

SICUREZZA SOTTORETE

Caduta massi. Un pericolo diffuso nelle zone montane, che può provocare danni ingenti e che molto spesso non può essere previsto per tempo. Ma con le reti paramassi l'incolumità di chi viaggia sulle strade pedemontane può essere salvaguardata.

Il problema della caduta massi rappresenta uno dei fenomeni calamitosi più gravosi e ricorrenti che si verificano lungo le vie di comunicazione montane o lungo percorsi collocati al piede di pareti rocciose piuttosto estese.

Questo tipo di problema riguarda, purtroppo con notevole frequenza, numerosi tratti di strade del territorio alpino e prealpino italiano, con caratteristiche di ricorrenza molto elevate dove le condizioni geologiche e meteorologiche risultano particolarmente gravose per la stabilità dei versanti (fig. 1).

A questo proposito è utile rammentare la considerevole vulnerabilità di diversi ambiti montani italiani quali, per esempio, le aree a elevata sismicità come il Friuli (fig. 2) e tutte quelle zone dell'arco alpino dove tendono a realizzarsi frequentemente precipitazioni brevi ma di notevole intensità (piogge critiche). Questa seconda condizione, che rappresenta spesso la causa principale scatenante la rottura del pendio, si verifica frequentemente in molteplici aree dell'arco alpino.

Il fenomeno della caduta massi può essere inquadrato nella fenomenologia dei processi di dissesto classificata come "rockfalls" o crolli di roccia (Varnes, 1978). Per le finalità pratiche risulta molto significativa la classificazione tecnica dei dissesti di Rochet (1987), che distingue le frane in funzione dei volumi

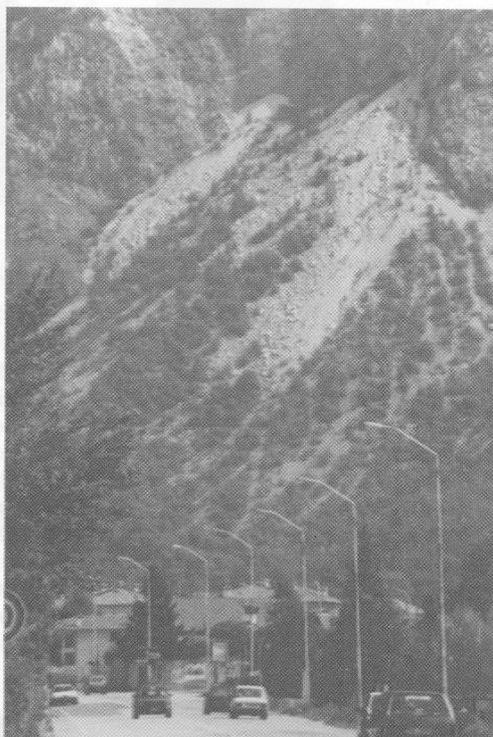


Fig. 1

totali mobilizzati: in questo modo è possibile selezionare gli eventi di frana per i quali gli interventi diretti sul versante hanno un certo grado di efficacia e valutare di conseguenza quando questi ultimi risultano possibili.

I fenomeni di caduta massi sono provocati da crolli di roccia che coinvolgono volumi di materiale compresi circa tra 0.01 e 10.000 metri cubi. Nella maggior parte dei casi si tratta di eventi improvvisi di distacco di masse rocciose che, con moto assai vario e irregolare, si verificano lungo i versanti intersecando, con esiti talora anche assai calamitosi, le vie di comunicazione.

Le conseguenze di questi fenomeni sono variabili: dal semplice transito con im-

patti sulla barriera e sulla sede stradale (in questo caso l'evento può essere anche non riconosciuto e/o censito), all'impatto su vetture in movimento con danni che dipendono solamente dal caso ma che possono provocare anche la morte.

