



Il rischio per la viabilità in ambiente montano

Il trasferimento alla pubblica Amministrazione dei costi sociali delle opere per eliminare i rischi naturali e per garantire la sicurezza degli abitati non elimina la responsabilità per il danno da "rischio consentito" a carico del progettista e dell'appaltatore.

**Alessandro Coccolo
Gabriele Peressi**

L'evoluzione della società e la maggior difficoltà ad accettare la compressione dei diritti dell'individuo ha portato ad elaborare strumenti giuridici sempre più raffinati, che consentono di trasferire all'Amministrazione pubblica i costi sociali degli opere di mitigazione dei rischi naturali altrimenti gravanti su chi ha la proprietà o la sorte di vivere nella zona interessata dagli interventi. A chi ha progettato e a chi ha realizzato l'opera si richiede, d'altra parte, uno sforzo di diligenza particolarmente intenso che garantisce l'esonero da responsabilità solo per il danno da rischio consentito, mentre pone a carico del responsabile il danno da rischio non consentito, con tutti i problemi applicativi connessi alla difficoltà di trovare una esatta linea di demarcazione tra l'uno e l'altro [17].

Sulla definizione di rischio (in

special modo di "rischio specifico") e dei vari parametri che concorrono alla sua individuazione si rimanda, per approfondimenti, alla letteratura scientifica riportata in bibliografia.

Il rischio specifico espresso in termini di probabilità annua, può comunque intendersi come "grado di perdita" atteso quale conseguenza di un particolare fenomeno naturale di una data intensità. Vi è difficoltà ad identificare univocamente una soglia di rischio accettabile assoluta; è necessario definire un rischio specifico accettabile per ogni tipo di elemento a rischio e per ogni tipo di pericolo.

Le analisi del rischio

L'analisi del rischio causato dai

dott. geol. Gabriele Peressi, Provincia di Udine, gabriele.peressi@provincia.udine.it
dott. ing. Alessandro Coccolo, CP Ingegneria - Gemona, eng@gruppo.ccp.it

UN PROBLEMA TECNICO CON CONDIZIONAMENTI SOCIO-ECONOMICI

La nozione di rischio naturale e, a maggior ragione di rischio accettabile, non è percepita nello stesso modo fra i diversi soggetti che si occupano di gestione e pianificazione del territorio il che, oltre sul quadro giuridico, ha forti incidenze sulle politiche di gestione dello stesso. Nella valutazione del rischio naturale lungo un'infrastruttura viaria è, però necessario variare, lungo il tracciato, i valori dei fattori di rischio considerati.

La stima del danno per problemi di questo tipo deve fare riferimento ai seguenti aspetti:

- importanza della viabilità;
- frequenza e durata dei passaggi ed intensità del traffico, anche in relazione alla funzione svolta nell'ambito del territorio attraversato;
- tipo di mezzi (passeggeri, lunghezza, velocità, ecc.);
- individuazione condizioni peggiori: direzione di percorrenza, angolo visuale, dimensione blocchi e loro visibilità, tempo di reazione e di arresto del mezzo, spazio di scarto;
- limiti imposti di velocità;
- impatto con il mezzo o arresto lungo la linea.

In ogni caso, la scelta degli interventi di sistemazione dei versanti e di protezione della sede stradale è fortemente condizionata dalla tipologia e dalla dimensione dei dissesti riscontrati lungo il tracciato.

È bene ricordare che qualsiasi intervento di sistemazione, per quanto imponente, non sarà mai in grado di annullare il rischio, ma potrà esclusivamente consentire di mitigarlo. Il problema si trasforma quindi da tecnico a politico, in quanto diventa necessario definire una soglia di rischio accettabile, in relazione a criteri socio-economici che includono un'analisi dei costi, dei danni e della probabilità di accadimento dell'evento calamitoso.

fenomeni franosi che interessano la viabilità è un'attività molto complessa che richiede una dettagliata conoscenza dei parametri e dei processi fisici che li governano, della vulnerabilità e del grado di esposizione del bene.

