

## CADUTA MASSI E INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO CON OPERE PASSIVE FLESSIBILI - BARRIERE PARAMASSI

Massimo Raviglione<sup>1</sup>

### PREMESSA

In relazione alle recenti evoluzioni nel mondo delle opere di protezione dalla caduta massi, il presente articolo analizza l'attuale situazione tecnico - normativa delle principali opere di protezione, soffermandosi in dettaglio sull'analisi delle opere flessibili a rete comunemente denominate barriere paramassi.

### INQUADRAMENTO GENERALE

Le strategie per proteggere un bene soggetto a caduta massi, qualunque sia la sua entità, il suo valore economico o la sua importanza strategica, possono essere divise in due grandi categorie:

- la prima di tipo gestionale, nella quale la priorità dell'operato riguarda l'attuazione di procedure operative in grado di limitare e/o abbattere il rischio legato alla caduta massi senza modificare il pericolo connesso alla caduta massi;
- la seconda di tipo strutturale, nella quale l'obiettivo principale è di ridurre con "interventi strutturali" la pericolosità di un'area soggetta a caduta massi.

Una classificazione più raffinata degli interventi atti ad abbattere il rischio e di quelli atti a modificare la pericolosità di un'area soggetta a caduta massi può essere così schematicamente rappresentata:

#### Interventi Gestionali

Azioni e decisioni che a seguito del superamento di una determinata soglia di allarme permettono all'utente di un determinato bene di non essere esposto al pericolo dovuto alla caduta massi. A parità di pericolosità si abbatte il rischio isolando l'utente del bene dal pericolo. L'esempio classico è la chiusura di una strada sovrastata da pareti rocciose monitorate da sistemi remoti di controllo e allarme.

#### Interventi Strutturali

Interventi sul territorio finalizzati a modificare la pericolosità di un'area, cioè tendenti ad abbattere la pericolosità di un'area mediante la realizzazione di opere di tipo attivo, passivo o combinate attive e passive.

#### Opere Passive

E' quell'insieme di interventi che "passivamente" si oppongono al fenomeno di caduta massi dopo che l'evento di crollo si è già manifestato, in tale ambito sono finalizzati principalmente a deviare o arrestare il moto del blocco o dei blocchi lungo la traiettoria di caduta.

#### Opere Attive

E' quell'insieme di interventi finalizzati ad applicare forze "attive" atte a stabilizzare il blocco, i blocchi o la parete rocciosa prima che avvenga l'evento di crollo e che si inneschi la dinamica di caduta massi.

<sup>1</sup> Studio Tecnico Dott Ing Massimo Raviglione - Rock and Snow Engineering - e.mail studioraviglione@tin.it ricercatore presso l'Ufficio Ricerca e Sviluppo INCOFIL Srl

La scelta del tipo di intervento, ad oggi, si è orientata nella maggior parte dei casi ad interventi strutturali rispetto a quelli gestionali. Gli interventi progettati e realizzati, quasi sempre abbinano interventi di tipo attivo in parete con interventi di tipo passivo lungo le traiettorie di caduta, ma in molti casi si riscontrano anche interventi unicamente di tipo attivo o passivo.

#### Opere Passive

##### Riprofilatura del versante

Fermano i blocchi  
berme e trincee

##### Rimboschimento

Dissipano l'energia dei blocchi ma non sempre li fermano  
nuovi impianti - integrazioni e ripristini

##### Barriere paramassi

Dissipano l'energia dei blocchi arrestandoli  
rigide - semi rigide - deformabili

##### Reti a cortina

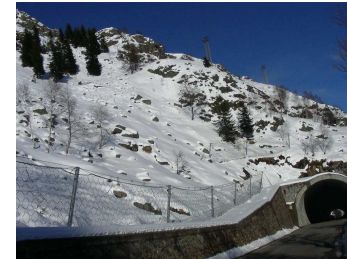
Deviano i blocchi e li fermano al piede della parete

##### Gallerie artificiali

Deviano i blocchi ma non sempre li fermano

##### Valli paramassi

Dissipano l'energia dei blocchi arrestandoli  
terra semplice - terra rinforzata  
blocchi rocciosi - scogliere  
muri cellulari - gabbioni



Esempi di opere passive  
fermano i blocchi → barriere paramassi  
deviano la traiettoria → gallerie artificiali

Entrando maggiormente nello specifico degli interventi strutturali, nella tabella seguente si riporta una classificazione più dettagliata delle varie opere Attive e Passive grazie alle quali il progettista può affrontare la riduzione del pericolo e del conseguente rischio legato a una problematica di caduta massi.

