



Internationales Symposion INTERPRAEVENT 2004 - RIVA / TRIENT

ANALISI "COSTI-BENEFICI" APPLICATA ALLA GESTIONE DEL PROBLEMA VALANGHE APPLICAZIONE AD UN CASO DI STUDIO IN ALTA VAL BREMBANA (BG)

"COSTS-BENEFIT" ANALYSIS APPLIED TO MANAGMENT OF AVALANCHE PROBLEM APPLICATION TO A CASE STUDY FROM BREMBANA VALLEY (BG)

Massimiliano Barbolini¹ e Matteo Pagliardi¹

RIASSUNTO

Il presente articolo descrive una metodologia di analisi innovativa per affrontare la gestione del problema valanghe ad un scala comunale, inclusa la programmazione degli interventi di difesa. La difficoltà di programmare interventi di messa in sicurezza che ottimizzino il rapporto "costi-benefici" in generale è legata sia alla complessità ed alla diversificazione delle situazioni presenti, sia alla possibilità per ciascuna situazione di individuare differenti ipotesi di intervento. E' stata a tal fine proposta una metodologia di analisi che, per quanto semplificata, fornisce un approccio al problema sistematico e relativamente oggettivo, consentendo di quantificare il livello di rischio relativo a ciascun sito valanghivo, sia allo stato attuale che alla luce di differenti ipotesi di intervento, nonché di quantificare la "bontà" di differenti ipotesi di messa in sicurezza in un'ottica "costi-benefici". La metodologia proposta è presentata con riferimento ad un caso di studio pratico, relativo ad un comune dell'alta Val Brembana (Branzi, BG).

Parole chiave: valanghe di neve, mappatura del pericolo, calcolo del rischio, analisi "costi-benefici"

ABSTRACT

The present work describes an innovative method to face with the avalanche problem at a communal scale, including the design of risk mitigation works. The difficulties inherent to the planning of defence works that could optimise the ratio "cost-benefit" are related in general to the variability of situations typically present a communal scale as well as to the possibility for each situation to propose different solutions. The proposed method, even if very simplified, permits a systematic approach to the problem and allows to quantify the risk levels for each avalanche site (either in its present state and in the assumption of different hypothesis of intervention being operative), as well as to quantify the efficiency of different defence solutions. The proposed methodology is applied to a real world case study in Brembana valley (Branzi, BG).

Key words: snow avalanche, hazard mapping, risk assessment, "cost-benefit" analysis

¹ Università di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale, Via Ferrata, 1 - 27100 Pavia
(Tel: +39-382-505308; Fax: +39-382-505589 E-mail: massimiliano.barbolini@unipv.it)

INTRODUZIONE

Il comune di Branzi (800 m s.l.m circa) è ubicato in alta Val Brembana, in provincia di Bergamo, all'interno del Parco delle Orobie Bergamasche (Fig. 1). Il territorio comunale è periodicamente interessato da numerose valanghe in grado di rappresentare situazioni di rischio per le strutture ed infrastrutture di fondovalle, come testimoniato dagli eventi storici riportati sulla Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (C.L.P.V.), vedi Fig. 2. Alcuni tra i siti valanghivi, precisamente i n. 4 e 7 della C.L.P.V. (denominati rispettivamente "Valle Scura" e "Valle delle Ruine"), sono stati inseriti in piani nazionali di riassetto idrogeologico², nel contesto dei quali sono stati finanziati e realizzati interventi strutturali di messa in sicurezza nei confronti delle valanghe.

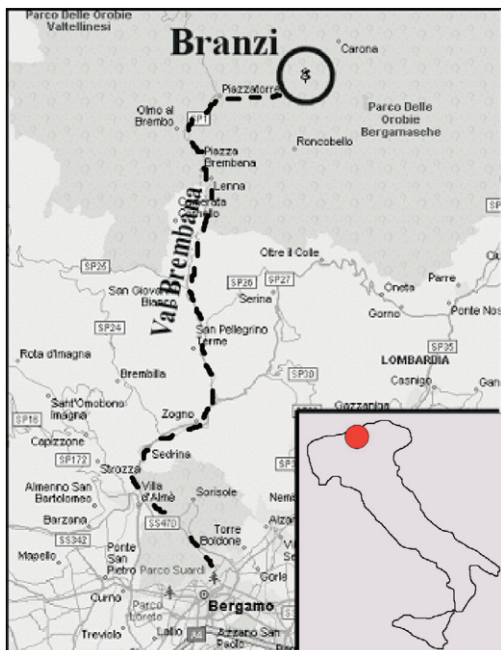


Fig. 1 Posizione del comune di Branzi (BG)

Fig. 1 Geographical setting of the Branzi commune

Scopo del presente studio è la caratterizzazione dell'attuale stato di esposizione al pericolo di valanga dell'area di fondovalle relativa al comune di Branzi. Tale analisi comprende: (i) un'attenta valutazione dello stato di conservazione ed efficienza degli interventi di messa in sicurezza attualmente in opera sui vari siti; (ii) la redazione delle mappe di pericolosità per i siti valanghivi potenzialmente in grado di interessare zone antropizzate; (iii) la proposta di ulteriori interventi di difesa utili a rimuovere, o quantomeno a mitigare, il rischio di valanga attualmente ancora presente sull'area di fondovalle in esame.