Nella presente trattazione si fa riferimento, in particolare, al rischio connesso con la perdita di vite umane.

Il rischio di perdita della vita umana si può definire come la probabilità annuale che un fenomeno franoso causi la morte di uno o più occupanti un veicolo.

Tale rischio $P(D)$ è dato dal prodotto tra la probabilità annuale di franamento, la probabilità che il veicolo si trovi spazialmente e temporalmente nella zona ove l'evento avviene, la probabilità che uno o più occupanti del veicolo muoiano a seguito dell'impatto.

Matematicamente $P(D)$ è calcolato da:

$$P(D) = P(l) \cdot [P(s) \cdot P(t)] \cdot P(d)$$

dove:

$P(l)$ è la probabilità annuale di franamento su una data sezione di viabilità; $P(s)$ è la probabilità che il percorso del fenomeno intersechi la posizione dove si trova il veicolo (probabilità spaziale dell'impatto);

$P(t)$ è la probabilità che il veicolo si trovi nel settore di viabilità durante il franamento (probabilità temporale di impatto);

$P(d)$ è la probabilità di morte di uno o più occupanti per impatto della frana con il veicolo.

Gli approcci statistici all'analisi del rischio sono molto elaborati e richiedono una grande quantità di dati

al fine di ricavare il tempo di ritorno del fenomeno franoso che, solitamente, non è conosciuto. La ragione di questo risiede nel fatto che le frane sono fenomeni piuttosto rari in una data porzione di territorio, report dettagliati di eventi franosi vengono compiuti solo nel caso si registrino danni urgenti a persone o cose. Ne consegue che calcoli sofisticati per l'analisi del rischio sono inadeguati, se confrontati con la qualità dei dati di input [3].

Per la viabilità un approccio compatibile con la qualità dei dati a disposizione è l'analisi ad albero (*event tree*). In questo tipo di analisi una probabilità di accadimento è assegnata a ciascun evento della sequenza che porta all'incidente [4].

Tale tipo di approccio è ormai consolidato in altri campi ingegneristici quali il rischio di incidente rilevante nell'industria o la valutazione del rischio sismico.

Il concetto di "rischio accettabile"

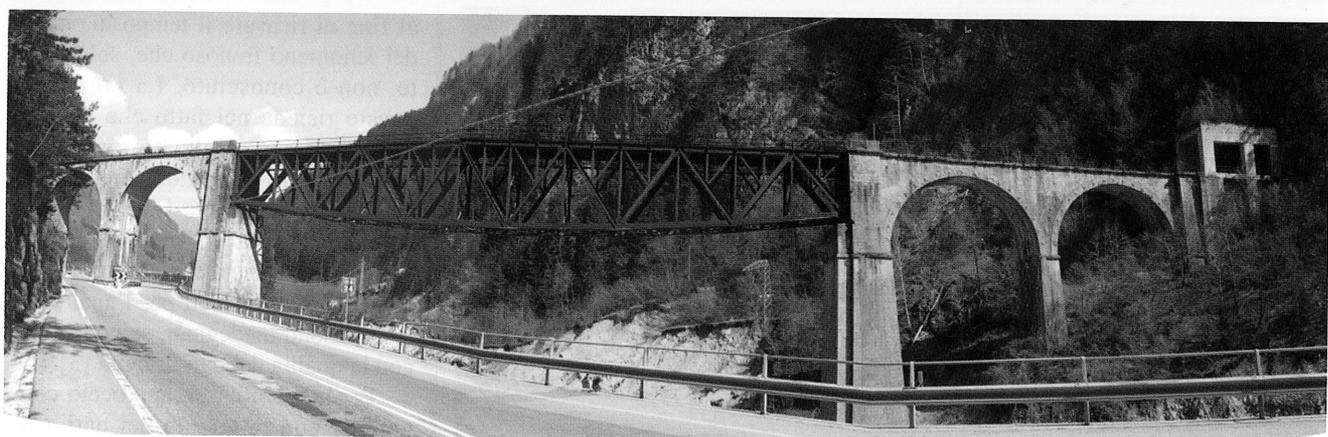
Nella definizione del rischio specifico accettabile per perdita di vita umana è necessario trattare l'argomento distinguendo tra vari gradi di rischio, precisamente:

- rischio volontario/involontario;
- rischio consapevole/inconsapevole;
- rischio accettabile/inaccettabile.

