01/2008.

Secondo quanto previsto dalle Norme tecniche D.M. 17/01/2018, la verifica di sicurezza agli stati limite ultimi degli ancoraggi sono stati condotti utilizzando nei calcolo l'Approccio 2, con il set di coefficienti parziali (A1+M1+R3), tenuto conto che, in tale combinazione, il coefficiente parziale per la resistenza di ancoraggi di tipo permanente vale $\gamma_{Ra,p} = 1,20$.

Per quanto riguarda invece la verifica di sicurezza dei pali, secondo le Norme tecniche D.M. 17/01/2018), si utilizzerà l'Approccio 1 – Combinazione 2, con il set di coefficienti parziali (A2+M2+R2), tenuto conto che il coefficiente parziale per la resistenza dei pali viene assunto pari a $\gamma_R = 1,60$ (pali trivellati).

Nel corso del calcolo, pertanto, saranno determinati dei coefficienti di sicurezza che andranno confrontati con quelli previsti dai suddetti approcci.

ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

La determinazione dei carichi di progetto avviene considerando i risultati ottenuti durante la prova d'urto a scala reale (Crash Test) di tipo MEL (Maximum Energy Level) eseguita sulla barriera RMC 200/A, in cui vengono individuati gli sforzi massimi agenti sulle funi convergenti agli ancoraggi di monte e laterali, come indicato nello schema riportato in Fig. 1.

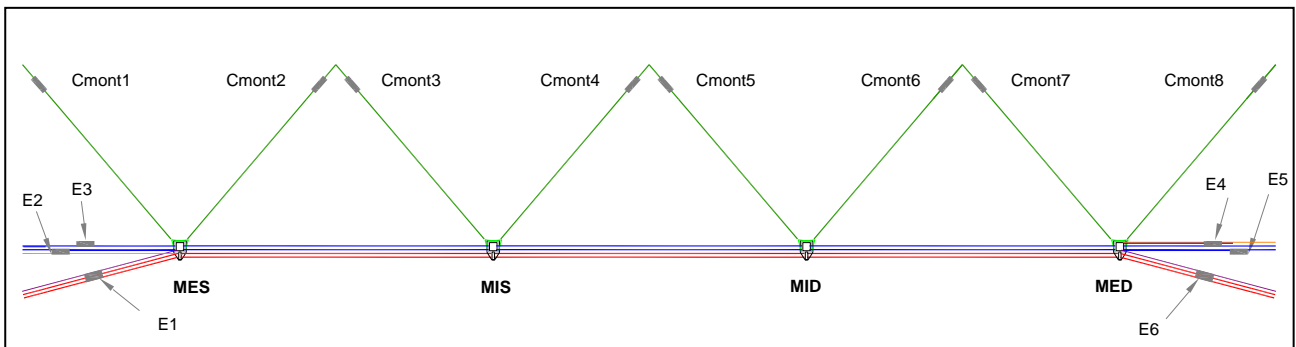


Fig. 1 – Disposizione delle celle di carico per l'analisi degli sforzi sulle funi durante il crash test

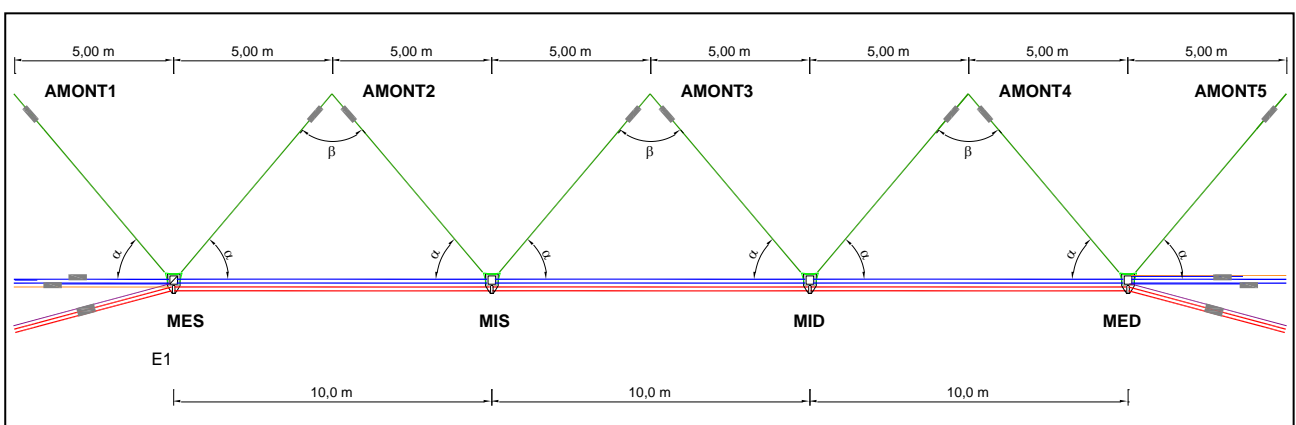


Fig. 2 – Caratteristiche geometriche della barriera RMC 200/A

Tenuto conto delle forze di picco registrate dalle celle di carico durante il sopramenzionato crash test, della disposizione delle celle di carico, della conformazione geometrica della barriera, è possibile determinare i carichi massimi (nella peggiore combinazione di carico) agenti sui montanti,

sugli ancoraggi laterali e sugli ancoraggi di monte, che vengono riportati nella tabella qui di seguito.

