

# Mitigazione del rischio di frana

Gianfranco Urciuoli

*Gran parte del territorio italiano è interessato dalla presenza di ampie aree a rischio di frana che propongono rilevanti problemi di sicurezza per la vita umana e per le attività produttive e logistiche. La necessità di mitigare questo rischio spesso si scontra con la limitatezza delle risorse economiche la quale impedisce di realizzare interventi attivi e passivi di stabilizzazione su larga scala. Il risultato è il ricorso ai piani di emergenza per il rischio idrogeologico. Questi prevedono non solo le azioni di Protezione Civile successive all'evento catastrofico in soccorso alla popolazione colpita, ma anche una fase di previsione dell'evento che consente di allontanare per tempo la popolazione dalle aree minacciate nonché di predisporre le misure utili alla gestione dell'emergenza.*

**L**a presenza di ampie aree a rischio di frana pone su gran parte del territorio italiano rilevanti problemi di sicurezza. Nell'ambito degli insediamenti esistenti sussiste talvolta una insostenibile minaccia alla vita umana ed alle attività produttive e logistiche; nelle aree libere da insediamenti gli elevati livelli di pericolosità comportano limitazioni allo sviluppo urbanistico ed economico.

La necessità di mitigare il rischio di frana è contrastata dalla limitatezza delle risorse economiche, a cui si può far fronte ricorrendo ad una vasta gamma di strategie, non limitate agli interventi di stabilizzazione che rappresentano la soluzione più onerosa ed a volte, per questo motivo, meno praticabile.

In generale il rischio di frana può essere mitigato oltre che con interventi di stabilizzazione che incrementano il margine di sicurezza del pendio o intercettano il corpo di frana (interventi strutturali), con limitazioni d'uso del territorio (di tipo urbanistico) che riducono la presenza stabile di elementi a rischio sull'area minacciata dalla frana (interventi non strutturali) e provvedimenti di Protezione Civile che consentono in tempi adeguati l'allontanamento della popolazione e degli elementi a rischio di maggiore valore dall'area minacciata (piani di emergenza).

Gli interventi di stabilizzazione possono essere suddivisi in attivi o passivi. Gli interventi attivi mirano ad elevare la stabi-

lità del pendio mediante la costruzione di opere di ingegneria civile in grado di incrementare il coefficiente di sicurezza del pendio. Gli interventi passivi intercettano la massa franata durante il suo percorso, proteggendo le strutture e le infrastrutture poste a valle.

## **Interventi di stabilizzazione**

### *Interventi attivi*

Gli interventi attivi possono essere realizzati nelle zone in cui è possibile delimitare con affidabilità il corpo di frana in atto o potenziale ed accedere alla frana con le macchine operatrici.

Questi interventi comportano il miglioramento delle condizioni di sicurezza del versante e sono dimensionati a partire dall'analisi di stabilità. I fattori da considerare sono numerosi e di difficile valutazione, in particolare: l'esistenza, la posizione e la forma della superficie di scorrimento, il regime delle acque nel sottosuolo ed i parametri di resistenza del terreno.

L'intervento viene di norma dimensionato sulla base di un prefissato incremento del coefficiente di sicurezza che deve essere accuratamente valutato anche tenendo conto delle sollecitazioni sismiche. Per i pendii naturali la normativa vigente non prescrive un valore minimo del coefficiente di sicurezza che deve essere fissato dal progettista

sulla base delle caratteristiche meccaniche del corpo di frana, della loro naturale dispersione, della utilizzazione del pendio e del livello di conoscenza dei vari fattori che intervengono nel calcolo.

