

seminario

Gorizia - 2 luglio 2011

Alcune tecniche di analisi del rischio indotto da frane

Ing. Monica Barbero

IV parte



AVAMIRI

MASTER DI 2° LIVELLO IN
ANALISI VALUTAZIONE E MITIGAZIONE
DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Analisi di rischio per frana con metodo svizzero (Riskplan)

La Svizzera ha intrapreso nel 1999 il progetto «Pericoli naturali» PLANAT, con lo scopo di elaborare una strategia globale ed integrata per il miglioramento della sicurezza contro i pericoli naturali.

Tale strategia si fonda sul principio che i pericoli naturali devono essere considerati nel loro contesto globale insieme con gli altri rischi e devono essere trattati nell'ambito di uno sviluppo sostenibile secondo gli aspetti economici, ecologici e sociali.

La strategia prevede l'adozione di sei misure con le quali si esige un impegno speciale da parte della Confederazione, dei cantoni, dei comuni e di ogni singolo individuo:

- definire gli obiettivi di protezione per le persone e per le cose
- considerare di uguale valore i settori della prevenzione, dell'intervento e del ripristino, nell'ambito dei pericoli naturali
- chiarire il quadro legale entro il quale sono trattati i rischi residui
- avviare le necessarie attività volte a migliorare le strategie da seguire nell'ambito dei pericoli naturali e rafforzare le attività d'aggiornamento e post-formazione orientate alla pratica
- incrementare la collaborazione internazionale nel settore dei pericoli naturali
- promuovere studi periodici sulla valutazione dell'evoluzione dei pericoli e dei rischi e sui possibili cambiamenti della vulnerabilità dei sistemi. Verificare periodicamente l'efficacia e l'efficienza delle misure adottate.

Per diffondere nella società un'adeguata cultura del rischio e rafforzare la percezione del rischio stesso è di grande importanza un'ampia informazione: informazione degli specialisti e dell'opinione pubblica, coinvolgimento di tutti gli attori nel dibattito sul rischio per quel che concerne gli obiettivi e le misure di protezione.

Definizione degli elementi a rischio e del loro valore

- vita umana (ha la priorità sugli altri elementi a rischio): gli indicatori di danno sono la morte ed il rischio di morte
- beni materiali e immobili: si fonda su considerazioni di natura economica, tenendo in conto anche i costi indiretti provocati da un evento dannoso
- infrastrutture e beni culturali: deve tener conto della funzione e dell'importanza delle infrastrutture da proteggere
- comunità politiche (comuni, regioni..) che possono subire, nel caso di grandi catastrofi, notevoli disfunzioni nell'espletamento delle loro funzioni

- sistemi socio-economici (aziende di produzione e servizi) la cui sopravvivenza può essere messa in pericolo

Analisi del rischio

L'analisi del rischio prevede le seguenti fasi:

- definizione degli obiettivi dell'analisi del rischio, delimitazione e descrizione della zona di studio
- analisi dei pericoli: analisi degli eventi, per la definizione degli scenari determinanti e della relativa probabilità di accadimento, e analisi degli effetti, per la definizione delle intensità e del grado di pericolosità
- analisi dell'esposizione: identificazione della tipologia e dell'ubicazione degli elementi a rischio (ad esempio persone, beni materiali) nonché della loro presenza nel tempo e nello spazio (situazioni di esposizione).

- definizione del danno: è condotta considerando i danni diretti e quelli indiretti. Le caratteristiche che devono essere considerate per ciascun elemento a rischio, per entrambe le tipologie di danno, sono:

Categoria di beni	Grandezze e caratteristiche per i danni diretti
Edifici, oggetti particolari	Posizione, numero edifici, numero di persone per edificio, valore venale
Infrastrutture	Posizione, utilizzazione, tipologia di costruzione, protezione diretta, valore venale
Strade, ferrovie	Posizione, lunghezza, grado d'occupazione
Impianti di risalita	Tipo, valore venale, protezione diretta
Condotte di approvvigionamento	Posizione, lunghezza, valore venale, protezione diretta
Agricoltura	Posizione, superficie, valore venale
Bosco	Posizione, superficie, valore venale
Superfici di svago	Posizione, superficie, valore venale
Categoria di beni	Grandezze e caratteristiche per i danni indiretti
Edifici, oggetti particolari, artigianato, industria	Costi derivanti dall'interruzione d'esercizio
Infrastrutture	Costi derivanti dall'interruzione
Strade, ferrovie, impianti di risalita	Costi derivanti dall'interruzione
Condotte di approvvigionamento	Costi derivanti dall'interruzione
Agricoltura	Perdita d'esercizio o perdita del raccolto
Bosco	Perdita della funzione di protezione contro i pericoli naturali
Superfici di svago	Perdita di profitto

- analisi delle conseguenze: definizione dell'entità dei danni per i singoli oggetti, della sensibilità al danno (vulnerabilità, variabile da 0 a 1), della probabilità di accadimento spaziale del processo, della probabilità di presenza di eventuali protezioni dirette
- determinazione e rappresentazione del rischio: devono essere stabiliti i rischi sia per le persone che per i beni materiali e devono sempre essere rappresentati separatamente. I rischi per le persone sono suddivisi in rischi collettivi e rischi individuali e anche questi devono essere rappresentati separatamente
- valutazione del rischio: una volta valutato il rischio occorre definire se la società può tollerare i rischi accertati o se questi devono essere ridotti

Accettabilità del rischio

Categoria di rischio	Rischio di morte individuale Valore massimo per anno della probabilità di morte	Rischio collettivo Valore limite per caso di decesso evitato [milione di CHF]	Esempio
Categoria 1 100 % volontario	$10^{-2} - 10^{-3}$	1 - 2	Persone che volutamente non osservano gli sbarramenti in caso di di forte pericolo
Categoria 2 Elevato senso di responsabilità	$10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$	2 - 5	Persone in grado di giudicare la situazione di pericolo e di affrontarla consapevolmente
Categoria 3 Scarso senso di responsabilità	$2 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-5}$	5 - 10	Persone molto o totalmente indifferenti al problema; affrontano i rischi più a meno involontariamente
Categoria 4 100 % involontario	$3 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-6}$	10 - 20	

Calcolo del rischio: programma RiskPlan

RiskPlan è uno strumento di calcolo e di gestione per la stima dei rischi in determinate zone d'azione e per la valutazione del rapporto tra i costi e i benefici delle misure di protezione.

Con RISKPLAN è possibile analizzare on-line (<http://www.riskplan.admin.ch>) diverse zone soggette a pericolo e diversi processi per ottenere una visione, a livello regionale, dei rischi incombenti. Oltre che per i rischi derivanti dai pericoli naturali, questo strumento è adatto anche per la valutazione di rischi tecnici e sociali.

1° esempio di applicazione del metodo RiskPlan

- fenomeni di crollo
- piccola scala (versante)

Caso di studio: Valle Divedro

Comune di Trasquera

Località Balmanolesca

- Tipologie di instabilità: crolli
- Elementi a rischio: tratto di strada statale SS 33 del Sempione
- Probabilità temporale: 1 crollo ogni 25 anni

Analisi di pericolosità

la simulazione di caduta massi è stata eseguita con metodo statistico tridimensionale implementato nel programma Rotomap GIS.

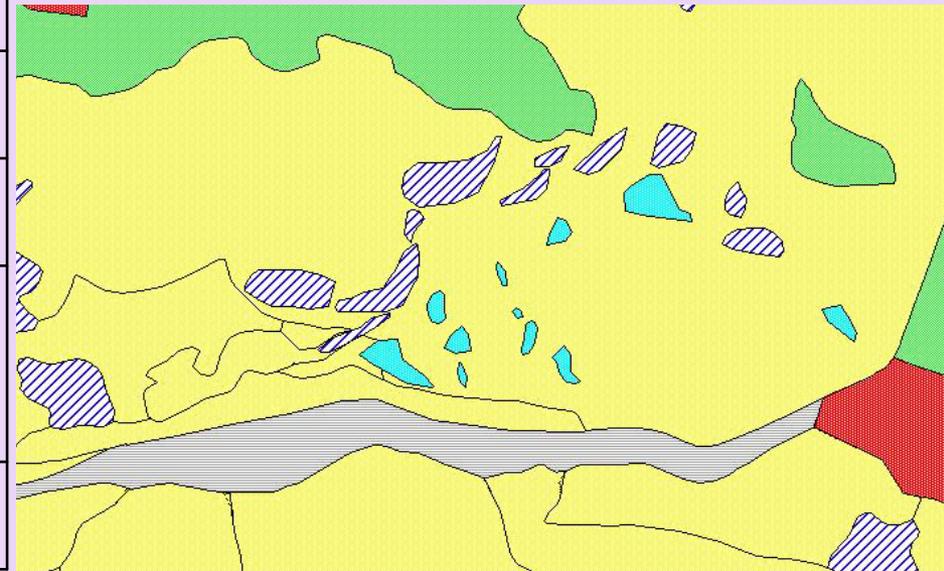
- Aree di distacco: sono state individuate da analisi geomorfologica
- Probabilità di distacco: è stata assunta pari a 100% per ogni area

