

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il
Territorio

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

**IL RUOLO DELLE BARRIERE PARAMASSI NELLA
MITIGAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA NELLA
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO**

Elaborato finale di :

FRANCESCA VOLTA

Relatrice :

Ing. LAURA GOVONI

Correlatori :

Prof. GUIDO GOTTARDI

Dott. MARCO RANALLI

Dott.ssa CLAUDIA STRADA

Anno Accademico 2010/2011

Sessione III

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
-------------------	---

CAPITOLO I - FRANE DA CROLLO E OPERE DI PROTEZIONE : LE BARRIERE PARAMASSI	7
---	----------

1. IL DISSESTO IDROGEOLOGICO IN ITALIA.....	7
--	----------

2. FRANE : ASPETTI GENERALI.....	9
---	----------

2.1 Le frane da crollo.....	10
-----------------------------	----

3. OPERE DI DIFESA.....	15
--------------------------------	-----------

3.1 Sistemi di difesa attiva	16
---	-----------

3.1.1 Interventi che modificano la geometria del versante:	16
--	----

3.1.2 Interventi che modificano la resistenza meccanica del versante:.....	18
--	----

3.1.3 Interventi che agiscono sulla superficie dell'ammasso roccioso per proteggerlo contro l'alterazione	19
---	----

3.1.4 Interventi che modificano le condizioni piezometriche.....	20
--	----

3.2 Sistemi di difesa passiva	22
--	-----------

3.2.1 Barriere paramassi rigide.....	25
--------------------------------------	----

3.2.2 Barriere paramassi elastiche	28
--	----

3.2.2.1 Le linee guida ETAG.....	31
----------------------------------	----

3.2.2.2 Certificazione delle barriere paramassi.....	34
--	----

CAPITOLO II - INTEGRAZIONE DEL DATABASE PARAMOUNT DELLE BARRIERE PARAMASSI PRESENTI SUL TERRITORIO DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO NELL'AMBITO DEL PROGETTO VISO	39
---	-----------

1. IL PROGETTO VISO – VIABILITY INFORMATION OPERATING SYSTEM.....	39
--	-----------

1.1 Analisi della pericolosità che caratterizza un versante adiacente ad un tratto stradale nella procedura VISO	42
---	-----------

1.1.1 L'individuazione dei tratti stradali.....	42
---	----

1.1.2 Il rilievo di campagna	44
------------------------------------	----

1.1.2.1 Individuazione dell'intensità del fenomeno che potenzialmente si sviluppa dal versante	45
--	----

1.1.2.2	Valutazione dell'opera protettiva.....	48
1.1.2.3	Individuazione di zone omogenee.....	52
1.1.3	Individuazione della pericolosità dei versanti.....	53
1.1.3.1	Pericolosità del versante (H) sprovvisto di opere di protezione.....	53
1.1.3.2	Pericolosità del versante (H*) in presenza di opere di protezione.....	54
1.2	Analisi del rischio specifico che caratterizza un tratto stradale.....	56
1.2.1	Definizione della vulnerabilità.....	56
1.2.2	Definizione di Esposizione.....	57
1.2.3	Definizione del rischio specifico (Rs).....	58
1.3	IL DATABASE DI VISO.....	59
2.	IL PROGETTO PARAMOUNT.....	61
2.1	Il database PARAMOUNT.....	62
3.	INTEGRAZIONE DEL DATABASE PARAMOUNT.....	65
3.1	Ricerca ed analisi delle barriere paramassi deformabili presenti sul territorio della Provincia Autonoma di Bolzano.....	66
3.1.1	Creazione dei modelli e classificazione delle barriere deformabili.....	67
4.	ANALISI DEL DATABASE.....	71
4.1	Barriere non deformabili.....	74
4.2	Barriere deformabili.....	78
 CAPITOLO III - APPLICAZIONE DEL SOFTWARE ROCFALL NELL'INDIVIDUAZIONE DELL'INTENSITÀ DEL FENOMENO CHE POTENZIALMENTE SI SVILUPPA DAL VERSANTE.....		
1.	IL SOFTWARE ROCFALL (ROCSCIENCE).....	84
1.1	Definizione del profilo del versante.....	85
1.2	Individuazione della nicchia di distacco.....	86
1.3	Individuazione delle dimensioni del blocco e calcolo della massa.....	87
1.4	Scelta della velocità iniziale del blocco.....	87
1.5	Scelta dei parametri di restituzione dei materiali costituenti il versante.....	88
1.6	Scelta del numero di lanci e della tipologia di simulazioni.....	90

1.7	I dati restituiti dal programma	91
1.8	Analisi in presenza di opere di difesa	93
2.	UTILIZZO DI ROCFALL NELL' INDIVIDUAZIONE DELL'INTENSITÀ DEL FENOMENO CHE POTENZIALMENTE SI SVILUPPA DAL VERSANTE.....	94
2.1	I parametri di giudizio	95
2.2	Importazione dei parametri in Rocfall.....	98
2.2.1	Morfologia del versante e risposta del terreno	99
2.2.2	Uso del suolo	101
2.2.3	Ammasso roccioso : stato di decomposizione, assetto giaciturale e volume dei blocchi	102
2.3	Impiego del software RocFall e simulazioni.....	103
2.3.1	Definizione del profilo del versante	103
2.3.2	Individuazione della nicchia di distacco e definizione delle condizioni iniziali	104
2.3.3	Individuazione delle dimensioni del blocco e calcolo della massa.....	104
2.3.4	Scelta del numero di lanci e della tipologia di simulazione	106
2.3.5	Esito delle simulazioni.....	107
2.3.6	Confronto tra l'analisi della pericolosità di un versante reale e l'analisi del corrispondente profilo-modello.	113
2.3.6.1	Caratterizzazione geologica dell'area studiata	113
2.3.6.2	Confronto tra profili reali e profili-tipo.....	117
2.3.6.3	Risultati del confronto	122
2.3.7	Analisi in presenza di un'opera di difesa	131
2.3.7.1	Analisi della pericolosità di un versante provvisto di opera di difesa	131
2.3.7.2	Posizionamento del sistema di difesa sul profilo LAIVES 16.....	134
2.3.7.3	Efficienzadel sistema di difesa	139
	CONCLUSIONI.....	143
	BIBLIOGRAFIA	149
	RINGRAZIAMENTI	155

Introduzione

Negli ultimi anni si è sviluppata una forte sensibilità nei confronti del rischio che il dissesto idrogeologico comporta per il territorio, soprattutto in un paese come il nostro, densamente abitato e geologicamente fragile.

Il rischio idrogeologico In Italia infatti è diffuso in modo capillare e si presenta in modo differente a seconda dell'assetto geomorfologico del territorio.

Tra i fattori naturali che predispongono il nostro territorio a frane ed alluvioni, rientra la conformazione geologica e geomorfologica, caratterizzata da un'orografia giovane e da rilievi in via di sollevamento.

A seguito del verificarsi di una serie di eventi calamitosi (Piemonte 1994, Campania 1998 e 1999, Sovereto 2000, Alpi centrali 2000 e 2002) sono state emanate leggi specifiche finalizzate all'individuazione e all'applicazione di norme, volte a prevenire e contenere i gravi effetti derivanti dai fenomeni di dissesto. Si fa riferimento in particolare, alle leggi n°267 del 3/08/1998 e 365/2000 che hanno integrato la legge 183/1989. In questo modo gli enti territoriali (Regioni, Autorità di bacino) sono stati obbligati a predisporre una adeguata cartografia con perimetrazione delle aree a differente pericolosità e rischio.

Parallelamente continuano ad essere intrapresi, promossi e finanziati numerosi studi scientifici volti allo studio dei fenomeni ed alla definizione più puntuale delle condizioni di rischio, oltre alle iniziative volte alla creazione di un efficace sistema di allertamento e di sorveglianza dei fenomeni e alla messa a punto di una pianificazione di emergenza volta a coordinare in modo efficace la risposta delle istituzioni agli eventi.

In questo contesto gli studi su validi approcci metodologici per 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 presente elaborato si vuole descrivere i temi relativi alla valutazione della pericolosità, del rischio e della sua gestione, con particolare attenzione ai fenomeni di instabilità dei versanti e nello specifico ai fenomeni di crollo da pareti rocciose che interessano il territorio della Provincia Autonoma di Bolzano. Il fenomeno della caduta massi infatti è comunemente diffuso in tutte le regioni di montagna e lungo le falesie costiere, ed in funzione dell'elevata velocità con cui si manifesta può costituire una costante fonte di pericolo per le vite, i beni e le attività umane in zone generalmente molto attive dal punto di vista del turismo e delle grandi vie di comunicazione.

Il territorio della Provincia Autonoma di Bolzano è fortemente interessato da questo problema, sia per la morfologia montuosa della provincia che per le infrastrutture che sempre più occupano zone di territorio un tempo poco urbanizzate.

Al fine di pervenire ad una legittima programmazione delle attività di previsione e prevenzione, il Dipartimento dei Lavori Pubblici della Provincia, ha scelto di utilizzare una strategia che prevedesse un insieme di attività dirette allo studio ed alla determinazione delle cause dei fenomeni calamitosi, alla identificazione dei rischi, ed alla determinazione delle zone del territorio soggette ai rischi stessi. È nato così, con l'operatività dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali, il supporto del Dipartimento Opere Pubbliche e della Ripartizione Protezione Civile e la collaborazione scientifica del DISTART – Università degli Studi di Bologna, Alma Mater Studiorum, il progetto VISO che riguarda i pericoli generati da frane di crollo, ribaltamento, scivolamento di porzioni di pareti rocciose e caduta massi. Il progetto ha come scopo la valutazione del pericolo, della vulnerabilità e del rischio e dell'effettiva funzionalità delle opere di protezione contro la caduta massi lungo la strada statale del Brennero.

Il presente elaborato mostra l'iter per l'individuazione del rischio specifico che caratterizza un particolare tratto stradale, così come è stato pensato dalla Provincia Autonoma di Bolzano all'interno di una strategia di previsione e prevenzione, basata su metodi il più possibile oggettivi, ed estesa all'intera rete stradale di competenza provinciale.

Si esamina l'uso di metodologie diverse per calcolare l'intensità di un fenomeno franoso che potrebbe potenzialmente svilupparsi su un versante e si osserva in che modo la presenza di opere di protezione passiva influisce sull'analisi di pericolosità.

Nel primo capitolo viene presentata una panoramica sui fenomeni di crollo descrivendo i fattori principali che li originano e gli interventi di protezione posti a difesa del versante.

Si esaminano brevemente le tipologie di intervento, classificate in opere attive e passive, con particolare attenzione alle barriere paramassi., che si collocano tra gli interventi di difesa passivi e che stanno diventando il tipo di intervento più frequentemente utilizzato. Nel capitolo vengono descritte dal punto di vista progettuale, prendendo in esame anche la normativa di riferimento nonché le nuove linee guida per la certificazione CE delle barriere, nate negli ultimi anni per portare ad una facile comparabilità dei vari prodotti sottoposti ad impatti normalizzati, definendo con chiarezza i livelli energetici ai quali possono essere utilizzati i vari prodotti e, nel contempo, fornendo informazioni assolutamente indispensabili per la buona progettazione degli stessi.

Nel capitolo successivo si prendono in esame i temi relativi alla valutazione della pericolosità e del rischio, l'iter procedurale di analisi del rischio adottato dalla Provincia Autonoma di Bolzano in relazione alle frane da crollo che investono le strade della rete provinciale ed in particolare viene descritto il progetto VISO (Viability Information Operating System), nato allo scopo di implementare un catasto informatizzato che raccolga indicazioni sul patrimonio delle opere di protezione contro la caduta massi e di rilevare e valutare il pericolo, la vulnerabilità, il rischio e l'effettiva funzionalità delle opere di protezione contro la caduta massi lungo le strade statali e provinciali.

All'interno dello stesso capitolo si espone come, nell'ambito del progetto VISO e grazie alla nascita del progetto europeo Paramount " (Improved accessibility reliability and safety of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazard in a changing climate) si è provveduto, con l'aiuto di una collega del corso di laurea, a raccogliere i dati relativi all'installazione delle barriere paramassi sul territorio della Provincia Autonoma di Bolzano.

Grazie ad un'analisi di archivio effettuata all'interno delle diverse sedi del servizio strade della Provincia Autonoma di Bolzano, si è presa visione (laddove presenti) delle schede tecniche delle barriere collocate sul territorio, si sono integrati i dettagli costruttivi contattando le principali ditte fornitrici e si è proceduto con una classificazione delle opere, identificando alcuni modelli di "barriere-tipo che sono stati inseriti nel database *PARAMOUNT*, già creato per il progetto VISO.

Si è proseguito associando a tali modelli le barriere provviste di documentazione fotografica rilevate in precedenza dall'istituto di Geologia della Provincia Autonoma di Bolzano e inserite in VISO e si è valutata la corrispondenza dei modelli creati, andando a verificare sul posto che le barriere presenti sul territorio ed inserite nel database (tramite modello), effettivamente coincidessero, nelle misure e per le caratteristiche geometrico-costruttive, ai modelli a cui erano state associate.

Inoltre sono stati considerati i danni tipici a cui può essere soggetta una barriera paramassi durante il suo periodo di esercizio poiché tali difetti andranno ad incidere sulla valutazione dell'utilità del sistema di difesa e di conseguenza sulla valutazione della pericolosità del versante(H^*).

Nel terzo capitolo si è esposta una possibile integrazione, mediante il software di calcolo RocFall, della procedura di valutazione dell'analisi di pericolosità di un versante utilizzata nell'ambito del progetto VISO e già analizzata in dettaglio nel secondo capitolo.

Il software RocFall utilizza un metodo *lumped mass* su schema bidimensionale basato su ipotesi semplificative e consente di effettuare simulazioni probabilistiche di fenomeni di caduta massi, offrendo importanti informazioni sull'energia che si sviluppa durante il crollo, sulle velocità raggiunte e sulle altezze di rimbalzo lungo tutto il versante considerato, nonché sulla distanza di arresto dei singoli massi.

Si sono realizzati dei profili-tipo da associare al versante, considerando il pendio suddiviso in tre parti : parete verticale ($H = 100$ m) lungo la quale si sviluppa il movimento franoso; pendio di altezza $H = 100$ m e angolo pari ai quattro valori medi della pendenza indicati nella scheda di campagna; strada ($L = 10$ m).

Utilizzando il software Cad si sono realizzati 16 profili associando la pendenza media del versante a 4 morfologie individuate grazie all'esperienza dell'Istituto di Geologia e Prove materiali della Provincia Autonoma di Bolzano; si è proceduto importando tali profili in RocFall dove sono state aggiunte informazioni riguardanti la massa del blocco e l'uso del suolo, ottenendo 256 profili-tipo ai quali è stata associata una sigla definita come segue : morfologia (1, 2, 3, 4) _ pendenza (37, 53, 67, 83 gradi) _ uso del suolo (A, B, C, D) _ massa (a,b,c,d).

Fissando i parametri corrispondenti al peso del masso (inserito al solo scopo di calcolare la velocità rotazionale e l'energia cinetica) e considerando, per ogni simulazione, un numero di traiettorie possibili pari a 1000, avendo osservato che all'aumentare di tale numero (purchè sufficientemente elevato) non si riscontrano variazioni sostanziali nei risultati dell'analisi, si è valutato come i parametri *uso del suolo* (A;B;C;D), *morfologia* (1;2;3;4) e *pendenza* (37°;53°;67°;83°) incidano sulla variazione di energia cinetica, di altezza di rimbalzo e sulla percentuale di massi che raggiunge la strada, scegliendo come punto di riferimento il punto di intersezione tra il pendio e la strada.

Al fine di realizzare un confronto tra un profilo reale e un profilo-tipo, sono stati utilizzati 4 profili posti su un versante situato nel Comune di Laives, noto per le frequenti cadute di massi che hanno raggiunto in molti casi la strada.

Tali profili sono stati visionati in sede di sopralluogo dove si è provveduto alla compilazione delle schede di campagna (impiegate per valutare l'intensità del fenomeno che potenzialmente si sviluppa dal versante) e all'individuazione dei profili-tipo corrispondenti.

Sono state effettuate analisi di simulazione per entrambe le tipologie di profilo, e sono stati confrontati i risultati ottenuti in termini di Energia cinetica; altezza di rimbalzo e percentuale dei blocchi in corrispondenza della strada.

I profili reali sono stati importati in RocFal in seguito ad estrapolazione dal modello digitale del terreno (ottenuto da analisi con Laser Scanner) utilizzando l'estensione Easy Profiler nel software Arcmap.

Infine si è valutata la possibilità di collocare eventuali barriere paramassi su un profilo reale, si è proceduto effettuando una analisi di simulazione di caduta massi in RocFall, importando in excel i valori corrispondenti all'andamento dei

massimi dell'Energia cinetica e dell'altezza di rimbalzo lungo il pendio che forniscono una buona indicazione circa l'ideale ubicazione delle opere di protezione.

CAPITOLO I

Frane da crollo e opere di protezione : Le barriere paramassi

1. Il dissesto idrogeologico in Italia

La Commissione De Marchi (1970 e 1974) fornisce una definizione di **dissesto idrogeologico**, inteso come l'insieme di *“quei processi che vanno dalle erosioni contenute e lente, alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sottosuperficiale dei versanti, fino alle forme imponenti e gravi delle frane”*.