### Rimodellamento

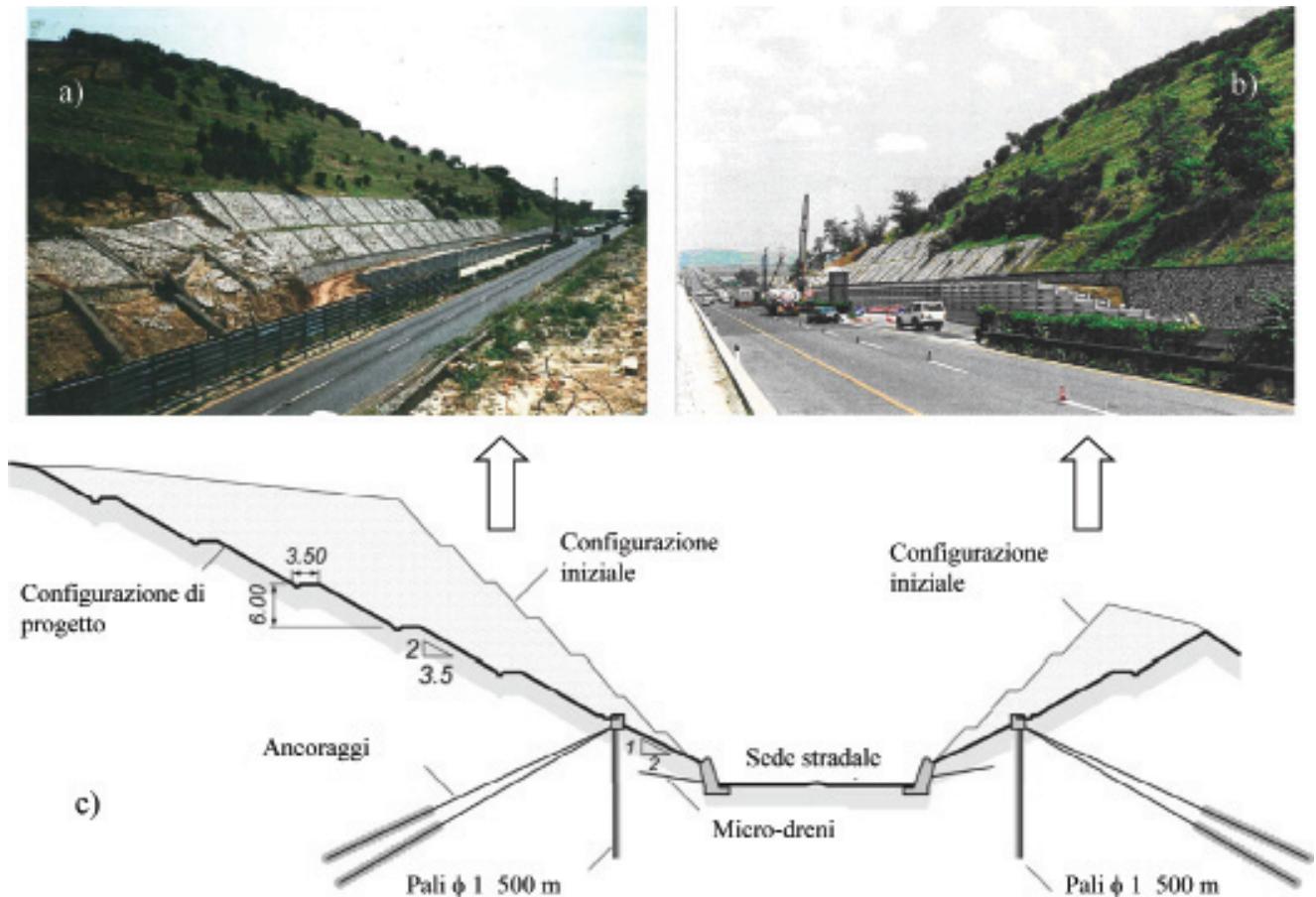
Il procedimento consiste essenzialmente nell'alleggerimento della zona di monte e/o nell'appesantimento di quella di valle della frana in atto o potenziale. Nel caso di meccanismo di frana del tipo scorrimento lungo una superficie curva si può definire, mediante l'analisi di stabilità, la "linea neutra", a monte della quale i carichi verticali sono instabilizzanti ed a valle stabilizzanti. Di conseguenza il momento instabilizzante può essere ridotto riducendo le forze peso di

monte, con opportuni scavi, e/o aumentando quelle al piede, ad esempio con la costruzione di un rilevato di terra. Il rilevato o la colmata al piede del corpo di frana devono essere costruiti su un tratto a minore pendenza rispetto a quello della frana per evitare di trasferire i problemi di instabilità più a valle. In altri casi l'intervento di rimodellamento può essere semplicemente rivolto a ridurre la pendenza media del versante (Figura 1).