L'estensione, soprattutto in quest'ultimo ventennio, del tessuto stradale italiano agli ambiti intravallivi alpini da un lato ha accentuato la fruibilità del territorio montano, garantendone una salutare espansione economica, ma dall'altro ha incrementato il grado di rischio di molte arterie stradali nei confronti dei fenomeni di caduta massi. L'aumento del rischio di crollo dipende sia dalla realizzazione di

nuove infrastrutture viarie sia dal miglioramento della rete stradale preesistente e dal conseguente notevole aumento del traffico veicolare.

Per cercare di ridurre questo tipo di rischio sono state utilizzate, a protezione delle strade, diverse tipologie di barriere paramassi (Rochet, 1979; Neri, 1986; Brescia, 1988). Tra queste le reti paramassi risultano essere quelle più diffusamente impiegate per la difesa delle vie di comunicazione, siano queste autostrade, strade o ferrovie (fig. 4).

A tutt'oggi non esistono nel settore dei sistemi paramassi criteri di progettazione codificati, sia a causa dell'aleatorietà dei processi di crollo e di propagazione, sia per la complessità teorica dell'analisi strutturale legata alla modellazione del-



Fig. 2

l'interazione blocco-barriera. Di conseguenza, in Italia non è stata ancora formulata una procedura progettuale di riferimento, nè tanto meno esiste una normativa specifica relativa alle opere di difesa passiva, che imponga la costruzione di adeguati sistemi di protezione in funzione dell'importanza dell'opera da difendere (strade di varie categorie, ferrovie, centri abitati). Una simile normativa risulterebbe un efficace completamento della legislazione già esistente a proposito delle analisi di stabilità dei pendii e delle opere di sostegno (DM. LL. PP. 11/3/1988; C.M.LL.PP. 24/9/1988 n.30483). Tale lacuna, che dipende dalle limitate conoscenze geomeccaniche e strutturali, ha determinato sino a oggi l'adozione di criteri di progettazione molto soggettivi, legati esclusivamente al livello di conoscenza e alla sensibilità specifica del singolo progettista.

LA PROCEDURA PROGETTUALE

Gli aspetti tecnici connessi con la progettazione delle reti paramassi rientrano nel problema più vasto dei principi cui deve ispirarsi la scelta tipologica e dimensionale di questi sistemi. La particolarità di questo problema 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. Risulta impossibile, quindi, conoscere a

priori le caratteristiche della propagazione dei massi (punto di distacco, forma e volume dei blocchi, traiettorie, velocità di traslazione e di rotazione) e gli aspetti dinamici impulsivi propri dei fenomeni di impatto dei blocchi contro le barriere (Paronuzzi e Coccolo, 1994). 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 di calcestruzzo, gabbionate, terrapieni, reti di vario tipo).

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

- 1) un'analisi di tipo probabilistico (Paronuzzi, 1989) e conseguente valutazione dell'affidabilità della barriera o del sistema di barriere progettato;
- 2) una selezione del livello di affidabilità in funzione del grado di rischio che contraddistingue l'area che deve essere difesa dai fenomeni di caduta massi.

Entrambi 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. È fondamentale, pertanto, avere sempre come riferimento la stima preliminare dello stato di rischio esistente (presenza di autostrada, ferrovia, strada statale o provinciale, pista forestale, scuola, abitazione, fabbrica o altro) e, in base a questo, individuare il sistema paramassi più idoneo.

