

Valutazione dell'accettabilità del rischio da frana e analisi costi-benefici

Paolo Frattini¹, Giovanni Battista Crosta²

¹Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Milano Bicocca, paolo.frattini@unimib.it

²Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Milano Bicocca, giovannibattista.crosta@unimib.it

Evaluation of landslide risk acceptability and cost-benefit analysis

ABSTRACT: Risk analysis and risk evaluation can provide a decision support to authorities for a good land management. This should be addressed to the identification of the risk scenarios and the possible mitigation strategy, and to the definition of the best strategy in terms of both social acceptability and economic benefit. A 1.2 million m³ debris avalanche failed in December 2002 on the village of Bindo (Cortenuova, Italy), destroying 17 houses and interrupting industrial activities for several weeks. A large portion of slope is still active and threatens the remnant part of the village. Considering the characteristics of both the landslide and the socio-economic settings, we identified several possible mitigation strategies: (1) the construction of a defensive embankment in front of the potential landslide; (2) the long-term displacement monitoring of the unstable sector of the slope, with a related alarm system; (3) the combination of (1) and (2); and 4) the relocation of the elements at risk. For each strategy, we calculated the residual risk and we performed a cost-benefit analysis. For such analysis, we considered only the direct effects on human life, houses and life-lines.

At the same time, we defined levels of social acceptability of landslide risk for the endangered community by means of questionnaires and socio-economic data. Thus, we evaluated the different scenarios on the light of acceptable risk levels and we found that, even with a large uncertainty, the best mitigation strategy would be the construction of a defensive embankment together with the setting up of a monitoring network.

Key terms: risk evaluation, acceptability, cost-benefit analysis, debris avalanche, questionnaire

Termini chiave: valutazione del rischio, accettabilità, analisi costi-benefici, debris avalanche, questionario

Riassunto

L'analisi e la valutazione del rischio possono fornire un supporto al processo decisionale delle autorità preposte alla gestione del territorio, identificando gli scenari di rischio e le possibili strategie di mitigazione, e individuando la soluzione migliore in termini di accettabilità sociale e convenienza economica. Nel dicembre del 2002 una valanga di roccia, valutata in 1.2 milioni di m³, ha interessato la frazione di Bindo nel comune di Cortenuova (LC, Lombardia), distruggendo 17 abitazioni ed interrompendo le attività di produzione industriale per alcune settimane. Attualmente, una larga porzione del versante risulta ancora instabile e minaccia la parte del paese che non era stata coinvolta durante l'evento del 2002.

Sulla base delle caratteristiche della frana e delle condizioni socio-economiche dell'area, sono stati riconosciuti diversi possibili interventi per la mitigazione del rischio. Per ognuna delle strategie di mitigazione è stato calcolato il rischio residuo ed è stata effettuata un'analisi costi-benefici. L'analisi tiene in considerazione solamente dei possibili effetti diretti sulla vita umana, sugli edifici e sulle infrastrutture. Parallelamente, sono stati definiti i livelli di accettabilità del rischio da frana dalla comunità minacciata tramite questionari e analisi dei dati socio-economici. I possibili scenari sono stati valutati sulla base del livello di rischio socialmente accettato: la combinazione

delle opere difensive e del sistema di monitoraggio si è rivelata la migliore strategia di mitigazione.

1. Introduzione

Le frane sono uno dei maggiori pericoli naturali e causano ogni anno ingenti danni sia in Italia che in altre parti del mondo, ed un largo numero di vittime. Le conseguenze dei fenomeni franosi in Italia assumono una rilevanza tale da rappresentare un vero e proprio problema socio-economico, con una valenza unica a scala europea e di bacino del Mediterraneo, subordinata solo al Giappone nel contesto dei paesi tecnologicamente avanzati (Committee on Ground Failure Hazards, 1985).

La gestione dei rischi naturali costituisce pertanto un problema fondamentale per la società (Leroi et al., 2005) e tenderà in futuro a rivestire un ruolo sempre più importante. Le società più ricche, infatti, tendono ad aumentare la richiesta di protezione, di strategie di compensazione e di partecipazione alle decisioni. Parallelamente, l'urbanizzazione, la concentrazione della popolazione ed il peggioramento della gestione del territorio a livello rurale tendono ad aggravare i rischi naturali ed a ridurre la percezione del rischio come "elemento naturale". Inoltre, si assiste a una politicizzazione della tematica del rischio, che è legata all'attenzione dei media e della popolazione ed induce strategie di protezione "visibili" e non sempre

efficaci.

L'analisi e valutazione del rischio presenta una notevole complessità essendo dipendente da diverse caratteristiche del territorio quali gli aspetti culturali, gli aspetti legislativi, l'organizzazione delle autorità e delle amministrazioni, la ricchezza e densità della popolazione, l'interazione tra ambiente naturale ambiente umano e ambiente costruito, etc. (Leroi et al., 2005).

Per i motivi sopra esposti, risulta evidente l'importanza di una corretta conoscenza dei fenomeni idrogeologici al fine di pianificare efficacemente interventi di previsione e prevenzione.

Le strategie di cui una comunità può avvalersi per gestire il rischio da frana sono diverse e si possono raggruppare in: (1) controlli di pianificazione, per ridurre gli elementi a rischio attesi; (2) soluzioni ingegneristiche, per ridurre la probabilità di occorrenza e la probabilità che una frana abbia un impatto con elementi a rischio; (3) sistemi di monitoraggio e allerta, per ridurre il numero o la vulnerabilità degli elementi a rischio attesi.

Per una corretta gestione del rischio risulta necessario procedere ad una prima fase di analisi delle condizioni di rischio, nei consueti termini di pericolosità, vulnerabilità e valore degli elementi a rischio, seguita da una fase di valutazione del rischio. La valutazione del rischio consiste nel determinare se il rischio calcolato sia o meno accettabile dalla comunità, e in che misura (Fell e Hartford, 1997).