Da parte della popolazione vi è infatti maggior propensione ad accettare livelli di rischio "volontario" più elevati rispetto a quelli di rischio "involontario" (imposto) e, d'altra parte, l'accettabilità di un solo evento con molte vittime è minore di quella di un numero maggiore di eventi con una o poche vittime. Fell [11] afferma che una soglia di rischio specifico accettabile da popolazioni non consapevoli è comunemente assunta pari a 10^{-5} - 10^{-6} per anno, mentre quella per popolazioni consapevoli è di gran lunga superiore, tollerabile sino a 10^{-3} per anno. L'Australian Geomechanics Society rappresenta bene questo concetto attraverso un diagramma che rapporta magnitudo (rappresentata dal numero di morti per un dato evento) a frequenza (v. diagramma a pag. 17).

È evidente che tali valori sono soggettivi e influenzati dal contesto sociale di appartenenza.

Quanto sopra è stato evidenziato anche in recenti progetti europei (Lessloss, Riskydrogeo)[14][18]; ad esempio nel progetto Riskydrogeo si è visto che la nozione di rischio accetta-



bile non è percepita allo stesso modo nelle tre regioni partner (Val D'Aosta [I], Cantone Vallese [SUI], Rhône-Alps [FRA]), il che oltre che nel quadro giuridico, ha forti incidenze sulle politiche di gestione del territorio. L'aspetto geografico è anche determinante, poiché, per esempio, in Vallese e in Valle d'Aosta la quasi totalità del territorio, molto montuoso, è soggetta a rischi naturali siano essi geologici, idrologici o nivologici [14].

Nel Cantone del Vallese, la rilevanza e l'onnipresenza dei rischi constatati e, parallelamente, la necessità di permettere agli abitanti di insediarsi, porta a « convivere con il rischio ». La popolazione stessa sembra maggiormente consapevole di questa nozione di rischio, probabilmente meglio radicata culturalmente che in Valle d'Aosta o nella regione Rhône-Alpes, dove la popolazione delle zone montane ha conosciuto un notevole mescolamento, con il massiccio insediamento di residenti non portatori di una cultura montanara [14].

La nozione di rischio accettabile non viene poi contemplata dai magistrati italiani; il forte aumento dei ricorsi in giustizia, con la messa sotto accusa dei responsabili amministrativi, ha portato ad una politica che privilegia la realizzazione di lavori di protezione, a qualsiasi costo (la cosiddetta "messa in sicurezza"....). Tale pressione giuridica esiste allo stesso modo in Francia, dove viene per esempio applicato un principio di precauzione nella stesura dei PPR (Piani di Previsione del Rischio); l'evoluzione della giurisprudenza ha così comportato un irrigidimento della zonizzazione, con la conseguenza dell'inserimento di notevoli porzioni di territorio in zona inedificabile [14].

Il quadro normativo italiano

Attualmente in Italia la valutazio-

ne del rischio idrogeologico è realizzata principalmente dai Piani stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) che rappresentano lo strumento di pianificazione sovraordinato, in materia di difesa del territorio, ai piani redatti dagli enti locali.

Sotto il profilo normativo, purtroppo, il criterio che porta alla perimetrazione delle aree di pericolo oppure alle aree di rischio è praticamente identico; questo ha portato una certa confusione che si traduce anche in una difficoltà nella realizzazione dei piani e dei programmi di mitigazione del rischio.