Fig. 4

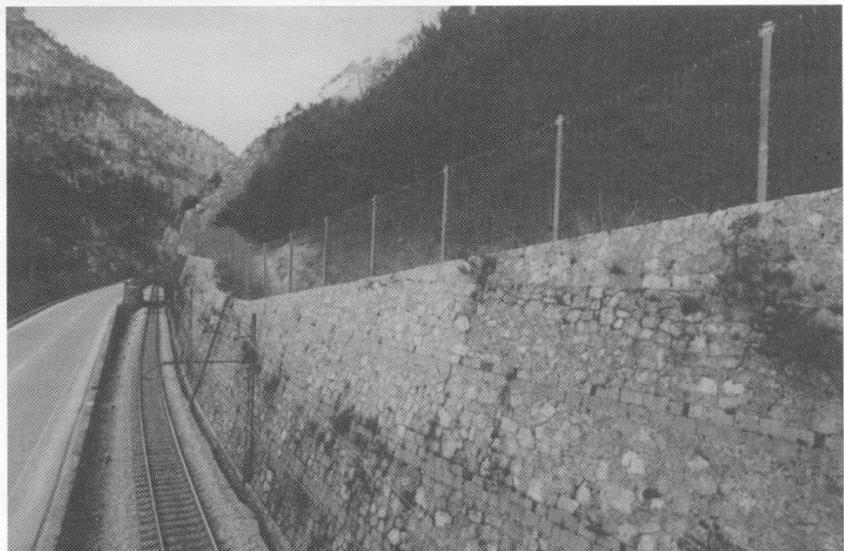


Fig. 3

IL CONCETTO DI AFFIDABILITA'

Nell'ingegneria geotecnica risulta usuale classificare la stabilità dei pendii mediante un fattore di sicurezza, definito dal rapporto tra la resistenza intrinseca del sistema e le sollecitazioni esterne che agiscono su di esso. Nel caso delle opere paramassi, stante l'assenza di carichi statici determinati e applicati con continuità, è invece preferibile utilizzare un altro approccio basato su assunzioni probabilistiche. Secondo questo approccio si definisce "probabilità di rottura"

(*failure probability*) la probabilità che, sotto dati carichi, l'opera collassi, mentre la probabilità, a essa complementare, che indica il livello di sicurezza dell'opera, prende il nome di "affidabilità" (*reliability*).

Dal 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* (Ang e Tang, 1984), metodologia che permette di identificare e organizzare tutte le potenziali situazioni di pericolo in uno schema sistematico (*fault tree diagram*) (fig. 5). 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" e "intersezione" e direttamente traducibili in termini probabilistici. La valutazione dell'affidabilità di una barriera può essere condotta in alternativa anche attraverso la *event tree analysis* (Ang e Tang, 1984), 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 (Paronuzzi e Cocco, 1995).

LA SIMULAZIONE DELLE PROPAGAZIONI

Questo aspetto rappresenta la fase fon-

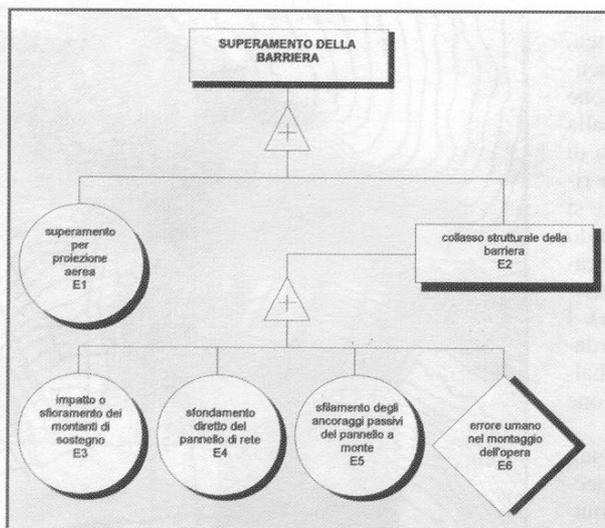


Fig. 5

damentale della progettazione delle barriere paramassi in quanto su di esso si basa la verifica delle soluzioni progettuali considerate. È necessario anzitutto distinguere chiaramente le diverse fasi operative, nella loro corretta sequenza temporale, che precedono la simulazione vera e propria dei fenomeni di propagazione dei massi (Paronuzzi et al., 1996):

- rilievo topografico di dettaglio del versante, eseguito specificatamente nell'area oggetto di indagine (scala 1:500 - 1:2.000);
- rilievo geologico e geomorfologico generale del versante, con particolare attenzione alla litologia superficiale (affioramenti rocciosi, spessore della coltre detritica) e alla copertura vegetale dei diversi tratti del pendio;
- rilievo geomeccanico dell'ammasso roccioso e analisi dei volumi rocciosi coinvolti nei fenomeni di crollo precedenti per la valutazione del crollo e del blocco di progetto;
- zonazione geomeccanica del versante e attribuzione dei parametri geomeccanici caratteristici (parametri di attrito dinamico e/o di restituzione all'impatto blocco-versante) o, meglio, del loro campo di valori caratteristico;
- simulazione di percorsi di discesa dei blocchi, con distacchi ubicati in diverse parti del versante, sino a ottenere un campione significativo (n maggiore o uguale a 100) rappresentativo delle diverse situazioni che si possono presentare nella realtà (fig. 6).