Il presente lavoro mostra un approccio per l'analisi e gestione del rischio da frana che combina la conoscenza scientifica dei fenomeni con la struttura socio-politica ed economica della società. La metodologia è utilizzata per la valutazione critica di diverse strategie di mitigazione della frana di Bindo (Cortenuova, LC) come strumento a supporto dei processi decisionali della Pubblica Amministrazione.

2. Caso di studio

La frana di Bindo si colloca sul versante destro della media Valsassina (LC) ed è stata innescata nel 2002 da un intenso evento di precipitazioni. La Valsassina è una valle prealpina con andamento N-S, appartenente interamente alle Alpi Meridionali. Nel settore più settentrionale della Valsassina emerge il basamento orobico (paragneiss, scisti) sul quale giacciono in discordanza depositi vulcanici, alluvionali e di margine di bacino di età Carbonifero-Permiana (Collio e Verrucano Lombardo). Nella parte meridionale dominano formazioni calcaree Triassiche (Calcere di Angolo, Calcere di Esino e Dolomia Principale). La zona del basamento orobico rappresenta un thrust che porta il basamento a sovrascorrere verso S sulle coperture permiane. Sul fronte di tale sovrascorrimento si trova una zona piegata, l'Anticlinale Orobica, il cui fianco meridionale costituisce il versante destro della bassa Valsassina, su cui si colloca la frana di Bindo.

L'aspetto del territorio della Valsassina è legato fortemente alla composizione geologica del substrato, alla

tettonica ed agli effetti dell'azione erosiva e modellante dei ghiacciai, dei corsi d'acqua e della gravità.

La Valsassina presenta un'elevata energia di rilievo e, in molti versanti, si trovano sparsi fenomeni di dissesto di dimensioni variabili (Ambrosi e Crosta, 2003): Nel versante sopra il villaggio di Bindo, da cui si è distaccata la frana del 2002, è ben riconoscibile una paleofrana che occupa un'area di 1.2 km², per un dislivello di 750 m (Fig. 1). Il corpo di frana è costituito da grandi blocchi di Verrucano Lombardo immerso in matrice ghiaioso-sabbiosa e giace in contatto litologico a franapoggio con il sottostante basamento cristallino con uno spessore variabile da 35 a 65 m. Il livello piezometrico medio si trova in corrispondenza di tale contatto (Ambrosi e Crosta, 2003).

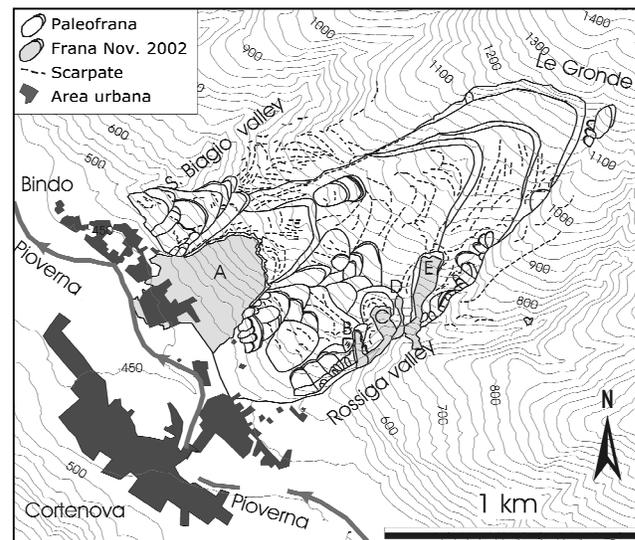


Fig. 1. Inquadramento dell'area. Le frane del novembre 2002 (A, B, C, D ed E, in figura) si sono formate al margine di una paleofrana che occupa larga parte del versante *Study area. The November 2002 landslides (A, B, C, D ed E, in figure) developed within the body of an ancient landslide that occupy large part of the slope*

Nel mese di novembre 2002 si è verificato un evento pluviometrico molto intenso che ha innescato centinaia di frane in tutta la zona delle Alpi Centrali. La pioggia cumulata dell'evento è stata tra 493 a 875 mm, valore di molto superiore alla media stagionale (100 - 140 mm) e con un tempo di ritorno superiore a 100 anni. A seguito dell'attivazione di frane minori nella valle del Rossiga i giorni 27, 28 e 29 novembre (B, C, D ed E, in Fig. 1) sono stati effettuati dei controlli sul versante del centro abitato di Bindo. Erano visibili fratture in continua evoluzione in tutta l'area interessata e in cima al versante erano ben evidenti fuoriuscite significative di acqua dalle sorgenti. Le autorità di Cortenuova hanno, quindi deciso di evacuare la popolazione con l'aiuto delle forze di polizia e di protezione civile. Alle 8.30 p.m. del 30 novembre una frana minore ha distrutto la prima casa. Verso le tre del mattino seguente è stato avvertito un enorme boato e, più tardi nella mattinata,

è stata riscontrata la distruzione di parte del paese: 17 edifici e 7 attività industriali completamente abbattute, la strada principale della valle, l'acquedotto e la più importante linea elettrica ad alta tensione passante nella zona interrotti. Nei giorni successivi ci sono stati continui movimenti di assestamento di bassa entità.

La frana di Bindo ha coinvolto complessivamente circa 1-1,2 milioni di m³ di detriti e si è distesa per circa 65 ha alla base del versante, con uno spessore compreso tra i 5 e i 20 m. La distanza massima raggiunta dalla frana a partire dal punto di distacco è pari a 260 m (Fig. 2).