Il concetto di **difesa del suolo**, secondo la stessa Commissione intende *“ogni attività di conservazione dinamica del suolo, considerato nella sua continua evoluzione per cause di natura fisica e antropica, e ogni attività di preservazione e di salvaguardia di esso, della sua attitudine alla produzione e delle installazioni che vi insistono, da cause straordinarie di aggressione dovute alle acque meteoriche, fluviali e marine o di altri fattori meteorici”*.

Attualmente tutta la normativa in materia di difesa del suolo, compresa la legge quadro sulla difesa del suolo n. 183 del 1989, definisce il termine di dissesto idrogeologico come *“qualsiasi disordine o situazione di squilibrio che l'acqua produce nel suolo e/o nel sottosuolo”*.

Il **rischio geologico** viene definito come la *“combinazione della pericolosità geologica e della potenziale vulnerabilità antropica di un territorio, espresso in termini di rapporto tra i prevedibili eventi di pericolosità geologica, la loro intensità e frequenza e le relative interferenze con le attività antropiche”* (BOLT et alii, 1975).

Il rischio geologico rientra nella più ampia categoria di rischio ambientale, e rappresenta per il nostro Paese un problema di notevole rilevanza. Secondo il rapporto sulle frane in Italia, realizzato dall'Agenzia nazionale per la protezione

dell'ambiente e per i servizi tecnici (Apat), sono imponenti le cifre del dissesto geologico italiano (5.596 su 8.101 i comuni italiani sono interessati da frane). Tale rapporto mette a fuoco la dimensione del problema su scala nazionale e regionale, confermando un quadro preoccupante e in gran parte noto di un Paese a rischio: sono state censite circa 470 mila frane in 20 mila km², pari al 6,6% dell'intero territorio nazionale.

Un numero così elevato di fenomeni franosi è legato principalmente all'assetto morfologico del nostro paese (orografia giovane e rilievi in via di sollevamento), per circa il 75% costituito da territorio montano-collinare e alle caratteristiche meccaniche delle rocce affioranti.

Tuttavia il rischio idrogeologico è stato fortemente condizionato dall'azione dell'uomo e dalle continue modifiche del territorio che hanno, da un lato, incrementato la possibilità di accadimento dei fenomeni e, dall'altro, aumentato la presenza di beni e di persone nelle zone dove tali eventi erano possibili e si sono poi manifestati, a volte con effetti catastrofici.

Questo ha indotto il Ministero dell' Ambiente e gli Enti istituzionalmente competenti ad attuare una politica di gestione del rischio che affrontasse il problema non solo durante le emergenze. Si è così passati da una impostazione di base incentrata sulla riparazione dei danni e sull'erogazione di provvidenze, ad una **cultura di previsione** (determinazione delle cause, individuazione delle aree a rischio) e **prevenzione** (riduzione della possibilità di verifica di un danno), diffusa a vari livelli, imperniata sull'**individuazione delle condizioni di rischio** e volta all'adozione di **interventi finalizzati alla minimizzazione dell'impatto degli eventi**.

A seguito dell'emanazione di recenti provvedimenti normativi (Legge urbanistica provinciale n°13 del 11/08/1997, ed il relativo Regolamento di Esecuzione D.P.G.P n°5 del 23/02/1998; il D.L n°180 del 11/06/1998 coordinato con la legge di conversione L. n°267 del 3/08/1998, nonché il relativo atto di coordinamento D.P.C.M del 29/09/1998; le Direttive Provinciali per la redazione del piano delle zone di pericolo e per la classificazione del rischio specifico), sono state perimetrare le aree del territorio italiano a rischio idrogeologico elevato o molto elevato.

Parallelamente continuano ad essere intrapresi, promossi e finanziati numerosi studi scientifici volti allo studio dei fenomeni ed alla definizione più puntuale delle condizioni di rischio.

Sono state inoltre incrementate ed accelerate le iniziative volte alla creazione di un efficace sistema di allertamento e di sorveglianza dei fenomeni e alla messa a punto di una pianificazione di emergenza volta a coordinare in modo efficace la risposta delle istituzioni agli eventi.

2. Frane : aspetti generali

Nonostante la definizione apparentemente semplice, i movimenti franosi sono fenomeni molto complessi, la cui classificazione risulta spesso incerta. Il sistema di classificazione più frequentemente adottato è quello proposto da Varnes nel 1978 .

I movimenti franosi sono dei fenomeni di massa coinvolgenti rocce, detriti o terre, attraverso i quali si manifesta tendenza, da parte di un corpo, al raggiungimento di un minimo di energia potenziale, (Varnes D.J., 1978).

Il distacco e il movimento dei volumi di roccia coinvolti, è sostenuto da un unico campo di forze: il campo di **attrazione gravitazionale**. Agli sforzi gravitativi, le rocce oppongono in generale una resistenza, che prende il nome di resistenza al taglio. Questa è determinata dalle forze di attrito meccanico che si generano lungo i piani di rottura e scorrimento, che possono essere espresse in termini di coefficiente di attrito interno, e dalle forze di legame tra gli elementi costituenti le rocce, in dipendenza di legami elettrostatici o cementazione di grani e matrice, che esprimono una proprietà meccanica, che in misura fortemente variabile, tutte le rocce possiedono: la **coesione**.

L'attrito è la resistenza che un oggetto (un piccolo ciottolo, un grande masso, una casa, una porzione di una montagna) oppone al richiamo della gravità, che tenderebbe a trascinarlo il più in basso possibile, mentre la coesione è la forza che "tiene insieme" le particelle (cristalli, granuli, mattoni, strati di roccia) che

costituiscono un oggetto o un materiale. Gli oggetti “geologici” (masse di terra, strati di rocce, versanti e pareti di montagne) si trovano quindi in una situazione di delicato equilibrio tra queste forze: quando la gravità diviene prevalente sulle altre due, allora l’oggetto, o la massa rocciosa, si muove verso il basso.

Moltissimi sono, però, i fattori che possono intervenire, in modo naturale o per causa dell’uomo, a turbare questo delicato e instabile equilibrio, venendo a variare l’attrito o la coesione del materiale, o intervenendo sulla gravità, con variazioni di peso del materiale. Il tipo di movimento, il volume del materiale e la velocità del movimento dipendono proprio da questi fattori.

Per ogni piano ipotetico di rottura, è possibile definire sforzi agenti, che tendono a deformare le rocce e sforzi resistenti che a questa deformazione, si oppongono. Il rapporto tra questi ultimi ed i primi, esprime il cosiddetto **coefficiente di sicurezza** che, con valore unitario, identifica le condizioni di equilibrio statico limite del versante. Per valutare le condizioni di equilibrio lungo una ipotetica superficie di rottura è dunque necessario caratterizzare le proprietà meccaniche dei volumi di roccia coinvolti. Le prove geotecniche di laboratorio consentono di valutare i valori di coesione ed angolo di attrito di taglio di campioni indisturbati, prelevati sui versanti in studio.

Inoltre le condizioni di equilibrio dipendono fortemente dalla presenza della **fase acquosa** all’interno del sottosuolo. Infatti, questa incrementa il peso dei volumi di roccia, diminuisce il valore di coesione e di angolo di attrito di taglio di alcune rocce, e soprattutto altera le condizioni di sforzo sui piani di scorrimento. In accordo con il principio delle tensioni effettive, qualsiasi incremento di pressione neutra nel sottosuolo, provoca una corrispondente diminuzione della tensione normale e, dunque, della resistenza al taglio.

2.1 Le frane da crollo

Le frane da crollo sono fenomeni che interessano il distacco ed il successivo movimento verso valle di blocchi rocciosi per lo più isolati e volumetricamente

limitati (compresi tra 0.02 m^3 fino a 5 m^3), da pareti rocciose particolarmente acclivi e tettonicamente disturbate.

Questi materiali lapidei possono raggiungere grandi energie cinetiche con velocità che possono arrivare fino a 30 m/s .



Figura 1- esempio di frana da crollo

Tale fenomeno rappresenta uno dei rischi geologici più frequenti nel territorio nazionale, in particolar modo negli ambienti montani, con gravi conseguenze sulla percorribilità dei tratti viari, sulle infrastrutture, e conseguenti gravi disagi ai centri abitati.

Il distacco dei blocchi da un versante è fortemente influenzato dalle condizioni strutturali dell'ammasso (famiglie di discontinuità, persistenza, spaziatura), dalla geometria (giacitura e orientazione delle discontinuità rispetto al versante), dalle caratteristiche meccaniche (resistenza a taglio delle discontinuità, resistenza a trazione di eventuali ponti di roccia) e da eventuali sollecitazioni esterne (presenza di acqua in pressione nelle discontinuità, sismi, ecc.).

La caduta massi è un tipico problema dovuto ad influenze interne ed esterne al pendio interessato, insieme all'azione della gravità.

I fattori esterni sono l'alterazione chimica superficiale delle rocce, le variazioni di temperatura, il gelo, lo scorrimento superficiale dell'acqua, l'azione del vento, l'erosione al piede del pendio e la pressione esercitata dalle radici delle piante.

I fattori interni sono legati agli sforzi residui della roccia di tipo geologico, alle fratture presenti, alle discontinuità.

Da tenere particolarmente in considerazione l'azione dell'acqua ed i cicli di gelo e disgelo: la massima frequenza di caduta di massi avviene infatti nei periodi di elevate precipitazioni e quando le temperature oscillano intorno ai 0° C.

Una volta avvenuto il distacco, la traiettoria seguita da un blocco è la combinazione di quattro processi principali: **scivolamento** e/o **ribaltamento**, **caduta libera**, **rimbalzo** e **rotolamento**. Questi processi sono governati da leggi fisico-meccaniche ben conosciute e possono essere descritti con semplici equazioni.

Lo scivolamento è generalmente limitato alle fasi iniziali di un crollo, ha luogo su corte distanze (da pochi centimetri ad alcuni metri) ed è caratterizzato da basse velocità e da una considerevole dissipazione di energia per attrito. Per massi di grosse dimensioni può anche verificarsi al momento dell'impatto, con significativa perdita di energia.

La caduta libera rappresenta lo stato di moto predominante di un crollo in roccia. Guidato dalla gravità, il processo è descritto da traiettorie di tipo parabolico ed è caratterizzato da velocità elevate. Durante la caduta libera, l'energia potenziale del masso viene trasformata in energia cinetica. Raramente il movimento principale di un masso avviene per puro rotolamento: di solito infatti questo tende a realizzarsi tramite una sequenza ravvicinata di rimbalzi che generano delle traiettorie paraboliche di altezza modesta (Broili, 1973; Azzoni et al., 1991).

Il rotolamento si osserva solo in blocchi di forma sferica, ovale o cilindrica, quando la velocità del masso è modesta ed il versante presenta superfici pseudo-piane, a bassa inclinazione e scarsa rugosità.

L'impatto al suolo è il fattore più complesso, difficile da modellare e meno conosciuto di un crollo. Al momento dell'impatto, si ha una perdita di energia e la direzione di movimento del masso può cambiare.

Le peculiarità che possono essere ravvisate nel fenomeno sono numerose, ed è per questo che la sua analisi risulta sempre molto complessa e densa di problematiche, ma si può affermare che gli aspetti che principalmente lo contraddistinguono dagli altri movimenti franosi sono due:

- Il distacco e la successiva caduta di un masso, o di più massi, interessano una singola porzione di roccia, ma il comportamento dinamico delle singole porzioni è sostanzialmente indipendente da quello delle altre.
- Le dimensioni degli elementi di roccia in movimento sono solitamente contenute rispetto alle altre caratteristiche geometriche del problema, come il dislivello o la lunghezza del percorso di caduta.

Le condizioni necessarie affinché avvenga il distacco del materiale roccioso possono essere sintetizzate in quanto segue:

- Devono esistere sul pendio blocchi separati dal resto dell'ammasso; quindi devono essere presenti delle famiglie di discontinuità più o meno accentuate;
- L'inclinazione del pendio deve essere tale da rendere instabili i blocchi;
- Deve esistere una forza esterna che dà origine al dissesto.

Negli ultimi 30 anni le conoscenze sui processi di crollo, in particolare gli studi sulla propagazione dei massi, hanno beneficiato di numerosi approfondimenti derivanti da studi e approcci di diversa natura (Broili, 1973; Paronuzzi, 1987; Paronuzzi e Coccolo, 1995; Paronuzzi et al., 1996; Giani, 1992; ARPA Piemonte, 2004).

I metodi di calcolo oggi più utilizzati sono distinti in:

- metodi che considerano il blocco puntiforme;
- metodi che assegnano al blocco una particolare forma geometrica (ellissoide o poliedro).

Non è nostro interesse entrare nel dettaglio dei diversi metodi che sono stati studiati ma è doveroso sottolineare che tutti i metodi numerici o analitici hanno la necessità di inserire dei parametri che perlopiù vengono ottenuti da prove in situ; i risultati ottenuti hanno spesso una validità locale e mal si prestano a valutazioni di carattere più generale. I modelli prendono in genere in considerazione profili topografici ben definiti e senza particolari anomalie, quali terrazzi, assenza di ostacoli (es. alberi) e non prendono in considerazione la geometria del blocco in esame (forma e sfericità).

Pertanto la risposta corrisponderà a quella attesa nel caso che le condizioni naturali siano poco dissimili a quella del modello mentre ci dovremo attendere scarsi risultati nel caso in cui l'ambiente reale sia mal rappresentato dal modello adottato. In sostanza, nel caso di differenze dovute ad una serie di fattori morfologici ed ambientali, ci si potrà attendere risultati migliori con un metodo meno raffinato che consenta una parametrizzazione sulla base di osservazioni di reali percorsi di blocchi sul territorio (Mazzoccola & Sciesi, 2000; Focardi & Iotti, 2002; Francioso & Schiattarella, 2002; Chierusin & Fenti, 2002; Crosta & Locatelli, 1999; Baillifard et al., 2003).

E' evidente come le frane di crollo in roccia rappresentino dei fenomeni di dissesto piuttosto gravosi da un punto di vista tecnico, sia per la loro diffusione in diversi ambiti geografici e geomorfologici (scarpate montane, rilievi collinari, falesie costiere, ecc.) che per la complessità della loro analisi che può riguardare aspetti molto diversi, dalla valutazione dell'equilibrio geostatico dei blocchi alla previsione delle traiettorie di propagazione dei massi. Il processo infatti, pur essendo in apparenza riconducibile ad una schematizzazione piuttosto semplice dei meccanismi che lo governano, in realtà è complicato dal fatto che la definizione dei parametri che controllano i fenomeni di rottura ed evoluzione risente di un grado elevato di incertezza; spesso inoltre, l'ampia estensione delle aree coinvolte rende difficile raccogliere informazioni sufficienti per condurre analisi dettagliate. Anche la traiettoria di un masso in caduta dipende da una serie di fattori la cui incertezza risulta predominante, quali la localizzazione dell'area di distacco, le condizioni strutturali dell'ammasso in tale area, la geometria del masso, le proprietà meccaniche della roccia e del versante e la

topografia (Ritchie, 1963), fattori, questi, difficili da verificare sul terreno e che non possono essere determinati con esattezza.

Per questo motivo la stabilità di un versante può essere valutata solo in modo probabilistico e le misure di protezione e di mitigazione del fenomeno devono essere legate alla determinazione della pericolosità, funzione dell'estensione delle aree coinvolte, dell'intensità del fenomeno e della probabilità di occorrenza.

Per ridurre il rischio associato al distacco di elementi lapidei da versanti sono utilizzate due tipologie di intervento: gli interventi attivi, che intervengono all'origine del problema provvedendo ad impedire il distacco degli elementi lapidei dal versante; gli interventi passivi, per intercettare, deviare o arrestare i massi in movimento. Solitamente si preferisce usare opere di tipo passivo, cioè interventi la cui funzione non è di prevenire il distacco dei massi ma di intercettare ed arrestare gli elementi lapidei ormai in moto sul pendio.

3. Opere di difesa

Le opere di difesa dalla caduta dei massi hanno lo scopo di intercettare ed arrestare i blocchi in caduta lungo il versante. Per questo motivo è opportuno che gli interventi vengano realizzati lungo il percorso dei blocchi o in corrispondenza dei punti di maggior criticità del pendio, rendendo indispensabili accurate indagini geognostiche del versante e analisi traiettografiche dei potenziali corpi di caduta.

Prima di entrare nel dettaglio delle barriere paramassi, è opportuno fare una panoramica delle tipologie di interventi di protezione dalla caduta massi, considerando anche che l'installazione di barriere (in particolare quelle deformabili ad alta resistenza) non è sicuramente il metodo più economico per contrastare il problema.

In letteratura troviamo numerose classificazioni in merito alle diverse tipologie di interventi, ma le più diffuse sono quelle che distinguono gli interventi in:

- Opere ATTIVE: intervengono all'origine del problema provvedendo ad impedire il distacco degli elementi lapidei dal versante;
- Opere PASSIVE: intercettano o deviano i massi che si siano mobilizzati con interventi localizzati prevalentemente alla base dei pendii o delle pareti rocciose.

Tra gli interventi di difesa attiva possiamo elencare:

- Interventi che modificano la geometria del versante;
- Interventi che modificano la resistenza meccanica;
- Interventi che modificano le condizioni piezometriche;
- Interventi che agiscono sulla superficie dell'ammasso roccioso per proteggerlo contro l'alterazione.

Le difese di tipo passivo si distinguono invece in:

- Riprofilatura del versante con la creazione di berme intermedie;
- Installazione di barriera paramassi a rete con diverse tecnologie di smorzamento dell'energia cinetica dei blocchi;
- Muri di protezione;
- Gallerie artificiali;
- Trincee;
- Rilevati in terra (rinforzata o non rinforzata), scogliere, terre armate, muri cellulari;
- Reti in aderenza e rafforzamenti corticali.