La difficoltà di programmare interventi di messa in sicurezza che ottimizzino il rapporto "costi-benefici" è legata sia alla complessità ed alla diversificazione delle situazioni, sia alla possibilità di individuare differenti ipotesi di intervento per ciascuna situazione. E' stata a tal fine predisposta una metodologia di analisi che, per quanto semplificata, fornisce un approccio al problema sistematico e relativamente oggettivo. La metodologia proposta consente di quantificare il livello di rischio relativo a ciascun sito valanghivo, sia allo stato attuale che alla luce di differenti ipotesi di intervento. E' possibile pertanto identificare in maniera oggettiva le priorità di intervento sul territorio comunale e valutare l'efficacia delle differenti possibili ipotesi di messa in sicurezza mediante un indice di merito, ottenuto rapportando la riduzione del rischio prodotta dall'intervento al costo dello stesso.

² "Piano per la difesa del suolo ed il riassetto della Valtellina e delle adiacenti zone delle province di Bergamo, Brescia e Como" (L.102/90) e "Piano per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po" (L.267/98).

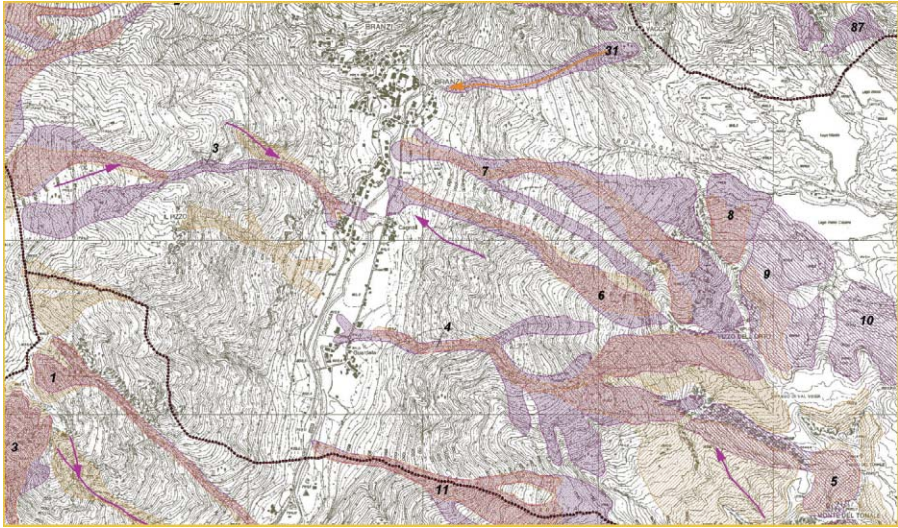


Fig. 2 Stralcio della C.L.P.V. relativa al comune di Branzi
 Fig. 2 Sample of C.L.P.V. map for the Branzi commune

REDAZIONE DELLE MAPPE DI PERICOLOSITA'

Per la realizzazione delle mappe di pericolosità (o Piani delle Zone Esposte al pericolo di Valanghe, nel seguito indicati con la dicitura P.Z.E.V.) si è utilizzata una metodologia di analisi di tipo "multi-criteriale" che, da un punto di vista operativo, ha comportato l'interazione e la combinazione di differenti attività di studio, come schematizzato in Fig. 3.

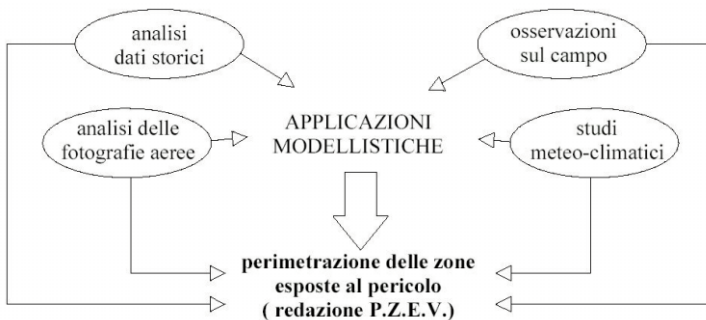


Fig. 3 Strumenti di analisi utilizzati per la redazione del P.Z.E.V.
 Fig. 3 Complementary tools used for the realisation of P.Z.E.V.

Indagini di campo

I sopralluoghi sul sito valanghivo sono finalizzati alla verifica di dettaglio della morfologia della zona, della copertura vegetale e dei dissesti di vario tipo in atto che possono aggravare la propensione alla valangosità, nonché compromettere la conservazione dei manufatti di difesa presenti o in progetto (es. crolli in roccia, fenomeni di dissesto). I rilievi sul sito hanno avuto

inoltre lo scopo di verificare lo stato delle opere già presenti e la loro funzionalità. A tal proposito è stato redatto un catasto delle opere di difesa esistenti, comprensivo di una mappatura a scala dettagliata e di una descrizione particolareggiata in forma tabulare. L'analisi ha incluso i rilievi topografici del tracciato della valanga, delle opere e infrastrutture esposte e delle opere di difesa già realizzate ed ha supportato la definizione delle zone di distacco e dei percorsi di scorrimento di progetto utilizzati nelle applicazioni modellistiche finalizzate alla redazione del P.Z.E.V.