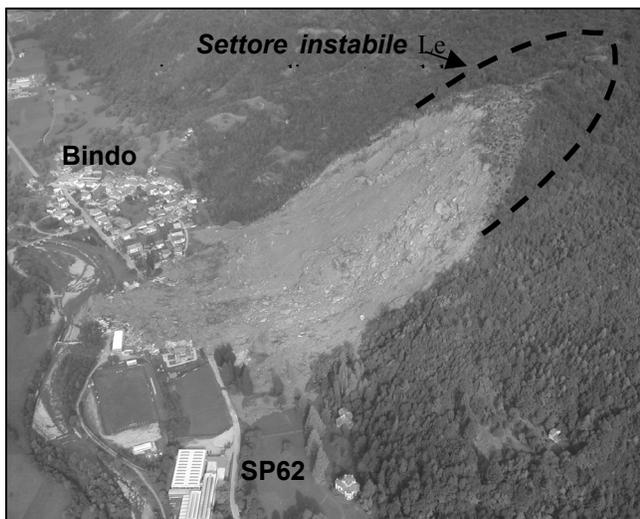


Fig. 2. Vista panoramica della frana di Bindo (Cortenova, LC) avvenuta l'1 gennaio 2002. Il villaggio minacciato è visibile sul fianco destro dell'accumulo della frana

Panoramic view of the Bindo rock avalanche (A in figure 3) collapsed on December 1, 2002. The village threaten by the landslide is on the right flank of the accumulation

Il comune di Cortenova presenta una popolazione comunale di 1.249 abitanti (ISTAT, Censimento 2001). La densità abitativa, pari a 107,95 ab/km², è superiore alla media registrata per le valli alpine (al di sotto dei 100 ab/km²).

Sul territorio comunale risultano registrate varie attività produttive, in particolare 56 attività industriali con 584 addetti, 47 attività di servizio con 147 addetti e 7 attività amministrative con 14 addetti.

La principale via di comunicazione è la SP62 della Valsassina, che unisce Lecco con Bellano, e attraversa tutto il comune. Tale provinciale è un percorso stradale densamente trafficato, sia per le attività produttive presenti in Valsassina, sia per le numerose attività turistiche, che per il traffico locale degli abitanti. Attualmente la SP62 è interrotta nel territorio di Cortenova, dalla frana che ha causato la parziale distruzione dell'abitato di Bindo. Esiste un percorso alternativo, che prevede l'attraversamento dell'abitato di Cortenova.

3. Conseguenze socio-economiche e rischio residuo

Le conseguenze socio-economiche della frana sono state particolarmente pesanti: 17 case e 7 attività industriali sono state distrutte, la strada provinciale e l'acquedotto sono stati interrotti. Inoltre, la linea elettrica ad alta tensione passante sul ciglio della frana è stata tagliata. Infine, 600 persone sono state evacuate e 100 lavori sono stati temporaneamente persi. A seguito dell'evento del Novembre 2002 sono state effettuate numerose ispezioni sul corpo di frana e nelle zone circostanti. Tali ispezioni hanno permesso di individuare una condizione di stabilità limite per un largo settore sovrastante il ciglio della frana del 2002 e per altri settori localizzati sul fianco sinistro della paleofrana.

A causa di tale situazione, le Autorità hanno prolungato l'evacuazione di 348 persone fino al gennaio 2003, ed hanno provveduto a mettere in opera un sistema di monitoraggio provvisorio degli spostamenti tramite l'utilizzo di SAR da terra (ad opera di LISALab, Dicembre 2002 al Marzo 2003, Luglio 2005). Avvalendosi della consulenza di diversi esperti, il comune di Cortenova, la Comunità Montana della Valsassina, Valvarrone, Val'Esino e Riviera e la Regione Lombardia hanno iniziato l'installazione di una rete permanente per il monitoraggio in continuo degli spostamenti, delle piogge e dei livelli piezometrici nella zona potenzialmente instabile. Tale rete ha cominciato ad operare a partire dal giugno 2003, insieme ad un sistema di allertamento in tempo reale basato sul superamento di soglie critiche di pioggia e di spostamento. Inoltre, sono state realizzate diverse opere idrauliche lungo l'alveo del torrente Rossiga.

I costi causati dalla frana sono stati calcolati raccogliendo dati presso le autorità interessate ed intervistando direttamente la popolazione coinvolta (Tab. 1). Nella valutazione dei costi relativi ai danni indiretti sono stati trascurati, per mancanza di dati, i costi legati all'interruzione del traffico, o alla riduzione dell'afflusso turistico in valle.

Tab. 1. Riepilogo dei costi totali indotti dagli eventi franosi del novembre-dicembre 2002 sostenuti dal Comune di Cortenova (LC) e dalle imprese colpite dalla frana.

Summary of direct and indirect costs caused by the November 2002 in Cortenova (LC).

	Comune	Imprese	Totale
Danni diretti	26.712.000	28.994.000	55.706.000
Danni indiretti	1.159.400	33.610.000	34.769.400
Totale	27871.4	62.604.000	90.475.400

A causa delle condizioni di stabilità limite del settore sovrastate il ciglio della frana, circa 200 persone erano ancora evacuate alla fine del 2003, e le Autorità hanno dovuto scegliere la migliore strategia di mitigazione, a medio-lungo termine, del rischio residuo per la gestione dell'area potenzialmente interessata dalla riattivazione del

fenomeno. Sono state prese in considerazione quattro principali strategie di mitigazione: la costruzione di un vallo-rilevato a difesa del villaggio alla base della frana (M1); la gestione operativa di un sistema di allerta basato sul monitoraggio in continuo del versante instabile (M2); la combinazione delle due precedenti strategie (M3); la completa rilocalizzazione degli elementi a rischio (case, strada, M4). Basandosi su una valutazione qualitativa del rischio e sull'*expert knowledge* dei diversi consulenti, le Autorità hanno optato per la terza strategia, che è attualmente in fase di realizzazione. L'analisi quantitativa presentata in questo lavoro dimostra come tale scelta sia stata la migliore in termini di beneficio netto per la comunità (vedi anche Crosta et al, 2005).

