

## ***Generalità***

**I**l distacco e la caduta di masse rocciose da pareti e versanti costituisce uno dei maggiori rischi geologici al quale sono esposti persone ed infrastrutture di vario tipo, presenti in ambienti rupestri e montani.

La progettazione delle opere di difesa presuppone una serie d'indagini preventive ed accurate per l'accertamento dei principali aspetti geologici, geomeccanici, geomorfologici ed idrogeologici, oltre che ambientali (clima, vegetazione).

Le opere di difesa dalla caduta massi sono comunemente distinte in due principali categorie: "opere di difesa attiva" ed "opere di difesa passiva".

Si definiscono "attive" le opere che hanno la funzione di prevenire, impedire o ridurre il distacco, la caduta e il rotolamento delle masse rocciose.

Sono chiamate "passive" le opere che agiscono rallentando, deviando, ostacolando la caduta, il rotolamento e il movimento di masse detritiche.

In alcuni casi particolari, per evitare lo spostamento dell'opera da proteggere in luoghi più sicuri, si possono anche realizzare gallerie artificiali paramassi.

Le opere di difesa attiva comprendono:

- interventi che migliorano la resistenza meccanica dell'ammasso roccioso per mezzo dell'applicazione di forze resistenti quali ad esempio: tiranti, chiodi, bulloni, legature, iniezioni di consolidamento, travi o muri, rivestimenti con rete metallica e calcestruzzo proiettato;
- interventi che riducono i processi di degradazione fisica e di erosione superficiale sull'ammasso roccioso, costituiti da opere di rivestimento e protezione dall'erosione quali: reti metalliche addossate, reticolo di funi metalliche, rivestimenti con reti metalliche e tasche vegetative e/o con geosintetici;
- interventi che modificano la circolazione idrica superficiale e sotterranea quali: opere di regimazione ed intercettazione delle acque meteoriche e correnti superficiali, sigillature ed intasature delle fratture beanti con iniezioni di malta cementizia o di resine, drenaggi dell'ammasso roccioso con dreni suborizzontali o con opere di drenaggio di grande diametro, quali le gallerie drenanti.

Le opere di difesa passiva comprendono:

- reti paramassi;
- interventi di risagomatura dei versanti con formazioni di berme di rallentamento, valli (trincee) e rilevati paramassi;
- realizzazione di barriere ed ostacoli artificiali resistenti, più o meno rigidi e/o deformabili, quali: muri in calcestruzzo, muri in terre rinforzate, muri cellulari, muri in gabbioni, scogliere in grossi massi, gallerie artificiali paramassi.

Nelle pagine che seguono sono elencate le principali tipologie di opere di difesa massi, sia attive che passive, più frequentemente impiegate negli interventi di sistemazione e stabilizzazione delle pareti e dei versanti rocciosi instabili classificate in:

- barriere;
- reti;
- valli e rilevati;
- gallerie artificiali.

### *Generalità*

Barriere paramassi a reti ad elevato assorbimento di energia disposti su più filari a protezione delle abitazioni dalla caduta di grossi massi e di detrito dalle pareti rocciose sovrastanti. L'esempio si riferisce al centro abitato di Pale (PG) nell'Appennino Umbro Marchigiano presso Colfiorito. Il distacco di grossi blocchi e massi dalle pareti rocciose, verificatosi durante i recenti eventi sismici ed il considerevole stato di pericolo per le persone ed abitazioni, ha reso necessario l'installazione di queste opere di difesa passiva.



### *Descrizione e Caratteristiche*

**Barriere paramassi rigide:** sono strutture poco deformabili, pesanti e di grandi dimensioni, capaci di opporsi con notevoli forze resistenti agli impatti. Il loro dimensionamento tiene conto in fase di progettazione della sollecitazione dinamica indotta dall'impatto di un "masso di progetto". Generalmente sono realizzate in calcestruzzo armato, con o senza contrafforti, opportunamente ancorati al terreno stabile con micropali o tiranti di ancoraggio. Al disopra dei muri, nei punti più critici, spesso è installata una barriera elastica formata da pannelli di elementi metallici o da reti metalliche.

In particolari situazioni ambientali, soprattutto quando sono richieste strutture resistenti e deformabili su pendii ripidi, si adottano muri in gabbioni metallici. I gabbioni forniscono un ostacolo deformabile con assorbimento dell'impatto in parte elastico in parte rigido, inoltre hanno il grande vantaggio di poter sfruttare l'abbondanza dei detriti di versante per il loro riempimento e sono facilmente riparabili in caso di danneggiamenti.

**Barriere paramassi elastiche:** sono strutture deformabili, leggere con elementi altamente resistenti, formati da materiali di alta qualità e durata. La leggerezza della struttura, la semplicità, la rapidità di installazione e di manutenzione, consentono di eseguire l'intervento anche in zone montuose di difficile accessibilità.

La struttura è progettata e dimensionata in modo tale da poter intercettare, rallentare o arrestare la caduta di massi isolati o di detrito. Spesso queste barriere sono associate ad altri sistemi di difesa passiva, quali ad esempio muri in c.a., valli e rilevati paramassi.