Analisi storica degli eventi sul sito

L'indagine storico-documentale ha comportato la ricostruzione degli eventi storici riportati dalla stampa e su documenti ufficiali a livello locale e regionale, anche mediante l'ausilio di documentazione fotografica. Essa ha incluso interviste ad abitanti delle zone interessate e l'analisi di documenti cartografici predisposti su base storica da enti pubblici e/o privati. Tale tipo d'indagine è stata finalizzata sia ad una caratterizzazione preliminare della frequenza di accadimento di eventi di data "magnitudo" (in accordo alla metodologia proposta in Barbolini e Cappabianca, 2002), che alla identificazione di eventi da utilizzare per la calibrazione dei modelli matematici applicati per la redazione del P.Z.E.V.

Analisi delle fotografie aeree

L'analisi delle fotografie aeree disponibili è stata finalizzata all'identificazione dei limiti delle aree valanghive sulla base delle evidenze morfologiche e vegetazionali. L'analisi di fotografie aeree ha consentito inoltre, mediante comparazioni di informazioni relative a differenti periodi storici, di valutare l'evoluzione dell'esposizione alle valanghe di un determinato sito in rapporto a: (i) eventuale realizzazione di opere di difesa; (ii) rivegetazione delle aree valanghive; (iii) variazioni delle condizioni di utilizzo delle aree.

Analisi meteo-climatica

La raccolta, analisi ed elaborazione statistica dei dati nivo-meteorologici disponibili ha permesso di valutare le condizioni di innevamento tipiche dell'area valanghiva in esame. In particolare tale analisi ha supportato: (a) la definizione delle condizioni di distacco per gli eventi di progetto utilizzati nelle simulazioni della dinamica del fenomeno (in accordo ai criteri proposti in Salm *et al.*, 1990); (b) la determinazione delle condizioni di innevamento utilizzate per il dimensionamento di massima delle opere di difesa proposta (sia opere di tipo attivo in zona di distacco che opere di tipo passivo in zona di arresto). L'utilizzo di tecniche statistiche di "regionalizzazione" (si veda ad esempio Barbolini *et al.*, 2002(a)) ha consentito di ottenere una migliore accuratezza nella stima delle variabili nivometriche di progetto, soprattutto con riferimento ai tempi di ritorno più elevati.

Modellazione matematica

La simulazione degli eventi valanghivi finalizzata alla redazione del P.Z.E.V è stata realizzata utilizzando il modello VARA1D. I modelli di dinamica delle valanghe VARA sono stati sviluppati presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Università degli Studi di Pavia a partire dalla prima metà degli anni '90 (Natale *et al.*, 1994; Barbolini, 1998; Barbolini *et al.*, 2000). Il movimento della valanga è simulato utilizzando un approccio di tipo idraulico; le equazioni sono analoghe a quelle utilizzate per la descrizione delle correnti liquide a pelo libero. Tali modelli sono esclusivamente applicabili per la simulazione degli

scorrimenti di tipo denso. Le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto di una valanga in movimento lungo il pendio nella versione mono-dimensionale (VARA1D) sono scritte come segue:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}h}{\partial x} = 0 \quad [1]$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}^2 h)}{\partial x} = gh \sin \alpha - gh \cos \alpha \frac{\partial h}{\partial x} + J \tau \quad [2]$$

dove \bar{u} è il valore medio (sulla verticale) della velocità parallela al pendio, h è l'altezza di scorrimento, J è il coefficiente di attrito dinamico, che raggruppa le dissipazioni in corrispondenza del letto di scorrimento, e α è l'inclinazione locale del pendio. Le equazioni [2] e [3] sono risolte numericamente mediante uno schema di tipo upwind del secondo ordine alle differenze finite. L'espressione utilizzata per descrivere il coefficiente di attrito dinamico J è analoga a quella proposta originariamente da Voellmy (1955), con n^2 equivalente al parametro $1/\xi$ del modello originale di Voellmy:

$$J = \mu + n^2 \frac{\bar{u} \cdot |\bar{u}|}{h} \quad [3]$$

μ è interpretato con riferimento agli attriti di tipo Coulombiano alla base del flusso, mentre il termine di tipo quadratico può essere interpretato con riferimento alla resistenza sviluppata da un materiale granulare in regime di moto granulo-inerziale (in accordo alla terminologia introdotta da Bagnold, 1954). Peraltro, in applicazioni pratiche finalizzate alla mappatura i coefficienti di resistenza μ e n sono stimati mediante taratura. Con riferimento a quest'ultimo aspetto deve essere sottolineato che nel corso degli ultimi anni il modello è stato estensivamente calibrato sulle Alpi Italiane (Barbolini, 1999; Barbolini *et al.*, 2002(b); Barbolini *et al.*, in stampa(a)) e pertanto sono disponibili tabelle e grafici che forniscono i valori più opportuni da utilizzare per i coefficienti di resistenza n e μ , in relazione alle caratteristiche del sito (in particolare al suo grado di incanalamento, vedi Tab. 1) e alle dimensioni dell'evento (in particolare all'altezza di distacco, vedi Fig. 4).