3.1 Sistemi di difesa attiva

3.1.1 *Interventi che modificano la geometria del versante:*

Lo scopo di una variazione della geometria di un fronte di scavo o di un fronte naturale è la riduzione delle forze destabilizzanti e/o l'eliminazione di volumi di roccia instabili di varia grandezza.

Gli interventi di questo tipo sono:

- La riprofilatura di un versante intero (con rimodellazione con l'uso di esplosivo o abbattimento meccanico);
- La rimozione di singoli grandi volumi rocciosi instabili mediante operazioni manuali;
- Il disgaggio sistematico di piccoli elementi rocciosi (intervento tra i più diffusi).

La riprofilatura di un versante richiede un'attenta valutazione delle forze destabilizzanti agenti sui cinematismi generati dalle discontinuità, controllando che esse siano ridotte aumentando adeguatamente il coefficiente di sicurezza e che la geometria risultante sia stabile a lungo termine.

Il disgaggio dalle pareti rocciose di blocchi di varia grandezza consiste nella rimozione di elementi instabili o potenzialmente instabili presenti in parete, al ciglio, o accumulatisi nelle berme intermedie.

Queste due tipologie di intervento nei casi più semplici possono essere eseguite manualmente (figura 1) ma se la situazione è più gravosa (grossi volumi di roccia da rimuovere o pendii particolarmente acclivi) necessitano dell'utilizzo di mezzi di operazione meccanici o di esplosivi (figura 2).

In questo ultimo caso la progettazione dell'intervento deve essere molto accurata, al fine di dimensionare correttamente sia il tipo e la quantità dell'esplosivo impiegato sia le modalità di brillamento delle cariche. L'uso di ridotti quantitativi di esplosivo per carica è fondamentale per ridurre quanto più possibile le vibrazioni sulle pareti circostanti, nonché evitare un'ulteriore destabilizzazione del versante.

3.1.2 Interventi che modificano la resistenza meccanica del versante:

Il principio di base di questa tipologia di interventi è l'inserimento nel volume roccioso instabile di elementi esterni che contribuiscono ad aumentarne la stabilità. La scelta dell'elemento di sostegno dipende dalle caratteristiche geomeccaniche e dal livello di instabilità del versante, ma in generale si può affermare che questo tipo di interventi è consigliabile nel caso in cui l'ammasso roccioso abbia un elevato grado di fessurazione interna.



Figura 2 – esempio di tiranti

In tal caso infatti, attraverso l'inserimento di *chiodi, bulloni, o tiranti*, la forza destabilizzante che si sviluppa sulla superficie di discontinuità a causa dello scivolamento verso valle del volume critico viene equilibrata. Si può ricorrere anche ad *iniezioni* nell'ammasso roccioso di miscele appositamente realizzate (sospensioni, soluzioni, emulsioni) che ripristinano la continuità materiale in

corrispondenza dei vuoti aumentandone la resistenza meccanica.

Un'ulteriore metodologia di difesa contro l'instabilità dei blocchi lapidei è la realizzazione di una copertura superficiale di *calcestruzzo spruzzato (Spritz Beton)*, che impedisce il distacco dei volumi instabili e costituisce una protezione contro gli agenti atmosferici.

L'utilizzo di "spritz beton" rappresenta un sistema efficace che comporta tuttavia un forte impatto visivo nel contesto dell'ambiente, naturale o urbano, circostante.

3.1.3 *Interventi che agiscono sulla superficie dell'ammasso roccioso per proteggerlo contro l'alterazione*

Come noto gli agenti atmosferici rappresentano un elemento destabilizzante nei confronti dell'equilibrio di un versante roccioso, comportando che anche un pendio in condizioni geostatiche non preoccupanti può venire a trovarsi in condizioni critiche se particolarmente esposto.

Le opere di protezione dall'alterazione sono messe in opera principalmente per tre obiettivi:

- Porre l'infiltrazione ed il ruscellamento delle acque meteoriche sotto controllo tramite impermeabilizzazioni superficiali, rivegetazione delle superfici dell'ammasso o costruzione di sistemi drenanti, di raccolta e smaltimento delle acque;
- Impedire o limitare l'azione degli agenti esterni quali vento, pioggia e gelo mediante impermeabilizzazioni, protezione con manto naturale di vegetazione o protezione con manto artificiale (per esempio usando calcestruzzo proiettato);
- Impedire l'innesco di fenomeni di rottura progressiva dalla superficie verso l'ammasso, con l'uso di reti in aderenza ad anelli oppure maglia esagonale, sia semplici sia doppia trazione, eventualmente rinforzate con reticolo di fune, o anche con reti in pannelli di fune, calcestruzzo proiettato (semplice o fibrorinforzato) o interventi di chiodatura diffuse.



Figura 3 - rivestimento in rete semplice



Figura 4 - rivestimento in rete rinforzata

Le reti in aderenza a maglia esagonale, semplici o a doppia trazione, sono le opere più diffuse, malgrado non esistano linee progettuali complete che forniscano metodologie in grado di valutare l'effettivo aumento del fattore di sicurezza: alcuni metodi di calcolo sono in fase di sviluppo.

Le reti sono usate essenzialmente per guidare piccoli blocchi di roccia verso il piede del pendio, ed evitarne il crollo sulle vie di transito. In questo senso svolgono un ruolo di tipo passivo; quando invece la rete metallica viene ancorata saldamente al versante in più punti e posta in tensione, essa contribuisce anche ad evitare ulteriori distacchi di porzioni rocciose, svolgendo così una funzione attiva. In questo caso si parla di *rafforzamenti corticali*.

3.1.4 Interventi che modificano le condizioni piezometriche

L'acqua presente all'interno dell'ammasso roccioso è un fattore particolarmente rilevante a riguardo dell'instabilità. E' ben noto infatti che la resistenza a taglio di un materiale (terroso o roccioso) può essere espressa tramite la legge di *Mohr-Coulomb*:

$$\tau = c + \sigma' \operatorname{tg} \phi$$

dove:

τ = resistenza al taglio;

σ' = tensione efficace;

ϕ = angolo di attrito interno

c = coesione

La tensione efficace è connessa alla pressione dell'acqua presente nelle cavità interstiziali dell'ammasso secondo la legge:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma' + u$$

dove:

σ_{tot} = pressione totale;

u = pressione neutra

Di conseguenza ad un aumento del flusso idrico interno corrisponde un incremento delle pressioni idriche interne, quindi un decremento delle tensioni efficaci che provocherà una diminuzione della resistenza al taglio del materiale.

Gli interventi di drenaggio si possono suddividere in due gruppi principali:

- opere di drenaggio di tipo superficiale
- opere di drenaggio di tipo profondo

I drenaggi di tipo superficiale, sono quelli di più rapida e facile installazione e manutenzione, ma sono anche quelli che più facilmente si danneggiano e necessitano di manutenzione continua.

I drenaggi profondi, che in genere hanno un carattere definitivo, necessitano di opere e di attrezzature più complesse per la loro installazione e sono più costosi. A fronte di questi svantaggi assicurano però una maggiore efficacia nella stabilizzazione di versanti in frana. In considerazione del fatto che è spesso difficile valutare l'efficacia di un sistema di drenaggio in fase di progettazione, è prassi consolidata valutare gli effetti del sistema attraverso piezometri che fanno parte integrante del sistema stesso e sono installati contemporaneamente ad esso. La loro lettura periodica consente di valutare i riflessi del sistema di drenaggio sulle acque sotterranee e, in base a questi, ottimizzare il loro funzionamento.

I tipi di opere di drenaggio superficiali e profondi più comunemente usati sono rappresentati da :

- Opere di drenaggio superficiali: canalette, fossi di guardia, dreni, speroni drenanti, cunei drenanti, paratie drenanti;
- Dreni sub orizzontali;
- Pozzi drenanti;
- Trincee drenanti;
- Gallerie drenanti;

La scelta della tipologia di intervento dipende esclusivamente dalla gravità della situazione (quindi dalla portata d'acqua che è necessario espellere), e dalle condizioni geomorfologiche del versante.

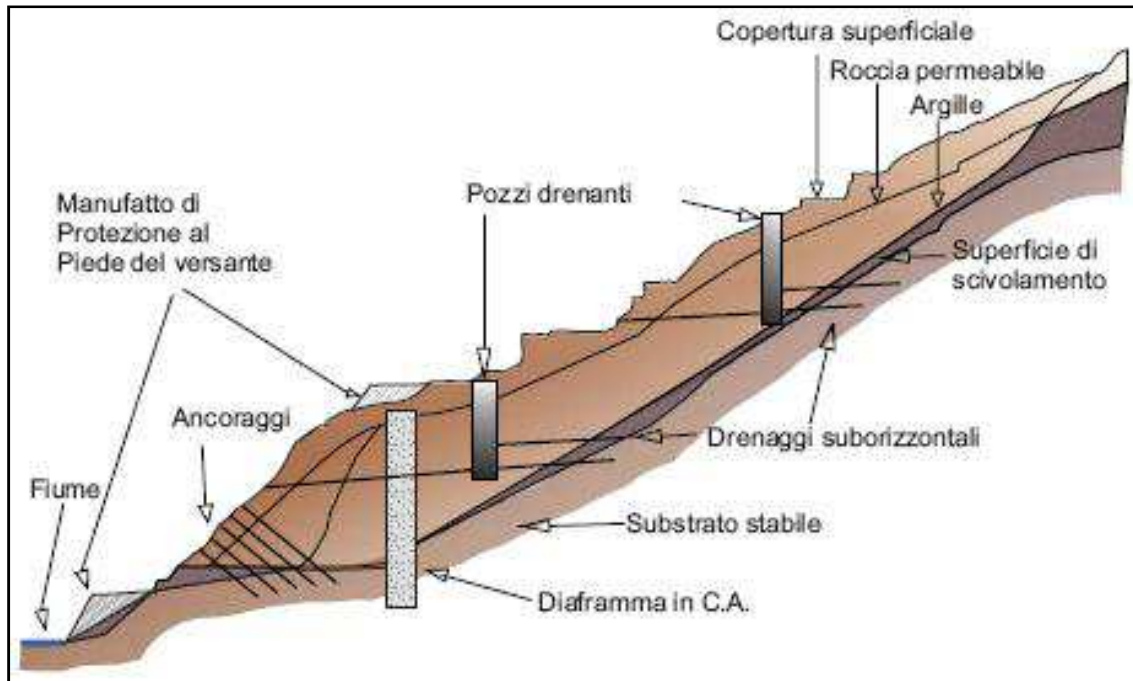


Figura 5 - Sistemazione e consolidamento di un versante in frana mediante opera di drenaggio superficiali e profonde

3.2 Sistemi di difesa passiva

Come ormai noto gli interventi di tipo passivo hanno come funzione principale quella non di prevenire il distacco dei massi ma di intercettare ed arrestare gli elementi lapidei ormai in moto sul pendio. Possiamo distinguere tre fondamentali tipi di intervento:

- Valli e rilevati paramassi
- Gallerie paramassi
- Barriere paramassi

I *valli* e i *rilevati paramassi* sono fra i metodi di difesa passiva più efficaci ed economici oggi a disposizione. Il rilevato è costituito da un terrapieno a sezione trapezia realizzato con materiale grossolano, incoerente, proveniente dallo scavo del vallo o reperibile in zona. Il sistema può essere, completato da uno scavo sagomato (vallo), posto immediatamente a monte dello stesso. Il vallo, il cui fondo è ricoperto da uno strato di materiale sciolto assorbente, assolve



Figura 6 - rilevato paramassi



Figura 7 - vallo paramassi

la duplice funzione di smorzare l'energia cinetica dei massi e dei blocchi prima che questi raggiungano le pareti del rilevato, e di raccogliere il materiale detritico intercettato. Sulla sommità del rilevato è spesso installata una barriera elastica paramassi (rete

metallica) la cui funzione è quella di intercettare frammenti rocciosi o piccoli massi che potrebbero superare la struttura difensiva.

Le *gallerie artificiali* sono opere utilizzate nelle zone dove non sono realizzabili altre forme di protezione più economiche, soprattutto dove è necessario proteggere infrastrutture viarie o ferroviarie di particolare importanza. Sono generalmente realizzate in calcestruzzo armato



Figura 8 - galleria artificiale

gettato in opera o in elementi prefabbricati in calcestruzzo ad alta resistenza. Il lato valle della struttura è aperto ed è formato dai pilastri di sostegno della volta, mentre sul lato monte a contatto con la parete viene realizzato un muro di controripa. Molto spesso sulla copertura della galleria è posto uno strato di materiale detritico che, oltre a favorire lo sviluppo della vegetazione spontanea, ha la funzione di assorbire gli impatti di grossi blocchi e massi, caduti o rotolati giù dalle scarpate, che potrebbero causare gravi danni alla struttura della volta. Nelle zone dove questo rischio è più elevato, la galleria è completata dalla realizzazione, sul versante a monte, di barriere elastiche paramassi.

Le barriere paramassi a rete si collocano tra gli interventi di difesa passivi e stanno diventando l'intervento più frequentemente utilizzato grazie alla notevole evoluzione tecnologica dovuta ad una maggiore attenzione ai problemi di carattere progettuale e costruttivo. Esse possono essere installate anche in versanti molto inclinati, ed i livelli energetici di applicazione vanno da 100kJ a 5000kJ.

In funzione del loro comportamento fisico, dei materiali e delle modalità costruttive si possono distinguere due tipi principali di strutture: *barriere paramassi rigide* e *barriere paramassi elastiche*.

Le prime sono strutture poco deformabili, pesanti e di grandi dimensioni, capaci di opporsi con notevoli forze resistenti agli impatti. Il loro dimensionamento tiene conto in fase di progettazione della



Figura 9 - barriera paramassi rigida

sollecitazione dinamica indotta dall'impatto di un "masso di progetto". Generalmente sono realizzate in calcestruzzo armato, con o senza contrafforti, opportunamente ancorati al terreno stabile con micropali o tiranti di ancoraggio. Al disopra dei muri, nei punti più critici, spesso è installata una barriera semi-rigida formata da pannelli di elementi metallici o da reti metalliche.



Figura 10 - barriera paramassi elastica

Le *barriere paramassi elastiche* sono strutture deformabili, leggere con elementi altamente resistenti, formati da materiali di alta qualità e durata. La leggerezza della struttura, la semplicità, la rapidità di installazione e di manutenzione, consentono di eseguire l'intervento

anche in zone montuose di difficile accessibilità.

In funzione delle tipologie costruttive e dei materiali impiegati, le barriere elastiche possono presentare varie configurazioni quali: barriere formate da reti flessibili (a bassa deformabilità) installate su strutture di sostegno rigide tipo muri in c.a. o di altro tipo; barriere formate da pannelli di reti flessibili d'acciaio, con sostegni (montanti) ed elementi di rinforzo (tiranti d'ancoraggio) infissi direttamente nel terreno o sulla sommità di terrapieni o di strutture di sostegno di vario tipo (ad esempio muri in gabbioni).

3.2.1 *Barriere paramassi rigide*

Le barriere paramassi vengono utilizzate più spesso sono quelle deformabili, poiché sono in grado di sviluppare grandi deformazioni plastiche sia a livello dei singoli elementi che globalmente, riuscendo così ad arrestare blocchi aventi energia cinetica elevata.

Tuttavia, sul territorio della Provincia Autonoma di Bolzano, ma anche in molte

altre aree del territorio alpino italiano, sono largamente diffuse barriere paramassi più rigide, capaci di assorbire una minor quantità di energia, che sono state installate senza una precedente fase di progetto e che non sono neppure mai state testate sperimentalmente. Tutte le tipologie di barriere paramassi sono realizzate mediante la successione di uno o più moduli



Figura 11 - barriera paramassi rigida a funi

funzionali, permettendo così di adeguare la lunghezza della struttura all'estensione delle opere da proteggere e di seguire agevolmente la conformazione piano altimetrica del terreno. La descrizione qualitativa di una generica barriera paramassi con bassa capacità di assorbimento energetico può partire dalla scomposizione in quattro elementi costituenti fondamentali:

- **Struttura di intercettazione:** costituita da un fascio di funi orizzontali metalliche continue, prive di sistemi di frenaggio, aventi diametro variabile tra 12 mm e 20 mm, in genere distanziate verticalmente con un passo di 20 cm e libere di scorrere all'interno di anelli passacavo. Le funi, fissate alle estremità con morsetti ad "U", sono mantenute in posizione attraverso una moderata sollecitazione di trazione, tale da evitare un comportamento "a catena" dei cavi, e mediante l'utilizzo di graffe in ferro dolce. In alcuni casi, alle funi viene agganciata una rete secondaria, composta da pannelli in rete metallica ditta a doppia torsione e maglie esagonali, allo scopo di intercettare gli elementi lapidei di dimensioni ridotte. La struttura di intercettazione ha la funzione di sostenere direttamente l'urto del blocco e di trasmettere le sollecitazioni generatesi alle strutture di sostegno, di raccordo e di fondazione.
- **Struttura di sostegno :** montanti metallici rigidamente incastrati alla base in plinti di calcestruzzo, posti ad interassi che variano tra 3 e 6,5 m. Generalmente i montanti intermedi sono IPE/HEA 200-240, alti dai 2 ai 4 m e aventi su un'ala degli anelli passacavo, saldati con una spaziatura

verticale tipicamente pari a 20 cm, entro i quali alloggiavano le funi. Le testate d'estremità sono formate da putrelle IPE 300-270. La funzione dei montanti è di mantenere dispiegata la struttura di intercettazione.