4. Analisi del rischio

L'analisi del rischio richiede (Kaplan e Garrick, 1981): uno scenario di rischio, uno spettro di conseguenze (i.e., danno, D) ed una probabilità di occorrenza del fenomeno rischioso (p). Questi elementi permettono di definire il rischio per ogni scenario come funzione di danno e probabilità: $R = f(D, p)$.

In altri termini più familiari al linguaggio dello studio delle frane (Varnes et al, 1984), per analizzare il rischio è necessario stimare la pericolosità (H), la vulnerabilità (V) ed il valore (W) degli elementi a rischio. Il rischio così analizzato può essere valutato rispetto a criteri di accettabilità, al fine di determinare la necessità di interventi di mitigazione ed eventualmente scegliere gli interventi più opportuni.

Per calcolare la pericolosità relativa all'instabilizzazione del settore sovrastante il ciglio della frana del 2002, Crosta et al (in stampa) hanno effettuato diverse analisi all'equilibrio limite utilizzando la morfologia post frana ed individuando la probabilità di rottura di diversi settori instabili, con volumi variabili da qualche centinaia di migliaia di m³ a 2 milioni di m³.

La mobilitazione e propagazione dei volumi instabili così individuati sono stati modellati con il metodo quasi-3D agli elementi finiti di Chen e Lee (2000). Nel modello è stata inserita inoltre l'opera di difesa progettata, al fine di valutarne l'effetto sulla propagazione e sul contenimento della frana. A partire da queste analisi è stato individuato lo scenario di riferimento, caratterizzato da un volume di 1.5 milioni di m³ (Fig. 3).

La stima della probabilità di occorrenza costituisce uno degli aspetti più critici nella valutazione del rischio. Per lo scenario di analizzato si è stimato un valore medio di tempo di ritorno (Tr) nell'ordine di 250 anni sulla base dei dati storici delle frane nella Regione Lombardia e delle relative curve area-frequenza (Frattini et al, 2003). Data l'incertezza del dato si è deciso di considerare un range di incertezza molto ampio, da 100 a 1000 anni.

Utilizzando lo scenario di evento sopra descritto è stato calcolato il rischio residuo in assenza di mitigazione (M0,

strategia nulla) e per ognuna delle quattro strategie di mitigazione (Crosta et al., 2005). Per calcolare il rischio si è deciso di partire dalla situazione socio-economica esistente successivamente alla frana, e si è determinato il valore degli elementi a rischio utilizzando diversi indicatori economici: il valore commerciale delle case (Osservatorio Mobiliare Italiano, 2004) ed il valore relativo dei contenuti (USACE, 2000), il costo di ricostruzione delle strade (Imprese Bacchi s.r.l., 2004, comunicazione personale) e il valore della vita umana calcolato come funzione del reddito pro-capite e dell'aspettativa di vita nel comune di Cortenova.

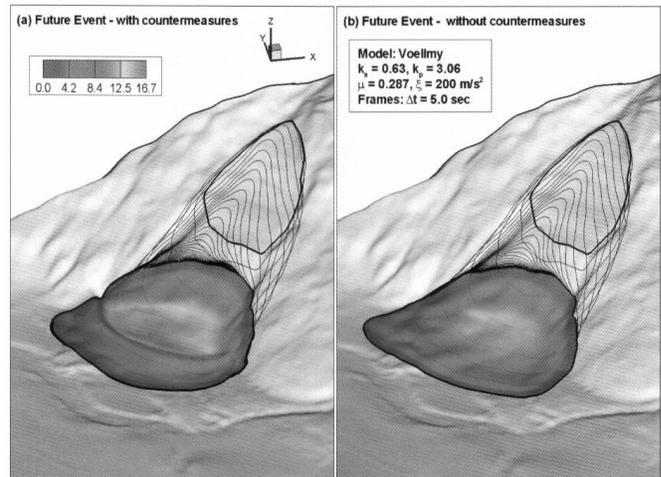


Fig. 3. Simulazione temporale della propagazione di un volume di frana di 1.5 Mm³ (a) con e (b) senza misure di difesa. La gradazione di grigio mostra la distribuzione dello spessore del detrito nel deposito finale. (da Crosta et al, in stampa)

Fig. 3. Predicted time sequences of the possible landslide failure (a) with and (b) without passive countermeasures. The grey tone scale shows the debris depth distribution in the final deposition (from Crosta et al, in press).

In Fig. 5 sono riportati i rischi calcolati come funzione di danno e probabilità di occorrenza. Per una trattazione più dettagliata sul calcolo del rischio residuo per le diverse strategie di mitigazione si rimanda a Crosta et al, 2005.

5. Accettabilità e valutazione del rischio

Al fine di effettuare una valutazione del rischio è necessario disporre di criteri di accettabilità con i quali verificare la necessità di interventi di mitigazione.

Come detto in precedenza, l'accettabilità dipende da diversi fattori, il più importante dei quali è la percezione del rischio, ovvero l'opinione e la considerazione che un individuo o la società hanno nei confronti di un rischio. La percezione del rischio è influenzata da molti fattori, primi fra tutti le esperienze passate, le attitudini, le prospettive sociali e culturali (Slovic, 1987). Una comunità può accettare il rischio di una determinata frana solo a condizione che tale rischio sia ben percepito. L'opinione

pubblica accetta elevati livelli di rischio quando è esposta in modo volontario (ad esempio incidenti stradali, infortuni nello sport, etc.) e livelli molto più bassi quando si trova sottoposta involontariamente (ad esempio calamità naturali, incidenti industriali, ecc.).