aree di
distacco

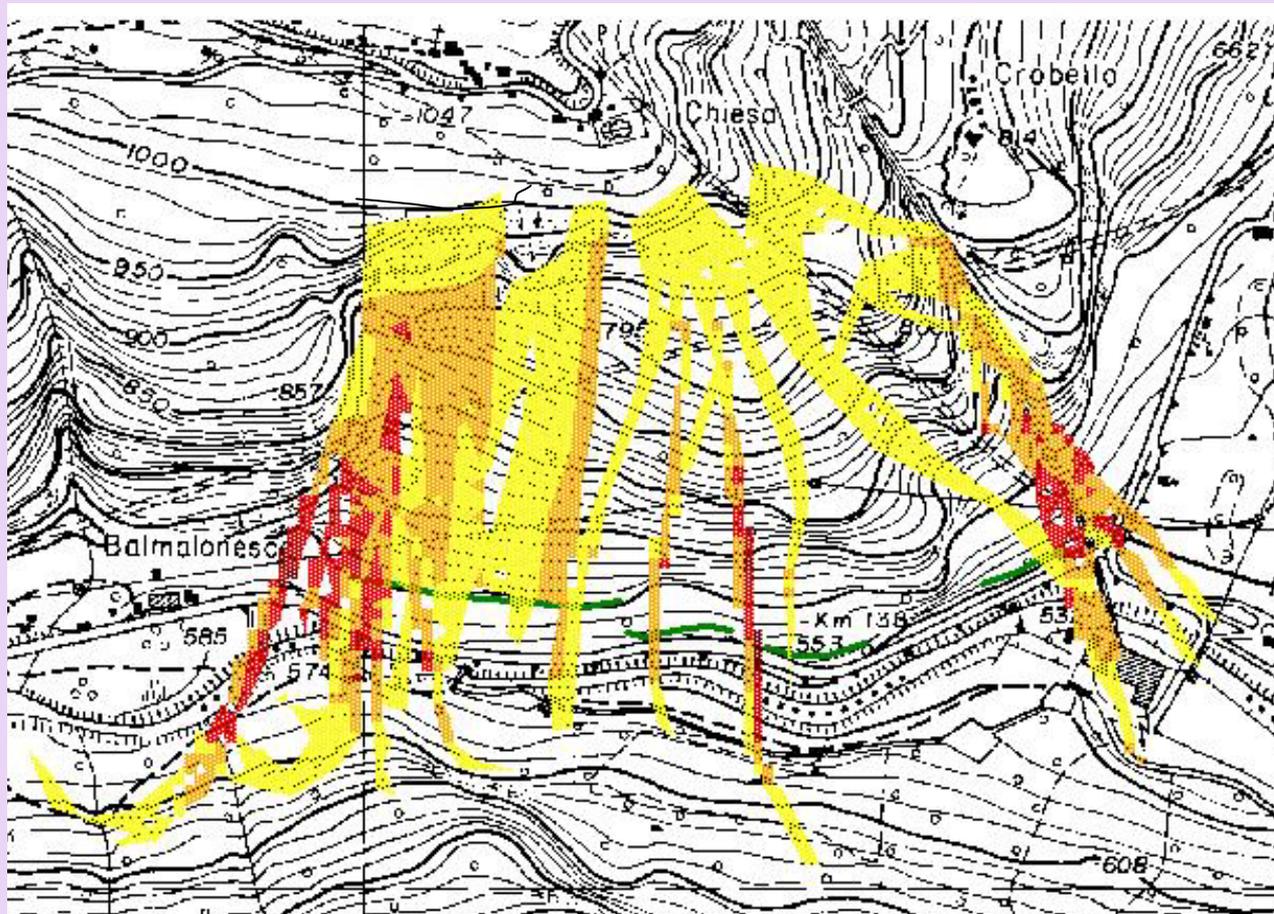


- Volume caratteristico del blocco: 5 m^3 , pari a circa 12500 kg
- Velocità al distacco: da 0.1m/s a 0.5 m/s
- Parametri meccanici dei materiali

Materiale	Colore	Kn	Kt	Ca
Pendio ricoperto d'erba	verde	0.3	0.25	0.4
Pendio con vegetazione	giallo	0.32	0.8	0.8
Roccia affiorante	blu	0.83	0.33	0.58
Materiale detritico misto a grandi blocchi	azzurro	0.45	0.8	0.55
Pavimentazione stradale	grigio	0.4	0.9	0.3

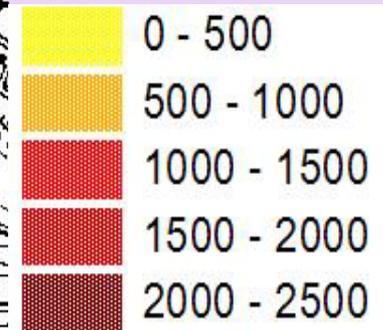


- risultati: intensità del fenomeno e area di invasione



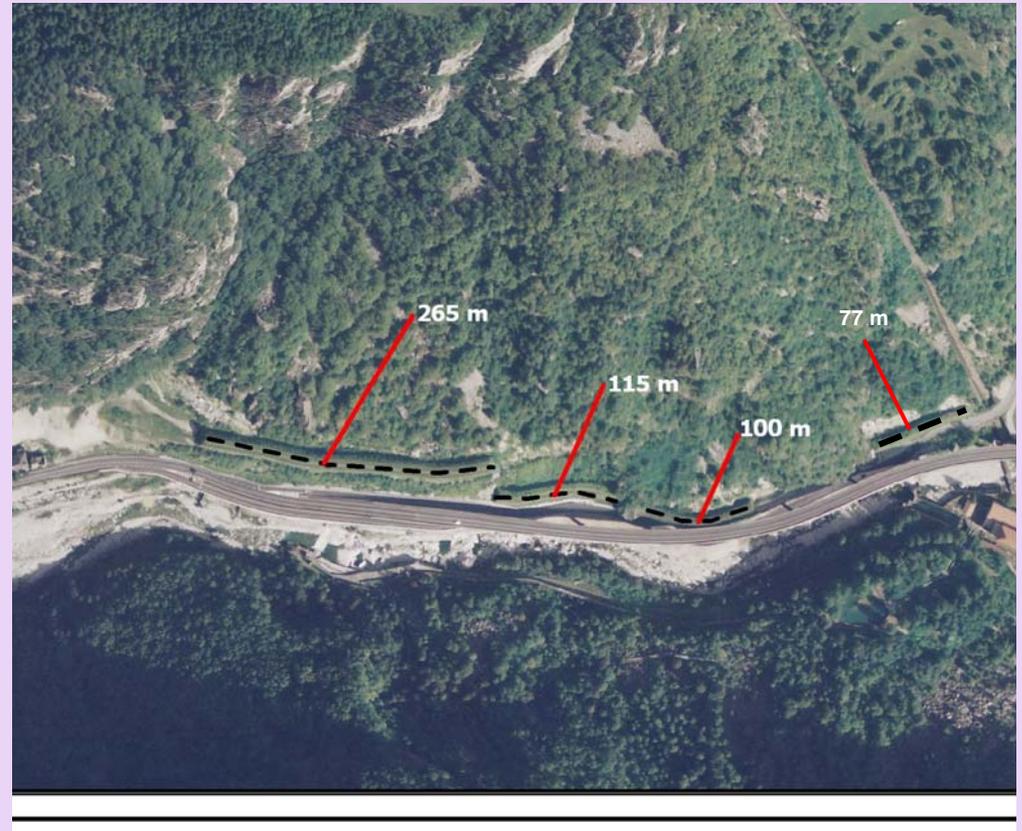
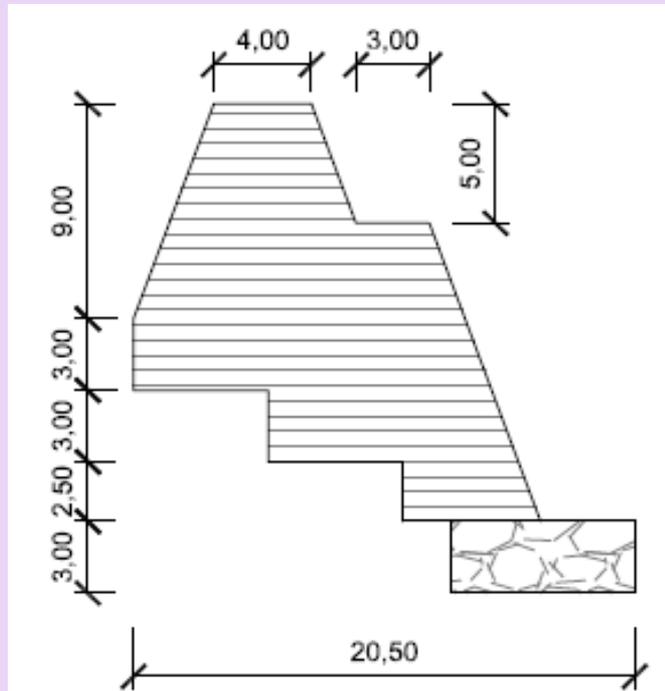
**Energia cinetica
specifica massima**