Gli interventi di rimodellamento:

- comportano una significativa modifica della topografia originale, per cui contestualmente al progetto dei movimenti di terra, deve essere affrontato il problema della raccolta e dello smaltimento delle acque superficiali nella configurazione di progetto;

Figura 1. Frana lungo la strada a scorrimento veloce in località Settebagni: a) trincea franata; b) trincea opposta; c) progetto di rimodellamento (fonte: *Studio Geotecnico Italiano*, in AA.VV., 2012).



- possono essere eseguiti solo se il piano campagna non è sede di strutture ed infrastrutture preesistenti;
- comportano la distruzione dell'eventuale vegetazione, con impatto ambientale non sempre ammissibile e con problemi tecnici da non trascurare, quali la possibile erosione del materiale messo in opera (prima che attecchisca nuova vegetazione).

Figura 2. Fasi di realizzazione di paratie di c.c.a. costituite da: a) pali; b) setti (fonte: *Studio Geotecnico Italiano*, in AA.VV., 2012).

Questa tecnica di intervento presenta importanti vantaggi: a) i carichi applicati o asportati con le modifiche di progetto agiscono immediatamente dopo l'esecuzione dei lavori, b) l'intervento conserva

la sua efficacia nel tempo senza necessità di particolare manutenzione.

#### *Opere di sostegno ed ancoraggi*

Le condizioni di stabilità di un pendio possono essere migliorate tramite forze stabilizzanti, esercitate da opere di sostegno (muri, gabbionate, terra armata, terra-mesh, pozzi strutturali, pali, setti, paratie) ed ancoraggi. Tali opere devono essere ammassate o fondate sul terreno stabile (ad esempio il substrato), diversamente non forniscono alcun contributo alla stabilità globale.

Nel progetto si dovrà tenere in debito conto la circolazione delle acque nel sottosuolo al fine di evitare che le opere di stabilizzazione costituiscano un tamponamento per la falda. In genere il ricorso ad una paratia a pali o a setti distanziati può costituire una buona soluzione. Nella Figura 2 sono mostrate le fasi costruttive di una paratia di pali (Figura 2a) ed una di setti (Figura 2b) di c.c.a.

In genere l'entità delle azioni che è possibile trasmettere alle opere di sostegno è modesta per cui è tecnicamente ed economicamente conveniente stabilizzare frane di spessore ridotto (7÷8 m). Fanno eccezione i pozzi strutturali (Figura 3), con i quali si può intervenire su frane più profonde (10÷12 m). L'effetto stabilizzante è rapido e costante nel tempo, non è richiesta particolare manutenzione.

Gli ancoraggi pretesi (Figura 4a) possono contribuire alla stabilità dell'opera di stabilizzazione (Figura 4b) o agire direttamente sul terreno, incrementando le tensioni normali alla superficie di scorrimento e quindi la resistenza del terreno, tramite l'azione di pretensione. Le fondazioni degli ancoraggi (ovvero i tratti resistenti) devono essere completamente realizzate al di fuori del corpo di frana, all'interno del substrato stabile, anche se ciò comporta l'esecuzione di tratti liberi piuttosto lunghi.