La sintesi finale dei risultati fornisce una visione globale del fenomeno, all'interno

della quale è possibile identificare le situazioni più gravose sia dal punto di vista dello stato di rischio esistente (massimi percorsi sul pendio) sia da quello cinematico-energetico dei blocchi nelle diverse parti del versante (massime altezze di volo, massime energie).

Attualmente la simulazione delle propagazioni dei blocchi viene eseguita utilizzando dei codici di calcolo automatico (Paronuzzi, 1987/b) che generano in tempo reale numerosi percorsi simulati, di cui viene visualizzato il risultato complessivo. A seconda della metodologia impiegata possono venire distinti tre tipi fondamentali di analisi previsionali: analisi bidimensionali-parametriche, analisi bidimensionali-probabilistiche e analisi tridimensionali (Paronuzzi et al., 1996).

Nelle analisi bidimensionali, come noto, il pendio viene schematizzato da una serie di profili predeterminati rappresentati da spezzate, in corrispondenza dei quali viene effettuata la propagazione simulata. Lo svantaggio principale di questa procedura risiede nell'impossibilità di valutare le deviazioni laterali dei percorsi dovute a irregolarità naturali del versante: il percorso di discesa è completamente prestabilito ed è condizionato dai profili-tipo prescelti.

I parametri geomeccanici vengono spesso attribuiti ai diversi segmenti del profilo sulla base dei valori più comunemente riportati in letteratura (Richards, 1988). In modo più adeguato essi possono venire ricavati dall'analisi a posteriori di propagazioni già avvenute sul versante, oppure, nella situazione ideale, da vere e proprie prove in sito in grandezza reale (disgaggi filmati, crolli artificiali, lancio di massi) (Broili, 1977; Bozzolo e Pamini, 1982; Azzoni e De Freitas, 1995).

Poiché i parametri geomeccanici sono di norma assai variabili, essi non possono

venire considerati costanti per ciascuna parte, anche relativamente omogenea, del pendio. Questo fatto è particolarmente valido per i parametri di restituzione all'impatto, fortemente condizionati dalla geometria dell'impatto stesso (angolo di incidenza della traiettoria del blocco rispetto al versante). Per questa ragione si tende a ripetere la simulazione facendo variare i valori dei parametri geomeccanici all'interno di un intervallo caratteristico assegnato (analisi parametrica). I dati che si ottengono in *output* riguardano: percorsi, traiettorie aeree dei rimbalzi, altezze di volo, velocità di traslazione dei blocchi.

Nelle analisi cinematiche bidimensionali (Paronuzzi, 1987/a), fondate sulla meccanica del punto materiale, il moto simulato è di rotolamento alternato alle proiezioni paraboliche dei rimbalzi. Di conseguenza, nel modello non viene preso in considerazione il moto di rotazione del blocco che si verifica nella realtà (moto roto-traslatorio). L'energia cinetica di rotazione (E_r) può venire introdotta successivamente valutandola come un'aliquota percentuale che si aggiunge all'energia cinetica di traslazione (E_t). Prove filmate in sito indicano valori di E_r prossimi al 10-15 % di E_t (Paronuzzi e Coccolo, 1995). Le valutazioni energetiche richiedono comunque l'analisi del blocco di progetto descritta in precedenza.