T_L	=	237,20 kN	= massimo carico su ancoraggi laterali
T_M	=	150,05 kN	= massimo carico su ancoraggi di monte
N	=	195,95 kN	= massimo carico di compressione alla base del montante
V	=	166,85 kN	= massimo carico di taglio alla base del montante

VERIFICA FONDAZIONI DEL MONTANTE

A favore di sicurezza si considera che tutte le fondazioni dei montanti siano sollecitate con il massimo carico $N = 195,95$ kN. Si assume, inoltre, che la base del montante sia soggetta anche ad una forza di taglio, che vale $V = 166,85$ kN.

Le fondazioni del montante verranno realizzate mediante $n_b = 4$ barre in acciaio tipo B450C aventi diametro $\phi 24$ inserite in perforazioni di diametro minimo $D = 45$ mm ciascuno, in modo da formare 4 micropali di lunghezza pari a 2,00 m. Si determina la portata limite mediante la formula (BUSTAMANTE-DOIX, 1985)

$$P_L = k \pi \alpha D \sum_i (L_i q_{si}) \quad \text{dove}$$

- k coefficiente di maggiorazione che tiene conto nel calcolo della resistenza a compressione del contributo della resistenza di punta pari a 1,15
- α coefficiente di maggiorazione funzione della qualità del terreno e che tiene conto del grado di penetrazione dell'iniezione nel terreno circostante alla perforazione e che vale, per il caso in esame, 1,10
- i indice che identifica la stratigrafia e assunto nel caso in esame pari ad 1 (un solo strato)
- D diametro di perforazione pari a 4,5 cm
- L_i lunghezza utile di aderenza del micropalo pari a 200 cm per lo strato omogeneo
- q_{si} coefficiente che dipende oltre che dalla natura del suolo, dalla sua consistenza e dalla metodologia di lavoro utilizzata per realizzare l'ancoraggio e fissato nel caso in esame pari a 5,0 daN/cm² per lo strato oggetto di studio.

I valori di α e q_s sono ricavati da BUSTAMANTE-DOIX, considerando che la resistenza d'attrito all'estrazione esistente tra il calcestruzzo del plinto e la miscela dell'iniezione

Strato	L_i [cm]	q_{si} [daN/cm ²]	$q_{si} L_{si}$ [daN/cm]
1	200,00	5,00	1000,00
	$L_{tot} = 200,00$	$\phi (L_{si} \times q_{si})$	1000,00

Dalla Tabella e dai coefficienti indicati si ottiene :

$$P_L = 17883 \text{ daN}$$

Assumendo un coefficiente di sicurezza pari a 2,00, si ottiene quindi il carico utile:

$$P_U = P_L / 2,00 = 8942 \text{ daN} > N / n_b = 4898,8 \text{ daN}$$

Nell'ipotesi di affidare la resistenza a compressione alla sola armatura in acciaio si ha

$$\sigma_f = N / n_b A = 19595 / (4 \times 4,52) = 1083,8 \text{ daN/cm}^2 < f_{yds} = 3813 \text{ daN/cm}^2 \text{ (coeff. sic. } \phi = 3,52)$$

Si calcola successivamente il valore di tensione nel palo, nell'ipotesi che contribuisca al trasferimento del carico negli strati profondi anche la sezione in calcestruzzo.

La resistenza plastica della sezione composta acciaio calcestruzzo a sforzo normale può essere valutata, nell'ipotesi di completa aderenza tra i materiali, secondo la formula

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_a f_{yk}}{\gamma_a} + \frac{A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} + \frac{A_s f_{sk}}{\gamma_s}$$

dove $A_a = 0,0$ cm², $A_c = 11,38$ cm², $A_s = 4,52$ cm² sono, rispettivamente, le aree del profilo in acciaio, della parte in calcestruzzo e delle barre d'armatura, mentre $\phi_a = 1,05$, $\phi_c = 1,50$, $\phi_s = 1,15$ sono i coefficienti di sicurezza.

$$N_{pl,Rd} = 18841 \text{ daN} > 4898,8 \text{ daN} \quad \text{con coeff. sic. } \phi = 3,85$$

La resistenza allo scorrimento fra acciaio e calcestruzzo è dovuta alle tensioni di aderenza, all'attrito all'interfaccia acciaio-calcestruzzo. Nell'ambito del metodo di verifica agli stati limite si può assumere una tensione tangenziale di progetto dovuta all'aderenza ed all'attrito:

$$f_{bdc} = 26,9 \text{ daN/cm}^2, \text{ per sezioni con acciaio nervato}$$

$$\sigma_{aderenza} = N / n_b A_{aderenza} = 19595 / (4 \times 2,4 \times \sigma \times L) = 3,25 \text{ daN/cm}^2 < f_{bdc} = 26,9 \text{ daN/cm}^2$$

Si effettua infine la verifica di stabilità dell'elemento compresso. Il momento d'inerzia risulta:

$$J_i = \pi \sigma^4 / 64 + \pi / 64 [(d_{perf}^4 - \sigma^4) / n] = 2,86 \text{ cm}^4$$

