



Non è stata ancora codificata nel nostro Paese una procedura progettuale di riferimento per le opere di difesa passiva. L'aleatorietà dei processi di crollo e delle loro propagazioni è uno degli elementi che hanno dilazionato l'emanazione di un provvedimento che regolamenti il tipo di intervento adeguando i sistemi di protezione alle opere da difendere, siano esse strade o abitati, ferrovie o infrastrutture idrauliche. In questo articolo, gli Autori esaminano i vari tipi di barriere paramassi di cui illustrano le capacità di assorbimento, la resistenza globale e, con esse, il grado di affidabilità. L'ampio ventaglio tipologico che viene descritto evidenzia l'importanza di una attenta verifica delle cause e delle caratteristiche dei crolli litoidi e delle frane per pervenire a scelte progettuali adeguate anche sotto l'aspetto dei costi e dei benefici.

## L'impiego delle barriere paramassi

I crolli litoidi e le frane in roccia in genere sono dei fenomeni naturali appartenenti ai normali processi evolutivi che avvengono sui versanti. Essi costituiscono un rischio naturale frequente nelle località di montagna, con esiti gravi e talvolta mortali in prossimità di centri abitati, infrastrutture stradali o ferroviarie. Tra gli interventi possibili per risolvere un problema di caduta massi che coinvolga un centro abitato, una strada o comunque un'area di utilizzo antropico, si possono distinguere:

- ricollocazione dell'opera in progetto o interdizione dell'accesso in zone a rischio;
- interventi sulla geometria e/o sulle condizioni piezometriche del versante;
- interventi sull'ammasso roccioso con opere di sostegno e/o rinforzo;
- interventi lungo il versante con sistemi paramassi (opere di protezione passiva).

In particolare, tra questi ultimi risultano diffusamente utilizzati i rilevati, eventualmente integrati con un fosso a monte (rocktrap), e le barriere a rete, oggetto della presente nota.

A tutt'oggi non esistono nel campo dei sistemi paramassi dei criteri di progettazione codificati, sia a causa dell'aleatorietà dei processi di crollo e propagazione, sia per la complessità teorica dell'analisi strutturale legata alla modellazione dell'interazione blocco-barriera. Conseguentemente in Italia non è stata ancora formulata una procedura progettuale di riferimento, né tanto meno esiste una normativa di legge specifica relativa alle opere di difesa passiva, tale da adeguare l'importanza dell'opera da difendere (strade di varie categorie, ferrovie, centri abitati) alla capacità di trattenuta dei sistemi di pro-

**Alessandro Coccolo  
Paolo Paronuzzi**

tezione. Una simile normativa risulterebbe un efficace completamento della legislazione già presente nell'ambito delle analisi di stabilità dei pendii e delle opere di sostegno (D.M. LL. PP. 11.03.1988; C.M.LL.PP. 24.09.1988 n° 30483). Tale lacuna, dipendente dalle limitate conoscenze geomeccaniche e strutturali, ha determinato sino ad oggi l'adozione di criteri di progettazione molto soggettivi, legati esclusivamente al livello di conoscenza ed alla sensibilità specifica del singolo progettista.

### *Le reti paramassi: evoluzione tipologica*

I primi sistemi paramassi realizzati con reti metalliche e funi sono rappresentati dalle cosiddette barriere a bassa deformabilità, formate da montanti verticali IPE/HE 200÷240, alti 3÷5 m e posti ad interasse di 3÷5 m. Tali montanti portano su un'ala degli anelli passacavo, saldati con una spaziatura verticale di 20 cm. Le testate d'estremità sono formate da putrelle IPE/HE 240÷260, dotate di guide scanalate reggicavo, e rinforzate da briglie diagonali IPE/HE 160÷180. Il sistema vero e proprio di intercettazione e contenimento dei massi è formato da una famiglia di funi metalliche continue fissate alle testate d'estremità, distanziate verticalmente con un passo di 20 cm e libere di scorrere all'interno degli anelli passacavo.

La tipologia strutturale di questi sistemi è tale per cui risultano difficoltosi interventi in pendii poco accessibili

o comunque non serviti da adeguate piste di servizio. Ciò a causa della necessità di realizzare opere di fondazione in cemento armato, e porre in opera un elevato numero (10÷15) di funi metalliche di notevole lunghezza (≈50 m). Pertanto queste barriere vengono di fatto utilizzate solo in adiacenza ad infrastrutture stradali o ferroviarie.

Le barriere a media deformabilità rappresentano una evoluzione delle barriere a bassa deformabilità, sostanzialmente per due ragioni:

- Sostituzione delle funi continue con reti metalliche di vario tipo, con conseguente incremento della capacità di trattenuta a causa del maggiore cedimento elastico della rete e della elevata capacità di ridistribuzione delle sollecitazioni indotte nell'impatto.
- Introduzione dei dispositivi di frenaggio per attrito (friction brakes) e di accumulo di energia potenziale elastica (elastic springs, sistema U.M.M.), con conseguente diminuzione delle sollecitazioni prodotte all'istante dell'urto e possibilità inoltre, per le funi della rete, di assumere un orientamento quasi ottimale in rapporto alla loro resistenza.