Nelle analisi bidimensionali-probabilistiche la schematizzazione analitica rimane la stessa delle analisi previsionali precedenti ma in ogni simulazione i diversi parametri geomeccanici vengono estratti casualmente all'interno di un certo intervallo, che viene definito dal progettista. Imponendo la condizione limite, in cui i limiti dell'intervallo sono uguali, si rientra nell'ambito dell'assunzione di parametri costanti. La natura completamente casuale dell'estrazione determina dei percorsi e delle traiettorie che sono ogni volta diversi, in misura tanto maggiore quanto più elevata è la variabilità specifica assegnata ai singoli parametri geomeccanici e quanto maggiore è la dimensione del campione considerato. Analisi di questo tipo sono del tutto adeguate al reale carattere aleatorio della propagazione dei massi sui versanti.

La simulazione può essere rapidamente ripetuta modificando in *input* i valori estremi dell'intervallo dei parametri geomeccanici attribuiti al pendio e dei parametri di massa del blocco di progetto. Allo stesso modo è possibile preselezio-

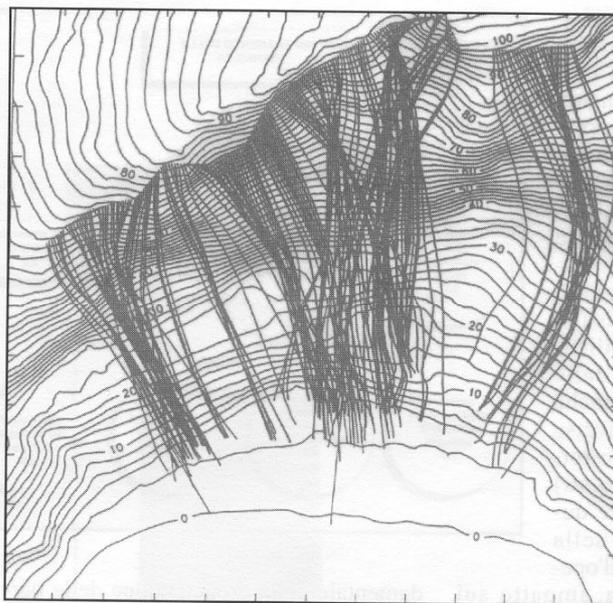


Fig. 6

nare il numero delle simulazioni variando a piacere la dimensione del campione analizzato. I risultati di sintesi che si ottengono in *output* consentono di analizzare la curva di distribuzione di frequenza dei parametri principali, valutando nel contempo il livello di probabilità associato a specifici valori o a intervalli di valori. In questo modo è possibile stabilire anche il grado di pericolosità effettivo dei diversi settori del versante: le condizioni di massima propagazione, vale a dire i casi realmente più pericolosi, sono infatti di norma associati ai più bassi livelli di probabilità e, soprattutto, dipendono dal numero di blocchi mobilizzati e quindi dalle dimensioni globali del dissesto (crollo di progetto).

LA VERIFICA DELLE RETI PARAMASSI

Utilizzando il criterio energetico le reti

paramassi possono venire classificate in termini di energia cinetica totale dissipabile dal sistema (*joule*) (tab. 1). A seconda della tipologia impiegata, più o meno deformabile e/o attrezzata, si possono considerare capacità di dissipazione che variano da 10-100 a 1.000-3.000 kiloJoule per un singolo filare di rete paramassi. Analogamente, si può fare riferimento a reti a bassa deformabilità (fig. 7), idonee a sostenere impatti di progetto "a bassa energia", cui si contrappongono le reti a media (fig. 8) e alta deformabilità, destinate ad assorbire impatti di progetto di notevole energia. Questo tipo di approccio semplificato è molto utile perché consente di effettuare nello stesso tempo la verifica della barriera nei confronti del superamento per rimbalzo e dello sfondamento, utilizzando i modelli cinematici bidimensionali e tridimensionali.