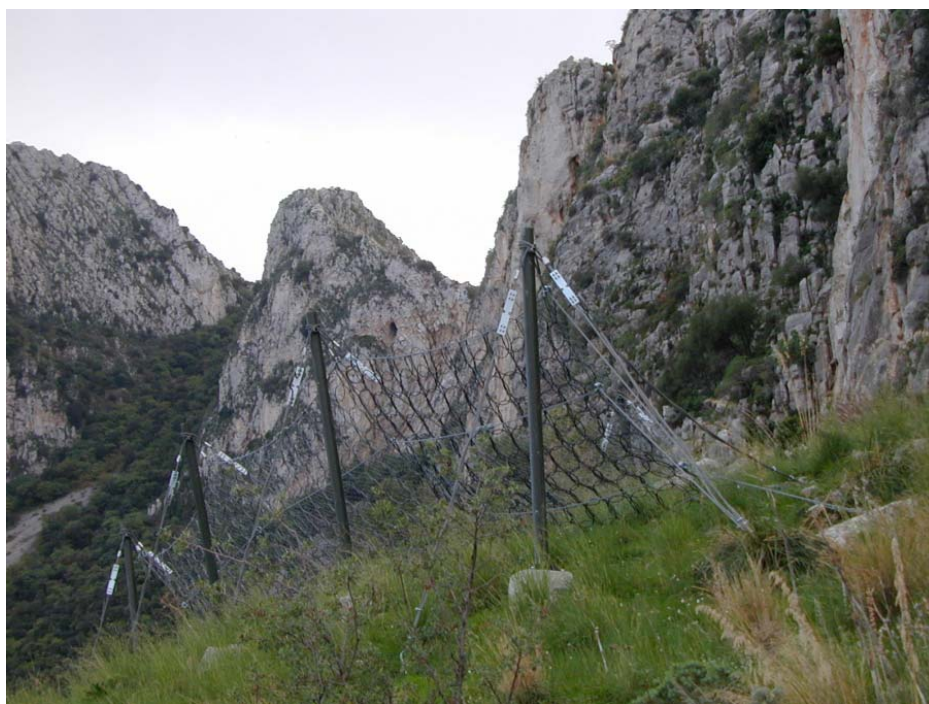
In funzione delle tipologie costruttive e dei materiali impiegati, le barriere elastiche possono presentare varie configurazioni quali:

- barriere formate da reti flessibili installate su strutture di sostegno rigide tipo muri in c.a. o di altro tipo.
- barriere formate da pannelli di reti flessibili d'acciaio, con sostegni (ritti) ed elementi di rinforzo (tiranti d'ancoraggio) infissi direttamente nel terreno o sulla sommità di terrapieni o di strutture di sostegno di vario tipo (ad esempio muri in gabbioni), ed installati secondo lo schema tradizionale "a sacco".

Le barriere paramassi elastiche sono essenzialmente formate da singoli pannelli in rete estensibile ad alto assorbimento d'energia in funi d'acciaio galvanizzato ad alta resistenza, disposte in maniera da formare maglie di varia forma. I pannelli, collegati tra loro da funi di cucitura d'acciaio, sono posti in opera perpendicolarmente al pendio, sostenuti da piedritti (ritti) metallici, con interasse di qualche metro, tiranti di monte e controventi di valle in cavi di acciaio ad alta resistenza. Gli elementi di sostegno e di rinforzo (piedritti, cerniere dei piedritti, tiranti) sono ancorati e fissati nella roccia o nel materiale detritico mediante barre d'acciaio ad aderenza migliorata cementate o in micropali di lunghezza adeguata.

La progettazione in assenza di una normativa specifica nel settore, è effettuata sia sulla base delle indagini geologico-strutturali dell'area e dell'analisi cinematica del processo di caduta e rotolamento dei massi (simulazione di caduta, rimbalzo, rotolamento e arresto di massi o di detrito mobilitato, eseguito al computer su modelli teorici o su dati reali rilevati da prove in sito), sia sull'analisi dell'energia cinetica posseduta dal masso di progetto in caduta o rotolamento, trasformata, con l'impatto sulla rete estensibile, in lavoro di deformazione degli elementi della struttura.

Barriera paramassi elastica ad alto assorbimento di energia, di tipo tradizionale. L'altezza della barriera si aggira in genere intorno ai 3-4 m. I pannelli di rete d'acciaio, a maglia circolare, sono collegati tra loro da funi d'acciaio e sostenuti da ritti metallici, ancorati nel terreno mediante tiranti di fondazione e tiranti di monte e di valle fissati nel terreno con dissipatori di energia.



## **Aspetti ambientali**

**Le barriere paramassi elastiche** hanno un impatto ambientale molto contenuto, dovuto alle tecniche di installazione, che non richiedono grandi scavi, sbancamenti o impiego di mezzi pesanti ed ingombranti. La verniciatura della struttura con colori simili a quella della vegetazione, del terreno o della roccia affiorante in sito, permette di ottenere un migliore inserimento ambientale nelle zone dove è di primaria importanza la salvaguardia del paesaggio naturale.

Le **barriere paramassi rigide**, rispetto alle precedenti, hanno un impatto ambientale maggiore dovuto alle caratteristiche della tipologia costruttiva ed ai materiali impiegati. Il rivestimento delle strutture con vegetazione o con altri accorgimenti particolari, mitiga in parte il forte impatto estetico paesaggistico sull'ambiente naturale circostante.

Nel corso delle fasi di progettazione e realizzazione devono essere previste misure per il corretto inserimento ambientale e per minimizzare l'impatto sul territorio. Ad esempio le barriere paramassi, con notevole sviluppo, possono essere segmentate e sfalsate, per consentire il passaggio della fauna selvatica, così come la loro localizzazione può tenere conto della presenza di specie vegetali rilevanti. Particolare attenzione può essere posta nella progettazione e realizzazione delle piste di accesso per la messa in opera delle barriere utilizzando adeguate misure di cautela riguardo la stabilità dei pendii e la salvaguardia del patrimonio faunistico e floreale.

