

INTEGRAZIONE DI STRUMENTI GIS E MODELLI PROBABILISTICI E MATEMATICI PER LA PREVISIONE DEI FENOMENI DI CROLLO

Luca MALLÉN(*), Enrico BONANSEA(*), Rocco PISPICO (*), Ferruccio FORLATI (**)

(*) CSI Piemonte – Area Prevenzione Rischi, C.so U. Sovietica n.216 10134 TORINO - e-mail: luca.mallen@csi.it, enrico.bonanseas@csi.it, rocco.pispico@csi.it

(**) ARPA Piemonte - Settore Studi e Ricerche Geologiche – Sistema Informativo prevenzione Rischi c.so U. Sovietica, 216 - 10134 Torino

Riassunto

L'attività intrapresa si pone come obiettivo la definizione e la sperimentazione di una metodologia che consenta di elaborare un modello previsionale delle frane di crollo utilizzabile a media e grande scala sul territorio regionale e che sia totalmente integrato in ambiente GIS.

Il lavoro è stato realizzato dall'ARPA Piemonte - Settore Studi e Ricerche Geologiche, in collaborazione con CSI Piemonte - Area Prevenzione Rischi Naturali e il Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria Strutturale.

Abstract

This study aims to develop a predictional rock falls model utilizable on a medium – large scale in the Piemonte region (northern Italy) and completely GIS integrated.

The project was realized by ARPA Piemonte – Settore Studi e Ricerche Geologiche, with the collaboration of CSI Piemonte - Area Prevenzione Rischi Naturali and Politecnico University of Torino - Dipartimento di Ingegneria Strutturale. The model experimentation will be done in two areas located in the middle part of Susa Valley and Orco Valley, near the Exilles and Locana town.

Introduzione

La presente relazione si colloca nell'ambito di un progetto volto alla valutazione della pericolosità a scala regionale dei crolli in roccia, e si pone come obiettivo lo sviluppo di una metodologia in grado di realizzare un modello previsionale totalmente integrato in ambiente GIS.

Tale metodologia, avvalendosi di dati provenienti da osservazioni di campagna, da analisi probabilistiche e cinematiche, permette di stimare un fattore di sicurezza medio e la probabilità di rottura di un versante, nonché l'energia e le possibili traiettorie dei blocchi nel caso in cui si verificano dei crolli.

La sperimentazione verrà effettuata su due siti campione, ubicati nelle parti mediane della Val di Susa e della Valle Orco, ricadenti rispettivamente nei comuni di Exilles e Locana, entrambi ubicati in provincia di Torino.

Metodologia

Il progetto è stato strutturato nelle seguenti fasi principali:

1. la fase di reperimento dei dati di campagna relativi alle aree oggetto di studio finalizzata alla definizione delle aree omogenee e all'individuazione dei principali cinematismi che le caratterizzano.
2. la fase di calcolo di stabilità, in cui viene stimata la probabilità di rottura lungo un versante ed il fattore di sicurezza medio per ogni cinematismo rilevato.

3. la fase di stima dei coefficienti di restituzione normale, tangenziale e degli angoli di attrito, che ha necessitato un impegnativo lavoro di analisi e di confronto incrociato in ambiente GIS dei dataset della banca dati geologica e territoriale disponibili.
4. la fase di modellizzazione cinematica, in cui i dati ottenuti nei precedenti step, associati ad altri parametri di base, vengono utilizzati per il funzionamento di un applicativo in grado di simulare dei fenomeni di crollo al fine di calcolare energie, traiettorie, altezze di volo e punti di arresto dei singoli blocchi.
5. seguirà infine una fase di sperimentazione, attualmente in corso, in cui verrà applicata la metodologia a due casi di studio reali, verranno fatti variare una serie di parametri di input e si procederà al confronto dei risultati ottenuti al fine di tarare correttamente il modello.

La metodologia utilizzata inoltre presenta le seguenti caratteristiche:

1. i parametri di input dell'intero processo sono standardizzati in modo da renderne possibile l'utilizzo per ogni tipo di versante soggetto a rischio di crolli.
2. il suo campo di utilizzo è a media/grande scala - non necessita quindi di lunghi ed approfonditi rilevamenti di campagna da parte di personale specializzato, il quale è chiamato a svolgere esclusivamente un'indagine speditiva di terreno.
3. l'intero processo è integrato in ambiente GIS al fine di poter utilizzare le banche dati territoriali esistenti per l'analisi e la valutazione dei risultati ottenuti.