Un secondo aspetto fondamentale per l'accettabilità sociale del rischio è la consapevolezza dei benefici derivanti da una certa attività. Il gruppo di lavoro sulle frane IUGS, Committee on Risk Assessment (1997) ha definito "tollerabile" il rischio che la società è disposta a correre quando da esso derivino certi benefici, nella misura in cui il rischio sia opportunamente controllato e, ove possibile, ridotto.

Comunemente si specificano due livelli di accettabilità del rischio: quello superiore viene chiamato *limite*, quello inferiore *obiettivo*. I rischi più alti del limite non sono accettabili, quelli più bassi dell'obiettivo sono accettabili, mentre quelli nel mezzo fanno parte della zona ALARP ("as low as reasonably practicable"), zona nella quale è necessario operare strategie di riduzione atte a ridurre il rischio il più possibile, ove ragionevolmente praticabile. In tale zona, quindi, i rischi sono inferiori al limite di accettabilità, ma possono essere tollerati solo nel caso in cui la riduzione del rischio non è in concreto fattibile o se i suoi costi sono sproporzionati rispetto ai miglioramenti conseguibili. La Royal Society (1992) ha sottolineato il fatto che la gente può tollerare i rischi nella zona ALARP ed essere preparata a convivere con essi e tuttavia non accettarli. Ci sono molti motivi per cui la gente potrebbe tollerare un rischio non accettandolo, ma spesso la ragione principale è economica.

Di norma, quando si valuta l'accettabilità del rischio si può considerare il rischio per gli individui o per la società (Fell 1994). Il rischio per la società viene normalmente espresso mediante una curva F-N (frequenza-numero di vittime) o F-D (frequenza-danno economico) (Wong et al., 1997), come fatto da diverse agenzie governative per il rischio legato a grandi dighe, impianti industriali e pericoli naturali (Health and Safety Executive, 1992; Hong Kong Government Planning Department, 1994; ANCOLD, 1994; Geotechnical Engineering Office, 1998).

Al fine di studiare la percezione del rischio nel Comune di Cortenova ed individuare delle soglie di accettabilità è stato sviluppato e distribuito un questionario. Sono stati intervistati 284 abitanti a partire da 15 anni, che corrispondono al 26,4% del totale. I questionari sono stati consegnati personalmente agli intervistati e ritirati qualche ora dopo la distribuzione. Questo metodo è risultato dispendioso dal punto di vista del tempo, ma molto soddisfacente nel numero di questionari compilati (94,7% sul totale di quelli consegnati). Il questionario è stato suddiviso in cinque sezioni. La prima sezione contiene informazioni demografiche. La seconda riguarda la percezione generale della pericolosità da frana. La terza e la quarta sezione si riferiscono agli eventi franosi del novembre/dicembre 2002. La terza contiene domande sulla

gestione dell'emergenza ed è indirizzata solo a coloro che sono stati evacuati, mentre la quarta è rivolta a tutti ed indaga sulla gestione del post-evento. Infine, nell'ultima sezione si cerca di quantificare l'accettabilità del rischio attraverso la costruzione di curve di accettabilità e di confrontare il rischio da frana con altri rischi più comuni come il viaggiare in aereo o il fumare.

Per calcolare l'accettabilità del rischio, sono state costruite le due domande riportate in Tab. 2. Una regola importante nell'ambito della comunicazione dei rischi ambientali consiste nell'usare un linguaggio semplice e non tecnico, che prevede l'uso di immagini, esempi e aneddoti (Covello et al., 1988).

Tab 2. Domande del questionario finalizzate alla costruzione delle curve di accettabilità sociale del rischio da frana e percentuale di risposte per il campione intervistato
Questionnaire questions aimed at developing landslide acceptability curves and percentages of answers

Domanda: Secondo lei quanto è normale che una frana delle dimensioni di quella di Bindo del novembre/dicembre 2002 provochi i seguenti danni?				
	Molto normale	Normale	Strano	Molto Strano
Alle strade	65,0%	31,9%	1,5%	1,5%
ad una casa	62,3%	28,4%	6,6%	2,7%
Fino a venti case	60,6%	10,0%	21,8%	7,6%
all'intero paese	27,3%	3,6%	45,4%	23,7%

Domanda: Secondo lei quanto è normale che crolli o smottamenti che si verificano di frequente (una volta all'anno) provochino i seguenti danni?				
	Molto normale	Normale	Strano	Molto Strano
Alle strade	29,4%	55,7%	6,7%	8,2%
ad una casa	16,1%	48,4%	29,1%	6,3%
Fino a venti case	6,6%	25,8%	36,7%	30,9%
all'intero paese	5,8%	18,5%	24,2%	51,5%

Per questo motivo si è preferito usare esempi concreti piuttosto che parlare in termini di probabilità e di costo dei danni, concetti che difficilmente potevano essere utilizzati consapevolmente dagli intervistati. Per indicare il danno si è deciso di utilizzare elementi a rischio di facile visualizzazione (villaggio, casa, strada). Tale valore non vuole rappresentare il costo reale di ciascun elemento, ma

dare un'indicazione dell'ordine di grandezza a cui ci si riferisce. La stessa operazione è stata eseguita per la frequenza annuale di occorrenza, in questo caso sostituita con la tipologia di fenomeno. La frequenza di 0,004 (una volta ogni 250 anni) è stata assegnata ad un evento paragonabile a quello di Bindo, mentre quella di 1 a crolli e smottamenti.

Sempre con la finalità di utilizzare un linguaggio comprensibile ed intuitivo, il concetto di *accettabilità* è stato sostituito con quello di "normalità" e "stranezza", nell'accezione di cosa "che, per le sue caratteristiche, provoca stupore, turbamento, o sospetto" (fonte: vocabolario della lingua Italiana Zingarelli). In questa accezione il concetto di stranezza si avvicina in modo intuitivo a quello di non accettabilità.

