

## CONCLUSIONS

Ce projet consacré à la prévention des instabilités de falaises et des éboulements rocheux est parti du constat que ces phénomènes sont générateurs de risques importants sur de nombreux espaces du territoire alpin. Même quand il s'agit de phénomènes de petite dimension (quelques dizaines de m<sup>3</sup>), les éboulements causent souvent de graves dommages aux routes, aux voies ferrées et aux zones habitées.

Il était donc particulièrement utile, dans le cadre de cette coopération transnationale, de développer une connaissance réciproque des méthodologies utilisées par chacun des partenaires pour l'étude, la prévision et la prévention de ces phénomènes. La comparaison et la confrontation de ces méthodes permet de les améliorer et de fournir ainsi aux gestionnaires des risques des outils plus efficaces.

Deux aspects principaux ont été abordés :

- Le premier concerne l'évaluation globale du risque d'éboulements : la détection d'instabilités potentielles localisées ou diffuses, l'évaluation de leur probabilité de rupture dans un délai donné puis, dans une moindre mesure, l'étude de la propagation des masses rocheuses pour délimiter les zones susceptibles d'être atteintes.
  - Le second approfondit l'évaluation des conditions de propagation des blocs rocheux en comparant de manière détaillée trois programmes de trajectographie utilisés dans l'Arc Alpin : le logiciel PROPAG (LRPC-CETE Lyon), le logiciel ADRGT et le logiciel EBOULEMENT (LMR-EPFL) et en développant un quatrième logiciel : STONE.
1. Dans la gestion du risque d'éboulement rocheux, après avoir identifié des instabilités potentielles, il est nécessaire d'évaluer la probabilité de rupture. La plupart des méthodes utilisent à la fois une approche mécanique, basée sur une description géomécanique des instabilités et une approche de type historique, basée sur l'observation du comportement passé de la falaise. Mais les données nécessaires pour valider ces méthodes sont difficiles à obtenir. L'évaluation quantitative du danger d'éboulement, en particulier de la probabilité de rupture, reste faible.

Trois voies d'amélioration sont proposées :

- La première porte sur l'acquisition des données concernant la structure interne des massifs rocheux qu'il est difficile d'appréhender par des observations de surface. L'utilisation

## CONCLUSIONI

Questo progetto dedicato alla prevenzione delle instabilità in parete e delle frane in roccia ha avuto inizio dopo aver constatato che questi fenomeni sono generatori di rischi importanti in numerose zone del territorio alpino. Anche se si tratta di fenomeni di dimensione minore (alcune decine di m<sup>3</sup>), le frane provocano spesso gravi danni alle strade, alle ferrovie ed ai centri abitati.

È stato dunque particolarmente utile, nell'ambito di questa cooperazione transnazionale, sviluppare una conoscenza reciproca delle metodologie utilizzate da ogni partner per lo studio, la previsione e la prevenzione di questi fenomeni. Il paragone e il confronto di questi metodi consentono di migliorarli e di fornire ai gestori dei rischi degli strumenti più efficaci.

Due aspetti principali sono stati affrontati:

- Il primo riguarda la valutazione globale del rischio frana: l'individuazione delle instabilità potenziali localizzate o diffuse, la valutazione della loro probabilità di rottura e successivamente, in misura minore, lo studio della propagazione delle masse rocciose per perimetrare le zone suscettibili di essere colpite.
  - Il secondo approfondisce la valutazione delle condizioni di propagazione dei blocchi rocciosi paragonando, in modo dettagliato, tre programmi di traiettografia utilizzati nell'arco alpino: il software PROPAG (LRPC-CETE Lyon), il software ADRGT e il software EBOULEMENT (LMR-EPFL) e sviluppandone un quarto: STONE.
1. Nella gestione del rischio di crolli in roccia, dopo aver individuato le instabilità potenziali, è necessario valutare la probabilità di rottura. La maggior parte dei metodi utilizzano contemporaneamente un approccio meccanico basato su una descrizione geomeccanica delle instabilità ed un approccio di tipo storico basato sull'osservazione del comportamento della parete in passato. Ma i dati necessari alla convalida di questi metodi sono difficili da ottenere. La valutazione quantitativa del pericolo di frana, in particolare della probabilità di rottura, rimane debole.