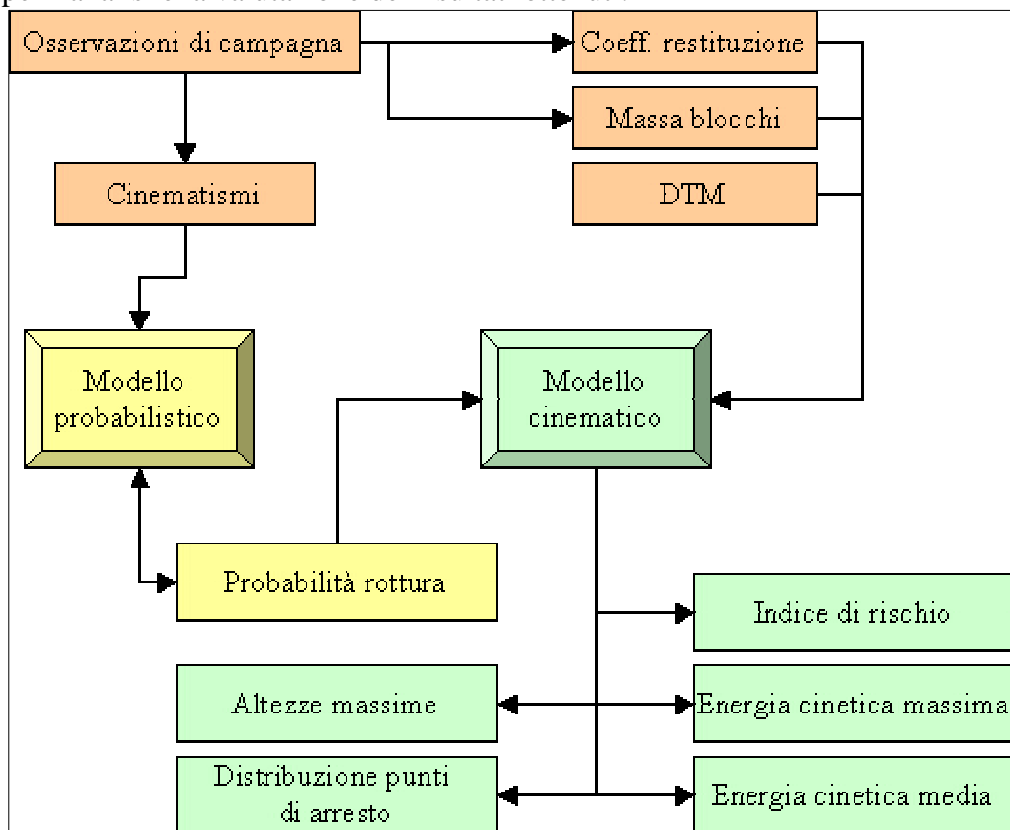


Fig 1. Modello logico del processo

Rilievi di campagna

La prima fase di progetto consiste nel reperire tutte le informazioni di possibile interesse sul terreno da parte di personale specializzato.

Trattandosi di una metodologia da utilizzare a media-grande scala, i rilevamenti di terreno dovranno essere di tipo speditivo, e dovranno servire innanzitutto ad individuare le aree omogenee in cui suddividere le porzioni di versante potenzialmente a rischio di crolli. Una volta isolate tali aree, per ognuna di esse dovranno essere identificati:

una serie di parametri indispensabili per il modello probabilistico quali

- stima delle giaciture delle principali famiglie di discontinuità
- stima della giacitura dei principali cinematismi osservati
- stima delle altezze dei cunei

una serie di parametri per la componente cinematica quali:

- stima dei volumi di materiale coinvolto
- eventuali modificazioni d'uso rispetto ai dati esistenti,
- opere di sistemazione antropiche ecc..

Componente probabilistica

La componente probabilistica si basa sull'utilizzo dell'applicativo Wintam (Wedge along line of INTERsection Analysis including Monte Carlo simulation) reso fruibile dal Politecnico di Torino.