#### Opere Attive

##### Rimodellazione dell'assetto idrogeologico

Agiscono sulle spinte idrauliche  
impermeabilizzazione superficiale  
drenaggi superficiali e profondi

##### Rimodellazione dell'assetto morfologico

Rimuovono le porzioni instabili  
rimodellazione e riprofilatura del versante  
disgaggio manuale e meccanico  
abbattimento con agenti esplosivi e non

##### Consolidamento e protezione dell'ammasso roccioso

Applicano forze stabilizzanti  
tiranti, chiodi, bulloni  
iniezioni

reti e pannelli  
legature e fasciature  
calcestruzzo spruzzato semplice e fibrorinforzato  
sottomurazioni



Esempi di opere attive  
applicano forze puntuali → legature e chiodature  
applicano forze superficiali → reti e chiodature

#### OPERE PASSIVE: LE BARRIERE PARAMASSI

Come detto in precedenza, le barriere paramassi rappresentano una soluzione di protezione passiva atta a ridurre il pericolo da fenomeni di caduta massi.

L'utilizzo di tali strutture, permette la realizzazione di uno schermo flessibile atto ad intercettare e dissipare l'energia cinetica dei blocchi lungo la traiettoria di caduta. L'evoluzione tecnica delle barriere paramassi a partire dagli anni '80-'90 sino ad oggi ha visto in poco più di un ventennio lo stravolgimento delle possibilità energetiche e funzionali delle strutture stesse.

Infatti, a partire dalle prime barriere paramassi testate a *bassa velocità e grande massa*<sup>2</sup> con carrelli ferroviari per energie prossime a circa 2.000 kJ, si è arrivati ai più moderni sistemi paramassi in grado di assorbire energie sino a 5.000 kJ testati mediante impatti ad *alta velocità e piccola massa*<sup>3</sup> in campi prove opportunamente attrezzati per collaudare dinamicamente e misurare le sollecitazioni agenti.

Con l'entrata in vigore a partire dal 2008 della linea guida europea ETAG27 *Falling Rock Protection Kits*, l'ambito normativo del mondo legato alle barriere paramassi ha visto una repentina impennata, con conseguente riverifica in vera grandezza dei sistemi paramassi, in modo da predisporli all'ottenimento del *Benessere Tecnico Europeo* o della *Qualificazione per l'utilizzo strutturale* così come indicato dalle *Norme Tecniche per le costruzioni - DM Infrastrutture 14/01/2008*<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Esempio di test a "bassa velocità" e "grande massa" → report test anno 1986, barriera Isomat 220 prodotta dalla Società Isomat Italia SpA, energia di impatto testata in assenza di normative pari a 2.000 kJ ottenuti per impatto di un carrello di massa pari a 50,5 t sulla struttura alla velocità di circa 8,89 m/s.

<sup>3</sup> Esempio di test ad "alta velocità" e "piccola massa" → report test anno 2008, barriera RAV\_5/A prodotta dalla Società INCOFIL Srl, energia di impatto testata secondo le linee guida ETAG27 pari a 2.000 kJ ottenuti per impatto di un blocco in calcestruzzo di massa pari a 4,8 t che impatta sulla struttura alla velocità di circa 29 m/s.

<sup>4</sup> capitolo 11 – Materiali e prodotti per uso strutturale

I sistemi o i kits sottoposti alle procedure di test conformi alle linee guida ETAG27 offrono quindi ai committenti, ai progettisti ed agli utilizzatori del bene, *fitness for use* cioè *idoneità all'uso* decisamente diversa rispetto a sistemi analoghi ma non testati secondo tali disposizioni.