$\approx 2000-2500 \text{ J/kg}$

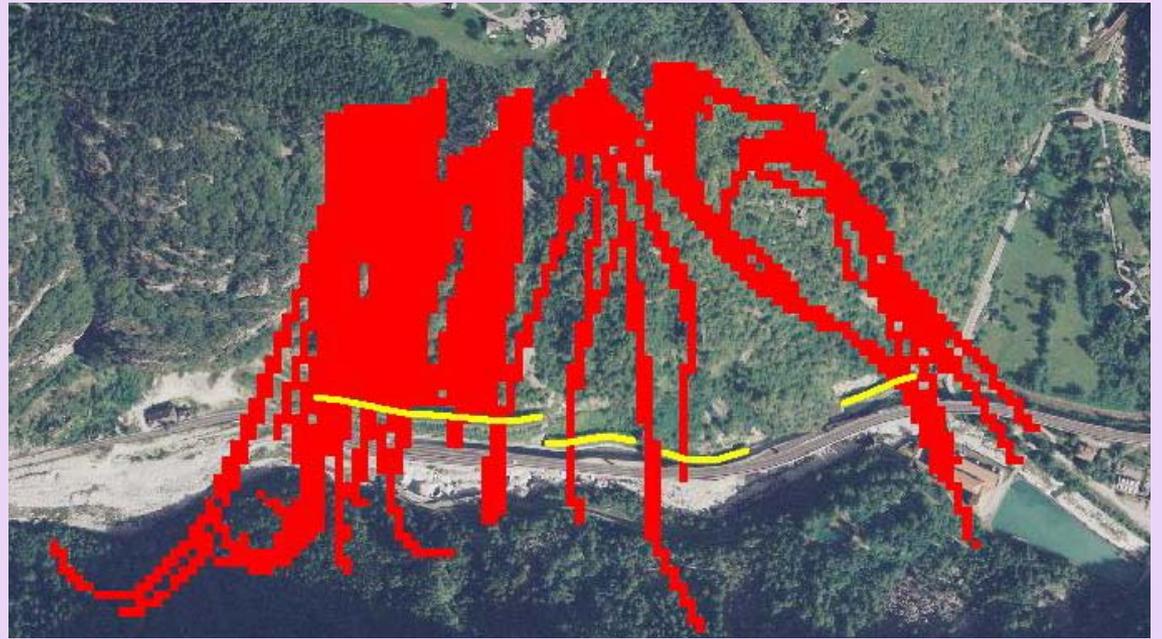


Definizione di opere di mitigazione

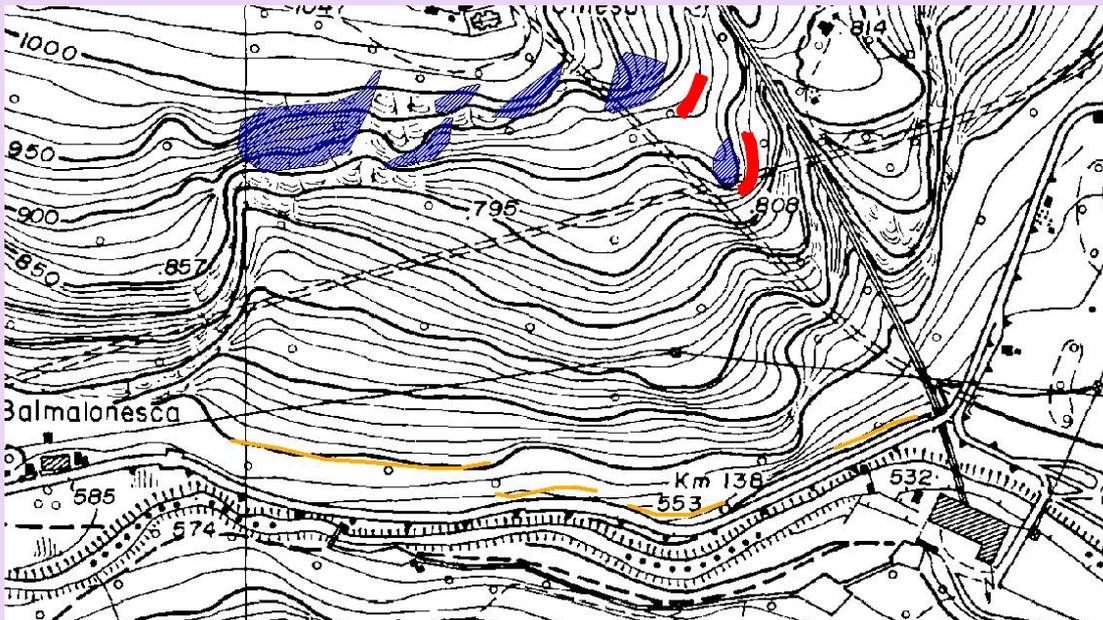
- Opere esistenti: 4 rilevati paramassi in terra rinforzata



Confrontando la disposizione delle opere in relazione alle aree di invasione ottenute dalle analisi di evoluzione si osserva che le zone A, B e C non risultano difese



- Opere integrative
 - tratto A: disgaggio dei blocchi potenzialmente instabili e l'eventuale posa di rete in aderenza rinforzata con chiodatura
 - Tratto B: prolungamento dei rilevati paramassi presenti oppure costruzione di un nuovo tratto di rilevato, a congiunzione dei due esistenti
 - Tratto C: 2 file di barriere paramassi immediatamente a valle delle aree di distacco dei massi, ove la morfologia del versante consente l'installazione delle opere



Fila di monte:

barriere da 5000 kJ, altezza
3m, sviluppo circa 35 m

Fila di valle:

barriere da 3000 kJ, altezza
2m, sviluppo circa 60 m

Valore degli elementi a rischio

Gli elementi a rischio sono la strada SS 33 del Sempione, i veicoli che vi transitano e le persone eventualmente presenti perché occupanti dei veicoli stessi.

Nel caso di incidenti stradali causati da eventi naturali occorre distinguere due scenari di danno:

- Il veicolo è colpito direttamente dall'evento: la probabilità di accadimento di questo scenario dipende dalla frequenza dei veicoli, dalla velocità media e dalla lunghezza del tratto soggetto a pericolo
- Il veicolo urta contro il materiale depositato precedentemente dal processo di instabilità: questo scenario dipende dalla situazione del tratto soggetto a pericolo e dalla visibilità.

si deve individuare il valore in termini monetari:

- beni fisici: costo di ripristino o di ricostruzione
- interruzione di attività o servizi
- vita umana: quota in denaro che la società è disposta a investire per impedire un caso mortale (5 milioni di franchi svizzeri per ogni vittima evitata)

Si è dunque eseguita la seguente valutazione dei costi:

- Rilevati paramassi esistenti (costo di realizzazione): circa 2300 €/m; per una lunghezza complessiva pari a 557 m, occorre un totale di circa 1'281'100 €
- manutenzione rilevati: circa 100 €/m, per un totale di circa 55700 €; la manutenzione è prevista ogni 5 anni, quindi il costo annuo è circa 11140€
- Nuovo tratto di rilevato: lunghezza di 20 m e altezza 8 m, costo al metro lineare 1'864 €/m, costo totale di circa 37280 €

- manutenzione nuovo rilevato: costo annuo di circa 400 €
- sede stradale (danni diretti): ripristino del danno strutturale causato dai blocchi che impattano la sede stradale, richiede una spesa totale circa 728 €/m. In assenza di opere di difesa, il costo totale sarebbe di 691699 €. Considerando di dover intervenire solo nei tratti non protetti dalle barriere esistenti, il costo totale sarebbe circa 182'000 €
- barriere paramassi: 54600 € per la fila di monte, 36000 € per la fila di valle
- persone coinvolte: si considera una quantità variabile compresa tra 0 e 4 (numero medio di persone occupanti un veicolo)

Il programma calcola i costi annui considerando un tasso di interesse di 2%.

Calcolo del rischio

Il programma calcola il rischio totale come segue:

- Costo per le persone:

$$C_{persone} = f \cdot n \cdot C_{persona}$$

f = frequenza di accadimento del fenomeno;

n = numero di persone coinvolte (valore medio);

$C_{persona}$ = valutazione monetaria di una vita umana

- Costo per danni materiali:

$$C_{oggetti} = f \cdot C_{oggetti}$$

f = frequenza di accadimento del fenomeno;

$C_{oggetti}$ = costo per la riparazione dei danni materiali (valore medio).