Gli ancoraggi sono poco efficaci nelle argille di consistenza medio – bassa,

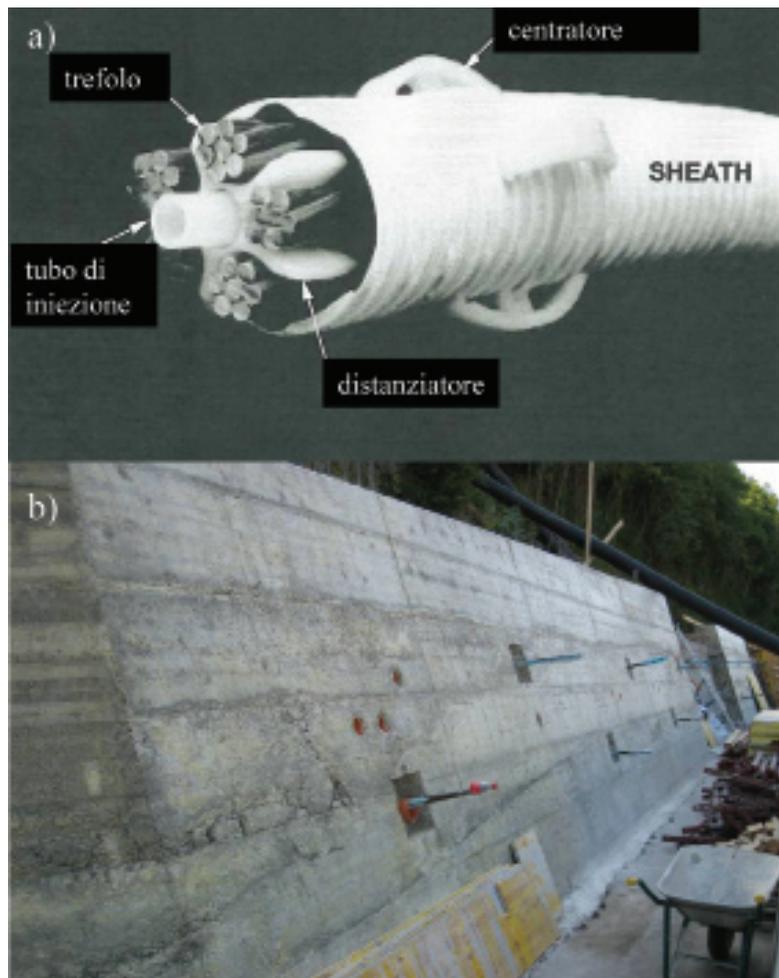


Figura 3. Fasi costruttive di un pozzo strutturale di grande diametro (fonte: *Studio Geotecnico Italiano*, in AA.VV., 2012).



Figura 4. Ancoraggi: a) particolare dei componenti (fonte: Sabatini et al. 1999); b) predisposizione della testata sul paramento dell'opera di sostegno (fonte: *Studio Geotecnico Italiano*, in AA.VV., 2012).

in cui il carico limite allo sfilamento è modesto e gli effetti di pretensione diminuiscono rapidamente col tempo, per la spiccata tendenza di questi terreni a sviluppare deformazioni di creep, che producono fenomeni di rilassamento nell'armatura tesa.



### Drenaggi

I drenaggi consistono in trincee (Figura 5a), setti, pozzi, gallerie ed aste infisse dalla superficie (Figura 5b), da pozzi o da gallerie. Essi sono vuoti, se esiste un elemento strutturale di sostegno del cavo, o riempiti di materiale di elevata permeabilità con funzione di sostegno delle pareti, e svolgono la funzione di ridurre la pressione dell'acqua interstiziale e di conseguenza aumentare la resistenza del terreno.

Nei terreni relativamente permeabili la portata smaltita dai dreni è elevata e, se maggiore di quella di alimentazione dovuta all'infiltrazione, determina l'abbassamento della falda idrica ed il prosciugamento dei terreni al di sopra del pelo libero. Nei litotipi di bassa permeabilità la portata dei dreni è modesta, ma ciò non ne pregiudica l'utilità, che dipende non dalla quantità d'acqua drenata, ma dalle variazioni del regime delle acque nel sottosuolo che il sistema è in grado di produrre.

È opportuno accoppiare ai drenaggi profondi la regimazione delle acque superficiali, disponendo sistemi per la raccolta delle acque meteoriche.

La realizzazione del sistema di drenaggio comporta l'innescò di un fenomeno transitorio durante il quale la pressione dell'acqua interstiziale si modifica e si sviluppano cedimenti del piano campagna. L'intervallo di tempo corrispondente a questa fase è detto di ingresso in esercizio e dipende dalla permeabilità e dalla compressibilità del terreno, dalle dimensioni del volume da drenare e ovviamente dalle caratteristiche geometriche dei dreni. L'intervento deve, ovviamente, entrare in esercizio in tempi compatibili con l'uso del pendio e ciò a volte può costituire una limitazione all'uso dei drenaggi, così come la subsidenza indotta al piano campagna, che può essere incompatibile con strutture o infrastrutture preesistenti.