Tab. 1 Valori medi del coefficiente di resistenza n

Tab. 1 Average values for the friction coefficient n

Coefficiente di resistenza n	
Grado di incanalamento	Valore medio (s/m ^{0.5})
Pendio aperto	$n=0.017$
Pendio parzialmente canalizzato	$n=0.019$
Pendio canalizzato	$n=0.021$

Il modello fornisce, lungo ogni profilo di calcolo utilizzato e in funzione delle dimensioni dell'evento simulato, l'evoluzione dinamica del fenomeno dal distacco all'avvenuto arresto. In particolare sono ottenibili i valori della velocità, delle pressioni di impatto e delle altezze di scorrimento lungo tutto il pendio, nonché la distanza di arresto e la distribuzione finale del deposito.

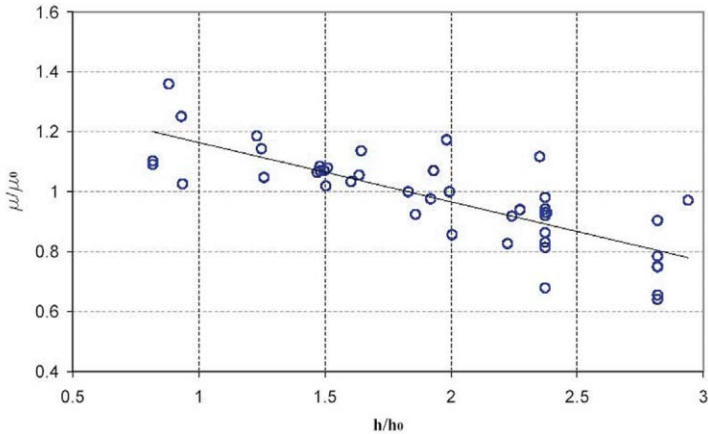


Fig. 4 μ/μ_0 in funzione di h/h_0 per un campione costituito da 17 siti valanghivi e 39 eventi di taratura. μ_0 e h_0 indicano il valore medio del coefficiente di resistenza μ e dell'altezza di distacco h sul singolo sito

Fig. 4 Normalised friction coefficient μ/μ_0 versus normalised release depth h/h_0 for 39 calibration events in 17 avalanche paths. μ_0 e h_0 indicate the mean values of the friction coefficient μ and of the release depth h for the single avalanche path

In Fig. 5 è presentato a titolo di esempio il risultato di una simulazione effettuata sul sito denominato "Valle delle Ruine" (n. 7 di Fig. 2); sono rappresentati la distribuzione finale del deposito, l'involuppo delle pressioni di impatto e le posizioni lungo il pendio (esprese sia in termini di quota s.l.m. che in termini di proiezione planimetrica) in cui si riscontrano valori di soglia per la pressione d'impatto pari rispettivamente a 3 kPa, 15 kPa e 30 kPa.

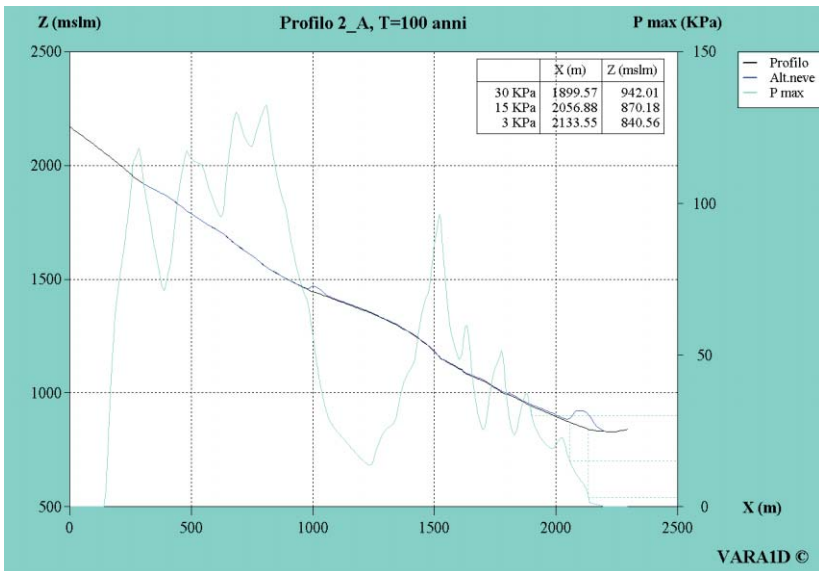


Fig. 5 Esempio di output del modello di calcolo VARA1D (sito Valle delle Ruine; $h=1,3$ m; $\mu=0,36$; $n=0,017$)

Fig. 5 Example of output of the VARA1D code (Valle delle Ruine avalanche path; $h=1,3$ m; $\mu=0,36$; $n=0,017$)

Criteri di perimetrazione

In accordo con criteri di mappatura diffusamente condivisi (BFF/SLF, 1984; Hopf, 1998), la caratterizzazione dei differenti livelli di esposizione al pericolo di valanghe è stata effettuata in funzione del tempo di ritorno e delle pressioni di impatto delle valanghe di progetto. In Tab. 2 sono sintetizzate le soglie di pressione ed i valori dei tempi di ritorno utilizzati per la redazione dei P.Z.E.V. nel contesto del presente lavoro; tali valori risultano quelli proposti in una recente normativa A.I.NE.VA (per dettagli in merito si veda il sito: www.aineva.it). Un esempio di P.Z.E.V. per un sito relativo all'area in studio è fornito in Fig. 6.