In particolare il Progetto di Piani stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini del Tagliamento e dell'Isonzo che interessa gran parte del territorio della Regione Friuli Venezia Giulia ha perimetrato le aree a diversa pericolosità secondo il "metodo svizzero" predisposto dall'Ufficio Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft (BUWAL) della Confederazione Elvetica [12][13].

Lo stesso progetto di piano attribuisce poi agli elementi a rischio compresi all'interno delle aree di pericolosità un grado di rischio che è proporzionale al grado di pericolosità senza l'introduzione di una matrice o di un criterio metodologico e quindi, come ricordato all'inizio, di fatto senza una distinzione fra elementi e tipo di pericolo [8].

Il rischio caduta massi

La probabilità di impatto di un masso su di un veicolo può essere descritta mediante un processo spazio-temporale Poissoniano del tipo [2]:

$$P(X = x) = \frac{\lambda \cdot s \cdot t^x}{x!} \cdot e^{-\lambda \cdot s \cdot t}$$

in cui X indica la variabile casuale "numero di crolli accaduti all'interno dell'intervallo spazio-temporale "s-t",

λ rappresenta la frequenza spazio-temporale che dipende dal numero di eventi annuali che si verificano in una zona pericolosa di lunghezza "L". Inoltre "s" rappresenta l'intervallo spaziale di esposizione, tipicamente pari alla lunghezza del mezzo soggetto ad impatto, e "t" rappresenta l'intervallo temporale di esposizione, cioè lo "stazionamento" sulla zona di pericolosa.

La probabilità di avere $X=0$ crolli in uno specifico intervallo spazio-temporale "s-t" è allora:

$$P(X = 0) = \frac{\lambda \cdot s \cdot t^0}{0!} \cdot e^{-\lambda \cdot s \cdot t} = e^{-\lambda \cdot s \cdot t}$$

e, conseguentemente, la probabilità di avere almeno 1 crollo nell'intervallo spazio-temporale "s-t" è pari a:

$$P(X \geq 1) = 1 - P(X = 0) = 1 - e^{-\lambda \cdot s \cdot t}$$

In alternativa si arriva ad un risultato simile utilizzando la teoria degli esperimenti Bernoulliani e la distribuzione di proprietà binomiale [2]:

$$P(X = x) = \frac{n!}{n!(n-x)!} \cdot p^x \cdot (1-p)^{n-x}$$

analogamente nel caso di $X=0$ crolli si avrà

$$P(X = 0) = (1-p)^n$$

e quindi la probabilità di avere almeno un impatto su "n" potenziali eventi annuali sarà pari a:

$$P(X \geq 0) = 1 - P(X = 0) = [1 - (1-p)^n]$$

Quanto sopra ricavato andrà poi moltiplicato (come visto in *Le analisi del rischio*) per $P(V)$, ossia la vulnerabilità dell'elemento a rischio.

La pista ciclabile Alpe Adria un esempio di quantificazione del rischio

Il sedime della linea ferroviaria

Dall'alto in basso, un blocco intercettato da una barriera in località Cadramazzo; il diagramma schematico che mostra la frequenza o probabilità di franamento rapportata alla mortalità (adattato da Australian Geomechanics Society, 2000); il masso crollato in località Forte Badin (Chiusaforte); una antica opera di difesa realizzata con materiale ferroviario in località Cadramazzo. **Sopra il titolo**, il vallo paramassi in località Prerit di Sopra a nord di Dogna. **A lato**, l'opera d'arte più rappresentativa dell'ex-ferrovia Pontebbana: il viadotto in muratura e la travata metallica "Ponte di Muro".



Pontebbana fra le stazioni di Carnia e Coccau è stato dismesso a favore di un nuovo tracciato a doppio binario nel 1995 (sopra il titolo).

La tratta succitata è oggetto di un intervento di riconversione in viabilità ciclabile, la Comunità Montana del Gemonese, Canal del Ferro e Valcanale è delegata a realizzare il progetto esecutivo ed i lavori. Il tracciato attraversa numerosi settori che il Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) inserisce in zone a pericolosità P4 (molto elevata) ossia in zone al cui interno sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone.