Assenza di opere di difesa

Scenario	Normal course Probability: 100%	
Scenario Tr = 25 Recurrence rate: 0.04 Frequency: 0.04	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	0	4
	Material damage per event	
	10 000 EUR	691 600 EUR
	 	

Quantificazione delle vittime e dei danni materiali

— Overview of total annual risk	
Specification of value	with weighting (aversion)
Annual risk of fatalities (number)	0.08
Annual risk of fatalities (monetised)	400 000 EUR
Annual risk to material assets	14 032 EUR
Total annual risk	414 032 EUR

Rischio annuo totale in assenza di opere di difesa [€]

Presenza delle opere di difesa esistenti (rilevati)

Scenario	Normal course Probability: 100%	
Scenario Tr = 25 Recurrence rate: 0.04 Frequency: 0.04	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	0	0
	Material damage per event	
	1 000 EUR	182 000 EUR
	 	

Quantificazione delle vittime e dei danni materiali

— Overview of total annual risk	
Specification of value	with weighting (aversion)
Annual risk of fatalities (number)	0
Annual risk of fatalities (monetised)	0 EUR
Annual risk to material assets	3 660 EUR
Total annual risk	3 660 EUR
Risk reduction in the object area	410 372 EUR

Rischio annuo totale in presenza delle opere esistenti [€]

Presenza delle opere di difesa integrative (rilevato + barriera)

Scenario	Normal course Probability: 100%	
	Minimum value	Maximum value
Scenario Tr = 25 Recurrence rate: 0.04 Frequency: 0.04	Number of fatalities per event	
	0	0
	Material damage per event	
	0 EUR	65 520 EUR
 		

Quantificazione delle vittime e dei danni materiali

Annual risk of fatalities (number)	0
Annual risk of fatalities (monetised)	0 EUR
Annual risk to material assets	1 310 EUR
Total annual risk	1 310 EUR
Risk reduction in the object area	412 722 EUR

Rischio annuo totale in presenza delle opere esistenti [€]

Confronto tra i valori di rischio

Croli			
Situation	Risk to human life	Risk to material assets	Total risk
Istzustand	400 000 EUR	14 032 EUR	414 032 EUR
Rilevati Paramassi	0 EUR	3 660 EUR	3 660 EUR
Ipotesi di sistemazione	0 EUR	1 310 EUR	1 310 EUR

Measure Rilevati Paramassi (100 years)

Investment costs/Investitionskosten	1 281 100 EUR
Maintenance/operating costs	11 140 EUR
Annual costs	36 762 EUR

Hazard process	Risk following implementation of measures	Risk reduction	Cost/benefit factor
Croli	3 660 EUR	410 372 EUR	11.1629
Totals for hazard processes	3 660 EUR	410 372 EUR	11.1629

Package of measures Ipotesi di sistemazione

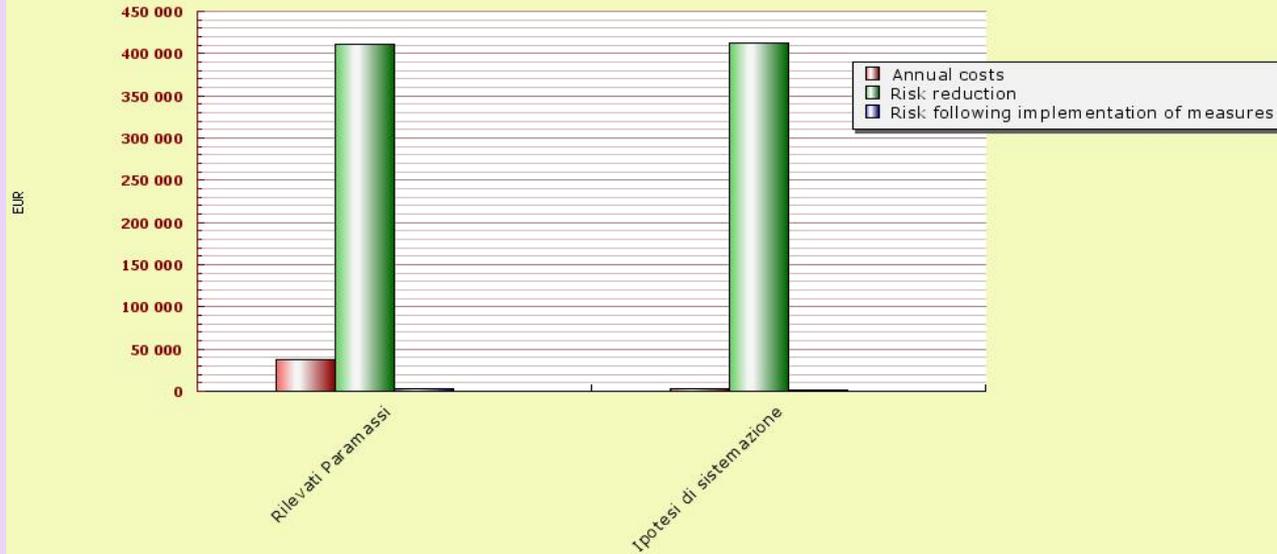
Investment costs	127 880 EUR
Maintenance/operating costs	400 EUR
Annual costs	3 277 EUR

Hazard process	Risk following implementation of measures	Risk reduction	Cost/benefit factor
Croli	1 310 EUR	412 722 EUR	125.9449
Totals for hazard processes	1 310 EUR	412 722 EUR	125.9449

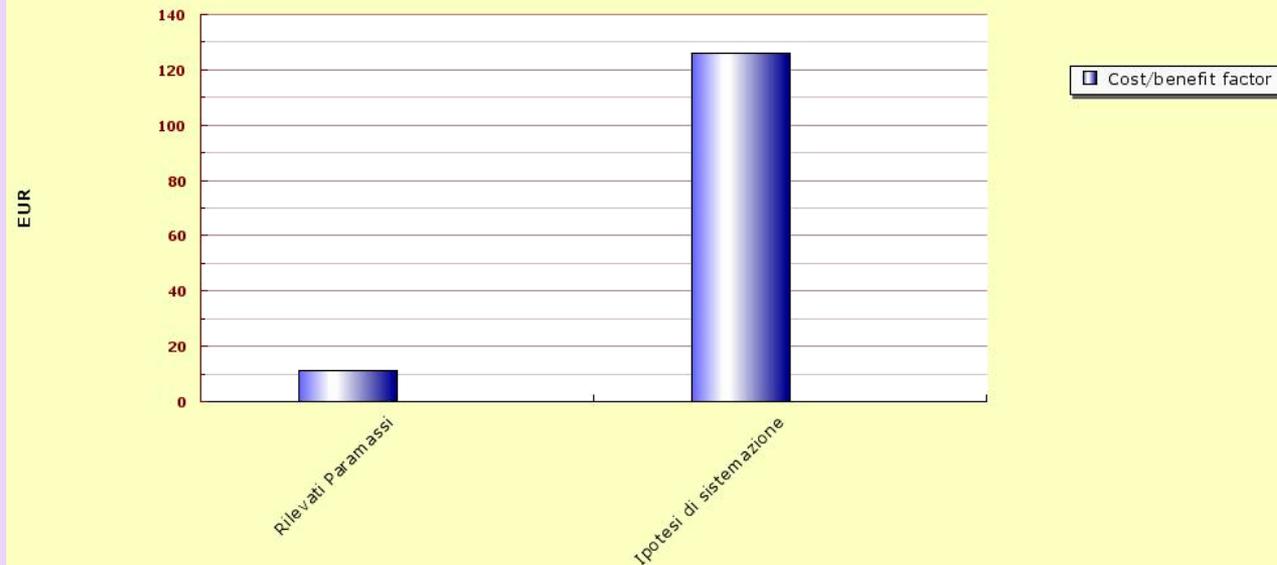
Rapporto costi/benefici: $f = \frac{\text{riduzione del rischio}}{\text{costi annuali delle opere}}$

Riduzione del rischio e rapporto costi/benefici

Costs, risk reduction and risks following implementation of measure/packages of measures in hazard area - without weighting



Cost/benefit factor for measures/packages of measures in assessment area - without weighting



Rapporto costi/benefici

Il rapporto costi/benefici calcolato nel caso di opere presenti + integrative (126) considera il costo delle sole nuove opere di difesa; la riduzione di rischio considerata è, però, prodotta sia dai rilevati paramassi già presenti, sia dalle nuove opere proposte. Il costo annuale delle opere, ottenuto sommando i costi relativi alle diverse tipologie di intervento, ammonta a 40'039 € (36'762 € per i rilevati già in opera e 3'277 € per le nuove opere) . Il fattore f è dunque pari a 10.31.

Il criterio RiskPlan considera che la spesa per un'opera di protezione è sostenibile solamente se ogni 1 € destinato all'investimento annuale per tale opera permette di ridurre il rischio, a cui l'area è soggetta, di almeno 1 €.

La linea di riduzione dei costi, e quindi anche del rischio, si deve trovare al di sotto della linea tratteggiata rossa, che rappresenta l'investimento limite che la società è disposta a fare.