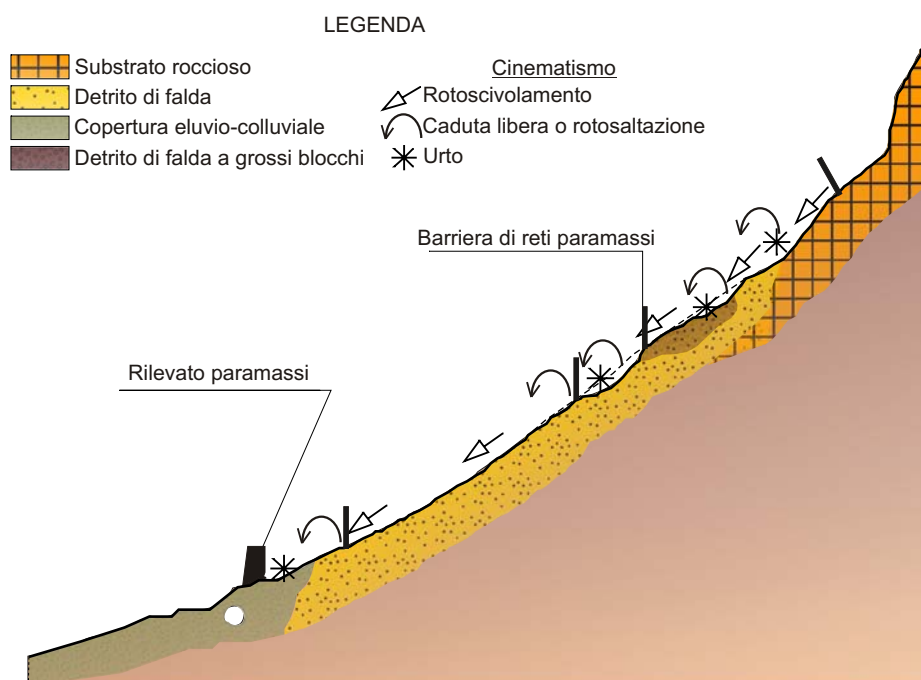
Barriera paramassi elastica.  
Particolare dei pannelli di rete in funi metalliche a maglie tonde, dei supporti tubolari e delle funi in acciaio che trasmettono gli sforzi ai dispositivi di frenaggio e di dissipazione d'energia.



## Applicazioni

Le barriere elastiche sono impiegate nelle zone interessate da caduta di massi o movimenti di detrito, di non grosse proporzioni, per frenare ed intercettare il più possibile il materiale mobilitato, in modo che le eventuali altre strutture difensive, poste più a valle, possano resistere meglio all'impatto dei massi che riescono a superare la barriera.

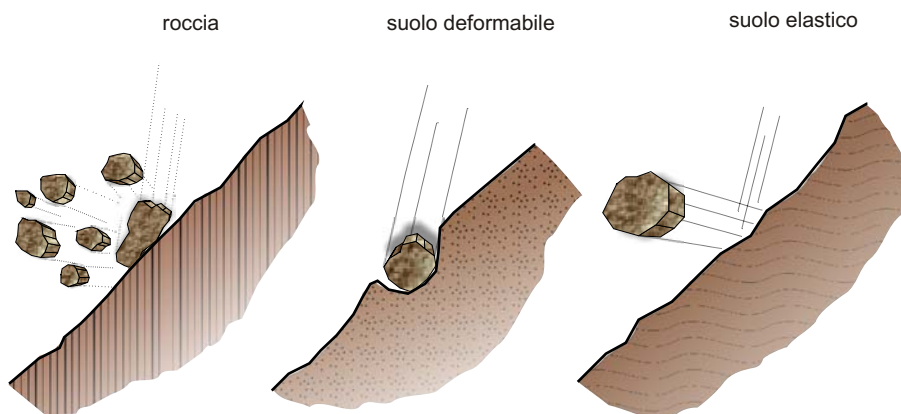
Le barriere paramassi rigide, unitamente ad altri sistemi difensivi (barriere elastiche, valli e rilevati paramassi), si usano nelle zone dove il rischio di movimenti di masse rocciose e/o di flussi detritici di grosse proporzioni richiede una maggiore resistenza.



La simulazione del processo di caduta massi e del comportamento delle barriere difensive, eseguita con modelli teorici, rappresenta uno dei sistemi più usati per il dimensionamento preliminare, la scelta e l'ubicazione corretta delle strutture difensive.

L'indagine geologico-strutturale costituisce uno dei passi più importanti per perimetrare le aree più esposte al rischio di caduta massi e/o di flussi detritici ed i principali tipi di cinematismi del materiale mobilitato. Questi dati sono necessari per una corretta definizione dell'ubicazione e delle caratteristiche delle strutture da adottare.

Influenza delle caratteristiche litologiche del pendio sulle traiettorie e sul movimento dei massi caduti.