La rete paramassi o il sistema di reti vengono modellati sul profilo di calcolo (analisi bidimensionale) o direttamente sul pendio (analisi tridimensionale). In questo secondo caso la barriera o le barriere sono rappresentate da spezzate con

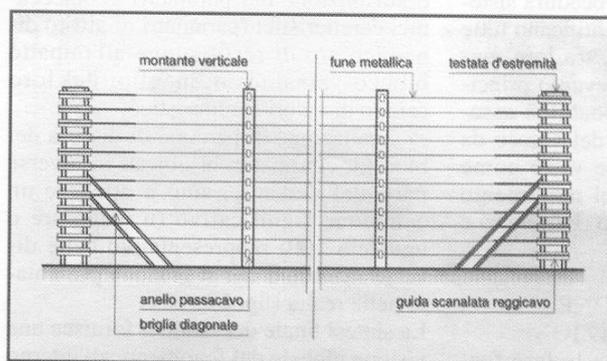


Fig. 7

estremi di coordinate note, dotate di una certa capacità di assorbimento energetico (J).

La verifica progettuale basata sulle propagazioni simulate consta di due fasi ben distinte. Nella prima vengono generati dei percorsi simulati sull'intero versante oggetto di studio, per diverse condizioni di distacco e di propagazione (fig. 6). E' possibile, in questo modo, accertare quali sono le aree più esposte al pericolo di caduta massi e le traiettorie preferenziali di propagazione. Contemporaneamente, avendo stabilito le caratteristiche del masso di progetto, si valuta l'andamento dell'energia cinetica che i blocchi possono assumere nei diversi settori del pendio. Sulla base di questi dati si individua la posizione ottimale delle reti che deve soddisfare la condizione di intercettazione delle traiettorie aeree dovute ai rimbalzi, nelle aree contraddistinte dai livelli energetici più bassi (analisi dell'ubicazione e della geometria ottimale delle reti).

Nella seconda fase vengono inserite nel modello le reti con le loro specifiche caratteristiche di dissipazione energetica, opportunamente corrette. Vengono nuovamente generati dei percorsi simulati e si verificano i casi di intercettazione e di arresto dei blocchi (fig. 9). La procedura viene ripetuta facendo variare le capacità di assorbimento energetico delle reti (*joule*) e ipotizzando, quindi, l'utilizzo di diverse tipologie, più o meno deformabili. Analizzando i casi di effettiva intercettazione rispetto al totale di casi simulati è possibile stabilire il livello di affidabilità (%) delle diverse soluzioni progettuali. Alla fine viene selezionato il sistema più idoneo, sulla base del rischio presente e quindi del livello di sicurezza che si intende assegnare all'area che deve essere salvaguardata. Il sistema di difesa adottato risulta in questo modo caratterizzato da un determinato valore di affidabilità (per esempio: 50-75-90-95-99.5 %) rispetto al crollo di progetto.

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. 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 chilometri orari, e nelle difficoltà di previsione dei punti di distacco e dei

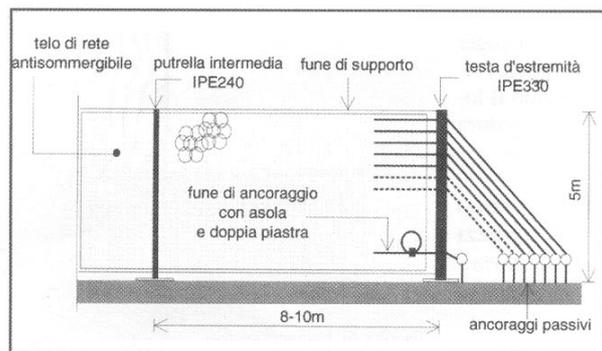


Fig. 8

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. Un simile sviluppo del territorio montano, di per sé 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 le reti paramassi cui si riferisce il presente lavoro. L'ampio ventaglio tipologico delle reti paramassi attuali dimostra la versatilità di questo tipo di opera, tenendo conto anche del notevole grado di evoluzione raggiunto 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, varia da 2,5 a 5 milioni di

lire 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 per 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 per metro lineare. Anche in questo caso ci si riferisce a un costo "medio" poichè ogni situazione reale rappresenta un caso a sé stante.