Figura 5. Drenaggi profondi: a) trincee di pali concatenati riempite di calcestruzzo cellulare; b) aste drenanti (AA.VV., 2012).



È necessario curare i dettagli costruttivi dei drenaggi, in primo luogo il recapito delle acque drenate, e predisporre un buon piano di manutenzione per evitarne l'intasamento e la perdita di efficienza nel tempo.

Le trincee superficiali vengono scavate a braccio di escavatore fino alla profondità di circa 5 m dal piano campagna, quelle profonde vengono scavate con benne fino a profondità di 20 m ed oltre.

Le aste drenanti vengono realizzate inserendo all'interno di fori trivellati tubi microfessurati, rivestiti con geotessile con funzione anti-contaminante.

In Figura 6 è rappresentato un pozzo drenante con aste.

I drenaggi offrono il vantaggio di essere relativamente economici e consentire l'intervento anche su frane di rilevante profondità; in questo caso si può far ricorso ai drenaggi profondi: setti, pozzi, gallerie o aste.

### *Rivestimenti e contenimenti*

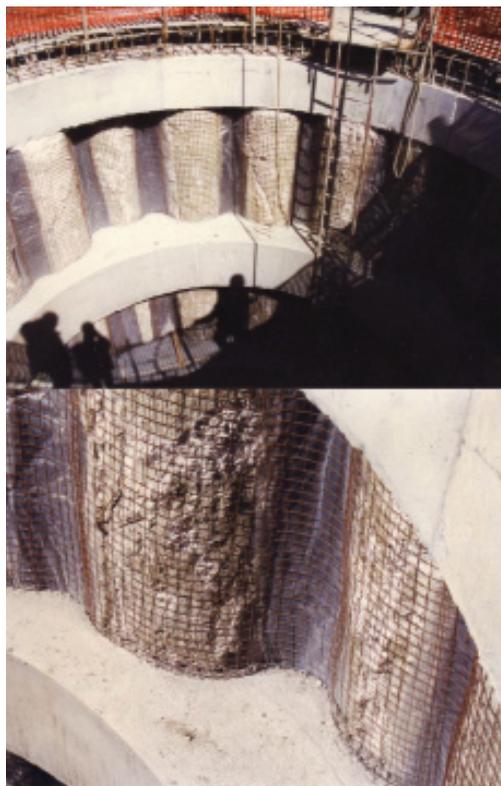
Sulle scarpate e sui pendii naturali di rocce sciolte non vegetati si presentano spesso problemi di erosione superficiale che possono determinare un'evoluzione morfologica sfavorevole alla stabilità. In tali casi si può rivestire la superficie con georeti o bioreti eventualmente rinforzate che, se usate congiuntamente a piantumazione di manti vegetali, limitano l'infiltrazione di acqua piovana nel sottosuolo.

Quando è necessaria anche un'azione di contenimento del fronte, come ad esempio sui costoni di piroclastiti, al di sopra delle georeti si stende una rete di acciaio in aderenza al fronte, messa in leggera trazione e opportunamente chiodata. A tale funzione possono assolvere anche le georeti rinforzate.

Per i costoni di roccia lapidea fratturata l'intervento descritto rappresenta la soluzione canonica. Le reti (Figura 7a) vengono poste in opera quanto più possibile in aderenza alla roccia in modo da evitare che eventuali elementi crollati possano assumere velocità rilevanti lungo il versante. Al di sopra dello stendimento di reti è possibile realizzare un reticolo di contenimento di fune zincata, componendo un reticolo di rombi attraversati in corrispondenza dei nodi da funi verticali (Figura 7b). Il reticolo in corrispondenza dei nodi è vincolato a chiodi o ancoraggi. Mettendo in tensione le funi si ottiene un favorevole effetto di contenimento della massa rocciosa che può evitare l'innesco delle frane.