Tre vie di miglioramento sono proposte:

- La prima riguarda l'acquisizione di dati riguardanti la struttura interna dei massicci rocciosi difficile da apprezzare soltanto con delle osservazioni superficiali. L'utilizzo dei



des méthodes de reconnaissance géophysiques permettrait de progresser dans ce domaine.

- La seconde, dans une approche mécanique, consiste à mieux prendre en compte la résistance des discontinuités des massifs rocheux (existence de ponts rocheux) ainsi que leur évolution au cours du temps, sous l'effet de différentes actions (altération, dissolution, etc.).
  - La troisième concerne l'évaluation de la probabilité de départ des éboulements : il est proposé d'analyser toute une série d'éboulements de différentes tailles survenus dans les Alpes au cours des dernières décennies afin de déterminer si les méthodes existantes auraient permis d'estimer correctement leur probabilité d'occurrence et si les facteurs pris en compte sont bien les plus significatifs. Cette approche devrait aussi fournir des fréquences d'éboulements de différentes tailles pour des environnements géologiques et morphologiques différents. Il faut pour cela constituer une base de données spécifique, réalisée sur une base transnationale à partir des données existantes dans plusieurs régions alpines.
2. L'analyse comparative des résultats fournis par chaque logiciel de trajectographie sur 6 sites différents bien documentés conduit à faire quelques recommandations d'ordre méthodologique. On peut citer :
- l'importance du recueil des données de terrain. Le caractère prédictif d'une analyse trajectographique sera d'autant plus grand que l'étude de terrain est précise et pertinente ;
  - la nécessité de ne pas dissocier l'équipe qui mène les calculs de celle qui fait les observations de terrain car les informations transmises sont souvent sujettes à interprétation ;
  - le souci permanent de confronter les résultats des calculs à la réalité observée sur le site (dépôt de blocs, effets destructeurs, etc.) ;
  - l'importance du couple calculateur-logiciel. Mieux vaut un calculateur connaissant bien son logiciel, ses particularités et ses limites qu'un logiciel très complet utilisé par un calculateur moins expérimenté.

Il faut souligner que utilisation de ces calculs pour l'élaboration de cartes de danger ou de plans de prévention des risques demande une grande prudence. Ces études doivent toujours être considérées comme une aide à la décision et non comme un critère absolu. De même, en ce qui concerne les ouvrages de protection, il convient de rester prudent,

metodi di ricognizione geofisiche permetterebbe di avanzare in questo campo.

- La seconda, nell'ambito di un approccio meccanico, consiste nel prendere in considerazione in un modo migliore la resistenza delle discontinuità dei massicci rocciosi (esistenza di ponti di roccia) e la loro evoluzione nel corso del tempo sotto l'effetto di azioni diverse (alterazione, dissoluzione).
  - La terza riguarda la valutazione della probabilità di distacco delle frane: propone di analizzare una serie di frane di dimensioni varie avvenute nelle Alpi nel corso degli ultimi decenni per determinare se i metodi esistenti avrebbero consentito di stimare correttamente la loro probabilità di accadimento e se i fattori presi in considerazione sono in effetti i più significativi. Quest'approccio dovrebbe anche fornire delle frequenze di frana di dimensioni varie in ambiti geologici e morfologici differenti. Bisogna perciò elaborare un database specifico realizzato su base transnazionale a partire dai dati esistenti in più regioni alpine.
2. L'analisi comparativa dei risultati forniti da ogni software di traiettopografia su 6 diversi siti ben documentati porta a fare alcune raccomandazioni di carattere metodologico. Possiamo citare:
- l'importanza della raccolta dei dati di terreno. Il carattere predittivo di un'analisi traiettopografica sarà più grande se lo studio di terreno è preciso e pertinente;
  - la necessità di non separare il gruppo che fa i calcoli da quello che si occupa delle osservazioni sul terreno in quanto le informazioni trasmesse sono spesso soggette ad interpretazione;
  - la costante preoccupazione di confrontare i risultati dei calcoli con la realtà osservata sul sito (deposito di blocchi, effetti distruttori);
  - l'importanza della coppia utilizzatore software. Meglio avere un utilizzatore che conosce bene il suo software, le sue particolarità e i suoi limiti che un software molto completo utilizzato da un utilizzatore meno esperto.