- **Struttura di raccordo** : costituita da cavi (o controventi) metallici di monte, valle e laterali, che hanno la funzione di mantenere nella corretta posizione i montanti di sostegno e trasmettere le sollecitazioni agli elementi di fondazione.
- **Struttura di fondazione** : plinti o basamenti in calcestruzzo, tramite cui la struttura scarica al terreno le sollecitazioni derivanti dall'urto.

La tipologia costruttiva di questi sistemi ne limita fortemente la possibilità di impiego in tutte quelle situazioni in cui il pendio risulta poco accessibile o comunque privo di adeguate piste di servizio.

Pertanto queste barriere vengono utilizzate prevalentemente a difesa di strutture stradali o ferroviarie, dove vengono collocate alla sommità dei muri di sostegno della scarpata di monte. Nel caso di pendii molto inclinati questo tipo di ubicazione, sostanzialmente verticale, può determinare una notevole diminuzione dell'altezza di intercettazione della barriera, considerata perpendicolare al pendio. Ne risulta una diminuzione della reale capacità di intercettazione della barriera, che può venire agevolmente superata da blocchi in movimento per impatto-rimbalzo sul pendio sovrastante.

La dissipazione dell'energia di impatto dei blocchi avviene principalmente attraverso elevate deformazioni permanenti plastiche dei montanti di sostegno e, in misura minore, grazie all'accumulo di energia potenziale elastica nelle funi orizzontali soggette all'impatto.

Studi effettuati dall'università di Bologna ad opera di Alice Gorlato hanno consentito di ricavare i valori di progetto di massa, velocità e traiettoria del blocco, per arrivare a definire la capacità nominale di queste strutture poco deformabili e il loro comportamento a seguito dell'impatto. Ciò al fine di ottenere una stima dell'energia d'impatto dissipabile da questa tipologia di barriera per verificare il livello di sicurezza effettivamente garantito.

Le analisi hanno quantificato la capacità di dissipazione delle barriere a bassa deformabilità in un ordine di grandezza di 10^5 KJ.

3.2.2 *Barriere paramassi elastiche*

L'arresto dei massi comporta che la barriera possa deformarsi. La capacità di arresto è determinata dalle caratteristiche di resistenza e deformabilità degli elementi che la costituiscono (reti, montanti, funi, ancoraggi, dissipatori di energia) e delle connessioni tra questi. Le barriere infatti vengono generalmente classificate sulla base dell'energia limite assorbibile durante la fase d'impatto, vale a dire del lavoro (elastoplastico e attritivo) connesso all'arresto dei massi.

Una barriera paramassi deformabile è generalmente composta da:

- Una struttura di intercettazione : solitamente costituita da reti di funi d'acciaio, con maglie di forma quadrata, romboidale o circolare che ha la funzione di sostenere l'urto diretto del masso, di deformarsi

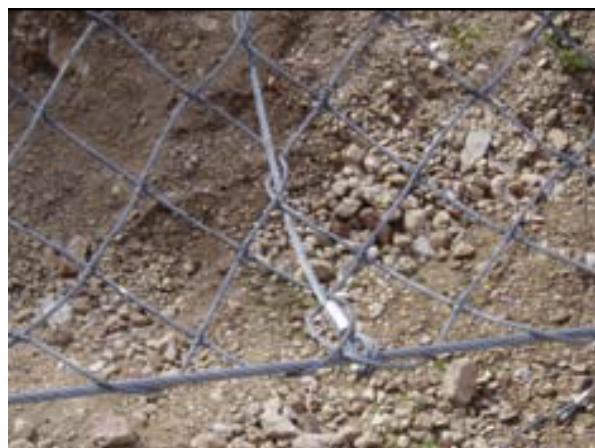


Figura 12 - rete a maglia quadrata

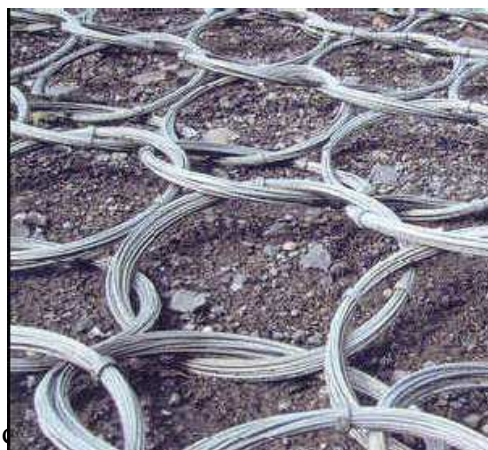


Figura 13 - rete ad anelli

elasticamente con spostamenti dello stesso ordine di grandezza della sua altezza, e trasmettere in modo uniforme le sollecitazioni alla struttura di collegamento, alla struttura di supporto ed alla struttura di fondazione. Le reti sono formate

a funi di reti metalliche di diverso tipo e fattura. Alla rete principale spesso viene sovrapposta una maglia ad intreccio più fine il cui scopo è quello di arrestare il moto di piccoli elementi lapidei che potrebbero passare attraverso la maglia principale.

- Una struttura di supporto generalmente costituita da travi o tubi d'acciaio a profilo aperto o chiuso, denominati montanti, che ha la funzione di sostenere l'intera struttura e di mantenere dispiegata la rete che per sua natura non è rigida. In generale si possono distinguere due tipologie di montanti: Montanti che hanno lo



Figura 14 - struttura di supporto : montante a profilo aperto

scopo di mantenere le reti dispiegate ed il cui collasso non implica che la barriera non svolga la funzione di intercettazione, una volta che il blocco sia stato “incassato” dalla rete. Tali montanti non hanno quindi una rilevante funzione statica durante la fase di arresto del blocco ma devono essere in grado di mantenere la barriera in posizione per impatti ad energie minori alla capacità limite della struttura. Occorre infatti precisare che le barriere devono essere in grado di mantenere la loro operatività anche per impatti multipli di entità minore alla capacità massima della barriera. Un'altra tipologia di montanti è quella per cui la funzione statica è indispensabile al funzionamento della barriera e che oltre a mantenere la rete dispiegata trasmettono una parte degli sforzi conseguenti l'impatto alle opere di fondazione.

- Una struttura di collegamento, generalmente costituita da funi d'acciaio, disposta sia perpendicolarmente che longitudinalmente rispetto alla superficie di intercettazione che ha la funzione di trasmettere le sollecitazioni alla struttura di fondazione. Per favorirne la deformabilità spesso vengono installati su questa struttura dei dispositivi che ne consentono un allungamento controllato



Figura 16 - esempio di dissipatore di energia ad anello



Figura 15 - dissipatore di energia

denominati freni o dissipatori d'energia . Questi sono realizzati per equilibrare le forze agenti sulla struttura e per trasformare al momento dell'impatto parte della energia cinetica del masso in lavoro plastico (con conseguente deformazione permanente). Devono essere

dimensionati e disposti sulla struttura sulla base di un progetto che ne chiarisca la funzione prevalente, la forza di attivazione, la corsa consentita ed il comportamento in campo di sollecitazione dinamico.

- Una struttura di fondazione generalmente costituita da tiranti in barra o trefolo o da plinti in calcestruzzo, che hanno la funzione di trasmettere al terreno le forze derivanti dall'impatto del blocco all'intorno della struttura di intercettazione. Devono resistere



Figura 17 - fondazioni con plinto in calcestruzzo

alle sollecitazioni sia in campo plastico che in campo dinamico, e devono essere adattati in dimensione e direzione, alle caratteristiche del terreno sulla base di un progetto geotecnico specifico.

Di seguito è riportata l'immagine della geometria costruttiva di una barriera.

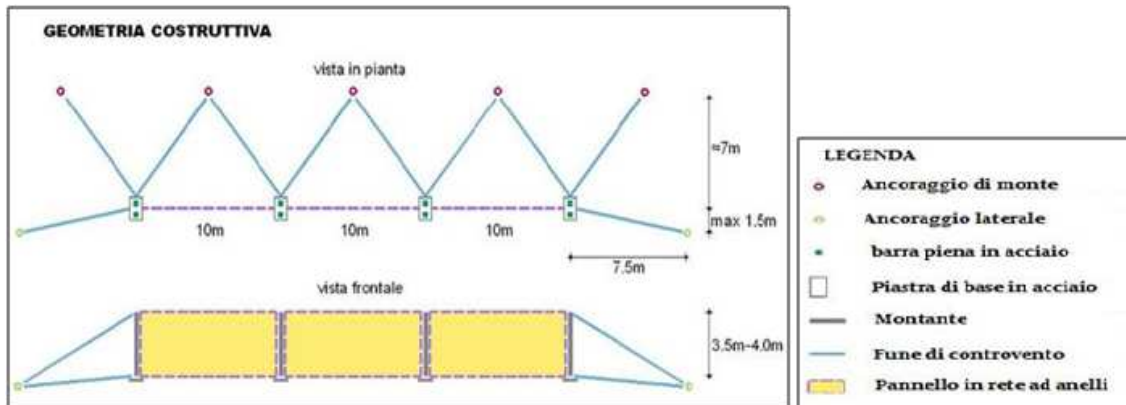


Figura 18 - esempio di geometria costruttiva di una barriera paramassi

Poiché la classificazione, basata sui principi operativi con le quali le barriere sono progettate per arrestare i blocchi, è piuttosto difficile stante la grande varietà degli assemblaggi proposti in commercio, queste devono necessariamente essere basate su una classificazione fondata sulla capacità energetica nominale della barriera sottoposta ad un impatto standard. Sulla base della capacità nominale misurata su prove standard è quindi possibile classificare le barriere in classi energetiche di funzionamento, e dedurre tutte le informazioni necessarie al progetto geotecnico delle fondazioni.

3.2.2.1 Le linee guida ETAG

La recente approvazione e conseguente pubblicazione sul sito dell'EOTA ("European Organization for Technical Approvals") della linea guida ETAG 27: "Guideline for European technical approval of falling rock protection kits" ha

profondamente innovato il settore delle opere di protezione contro la caduta massi avendo uniformato a livello europeo le procedure e le prove che devono essere effettuate per l'ottenimento della marcatura CE di una barriera paramassi a rete. Poiché la marcatura è un obbligo di legge da rispettare in maniera cogente senza la quale un prodotto non può essere posto sul mercato, è evidente come questa linea guida venga a costituire uno spartiacque importante tra un periodo nel quale le prove, anche quelle in vera grandezza, erano volontarie e non normalizzate ed un periodo nel quale tutti i produttori dovranno necessariamente ottemperare alle prescrizioni previste nella linea guida.

La linea guida si applica alle barriere paramassi a rete ("Falling rock protection kit") considerate nel loro insieme, cioè un sistema di elementi costituenti che devono essere posti sul mercato in modo congiunto e contestuale, con una sola



Figura 19 - crash test su kit paramassi

marcatura CE, montati in sito e diventare così un "sistema assemblato" in opera.

Le linee guida considerano come kit

base quello costituito da non meno di tre

moduli funzionali (3FM). Per 3FM s'intendono 3 campate di barriera in rete con 4 montanti. L'interasse tra i montanti non è fisso, e sarà scelto dal produttore.

Un kit paramassi è costituito da:

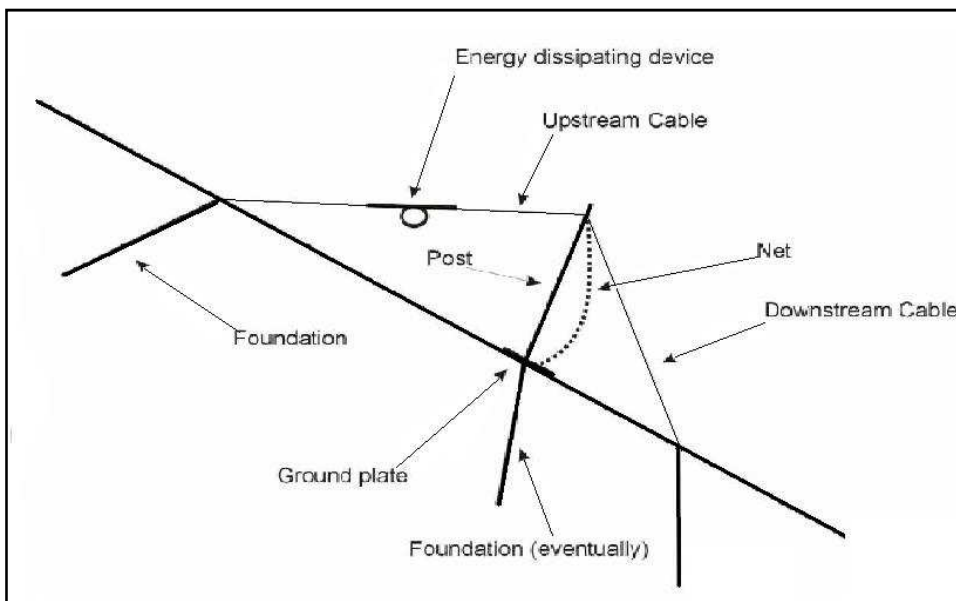
- a) una struttura d'intercettazione con la funzione di sopportare l'impatto diretto della massa, deformandosi elasticamente e/o plasticamente e trasmettendo lo sforzo alle parti di collegamento, alla struttura portante e alle fondazioni;
- b) una struttura di sostegno con la funzione di mantenere dritta (non piegata) la struttura d'intercettazione, che per natura non è rigida. Può

essere collegata alla struttura d'intercettazione direttamente o tramite una struttura di raccordo.

- c) elementi di raccordo, avente la funzione di trasmettere lo sforzo alle fondazioni. Per consentire la deformazione, possono essere montati sulla struttura dispositivi permettano un allungamento controllato.

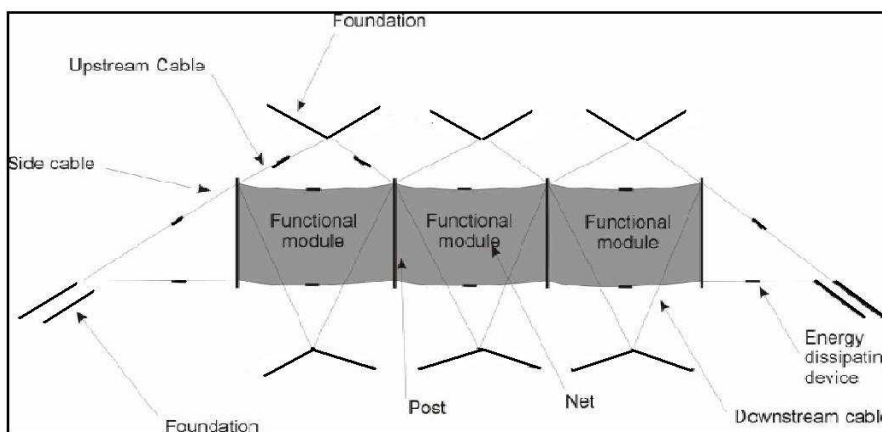
Le fondazioni non sono considerate parti integranti del kit quindi devono essere dimensionate a parte dal progettista.

Gli schemi successivi, con vista laterale e posteriore, forniscono un esempio di kit e illustrano in termini generali i diversi componenti che lo costituiscono.



Dispositivo
dissipazione
Montante
Cavo di monte
Rete
Cavo di valle
Fondazione
Fondazione
(eventuale)
Placca di fondo

Figura 20 - sezione laterale di un kit paramassi



o di monte
Fondazione
Dispositivo
dissipazione
energia
Cavo di valle
Rete
Palo
Fondazione
Cavo laterale

Figura 21 - vista posteriore di un kit paramassi

3.2.2.2 Certificazione delle barriere paramassi

Al fine di certificare che la barriera è adatta all'uso ("fitness for use") cioè che è in grado di soddisfare i requisiti essenziali per l'intera sua vita utile, se regolarmente mantenuta, nella linea guida vengono definiti gli elementi che consentono "l'assessment of fitness for use".

Nel caso specifico delle barriere paramassi questi sono l'energia che una barriera è in grado di assorbire quando sottoposta ad un impatto normalizzato di un blocco in movimento, arrestandolo e rispettando alcune specifiche geometriche e funzionali dopo e durante l'impatto. Vengono quindi definiti due differenti livelli energetici:

- **SEL** "Service Energy Level"
- **MEL** "Maximum Energy Level" che deve essere pari a 3 volte l'energia del SEL.

Perché la barriera possa essere marcata CE, questa deve essere stata provata ad entrambi i livelli energetici secondo le modalità e le procedure descritte in dettaglio nella linea guida. La seguente tabella classifica le barriere sulla base dei livelli energetici.

LIVELLO ENERGETICO	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL [kJ]	-	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
MEL [kJ] ≥	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500

Si procede a descrivere in maniera sintetica la *procedura di prova* dopo l'introduzione di alcune definizioni chiave:

- Livello di energia: è l'energia cinetica di un blocco regolare impattante la barriera in rete considerata. Viene espresso in SEL (Livello di energia in servizio) e MEL (Massimo livello di energia).
- Pendenza di riferimento: è quella a valle del kit steso nella medesima direzione fino al suo massimo allungamento. Questa pendenza è almeno

parallela alla traiettoria del blocco nell'ultimo metro precedente all'urto nel sito di prova. E' ammessa una tolleranza del 20% in più o in meno.