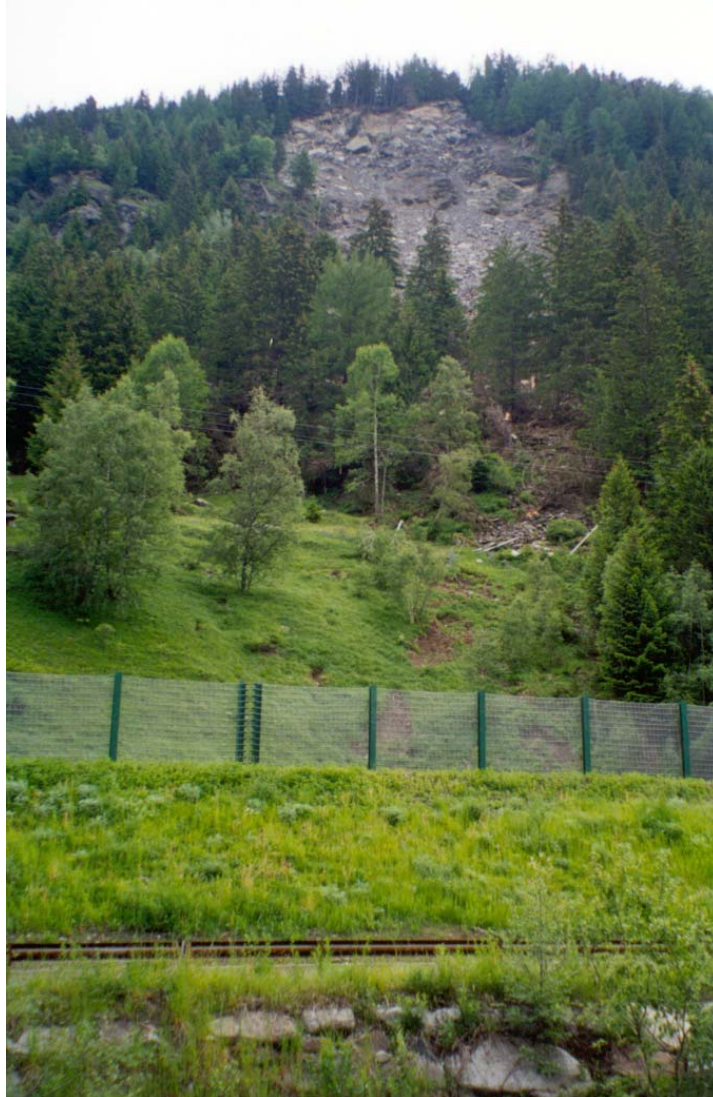


Barriera paramassi rigida, costituita da un muro in calcestruzzo armato, realizzata a protezione della sede stradale dalla caduta di grossi massi e detrito che si distaccano dalla parete in roccia calcarea fratturata. Al disopra del muro è stata installata una rete metallica per intercettare i frammenti o massi più piccoli che riescono a superare la struttura. La parete di roccia fratturata è stata rivestita con reti metalliche, mentre nel punto dove il rischio di frane o distacco di grossi blocchi di roccia è maggiore, è stata realizzata una galleria artificiale paramassi. L'impatto paesaggistico di questo intervento è marcato anche per la mancanza di interventi di minimizzazione.



Opere di difesa passiva dalla caduta massi a protezione della sede stradale. Le pareti subverticali formate da roccia calcarea molto fratturata, sono state rivestite con reti metalliche, previa operazione di pulizia e disgaggio di massi pericolanti. Alla base del versante è stata realizzata una barriera paramassi rigida, costituita da un muro in c.a., sormontato nei tratti più critici da una barriera paramassi deformabile, formata da pannelli metallici prefabbricati. Anche in questo caso l'impatto paesaggistico è marcato anche per la mancanza di interventi di minimizzazione.

Barriere paramassi elastiche realizzate con pannelli in acciaio a maglie esagonali: in ambiente tipico dell'Appennino centrale a protezione della sede stradale (sopra) e in ambiente tipico di una vallata alpina (sotto). In quest'ultimo caso la rete è stata posizionata sulla sommità della parete di un vallo paramassi che ha il compito di intercettare e contenere il flusso di materiale detritico che proviene dal versante in frana visibile sullo sfondo. Questo tipo di struttura è meno resistente agli urti rispetto a quella tirantata ad alto assorbimento di energia. La funzione principale è quella di intercettare o deviare in apposite strutture di accumulo, frammenti o massi isolati di roccia di piccole dimensioni. La barriera ha un'altezza di circa 3 m, ed è formata da ritti metallici, con interasse di 4-5 m impiantati in plinti di cemento armato. Tra i ritti è messo in opera un pannello di funi d'acciaio. L'impatto paesaggistico è minimizzato dalla verniciatura a verde delle strutture.



***Generalità***

**L**e reti paramassi sono strutture di tipo elastico utilizzate per il rivestimento di pareti rocciose interessate da fenomeni di crollo, caduta di massi e detrito con dimensioni massime degli elementi di circa 60-100 cm.

***Descrizione e Caratteristiche***

**L**e reti paramassi sono formate da fili di acciaio rivestito con zinco o con lega di zinco-alluminio tessuti in modo da formare una struttura a doppia torsione con maglie esagonali. Le reti possono inoltre essere armate o rinforzate mediante funi d'armatura verticali e/o oblique in acciaio.

Le dimensioni delle maglie sono codificate dalla normativa europea. I diametri di filo usati per queste applicazioni sono 2.7 e 3.0 mm.

La struttura è posizionata a diretto contatto della parete rocciosa da stabilizzare e fissata ad essa mediante un sistema di ancoraggi meccanici realizzati in vari modi a seconda delle situazioni, con barre cementate, bulloni, tasselli ad espansione.

Prima della posa in opera della rete si provvede ad operazioni di sistemazione, pulizia ed eventuale rimodellamento del versante roccioso.

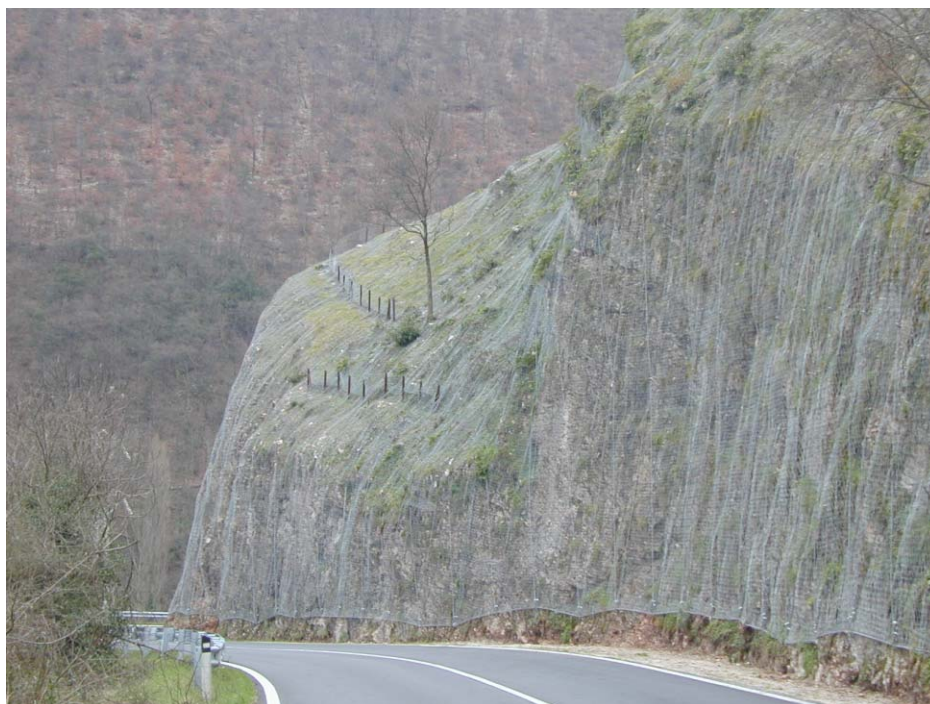
La crescita della vegetazione, che può essere spontanea o sviluppata artificialmente mediante idrosemina o altre tecniche di rinverdimento, contribuisce ulteriormente al consolidamento della pendice.