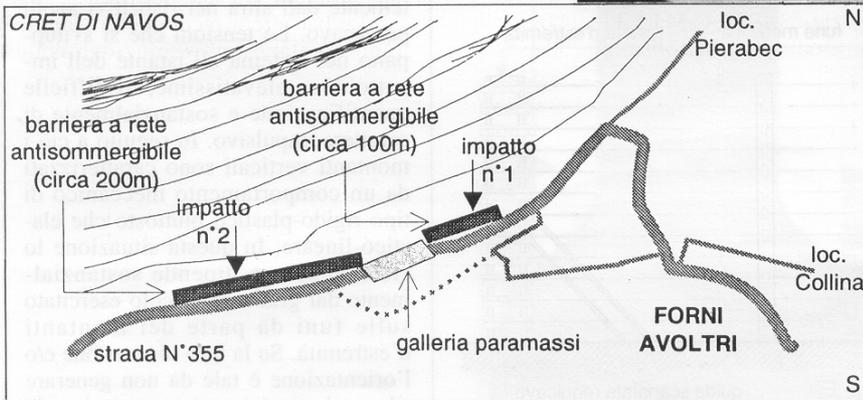
Numerose sono le tipologie strutturali identificabili come sistemi a media deformabilità: barriere "antisommegibile", barriere U.M.M.; tuttavia esse sono accomunate da un principio di funzionamento comune, basato sull'attivazione di un meccanismo elasto-plastico di dissipazione

dott. ing. Alessandro Coccolo - Libero professionista in Gemona del Friuli (UD);  
dott. geol. Paolo Paronuzzi - Dipartimento di Georisorse e Territorio dell'Università degli studi di Udine.

energetica capace di convertire in lavoro meccanico o in calore il potenziale cinetico del masso impattante.

Le barriere "antisommergibile" sono probabilmente i sistemi più diffusi all'interno della tipologia a media deformabilità, e di conseguenza è opportuno illustrarne brevemente le caratteristiche costruttive. Esse sono essenzialmente composte da una serie di putrelle IPE 240 alte 5 m, poste ad un interasse di circa 10 m e fissate a delle piastre in acciaio bullonate su uno zoccolo regolarizzante in calcestruzzo. Sulle putrelle sono tesi, in sommità e rasoterra, due cavi di acciaio che fanno da supporto ad una rete (singola o doppia) costituita da trefolo in acciaio. La rete antisommergibile (submarine net), costruita concatenando tra loro una serie di anelli chiusi del diametro di circa 40cm, viene tesa tra i due cavi a formare un unico telo. La barriera termina con due testate formate da putrelle IPE 330, affiancate e collegate tra loro da tondoni tubolari in acciaio. Le due estremità verticali del telo di rete sono fissate a funi in acciaio le quali, ruotando attorno ai tondoni, scendono al suolo e sono ancorate a tiranti passivi. Sulle funi sono posti in opera dei dissipatori di energia ad attrito, formati da due piastre in acciaio chiuse su ogni fune a formare un'asola, bloccata tra le due piastre tramite quattro bulloni ad alta resistenza. L'asola, sotto l'azione dei carichi dinamici applicati alla rete, tende a chiudersi, scorrendo tra le due piastre e dissipando energia meccanica in misura proporzionale alla tensione di serraggio dei bulloni.

Le barriere ad alta deformabilità sono i sistemi di protezione attualmente più evoluti: essi consentono il raggiungimento di elevate capa-



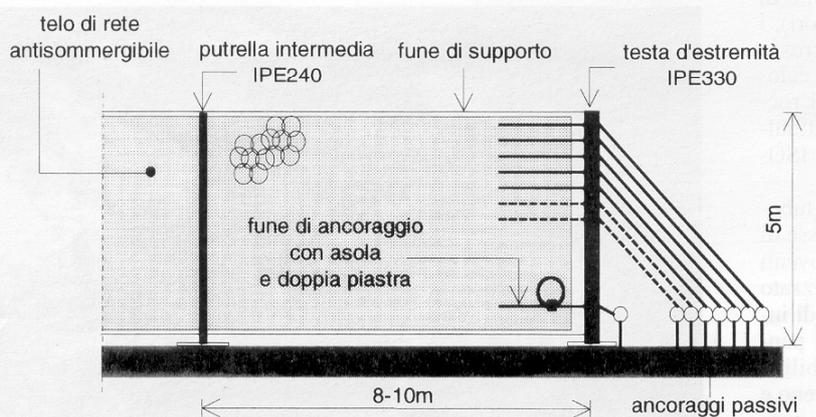
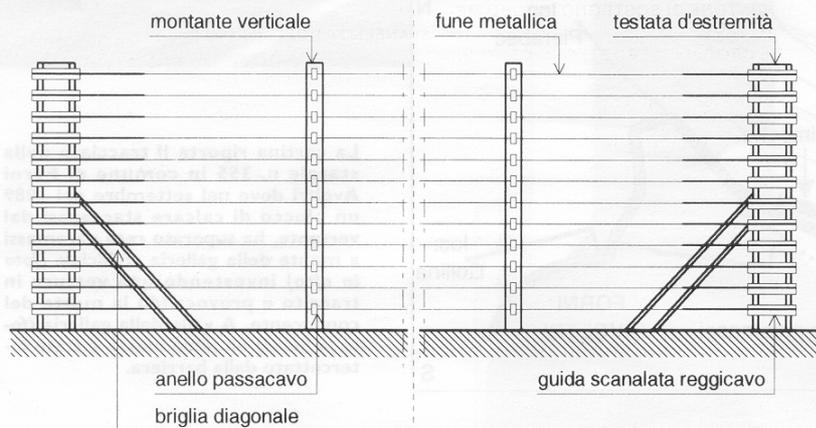
La cartina riporta il tracciato della statale n. 355 in comune di Forni Avoltri dove nel settembre del 1989 un blocco di calcare staccatosi dal versante, ha superato rete paramassi a monte della galleria artificiale (foto in alto) investendo una vettura in transito e provocando la morte del conducente. A valle della galleria (foto in basso) un altro masso è stato intercettato dalla barriera.