Essendo il modulo di reazione β per unità di spostamento laterale e per unità di lunghezza pari a:

$$\sigma = W \times D \quad \text{con} \quad W \text{ modulo di Winkler (pari a } 30,00 \text{ daN/cm}^3 \text{ [POZZATI])}, \\ D = \text{diametro di perforazione} = 4,5 \text{ cm}$$

Il valore di carico critico per l'instabilità risulta

$$P_k = 2 \times \sqrt{(\beta \times E \times J)} = 56404 \text{ daN}$$

Il coefficiente per instabilità risulta

$$\eta = P_k / (N / n_b) = 11,51 > 10 = \text{valore min. accettabile del coeff. per aste a coefficiente euleriano.}$$

Verifica sollecitazione delle barre

Si suppone ora che il montante sia soggetto, oltre che ad una forza di compressione, anche alla forza di taglio, che si assume $T_o = V = 166,85 \text{ kN}$.

Si ipotizza, ora, che la piastra di base sia bloccata a terra unicamente mediante 4 tirafondi in barre d'acciaio tipo B450C avente $\sigma = 24 \text{ mm}$ e che il taglio venga assorbito esclusivamente dalle barre d'acciaio. Per ogni barra si avrà uno sforzo di taglio pari a :

$$T_B = T_o / 4 = 4171,25 \text{ daN}$$

Posto $A_{res} = \pi \sigma^2 / 4 = 4,52 \text{ cm}^2$, la massima tensione tagliante per ogni barra vale:

$$\sigma_{max} = 4 T_B / 3 A_{res} = 1230,5 \text{ daN / cm}^2 < f_{vds} = 2201 \text{ daN/cm}^2 \text{ (coeff. sicurezza } \sigma = 1,79)$$

Noto il valore di tensione dovuta al carico verticale $\sigma_a = 1083,8 \text{ daN/cm}^2$ la tensione ideale vale:

$$\sigma_{id} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \sigma_{max}^2)} = 2391 \text{ daN/cm}^2 < f_{vds} = 3813 \text{ daN/cm}^2 \text{ (coeff. sicurezza } \sigma = 1,60)$$

VERIFICA ANCORAGGIO DI MONTE

Noto il carico $T = T_M = 150,05 \text{ kN}$, la disposizione delle funi, definita la stratigrafia del terreno, si determinano rispettivamente le tensioni tangenziali tra armatura e nucleo di iniezione e tra il nucleo di iniezione e terreno.

Gli ancoraggi di monte verranno realizzati con dei cavallotti in fune d'acciaio spiroidale $\sigma = 20$ inseriti in perforazioni del diametro trasversale minimo pari a $D = 9,0 \text{ cm}$ e lunghezza $L = 3,00 \text{ m}$.

Verifica aderenza cavallotto fune – nucleo iniettato

$$\tau = T / (\mu \delta A_{lat}) = 15005 / (0,85 \times 0,85 \times 2 \times \pi \times 2,00 \times 300) = 5,51 \text{ daN/cm}^2 < f_{bd} = 26,9 \text{ daN/cm}^2$$

Per cui si ha un coefficiente di sicurezza $\sigma = 4,89$, avendo indicato con

μ = coefficiente di riduzione, funzione dello stato delle superfici posto nel presente caso = 0,85

δ = coefficiente di riduzione che dipende dal numero di trefoli inseriti in un foro posto nel caso in esame pari a 0,85 (caso di due trefoli)

$$A_{lat} = \text{area laterale dei due trefoli pari a } 2 \pi \sigma L$$

Verifica aderenza nucleo iniettato - terreno

I valori di aderenza tra il nucleo iniettato e il terreno considerandone la stratigrafia ipotizzata vale :

$$\tau = T / (\pi D L) = 15005 / (\pi \times 9,0 \times 300) = 1,77 \text{ daN/cm}^2 < \tau_{dR} = 5,00 \text{ daN/cm}^2$$

Per cui si ottiene un coefficiente di sicurezza $\sigma = \tau_{dR} / \tau = 2,83$

Verifica resistenza fune

$$Q = 322,0 \text{ kN} = \text{Carico di rottura fune d'acciaio spiroidale singola } \sigma = 20$$

$$Q_c = 512,0 \text{ kN} = \text{Carico di rottura cavallotto fune d'acciaio spiroidale } \sigma = 20$$

T = 150,05 kN = Carico massimo applicato all'ancoraggio

$\gamma = 3,41$ = coefficiente di sicurezza

VERIFICA ANCORAGGIO LATERALE

Noto il carico $T = T_L = 237,2$ kN, la disposizione delle funi, definita la stratigrafia del terreno, si determinano rispettivamente le tensioni tangenziali tra armatura e nucleo di iniezione e tra il nucleo di iniezione e terreno.

Gli ancoraggi laterali verranno realizzati con dei cavallotti in fune d'acciaio spiroidale $\phi\phi 20$ inseriti in perforazioni del diametro trasversale minimo pari a $D = 9,0$ cm e lunghezza $L = 4,00$ m.