Questo software è in grado di calcolare il fattore di sicurezza medio e la probabilità di rottura del versante per ogni cinematismo di tipo cuneiforme appartenente ad una determinata area omogenea.

Il programma di calcolo consente un'analisi di stabilità con il metodo dell'equilibrio limite di un pendio in roccia contenente un cuneo formato dall'intersezione di due discontinuità piane. E' possibile considerare differenti resistenze al taglio sulle possibili superfici di scivolamento, introdurre un giunto di trazione, un'inclinazione qualsiasi della sommità del pendio, la pressione dell'acqua e una forza esterna. Quest'ultima è dovuta a carichi esterni, a eventuali tiri o alla rappresentazione pseudo – statica di un carico sismico.

Durante l'analisi di stabilità viene effettuata un'analisi cinematica che verifica la possibilità cinematica di un cuneo scivolante lungo la linea di intersezione tra i piani. Tale verifica si rende necessaria soprattutto se si effettua l'analisi probabilistica (svolta con la tecnica di Monte Carlo) durante la quale la distribuzione statistica delle orientazioni dei giunti può dare luogo in alcuni casi a cunei a cinematismo impossibile. E' possibile condurre analisi deterministiche, deterministiche – parametriche, probabilistiche e parametriche – probabilistiche.

Il progetto prevede che l'applicativo venga gestito direttamente in ambiente GIS (ArcView 3.2a), per cui l'utente finale potrà inserire i parametri di input e lanciare l'applicativo tramite un'interfaccia grafica appositamente realizzata.

Componente cinematica

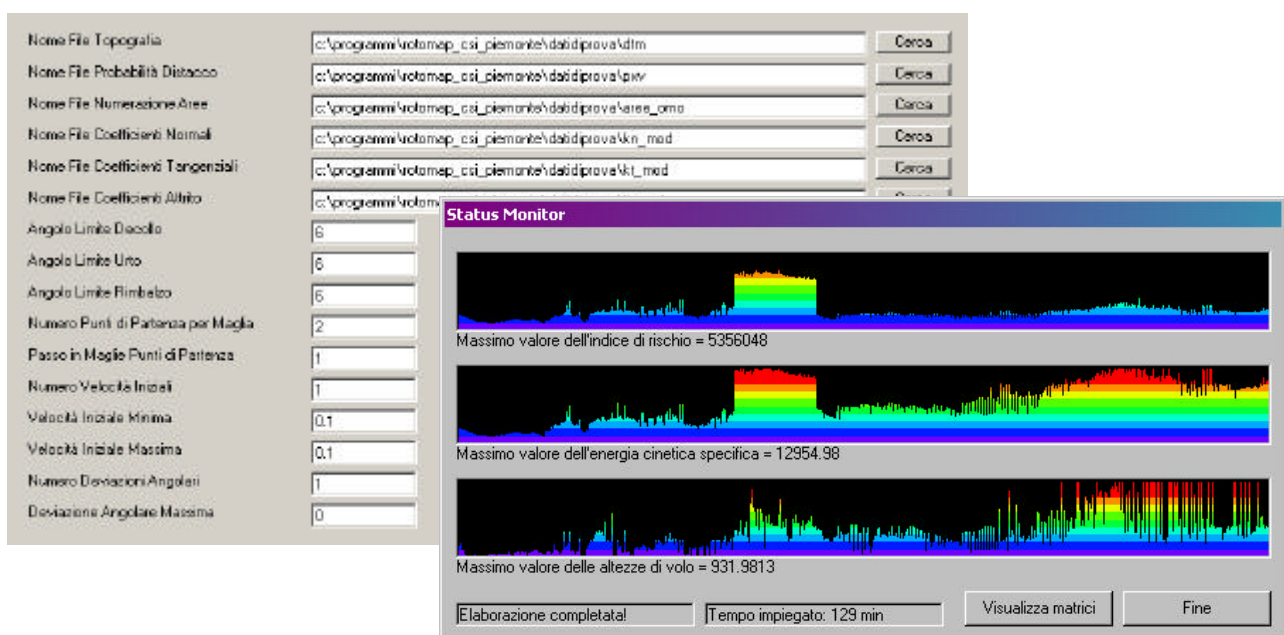


Fig 2 maschera dei parametri di ingresso e status monitor della componente cinematica integrata in ambiente GIS

In questa fase viene implementata la componente cinematica del progetto: mediante l'utilizzo dell'applicativo ROTOMAP (sviluppato dall'Ing. Giorgio Scioldo – Geo&Soft srl) vengono simulati dei crolli con origine nelle aree omogenee precedentemente identificate e sono calcolate le energie e le traiettorie dei singoli blocchi, al fine di ottenere una mappatura delle aree a rischio di crollo. Anche in questo caso l'applicativo viene gestito in ambiente GIS (ArcView3.2a), mediante un'interfaccia grafica che consente all'utente di inserire i dati di input, settare le variabili e lanciare il programma.