Nell'analisi, si è deciso di considerare accettabile dalla comunità le condizioni di rischio (danno/probabilità) giudicate "normali" o "molto normali". La percentuale di accettabilità corrisponde pertanto alla percentuale di popolazione che ritiene "normale" o "molto normale" un certo livello di rischio (Tab. 3). Come atteso, l'accettabilità del rischio diminuisce con l'aumentare del valore dell'elemento colpito; a parità di danno risulta più accettabile l'evento meno frequente.

Tab. 3. Percentuali di normalità/accettabilità per le diverse tipologie di frana (ovvero frequenze) e tipologie di elementi danneggiati (ovvero danni)

Percentages of normality/acceptability for the different typologies of landslide (i.e., frequencies) and the different typologies of damaged elements (i.e., damage)

	strada	1 casa	20 case	Intero villaggio	Frequenza (eventi/anno)
Bindo	96,9%	90,7%	70,6%	30,9%	0,004
Crolli	85,1%	64,6%	32,4%	24,2%	1
Danno (€)	20.000	200.000	4.000.000	60.000.000	

Le due serie di dati (Tab. 3) sono state interpolate con una funzione esponenziale del tipo: $D_a = ae^{bA\%}$ dove D_a è il danno accettato da una percentuale della popolazione pari a $A\%$ (Fig. 4).

Le curve di accettabilità F-D sono state costruite utilizzando le funzioni esponenziali per individuare i valori di danno corrispondenti a percentuali fisse di accettabilità (50%, 60%, 70%, 80% e 90%) per i due valori di frequenza analizzati (0,004 e 1 eventi/anno). Ogni coppia di valori F-D è stata interpolata con funzioni di tipo potenza, in accordo con quanto normalmente presente in letteratura (Finlay and Fell, 1997). Infine, la curva di accettabilità del 90% è stata scelta come soglia obiettivo, e quella del 50% come soglia limite. La fascia compresa tra le due curve ricade nella zona ALARP (Fig. 5). La scelta delle curve del 90% e 50% per le soglie obiettivo e limite è arbitraria e fondata principalmente su un principio di ragionevolezza. Per

questo motivo, tale scelta è critica ed introduce un certo margine di soggettività nella procedura.

Il rischio residuo relativo ad ogni strategia di mitigazione calcolato in termini di costi diretti (vite umane, danni alle proprietà e alle infrastrutture) è stato valutato rispetto all'accettabilità (Fig. 5).

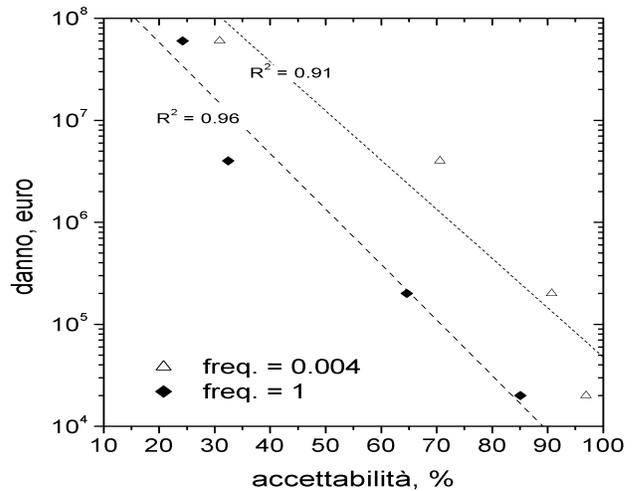


Fig. 4. Livello di danno in funzione della percentuale di accettabilità sociale per i due scenari di frequenza analizzati. *Level of damage as a function of the percentage of social acceptability for the two analysed frequencies.*

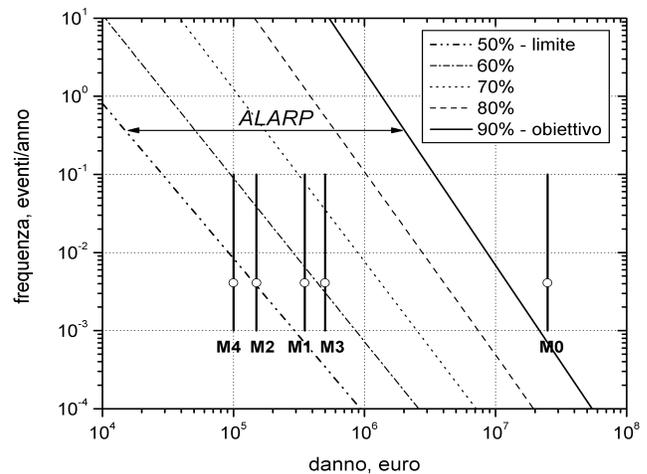


Fig. 5. Curve di accettabilità del rischio da frana. Ogni curva rappresenta una soglia di accettabilità per una diversa percentuale di popolazione. *Landslide risk acceptability curves. Each curve represent a thresholds of acceptability for a different percentage of the population.*

La strategia M0 (non intervento) risulta ampiamente inaccettabile, anche assumendo tempi di ritorno nell'ordine di 1000 anni. Il rischio a seguito di completa rilocazione degli elementi a rischio appare invece accettabile

assumendo un tempo di ritorno inferiore a circa 120 anni. Le altre strategie ricadono nel campo ALARP. Il limite di una rappresentazione dei rischi residui in termini di accettabilità è legato al fatto che non compare il costo che le diverse strategie comportano per la comunità. Risulta pertanto difficile giudicare le diverse strategie e scegliere quella ottimale.

Uno strumento utile per valutare e confrontare le diverse strategie in termini di beneficio è l'analisi costi benefici, in cui la convenienza è valutata sulla base del confronto di benefici e costi attualizzati al presente attraverso l'applicazione di una procedura di sconto. Per quest'analisi sono stati considerati solamente i costi diretti, perché più facilmente prevedibili rispetto ai costi indiretti.