Nel caso in esame è possibile fornire una stima delle frequenze spaziali e temporali dei crolli [7] attraverso il rilievo del numero dei massi rinvenuti sul sedime dal momento della dismissione della linea ferroviaria a tutt'oggi.

Cautelativamente si è assunta una vulnerabilità unitaria, si è considerato cioè che l'interazione blocco litoide-bicicletta corrisponda a morte certa per il ciclista e pertanto il rischio viene trattato come composizione di sole probabilità di accadimento.

Gli autori del progetto esaminano tre scenari distinti denominati rispettivamente "Scenario PAI", "Scenario realistico" e "Scenario Progetto". In tutti i casi vengono analizzate tre distinte situazioni di rischio, rispettivamente:

- rischio di impatto di un ciclista fermo in una zona pericolosa per un certo intervallo di tempo (30' in ogni zona);
- rischio di impatto per un ciclista che transita in una zona pericolosa per una certa velocità di percorrenza (12 km/h su di un mezzo della lunghezza

di 1,8 metri);

- rischio di impatto per una quantità giornaliera di ciclisti che transitano in una zona pericolosa ad una certa velocità di percorrenza e compatibile con il rischio accettabile arbitrariamente assunto dagli autori pari a $5 \cdot 10^{-4}$ sulla scorta di quanto proposta nella letteratura tecnica corrente e già introdotta al capitolo concetto di "rischio accettabile".

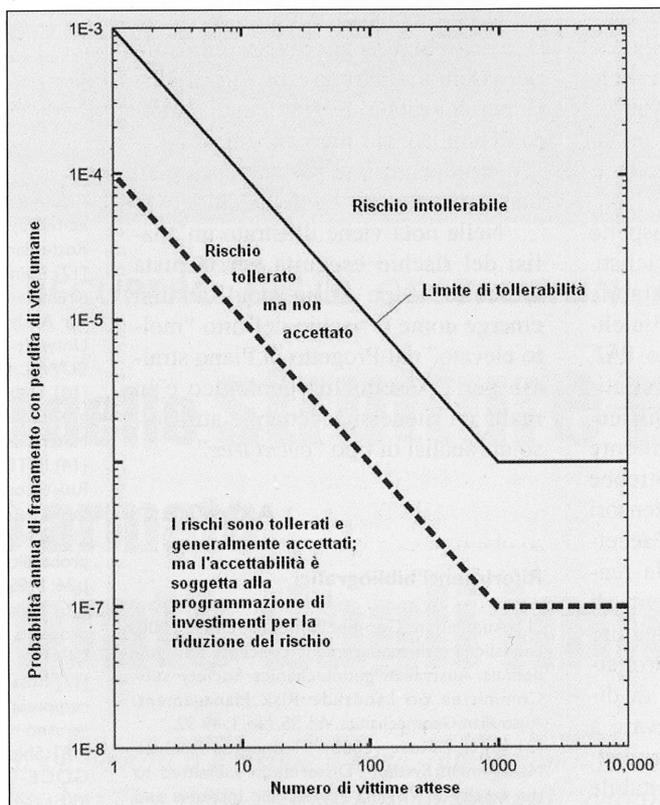
Tutte le situazioni descritte vengono trattate sia con approccio Poissoniano che Bernoulliano.

L'analisi dello "Scenario PAI"

Gli autori, conformemente alle indicazioni del PAI relative alla peggiore frequenza probabile possibile, ipotizzano una frequenza di una frana anno su ogni zona geomeccanicamente omogenea in cui è stato suddiviso il tracciato, considerata statisticamente indipendente dalla contigua ai fini della caduta massi. Si tratta di una situazione del tutto teorica che, come vedremo, nel caso specifico non corrisponde alla realtà.