- Altezza nominale: h_N (figura 21) è misurata ortogonalmente alla pendenza di riferimento ed è la distanza minima tra la fune superiore e la linea che congiunge le basi dei montanti, prima dell'urto. Il produttore può introdurre nel nome commerciale del prodotto anche un'altezza commerciale (in genere l'altezza nominale più una tolleranza). Quest'altezza commerciale non fa parte della verifica.
- Allungamento del kit: è lo spostamento verso valle durante l'urto misurato parallelamente alla pendenza di riferimento.
- Tempo di frenata: è il tempo che intercorre tra il primo contatto del blocco con la rete e il momento in cui, in corso di prova, avviene il massimo allungamento della rete.
- Altezza residua: h_R (figura 22) è la distanza minima tra la fune inferiore e quella superiore, misurata ortogonalmente alla pendenza di riferimento dopo la prova, senza rimuovere il blocco.



Figura 22 - blocco normalizzato usato nei crash test delle barriere paramassi

Le prove che consentono la certificazione delle barriere prevedono l'esecuzione di impatti di un blocco normalizzato (vedi figura a lato), con dimensione non inferiore ad un terzo dell'altezza della barriera e che si muova ad una velocità non inferiore a 25m/s, sulla campata centrale di una barriera composta da tre campate. La prova può essere eseguita in qualunque tipologia di campo prove (verticale o inclinato) in quanto nelle linee guida vengono esclusivamente imposti dei vincoli geometrici in merito

alla traiettoria del blocco impattante

rispetto all'orizzontale ed alla geometria del piano di riferimento di valle (che viene utilizzato per la misurazioni geometriche durante e dopo la prova)

Nel caso del livello energetico SEL, la linea guida prevede l'esecuzione di due impatti consecutivi allo stesso livello energetico. La prova viene considerata superata se: dopo il primo impatto il blocco è arrestato dalla barriera, non sono registrate rotture nella struttura di connessione cioè delle funi, non si sono creati varchi nella rete con dimensione superiore a due volte la dimensione originaria della maglia elementare e l'altezza residua della barriera (definita come la distanza tra la fune longitudinale superiore e inferiore nel centro del pannello che

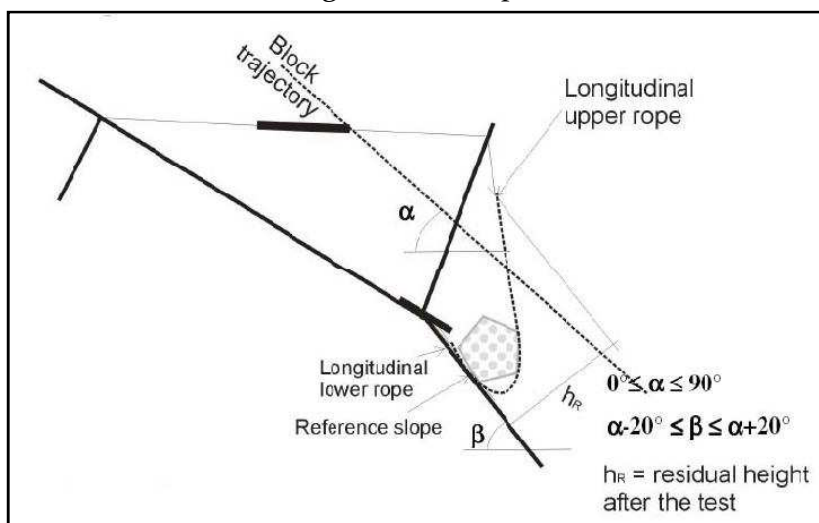


Figura 23 - definizione degli angoli e delle misure

ha subito l'impatto, misurata prima di togliere il blocco dalla rete e facendo riferimento al piano di riferimento di valle) è superiore al 70% dell'altezza della barriera nella configurazione di

installazione nel campo prove ("altezza nominale").

Dopo il secondo impatto l'unica condizione che deve essere rispettata è che la barriera arresti il blocco. Durante la fase di impatto e di seguente deformazione il blocco non deve toccare il terreno fino al raggiungimento della massima deformazione.

Per il livello energetico MEL, la linea guida prevede l'esecuzione di un impatto contro la barriera al livello energetico previsto. La prova viene considerata superata se il blocco viene arrestato dalla barriera, anche in questo caso senza toccare il piano di riferimento a valle della barriera nel campo prove.

Durante la prova MEL deve essere misurata anche la massima elongazione verso valle della barriera che costituisce un importante parametro progettuale (Fig. 23) in quanto costituisce il parametro di riferimento per il corretto posizionamento

della barriera in relazione alla distanza dall'infrastruttura da proteggere. Anche l'altezza residua della barriera dopo la prova MEL deve essere misurata e viene utilizzata per introdurre tre ulteriori classi all'interno di ogni livello energetico:

- classe A se l'altezza residua dopo la prova MEL è superiore al 50% dell'altezza nominale della barriera nel campo prove;
- classe B se l'altezza residua dopo la prova MEL è compresa tra il 50% ed il 30% dell'altezza nominale della barriera nel campo prove;
- classe C se l'altezza residua dopo la prova MEL è inferiore al 30% dell'altezza nominale della barriera nel campo prove.

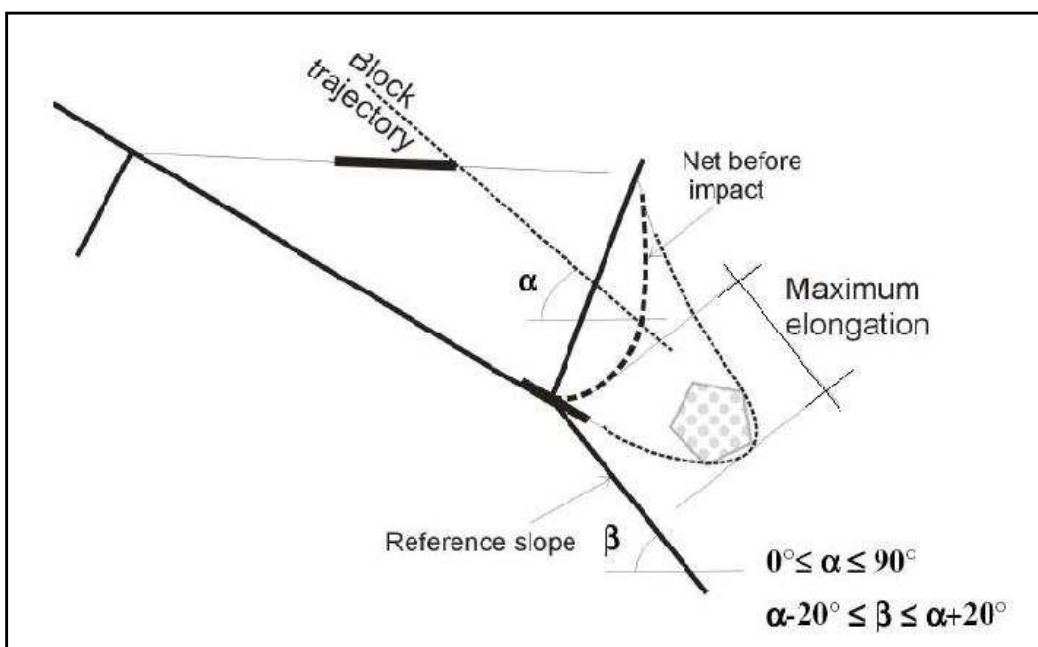


Figura 24 - prova SEL, altezza residua

Da quanto precedentemente detto è evidente che la procedura di certificazione e le prove previste nell'ETAG 27, sinteticamente descritte, consentono un'ottima caratterizzazione del prodotto "barriera paramassi" e normalizzano in modo molto efficace le procedure di prova che devono essere effettuate per certificare la capacità di assorbimento energetico di questi prodotti.

La scelta della tipologia più idonea di una barriera paramassi deve basarsi sulle caratteristiche prestazionali definite nell'ETAG 027.

Si deve analizzare quale delle le seguenti ipotesi è valida per il caso in esame:

- crollo di un masso isolato
- crollo di uno sciame di blocchi
- il crollo si esplica in condizioni temporali tali da poter essere considerato come un unico evento,
- si verificano crolli ripetuti, concentrati in tempi ristretti, lungo la stessa direttrice.

Se sono possibili eventi ripetuti e distinti nel tempo ad alti livelli energetici, si potrà considerare di installare più allineamenti sub-paralleli di barriere e la progettazione, sotto queste ipotesi di partenza, deve fare riferimento al livello energetico MEL, al quale andrà applicato un adeguato fattore di sicurezza.

Il livello energetico SEL consente invece di verificare che il sistema di intercettazione sia in grado di intervenire efficacemente anche per controllare eventi di minore entità rispetto a quelli indotti dal blocco di progetto, ma con maggior frequenza di accadimento, senza che sia necessario, realizzare, tra un evento e l'altro, importanti interventi di ripristino o di manutenzione. Nel caso di versanti soggetti a crolli frequenti di blocchi di dimensione medio piccola che si manifestano lungo la stessa direttrice, è possibile infatti seguire due differenti scelte progettuali: sia l'installazione di due allineamenti di barriere dimensionate al livello energetico MEL sia l'installazione di un solo allineamento, dimensionato, però, rispetto al livello energetico SEL che deve essere adeguato ad assorbire e controllare l'energia massima che i blocchi possono applicare.

In conclusione l'applicazione di questa linea guida per la marcatura CE non può che portare ad una facile comparabilità dei vari prodotti sottoposti ad impatti normalizzati definendo con chiarezza i livelli energetici ai quali possono essere utilizzati i vari prodotti e, nel contempo, fornendo informazioni assolutamente indispensabili per i progettisti.

CAPITOLO II

Integrazione del database PARAMOUNT delle barriere paramassi presenti sul territorio della Provincia Autonoma di Bolzano nell'ambito del progetto VISO

1. Il progetto VISO – Viability Information Operating System

Il territorio altoatesino presenta un dislivello tra fondovalle e crinali prossimo a 1500 m con punte anche superiori a 2500 m. Gran parte delle zone a maggiore urbanizzazione e le principali vie di comunicazione con il Nord Europa sono situate nella ristretta fascia di fondovalle, mentre numerosi comuni e località minori sono collegate al fondovalle da strade strette di versante di ordine provinciale ed ex stradale, che tagliano ripetutamente i pendii montuosi interessando ampie fasce esposte a rischio di crolli da pareti ed affioramenti rocciosi.

Al fine di pervenire ad una legittima programmazione delle attività di previsione e prevenzione, a seguito del recente aggiornamento della normativa in materia di difesa del suolo (provvedimenti tra i quali si enumerano la Legge Urbanistica Provinciale n°13 del 11/08/1997 ed il relativo Regolamento di Esecuzione D.P.G.P. n°5 del 23/02/1998; il D.L. n°180 del 11/06/1998 coordinato con la legge di conversione L. n°267 del 03/08/1998, nonché il relativo atto di indirizzo e coordinamento D.P.C.M. del 29/09/1998; le Direttive Provinciali per la redazione del piano delle zone di pericolo e per la classificazione del rischio specifico), le zone a rischio idrogeologico sono state individuate e perimetrate.

Inoltre, parallelamente a quanto previsto dalle normative, continuano ad essere finanziati e promossi, studi volti alla definizione puntuale e specifica delle condizioni di rischio. In particolare in relazione alle frane di crollo che

condizionano la sicurezza del traffico veicolare che si sviluppa lungo le vie di comunicazione della Provincia di Bolzano, il Dipartimento dei Lavori Pubblici ha promosso una strategia che ha richiesto lo sviluppo di un nuovo strumento operativo concreto denominato "VISO" (Viability Information Operating System , il quale comprende l'implementazione di un catasto informatizzato sul patrimonio delle opere di protezione contro la caduta massi ; consente di ordinare le priorità di intervento (controllo, manutenzione ordinaria e straordinaria, nuove edificazioni) e permette di distribuire le risorse disponibili in maniera oggettiva.

Il progetto VISO è nato con il supporto del Dipartimento Opere Pubbliche e della Ripartizione Protezione Civile, la collaborazione scientifica del DICAM – Università degli Studi di Bologna, Alma Mater Studiorum e con l'operatività dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali che, oltre a fornire consulenze tecniche per le singole realtà comunali e ad eseguire e coordinare interventi di pronto intervento nell'ambito della protezione Civile, è chiamato per più del 50% dei propri interventi a risolvere problemi connessi alla sicurezza delle reti viarie provinciali legati a processi di crollo.

Lo scopo del progetto VISO è implementare un catasto informatizzato che raccolga indicazioni sul patrimonio delle opere di protezione contro la caduta massi; di definire una procedura oggettiva che consenta di rilevare e valutare il pericolo, la vulnerabilità, il rischio di un versante provvisto o meno di opere protettive; di valutare l'effettiva funzionalità delle opere di protezione contro la caduta massi situate lungo le strade statali e provinciali.

Il progetto fornisce al rilevatore una procedura per individuare in maniera speditiva e oggettiva la pericolosità (H, H*) che caratterizza un versante adiacente ad un tratto di rete stradale nonché il rischio specifico (Rs) attribuibile a quest'ultimo.

L'iter che permette di individuare il rischio che caratterizza un particolare tratto stradale si articola in più fasi :

- Individuazione dei tratti di strada da sottoporre a indagine
- Raccolta dei dati di campagna
- Definizione della pericolosità H, H*

- Collaudo dei dati di campagna
- Definizione della vulnerabilità V
- Definizione del rischio Rs e conseguente formazione delle liste di priorità di intervento.

Il progetto VISO è stato inoltre integrato e migliorato grazie alla nascita, nell'ambito del Programma Operativo di cooperazione transnazionale [Interreg III B](#) "Alpine Space" del progetto europeo "PARAMOUNT" (*Improved accessibility reliability and safety of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazard in a changing climate*) che ha come scopo l'individuazione e la mitigazione dei pericoli naturali lungo le arterie di comunicazione e affronta la problematica dell'accessibilità delle zone alpine, tramite lo sviluppo di protocolli, redatti in collaborazione con gli altri enti operanti nei paesi membri della comunità europea siti nello "Spazio alpino", che consentano la gestione della sicurezza e l'ottimizzazione delle risorse ad essa destinate, la riduzione dei costi diretti ed indiretti nel caso di catastrofe, la previsione dei rischi e la programmazione di misure di messa in sicurezza sia temporanee che permanenti. Il capofila di questo progetto, che prevede la partecipazione di importanti partner comunitari, è il Ministero austriaco dell'Agricoltura, delle Foreste dell'Ambiente e della Regolamentazione delle Acque. L'Ufficio Geologia e Prove Materiali della Provincia Autonoma di Bolzano, con il supporto del Dipartimento Opere Pubbliche nonché della Ripartizione Protezione Civile, è il referente per ciò che concerne i pericoli generati da frane di crollo, ribaltamento, scivolamento, e caduta massi. Osservatori di tale progetto, che per la Provincia di Bolzano ha come area test l'asse del Brennero, sono l'Autostrada del Brennero, R.F.I., nonché la Provincia di Bologna.

Nell'ambito di dette competenze vengono studiati il rilevamento e la valutazione del pericolo, la vulnerabilità ed il rischio, così come l'effettiva funzionalità delle opere di protezione e del bosco nei confronti della caduta massi.

1.1 Analisi della pericolosità che caratterizza un versante adiacente ad un tratto stradale nella procedura VISO

Lo strumento “VISO” prende in considerazione i fenomeni di crollo e ribaltamento secondo la classificazione dei Varnes, e quei fenomeni che raggiungono l’oggetto da proteggere, sviluppando cinematismi analoghi ; ad oggi circa il 60% dei dissesti che sono stati individuati lungo le strade della Provincia di Bolzano possono rientrare nella categoria indagata. Esso contempla pertanto generalmente fenomeni con velocità $v > 3\text{m/min}$. (valore generalmente accettato come limite per l’allertamento delle persone, oltre il quale si ritiene essere a rischio la vita umana).

1.1.1 *L’individuazione dei tratti stradali*

L’individuazione dei tratti stradali da sottoporre ad indagine può avvenire su segnalazione da parte dei Direttori di Zona del Servizio Strade; a seguito di incarico diretto da parte di un Ufficio competente; in occasione dei protocolli di sopralluogo redatti a seguito di interventi coordinati dal Servizio Geologico Provinciale; nell’ambito della redazione dei Piani di Zona del Pericolo; a seguito di interventi da eseguire presso opere protettive esistenti o legati alla realizzazione di nuove opere. In occasione di un fenomeno idrogeologico, l’individuazione del tratto di strada è legato alla porzione di versante interessata dall’evento calamitoso e l’inserimento del processo nel protocollo “VISO” è previsto solo per eventi la cui messa in sicurezza non viene giudicata di “somma urgenza” per i quali le opere vengono immediatamente progettate ed eseguite.

Nell’ambito della redazione dei Piani delle Zone di Pericolo (PZP) si identificano le zone da indagare mediante approfondimenti operati dall’Ufficio Geologia e Prove Materiali. Si redige la Carta del Grado di Studio relativa ai pericoli di Frana (crolli, frane di scivolamento, frane superficiali) basandosi sulle informazioni presenti nel Catasto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), analizzando

le informazioni morfologiche ottenibili dal modello digitale del terreno (DTM), e tramite il consulto della Carta della Suscettibilità (metodo di Buwal, analisi di propagazione dei crolli).

La metodologia adoperata ad inizio progetto, ora obsoleta, prevedeva che il direttore di zona del Servizio Strade desse indicazioni sui tratti di strada maggiormente a rischio compresi nella propria area di competenza, fornendo i dati indicati in tabella .