Esempio di crash test a caduta verticale

Test aggiuntivi su barriera paramassi RAV\_8/A – Energia MEL 5000 kJ, eseguiti dall'azienda INCOFIL Srl oltre a quanto prescritto dalle linee guida ETAG27 INCOFIL

Oltre al valore aggiunto in termini prestazionali, grazie all'esecuzione dei crash test secondo la ETAG27 il progettista è in grado di valutare il kit non solo per le caratteristiche di lavoro dinamico in grado di dissipare secondo due livelli energetici diversi<sup>5</sup> (energia di servizio SEL e massima MEL), ma anche rispetto alla deformazione del sistema durante l'impatto<sup>6</sup> (maximum elongation), all'altezza del kits dopo l'arresto del blocco<sup>7</sup> ( $h_R$  residual height) e ai tempi ed alle modalità di ripristino della funzionalità del kit nella normale vita utile del sistema dopo l'installazione.

<sup>5</sup> da norma ETAG27 § 2.4. Characteristics of the assembled system which are relevant for the fitness for use → SEL = Service Energy Level e MEL = Maximum Energy Level, fra loro correlate dalla seguente espressione energetica  $MEL \geq \gamma \times SEL$  con  $\gamma = 3$

<sup>6</sup> da norma ETAG27 § 1.4.2.14. Elongation of the kit

<sup>7</sup> da norma ETAG27 § 1.4.2.16. Residual height

#### Esempio di crash test a caduta verticale

Traiettoria di caduta verticale

Test eseguito secondo le linee guida ETAG27 su barriera paramassi RAV\_0/A INCOFIL Srl

Energia di impatto  
 $E = m \cdot g \cdot h = 167 \text{ kJ}$   
 $m = \text{massa} = 480 \text{ kg}$   
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$   
 $h = \text{altezza di caduta} = 35,5 \text{ m}$

da cui è possibile ricavare la velocità di impatto pari a

$$V = \sqrt{2gh} = 26,4 \text{ m/s}$$



#### CENNI E ASPETTI PROGETTUALI LEGATI AGLI INTERVENTI CON BARRIERE PARAMASSI

L'iter progettuale degli interventi passivi con barriere paramassi, può essere semplificato e brevemente sintetizzato nello schema:

- A) **VALUTAZIONE GENERALE DELLA PROBLEMATICHE DELLA CADUTA MASSI** → analisi dei crolli storici, consultazione del catasto dei crolli e/o degli eventi (se disponibile, es. report dei massi o dei blocchi rimossi da una sede stradale), sopralluoghi in sito, ispezioni in parete, prime valutazioni energetiche e traiettografiche, analisi a ritroso di eventi recenti di caduta massi (se ricostruibili mediate ad es. la valutazione della pista di discesa, dei punti di impatto sul terreno e sugli alberi, ...), analisi di opere di protezione esistenti (valutazione dell'efficacia, dello stato di conservazione, ...), prime valutazioni di sicurezza e di prevenzione infortuni durante l'esecuzione delle opere, ecc. ...
- B) **PROGETTAZIONE INTERVENTI** → analisi e studi geologici, finalizzati a classificare e delineare la problematica di caduta massi e quantificare gli input progettuali, valutazione delle traiettorie e delle energie del fenomeno di scoscendimento, mediante studi straiettografici ed energetici (generalmente mediante l'utilizzo di modelli digitali del terreno *DTM* e l'ausilio di particolari software 3D per la simulazione del fenomeno), valutazione

della posizione, della geometria e della classe energetica della barriera, mediante idonei studi traiettografici ed energetici (generalmente mediante l'utilizzo di sezioni longitudinali ricavate dal modello digitale del terreno lungo la traiettoria di scoscendimento e l'ausilio di particolari software 2D per la simulazione del fenomeno) lungo le potenziali traiettorie di caduta, ecc. ...

C) **VERIFICHE E TARATURE IN SITO** → verifica a ritroso degli studi traiettografici, eventuale esecuzione di "distacchi" pilotati per valutare e verificare in sito le dinamiche di scoscendimento, valutazioni a ritroso della posizione (disposizione della/e fila/e, sovrapposizione, schermo marginale, ecc. ...) e della geometria (lunghezza della/e tratta/e, altezza di intercettazione, ecc. ...) delle opere, pre-tracciamento delle barriere per la verifica della posizione e valutazione della tipologia delle opere fondazionali, ecc. ...