cià di assorbimento grazie all'introduzione di dispositivi di frenaggio ad attrito (dissipatori), i quali permettono di ottenere spazi d'arresto dell'ordine di alcuni metri trasformando in calore l'energia cinetica posseduta dai volumi rocciosi. La barriera ad alta deformabilità attualmente più diffusa è la cosiddetta "barriera ISO-MAT", di seguito brevemente illustrata.

Essa è formata da puntoni di sostegno tubolari o in profilato, alti 5 m e posti ad interasse di circa 8 m, mantenuti in posizione da controventi sommitali e da un micropalo di base attrezzato con giunto omnidirezionale. Il dispositivo di ingaggio dei volumi rocciosi è costituito da pannelli di rete in fune metallica a nodi mobili, i quali vengono inferiormente adagiati al terreno e superiormente agganciati alla sommità dei puntoni di sostegno mediante anelli "a rottura prestabilita". Ciascun pannello di rete è attrezzato



DENOMINAZIONE	MODO DI DETERMINAZIONE	ENERGIA DISSIPABILE (J)
<b>BARRIERE A BASSA DEFORMABILITÀ</b>		
BARRIERE A FUNI CONTINUE	ANALISI A POSTERIORI (Villa Santina, UD)	minimo 11000 ÷ 12000
<b>BARRIERE A MEDIA DEFORMABILITÀ</b>		
RETI U.M.M.	PROVA IN SCALA REALE	÷ 165000
RETI ANTISOMMERSIBILE	ANALISI A POSTERIORI (M.te Glemina, UD)	÷ 200000
RETI BRUGG "WIRE ROPE"	PROVA IN SITO (Route 1, Calif. - USA)	70000 ÷ 80000
RETI BRUGG "WIRE ROPE"	PROVA IN SITO (Oberbuchsitzen, CH)	250000 ÷ 500000
RETI BRUGG "SUBMARINE"	PROVA IN SITO (Oberbuchsitzen, CH)	800000 ÷ 1000000
CAN	DICHIARATO	200000 ÷ 400000
<b>BARRIERE AD ALTA DEFORMABILITÀ</b>		
RETI ISOMAT	PROVA IN SCALA REALE	÷ 2000000
RETI G.E.F.	DICHIARATO	÷ 640000
RETI CON FRENI	PROVA IN SCALA REALE	÷ 980000



Il disegno in alto riproduce schematicamente lo schema di una barriera a bassa deformabilità. Sotto, una barriera a media deformabilità (Coccolo, 1994).

con quattro sistemi frenanti formati ciascuno da due funi ad attrito che possono scorrere all'interno di due sistemi di frenaggio, posti in serie. Ogni sistema frenante è collegato ad un vertice del pannello di rete e, all'altro estremo, ad idonei ancoraggi di reazione nel terreno.

Modesti valori di energia cinetica vengono assorbiti senza deformazioni permanenti dai pannelli di rete, mantenendo tutti gli elementi della barriera in campo elastico. Elevati valori di energia cinetica provocano invece l'apertura degli anelli "a rottura prestabilita" che fissano ai puntoni di sostegno i pannelli. Questi ultimi, avanzando verso valle, impegnano progressivamente i dispositivi di frenaggio montati sulle funi di collegamento, sino al completo arresto del volume di roccia impattante. Ciascun pannello è totalmente svincolato da quelli vicini, e può avanzare verso valle senza pregiudicare l'integrità della parte di barriera non direttamente colpita.