Verifica aderenza cavallotto fune – nucleo iniettato

$$\tau = T / (\mu \delta A_{lat}) = 23720 / (0,85 \times 0,85 \times 2 \times \pi \times 2,00 \times 400) = 6,53 \text{ daN/cm}^2 < f_{bd} = 26,9 \text{ daN/cm}^2$$

Per cui il coefficiente di sicurezza $\gamma = 4,12$, avendo indicato con

μ = coefficiente di riduzione, funzione dello stato delle superfici posto nel presente caso = 0,85

δ = coefficiente di riduzione che dipende dal numero di trefoli inseriti in un foro posto nel caso in esame pari a 0,85 (caso di due trefoli)

A_{lat} = area laterale dei due trefoli pari a $2 \pi \phi L$

Verifica aderenza nucleo iniettato - terreno

I valori di aderenza tra il nucleo iniettato e il terreno considerandone la stratigrafia ipotizzata vale :

$$\tau = T / (\pi D L) = 23720 / (\pi \times 9,0 \times 400) = 2,09 \text{ daN/cm}^2 < \tau_{dR} = 5,00 \text{ daN/cm}^2$$

Per cui si ottiene un coefficiente di sicurezza $\gamma\gamma = \tau_{dR} / \tau = 2,38$

Verifica resistenza fune

Q = 322,0 kN = Carico di rottura fune d'acciaio spiroidale singola $\phi\phi 20$

Q_c = 512,0 kN = Carico di rottura cavallotto fune d'acciaio spiroidale $\phi\phi\phi\phi 20$

T = 237,2 kN = Carico massimo applicato all'ancoraggio

$\gamma = 2,16$ = coefficiente di sicurezza

Si fa presente che comunque, nell'eventualità di ricoprimenti di terreno avente caratteristiche diverse da quelle di progetto la lunghezza di infissione dovrà essere convenientemente aumentata in modo da mantenere la stessa superficie laterale di ancoraggio immersa nello strato di terreno aventi le caratteristiche ipotizzate. Dovrà comunque essere in ogni caso verificata l'aderenza delle presenti ipotesi progettuali alle effettive caratteristiche del terreno rinvenuto in sito.

CONCLUSIONI

Nella seguente tabella si riportano le dimensioni degli ancoraggi da utilizzare per la realizzazione della barriera RMC 200/A progettate nell'ambito dei Lavori di: **SP.N.45 KM 11- LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA MOVIMENTO FRANOSO ALLA LOC. FOSSO DI BOSCO DEL COMUNE DI SAN GIORGIO LA MOLARA MESSA IN SICUREZZA COSTONE ROCCIOSO AL KM 10 E RIPRISTINO PIANO VIABILE**

INTERVENTO SU S.P. N. 45 KM 10 BARRIERA PARAMASSI.

FONDAZIONE	TIPO DI FONDAZIONE	DIMENSIONI	DIAMETRO DI PERFORAZIONE
Fondazioni dei montanti	N.4 barre (acciaio B450C)	Diametro = 24 mm Lunghezza = 2 m	Diametro minimo di perforazione = 45mm
Ancoraggi laterali	Cavallotti in fune spiroidale	Diametro = 20 mm Lunghezza = 4 m	Diametro minimo di perforazione = 90 mm
Ancoraggi di monte	Cavallotti in fune spiroidale	Diametro = 20 mm Lunghezza = 3 m	Diametro minimo di perforazione = 90 mm

Nel dimensionamento e nella verifica effettuata nella presente relazione sono state definite alcune ipotesi progettuali, prima fra tutte l'assunzione di ben specifici carichi di progetto derivanti dalle prove d'urto a scala reale, inoltre i parametri relativi ai terreni sono stati definiti sulla base della relazione geologica redatta dal **FRANCESCO BARBATO**.

La scelta di prendere in considerazione i carichi derivanti dalle prove d'urto a scala reale, quindi basati sulla configurazione di impatto definite dalle Linee Guida ETAG 027, è dettato dal fatto che sarebbe impossibile andare a definire tutte le configurazioni di impatto-geometria della barriera che si avrebbero nella realtà; pertanto tale ipotesi progettuale è sicuramente la più adatta al fine di comprendere l'entità delle forze in gioco.

Tutte le variazioni alle condizioni al contorno, che non rispettassero quanto previsto in relazione, nonché tutte le eventuali variazioni non ipotizzate, comporteranno la necessità di procedere alla verifica della validità dei risultati ottenuti nella presente relazione.

Si precisa, comunque, che i fattori di sicurezza inseriti nell'analisi sono molto cautelativi (valori compresi tra 2 e 6) in quanto devono tener conto di:

1. possibile incertezza sui dati relativi al terreno;
2. differente configurazione geometrica tra barriera testata (situazione ideale) e barriera posta in opera;
3. differente distribuzione dei carichi agenti sugli elementi di connessione della barriera con il terreno.

Pesco Sannita 01/06/2020

Il progettista:

GIUSEPPE Ing. TOMACIELLO

MAC.RO. SYSTEM - RMC200/A - 2000 kJ
BARRIERA PARAMASSI DEFORMABILE AD ASSORBIMENTO DI ENERGIA

La RMC 200/A è una barriera paramassi in grado di resistere all'urto di un corpo roccioso animato di una energia cinetica di 2000 kJ.

Standard e Norme di Riferimento

- **ETAG 027** "Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits" (Linee Guida per il Benessere Tecnico Europeo di kit di protezione contro la caduta di massi);

- **Capitolato speciale ANAS** "Gruppo Tecnico per la sicurezza Stradale", Aprile 2001.