Bisogna sottolineare che l'utilizzo di questi calcoli nell'elaborazione di carte di pericolo o di piani di prevenzione dei rischi richiede una grande cautela. Questi studi devono essere sempre considerati come un aiuto nella decisione e non come un criterio assoluto. Nello stesso modo, per quanto riguarda le opere di difesa, è conveniente rimanere



tant vis-à-vis des hauteurs et vitesses de passage que des capacités nominales des ouvrages annoncées par les fabricants.

Au delà de ces recommandations, il serait très utile de poursuivre le travail dans plusieurs directions :

- l'application au zonage des résultats d'études trajectographiques étant délicate, il est proposé d'élaborer une méthodologie d'application visant à concilier la rigueur scientifique, le pragmatisme des personnels de terrain et les préoccupations d'aménagement du territoire des collectivités publiques ;
- pour délimiter les périmètres menacés et déterminer les caractéristiques des ouvrages de protection, il faut une bonne connaissance des trajectoires et des énergies des blocs. Or le phénomène de rebond qui se produit lors de l'impact sur le terrain est mal connu. Des progrès dans les calculs trajectographiques ne seront réellement possibles qu'en acquérant une meilleure connaissance du phénomène de rebond :
  - par l'observation d'évènements naturels ;
  - par la réalisation d'essais en vraie grandeur ;
  - par la réalisation d'essais en semi-grandeur en laboratoire.

Ce projet, réalisé grâce à l'initiative communautaire INTERREG, a permis de nouer des collaborations très fructueuses entre partenaires italiens, suisses et français appartenant à des organismes très complémentaires : services opérationnels chargés de la gestion des risques naturels, organismes techniques, laboratoires universitaires.

Cette première phase de travail sur le thème des éboulements rocheux (qui est un thème encore relativement peu étudié) a fourni des résultats très utiles et mis en évidence toute une série de questions qui demandent à être approfondies si l'on veut progresser sensiblement dans la compréhension de ces phénomènes. Ces progrès sont nécessaires pour fournir aux gestionnaires de ces risques des outils mieux adaptés, permettant de mettre en œuvre, au moindre coût social et économique, les mesures de prévention et de protection nécessaires pour assurer la sécurité des populations concernées.

prudenti sia nei confronti delle altezze e velocità di passaggio, sia nelle caratteristiche delle opere dichiarate dai costruttori.

Al di là di queste raccomandazioni, sarebbe molto utile perseguire il lavoro in più direzioni:

- essendo delicata l'applicazione dei risultati di studi traietto grafici alla zonizzazione, è proposto di elaborare una metodologia applicativa mirata a conciliare il rigore scientifico, il pragmatismo del personale sul terreno e le preoccupazioni di sistemazione del territorio delle collettività pubbliche;
- nel delimitare i perimetri minacciati e nel determinare le caratteristiche delle opere di difesa, occorre una buona conoscenza delle traiettorie e delle energie dei blocchi. Tuttavia, il fenomeno di rimbalzo che si produce durante l'impatto sul terreno è mal conosciuto. Dei miglioramenti nei calcoli traietto grafici saranno possibili solo se si acquista una migliore conoscenza del fenomeno di rimbalzo tramite:
  - l'osservazione di eventi naturali;
  - la realizzazione di prove in scala reale;
  - la realizzazione di prove in scala ridotta in laboratorio.

Questo progetto realizzato grazie alle iniziative comunitarie INTERREG ha permesso di creare delle collaborazioni molto proficue tra i partners italiani, svizzeri e francesi provenienti da enti assai complementari: servizi operativi incaricati della gestione dei rischi naturali, enti tecnici, laboratori universitari.

Questa prima fase del lavoro sul tema dei crolli in roccia (che è un tema ancora relativamente poco studiato) ha fornito risultati assai utili e evidenziato una serie di problemi che richiedono un approfondimento se si vuole capire meglio questi fenomeni. Questi progressi sono necessari per dare ai gestori di questi rischi degli strumenti più adatti che consentano di mettere in opera con un costo sociale e economico minore, i provvedimenti di prevenzione e protezione necessari a migliorare la sicurezza delle popolazioni coinvolte.