### Capacità di trattenuta e condizioni di inefficacia

Nelle barriere a bassa deformabilità si verifica una migrazione "diretta" (cioè con bassa diffusione verticale) degli sforzi dalla zona di impatto ai montanti estremali, in quanto le funi possono scorrere l'una indipendentemente dall'altra nei rispettivi anelli passacavo. Le tensioni che si sviluppano nel sistema all'istante dell'impatto sono elevatissime, di difficile quantificazione e sostanzialmente di carattere impulsivo. In seguito a ciò i montanti verticali sono caratterizzati da un comportamento meccanico di tipo rigido-plastico piuttosto che elastico-lineare. In questa situazione lo stato di sforzo dipende sostanzialmente dal grado di vincolo esercitato sulle funi da parte dei montanti d'estremità. Se la loro dimensione e/o l'orientazione è tale da non generare rilevanti spostamenti sotto carico, le sollecitazioni massime applicabili alla barriera dipendono direttamente dal carico di snervamento delle funi metalliche adottate. Se invece i montanti estremali hanno un carico di collasso (necessario cioè a plasticizzare completamente la sezione) inferiore al carico di rottura delle funi, come si verifica di norma, la capacità di arresto dell'opera è legata al grado di duttilità dei montanti stessi. I montanti che delimitano la campata in cui è avvenuto l'impatto vengono invece sollecitati a causa degli elevati spostamenti indotti sulle funi in seguito all'urto, e possono subire deformazioni flessionali o flesso-torsionali tali da provocare anche lo scompaginamento dell'intera barriera. L'energia dissipabile dalle barriere a bassa deformabilità, nel ca-

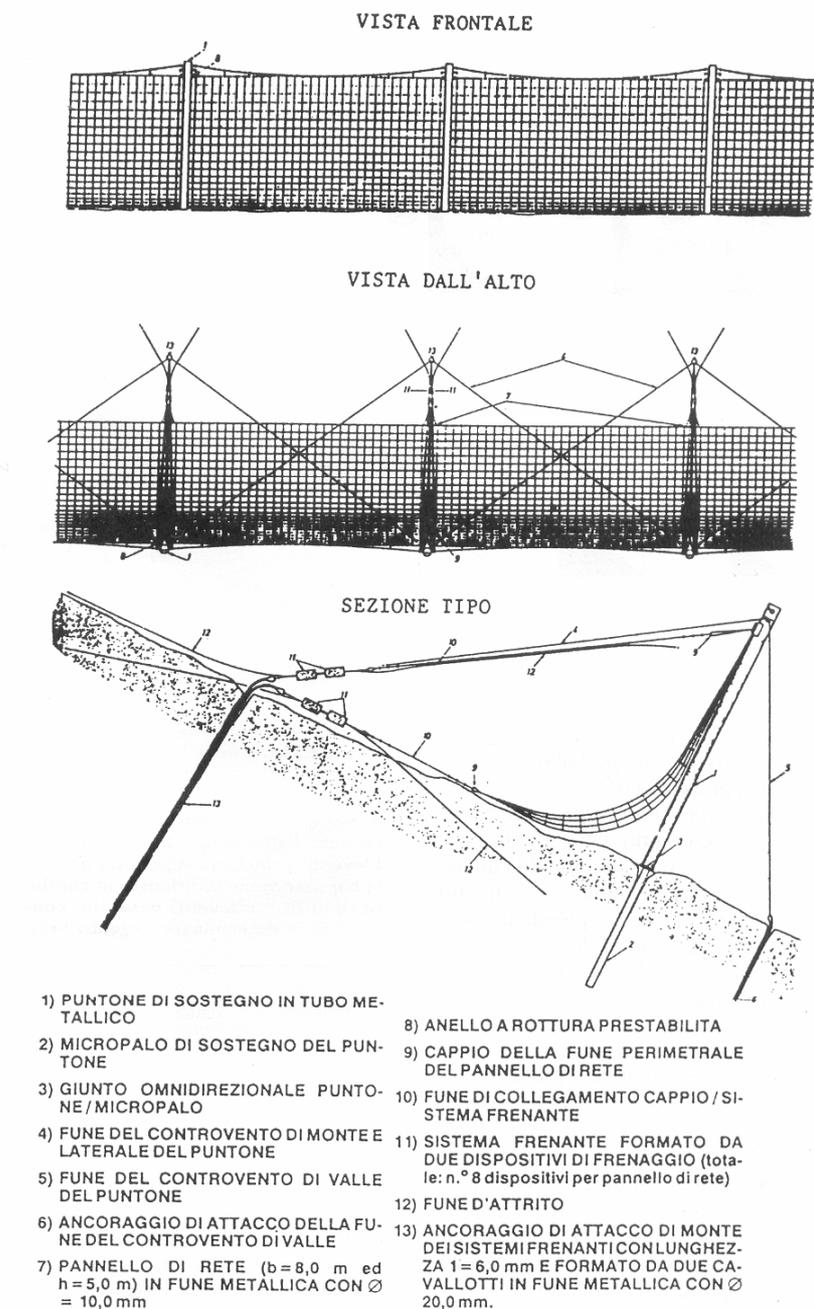
Nel grafico a fianco: configurazione planimetrica e sezione tipo di una barriera ISOMAT relativa ad una rete paramassi ad alta deformabilità (da Brescia, 1988).