Normative tecniche sui materiali impiegati:

UNI EN 10219 "Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate";

UNI EN 10025-2 "Prodotti laminati a caldo di acciai non legati per impieghi strutturali - Condizioni tecniche di fornitura";

UNI EN ISO 1461 "Rivestimenti di zincatura per l'immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazione e metodi di prova";

UNI EN 12385 "Funi di acciaio - Sicurezza";

UNI EN 10264-2 "Filo di acciaio per funi - Filo di acciaio non legato trafilato a freddo per funi per applicazioni generali";

UNI EN 10244-2 "Fili e prodotti trafilati di acciaio - Rivestimenti metallici non ferrosi sui fili di acciaio - Rivestimenti di zinco o leghe di zinco.

Tecnologia del sistema

Lo schermo di intercettazione è situato a valle della barriera. I montanti sono staticamente indipendenti dalla rete e possono essere investiti dall'impatto del masso senza alterare il processo d'arresto.

Lo schermo di intercettazione, formato da pannelli di rete ad anelli, è continuo e non permette la formazione di varchi a seguito dell'impatto.

Non vi sono controventi di valle.

I freni garantiscono prestazioni elevate e costanti nel tempo perché lavorano per deformazione e non per attrito.

La barriera è studiata, prodotta e commercializzata in regime di qualità UNI EN ISO 9001.

Caratteristiche principali

La barriera può essere montata su terreni sciolti o roccia, su pendii verticali o inclinati.

Le ampie tolleranze ammesse per il tracciamento agevolano la posa in opera su pendii irregolari.

Le forze sviluppate sui controventi sono basse e richiedono ancoraggi non eccessivamente lunghi.

Il plinto dei montanti ha solo funzione di livellamento. Le sollecitazioni sono scaricate tramite micropali o tirafondi.

La struttura è semplice da montare, anche in situazioni ambientali difficili; i tempi di installazione sono minimizzati.

La struttura è di facile manutenzione.

La struttura di intercettazione primaria è costituita da pannelli di rete ad anelli.

**Progettazione**

Nella configurazione standard la lunghezza ottimale della barriera è compresa tra 30 e 100 m. Per barriere che in planimetria formano un angolo che si chiude verso monte, potrebbe essere necessario disporre un controvento di valle. Il progettista definisce la lunghezza delle fondazioni in funzione della natura dei terreni e delle forze agenti misurate durante il crash test.

All'ordine dichiarare la tipologia in fondazione necessaria (per terreni rocciosi o terreni sciolti).

Test e dati principali

Collaudo dinamico secondo le Linee Guida ETAG 027 "Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits".

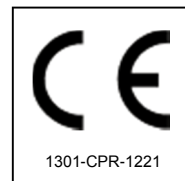
Risultati del test MEL (Maximum Energy Level):

Energia: 2083 kJ

Allungamento massimo: 5.25 m

Altezza Residua > 70% dell'altezza nominale

Categoria A secondo ETAG 027

ETA n. 11/0294

La barriera paramassi RMC200/A è proprietà di RISP s.r.l. ed è commercializzata su licenza dal Gruppo Officine Maccaferri.

AVVERTENZA: La posa del prodotto deve avvenire in accordo alle norme di sicurezza nazionali. Quando il lavoro è eseguito con funi di sospensione o posizionamento, i dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto devono essere collegati a punti di ancoraggio sicuri conformi alla norma EN 795.

Maccaferri si riserva la facoltà di modificare gli standard e le caratteristiche dei prodotti senza alcun preavviso. In ogni modo nessuna responsabilità per un errato utilizzo progettuale delle stesse dovrà essere imputata al produttore o ai suoi distributori.

Officine Maccaferri Italia S.r.l.

Via Kennedy, 10 - 40069 Zola Predosa (BO) - Italy

Tel. (+39) 051-6436000 - Fax (+39) 051-6436201

E-mail: info@it.maccaferri.com - Web site: www.maccaferri.com/it

Azienda con Sistema Qualità Certificato
da Bureau Veritas con accreditamento Accredia e Ukas.

GEOROCK

Traiettorie di blocchi in caduta lungo una scarpata

Il moto di caduta di un blocco lungo una scarpata rocciosa dipende da numerosi fattori che non è facile esprimere numericamente.

Le traiettorie dei blocchi dipendono dalla geometria della scarpata, dalla forma del blocco in caduta e dalla sua velocità iniziale al momento del distacco dal pendio, ed inoltre dall'entità dell'energia dissipata per effetto degli urti durante la caduta.

I blocchi in caduta possono, infatti, scivolare, rotolare o rimbalzare a valle a seconda della loro forma, appiattita o arrotondata, e della inclinazione del pendio.

L'energia dissipata per effetto degli urti è in genere diversa al variare delle caratteristiche del moto e dipende dalle caratteristiche meccaniche del blocco e dai materiali presenti lungo la scarpata (*roccia, terreno, vegetazione*) che si oppongono in misura differente al moto dei blocchi.

Nella realtà, tuttavia, è praticamente impossibile determinare puntualmente il profilo di un pendio ed individuare la forma dei diversi blocchi che potrebbero distaccarsi.

Inoltre la geometria del pendio e la natura dei materiali affioranti subiscono nel tempo modifiche, anche sensibili, per effetto, dell'alterazione della roccia, per l'accumulo di detriti nelle zone meno acclivi e per lo sviluppo della vegetazione.