Da curare con attenzione sono gli ancoraggi in testa ed al piede, in particolare questi ultimi dovranno consentire lo svuotamento per la manutenzione della rete.

***Aspetti ambientali***

**I** rivestimenti delle scarpate rocciose con reti metalliche comportano un impatto sul paesaggio apprezzabile, specie immediatamente dopo la loro installazione. Questi effetti sono, comunque, ampiamente compensati dal miglioramento delle condizioni ambientali locali che l'impiego di queste strutture consente di ottenere. Infatti la struttura delle reti, la capacità di non alterare i normali processi di filtrazione delle acque, rallentando al tempo stesso la velocità delle acque di ruscellamento, e l'azione di contenimento e di stabilizzazione della pendice, creano condizioni favorevoli alla rapida crescita ed allo sviluppo della vegetazione consentendo di ottenere un ripristino naturale dell'area d'intervento.

Reti metalliche per la protezione della sede stradale. Questa struttura è largamente usata negli attraversamenti stradali e ferroviari di zone caratterizzate dalla presenza di ripide pareti rocciose fratturate o, talora, intensamente tettonizzate. Il contenimento della roccia fratturata e del materiale detritico trattenuto dalle reti favorisce, lo sviluppo spontaneo della vegetazione. Questa contribuisce a stabilizzare ulteriormente la pendice rocciosa ed, al tempo stesso, consente di minimizzare l'impatto sul paesaggio ed il graduale ripristino ambientale del versante. In alcuni casi per favorire il rinverdimento delle scarpate si ricorre a tecniche di bioingegneria.



## **Applicazioni**

I rivestimenti delle pareti rocciose con reti metalliche e/o funi di rinforzo sono usati in tutti quei casi in cui per varie ragioni non sia possibile o conveniente impiegare barriere paramassi. Possono svolgere due tipi di azioni:

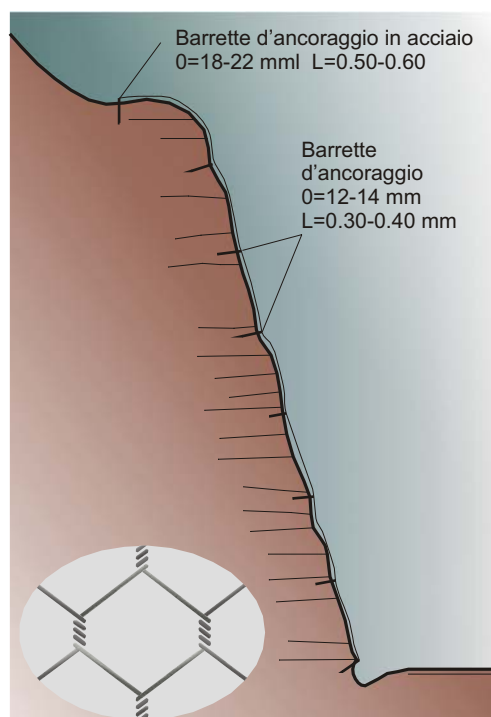
- 1) Impedire il distacco dei blocchi di roccia.
- 2) Guidare la caduta dei blocchi, impedendo rimbalzi pericolosi.

Rivestimento di una parete rocciosa frantumata, con reti metalliche a doppia torsione a maglie esagonali, armate e rinforzate con reticolo in funi d'acciaio. L'intervento è stato realizzato per la protezione della sede stradale in un tratto a mezzacosta interessato da fenomeni di caduta massi.



Particolare della rete metallica a maglia esagonale e delle funi d'acciaio di rinforzo.





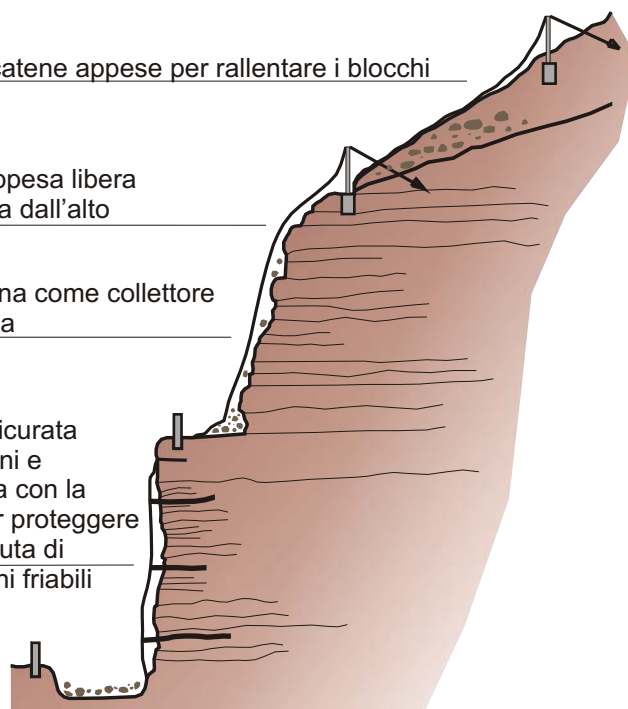
Reti e catene appese per rallentare i blocchi

Rete appesa libera  
sospesa dall'alto

Banchina come collettore  
di roccia

Rete assicurata  
con bulloni e  
spruzzata con la  
malta per proteggere  
dalla caduta di  
formazioni friabili

(A)



Schema costruttivo tipo di rivestimento di una parete rocciosa con rete metallica: (A) sezioni tipo di stabilizzazione di una parete rocciosa con rete metallica, (B) fasi della stesa e del fissaggio della rete, eseguita da personale altamente specializzato. Dopo la stesa la rete viene ancorata nella roccia mediante ancoraggi meccanici posizionati sulla sommità della scarpata (ancoraggi di sostegno), al piede della scarpata (ancoraggio di contenimento) ed in posizione intermedia sulla parete, con interassi variabili in funzione dello stato di fratturazione della roccia (ancoraggi di contenimento intermedi).