Nella pagina precedente la tabella illustra la Capacità di dissipazione energetica (J) delle reti paramassi a bassa, media e alta deformabilità, in funzione della tipologia costruttiva.

so di impatto diretto sulle funi, può essere stimata in un ordine di grandezza di 104J (vedi tabella a pag. 22); tale valore decresce sensibilmente per impatto diretto sui montanti di sostegno, evento nella realtà tutt'altro che trascurabile.

Le barriere a media deformabilità dispongono di una capacità dissipativa maggiore a causa del meccanismo di funzionamento elasto-plastico. La massima energia che può essere assorbita da tali barriere è collocabile nel campo dei 105 J, e dipende primariamente dalle caratteristiche meccaniche di *friction brakes* ed *elastic springs* (costante elastica  $k=100000\div 150000$  N/m). Agendo opportunamente sulla tensione di serraggio dei freni si possono ottenere valori di forza d'attrito di 20000÷50000 N che corrispondono, per scorrimenti delle asole di 1 m e nell'ipotesi di costanza delle forze d'attrito lungo tutto lo scorrimento, a dissipazioni energetiche di 20000÷50000 J per ogni freno posto in opera.

La capacità di assorbimento delle barriere ad alta deformabilità dipende essenzialmente dalla resistenza ultima degli ancoraggi a terra e viene massimizzata ponendo in opera un adeguato numero di dissipatori. Operando sulla lunghezza delle funi attrezzate con i freni è possibile effettuare il posizionamento ottimale degli ancoraggi di monte, conseguendo la massima garanzia di tenuta degli unici punti di reazione del sistema. Un'elevata quantità di dissipatori ha l'effetto di irrigidire il sistema e, a fronte di una riduzione dello spazio d'arresto, provoca un incremento delle sollecitazioni agli ancoraggi. Questo fatto deve essere evitato, viste le scarse conoscenze che attualmente si hanno sulla resistenza dinamica "a strappo" degli ancoraggi passivi in roccia o terreno sciolto. Per contro un basso numero di dissipatori, mantenendo uno stato di sollecitazione ridotto sul sistema, produce spazi d'arresto più lunghi. Ciò ha l'effetto di incrementare il tempo di contatto tra rete e massa, e di conseguenza, in