ZONA	intervallo individuato ausgewählte Abschnitt	località Ortschaft	scarpate rocciose sovrastanti	cognizione di eventi	presenza di opere protettive	richieste di danni	T.G.M. (disponibile o stimato)	segnaletica già presente	unico collegamento per la vallata	classe di rischio
3	7+400-7+500	Galleria Cornedo	SI	29	SI	89	5062	SI	NO	R4
3	3+200-4+500	Galleria Cornedo	SI	29	SI	89	5062	SI	NO	R4
5	471+000 - 471+150	Feldthurns / Velturmo	SI	1	SI	1	13071	SI	NO	R4
3	430+650 - 431+000	Laives Nord	SI	2	SI	3	20977	SI	NO	R4
3	427+200 - 427+800	Laives Sud	SI	3	SI	0	13000	SI	NO	R4
1	145+100 - 147+500	Prato à Stelvio	SI	3	SI	4	2500	SI	SI	R4
1	124+400 - 134+400	Passo Stelvio - Rocca bianca	SI	4	SI	7	3000	SI	SI	R4
4	451+000 - 451+500	Campodazzo (Comune Renon) - portale sud tunnel	SI	1	SI	1	6866	SI	NO	R4
6	6+000 - 11+000	Jahrzahl	IN PARTE	8	NO	0	1.500	SI	SI	R4
2	11+000 - (12+600) 12+900	dopo Sorgenti/nach Quellenhof	IN PARTE	1	IN PARTE	5	6500	SI	SI	R4
4	438+200 - 440+000	variante Virgolo (Comune BZ)	SI	2	SI	2	26705	SI	NO	R4
1	143+300 - 144+700	Gomagoi	NO	1	NO	1	2500	SI	SI	R4
1	137+500 - 141+800	R. bianca - Trafoi 8 (+ nuova galleria)	SI	2	IN PARTE	1	3000	SI	SI	R4
2	36+000 - 40+000	Passo Giovo/Jaufenpass	SI	0	IN PARTE	1	2000	IN PARTE	SI	R4
1	139+600 - 142+500	Trafoi	SI	1	IN PARTE	0	2500	SI	SI	R4
3	0+300 - 1+200	Stenk-Zona ind. Ega	SI	0	NO	0	1200	NO	NO	R4
3	222+400 - 222+600	Bolzano	SI	0	SI	0	8039	SI	NO	R4
3	5+200	800m prima di Obereggen	NO	1	NO	0	1200	SI	NO	R3
4	457+000 - 459+000	Colma/Kollmann	SI	4	in parte	4	7762	SI	NO	R3
3	8+100 - 8+760	Novale	SI	0	SI	1	1200	SI	NO	R3
1	184+000	Naturno Ovest	SI	2	SI	1	15500	SI	SI	R2
4	21+600 - 21+800	Ponte Gardena	SI	2	SI	5	2346	SI	NO	R2
5	494+900 - 495+700	Grasstein / Le Cave	NO	4	SI	0	5000	SI	NO	R2
2	(9+300) 9+200 - 10+400	Saltusio/Saltaus	IN PARTE	2	IN PARTE	1	6500	SI	SI	R2
5	500+300 - 501+300	Mauls / Mules	SI	0	SI	3	4843	SI	NO	R2
5	0+500	Milland / Millan	NO	2	SI	0	1300	SI	NO	R1
5	4+900 - 4+970	St. Andria / S. Andrea	SI	1	NO	0	1300	SI	NO	R1
5	1+100 - 5+300	Mühlabach-Meransen / Rio di Pusteria-Maranza	IN PARTE	6	IN PARTE	8	800	SI	NO	R1
2	3+550 - 3+650	Fonsthal	SI	1	NO	0	5200	NO	SI	R1
5	1+450	Milland / Millan	NO	1	NO	0	1300	SI	NO	R1
5	15+550	Palmschoß-Afers / Plancios-Eores	SI	1	SI	0	332	SI	SI	R1
5	59+400	Egg / Dosso	SI	1	SI	0	320	SI	SI	R1

Figura 25 - Indicazione dei tratti di strada più a rischio

Un riconoscimento più mirato dei versanti da sottoporre a studio veniva fatto a cura di un tecnico dell'Ufficio Geologia, che provvedeva ad applicare ai versanti che costeggiano la strada in esame, il metodo zenitale di Buwal (1998).

Tale analisi, considerando ogni punto dal quale potenzialmente può avvenire un distacco (costoni con pendenza >35°), ed associando a ciascuno di detti punti un "cono d'ombra" di ampiezza pari a 35° dalla verticale e 30° in pianta, porta alla redazione di una particolare cartografia che rappresenta la probabilità che il singolo masso possa giungere nei pressi della strada; tale rappresentazione viene confrontata con le indicazioni fornite dai direttori di zona. Il paragone consente in molti casi di ridurre la lunghezza del tratto che verrà sottoposto ad esame dettagliato.

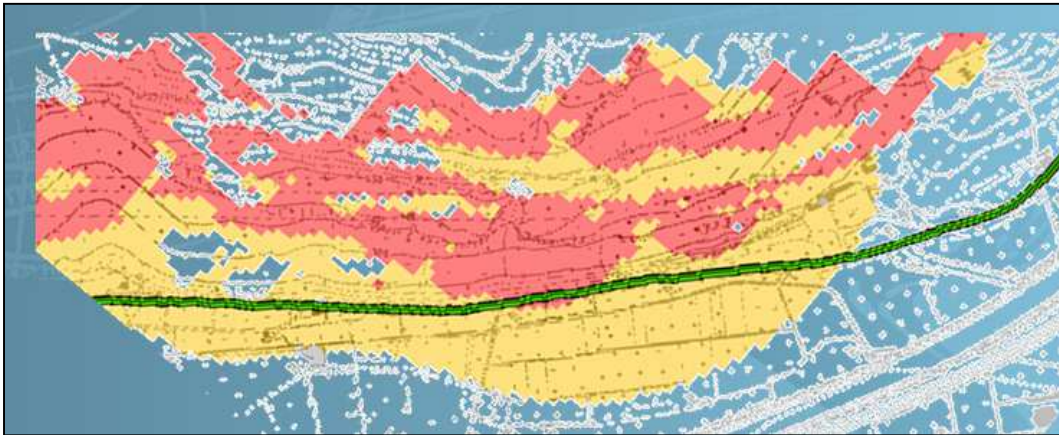


Figura 26 - esempio di mappa dei versanti da analizzare

1.1.2 *Il rilievo di campagna*

La raccolta dei dati di campagna consente di ricavare alcuni dei parametri fondamentali per l'individuazione della pericolosità del versante quali l'Intensità del fenomeno di crollo e la valutazione generale dell'opera di protezione.

Il rilievo avviene in tre fasi distinte :

- **Censimento delle caratteristiche e della/e posizione/i dell'/e opera/e di protezione;** comprende il riconoscimento del tipo di installazione, il rilievo delle caratteristiche geometriche dell'opera, ed il collocamento della stessa sulla cartografia (tramite GPS o attraverso metodologie topografiche classiche);
- **Individuazione dell'intensità del fenomeno che potrebbe potenzialmente svilupparsi dal versante, considerando tutti i fattori di smorzamento.** La definizione dell'intensità avviene tramite un rilievo speditivo dei parametri che concorrono a definire il vigore del fenomeno che si potrebbe sviluppare lungo il versante attiguo alle infrastrutture di trasporto, così come attraverso la definizione del tempo di ritorno associabile al fenomeno.
- **Rilievo delle caratteristiche funzionali dell'opera protettiva;** sottintende la definizione del suo stato di conservazione, della sua utilità e del suo posizionamento in funzione dell'intensità e della geometria del

fenomeno che si può sviluppare sul versante. Esso è condotto in maniera speditiva e non può prescindere dalla pregressa definizione dell'intensità del fenomeno.

Le fasi del rilievo di campagna riguardano tratti di versante omogenei, ovvero porzioni di parete a cui si possa associare un'intensità dell'evento (S.E.I., coefficiente descritto nel seguito) uniforme.

Per definizione, ogni opera di protezione sottende un tratto di versante da considerarsi omogeneo, in quanto si presume che l'opera sia stata dimensionata per far fronte ad uno o più eventi con caratteristiche simili, lungo l'intera porzione di versante.

Le analisi sul campo non comprendono indagini geomeccaniche, geotecniche o topografiche di dettaglio a causa del cospicuo numero di versanti che si affacciano direttamente sulle strade provinciali (lo sviluppo totale della rete stradale provinciale è costituito da 809,21km di S.S. e da 1274,64 km di S.P., di cui rispettivamente 252,03 km e 306,71 km si trovano in diretta prossimità di fronti montuosi) e della considerevole schiera di opere protettive già installate.

1.1.2.1 Individuazione dell'intensità del fenomeno che potenzialmente si sviluppa dal versante

L'intensità del fenomeno che può potenzialmente svilupparsi dal versante viene rappresentata mediante l'indice *S.E.I - Slope Event Intensity*.

Tale indice ha un valore numerico (variabile tra 23 e 150) ricavato dalla somma di due ulteriori parametri ottenuti, durante il rilievo di campagna, sulla base di considerazioni circa le caratteristiche geomeccaniche del pendio, sintetizzate tramite il parametro *G.E.I - Geomechanical Event Intensity* e su parametri, legati alle caratteristiche del percorso tra nicchia di distacco e sede stradale, che rappresentano i fattori di attenuazione o amplificazione di G.E.I., e concorrono a definire l'ulteriore parametro *S.C. (Slope Coefficient)*.

Al parametro *G.E.I - Geomechanical Event Intensity* vengono attribuiti di base 50 punti, ai quali si sommano i punteggi che derivano dalla valutazione dei parametri riportati nella seguente tabella:

parametri di giudizio	intervallo dei valori				punteggio
	> 1	0,5 - 1	0,1 - 0,5	< 0,1	
volume dei blocchi (m ³)	> 1	0,5 - 1	0,1 - 0,5	< 0,1	
punteggio parziale	15	10	5	2	A
volume max mobilizzabile per singolo evento (m ³)	> 100	10 - 100	5 - 10	< 5	
punteggio parziale	20	15	10	2	B
stato di decomposizione dell'ammasso roccioso	notevole	discreto	basso	compatto	
punteggio parziale	50	20	10	2	C
assetto giaciturale	molto sfavorevole	poco sfavorevole	ininfluente o assente	favorevole	
punteggio parziale	15	10	0	-6	D
G.E.I. - Geomechanical Event Intensity = A+B+C+D+50					

Figura 27 - scheda di campagna I

Il “*volume dei blocchi*” ed il “*volume massimo mobilizzabile per singolo evento*”, sono coefficienti che racchiudono informazioni sull'energia cinetica che i massi possono acquisire durante il loro percorso, nonché sulla quantità di materiale che può distaccarsi per ogni singolo evento; essi forniscono dati riferiti alla possibilità che il distacco sia costituito da più blocchi che raggiungono contemporaneamente la sede stradale. Si determinano grazie all'osservazione dei frammenti che si trovano sul versante o dalla spaziatura delle discontinuità sulle pareti e dalla stima volumi di materiale derivanti da distacchi multipli o dal distacco di porzioni rilevanti di parete e/o versante costituite da più blocchi singoli.

I coefficienti “*stato di decomposizione dell'ammasso roccioso*” e “*assetto giaciturale*” contribuiscono in questo contesto ad aumentare l'intensità del fenomeno, in quanto entrambi favoriscono il verificarsi di distacchi multipli, non

sincroni, ma abbastanza vicini nel tempo da non permettere le operazioni d' intervento.

La caratterizzazione dello “*stato di decompressione dell'ammasso roccioso*” varia da compatto (senza fatturazioni o con fratture serrate e distanziate) a notevole (molto de-tensionato, con fratture beanti ed eventuale presenza d'acqua). I termini intermedi (discreto, basso) sono da prendere in causa in presenza di situazioni intermedie che influiscono più o meno sull'instabilità del versante.

L'“*assetto giaciturale*” valuta, in base alla disposizione della fratturazione riscontrabile rispetto al versante, la propensione al distacco. Il termine “molto sfavorevole” indica giaciture o piani di scivolamento a franapoggio, con un'inclinazione elevata prossima a quella del pendio; con il termine “favorevoli” sono individuate quelle condizioni di giaciture o piani di scivolamento a reggipoggio, non delimitate da altri giunti. Anche in questo caso i valori “sfavorevole” ed “ininfluente” sono da utilizzare a discrezione dell'operatore esperto che, a vista e conoscendo il territorio, può valutare in che misura un aumento di inclinazione di una giacitura o di un piano di scivolamento, o la presenza di ulteriori discontinuità, rappresentino un fattore più o meno predisponente al verificarsi di fenomeni di scivolamento o ribaltamento.

Il coefficiente *S.C. - Slope Coefficient* si identifica con un punteggio attribuito grazie alla valutazione dei parametri presenti nella seguente tabella :

pendenza media del versante	75 - 90	60 - 75	45 - 60	35 - 45	
punteggio parziale	15	10	0	-6	E
morfologia del versante e risp del terreno	sfavorisce nettamente l'arresto dei massi	sfavorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce nettamente l'arresto dei massi	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	F
vegetazione	prati, pascoli, roccia nuda [A]	cespugliato [B]	bosco di conifere (LAIVES) [C]	bosco ceduo (VADENA) [D]	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	G
S.C. - Slope Coefficient = E+F+G					

Figura 28 - scheda di campagna II

Tali parametri valutano la tendenza del fenomeno ad attenuarsi o amplificarsi nel tratto di transito tra la nicchia di distacco e la sede stradale.

In particolare più la pendenza media del versante (ottenuta tracciando idealmente un segmento che unisce il punto più alto dell'affioramento fonte del pericolo, con il ciglio della carreggiata stradale, e misurando l'angolo che tale segmento forma con l'orizzontale) è bassa, più è elevato il grado di smorzamento dell'intensità dell'evento.

Il parametro "*morfologia del versante e risposta del terreno*" considera il modo in cui l'uso del suolo possa influire in maniera differente sulla mitigazione del fenomeno di caduta massi.

Lo smorzamento dell'energia cinetica di un fenomeno non è condizionato in maniera evidente se la vegetazione è costituita da "*prati e pascoli*", a differenza di quanto avviene in presenza di "*bosco ceduo*" il quale è caratterizzato da una maggior capacità d'assorbimento e di trattenuta dei massi che procedono con cinematismi di rimbalzo o rotolamento.

La capacità di assorbimento elastico del terreno presenta valori elevati per detrito sciolto di falda e valori minimi per roccia affiorante, inoltre sull'arresto dei massi che compongono il corpo di frana influiscono anche parametri come l'asperità (intesa come granulometria dei blocchi presenti lungo il versante in rapporto ai massi in caduta) e le caratteristiche morfologiche del pendio lungo l'eventuale linea di caduta. E' evidente, infatti, come la presenza di eventuali tratti piani o avvallamenti presenti tra la nicchia di frana e la carreggiata stradale, così come la presenza di grossi blocchi o asperità lungo la linea di caduta, sono da considerarsi fattori che favoriscono l'arresto dei massi.

1.1.2.2 *Valutazione dell'opera protettiva*

L'opera protettiva viene valutata sulla base del suo stato di conservazione, della sua utilità e del suo posizionamento in funzione dell'intensità e della geometria del fenomeno che si può sviluppare sul versante. Il rilievo di tali caratteristiche è condotto in maniera speditiva e non può prescindere dalla pregressa definizione

dell'intensità del fenomeno. Il parametro che permette di definire la funzionalità dell'opera di protezione (A-B-C-D-E, dove il parametro A rappresenta la massima urgenza) si ricava in sede di sopralluogo utilizzando le matrici seguenti.

La definizione di “*utilità del sistema di difesa*” indicata con la sigla *P.S.U. - Protection System Utility* si ricava dalla prima matrice in relazione al dimensionamento statico dell'opera *P.S.D. - Protection Sytem Design* ed alla sua collocazione sul territorio *P.S.L. - Protection System Location* presenti rispettivamente sulle ordinate e sulle ascisse della matrice stessa.

Il parametro *P.S.D. - Protection System Design*, indicato sulle ordinate, è individuato da una delle seguenti categorie :

- *buono*: dimensionamento degli elementi del sistema adeguato all'evento che potenzialmente potrebbe verificarsi;
- *incerto*: l'esame visivo non consente di affermare che il sistema è adeguatamente dimensionato;
- *inadeguato*: sistema di difesa indubbiamente sottodimensionato o carente;
- *scorretto*: l'inadeguatezza strutturale peggiora la stabilità del versante.