Questo tipo di struttura difensiva è largamente usata negli attraversamenti stradali e ferroviari di zone montuose, caratterizzate spesso dalla presenza di ripide pareti rocciose fratturate o, talora, intensamente tettonizzate.

Il contenimento della roccia fratturata ed il materiale detritico trattenuto dalle reti favorisce lo sviluppo spontaneo della vegetazione che contribuisce a stabilizzare ulteriormente la pendice rocciosa e a minimizzare l'impatto paesaggistico favorendo il graduale ripristino ambientale del versante. Per favorire il rinverdimento delle scarpate si può ricorrere a tecniche di bioingegneria.

(B)



### ***Generalità***

**I** valli e i rilevati paramassi sono interventi di difesa passiva realizzati in genere alla base di versanti rocciosi instabili soggetti a fenomeni di crollo e/o ribaltamento, distacco di massi, blocchi e colate di detrito di grosse proporzioni. A seconda delle caratteristiche morfologiche del versante, della necessità e dei vincoli, geometrici o di altro tipo, esistenti in sito, l'intervento può essere costituito dal solo "vallo" o da un sistema difensivo composto da un vallo e un rilevato paramassi".

### ***Descrizione e Caratteristiche***

**I**l rilevato è costituito da un terrapieno a sezione trapezia realizzato con materiale grossolano, incoerente, proveniente dallo scavo del vallo o reperibile in zona. Il sistema può essere, come detto, completato da uno scavo sagomato (vallo), posto immediatamente a monte dello stesso. Il vallo, il cui fondo è ricoperto da uno strato di materiale sciolto assorbente, assolve la duplice funzione di smorzare l'energia cinetica dei massi e dei blocchi prima che questi raggiungano le pareti del rilevato, e di raccogliere il materiale detritico intercettato.

La tipologia di queste strutture difensive varia a seconda della geometria, del materiale e delle tecniche costruttive con le quali sono realizzate. In via esemplificativa si possono avere terrapieni in materiale grossolano incoerente sostenuto sul lato di valle da muri o in alternativa rilevati realizzati con terre rinforzate che consentono di poter avere un paramento interno, sul lato monte, con un'inclinazione quasi verticale, che garantisce una azione più efficace nel bloccaggio dei massi.

Questo tipo di strutture difensive possono avere uno sviluppo lineare notevole (anche di centinaia di metri) costituendo un ostacolo al libero deflusso delle acque correnti superficiali. Pertanto, è necessario provvedere alla realizzazione di un adeguato sistema di drenaggio e allontanamento delle acque superficiali provenienti dal settore a monte del versante.

Vallo paramassi per la protezione di una sede stradale. La parete del vallo, sul lato valle, è sostenuta da un muro cellulare. Il materiale impiegato per la costruzione della struttura è quello proveniente dallo scavo del vallo retrostante.



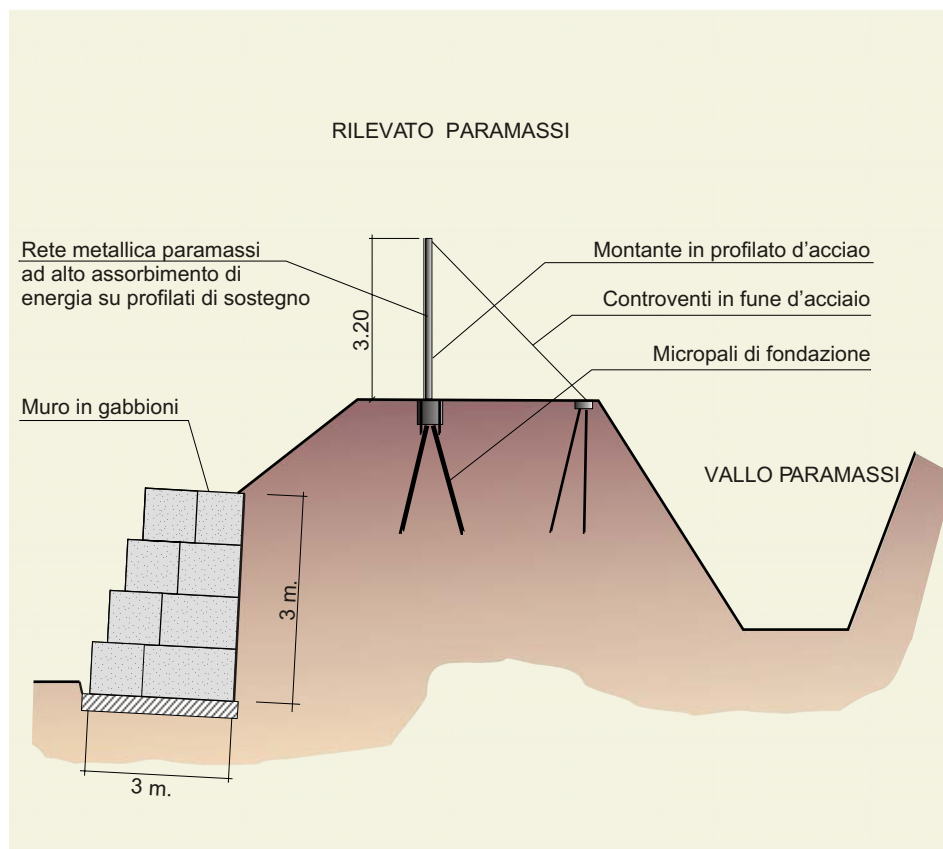
Il “vallo paramassi” è realizzato mediante lo scavo di un cunettone opportunamente sagomato in funzione della morfologia e della pendenza della scarpata a monte dell'intervento. Sul fondo dello scavo è steso uno strato di materiale granulare sciolto (sabbia e/o ghiaia) o di materiale detritico proveniente dallo scavo, dello spessore di circa 40-100 cm. Lo strato di materiale granulare sciolto ha la funzione di assorbire e smorzare il più possibile l'energia cinetica dei massi o blocchi distaccatisi dalla parete rocciosa a monte e/o rotolati lungo il versante.