Infine, diviene praticamente impossibile modellare il moto di caduta dei blocchi nei casi in cui questi si frantumano per effetto degli urti, né è possibile individuare le zone del pendio in cui si verifica la frantumazione.

Per l'analisi delle traiettorie di caduta è necessario fare riferimento a modelli molto semplificati: la progettazione geotecnica degli interventi di protezione deve essere, perciò, sviluppata sulla base di un'ampia sperimentazione numerica, che consenta di indagare sui diversi aspetti del fenomeno e riconoscere i fattori principali che influenzano il moto di caduta nella particolare situazione in esame.

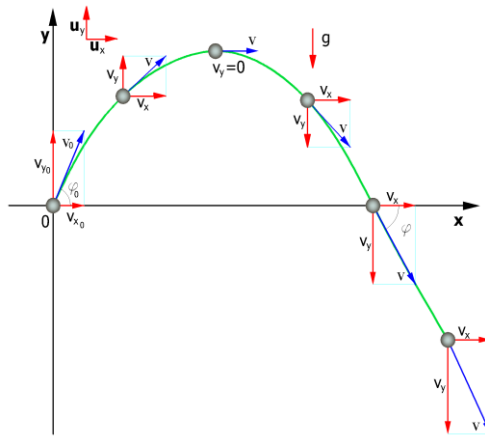
Nei casi più complessi potrà essere opportuno tarare il modello sulla base di un'analisi di traiettorie rilevate con cinematografia in sito in seguito, al crollo dei blocchi.

Metodo di calcolo Lumped mass

Le ipotesi del modello *Lumped mass* sono:

- 1) schema piano, profilo del pendio assimilabile ad una spezzata costituita da segmenti rettilinei;
- 2) blocco puntiforme e resistenza dell'aria trascurabile.

In tal caso la traiettoria del blocco può essere determinata utilizzando le equazioni del moto di un grave;



Rappresentazione della traiettoria

con riferimento ad un sistema di assi cartesiani ortogonali tali equazioni sono:

$$x = v_x \cdot t + x_0$$

$$y = y_0 + v_y \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad (1)$$

dove:

v_x = componente orizzontale della velocità del blocco;

v_y = componente verticale della velocità del blocco;

t = tempo;

g = accelerazione di gravità

x_0 = ascissa del punto in cui blocco si distacca dal pendio o urta nel moto di caduta;

y_0 = ordinata del punto in cui blocco si distacca dal pendio o urta nel moto di caduta;

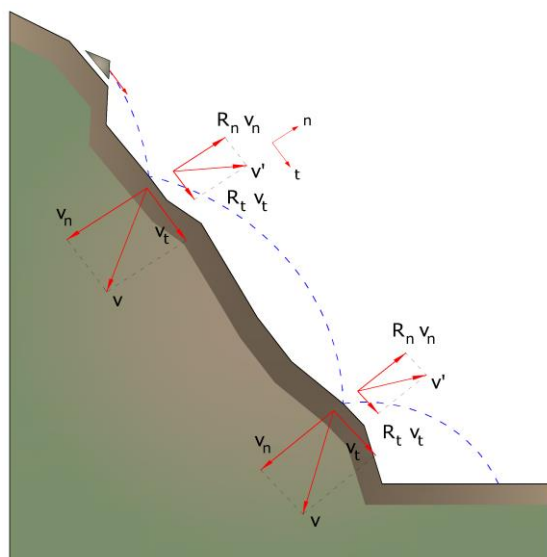
Lungo l'asse x il moto è uniforme, lungo l'asse y il moto è uniformemente accelerato.

In tal modo la traiettoria del moto risulta composta da una serie di parabole tracciate fra il punto in cui avviene il distacco ed il punto in cui il blocco urta sul pendio per la prima volta, nella fase iniziale del moto, e fra due successivi punti di impatto sul pendio, o al piede, in seguito, fino al punto finale di arresto.

Le coordinate dei punti d'impatto e le componenti della velocità si determinano risolvendo il sistema fra le equazione (1) e l'equazione delle rette che rappresentano il profilo del pendio.

In pratica si procede dal punto in cui avviene il distacco del blocco e si risolve tale sistema di equazioni considerando di volta in volta le diverse equazioni delle rette che contengono i successivi segmenti della spezzata fino a trovare le coordinate di un punto, punto di impatto che appartiene alla parabola che rappresenta la traiettoria e ricade all'interno di uno dei segmenti della spezzata ed è pertanto anche un punto del pendio.

Tale punto rappresenta il primo punto di impatto del blocco sul pendio. Il procedimento viene ripetuto a partire da tale punto per determinare il successivo arco della traiettoria ed un nuovo punto d'impatto.



Rappresentazione dei punti di impatto, delle traiettorie del massa e del vettore delle velocità di arrivo e di partenza ad ogni rimbalzo

La perdita di energia cinetica per effetto degli attriti e degli urti può essere modellata riducendo la velocità del blocco in caduta ogni qualvolta questo urta sul pendio.

In particolare, indicando con v_n e v_t le componenti (*normali e tangenziali*) della velocità prima dell'urto, dopo l'urto v'_n , v'_t possono calcolarsi mediante le relazioni:

$$V'_n = V_n \cdot R_n$$

$$V'_t = V_t \cdot R_t$$

in cui R_n ed R_t sono detti coefficienti di restituzione variabili nell'intervallo $0-1$.