2° esempio di applicazione del metodo RiskPlan

- frane superficiali
- grande scala (valle)

Caso di studio: Valle Divedro

- Tipologie di instabilità: scivolamenti superficiali

Analisi di pericolosità

Lo studio dell'evoluzione dei fenomeni di scivolamento superficiale è stato condotto utilizzando il codice di calcolo S.L.A.P. (Shallow Landslides Analysis Package); si tratta di un'estensione del programma ArcView 3.1, sviluppato da Arpa Piemonte sulla base del modello di instabilità meccanico-idrologico di Montgomery & Dietrich (1994).

Il software ha permesso di valutare le zone stabili e quelle instabili in base ai dati geotecnici, idrologici e di bacino, inseriti nella maschera. Gli stessi dati di input hanno permesso di calcolare anche la pioggia critica necessaria a rendere la zona instabile.

Il modello meccanico-idrologico di Montgomery & Dietrich assume le seguenti ipotesi semplificative:

- il suolo si considera saturo
- le condizioni di deflusso si considerano stazionarie

L'assunzione di un flusso idrico nel versante di tipo stazionario, in equilibrio con l'afflusso medio nelle 24 ore precedenti, implica la necessità di considerare eventi pluviometrici di lunga durata, superiori almeno alle 24 ore, che non siano preceduti da periodi prolungati privi di precipitazioni. Solo in questo modo l'ipotesi di base del modello può essere ritenuta plausibile.

Il transitorio legato all'infiltrazione della pioggia nel pendio viene sostanzialmente trascurato. Esso è fortemente condizionato dalle piogge di forte intensità e breve durata e deve essere trattato con approcci dedicati

Il metodo di Montgomery & Dietrich prevede due principali fasi di attività:

1. analisi delle componenti meccanica e idrologica (modello di stabilità)
2. valutazione del contributo dell'infiltrazione delle piogge
 1. Modello di stabilità

Il metodo accoppia un modello idrologico ed uno di stabilità dei pendii all'equilibrio limite. Le principali assunzioni sono:

- pendio indefinito
- superficie di rottura piana parallela al pendio e localizzata al contatto tra coltre detritica superficiale e substrato
- criterio di resistenza del terreno secondo Mohr-Coulomb espresso in termini di tensioni efficaci;
- flusso stazionario parallelo al pendio;
- assenza di drenaggio profondo e di flusso nel substrato.

Al crescere dell'altezza h dello strato di terreno saturo corrisponde una diminuzione della tensione agente normalmente al piano di rottura e , di conseguenza, della resistenza al taglio disponibile. h è riferita allo spessore della coltre z :

$$\frac{h}{z} = \left(\frac{q}{T} \right) \times \left(\frac{a}{b \times \sin \theta} \right) = W$$

Termine idrologico

Termine topografico

in cui:

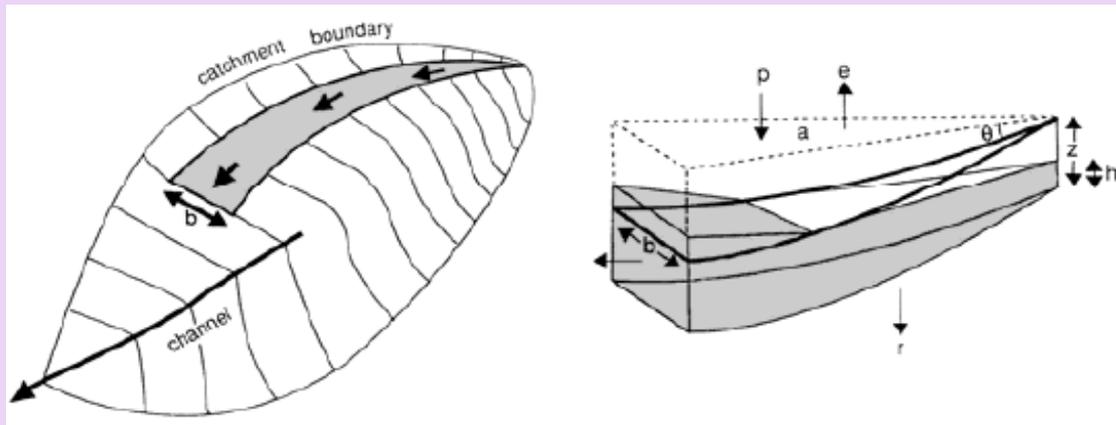
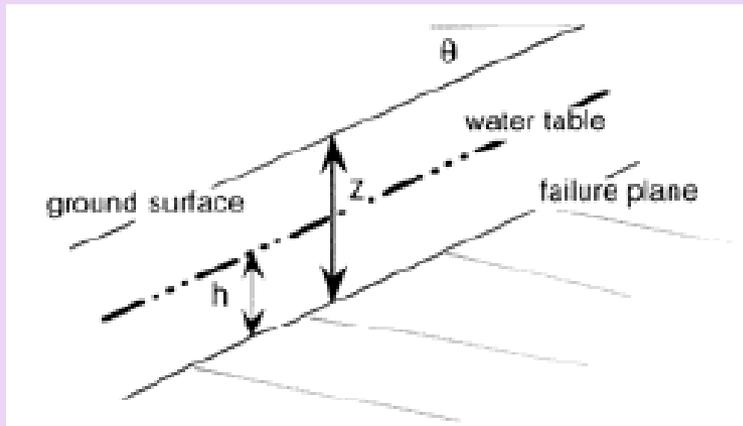
q = pioggia netta infiltrata;

$T = Kz \cos \theta$ = trasmissività idraulica;

a = area contribuente (totale delle celle con flusso diretto verso la cella in esame)

b = larghezza della sezione di deflusso;

θ = inclinazione del versante.



Fattore di sicurezza F , nel caso di pendio indefinito con filtrazione parallela alla superficie:

$$F = \frac{c' + (\gamma - W \times \gamma_w) \times z \times \cos^2 \vartheta \times \tan \varphi'}{\gamma \times z \times \sin \vartheta \times \cos \vartheta}$$

la condizione di instabilità per ciascuna cella del dominio è espressa dalla seguente relazione:

$$\frac{a}{b} \geq \left[\frac{c'}{\gamma_w \times z \times \cos^2 \vartheta \times \tan \varphi'} + \frac{\gamma}{\gamma_w} \left(1 - \frac{\tan \vartheta}{\tan \varphi'} \right) \right] \frac{T}{q} \times \sin \vartheta$$

Le celle in condizioni di assoluta stabilità (stabili anche quando il terreno è saturo, $W=1$) soddisfano la:

$$\tan \vartheta \leq \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma} \right) \times \tan \varphi'$$

Le celle in condizioni di assoluta instabilità (instabili anche in assenza di pioggia) soddisfano la:

$$\tan \vartheta \geq \frac{c'}{\gamma \times z \times \cos^2 \vartheta} + \tan \varphi'$$

Uguagliando i due termini della disequazione generale (equilibrio limite, $F=1$) e risolvendo rispetto a q , si ottiene la soglia di infiltrazione critica che porta a condizioni di equilibrio limite:

$$q_{cr} = \left[\frac{c'}{\gamma_w \times z \times \cos^2 \vartheta \times \tan \varphi'} + \frac{\gamma}{\gamma_w} \left(1 - \frac{\tan \vartheta}{\tan \varphi'} \right) \right] \frac{T \times b}{a} \times \sin \vartheta$$

2. Modello di infiltrazione

Per la valutazione della componente di pioggia netta infiltrata, q , necessaria al modello di stabilità si è fatto riferimento al modello di infiltrazione di Green & Ampt (1911). Tale modello stima il tasso di infiltrazione ipotizzando un profilo di umidità nel suolo di tipo semplificato che consente di ottenere una soluzione analitica dell'equazione che descrive il processo fisico dell'infiltrazione.

Per l'applicazione del modello occorre conoscere tre parametri:

- la porosità n
- la conducibilità idraulica K , che corrisponde alla permeabilità del suolo saturo
- la tensione al fronte di infiltrazione, ψ , che corrisponde alla risalita della frangia capillare satura

Una volta calcolata la soglia di infiltrazione critica q_{cr} si deve calcolare la pioggia lorda che la genera.

Si valuta infine il tempo di ritorno: nel caso di precipitazione intensa è usuale misurare la magnitudine dell'evento in termini di altezza di pioggia caduta in un determinato intervallo di tempo. Si ricorre ad una serie di curve nel piano altezza-durata della precipitazione che, ad assegnato tempo di ritorno, definiscono il valore atteso dell'altezza di precipitazione per ogni durata dell'evento: sono le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP).

Nel caso in esame, per la determinazione delle LSPP si sono utilizzati i dati dei rapporti VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) del CNR-GNDCI (2000). Essi forniscono una base statistica che consente l'individuazione dei tempi di ritorno associati alle altezze massime di precipitazione di durata pari a 1, 3, 6, 12, e 24 ore su tutto il territorio italiano.