La geometria dello scavo deve essere progettata in maniera tale da garantire sia l'intercettamento sia il contenimento e l'accumulo del materiale. In alcuni casi, le pareti del vallo sul lato valle sono sostenute da muri di sostegno con paramento inclinato (muri cellulari, muri in terra rinforzata), mentre la parete sul lato monte, più direttamente soggetta agli urti, spesso è protetta da strutture resistenti e deformabili quali ad esempio muri in gabbioni metallici con paramento verticale e a gradoni interni, di grande efficacia per l'arresto dei massi.

Sulla sommità del rilevato è spesso installata una barriera elastica paramassi (rete metallica) la cui funzione è quella di intercettare frammenti rocciosi o piccoli massi che potrebbero superare la struttura difensiva sia a causa di processi di frantumazione lungo il versante, sia per fenomeni di impatto “masso su masso” (frantumazione e proiezione di frammenti nella zona a tergo della struttura). Nel caso in cui le condizioni logistiche locali non permettano di effettuare uno scavo di larghezza adeguata si può installare una barriera paramassi di tipo elastico o si protegge il settore a valle dello scavo con gabbioni metallici sormontati da rete metallica (“scavi sagomati protetti”).

Come per le altre strutture di difesa passiva dalla caduta massi, anche in questo caso il dimensionamento, la geometria, il tipo e l'ubicazione sono progettate sulla base dei risultati di accurate indagini geologico-strutturali preliminari e di simulazioni al computer su modelli, volte a definire i volumi, le traiettorie, le condizioni d'impatto (velocità e inclinazione) e le modalità di movimento dei blocchi rocciosi (caduta libera, rimbalzo, rotolamento, colamento ecc.).

Sezione tipo di “vallo e rilevato paramassi”. La geometria e le dimensioni dell'opera (pendenza delle pareti, profondità e larghezza del fondo scavo) sono variabili in funzione delle diverse situazioni morfologiche, geologico-strutturali e dei vincoli di vario tipo esistenti in loco. Il fondo dello scavo è rivestito da un letto di materiale granulare sciolto assorbente di spessore inferiore al metro. La parete dello scavo sagomato sul lato valle può essere sostenuta da muri di sostegno di vario tipo. Nei casi più critici sulla sommità del vallo è installata una barriera elastica paramassi, costituita in genere da rete metallica opportunamente ancorata a profilati di sostegno.



## **Aspetti ambientali**

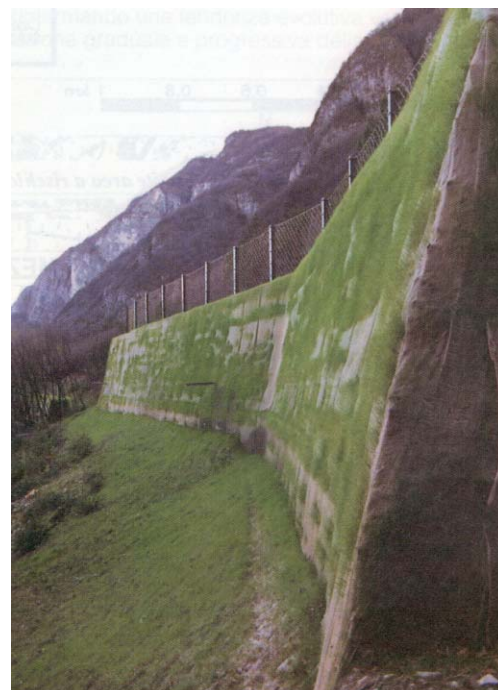
**Q**uesti sistemi di protezione dalla caduta di massi e/o da flussi di materiale detritico o fangoso hanno un buon inserimento nel contesto naturale e paesaggistico dell'ambiente montano o rupestre dove, in genere, sono più frequentemente realizzati. Le specifiche tipologie costruttive ed il tipo di materiali impiegati permettono di ottenere un rapido inerbimento delle strutture

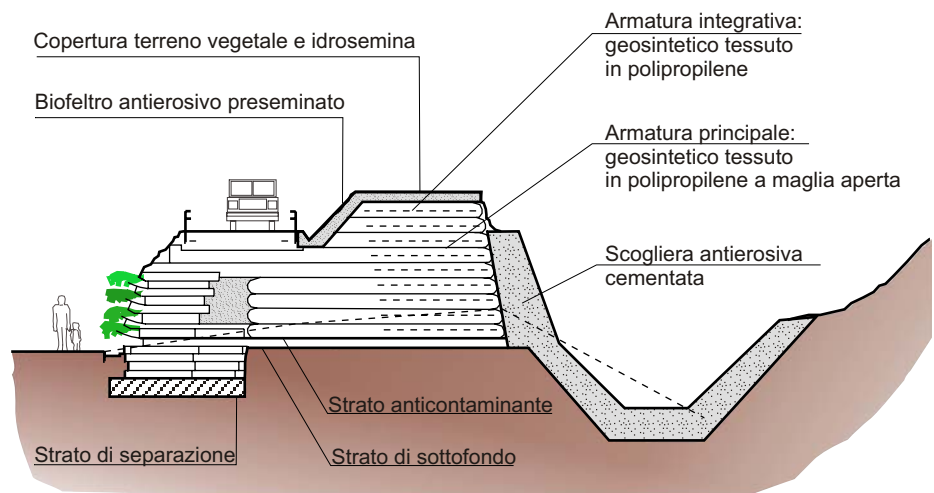
## **Applicazioni**

**I** valli ed i rilevati sono delle opere di difesa passiva dalla caduta massi o di flussi di detrito mobilitato ampiamente utilizzati nelle zone montane per la protezione di infrastrutture viarie e ferroviarie e/o di nuclei abitativi o industriali.