Sperimentazione

La prima sperimentazione del modello per il processo di taratura è stata avviata su una ristretta porzione di versante: si tratta dell'area omogenea Exilles3 (E3), ubicata nei pressi dell'abitato di Cels, (versante sinistro della val Susa, provincia di Torino), un'area di circa 60.000 m², compresa tra 1.100 e 1.400 metri di altezza s.l.m. ed avente una giacitura media del versante stimata in 150°/60°.

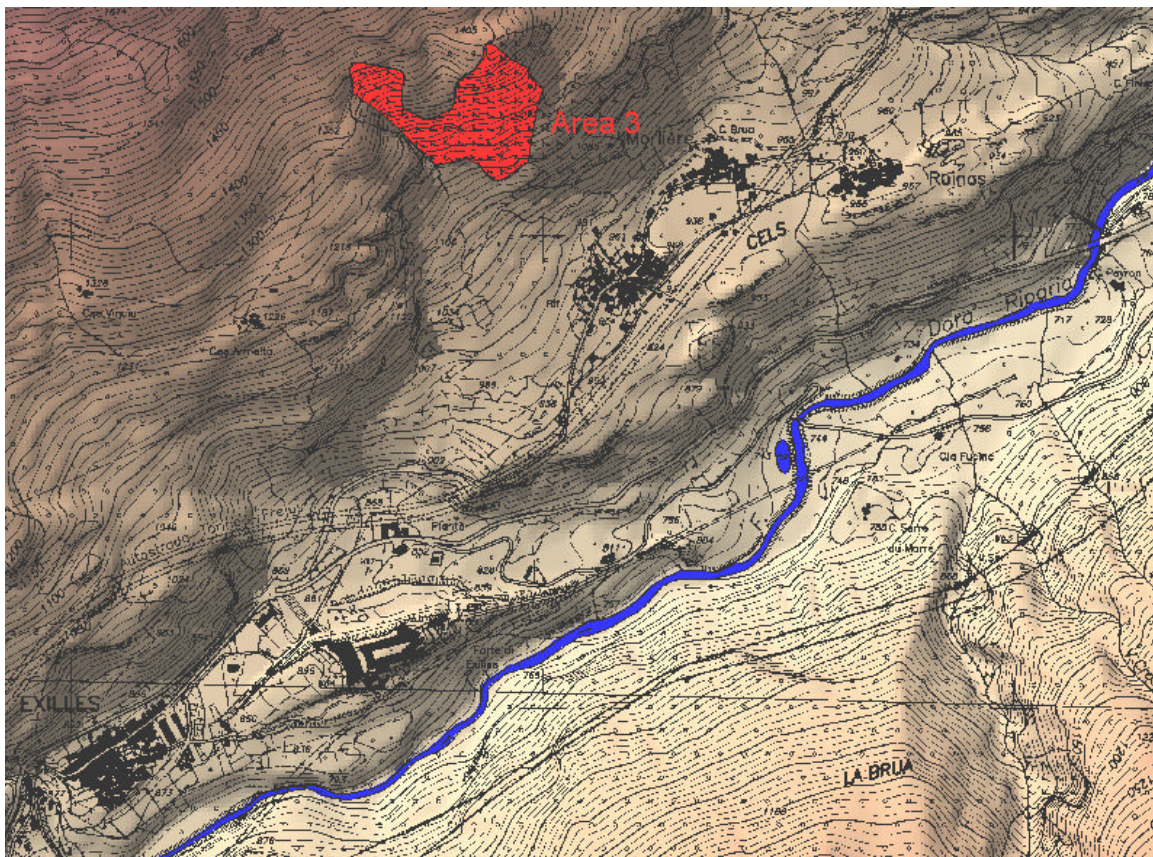


Fig. 3 Ubicazione della porzione di versante oggetto di studio

Il rilevamento delle principali famiglie di discontinuità presenti in quest'area, ha portato all'individuazione di 3 cinematicismi che potrebbero dare origine a fenomeni di crollo di tipo cuneiforme. In seguito alle indagini statistiche e ai rilievi di campagna, per ogni cinematicismo individuato sono state stimate la probabilità di rottura e il volume di roccia coinvolta.