Dati di ingresso

Ad ogni cella della mappa digitale si sono assegnati i parametri di ingresso del modello:

Pendenza dei versanti

Aree di drenaggio

Lunghezze delle sezioni di deflusso

Condizione di stabilità (0) o instabilità (1)

Coesione efficace (tra 0 e 9 kPa)

Spessore coltre potenzialmente instabile (1m, 1.5 m, 2 m)

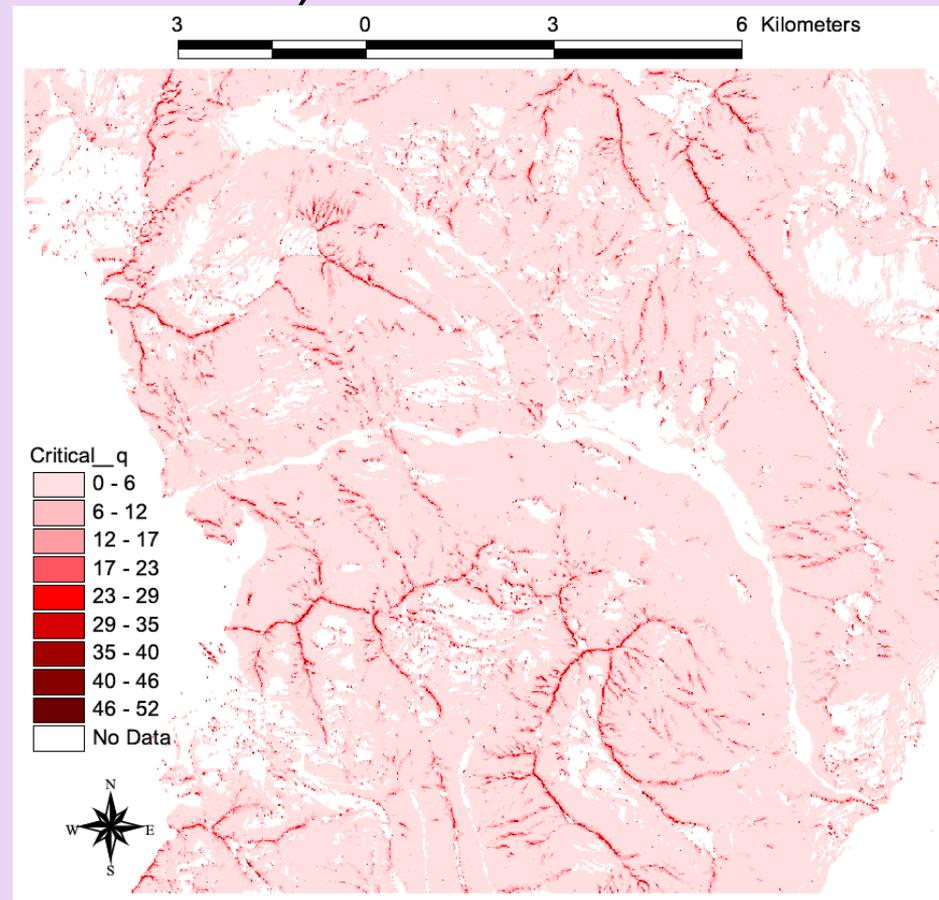
Angolo di resistenza a taglio (38°)

Peso per unità di volume medio (17 kN/m^3)

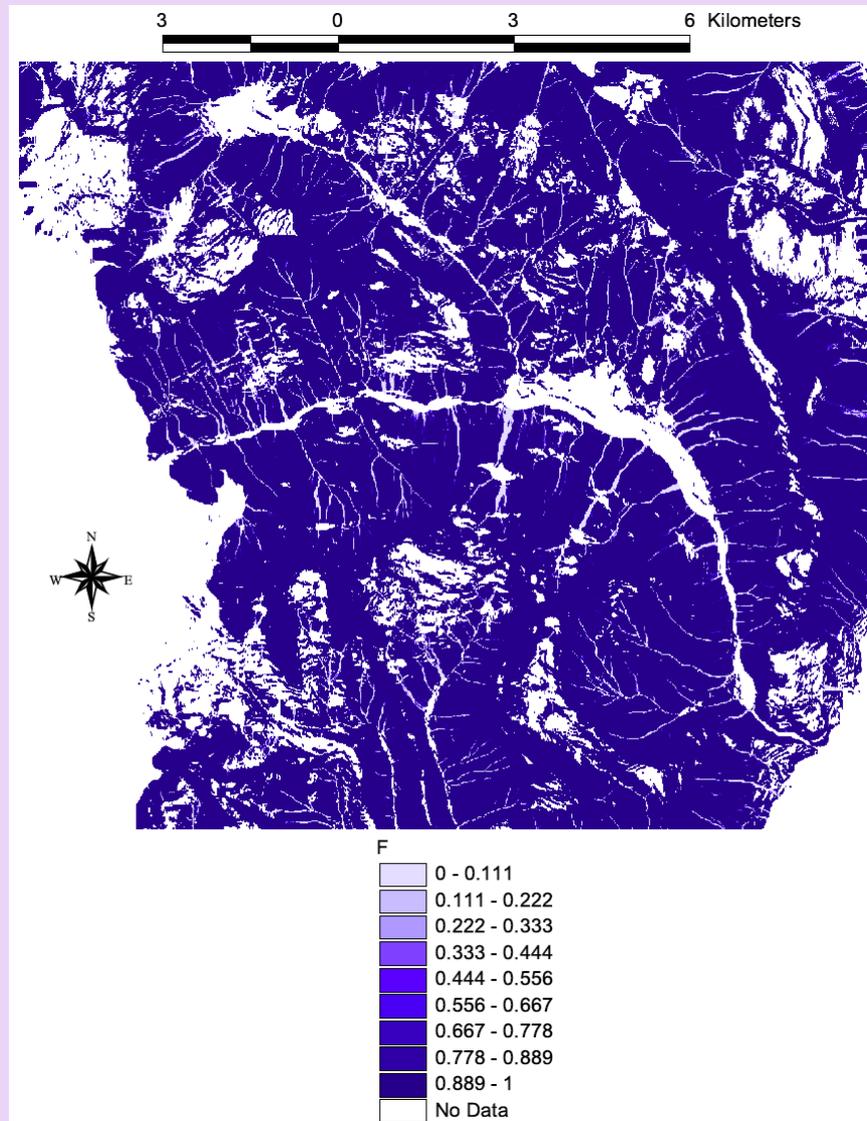
Permeabilità (0.005 m/s)

Risultati ottenuti

pioggia critica (in $\text{mm}/24\text{h}$)