Intervento di difesa dalla caduta massi eseguito al piede di una ripida scarpata rocciosa. L'opera è costituita da uno scavo sagomato (vallo) e da un rilevato paramassi, sormontato da una barriera elastica in rete metallica, realizzato con la tecnica delle terra rinforzata. Questa tecnica consente di ottenere una struttura resistente, con pareti interne quasi verticali, molto efficaci nel bloccare i massi caduti o rotolati dalla scarpata. Il rinverdimento naturale o artificiale (ad esempio mediante idroseminala) della struttura consente di minimizzare l'impatto negativo sull'ambiente.





Intervento di protezione costituito da un rilevato in terra rinforzata con geosintetici e canalizzazione antierosiva dell'asta torrentizia, eseguito al piede di un importante fenomeno gravitativo complesso noto come frana del Cassas", che interessa l'autostrada A32 Torino-Bardonecchia.

L'opera svolge la duplice funzione di difesa passiva contro i massi ed i detriti e di regimazione e contenimento del l'eventuale trasporto solido di massa lungo l'asta torrentizia che corre a monte del rilevato.

Lavori per la realizzazione di un sistema di difesa passiva dalla caduta massi per la protezione della sottostante linea ferroviaria, eseguito lungo il versante al piede di una ripida scarpata rocciosa. L'opera è costituita da uno scavo sagomato (vallo) e da un rilevato paramassi, sormontato da una barriera elastica in rete metallica ad alto assorbimento d'energia. Il vallo, largo 10 m e lungo 220 m, ha la funzione di smorzare ed attutire gli urti dei grossi massi distaccatisi dalle pareti rocciose. A tale scopo il fondo dello scavo è ricoperto da un materasso di terreno granulare soffice.



***Generalità***

**L**e gallerie artificiali sono opere utilizzate nelle zone dove non sono realizzabili altre forme di protezione più economiche, soprattutto dove è necessario proteggere infrastrutture viarie o ferroviarie di particolare importanza.

***Descrizione e Caratteristiche***

**L**e gallerie artificiali sono generalmente realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera o in elementi prefabbricati in calcestruzzo ad alta resistenza. Il lato valle della struttura è aperto ed è formato dai pilastri di sostegno della volta, mentre sul lato monte a contatto con la parete viene realizzato un muro di controripa. L'imbocco è quasi sempre protetto da una barriera paramassi rigida costituita da un muro in calcestruzzo armato, sormontato da reti metalliche. Molto spesso sulla copertura della galleria è posto uno strato di materiale detritico che, oltre a favorire lo sviluppo della vegetazione spontanea, ha la funzione di assorbire gli impatti di grossi blocchi e massi, caduti o rotolati giù dalle scarpate, che potrebbero causare gravi danni alla struttura della volta. Nelle zone dove questo rischio è più elevato, la galleria è completata dalla realizzazione, sul versante a monte, di barriere elastiche paramassi.

Le gallerie artificiali risolvono quasi del tutto il problema della protezione dalla caduta massi delle sedi e degli imbocchi delle gallerie stradali o ferroviarie, a questa caratteristica di estrema garanzia si aggiunge anche il vantaggio di non richiedere frequenti interventi di manutenzione.

Galleria artificiale a protezione della sede stradale. La struttura è stata realizzata secondo lo schema classico di costruzione, che prevede la costruzione di un muro di controripa in cemento armato sul lato monte, volta formata da travi in cemento armato prefabbricato accostate, pilastri di sostegno in cemento armato sul lato aperto di valle. Nella foto è possibile osservare lo strato di materiale detritico posto sulla volta e sul lato monte sia per assorbire ed attutire l'impatto dei blocchi di grosse dimensioni che possono distaccarsi dalla ripida parete calcarea, sia per mitigare il marcato impatto paesaggistico con lo sviluppo di vegetazione spontanea.



## **Aspetti ambientali**

**Q**uesti sistemi difensivi sono molto efficaci dal punto di vista tecnico-funzionale, ma hanno un forte impatto paesaggistico sull'ambiente naturale circostante per le loro caratteristiche strutturali e costruttive. Per mitigare questi effetti negativi, nelle realizzazioni più recenti, si cerca di migliorare l'aspetto architettonico ed il loro inserimento nel contesto paesaggistico con strutture più armoniche, favorendo contemporaneamente lo sviluppo della copertura vegetale, in modo tale da mascherare il più possibile la vista e ricostituire una continuità con l'ambiente naturale circostante.

## **Applicazioni**

**L**e gallerie artificiali sono impiegate soprattutto come opere di difesa dal rischio di frane e caduta massi su strade, ferrovie, imbocchi di gallerie stradali e/o ferroviarie in aree montane.

Galleria artificiale realizzata a protezione della sede stradale in un tratto a mezzacosta soggetto a frane di crollo e colate di detrito: (sotto) vista panoramica, (sopra) particolare della struttura sul lato valle

Questo tipo di struttura difensiva è largamente usata negli attraversamenti stradali e ferroviari di zone montuose, caratterizzate spesso dalla presenza di ripide pareti rocciose fratturate o, talora, intensamente tettonizzate.