Metodo di calcolo CRSP

Il modello detto *CRSP* (*Colorado Rockfall Simulation Program*) è stato messo a punto da Pfeiffer e Bowen (1989) con lo scopo di modellare il moto di caduta di blocchi aventi la forma di sfere, cilindri o dischi, con sezione circolare nel piano verticale del movimento.

Per descrivere il movimento dei blocchi il modello *CRSP* applica l'equazione del moto parabolico di un corpo in caduta libera ed il principio di conservazione dell'energia totale.

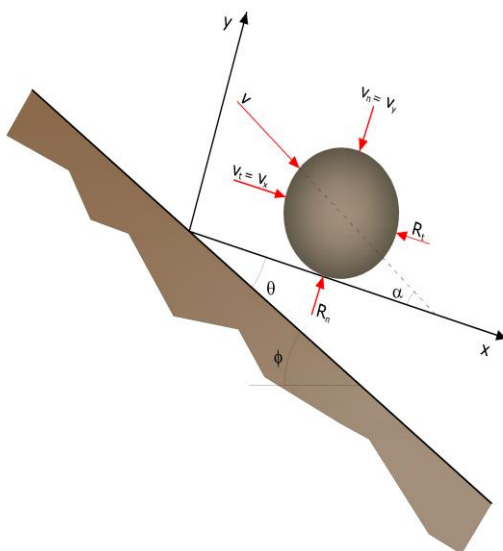
Il fenomeno dell'impatto viene modellato utilizzando come ulteriori parametri, rispetto al metodo *Lumped mass*, la rugosità del pendio e la dimensione dei blocchi.

In particolare il modello *CRSP* assume che l'angolo formato tra la direzione del blocco ed il profilo del pendio vari secondo una statistica che deve essere definita per ogni caso analizzato. Il modello tratta quindi in modo statistico anche i risultati che principalmente constano nelle velocità e nelle altezze di rimbalzo, rispetto alla superficie del pendio, durante il percorso di caduta. Il modello considera quindi le combinazioni dei movimenti di caduta libera, di rimbalzo, di rotolamento e di scivolamento, che possono variare a seconda delle dimensioni dei blocchi e della rugosità del pendio.

L'affidabilità del modello è stata verificata attraverso confronti tra i risultati numerici e quelli ottenuti da prove in sito.

La descrizione del moto di caduta libera inizia da un punto nel quale, è nota la velocità iniziale scomposta nelle sue componenti orizzontali e verticali. Il blocco è soggetto al movimento di caduta libera fino a quando non collide con la superficie del pendio.

Dall'intersezione vengono ricavate le coordinate del punto di impatto. Il vettore della velocità di pre-impatto V , forma un angolo α con il pendio.



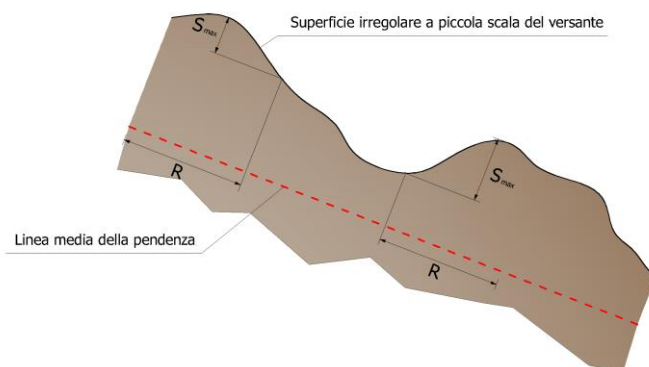
Rappresentazione della fase di impatto: a) l'angolo di impatto è definito come funzione della traiettoria del blocco; q) inclinazione del pendio; f) variazione del pendio in funzione della rugosità locale del pendio

Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio f è fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 e θ_{max} . il valore di θ_{max} dipende dalla rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco e viene determinato da misure in sito.

Detto R il raggio del blocco in esame si ha:

$$\tan \theta_{max} = \frac{S_{max}}{R}$$

Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio viene fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 ed un valore funzione della rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco.



Influenza della rugosità del pendio sul percorso del masso : rapporto tra l'altezza delle asperità ed il raggio del blocco

La velocità che si ottiene a seguito dell'impatto, viene determinata attraverso l'equazione di conservazione dell'energia totale così espressa:

$$\left(\frac{1}{2}J\bar{\omega}_1^2 + \frac{1}{2}M_{t1}^2\right) \cdot f(F) \cdot SF = \frac{1}{2}J\bar{\omega}_2^2 + \frac{1}{2}M_{t2}^2 \quad (1)$$

dove:

- M = Massa del blocco;
- J = Momento d'inerzia del blocco;
- ω_1 = Velocità angolare prima dell'impatto;
- ω_2 = Velocità angolare dopo l'impatto;
- V_{t1} = Velocità tangenziale prima dell'impatto;
- V_{t2} = Velocità tangenziale dopo l'impatto;

La funzione $f(F)$ di attrito così definita:

$$f(F) = SF + \frac{(1 - R_t)}{\left[\left(\frac{V_{t1} - \bar{\omega}_1 \cdot R}{20}\right)^2 + 1.2\right]}$$

Mentre la funzione di scala SF :

$$SF = \frac{R_t}{\left[\left(\frac{V_{n1}}{250 \cdot R_n}\right)^2 + 1\right]}$$

Dove:

- R_n = Coefficienti di restituzione normale;
- R_t = Coefficienti di restituzione tangenziale;
- R = Raggio del blocco;

I termini $f(F)$ e SF sono ricavabili attraverso espressioni empiriche che vengono utilizzate per valutare l'energia cinetica dissipata nelle collisioni tra blocco e pendio a causa dell'attrito e dell'urto.