I chiodi di ammorsamento della rete potrebbero in alcune circostanze non riuscire a penetrare la roccia di migliori caratteristiche meccaniche al di sotto della parte corticale fratturata o comunque potrebbero ancorarsi in blocchi rimovibili. Sono in tal caso necessari ancoraggi più profondi che danno garanzia di stabilità globale del sistema rete – copertura corticale. I blocchi di grandi dimensioni non possono essere

Figura 6. Pozzo con aste drenanti: a) vista generale; b) predisposizione del rivestimento interno (AA.VV., 2012).



contenuti dalla rete; per essi si procede ad una stabilizzazione “mirata” mediante chiodature ed ancoraggi.

Gli ancoraggi sono armati quasi sempre con acciaio armonico in fune o in barre. L'acciaio deve essere protetto contro la corrosione con una guaina corrugata in materiale plastico pre – iniettata in officina.

### *Interventi passivi*

Gli interventi passivi vengono realizzati per la protezione di aree poste a valle di essi quando la frana attesa è dotata di ampia capacità di propagazione sul versante ed è presente una franosità diffusa (cioè non è agevole o non è possibile delimitare i corpi di frana su cui intervenire in maniera puntuale) oppure i luoghi sono praticamente inaccessibili alle macchine per l'esecuzione delle lavorazioni.

Gli interventi passivi mirano ad intercettare il corpo di frana o a deviarlo in modo che non possa raggiungere le strutture e le infrastrutture a valle dell'intervento. I dati necessari al progetto sono la massa del corpo di frana potenziale, il percorso atteso e la velocità nella sezione di intervento.

Nei terreni sciolti si ricorre agli interventi passivi per intercettare, quasi sempre nella zona pedemontana, le colate di fango e di detrito, tipiche degli ambienti montani, che si innescano a quote elevate e si propagano verso valle su tratti di elevata acclività.

### *Barriera*

Per intercettare, fermare o almeno rallentare il corpo di frana si possono disporre lungo il versante o al piede di esso opportune barriere. Nel caso siano temuti crolli di roccia, la soluzione canonica è rappresentata da barriere paramassi per lo più disposte al piede degli impluvi naturali che rappresentano una zona di convogliamento dei blocchi crollati. Il posizionamento e le dimensioni della barriera sono scelti in modo da fermare i blocchi che minacciano la sicurezza delle aree a valle. La struttura deve subire all'impatto con il blocco grandi spostamenti, dissipando l'energia cinetica del blocco stesso (Figura 8).

Per quanto riguarda i versanti di roccia sciolta in cui sono temute colate di fango possono ancora essere utilizzate con successo barriere paramassi, con la funzione di intercettare la frazione solida della colata, e canali a valle per la raccolta della frazione fluida che attraversa la barriera metallica. Più frequentemente si usa disporre lungo i valloni briglie tradizionali o selettive (Figura 9a) che, oltre ad avere funzione idraulica e di barriera, contribuiscono a stabilizzare il fondo ed, in parte, le sponde dell'impluvio (in questa funzione sono interventi attivi). Ciò consente di evita-

Figura 7.  
Contenimento di  
fronti di roccia  
fratturata: a) reti in  
aderenza; b) reticolo  
di funi sovrapposte  
alla rete (fonte:  
Officine Maccaferri).



Figura 8. Impatto di  
un blocco di roccia  
in una barriera  
paramassi (AA.VV.,  
2012).



re che: i) in condizioni ordinarie il frantumamento di modesti volumi di terreno all'interno dell'incisione possa creare uno sbarramento alle acque chiare, ii) in condizioni eccezionali una eventuale colata di fango incanalata possa smantellare il materiale del canale in cui si muove, accrescendo il suo volume lungo il percorso.

Infine possono essere utilizzati muri scudo o argini con la funzione di intercettare il corpo di frana, sostenendone l'impatto dinamico e muri andatori per deviarne la traiettoria verso aree destinate al recepimento del materiale franato.