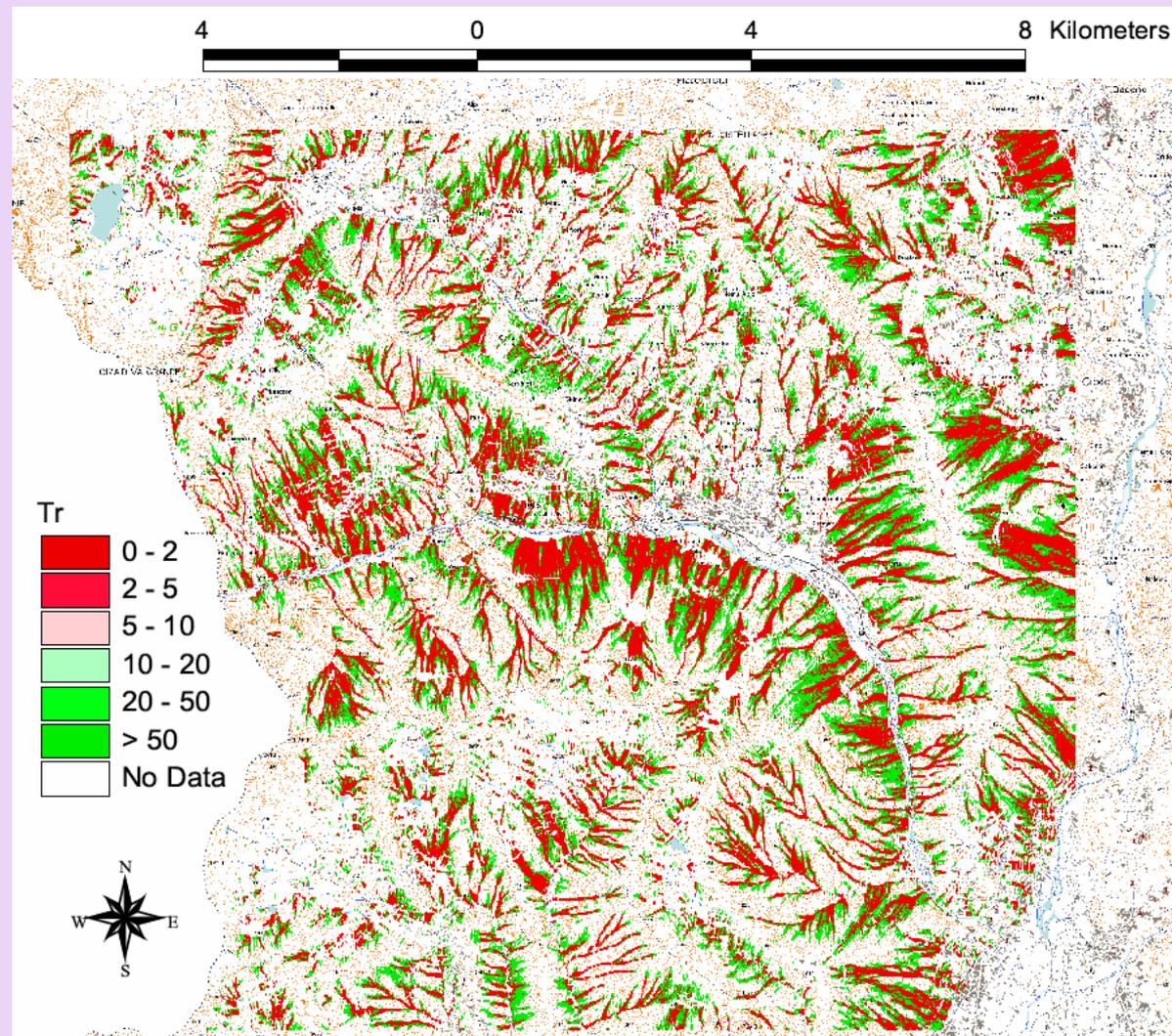


Curve di probabilità pluviometrica



Tempi di ritorno:
si sono individuate 7
classi:

- da 0 a 2 anni
- da 2 a 5 anni
- da 5 a 10 anni
- da 10 a 20 anni
- da 20 a 50 anni
- da 50 a 100 anni
- maggiore di 100 anni



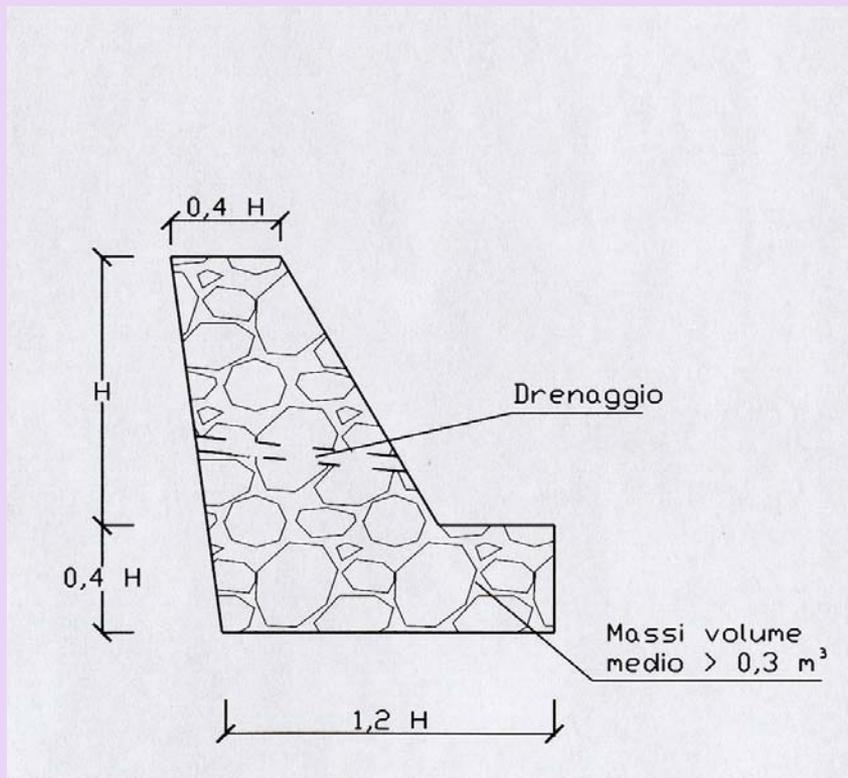
il risultato dell'analisi permette quindi di rappresentare il fenomeno franoso non in termini di intensità ma di aree di invasione differenziate in base allo scenario considerato (tempo di ritorno).

Elementi a rischio

- Edifici: il numero è stato ricavato tramite una proporzione tra la superficie censita dall'ISTAT, l'area colpita e il numero totale di edifici presenti nella sezione di censimento. Si sono ricavati circa 10636 fabbricati.
- Infrastrutture stradali: strada statale S.S. 33 (22.58 km), altre strade statali (25.40 km), strade provinciali (40.20 km), strade comunali (151.91 km), strade campestri (63.35 km), per un totale di 280.87 km percorribili.
- Infrastruttura ferroviaria: tronco ferroviario Borgomanero-Orta-Domodossola-Varzo-Sempione, a scartamento ordinario, elettrificato della lunghezza di 26.88 km, composto da un tratto potenzialmente esposto di 5.96 km ed un secondo tratto, in galleria, della lunghezza di 20.92 km, non esposto ai fenomeni franosi.
- Popolazione: considerando tutti i Comuni presenti nella zona, gli abitanti sono 6020 ed occupano una superficie di circa 0.62 km².

Definizione di opere di mitigazione

Si ipotizza un intervento a difesa da frane superficiali costituito da scogliere in massi cementati. Poiché l'analisi è a grande scala, si considera una generica geometria di scogliera per tutti i tratti di valle da proteggere, in base alle caratteristiche del terreno



Tipica geometria della scogliera in massi cementati, in caso di terreni ghiaiosi-sabbiosi con granulometria grossolana, caratterizzati da angoli di attrito maggiori di 26° e in condizioni di saturazione.

Considerando un'altezza dell'opera di 2 m, la base è pari a 2,4 m, il piede ha un'altezza di 0,8 m e lo spessore al colmo è di 0,8 m. È presente un tubo di drenaggio per limitare la pressione dell'acqua a monte del muro.

Valore degli elementi a rischio

I costi sono stati valutati (Prezzario Regione Piemonte, edizione Dicembre 2009 e Cataloghi tariffari di RFI del 2008 - capitolo Armamento) in funzione dei tempi di ritorno. Si è definito un costo minimo (sistemazione aree danneggiate) e massimo (ricostruzione totale).

Il costo dell'opera di difesa è stato definito in funzione delle dimensioni dell'opera (altezza).

⋮

H [m]	Costo [€/m]
1.5	299
2.0	504
2.5	764
3.0	1077
3.5	1444

Elemento	$T_r = 1 \div 25$ anni	$T_r = 26 \div 50$ anni	$T_r > 50$ anni
Infrastruttura stradale	745.388,80	850.054,40	2.922.857,60
Infrastruttura ferroviaria	15.527,40	19.187,43	106.362,69
Edifici (sistemazione)	316.463,70	1.051.825,77	1.170.234,89
Edifici (ricostruzione)	550.646,84	1.830.176,84	2.036.208,71
TOTALE sistemazione	1.077.379,90	1.921.067,60	4.199.455,18
TOTALE ricostruzione	1.311.563,04	2.699.418,67	5.065.429,00

Calcolo del rischio

Assenza di opere di difesa

Scenario	Normal course Probability: 100%	
Scenario con $T_r = 1 - 25$ anni Frequency: 0.02	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	0	1
	Material damage per event	
	1 077 380 EUR	1 311 563 EUR
	 	
Scenario con $T_r = 26 - 50$ anni Frequency: 0.01	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	1	2
	Material damage per event	
	1 921 067 EUR	2 699 418 EUR
	 	
Scenario con $T_r > 50$ anni Frequency: 0.01	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	2	5
	Material damage per event	
	4 199 455 EUR	5 065 429 EUR
	 	

Quantificazione delle vittime e dei danni materiali in assenza di opere di difesa

Specification of value	with weighting (aversion)
Annual risk of fatalities (number)	0.06
Annual risk of fatalities (monetised)	300 000 EUR
Annual risk to material assets	93 316 EUR
Total annual risk	393 316 EUR

Rischio annuo totale in assenza di opere di difesa [€]

Presenza delle opere di difesa (scogliera)

- *Scenario $T = 1-25$ anni*

costi di costruzione e manutenzione della scogliera per un tratto pari a 1821 m:

- costo d'investimento: 531.216 €;
- costo di gestione annuale: 10.624 €;
- costo totale annuale: 21.248 €.

Scenario	Normal course Probability: 100%	
Scenario con Tr = 1 -25 anni Frequency: 0.02	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	0	0
	Material damage per event	
	0 EUR	0 EUR
	 	
Scenario con Tr = 26 - 50 anni Frequency: 0.01	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	0.5	1.5
	Material damage per event	
	843 687 EUR	1 387 855 EUR
	 	
Scenario con Tr > 50 anni Frequency: 0.01	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	1.5	4.5
	Material damage per event	
	3 122 075 EUR	3 753 865 EUR
	 	

Quantificazione delle vittime e dei danni materiali in presenza di opere di difesa definite in base a $T=1\div 25$ anni

Specification of value	with weighting (aversion)
Annual risk of fatalities (number)	0.04
Annual risk of fatalities (monetised)	200 000 EUR
Annual risk to material assets	45 537 EUR
Total annual risk	245 537 EUR
Risk reduction in the object area	147 779 EUR

Rischio annuo totale in presenza di opere di difesa, definite in base a $T=1\div 25$ anni [€]

- *Scenario $T = 26 - 50$ anni*

costi di costruzione e manutenzione della scogliera per un tratto pari a 1200 m:

- costo d'investimento: 605.808 €;
- costo di gestione annuale: 12.116 €;
- costo totale annuale: 24.232€.