Cinematicismo	Probabilità di rottura	Volume di roccia m ³
1	19.67 %	100
2	95.33 %	100
3	34 %	200

Tab. 1 risultati della componente probabilistica relativi ai cinematicismi individuati sul terreno

Questi dati, uniti ai risultati dei rilievi di campagna ed ai coefficienti di restituzione dei versanti interessati dal fenomeno, sono stati utilizzati per le simulazioni di fenomeni di crollo con l'applicativo ROTOMAP che, come output dell'elaborazione ha prodotto 5 dataset in formato grid:

Indice di rischio

L'indice di rischio è sostanzialmente dato dal prodotto dell'energia cinetica (calcolata) per la probabilità di distacco (input).

Tale valore viene quindi normalizzato rispetto alla spaziatura tra le maglie di partenza ed al numero di scendimenti simulati per ciascun punto di partenza; infine viene moltiplicato per la superficie delle maglie e diviso per la larghezza corretta, in modo da normalizzare il dato finale anche rispetto alla dimensione delle maglie.

Il significato pratico, a meno del termine di probabilità, è dunque il seguente: l'energia totale che dovrebbe essere assorbita da un metro lineare di rete paramassi se da ogni metro quadro di area instabile si distaccasse un blocco di roccia.

Introducendo il termine di probabilità, il significato diventa: l'energia totale che probabilmente dovrà essere assorbita da un metro lineare di rete paramassi.

Fenomeni di parziale risalita di versante da parte dei massi, visibili in fig.4, sono dovuti ad imprecisioni nella taratura del modello che si stanno provvedendo ad eliminare.