In 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 ricordato che la soluzione di un problema di rischio di crollo può essere affrontato in diversi modi (interdizione dell'area, modifica del percorso viario, eccetera) e non sempre esclusivamente con opere 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:

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

Solamente dopo aver effettuato una stima precisa 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 i sistemi di rete paramassi, analizzando il loro livello di affidabilità con la procedura probabilistica descritta in precedenza.

ALESSANDRO COCCOLO

PAOLO PARONUZZI

Dipartimento Georisorse e Territorio -
Università di Udine

BIBLIOGRAFIA

- A. H-S., ANG, W. H. TANG *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, Volume II: Decision-Risk and Reliability, John Wiley & Sons, 1984.
- A. AZZONI, M. H. DE FREITAS, *Experimentally gained parameters, decisive for rock fall analysis*, Rock Mechanics and Rock Engineering, 28 (2), 1985.
- D. BOZZOLO, R. PAMINI, *Modello matematico per lo studio della caduta dei massi*, Laboratorio di Fisica Terrestre, Dip. Pubblica Educazione, Lugano-Trevano, 1982.
- M. BRESCIA, *Moderne strutture di protezione contro la caduta delle masse rocciose*, Le Strade, 1251, settembre 1988.
- L. BROILI, *Relations between scree slope morphology and dynamics of accumulation processes*, Rockfall Dynamics and protective works effectiveness, ISMES Bergamo, n.90, 1977.
- A. COCCOLO, *Aspetti progettuali delle barriere paramassi a rete*, Università degli Studi di Udine,

Facoltà di Ingegneria, tesi di laurea, A.A. 1992/93, 1994.

F. DESCOEUDRES, *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, 1988.

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

W. F. KANE, D. Q. FLETCHER, J. D. DUFFY, *Low-impact rock net testing, performance, and foundation design*, International conference on transportation facilities through difficult terrain,

Balkema-Rotterdam, 1993.

M. NERI, *Barriere paramassi deformabili ad elevato assorbimento di energia*, Quarry and Construction, maggio 1986.

P. PARONUZZI, *Modelli di calcolo per l'analisi della propagazione di blocchi rocciosi in frana*, Rivista Italiana di Geotecnica, XXI n. 4, 1987/a.

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

P. PARONUZZI, *Probabilistic approach for design optimization of rockfall protective barriers*, Quarterly Journal of Engineering Geology, London, 22, 1989.

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

P. PARONUZZI, A. COCCOLO, *Crollo di progetto ed affidabilità delle barriere paramassi*, Geoingegneria Ambientale e Mineraria - GEAM 86, giugno-settembre n. 2-3, 1995.

P. PARONUZZI, L. BLASI, F. CAUTILLI, E. TASSONI, *La falesia delle Acque Dolci di Monte Argentario: modellazione cinematica di caduta massi e progettazione delle opere di difesa*, Quarry and Construction, anno XXXIII, n.2 febbraio 1996.

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

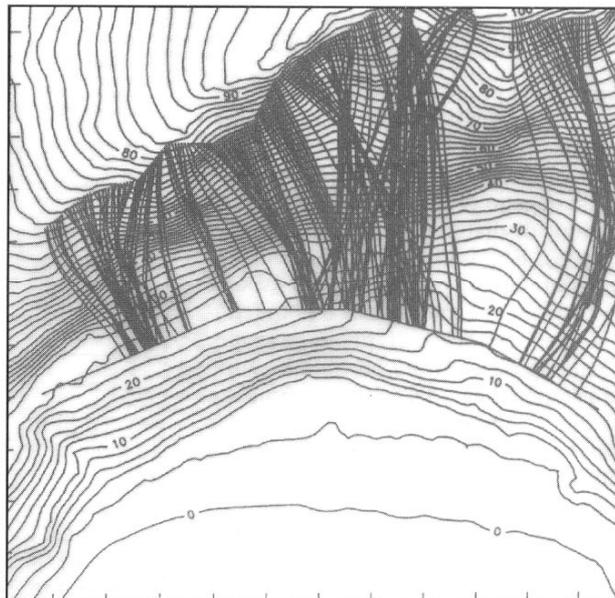
L. ROCHET, *Protection contre les éboulements rocheux par filets métalliques*, Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, 101, maggio-giugno 1979.