Tab. 2 Criteri di perimetrazione e norme d'uso del suolo proposti da una recente normativa A.I.NE.VA.

Tab. 2 Mapping criteria and land use regulations, according to recent A.I.NE.VA. guidelines

Zona (grado di pericolosità)	Definizione <i>Norme d'uso del suolo</i>
ROSSA (elevata pericolosità)	Aree interessate o con una certa frequenza dalle valanghe (30 anni), anche con limitato potenziale distruttivo, o più raramente (100 anni) da valanghe altamente distruttive ($P_{imp} > 15kPa$) <i>Non sono consentite nuove edificazioni</i>
BLU (moderata pericolosità)	Aree interessate da eventi rari (100 anni) con moderato potenziale distruttivo ($3kPa < P_{imp} < 15kPa$) <i>Sono consentite nuove costruzioni ma con forti limitazioni (indici di edificabilità estremamente ridotti, adeguato dimensionamento delle strutture, etc.)</i>
GIALLA (bassa pericolosità)	Aree interessate dagli effetti residuali ($P_{imp} < 3kPa$) di eventi rari (100 anni), o da eventi con caratteristiche di eccezionalità (300 anni) <i>Sono consentite nuove costruzioni, con modeste limitazioni</i>

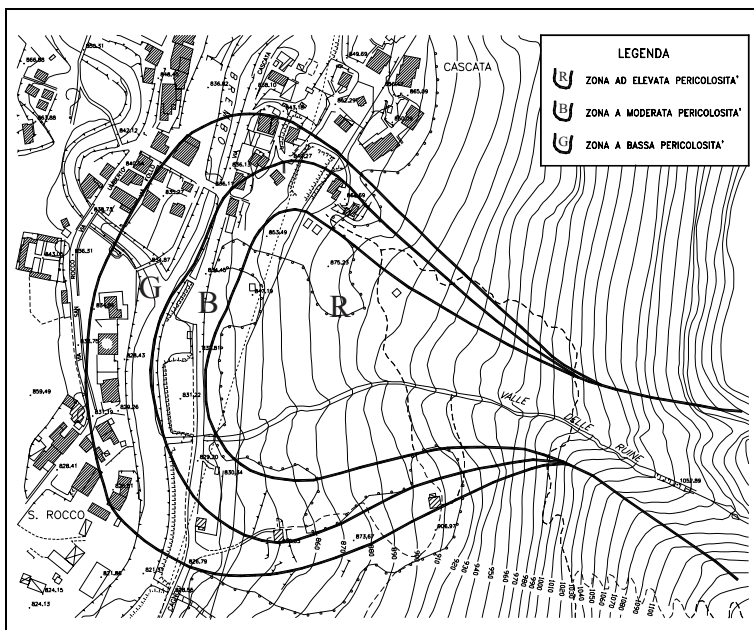


Fig. 6 P.Z.E.V. per il sito valanghivo “Valle delle Ruine” (n. 7 di Fig. 2)

Fig. 6 P.Z.E.V. for the “Valle delle Ruine” avalanche path (n. 7 of Fig. 2)

ANALISI DEL RISCHIO E PROPOSTA DI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IN UN'OTTICA "COSTI-BENEFICI"

Metodologia

Sebbene il P.Z.E.V. fornisca un'indicazione dei differenti livelli di esposizione al pericolo di valanghe per l'area in esame, tale tipo di mappa non tiene conto in maniera esplicita di ciò che è presente sul territorio e dei danni sociali, economici o ambientali che gli eventi valanghivi di progetto possono arrecare. Per arrivare a questo tipo di valutazione, che assume i connotati di valutazione dei livelli di rischio, è stata elaborata nel contesto del presente studio una procedura che consente di effettuare una stima in termini quantitativi del rischio complessivo per l'area in esame. La procedura seguita per raggiungere la suddetta quantificazione consiste nell'attribuire a ciascuna struttura esposta al pericolo di valanghe (o "elemento vulnerabile") un indice di rischio IR_i calcolato come segue:

$$IR_i = P_i \cdot V_i \quad [4]$$

dove P_i e V_i indicano rispettivamente il grado di esposizione al pericolo ed il valore della struttura considerata (in generale la *i-esima*). Per il grado di esposizione al pericolo P è stata utilizzata la seguente scala: 1 per le strutture in zona gialla; 3 per le strutture in zona blu; 5 per le strutture in zona rossa. Nei casi in cui l'elemento esposto giaccia tra due differenti zone di esposizione al pericolo sono stati utilizzati valori intermedi dell'indice di pericolo, rispettivamente 2 e 4. Per i valori V attribuiti alle strutture coinvolte è stata invece utilizzata una scala da 0 a 10, adottando per le differenti tipologie di elementi vulnerabili valori ritenuti "ragionevoli"; naturalmente tale attribuzione ha valore puramente indicativo, anche considerato che è possibile adottare valori diversi per uno stesso elemento vulnerabile in dipendenza dell'importanza che gli viene attribuita dalla comunità. L'indice di rischio IR_i può essere interpretato come una sorta di "ordine di priorità" o "scala di urgenza" per i differenti elementi vulnerabili da proteggere. Per ogni sito valanghivo la somma degli indici di rischio relativi ai singoli elementi vulnerabili fornisce l'indice di rischio complessivo per l'area in esame, IR :

$$IR = \sum_{i=1}^N IR_i \quad [5]$$

dove N indica il numero totale degli elementi vulnerabili esposti al pericolo.