Scenario	Normal course Probability: 100%	
Scenario con $T_r = 1 - 25$ anni Frequency: 0.02	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	0	0
	Material damage per event	
	0 EUR	0 EUR
	 	
Scenario con $T_r = 26 - 50$ anni Frequency: 0.01	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	0	0
	Material damage per event	
	0 EUR	0 EUR
	 	
Scenario con $T_r > 50$ anni Frequency: 0.01	Minimum value	Maximum value
	Number of fatalities per event	
	1	3
	Material damage per event	
	2 278 387 EUR	2 366 010 EUR
	 	

Quantificazione delle vittime e dei danni materiali in presenza di opere di difesa definite in base a $T=26\div 50$ anni

Specification of value	with weighting (aversion)
Annual risk of fatalities (number)	0.02
Annual risk of fatalities (monetised)	100 000 EUR
Annual risk to material assets	23 222 EUR
Total annual risk	123 222 EUR
Risk reduction in the object area	270 094 EUR

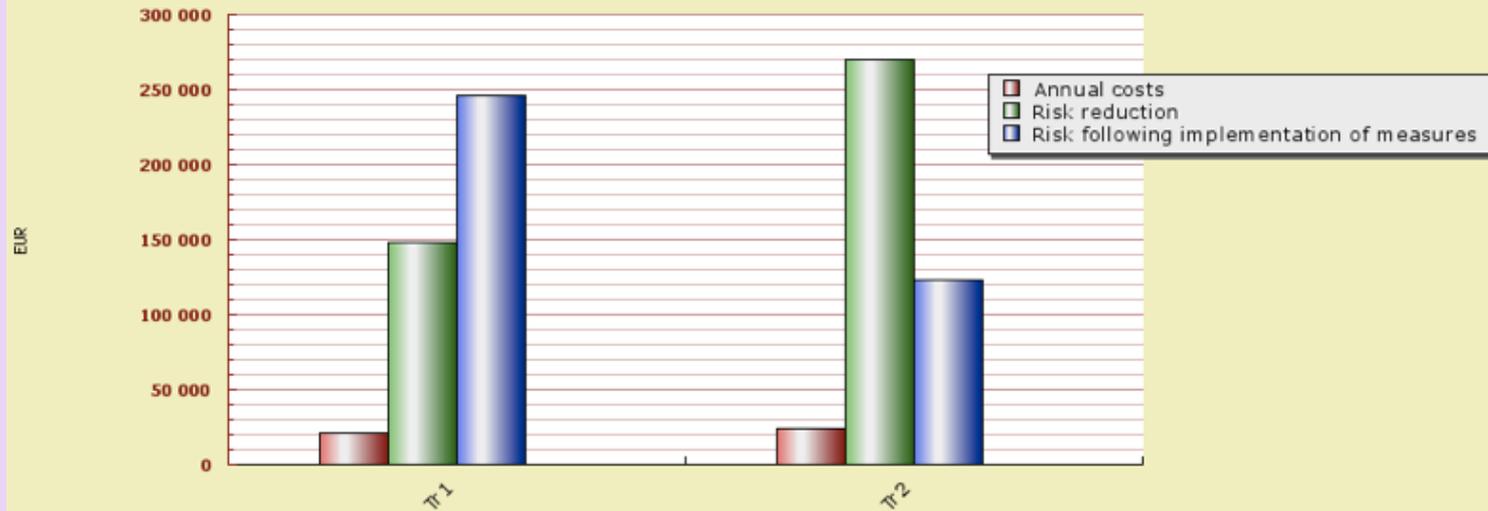
Rischio annuo totale in presenza di opere di difesa definite in base a $T=26 \div 50$ anni [€]

Confronto tra i valori di rischio

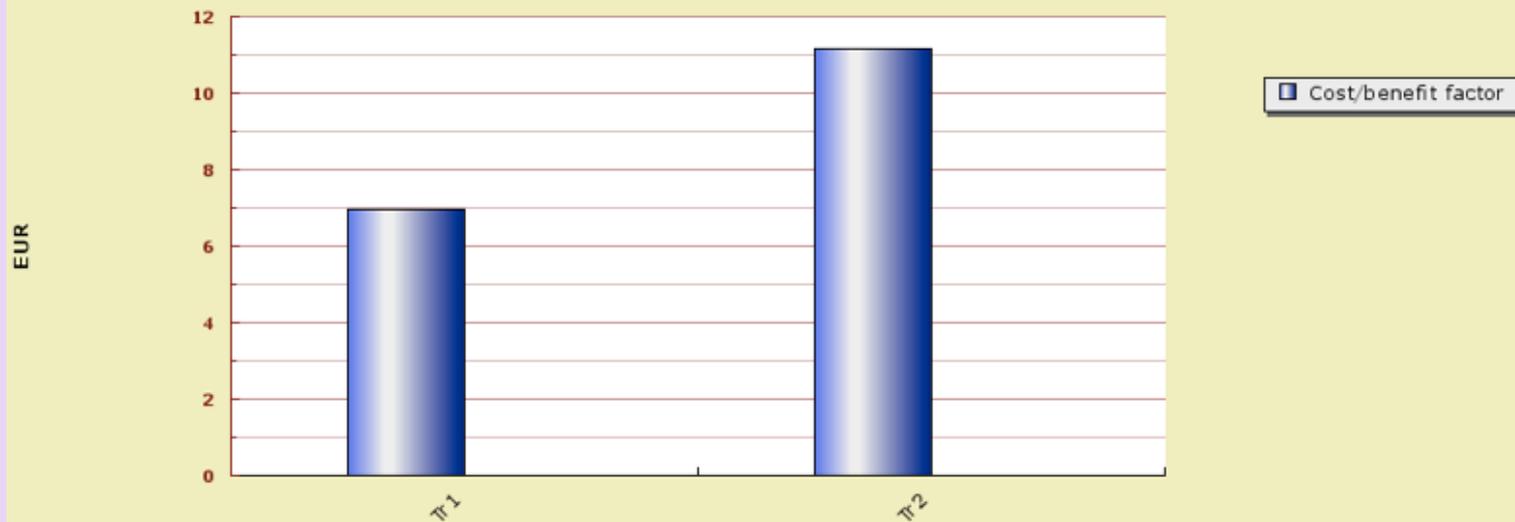
Risks per hazard process in the assessment area			
Risks Senza opere di protezione			
Hazard process	Risk to human life	Risk to material assets	Total
Shallow landslides	300 000 EUR	93 316 EUR	393 316 EUR
Total risk	300 000 EUR	93 316 EUR	393 316 EUR
Risks per package of measures Tr1			
Hazard process	Risk to human life	Risk to material assets	Total risk
Shallow landslides	200 000 EUR	45 537 EUR	245 537 EUR
Total	200 000 EUR	45 537 EUR	245 537 EUR
Risk reduction	100 000 EUR	47 779 EUR	147 779 EUR
Risks per package of measures Tr2			
Hazard process	Risk to human life	Risk to material assets	Total risk
Shallow landslides	100 000 EUR	23 222 EUR	123 222 EUR
Total	100 000 EUR	23 222 EUR	123 222 EUR
Risk reduction	200 000 EUR	70 094 EUR	270 094 EUR
Cost effectiveness per measure/package of measures in the assessment area			
Annual costs Senza opere di protezione		0 EUR	
Measure Tr1 (100 years)			
Investment costs		531 216 EUR	
Maintenance/operating costs		10 624 EUR	
Annual costs		21 248 EUR (21 248 EUR)	
Hazard process	Risk following implementation of measures	Risk reduction	Cost/benefit factor
Shallow landslides	245 537 EUR	147 779 EUR	6.955
Totals for hazard processes	245 537 EUR	147 779 EUR	6.955
Measure Tr2 (100 years)			
Investment costs		605 808 EUR	
Maintenance/operating costs		12 116 EUR	
Annual costs		24 232 EUR (24 232 EUR)	
Hazard process	Risk following implementation of measures	Risk reduction	Cost/benefit factor
Shallow landslides	123 222 EUR	270 094 EUR	11.1462
Totals for hazard processes	123 222 EUR	270 094 EUR	11.1462

Riduzione del rischio e rapporto costi/benefici

Costs, risk reduction and risks following implementation of measure/packages of measures in hazard area - without weighting



Cost/benefit factor for measures/packages of measures in assessment area - without weighting



La linea di riduzione dei costi, e quindi anche del rischio, si deve trovare al di sotto della linea tratteggiata rossa, che rappresenta l'investimento limite che la società è disposta a fare.