L. ROCHET, *Application des modèles numériques de propagation à l'étude des éboulements rocheux*, Bulletin de Liaison des laboratoires des ponts et chaussées, n.150-151, 1987.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA, *Laboratorio Prove Materiali, relazione interna*, 1989.

D. J. VARNES, *Slope Movement Types and Processes*, in "Landslides: Analysis and Control", Schuster & Krizek Ed., T. R. B., Nat. Acad. of Sciences, Special Report 176, Washington, 1978.

Fig. 9



Tab. 1

BARRIERE A BASSA DEFORMABILITA'			
DENOMINAZIONE	BIBLIOGRAFIA	MODO DI DETERMINAZIONE	ENERGIA DISSIPABILE (J)
BARRIERE A FUNI CONTINUE	COCCOLO, 1994	ANALISI A POSTERIORI (Villa Santina, UD.)	minimo 11000÷12000
BARRIERE A MEDIA DEFORMABILITA'			
DENOMINAZIONE	BIBLIOGRAFIA	MODO DI DETERMINAZIONE	ENERGIA DISSIPABILE (J)
RETI U.M.M.	opuscolo pubblicitario a cura delle Utensilerie Meccaniche Milanesi	PROVA IN SCALA REALE	≈ 165000
RETI ANTISOMMERSIBILE	COCCOLO, 1994	ANALISI A POSTERIORI (M.te Glemina, UDI)	≈ 200000
RETI BRUGG "WIRE ROPE"	KANE et. al., 1993	PROVA IN SITO (Route 1, Calif. - USA)	70000÷80000
RETI BRUGG "WIRE ROPE"	DUFFY e HALLER, 1993	PROVA IN SITO (Oberbuchsitzen, CH)	250000÷500000
RETI BRUGG "SUBMARINE"	DUFFY e HALLER, 1993	PROVA IN SITO (Oberbuchsitzen, CH)	800000÷1000000
CAN	DESCOEUDRES, 1988	DICHIARATO	200000 ÷ 400000
BARRIERE AD ALTA DEFORMABILITA'			
DENOMINAZIONE	BIBLIOGRAFIA	MODO DI DETERMINAZIONE	ENERGIA DISSIPABILE (J)
RETI ISOMAT	NERI, 1986	PROVA IN SCALA REALE	≈ 2000000
RETI G.E.F.	ROCHET, 1979	DICHIARATO	≈ 640000
RETI CON FRENI	Laboratorio Prove Università di Brescia: relazione interna, 1989	PROVA IN SCALA REALE	≈ 980000

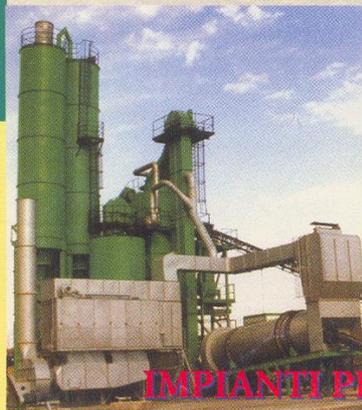
le Strade

ANNO XCVIII - LUGLIO/AGOSTO 1996

*Fresatrice stradale a freddo
Wirtgen mod. 1300-2000 DC*

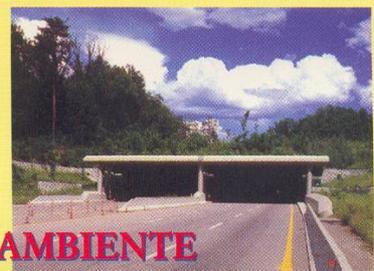


 **Wirtgen Macchine Srl**
LA TECNOECOLOGIA®



IMPIANTI PER BITUME

FRESATRICI



STRADA E AMBIENTE