L'attrito riguarda principalmente la dissipazione dell'energia prodotta dalla velocità tangenziale, l'urto quella prodotta dalla velocità normale al pendio.

Le velocità tangenziali e angolari post-collisione sono messe in relazione tra loro dalla seguente equazione:

$$V_{t2} = \omega_2 \cdot R$$

che assume che i blocchi abbandonino il contatto con il pendio ruotando, indipendentemente dalla velocità angolare precedente.

Dalla (1) si ottiene V_{t2} , mentre la velocità normale post-collisione viene ricavata dalla seguente espressione empirica:

$$V_{n2} = V_{n1} \cdot \frac{R_n}{\left[1 + \left(\frac{V_{n1}}{9}\right)^2\right]}$$

che intende tener conto del fatto, verificato anche sperimentalmente, che il rapporto tra le velocità normali post-impatto e pre-impatto diminuisce con l'aumentare della velocità normale pre-impatto stessa.

CARATTERISTICHE DEL BLOCCO

Forma del blocco	Sferico
Densità	1500,0 Kg/m ³
Elasticità	1000,0 kPa
Velocità iniziale in x	3,0 m/s
Velocità iniziale in y	-3,0 m/s
Velocità limite di arresto	0,01 m/s
Diametro	2,0 m
Massa	6283,186 Kg
Peso	6283,186 Kgf
Momento d'inerzia	2513,274 Kgxm ²

Elenco materiali

N	Descrizione	Rn	Rt	Rugosità (m)	Frequenza (m)	Texture
1	Mat 1	0,9	0,9	0,01		
2	Mat 2	0,9	0,9	0,01		
3	Mat 3	0,9	0,9	0,01		
4	Mat 4	0,9	0,9	0,01		
5	Mat 5	0,9	0,9	0,01		
6	Mat 6	0,9	0,9	0,01		
7	Mat 7	0,9	0,9	0,01		
8	Mat 8	0,9	0,9	0,01		
9	Mat 9	0,9	0,9	0,01		
10	Mat 10	0,9	0,9	0,01		
11	Mat 11	0,9	0,9	0,01		
12	Mat 12	0,9	0,9	0,01		
13	Mat 13	0,9	0,9	0,01		
14	Mat 14	0,9	0,9	0,01		
15	Mat 15	0,9	0,9	0,01		

DATI PENDIO

N	X (m)	Y (m)	Materiale
---	-------	-------	-----------

1	42,0	719,0	Mat 1
2	43,0	727,0	Mat 1
3	52,63	731,0	Mat 1
4	63,85	735,0	Mat 1
5	74,5	739,0	Mat 1
6	74,5	743,0	Mat 1
7	76,0	747,0	Mat 1
8	77,0	751,0	Mat 1
9	78,0	755,0	Mat 1
10	79,0	759,0	Mat 1
11	80,0	763,0	Mat 1
12	88,54	767,0	Mat 1
13	95,1	771,0	Mat 1
14	104,68	775,0	Mat 1
15	112,72	779,0	Mat 1
16	122,99	783,0	Mat 1

IMPATTO

Lancio n°1 Xp=79,1 m yp=760,22 m

Ni	xi(m)	yi(m)	vx(m/s)	vy(m/s)	t(s)	E(KJ)
1,0	79,261	760,045	-2,167	3,329	0,054	78,663
2,0	73,956	738,796	3,062	4,512	1,77	1368,703

Tipologie definite n°1

Nb°	H(cm)	Spes.	alfa(°)	E(KJ)
1,0	3000,0	20,0	70,0	1000,0

Opere di protezione inserite n°

nb°	Tipo	xb(m)	yb(m)	E(KJ)
-----	------	-------	-------	-------

Energia sulle barriere paramassi: Traiettorie n°1

n°	Xb(m)	Yb(m)	Hp[m]	V[m/s]	E[KJ]
----	-------	-------	-------	--------	-------

(HpMax) Altezza massima, (Vmax) Velocità massima, (Emax) Energia massima del masso sulla barriera.

Barriera N°	Xb(m)	Yb(m)	HpMax[m]	Vmax[m/s]	Emax[KJ]
-------------	-------	-------	----------	-----------	----------

ELABORAZIONI STATISTICHE

Velocità massima	20,801 m/s
Velocità minima	4,63 m/s
Velocità media	12,716 m/s
Scarto quadratico medio	11,434 m/s
Energia massima pre-impatto	1368,703 KJ
Energia media pre-impatto	723,683 KJ
Scarto quadratico energia	912,196 KJ
Ascissa media di arresto	73,956 m
Ascissa massima raggiunta	73,956 m

=====
=====
% Massi fermati
=====

X (m)	% Massi fermati
79,1	100
94,1	100
109,1	100

=====