Al fine di valutare adeguatamente l'efficacia di differenti ipotesi di intervento (o combinazioni di interventi) è stato introdotto un indice numerico, denominato "indice di efficacia" (IE , con $0 < IE < 1$), definito come segue:

$$IE = \frac{IR_{pre-int\ ervento} - IR_{post-int\ ervento}}{IR_{pre-int\ ervento}} \quad [6]$$

con l'ovvio significato dei simboli. L'introduzione dell'indice di efficacia rende possibile confrontare in maniera oggettiva la bontà (in termini di riduzione del rischio) di varie ipotesi di messa in sicurezza.

Al fine di tenere in considerazione anche il costo dell'intervento è stato introdotto un "indice di merito" (IM), espresso mediante la relazione:

$$IM = IE / IC \quad [7]$$

dove IC è definito "indice di costo" e rappresenta il rapporto tra il costo dell'intervento in esame ed il costo massimo tra quelli dei vari interventi proposti. Il significato di un tale indice è di immediata comprensione: a parità di costo ha un indice di merito più alto l'intervento maggiormente efficace e, viceversa, a parità di efficacia ha un indice di merito più alto l'intervento meno costoso. Bisogna però osservare che il significato dell'indice di merito non deve ritenersi assoluto: nel contesto di un'analisi costi-benefici l'efficacia dell'intervento, almeno in linea di principio, va considerata prioritaria rispetto al suo costo.

In ogni caso tale indice, soprattutto in una fase preliminare di analisi del problema, consente di comparare in modo abbastanza sistematico differenti ipotesi di intervento. Un indice di merito realmente esaustivo oltre ad efficacia tecnica e costo dovrebbe considerare anche l'impatto ambientale dell'opera. Tale caratteristica è tuttavia difficilmente quantificabile in termini numerici, e non è stata pertanto considerata nel contesto delle valutazioni contenute nel presente lavoro.

Applicazione pratica

In Fig. 7 è fornito un esempio di calcolo dell'indice di rischio. La costruzione A è un edificio residenziale a cui è stato attribuito valore 10; trovandosi in zona gialla, quella a minor pericolosità, l'indice di pericolo è 1. L'indice di rischio per tale struttura è ottenuto dal prodotto di questi due valori (eq. 4), ed è pari a 10. La lettera B evidenzia la strada comunale; il valore di questo elemento vulnerabile è stato ritenuto pari a 3, l'indice di pericolo è 3 (zona blu), pertanto l'indice di rischio risulta pari a 9.

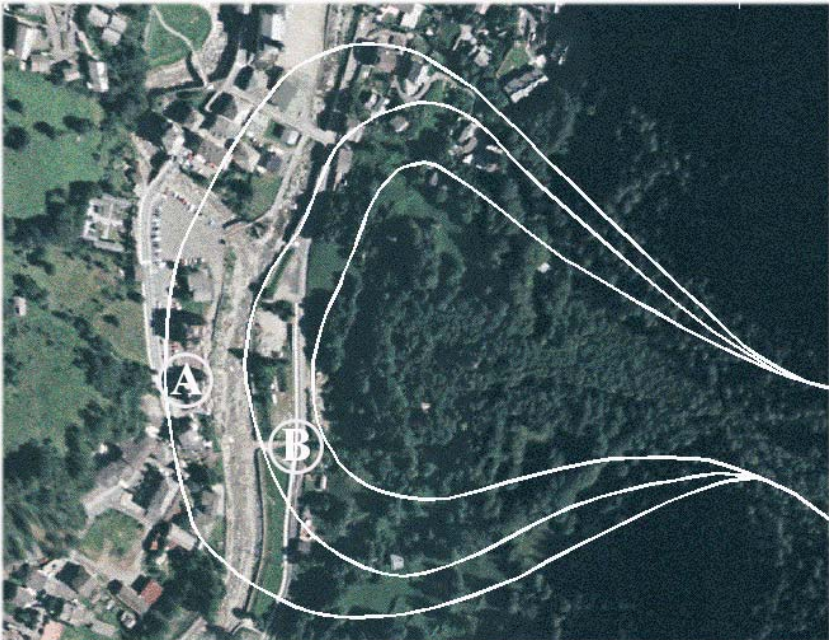


Fig. 7 Ortophoto della zona di arresto del sito “Valle delle Ruine” (n. 7 di Fig. 2), con evidenziati i limiti del P.Z.E.V. (vedi Fig. 6)

Fig. 7 Orthophoto of the runout zone of the “Valle delle Ruine” avalanche path (n.7 of Fig.2), with indication of the P.Z.E.V. outlines (see Fig. 6)

Ripetendo l'operazione per ogni elemento vulnerabile esposto al pericolo nella zona di fondovalle considerata, si ottiene l'indice di rischio complessivo per il sito valanghivo in esame (Tab. 3). La stessa operazione è stata effettuata anche per le altre valanghe presenti sul territorio comunale (le n. 3, 4 e 6 di Fig. 2), i risultati sono sintetizzati in Tab. 4.