#### *Vasche di accumulo*

Allo sbocco dei valloni che maggiormente minacciano i centri abitati si usa disporre vasche di accumulo, proporzionate per invasare il corpo della colata. Esse sono dotate di un imbocco, talvolta realizzato in c.c.a., che ha la funzione di ricevere e convogliare all'interno del manufatto la colata di fango, provocandone il rallentamento attraverso l'allargamento della sezione di flusso. Quindi l'impatto con eventuali dissipatori di energia, posti all'interno della vasca, provoca un ulteriore abbattimento della velocità della colata prima che essa raggiunga l'argine di valle. Tali vasche

Figura 9. Opere di contrasto e contenimento di colate di fango: a) briglia selettiva; b) vasca di intercettazione del fango allo sbocco del vallone Connola (Quindici).

si distinguono in base alla loro forma, le più comuni sono quelle “a goccia” e “in linea”. È opportuno che esse non svolgano funzioni di laminazione, per evitare che possano essere già piene di acqua chiara quando vengono investite dal corpo della colata o, contrariamente, che questa eventualità sia attentamente considerata nel progetto.

Questi manufatti sono di solito scavati all'interno delle conoidi di detrito, allo sbocco dei valloni, e sono delimitate sui lati di monte da scarpate opportunamente sagomate e protette alla base, per tutto il tratto che sarà sommerso dal

fango, per evitare che la forza di trascinamento esercitata su di esse dal corpo della colata ne provochi l'erosione. Sul lato di valle è di solito realizzato un argine dotato di scarico in sommità con funzione di “troppo pieno” che convoglia il fango eventualmente in eccesso rispetto al volume di invaso verso un apposito canale di smaltimento. I paramenti dell'argine devono essere opportunamente protetti per far fronte ad un possibile sormonto.

In Figura 9b è riportato l'esempio di una vasca di intercettazione.

### Misure non strutturali

#### *Limitazioni d'uso del territorio e piani di emergenza*

Le limitazioni d'uso mirano a ridurre, con misure di carattere urbanistico, la presenza di beni su quelle parti di territorio esposte a livelli di rischio elevati. Esse sono divenute uno strumento strategico dei Piani delle Autorità di Bacino, che attraverso le norme di salvaguardia impediscono l'espansione urbanistica nelle zone a rischio, nelle quali sono consentiti i soli interventi di mitigazione.

I piani di emergenza per il rischio idrogeologico prevedono non solo le azioni di Protezione Civile successive all'evento catastrofico, che sostanzialmente coincidono con il soccorso alla popolazione colpita, ma anche una fase di previsione dell'evento che consente di allontanare per tempo la popolazione dalle aree minacciate e, se possibile, i beni di maggiore pregio, nonché di predisporre tutte le misure utili alla gestione dell'emergenza. Tali piani contengono: il progetto del sistema di preannuncio, la definizione delle soglie alle quali far scattare i provvedimenti, l'individuazione delle aree di emergenza e delle vie di esodo.

Ai fini della previsione della frana è utile



premettere alcune considerazioni. Se sul corpo di frana non insistono costruzioni e la frana in atto minaccia manufatti posti all'esterno di essa, la condizione di rischio è data dal collasso, che rappresenta quindi l'evento da prevedere. Le strutture fondate direttamente sul corpo di frana sono vulnerabili già prima del collasso, per effetto degli spostamenti di natura deformativa del pendio. Quando il pendio è caratterizzato da un'evoluzione cinematica lenta (frane riattivate in terreni argillosi) le costruzioni che insistono sul corpo di frana possono essere ispezionate periodicamente ed essere evacuate al comparire di un quadro fessurativo preoccupante o comunque dei segni di un dissesto incipiente.

Esistono sostanzialmente due strategie di previsione del tempo di collasso, basate rispettivamente sul controllo:

1. degli spostamenti, se essi sono apprezzabili con rilievi strumentali già prima del collasso e se il corpo di frana è riconoscibile sulla base di evidenze morfologiche (frane in argilla),
2. del fattore innescante (precursore), quando si ritiene che, per il tipo di frana ed i terreni coinvolti, l'evento avvenga senza significativi segni premonitori tali da consentire l'evacuazione in tempo utile delle zone frequentate o se non è possibile individuare sul versante la zona in cui la frana potrà innescarsi.

Nel primo caso la previsione può essere affidata ad un piano di monitoraggio degli spostamenti superficiali e/o profondi, la cui evoluzione nel tempo può essere assunta a base della previsione del comportamento del pendio. Purtroppo però, non essendo ancora chiari i legami meccanici fra gli spostamenti ed il coefficiente di sicurezza, il passaggio dall'esame delle misure alla previsione del collasso è sempre una fase ardua e controversa.