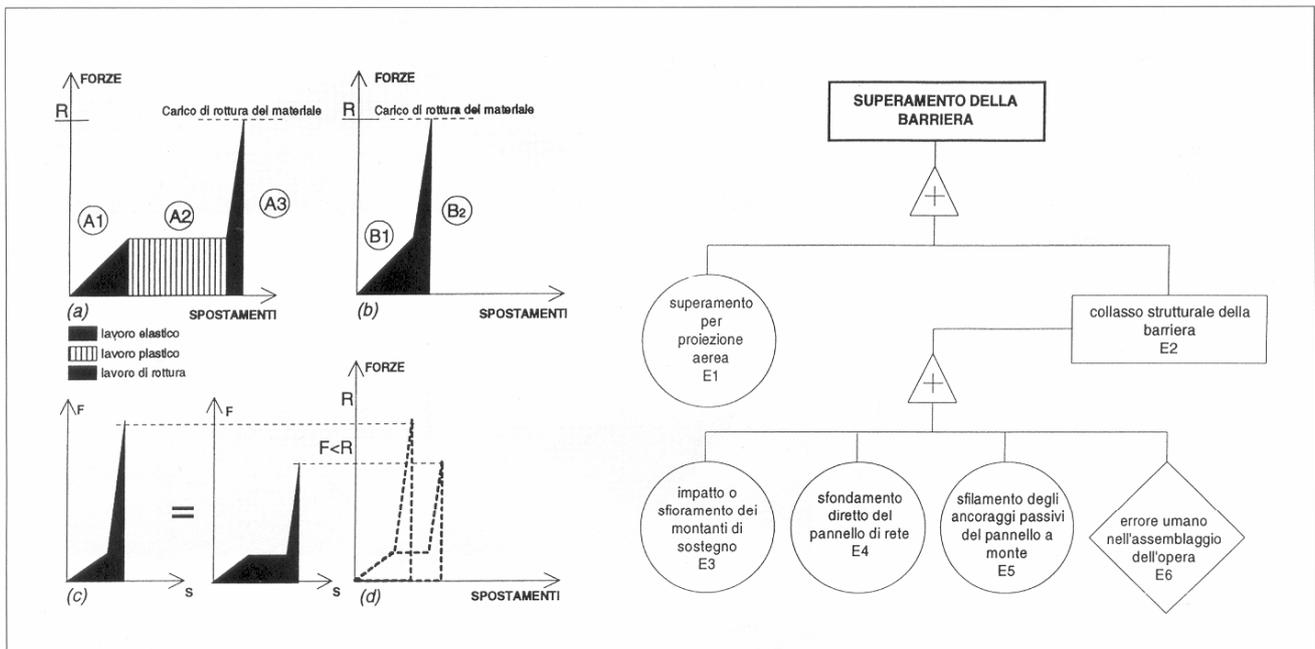


seguito a urti e rimbalzi casuali sul versante, aumenta la probabilità che il blocco fuoriesca dalla sacca di rete che si è venuta a formare. Tutto considerato sembra lecito fissare in  $2\div 3 \times 10^6$  J la massima capacità di assorbimento di un singolo pannello di barriera, con uno spazio d'arresto dei blocchi di 6÷9 m. I sistemi ad alta deformabilità sono particolarmente vulnerabili in prossimità dei montanti di sostegno, a causa della bassa resistenza ad impatto diretto di quest'ultimi e della possibilità che non si formi la sacca di contenimento in seguito ad impatti eccentrici sui pannelli di rete. Per ovviare a questo fatto e per ridurre la possibilità di superamento della barriera da parte di massi dotati di traiettorie a lunga gittata, è necessario porre in opera più filari di reti (almeno

tre) con una disposizione planimetrica sfalsata di mezzo passo. La capacità di trattenuta di progetto è propria di ciascun pannello di rete, quindi nel caso di impatti multipli la parte di barriera non danneggiata conserva integralmente il livello di affidabilità assegnato in sede progettuale.

### Il concetto di affidabilità

Nell'ingegneria geotecnica risulta usuale classificare la stabilità dei pendii attraverso un fattore di sicurezza, definito dal rapporto tra la resistenza intrinseca del sistema e le sollecitazioni esterne che su di esso agiscono. Nel caso delle opere paramassi, stante l'assenza di carichi statici determinati e applicati con continuità, è invece pre-



feribile utilizzare un altro approccio basato su assunzioni probabilistiche. In questo approccio si definisce "probabilità di rottura" (*failure probability*) la probabilità che sotto dati carichi l'opera collassi, mentre la probabilità ad essa complementare, indicante il livello di sicurezza dell'opera, prende il nome di "affidabilità" (*reliability*).

Da un punto di vista teorico, poiché sia la resistenza globale della barriera che i carichi dinamici agenti sono funzioni di diverse altre variabili, risulta difficile valutare probabilisticamente le prestazioni delle singole parti dell'opera, anche in considerazione delle diverse condizioni di inefficacia o rottura (multiple failure modes) che si possono presentare durante la vita operativa della barriera (superamento dell'opera per proiezione aerea, impatto sui montanti di sostegno, sfondamento diretto della rete).

Per stimare l'affidabilità di una barriera paramassi è allora possibile ricorrere alla *fault tree analysis* metodologia che permette di identificare ed organizzare tutte le potenziali situazioni di pericolo in uno schema sistematico (*fault tree diagram*). Attraverso tale schema è possibile decomporre l'evento principale (superamento della barriera) in combinazioni di "subeventi base", dei quali valutare separatamente la probabilità di accadimento in funzione di una accertata o meno dipendenza tra gli stessi. Tali subeventi concorrono a formare l'evento principale mediante correlazioni di tipo or oppure di tipo and, rappresentabili rispettivamente con le operazioni insiemistiche di "unione" ed "intersezione" e direttamente traducibili in termini probabilistici. La valutazione dell'affidabilità di una barriera può essere in alternativa condotta anche attraverso la event tree

**Nel grafico a sinistra, il meccanismo elasto-plastico delle barriere a media deformabilità assicura una capacità dissipativa maggiore.**

**A destra, uno schema sistematico per stimare l'affidabilità di una barriera. L'evento principale superamento della barriera viene scomposto in combinazioni di "subeventi base che concorrono a determinare l'evento principale."**

analysis, procedura sistematica attraverso cui si identificano tutte le potenziali conseguenze, tra loro mutuamente esclusive, di un evento principale e se ne valuta la probabilità associata. In tal caso l'arresto del blocco da parte della barriera viene visto come possibile conseguenza del movimento dello stesso lungo il pendio.

### La procedura progettuale

Gli aspetti tecnici connessi con la progettazione delle reti paramassi rientrano nella problematica più vasta dei principi cui deve ispirarsi la scelta tipologica e dimensionale dei sistemi di barriere paramassi, ritenuti idonei per la salvaguardia di determinate aree esposte al rischio di caduta massi. La particolarità di queste problematiche risiede, da un lato, nell'aspetto marcatamente aleatorio caratteristico dei fenomeni di propagazione dei massi sui versanti, e, dall'altro, nella difficoltà di modellazione analitica

dell'impatto dei blocchi contro le diverse tipologie di barriera paramassi.

Le difficoltà dipendono quindi, sia dall'impossibilità di conoscere a priori le caratteristiche della propagazione dei massi (punto di distacco, forma e volume dei blocchi, traiettorie, velocità di traslazione e di rotazione) sia dalle carenze di conoscenza sugli aspetti dinamici impulsivi propri dei fenomeni di impatto dei blocchi contro le barriere. A questo secondo aspetto si aggiungono le profonde differenze in termini di sollecitazioni trasmesse, a seconda della tipologia dell'opera di difesa passiva adottata (muri in calcestruzzo, gabbionate, terrapieni, reti di vario tipo).