L'analisi dello "Scenario Realistico"

I sopralluoghi effettuati dai professionisti incaricati dalla Comunità Montana lungo la tratta interessante i territori comunali di Chiusaforte e Dogna, pari a 12,7 km, hanno evidenziato sicuramente tre crolli dopo la data di chiusura per complessivi al più 6



blocchi "significativi e censibili" che hanno raggiunto il sedime ferroviario. Assumendo anche che parte dei blocchi ingaggiati dalle opere di difesa esistenti (fig. in alto) sia comunque ascrivibile a tale periodo, altri sette blocchi potrebbero essere messi in conto pervenendo così ad un totale di tredici blocchi crollati in 13 anni lungo tutto il tratto di pista in esame, il che corrisponderebbe a un blocco/anno su tutto il tratto di pista e di conseguenza a $1/30 = 0,033$ blocchi/anno su ogni zona geomeccanicamente omogenea in cui è stato suddiviso il tracciato. Cautelativamente gli autori hanno assunto nelle elaborazioni numeriche un valore più che doppio rispetto a quello rilevato e pari a 0,08 blocchi/anno per ogni zona (tra due e tre blocchi/anno sull'intera tratta).

L'analisi dello "Scenario Progetto"

Questo scenario differisce dallo "Scenario Realistico" in quanto in esso sono stati considerati gli interventi previsti nel progetto mentre le condizioni al contorno permangono immutate.

Al fine di tener conto delle opere in progetto gli autori hanno ridotto la probabilità di frana nelle zone oggetto di intervento di un fattore (assunto pari al 25%) rappresentante l'inefficacia delle opere [16]. In altre parole la probabilità di frana da 0,08 blocchi/anno viene ridotta a $0,08 \cdot 0,25 = 0,02$.

Le analisi eseguite sono riassunte nella tabella sottoriportata dalla quale si desume che la situazione è ampiamente accettabile rispetto alla ipotesi di ciclista fermo o di ciclista in moto uniforme. Ciò risulterebbe addirittura compatibile con le inverosimili previsioni di frana del PAI (primo scenario esaminato).

Discorso diverso va fatto rispetto ad un ammontare annuale di ciclisti. In questo caso il rischio accettabile è compatibile con $n = 730-1095$ ciclisti/anno nel caso dello scenario PAI, numero che sale a 12.045 ciclisti/anno nel caso di scenario realistico. Il primo numero è oggettivamente basso, ma anche il secondo potrebbe considerarsi, a parere degli estensori del progetto [7], al limite dell'accettabilità, tanto da giustificare la realizzazione di specifici interventi di difesa dalla caduta massi. In seguito alle elaborazioni condotte i progettisti osservano come le opere di difesa previste consentano di elevare a 18.615 il numero annuale di ciclisti compatibili con il rischio accettabile "a priori" ipotizzato.

Conclusioni

La presente nota esamina alcuni aspetti derivanti la gestione del rischio ed in particolare il concetto di rischio specifico accettabile.

Nel caso specifico della viabilità si fa riferimento al rischio connesso con la perdita di vite umane; un'analisi di probabilità incidentale che non tenga conto della probabilità annuale di franamento su una data sezione di viabilità, della probabilità che il percorso del fenomeno intersechi la posizione dove si trova il veicolo (probabilità spaziale dell'impatto) e della probabilità che il veicolo si trovi nel settore di viabilità durante il franamento (probabilità temporale di impatto) porta ad irrealistiche e soggettive valutazioni del rischio. L'eseguire la sola analisi di pericolosità o eseguire analisi molto dettagliate sui meccanismi di innescamento e propagazione portano spesso ad una errata percezione del rischio.

Nella nota viene illustrato un'analisi del rischio eseguita per la pista ciclabile "Alpe Adria", dall'analisi emerge come il rischio definito "molto elevato" dal Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico è in realtà da ritenersi accettabile attraverso un'analisi di tipo "event tree".

A.C. - G.P.