Tab. 3 Indice di rischio complessivo per il sito valanghivo “Valle delle Ruine” (n.7 di Fig.2)

Tab. 3 Overall risk index for the “Valle delle Ruine” avalanche path (n.7 of Fig.2)

VALLE DELLE RUINE - stato attuale					
Struttura da proteggere	Quantità	Indice di Pericolo (P)	Valore (V) unitario	Indice di rischio (IR) unitario	Indice di rischio complessivo
Edificio residenziale	15	1	10	10	150
Caserma carabinieri	1	1	10	10	10
Insedimento abitativo	5	3	10	30	150
Insedimento abitativo	1	2	10	20	20
Edifici agricoli*	2	3	2.5	7.5	15
Edifici agricoli*	4	5	2.5	12.5	50
stada comunale	1	3	3	9	9
Linea elettrica	1	5	1	5	5
Indice di rischio complessivo					409

Tab. 4 Indice di rischio complessivo per i principali siti valanghivi presenti sul territorio comunale

Tab. 4 Overall risk index for the main avalanche paths of the Branzi commune

Indice di rischio complessivo (IR)	
Valle delle Ruine (n.7 di Fig.2)	409
Valle Scura (n.4 di Fig.2)	219
Val Grande (n.6 di Fig.2)	52
Pizzo Badile (n.3 di Fig.2)	26

Dall'analisi degli indici di rischio complessivi relativi alle principali valanghe presenti sul territorio comunale in esame (Tab. 4), emerge che allo stato attuale i siti valanghivi “Valle delle Ruine” e “Valle Scura” risultano quelli caratterizzati dai maggiori livelli di rischio, pertanto quelli su cui intervenire prioritariamente. Al fine di migliorare i livelli di sicurezza per le zone di fondovalle esposte a tali valanghe sono state individuate differenti ipotesi di intervento, sinteticamente descritte nel seguito:

- B1. Valle delle Ruine: manutenzione straordinaria della parte di opere di ritenuta realizzate in zona di distacco attualmente fortemente danneggiate e pertanto inefficaci.
- B2. Valle delle Ruine: ripristino delle opere di ritenuta esistenti (ipotesi B1) e realizzazione di ulteriori opere di ritenuta, su un'area di 2,5 ha.
- B3. Valle Scura: realizzazione di opere di ritenuta in zona di distacco, su un'area di 1,8 ha.
- B4. Valle Scura: realizzazione di opere di ritenuta in zona di distacco, su un'area di 4,1 ha (comprende la soluzione B3).

Tra le diverse combinazioni di ipotesi di intervento proposte si è cercato di individuare quelle soluzioni che risultassero “ottimali”, sia dal punto di vista dell'efficacia tecnica, ossia della riduzione del livello di rischio, che da quello economico. L'efficacia tecnica degli interventi di difesa proposti è stata quantificata in base alla riduzione dell'indice di rischio complessivo per l'area di fondovalle, rispetto a quello calcolato in assenza di opere di difesa. Per calcolare gli indici di rischio nell'ipotesi di intervento in opera (Tab. 5) è stato redatto, per ogni ipotesi di messa in sicurezza, un nuovo P.Z.E.V., in cui si è debitamente tenuto in conto dell'effetto delle opere di difesa sulla dinamica delle valanghe di progetto.

Tab. 5 Indice di rischio complessivo per l'area di fondovalle per le varie combinazioni di intervento proposte

Tab. 5 Overall risk index for the various combination of intervention proposed

Indice di Rischio (IR)	Nessun intervento Scura	Intervento B3 Scura	Intervento B4 Scura
Nessun intervento Ruine	706	668.5	630
Intervento B1 Ruine	563	525.5	487
Intervento B2 Ruine	541	503.5	465

Noti gli indici di rischio post-intervento, utilizzando la relazione [6] sono stati calcolati gli indici di efficacia per ogni combinazione di intervento.

Tab. 6 Indice di efficacia per le varie combinazioni di intervento proposte

Tab. 6 Effectiveness index for the various combination of intervention proposed

Indice Efficacia (IE)	Nessun intervento Scura	Intervento B3 Scura	Intervento B4 Scura
Nessun intervento Ruine	0.00	0.05	0.11
Intervento B1 Ruine	0.20	0.26	0.31
Intervento B2 Ruine	0.23	0.29	0.34

L'efficacia maggiore si ottiene ovviamente combinando gli interventi di bonifica più estensivi sui due siti; occorre però valutare se tale combinazione risulta ottimale anche dal punto di vista economico. Per far questo è stato calcolato, con la relazione [7], l'indice di merito di ciascuna combinazione di interventi.

Tab. 7 Indice di merito delle varie combinazioni di intervento proposte

Tab. 7 Efficiency index for the various combination of intervention proposed.