Il parametro *P.S.L. - Protection System Location*, collocato sulle ascisse, è identificato da una delle seguenti classi :

- *adeguato*: la posizione dell'opera indagata è certamente corretta;
- *incerto*: non è possibile affermare la piena adeguatezza del posizionamento dell'opera protettiva;
- *inadeguato*: l'opera di protezione è ininfluente ai fini della stabilità del versante;
- *scorretto*: lo scorretto posizionamento dell'opera sul versante modifica in maniera negativa la stabilità e/o le condizioni di sicurezza dello stesso, aumentando il pericolo;

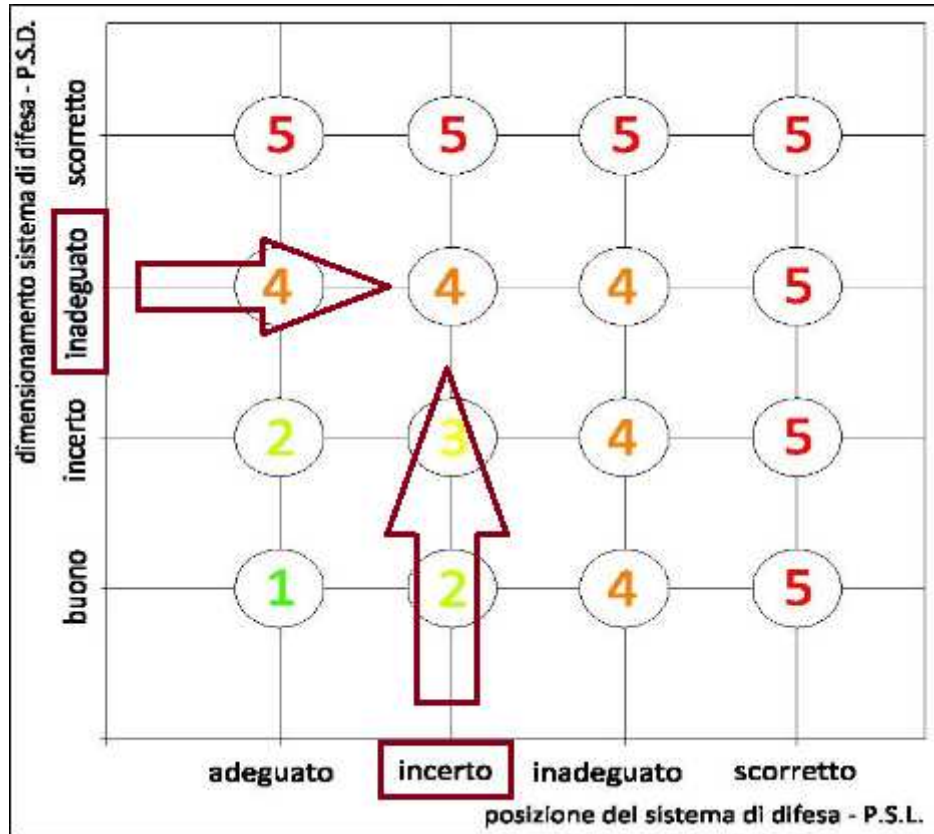


Figura 29 - matrice utilizzata per individuare il parametro P.S.U. - Utilità del sistema di difesa

L'individuazione della classe di appartenenza dei parametri P.S.L. e P.S.D. porta all'identificazione di un numero (variabile tra 1 e 5) associato al parametro P.S.U.; (e.g. se il dimensionamento del sistema di difesa risulta *inadeguato* e il suo posizionamento *incerto*, l'utilità del sistema *P.S.U.* - *Protection System Utility* sarà identificata dal valore 4).

Tale valore si colloca sulle ordinate della seconda matrice, sulle cui ascisse si trova il parametro *P.P.S.* - *Preservation Protection System* che rappresenta lo stato di conservazione dell'opera ed è anch'esso suddiviso in cinque classi :

- *buono*: quando non necessita alcun tipo di manutenzione, e/o il certificato di manutenzione non prevede interventi;
- *discreto*: quando è richiesta la sostituzione/manutenzione di parti non strutturali, o è necessaria una modesta pulizia;
- *sufficiente*: quando è richiesta la sostituzione/manutenzione di parti strutturali, che non pregiudicano tuttavia l'efficienza del sistema, o quando è necessaria una pulizia più profonda rispetto al caso precedente;

- *insufficiente*: quando lo stato conservativo risulta inadeguato rispetto alla funzione che il sistema di difesa deve assolvere; la presenza di danneggiamenti, anche locali, compromette la funzionalità dell'intero sistema;
- *problematico*: quando lo stato di degrado avanzato pregiudica addirittura la stabilità del versante rendendo il possibile evento di caduta o crollo più pericoloso dell'eventualità in cui l'opera non ci fosse; questo può avvenire, ad esempio, nel caso delle barriere paramassi colme di materiale, nelle quali la massa del volume originariamente trattenuto, si somma a quella del distacco più recente.

Dal confronto fra i valori associati ai parametri presenti nella seconda matrice si ricava infine la valutazione dell'opera protettiva *P.S.E. - Protection System Evaluation*, intesa come assegnazione di un fattore al quale è associata una certa *priorità di intervento* definita tramite l'assegnazione di una lettera (A;B;C;D;E) dove il parametro A rappresenta la massima urgenza.

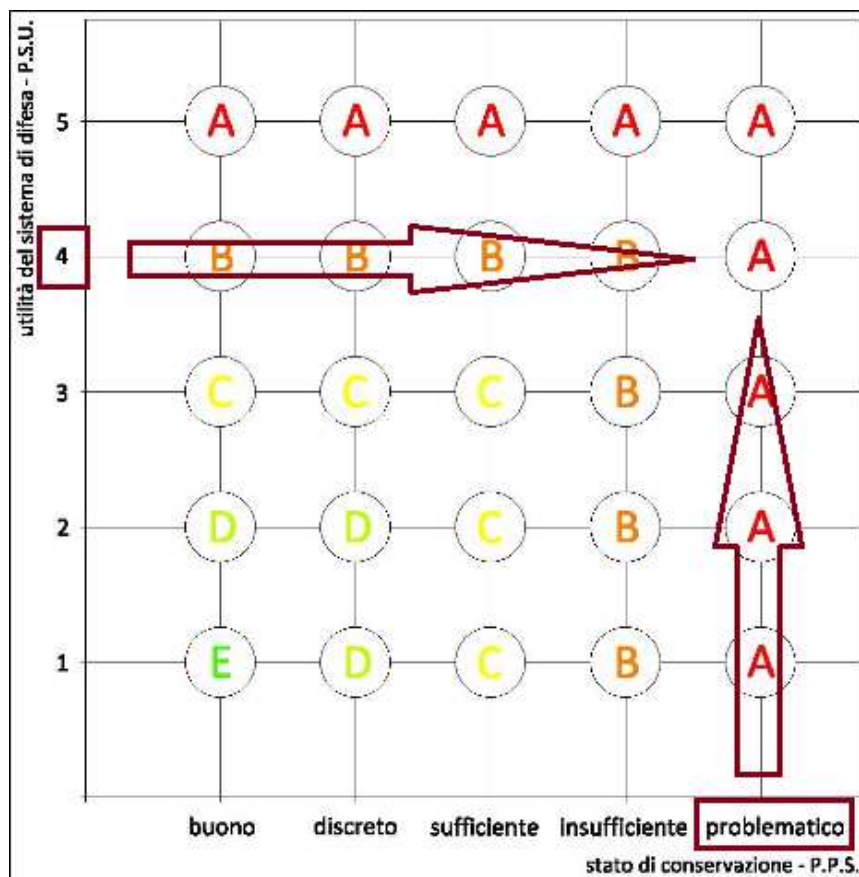


Figura 30 - matrice utilizzata per individuare il parametro P.S.E. - Valutazione dell'opera difensiva

e.g. se l'utilità del sistema P.S.U. – Protection System Utility è identificata dal valore 4 e lo stato di conservazione dell'opera rilevata risulta *problematico* si avrà una *priorità di intervento A* corrispondente alla massima urgenza.

1.1.2.3 Individuazione di zone omogenee

Il versante, in presenza o mancanza di opera protettiva, viene suddiviso in zone a pericolosità omogenea già durante il rilievo di campagna.

Dall'intersezione delle zone in cui i parametri che servono per calcolare il S.E.I. sono omogenei e delle fasce di versante in cui è presente un'opera di protezione derivano diverse porzioni di versante che insistono sul tratto stradale con una diversa pericolosità. Tale pericolosità viene poi attribuita al punto medio dell'opera o del versante proiettato lungo la linea di massima pendenza sull'oggetto protetto (per le strade: sul centro della carreggiata stradale).

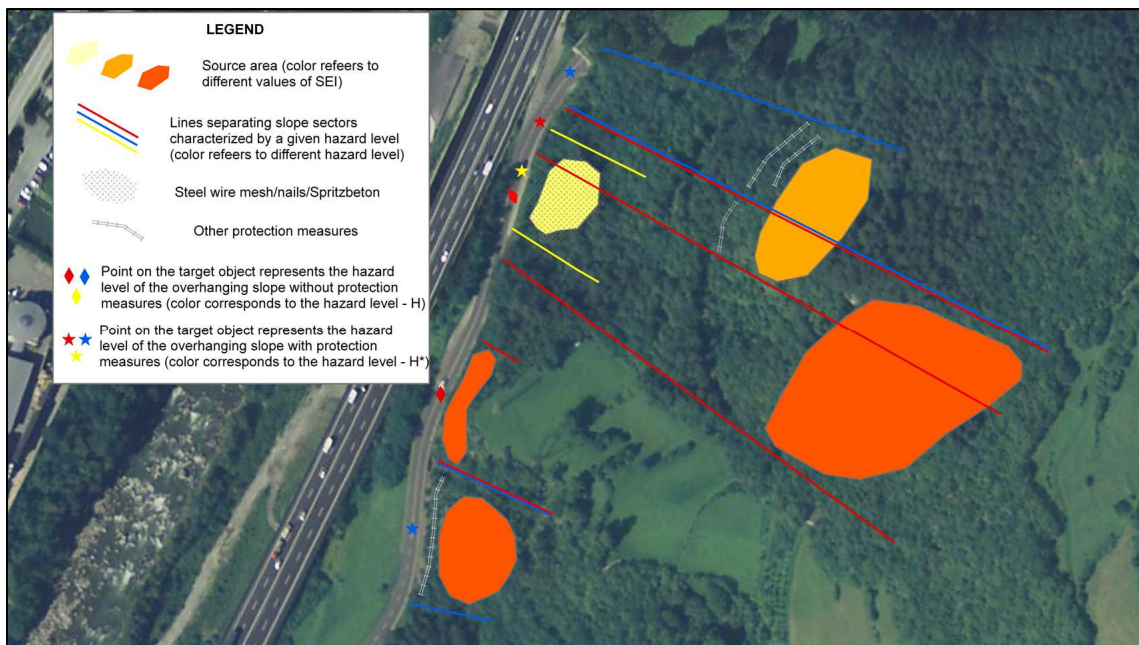


Figura 31 - Zone a caratteristiche omogenee

1.1.3 Individuazione della pericolosità dei versanti

Il procedimento di applicazione, che permette di definire il pericolo che caratterizza un particolare versante, dotato o meno di opere protettive, deriva da classificazioni e standard scientifici universalmente noti ed accettati, in particolare dal cosiddetto “metodo svizzero” messo a punto dall’Istituto Svizzero Buwal per l’Ambiente, le Foreste ed il Paesaggio, nel 1998/99, nonché dalle Linee Guida per la Redazione dei Piani delle Zone di Pericolo di cui all’art. 22/bis della Legge Urbanistica Provinciale dell’11 agosto 1997, n.13.

1.1.3.1 Pericolosità del versante (H) sprovvisto di opere di protezione

La pericolosità del versante, in assenza di opere protettive, viene individuata secondo quanto previsto dalle “Direttive per la redazione dei piani delle zone di pericolo secondo la legge urbanistica provinciale, legge provinciale 11 agosto 1997, n.13, articolo 22/bis”, tramite il seguente diagramma:

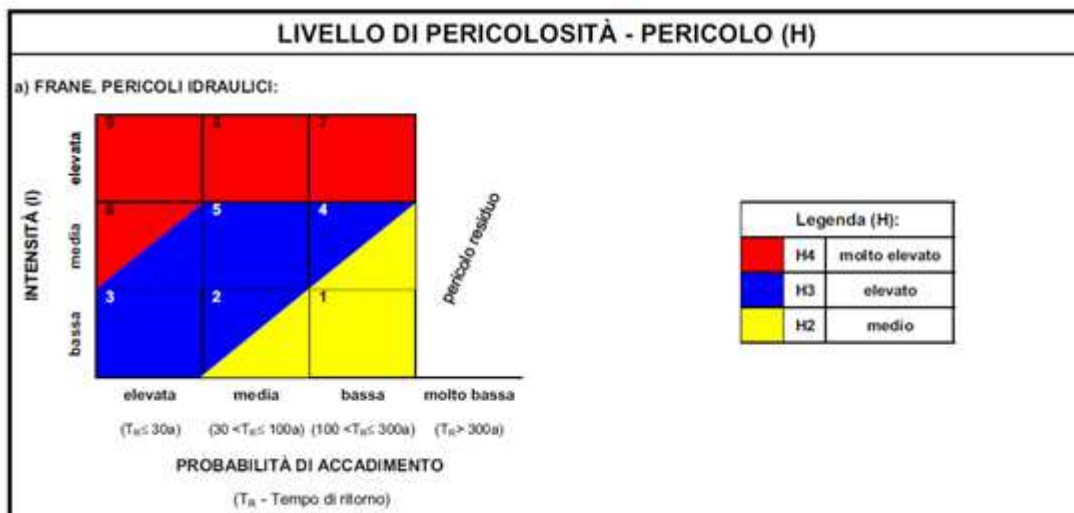


Figura 32 - diagramma di Buwal modificato

Tale metodologia ha preso spunto dal metodo proposto dall’Istituto svizzero Buwal per l’Ambiente, le Foreste ed il Paesaggio, nel 1998/99.

La pericolosità H viene definita dal confronto tra l'Intensità del fenomeno, rappresentata in VISO dal coefficiente *S.E.I - Slope Event Intensity*, ed il tempo di ritorno T_r .

L'Intensità del fenomeno è definita elevata, se il coefficiente S.E.I. ha un valore compreso tra 100 e 150, media, se il coefficiente S.E.I. ha un valore compreso tra 50 e 100, mentre viene indicata come bassa con valori di S.E.I contenuti tra 23 e 50. Dato il carattere speditivo del metodo VISO e la difficoltà nella ricostruzione degli accadimenti passati, nella stima del tempo di ritorno vengono considerati tutti i fenomeni di cui si ha notizia, indipendentemente dalla loro entità: si tiene pertanto conto di tutti quei fenomeni di caduta massi di cui esiste testimonianza certa (pratiche di protocolli di sopralluogo e/o relazioni tecniche presenti nell'archivio dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali) nell'ambito riferito a tempi di ritorno inferiori ai 30 anni, essendo la documentazione relativa alle Strade Statali disponibile solo a partire dal 1998.

I fenomeni di crollo e ribaltamento (secondo la classificazione di Varnes) hanno sempre un'intensità elevata, legata alla velocità con cui il fenomeno colpisce l'oggetto sensibile: questo è il motivo per cui si considera che il pericolo possa variare in un range limitato, comunque sempre compreso tra i livelli H_3 ed H_4 .

1.1.3.2 Pericolosità del versante (H^) in presenza di opere di protezione*

La pericolosità, qualora lungo il versante siano presenti opere di difesa, viene definita rapportando il valore della pericolosità del versante senza opere di protezione (valore compreso H_4 ed H_3 , ed ottenuto come specificato al paragrafo precedente) con quello della valutazione sull'opera protettiva.

Dall'intersezione di tali valori si ottiene la pericolosità (H^*) che insiste sulla carreggiata stradale.

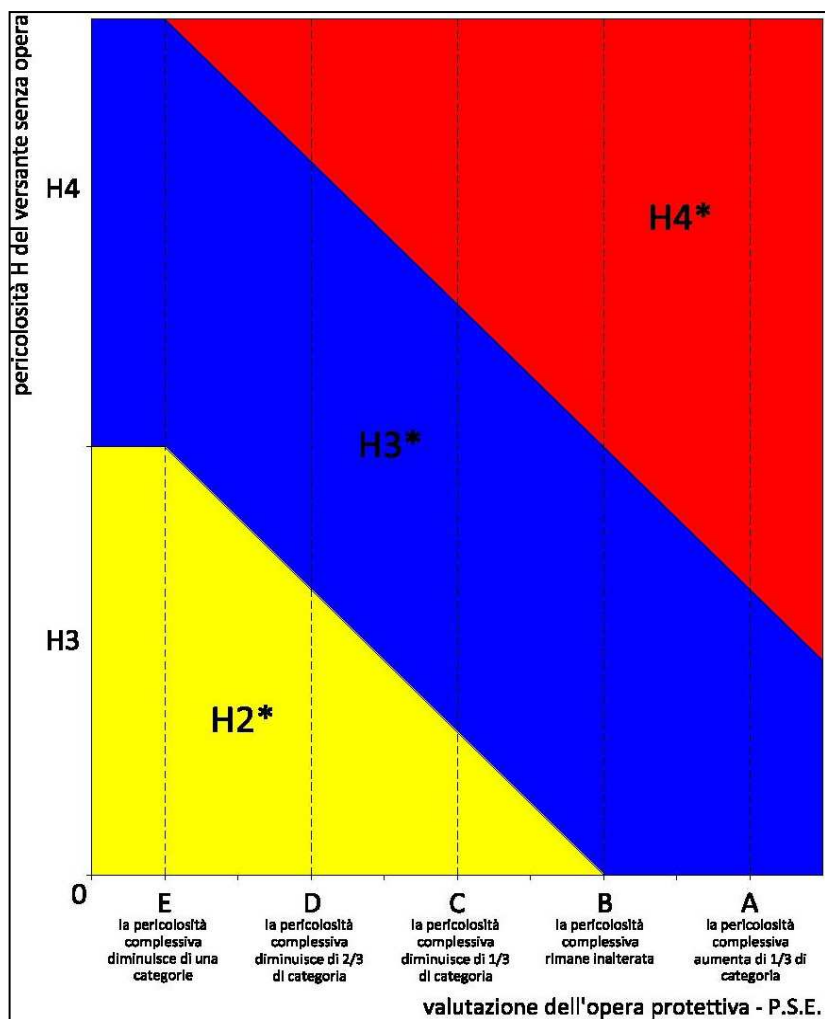


Figura 33 - matrice atta ad individuare la pericolosità di un versante provvisto di opere di protezione

Dal diagramma, si può osservare come un'opera caratterizzata da una valutazione di tipo A (alta priorità di intervento sull'opera, urgenza), accentui la condizione di pericolosità generale del versante: il grafico restituisce infatti un aumento della pericolosità H^* , quantificato in $1/3$ di categoria.