Come indicatore di redditività si è deciso di calcolare il Net Present Value (NPV, o valore attuale netto):

$$NPV = PV(\text{Benefici}) - PV(\text{Costi})$$

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

dove B_t = valore dei benefici al tempo t , C_t = costi al tempo t , r = tasso di sconto, $(1+r)^t$ = fattore di sconto.

Il tasso di sconto utilizzato è pari al 4,75% (tasso SWAP a 50 anni, fonte: Bloomberg s.r.l.). Poiché la porzione dei costi più significativa è costituita dagli edifici, è necessario considerare la rivalutazione immobiliare. Il calcolo viene fatto utilizzando il tasso di inflazione al 2% (inflazione attesa, inflazione obiettivo della Banca Centrale Europea). I benefici associati agli immobili sono costituiti dal valore dell'edificio e dalla rendita affittuaria, attribuita al 6% (fonte: OMI).

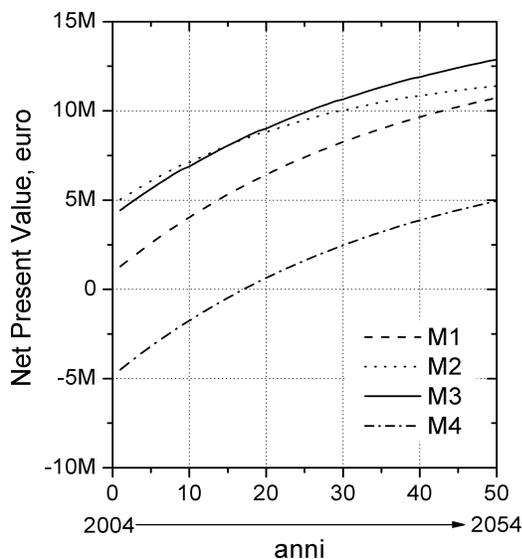


Fig. 6. Analisi costi benefici delle diverse strategie di mitigazione. M0 non è stato considerato perché non accettabile (vedi Fig. 5)
Cost-benefit analysis for the Mitigation Strategies (MS). M0 was not considered because not acceptable (see Fig 5)

Il NPV permette di ottenere un valore di beneficio netto nell'ipotesi che la frana avvenga entro un certo numero di anni. Si è pertanto deciso di calcolare il NPV per ogni anno per un arco di tempo di 50 anni (Fig. 6). Il limite temporale a 50 anni è reso necessario dal fatto che i tassi di sconto e di inflazione sono sempre più incerti tanto più la proiezione è fatta sul futuro.

6. Discussione e conclusioni

La metodologia utilizzata ha permesso di costruire in modo oggettivo e ripetibile un set di curve di accettabilità per il comune di Cortenova. Come detto in precedenza, solo la scelta delle soglie obiettivo e limite ha comportato un certo grado di soggettività nell'analisi. D'altra parte, la costruzione di soglie di accettabilità è un'operazione che implica diverse sorgenti di incertezza. Il punto di partenza stesso, ovvero il questionario, presenta diversi limiti legati alla reale comprensione del problema da parte del pubblico. Il concetto stesso di accettabilità di un rischio, d'altronde, è un concetto poco intuitivo e condiviso solo in un contesto tecnico.

L'analisi dei flussi di costo e beneficio permette di comprendere i risultati dell'analisi costi-benefici e le differenze di Net Present Value calcolato per le diverse strategie di mitigazione. In tutti i casi il NPV cresce gradualmente sin dal primo anno come risultato della rivalutazione del valore della casa nel tempo, calcolata in termini di interesse d'affitto. Tale rivalutazione è maggiore dell'inflazione e del tasso di sconto, e si applica anche nel caso in cui l'immobile non venga effettivamente affittato.

L'approccio più conservativo è quello che permette di ottenere il rischio residuo minore, ma è il meno conveniente in termini di costi-benefici. Questo approccio prevede la completa rilocalizzazione degli elementi a rischio, soprattutto le case e la strada. Per quanto riguarda le case, il flusso negativo (costo) sostenuto dalle Autorità è bilanciato dal flusso positivo (beneficio) dei proprietari delle case. Il NPV negativo iniziale deriva quindi interamente dalla costruzione della nuova strada in una zona non esposta al rischio.

Per quanto riguarda le altre strategie, il NPV è positivo sin dal primo anno, perché tali strategie permettono la rioccupazione di case altrimenti evacuate. Questo è considerato un flusso positivo. Tra queste strategie, la terza (rilevato + monitoraggio) è risultata la più conveniente. Il costo aggiuntivo per la costruzione del rilevato è bilanciata, rispetto alla strategia di solo monitoraggio, dalla possibilità di potere rioccupare un maggior numero di case (19 contro 14). Nel lungo periodo, la presenza del vallo permette di ridurre i costi di evacuazione dovuti a falsi allarmi. Dopo circa 15 anni, la presenza del vallo e del monitoraggio si dimostra la migliore strategia possibile. Tale strategia era risultata quella con il maggior rischio residuo, ad esclusione del non-intervento. Tale rischio residuo deriva dal danneggiamento del vallo e di alcuni strumenti di monitoraggio in caso di frana, ed è di circa 500.000 euro. Il

confronto di tale costo con il beneficio netto per la comunità (circa 8.000.000 euro a 15 anni) dimostra che il rischio residuo è ampiamente tollerabile dalla comunità.