Indice di Merito (IM)	Nessun intervento Scura	Intervento B3 Scura	Intervento B4 Scura
Nessun intervento Ruine	-	0.22	0.18
Intervento B1 Ruine	2.57	0.81	0.46
Intervento B2 Ruine	0.57	0.44	0.34

Attraverso l'indice di merito è possibile identificare l'intervento che garantisce i maggiori benefici in relazione al suo costo. Nel caso in esame tale intervento è rappresentato dal ripristino delle opere di ritenuta danneggiate in zona di distacco del sito "Valle delle Ruine" (ipotesi B1, vedi Tab. 7), che a fronte di un costo relativamente basso (circa 250.000 Euro) comporta una sensibile riduzione dei livelli di rischi sull'area di fondovalle (vedi Tab. 5). Con una maggiore disponibilità economica appare preferibile intervenire (anche parzialmente) sul sito Valle Scura (ipotesi B3), piuttosto che estendere ulteriormente l'intervento sul sito Valle delle Ruine.

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stata proposta una metodologia di analisi innovativa per affrontare la gestione del problema valanghe ad un scala comunale. La metodologia si basa essenzialmente sulla predisposizione di una procedura semplificata di quantificazione del rischio. Tale valutazione è preliminare sia all'identificazione delle priorità di intervento che, per ciascuna di esse, alla valutazione dell'efficacia delle differenti possibili ipotesi di messa in sicurezza, effettuata mediante un "indice di merito" che fornisce una stima quantitativa del rapporto "costi-benefici".

La prima applicazione pratica della metodologia proposta ha fornito risultati incoraggianti, sebbene tale metodo allo stato attuale sia da intendersi esclusivamente come strumento di aiuto ragionato al decisore, non costituendo in alcun modo restrizione o vincolo.

Si desidera mettere in evidenza la valenza prettamente applicativa del metodo proposto. Metodologie più sofisticate per il calcolo del rischio di valanga sono state proposte recentemente in alcune pubblicazioni scientifiche (per una estensiva rassegna in merito si veda Barbolini *et al.*, in stampa(b)), ma il livello di complessità e l'onere computazionale delle stesse non le rende di fatto utilizzabili nella comune pratica ingegneristica.

BIBLIOGRAFIA

- Bagnold, R.A. 1954. Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. *Proc. R. Soc. London*, Ser. A, 225, 49-63.
- Barbolini, M. 1998. VARA one- and two-dimensional models. In Harbitz, C.B., ed. EU Programme SAME. A Survey of computational models for snow avalanche motion. Oslo, Norwegian Geotechnical Institute, 59-63. (NGI Report 581220-1.)
- Barbolini, M. 1999. Dense snow avalanches: computational models, hazard mapping and related uncertainties. (Ph.D. thesis, University of Pavia.)
- Barbolini, M., U. Gruber, C.J. Keyloch, M. Naaim and F. Savi. 2000. Application and evaluation of statistical and hydraulic-continuum dense-snow avalanche models to five real European sites. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 31(2), 133-149.
- Barbolini M., L. Natale and F. Savi. 2002(a). Effect of release condition uncertainty in avalanche hazard mapping. *Natural Hazards*, 25(3), 225-244.
- Barbolini, M., Keyloch, C.J. and Savi, F. 2002(b). Statistical methods for the evaluation of friction coefficients in avalanche hazard mapping. Presented at the II International Conference on Avalanches and Related Subjects, Kirovsk, Russia, September 3-7 2001. *Data of Glaciological Studies*, Publication n. 93, 88-99.
- Barbolini, M., Cappabianca, F. 2002. Determinazione della relazione tra distanze di arresto e tempi di ritorno delle valanghe: un nuovo metodo basato sull'analisi statistica dei dati storici. *Neve e Valanghe* n. 46, pp 14-23
- Barbolini, M., Cappabianca, F. e Savi, F. In Stampa(a). A new method for the estimation of avalanche exceedance probabilities. *Survey in Geophysics*.
- Barbolini, M., Cappabianca, F. e Savi, F. In Stampa(b). Risk assessment in avalanche prone areas. *Annals of Glaciology* n. 38.
- BFF/SLF. 1984. Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bundesamt für Forstwesen and Eidgen. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, EDMZ, CH-3000 Bern (In Tedesco, disponibile anche in versione italiana).
- Hopf, J. 1998. An Overview of Natural Hazard Zoning with Special Reference to Avalanches. In: Proceedings of the Anniversary Conference for the 25 Years of Snow Avalanche Research at NGI, Voss, Norway, 12–16 May, 1998, NGI Publications No. 203, 28-35.
- Natale, L., L. Nettuno and F. Savi. 1994. Numerical simulation of snow dense avalanche: an hydraulic approach. In Hamza M.H., ed, Proceedings of 24th International Conference on Modelling and Simulations, MS'94, 2--4 May 1994, Pittsburgh, Pennsylvania. Anaheim, CA, International Association of Science and technology Development (IASTED) Acta Press, 233-236.
- Salm, B., A. Burkard and H. Gubler. 1990. Berechnung von Fließlawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Eidg. Inst. Schnee- und Lawinenforsch. Mitt. 47.
- Voellmy, A. 1955. Über die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweiz. Bauztg., 73(12/15/17/19), 159-165, 212-217, 246-249, 280-285.