In queste circostanze, analogamente ad altre situazioni tipiche dell'ingegneria civile, è necessario fare riferimento a due principi fondamentali:

- 1) analisi di tipo probabilistico e conseguente valutazione "dell'affidabilità" della barriera o del sistema di barriere progettato;
- 2) selezione del livello di affidabilità in funzione del grado di rischio che contraddistingue l'area che deve essere difesa dai fenomeni di caduta massi.

Ambedue gli aspetti sono strettamente connessi: i diversi livelli di affidabilità caratterizzano il grado di efficacia della barriera progettata e questi a loro volta devono essere confrontati con i requisiti di sicurezza richiesti. E' fondamentale pertanto avere sempre come riferimento la stima preliminare dello stato di rischio esistente (autostrada, ferrovia, strada statale o provinciale, pista forestale, scuola, abitazione, fabbrica, ecc.) e, in base a questo, individuare il sistema paramassi più idoneo.

## Conclusioni

I crolli litoidi e le frane in roccia in genere rappresentano uno dei rischi geologici più frequenti nei territori montani dell'areale alpino e prealpino italiano. Fenomeni di questo tipo risultano particolarmente ricorrenti nell'ambito montano friulano, dove coesistono diversi fattori geologici, sismici e meteorologici in grado di determinare il collasso improvviso di parti di versanti in roccia. L'elevata pericolosità del processo di crollo risiede soprattutto nella sua rapidissima evoluzione, con velocità dei blocchi spesso comprese tra i 30 ed i 100 km/ora, e nelle difficoltà di previsione dei punti di distacco e dei percorsi di discesa dei blocchi. Per questo motivo, non è raro che la cronaca riporti le conseguenze calamitose, spesso con morti e/o feriti, causate da questo tipo di frana. In circostanze più fortunate il franamento causa l'interruzione della circolazione viaria, per periodi più o meno lunghi, con pesanti conseguenze sulla percorribilità dei tratti viari e gravi disagi ai centri abitati montani. Nello stesso tempo, particolarmente nell'ultimo ventennio, si è assistito sia al consistente sviluppo urbanistico di diversi centri abitati montani, sia alla realizzazione di imponenti infrastrutture viarie, tra le quali basti citare il tratto autostradale Udine - Tarvisio. Un simile sviluppo del territorio montano, di per sé in genere positivo, ha determinato l'insorgenza o l'aggravamento di situazioni di rischio di crollo, di fronte alle quali le soluzioni progettuali adottate sono risultate estremamente variabili.

Tra le opere di arresto dei blocchi più diffusamente impiegate risultano ben rappresentate, a livello regionale, le reti paramassi cui si riferisce il presente lavoro. L'ampio ventaglio tipologico descritto dimostra la versatilità di questo tipo di opera, tenendo conto anche del notevole grado di evoluzione raggiunto dalle reti paramassi in questi ultimi dieci anni (barriere ad alta deformabilità). Riguardo ai sistemi più recenti dotati di dissipatori energetici ad attrito particolare attenzione andrebbe dedicata in futuro alla verifica sperimentale della resistenza offerta da questi meccanismi in funzione della pressione di serraggio delle piastre. Infatti solamente la conoscenza delle specifiche curve di taratura dei diversi sistemi di frenaggio per attrito può consentire la scelta progettuale degli spazi di arresto e delle sollecitazioni che saranno poi trasmesse agli ancoraggi passivi.

In termini di costi-benefici e a completamento della rassegna sulle reti paramassi si tenga presente che il loro costo, per singolo filare, si aggira intorno ai 2.5-5 milioni per metro lineare. Ovviamente l'ampio intervallo

di costo dipende dalla tipologia impiegata, dall'altezza della barriera e dalla difficoltà di accesso e di costruzione nella zona del versante. I costi segnalati hanno quindi un significato di riferimento del tutto generale, che può essere utilizzato come confronto con altre opere di difesa più onerose, quali ad esempio le gallerie artificiali paramassi. Questa soluzione progettuale, oggi caratterizzata da livelli di affidabilità molto elevati, a titolo del tutto indicativo, raggiunge mediamente costi di 20-25 milioni di lire/metro lineare. Anche in questo caso ci si riferisce ad un costo "medio" poichè ogni situazione reale rappresenta un caso a sè stante.

## Il rischio frana

A conclusione, è bene soffermarsi su alcuni principi generali che riguardano sia l'analisi del rischio di frana sia l'eventuale, conseguente, scelta progettuale.

Innanzitutto deve essere sempre tenuto a mente che la soluzione di un problema di rischio di crollo può essere affrontato in diversi modi (interdizione dell'area, modifica del percorso viario, ecc.) e non sempre esclusivamente strutturali (operazioni di rinforzo del versante, barriere paramassi, gallerie paramassi). In tutte queste circostanze deve essere valutato lo stato di rischio esistente (rockfall risk) facendo riferimento, principalmente ai seguenti aspetti:

- a) probabilità che si verifichi la rottura del versante;
- b) entità del crollo e dimensioni dei blocchi (crollo e blocco di progetto);
- c) conseguenze distruttive per le persone e le infrastrutture: nel caso di vie di comunicazione si consideri ad esempio la natura del tratto viario e la sua importanza (il volume del traffico, ad es.).