Riferimenti bibliografici

- [1] Australian Geomechanics Society 2000. Landslides risk management concepts and guidelines. Australian geomechanics Society sub-Committee on Landslide Risk Management. Australian Geomechanics, Vol. 35, No. 1: 49-92.
[2] Brett T. Rose (2005). "Tennessee Rockfall Management System". Dissertation submitted to the faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the require-

ments for the degree of Doctor of Philosophy In Civil Engineering, 100.

- [3] Budetta P. (2004). "Assessment of rockfall risk along roads". Department of Geotechnical Engineering, Section of Applied Geology, University of Naples "Federico II".
[4] Budetta P. (2002). "Risk assessment from debris flows in pyroclastic deposits along a motorway", Bull Eng Geol Env 61: pp. 293-301.
[5] Bunce, C.M., Cruden, D.M., and Morgenstern, N.R. (1997). "Assessment of the hazard from rock fall on a highway". Canadian Geotechnical Journal, 34: 344-356.
[6] Bunce, C.M., Cruden, D.M., and Morgenstern, N.R. (1998). "Assessment of the hazard from rock fall on a highway: Reply". Canadian Geotechnical Journal, 35: 410.
[7] Cocco A., Bosso F., Rota S. (2008). Pista Ciclabile "Alpe-Adria" tratto Dogna-Chiusaforte Progetto Definitivo ed Esecutivo delle Opere di Difesa dalla Caduta Massi - 1° intervento.
[8] Cocco A. (2003). Il rischio idraulico nei Piani di assetto idrogeologico; Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia, n. 4: pp. 10-13.
[9] Crispino M., Gattinoni P., Papini M. (2001). "Linee guida per la valutazione del rischio geologico lungo le infrastrutture viarie", XI convegno S.I.I.V.-Verona.
[10] Fell, R. (1994). "Landslide risk assessment and acceptable risk", Can. Geotech. J., 31, 261-272.
[11] Fell, R. and Hartford, D. (1997). "Landslide risk management, in: Landslide risk assessment", edited by: Cruden, D. and Fell, R., Balkema, A. A., Rotterdam, 51-109.
[12] Heinemann, H. R., Hollenstein, K., Kienholz, H., Krummenhacher, B., and Mani, P. (1998). "Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren", Umwelt-Materialien Nr. 85, Naturgefahren, BUWAL, Bern, 248.
[13] Heinemann, H. R. (1999). "Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren-Methode", Umwelt-Materialien, 107/1, Bern, 115.
[14] INTERREG III A Progetto n. 179 (ex n° 046) - RiskYdrogéogé «Risques hydro-géologiques en montagne: parades et surveillance», Relazione finale.
[15] McClungCan. D.M. (1999) "The encounter probability for mountain slope hazards", Geotech. J. 36: 1195-1196
[16] Paronuzzi P., Cocco A. (1995). "Crollo di progetto e affidabilità delle barriere paramassi", GEAM, n. 2-3: pp. 147-154.
[17] Russo C.. (2005) "Alcune questioni in tema di responsabilità penale per interventi di bonifica di versanti rocciosi", GEAM: pp. 101-106
[18] Sixth Framework Programme, Project n.: GOCE-CT-2003-505488, LESSLOSS "Risk Mitigation for Earthquakes and Landslides Integrated Project" - Deliverable 09.

Scenario	Situazione di rischio		Rischio calcolato	
			Approccio Poissoniano	Approccio Bernoulliano
PAI	Ciclista fermo		$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
PAI	Ciclista in corsa		$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$
PAI	N° ciclisti in corsa (anno)	730-1.095	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
REALISTICO	Ciclista fermo		$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
REALISTICO	Ciclista in corsa		$4,1 \cdot 10^{-8}$	$4,1 \cdot 10^{-8}$
REALISTICO	N° ciclisti in corsa (anno)	12.045	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
PROGETTO	Ciclista fermo		$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
PROGETTO	Ciclista in corsa		$2,7 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$
PROGETTO	N° ciclisti in corsa (anno)	18.615	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$

Tabella riassuntiva delle analisi condotte.