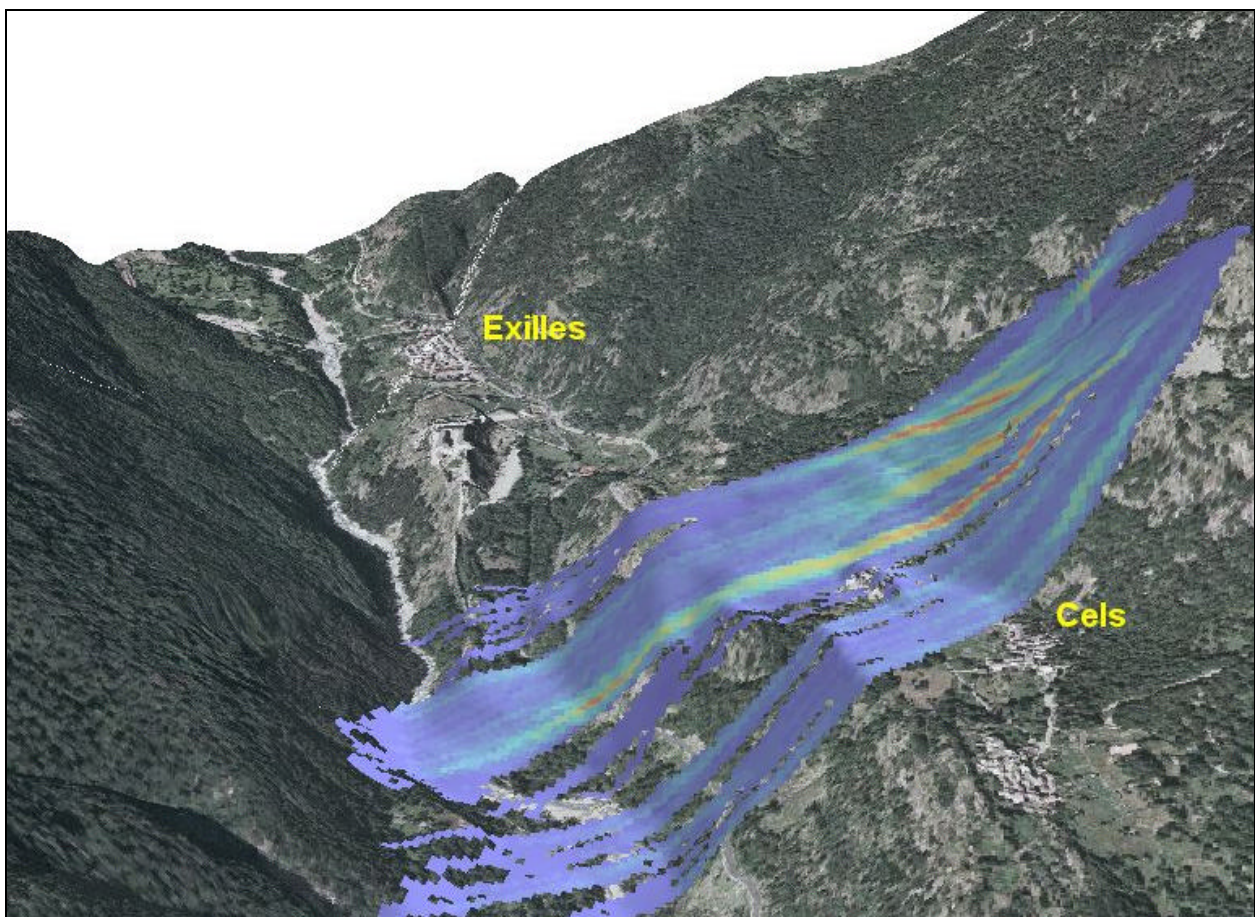


Fig 4. grid dell'indice di rischio proiettato sul versante oggetto di studio. In colore giallo e rosso le aree a rischio più elevato

Energia cinetica massima

Grid che fornisce la distribuzione delle curve isoenergetiche ricavate dall'elaborazione dei livelli di energia specifica ($V^2/2$) massima. Utilizzando una griglia uguale a quella del terreno ROTOMAP esegue il calcolo dell'energia di ogni tratto dello scendimento attribuendo al nodo più vicino il

valore massimo ottenuto. La somma dell'energia accumulata, divisa per il numero di segmenti associati al nodo, fornisce il valore dell'energia massima (J/Kg) al nodo considerato.

Energia cinetica media

Grid che fornisce la distribuzione delle curve isoenergetiche ricavate dall'elaborazione dei livelli di energia specifica ($V^2/2$) media. Utilizzando una griglia uguale a quella costruita in fase di modellazione numerica del terreno ROTOMAP esegue il calcolo dell'energia di ogni tratto dello scendimento attribuendo al nodo più vicino il valore ottenuto. La somma dell'energia accumulata, divisa per il numero di segmenti associati al nodo, fornisce il valore dell'energia media (J/Kg) al nodo considerato.

Distribuzione punti di arresto

Grid che fornisce la distribuzione dei punti di arresto dei blocchi per evidenziare eventuali zone di accumulo e massima distanza percorsa dai massi.

Altezze massime

Grid che fornisce la distribuzione delle altezze massime raggiunte dai blocchi nelle fasi di volo e rimbalzo, per una verifica delle caratteristiche delle opere di protezione.

Conclusioni

In conclusione, il presente progetto ha portato all'implementazione di un modello previsionale dei fenomeni di crollo utilizzabile a media – grande scala totalmente integrato in ambiente GIS.

La metodologia prevede una fase di rilevamento speditivo di terreno per l'individuazione dei principali cinematismi, una fase probabilistica che, grazie all'utilizzo di un applicativo sviluppato dal Politecnico di Torino, consente di calcolare la probabilità di rottura ed il fattore medio di sicurezza dei versanti oggetto di studio ed una fase cinematica in cui vengono simulati dei crolli e calcolate le possibili traiettorie, l'energia cinetica dei massi e l'indice di rischio del versante coinvolto dal fenomeno.

Lo studio dei risultati che si stanno ottenendo in questa prima fase di test sull'area campione Exilles 3 permetterà di ultimare il processo di taratura del modello attualmente in corso, con l'eventuale modifica dei valori assegnati ai parametri di input, e di procedere con la sperimentazione su aree campione di dimensioni maggiori.