D) **VERIFICA OPERE PROGETTATE** → taratura del progetto a seguito delle verifiche eseguite in sito, verifica del livello energetico al livello SEL (Service Energy Level) e/o al livello MEL (Maximum Energy

Level) e definizione dei relativi coefficienti di sicurezza rispetto alla classe energetica<sup>8</sup> della barriera in progetto, verifica dell'altezza di intercettazione rispetto al valore di progetto e definizione dei relativi coefficienti di sicurezza rispetto all'altezza residua minima da test<sup>8</sup>, verifica della massima deformata da test<sup>8</sup> in relazione alla posizione della barriera rispetto al bene da proteggere o alla distanza fra due schieramenti sovrapposti e definizione dei relativi coefficienti di sicurezza rispetto alla posizione di progetto, verifica della copertura del campo marginale rispetto al limite delle traiettorie marginali considerate o della sovrapposizione fra due schieramenti contigui rispetto alle traiettorie di scoscendimento deviate<sup>9</sup>, valutazioni ed analisi dell'inserimento delle opere nel contesto del sito (studi di impatto ambientale, ...), ecc. ...

*E) VALUTAZIONI TECNICHE ED ECONOMICHE DELLE OPERE IN PROGETTO* → definizione dei requisiti prestazionali minimi delle barriere paramassi (normativa di riferimento, classe energetica, altezza di intercettazione, altezza residua, deformata massima, protezione dalla corrosione, ...), tipologia e caratteristiche delle opere fondazionali (tipologie di fondazioni in relazione alle diverse caratteristiche geotecniche del terreno o della roccia, protezione dalla corrosione, ...), valutazioni economiche delle opere (fondazioni e sovrastruttura) in relazione alle reali caratteristiche del sito, ecc. ...

*F) VITA UTILE DELL'OPERA, CONTROLLI E MANUTENZIONE* → definizione della vita utile e definizione dell'iter di controllo e dell'attività manutentiva dell'opera in progetto, ecc. ...

*G) SICUREZZA E PREVENZIONE INFORTUNI* → progetto della sicurezza in relazione alle reali problematiche del cantiere (opere in progetto) ed alle

caratteristiche del sito (interferenze cantiere → sito e sito → cantiere).

#### CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Come illustrato nel presente articolo, non esiste un'unica possibilità per gestire il rischio o ridurre la pericolosità di un'area soggetta a caduta massi. L'utilizzo di interventi di protezione attivi e/o passivi, se progettati e realizzati correttamente possono ridurre il pericolo derivante dalla caduta massi, e di conseguenza mitigarne il rischio, ma non annullarlo definitivamente. Ciò non toglie però che tutte le opere devono essere opportunamente mantenute nel tempo e/o ripristinate in caso di impatto.

Quindi in conclusione, l'effettiva riduzione della pericolosità dalla caduta massi di un'area e la conseguente mitigazione del rischio, avrà esito positivo solo se la filiera *CONOSCENZA DEL FENOMENO* → *PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI PROTEZIONE* → *ESECUZIONE DEGLI INTERVENTI* → *MANUTENZIONE DELL'OPERA*, sarà eseguita correttamente in tutte le sue fasi.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ETAG 27 - Guideline for european technical approval of falling rock protection kits – ed. 01.02.2008
- Report di test barriere paramassi **INCOFIL Srl** (Via degli Artigiani 52 - Z.I. Cirè - Pergine Valsugana (TN) ☎+39.0461.534000 / e.mail info@incofil.com / website www.incofil.com) Università BTU - Brandenburgische Technische Universität Cottbus di Cottbus (D) Laboratorio di Geologia e Geotecnica – ed. varie
- Verbale di constatazione della capacità di assorbimento d'energia della barriera paramassi modello 220 Isomat Italia SpA – AUTOSTRADE - Concessioni e Costruzioni Autostrade SPA – ed. 04.04.1986.

<sup>8</sup> caratteristiche proprie del kit paramassi come da report di test per i livelli energetici SEL e MEL

<sup>9</sup> lungo direzioni non corrispondenti alle traiettorie prossime alla direzione di massima pendenza