Solamente dopo aver effettuato una stima efficace del rischio di crollo può essere adottata una soluzione adeguata. Nel caso di una soluzione progettuale "strutturale" possono essere previste diverse tipologie di opere di difesa passiva, tra le quali ad esempio i sistemi di rete paramassi, analizzando il loro livello di affidabilità con la procedura probabilistica descritta in precedenza.

A.C. - P.P.

## Bibliografia

- ANG A. H-S., TANG W.H. (1984): Probability Concepts in Engineering Planning and Design. Volume II: Decision-Risk and Reliability, John Wiley & Sons, 274-332.
- AZZONI A., LA BARBERA G., MAZZA G. (1991): Studio con modello matematico e con sperimentazione in sito del problema di ca-

duta massi. Bollettino Associazione Mineraria Subalpina, XXVIII (4), 547-573.

BOZZOLO D., PAMINI R. (1982): Modello matematico per lo studio della caduta dei massi. Laboratorio di Fisica Terrestre, Dip. Pubblica Educazione, Lugano-Trevano, 89pp.

BRESCIA M. (1988): Moderne strutture di protezione contro la caduta delle masse rocciose. Le Strade, 1251, settembre 1988, 863-870.

BROILI L. (1977): Relations between scree slope morphometry and dynamics of accumulation processes. Rockfall Dynamics and protective works effectiveness, ISMES Bergamo, pubbl. n. 90, 11-23.

COCCOLO A. (1994): Aspetti progettuali delle barriere paramassi a rete. Università degli Studi di Udine, Facoltà di Ingegneria, tesi di laurea, A.A. 1992-93, Udine, 227 pp.

DESCOEUDRES F. (1988): Conférence spéciale: Méthodes confortatives en versants rocheux contre les glissements, le fauchage ou les chutes de blocs. Landslides-Glissements de Terrain, proceedings of the fifth international symposium on landslides, Lausanne 10-15 July 1988, A.A. Balkema Rotterdam, vol. 2°, 821-828.

DUFFY J.D., HALLER B. (1993): Field tests of flexible rockfall barriers. International conference on transportation facilities through difficult terrain, Balkema-Rotterdam, 465-473.

FUMAGALLI E., CAMONUOVO G.F. (1975): Nota su alcune esperienze di modellazione di frane di roccia eseguite all'ISMES. ISMES Bergamo, pubbl. n° 71, 1-8.

KANE W.F., FLETCHER D.Q., DUFFY J.D. (1993): Low-impact rock net testing, performance, and foundation design. International conference on transportation facilities through difficult terrain, Balkema-Rotterdam, 453-464.

MAZZALAI P., FERRARI R. (1991): Frane di crollo: teoria ed applicazioni di un modello in campo bidimensionale e tridimensionale. Acta Geologica-Studi Trentini di Scienze Naturali, Vol. 68/2, 207-223.

NERI M. (1986): Barriere paramassi deformabili ad elevato assorbimento di energia. Quarry and Construction, maggio 1986, 79-85.

PARONUZZI P. (1987/a): Modelli di calcolo per l'analisi della propagazione di blocchi rocciosi in frana. Rivista Italiana di Geotecnica, XXI n° 4, 145-165.

PARONUZZI P. (1987/b): Rockfall: un programma basic per la simulazione cinematica dei crolli litoidi. Bollettino della Associazione Mineraria Subalpina, XXIV (1-2), 185-196.

PARONUZZI P. (1989): Probabilistic approach for design optimization of rockfall protective barriers. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, 22, 175-183.

PARONUZZI P., COCCOLO A. (1994): Impatto di blocchi contro barriere paramassi su versanti naturali (Friuli). Geologia Tecnica e Ambientale, 1994 / 4, 15-29.

PARONUZZI P., COCCOLO A. (1995): Crollo di progetto ed affidabilità delle barriere paramassi. Bollettino della Associazione Mineraria Subalpina - GEAM, in stampa.

PICCOLI G. (1995): Analisi di stabilità a posteriori di uno scorrimento planare in roccia: la frana del Rio Ruat (Alpi Carniche, Udine). Università degli Studi di Udine, Facoltà di Ingegneria, tesi di laurea, A.A. 1993/94, Udine.

RICHARDS L.R. (1988): Rockfall protection: a review of current analytical and design methods. Atti II Ciclo Conf. Meccanica ed Ingegneria delle Rocce, Torino, Politecnico di Torino, 11, 1-13.

ROCHET L. (1979): Protection contre les éboulements rocheux par filets métalliques. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, 101, maggio-giugno 1979, 21-28.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA (1989): Laboratorio Prove Materiali, relazione interna.