Come accennato in precedenza l'analisi costi-benefici è stata limitata a 50 anni perché i parametri economici utilizzati (tasso di sconto, interesse di affitto, tasso di inflazione) tendono a diventare molto incerti nel lungo periodo. Oscillazioni macroeconomiche, eventi socio-politici e altri fattori possono incidere sulle proiezioni a lungo termine e modificare sostanzialmente tali parametri. Già un tempo di 50 anni implica un grado di incertezza dei tassi molto significativo. D'altra parte, l'incertezza è soprattutto legata al valore esatto assoluto di tali parametri più che al loro rapporto reciproco. Per questo motivo, l'incertezza nel valore calcolato del NPV è abbastanza alta, ma il confronto tra gli scenari resta valido, e la scelta della migliore strategia è soggetta a incertezze minime.

Un'ulteriore incertezza nella valutazione del NPV è legata alla difficoltà di stimare il grado di efficienza delle opere e il loro funzionamento nel tempo. È stato previsto un costo di manutenzione sia del vallo sia della rete di monitoraggio, ma tale costo presenta notevoli incertezze. Inoltre, progressi nelle tecnologie di monitoraggio o nelle tecniche di costruzione di opere di difesa potrebbero rendere

non attuali le strategie analizzate. Per questo motivo un'analisi che superi i 50 anni sarebbe estremamente azzardata.

In conclusione, questo lavoro ha permesso di evidenziare le potenzialità della valutazione del rischio come strumento di supporto alle decisioni. In particolare, due aspetti sono stati riconosciuti come fondamentali: la valutazione della accettabilità del rischio residuo e l'analisi costi benefici degli scenari di strategia possibili.

7. Ringraziamenti

Si ringraziano il Comune di Cortenova, la Comunità Montana della Valsassina, Valvarrone, d'Esino e Riviera per la disponibilità a fornire i dati. Parte delle analisi è stata effettuata dal dott. F. Fugazza e dal dott. Leonardo Caluzzi, che ringraziamo. Per l'analisi costi benefici si ringrazia il dott. J. Moresco della Pioneer Asset Managements S.A.. La ricerca è stata finanziata in parte dal progetto FIRB RBAU014LRS e dal progetto PRIN "Frane catastrofiche: studio dei cinematismi e delle dinamiche dei versanti mediante l'uso di modelli analogici e numerici per la valutazione del rischio".

Bibliografia

- Ambrosi, C., Crosta, G.B., 2003. Rilevamento, modellazione e valutazione della pericolosità di grandi frane nel bacino del Pioverna, Lecco. Atti I° Convegno Nazionale AIGA, 31- 45.
- ANCOLD. 1994. Guidelines on risk assessment. Australian National Committee on Large Dams, Sydney, New South Wales, Australia.
- Chen, H., Lee, C.F., 2000. Numerical simulation of debris flows. *Canadian Geotechnical Journal* 37, 146-160.
- Committee on Ground Failure Hazards, 1985. Reducing Losses from Landslides. In the U. S. Commission on Engineering and Technological Systems, National Research Council, Washington, D.C..
- IUGS Working Group on Landslides, committee on risk assessment (1997), Quantitative risk assessment for slopes and landslides – The state of the art, Proc. of Int. Workshop on Landslide Risk Assessment, Honolulu
- Covello, V.T., Sandman, P., Slovic P., 1988. Risk communication, risk statistics and risk comparisons: A Manual for plant managers. Washington, DC: Chemical Manufacturers Association.
- Crosta, G.B., Chen, J., Frattini, P., in stampa. Forecasting hazard scenarios and implications for the evaluation of countermeasure efficiency for large debris avalanches, *Engineering Geology*.
- Crosta, G.B., Frattini, P., Fugazza, F., Caluzzi, L., Chen H., 2005. Cost-Benefit analysis for debris avalanche risk management. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhart E. (eds.) *Landslide risk management*. Balkema, Rotterdam, 517-524.
- Fell, R., 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal* 31, 261-272.
- Finlay, P.J., Fell, R., 1997. Landslides: risk perception and acceptance. *Canadian Geotechnical Journal* 34, 169-188.
- Frattini, P., Crosta, G.B., Ceriani, M., Fossati, D., 2003. Inventario delle frane e dei dissesti della Regione Lombardia: analisi statistica e probabilistica per una valutazione preliminare delle pericolosità. Atti I Convegno Nazionale AIGA, 427-448.
- Geotechnical Engineering Office, 1998. Landslides and Boulder Falls from Natural Terrain: Interim Risk Guidelines. GEO Report No. 75. Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 183 pp.
- Hong Kong Government Planning Department (HKGPD), 1994. Chapter 11: Potentially hazardous installations. In Hong Kong Planning Standards and Guidelines. Hong Kong Government, Hong Kong, 12-19.
- Health and Safety Executive, 1992. Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations. HMSO, London, England, 1992.
- International Conference on Landslide risk Management, Vancouver quoting Whitman (1984).
- Kaplan, S., Garrick, B.J., 1981. On the quantitative definition of risk, *Risk Analysis* 1(1), 11-27.
- Leroi, E., Bonnard, C., Fell, R., McInnes, R., 2005. Risk Assessment and Management. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhart E. (eds.) *Landslide risk management*. Balkema, Rotterdam, 159-198.
- Slovic, P., 1987. Perception of risk, *Science* 236, 280-285.
- Starr, C., 1969. Social benefit versus technological risk, *Science* 165, 1232-1238.
- The Royal Society, 1992. Risk: analysis, perception and management. The Royal Society, Report of a Royal Society Study Group, London. U.K.
- USACE, 2000. Economic Guidance Memorandum (EGM) 01-03, Generic Depth-Damage Relationships, Washington, DC.
- Varnes, D.J., Commission on landslides and other mass movements IAEG, 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Unesco Press, Parigi, 63 pp.
- Wong, H.N., Ho, K.K.S., Chan, Y.C., 1997. Assessment of consequence of landslides. In: Cruden, R., Fell, R. (Eds.), *Landslide Risk Assessment*. Balkema, Rotterdam, 111- 149.