Quando si ritiene che il collasso non sia preceduto da segni premonitori, in particolare da spostamenti misurabili su un periodo di tempo significativo (è il caso delle frane di primo distacco in terreni poco deformabili) o ancora quando le frane sono potenziali e quindi non riconoscibili a priori, come ad esempio le colate rapide nei terreni granulari, la previsione si basa sul controllo dei fattori innescanti, in modo da stabilire anche in questo caso valori di soglia a cui far corrispondere vari livelli di emergenza. In genere il fattore innescante su cui si basa la previsione sono le piogge. Si stabiliscono soglie empiriche, basate cioè sull'osservazione e sull'inviluppo di un rilevante numero di casi precedenti in cui si sono o meno verificati eventi di frana e/o soglie che derivano da analisi della risposta del sottosuolo alla sequenza di eventi atmosferici.

## Conclusioni

La scelta fra interventi di stabilizzazione e provvedimenti non strutturali (limitazioni di uso e piani di emergenza) dipende in linea di principio dalla destinazione d'uso del pendio, ovvero dal tipo di beni a rischio. Di solito si privilegiano gli interventi non strutturali quando non sussiste una minaccia diretta per la vita umana e sul pendio insistono infrastrutture il cui funzionamento può essere interrotto per brevi periodi. Contrariamente a questo principio, molto spesso le misure non strutturali sono largamente usate come soluzione provvisoria al problema, nell'attesa cioè che si rendano disponibili i finanziamenti, si progettino e si realizzino gli interventi strutturali. In queste circostanze le tecniche di previsione e le strategie illustrate in precedenza possono contribuire a gestire più o meno in sicurezza il pendio, dando la possibilità di assumere i provvedimenti di emergenza in

tempo utile per contenere i danni nei limiti prefissati.

Quando è possibile realizzare interventi strutturali la scelta dell'intervento, o della combinazione di interventi più adatta alla specifica circostanza, dipende da numerosi aspetti, che caratterizzano il tipo di intervento ed il versante: costi, tempi necessari ad ottenere il miglioramento delle condizioni di stabilità, efficienza nel tempo e necessità di manutenzione, compatibilità con l'uso del territorio, tipo di frana e relative caratteristiche geometriche e cinematiche, natura e caratteristiche dei terreni e regime delle acque sotterranee, grado di stabilità dell'intero versante, acclività del pendio e possibilità di accesso con le macchine operatrici, dimensioni del corpo di frana in atto o potenziale (estensione e profondità), presenza di strutture sul piano campagna o nel sottosuolo.

Il tipo di frana e le sue dimensioni sono probabilmente i fattori che maggiormente condizionano la fattibilità dell'intervento e sicuramente la sua tipologia. In questa ottica è utile distinguere fra

movimenti lenti (scorrimenti e colamenti), per i quali è di prassi il ricorso agli interventi di tipo attivo, e movimenti rapidi, per i quali spesso si ricorre ad una combinazione di interventi attivi e passivi e talvolta solo a questi ultimi.

## Bibliografia

- AA.VV. (2012). Safeland derivable D5.1: *Toolbox for landslide hazard and risk mitigation measures*. Deliverable/Work Package Leader: SGI/ICG, pp. 340.
- Evangelista A., Pellegrino A., Urciuoli G. (2008). "Mitigazione del rischio di frana". In *Strategie di intervento per la mitigazione del Rischio di Frana – Linee Guida*, pp. 111-140. Provincia di Terni.
- Picarelli L., Urciuoli G. (2011). *Stabilizzazione di pendii in frana*. XXIII Ciclo Conferenze di Geotecnica di Torino: "Opere di sostegno e di stabilizzazione dei pendii: principi teorici, aspetti progettuali ed esempi applicativi", pp. 40, 23-24 novembre 2011, Torino.
- Sabatini P.J., Pass D.G., Bachus R.C. (1999). *Geotechnical Engineering Circular No. 4. Ground Anchors and Anchored Systems*. US Department of Transportation, FHWA, FHWA-A0-IF-03-017, Washington D.C. (<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/if99015.pdf>).