Un'opera contraddistinta invece da una valutazione di tipo B non ha influenza sulla pericolosità complessiva del versante, lasciando il valore di pericolosità H^* invariato.

Un'opera contrassegnata da una valutazione di tipo C, inizia ad influire sulla pericolosità globale H^* del versante, riducendola di $1/3$ di categoria.

Un'opera caratterizzata da una valutazione di tipo D migliora ulteriormente la condizione di sicurezza del versante, e ne diminuisce la pericolosità di $2/3$ di categoria. Infine, un'opera con valutazione di tipo E (opera corretta ed adeguata,

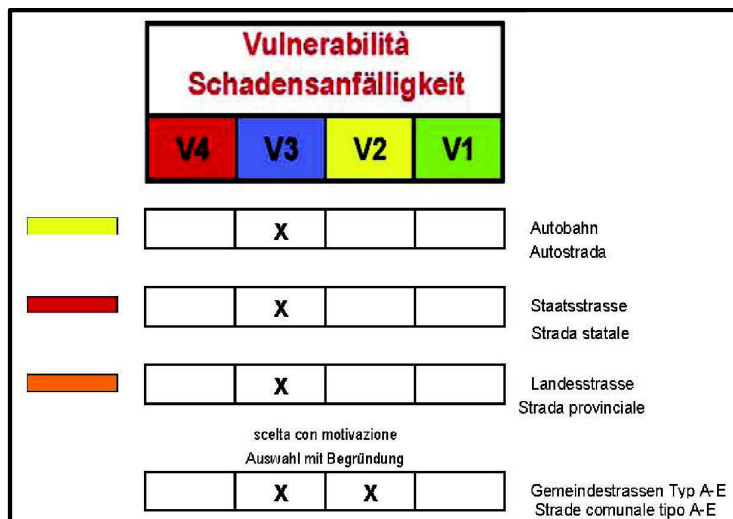
ridotta urgenza di intervento) riduce la pericolosità del versante H*, di un ordine di grandezza.

1.2 Analisi del rischio specifico che caratterizza un tratto stradale

Il Rischio specifico è dato dall'interazione tra la pericolosità di un versante sprovvisto di opere protettive (H) o quella (H*) di una parete dotata di opere di difesa contro la caduta massi e gli "elementi a rischio" caratterizzati da una vulnerabilità (V) specifica.

1.2.1 Definizione della vulnerabilità

Secondo l'allegato E.2 delle Direttive per la Redazione dei Piani delle Zone di Pericolo (PZP) di cui alla Deliberazione della Giunta Provinciale del 28 luglio 2008, n. 2741, sia le Strade Statali, che le Strade Provinciali, che parte di quelle Comunali, sono caratterizzate da un valore della vulnerabilità pari a V3.



La definizione di vulnerabilità utilizzata nell'ambito dell'analisi de rischio dalla Provincia Autonoma di Bolzano è associata a quella di "importanza" di un arco stradale, secondo la relazione

$$\text{Imp}_j = \frac{1}{k} \left(\frac{\text{THM}_j}{\xi} \right)^\alpha + \frac{k-1}{k} (\text{Imp}_j)$$

dove compare un contributo di vulnerabilità diretta ed una quota di vulnerabilità indiretta.

Con il termine “importanza” si fa riferimento alle conseguenze date dalla chiusura di un arco stradale valutate nel territorio di riferimento e riconducibili all’incremento dei tempi di percorrenza tra le diverse coppie Origine/Destinazione. L’importanza di un arco è connessa sia alla topologia della rete di cui fa parte, ovvero al grado di connessione dell’arco, sia all’esistenza di percorsi alternativi che non comprendono quell’arco; inoltre dipende, seppur indirettamente, dalla domanda di trasporto.

Nella tabella seguente si evidenzia il parametro T.G.M. (Traffico Medio Giornaliero) utilizzato anche sottoforma di T.H.M. (Traffico Orario Medio) :

VULNERABILITA' STRADE (Vs)				
Parametri	Intervalli dei valori			
TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO - TGM				T = TGM/300
accesso alla vallata	ci sono altri accessi	In parte il secondo accesso	unico accesso	
punteggio	0	1,5	2,5	U
			vulnerabilità	t+u

Figura 35 - definizione della vulnerabilità di una strada

1.2.2 Definizione di Esposizione

Nella pianificazione del pericolo in ambito urbanistico il rischio viene spesso considerato come combinazione dei fattori pericolosità H e vulnerabilità V, nel campo della protezione civile invece il rischio viene inteso come funzione dei termini pericolosità H, vulnerabilità V ed esposizione E.

L’esposizione si distingue tra diretta, che coinvolge direttamente gli utenti che utilizzano un particolare elemento del sistema di trasporto (arco o nodo), ed indiretta, con cui si valutano le conseguenze prodotte, in termini di isolamento di alcune zone, sul territorio attraversato.

Le relazioni che vengono impiegate per definire l'esposizione diretta e indiretta hanno la seguente forma :

$$E_d(j) = \frac{1}{m} [E_{ut}(j)] + \frac{m-1}{m} [E_{inf}(j)]$$

$$E_i(j) = \frac{d_j^{non_ass}}{d_{max}^{non_ass}}$$

Sintetizzate dall'espressione dell'esposizione totale :

$$E(j) = \frac{1}{l} [E_i(j)] + \frac{l-1}{l} [E_d(j)]$$

1.2.3 Definizione del rischio specifico (Rs)

Il rischio specifico viene individuato, come previsto dalle "Direttive per la redazione dei piani delle zone di pericolo secondo la Legge Urbanistica

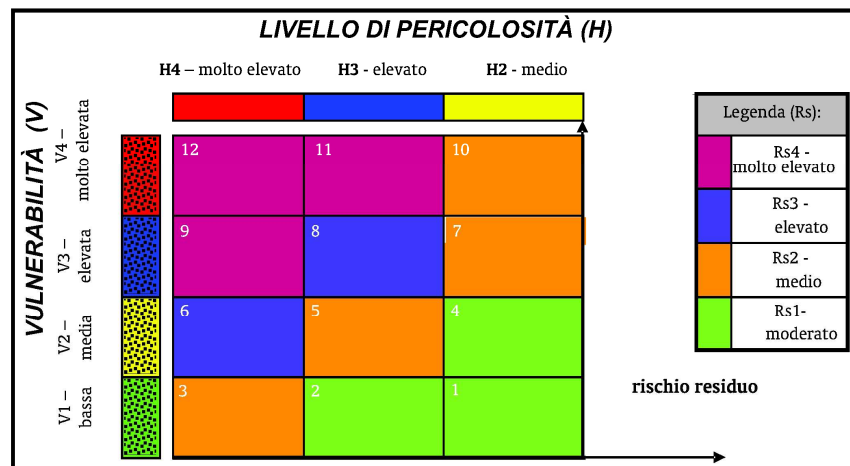


Figura 36 - matrice di individuazione del Rischio specifico

Provinciale, legge provinciale 11 agosto 1997, n.13, articolo 22/bis", secondo quanto contemplato nella matrice precedente.

Il rischio specifico è dato dall'interazione tra i pericoli idrogeologici (H, H*) e gli "elementi a rischio" caratterizzati da una vulnerabilità (V) specifica (nello specifico V ed E). Le relazioni $R_s = f(H, V, E)$ e $R_s = f(H^*, V, E)$, pur considerando la sola riga relativa alla vulnerabilità V3, conducono ad una delle classi di rischio evidenziate dalle Direttive per la Redazione dei Piani delle Zone di Pericolo con le seguenti definizioni :

- *rischio molto elevato*: sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche;
- *rischio elevato*: sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici ed alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione del funzionamento delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- *rischio medio*: sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- *rischio moderato*: i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali.

1.3 Il database di VISO

La strategia con cui si gestisce la sicurezza del transito stradale lungo le vie di comunicazione della Provincia Autonoma di Bolzano, richiede necessariamente l'implementazione di un catasto che raccolga informazioni sui versanti limitrofi alle carreggiate stradali, nonché sul patrimonio delle opere di protezione contro la caduta massi.

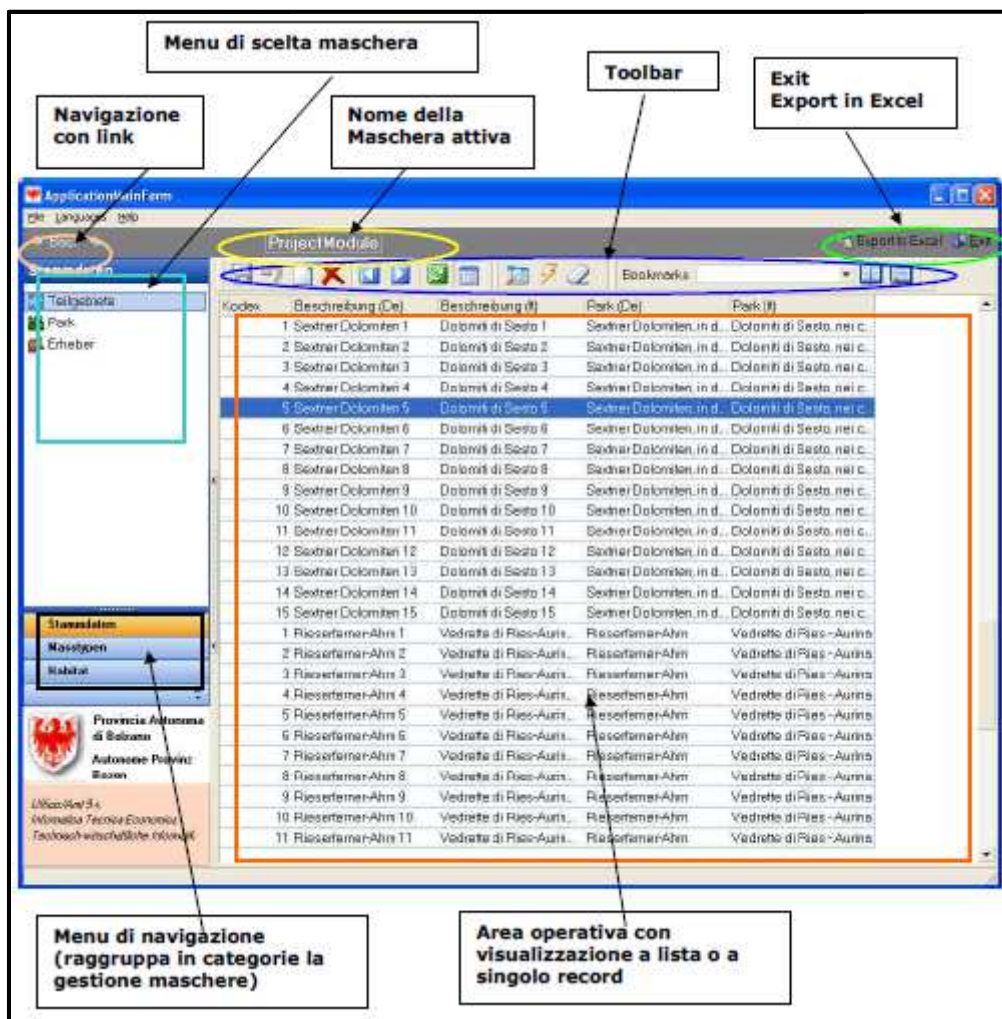
L'applicativo VISO serve per gestire i dati relativi alle opere di protezione e paramassi.

E' disponibile in due distinte versioni :

- Viso per Access : versione funzionante in modo autonomo, destinata ad essere utilizzata dai rilevatori per la raccolta dei dati sul territorio, basata su archivio locale Access.
- Viso per Oracle : versione destinata alla gestione e consultazione distribuita dei dati centralizzati su database Oracle.

La maschera dell'applicativo è suddivisa in tre aree :

- Area Titolo : contiene i pulsanti di navigazione per link, il nome della maschera attiva, il pulsante di esportazione di una tabella in excel.
- Area di navigazione : contiene il menù di scelta della maschera.
- Area Operativa : contiene la *toolbar* di gestione della maschera attiva e la visualizzazione *tabellare* o a *singolo record*.



All'interno del database sono presenti i dati geometrici relativi alle opere accatastate (tipo opera, altezza e lunghezza, loro posizione rispetto al grafo stradale); le coordinate delle opere tramite rilievo GPS, i tratti di strada e la documentazione fotografica relativa ad ogni opera. Le opere sono suddivise in ranghi secondo la definizione *principale* e *secondaria* ; viene definita "opera

secondaria” qualsiasi opera che concorre con un’altra opera a proteggere lo stesso oggetto (e.g. stesso tratto stradale) dallo stesso pericolo e che per dimensioni o posizione ne è subordinata.

E’ possibile associare ad ogni controllo una priorità di intervento sull’opera o un indice di rischio o pericolosità; nel caso in cui la priorità sia elevata è associato un consiglio di intervento legato ad una stima dei costi.

2. Il progetto PARAMount

Il progetto *PARAMount - Improved accessibility reliability and safety of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazard in a changing climate* ha come scopo l’individuazione e la mitigazione dei pericoli naturali lungo le arterie di comunicazione.

In linea con il programma di cooperazione *ALPINE SPACE* che intende rafforzare l’immagine dello spazio alpino risolvendo i problemi legati all’accessibilità e ai trasporti, valorizzando la diversità del patrimonio naturale e culturale e salvaguardando la popolazione e le infrastrutture dai rischi naturali, il progetto intende affrontare la problematica dell’accessibilità delle zone alpine tramite lo sviluppo di protocolli che consentano la gestione della sicurezza e l’ottimizzazione delle risorse ad essa destinate sulle arterie di comunicazione, la riduzione dei costi diretti ed indiretti nel caso di catastrofe, la previsione dei rischi e la programmazione di misure di messa in sicurezza sia temporanee che permanenti.

Nell’ambito di tale progetto è’ stato appositamente creato un database PARAMOUNT per dialogare con il software di analisi del rischio sviluppato all’interno del progetto VISO.

2.1 Il database PARAMOUNT

La nascita del progetto europeo Paramount ha provveduto a migliorare ed integrare il database, già ricco, di VISO.

Il database PARAMOUNT nasce come catasto delle opere di protezione da caduta massi, in particolare delle barriere paramassi deformabili e non deformabili, presenti lungo le arterie stradali amministrare dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

Nella schermata principale si osservano il tipo di barriera, il tipo di difetto che l'opera può presentare; il codice di ogni opera, assegnato in modo univoco nel seguente modo :

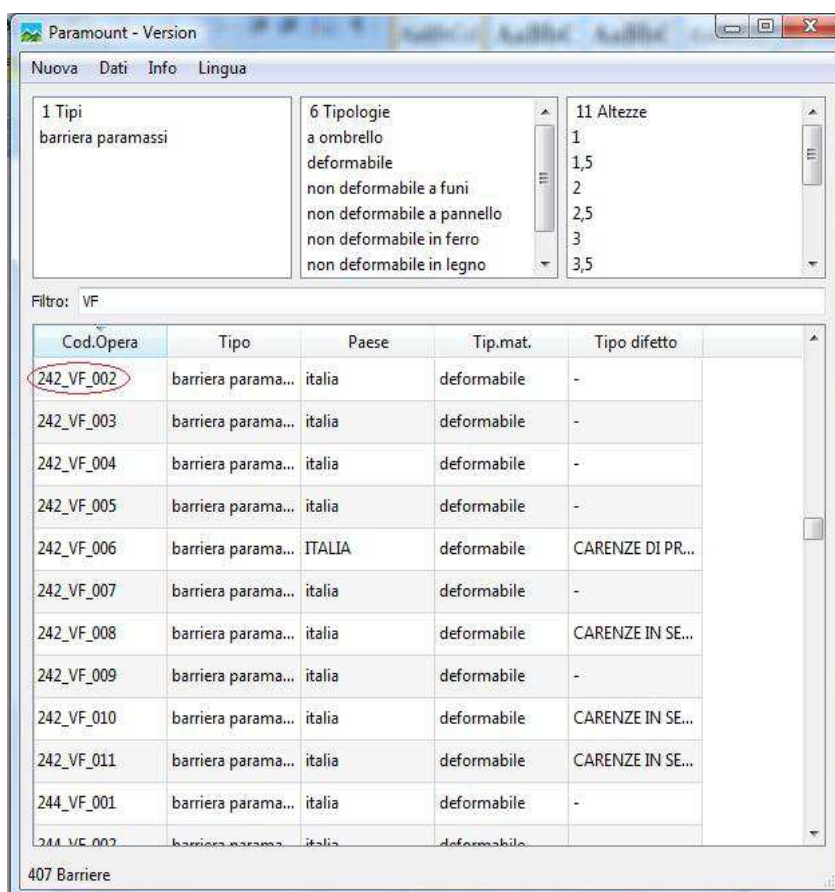
sigla strada (o nome del comune)
_ *rilevatore* (cognome o sigla) _

numero

e.g. : 242_VF_002;

(Strada Statale 242, rilevatore: verafrancesca, opera numero 002).

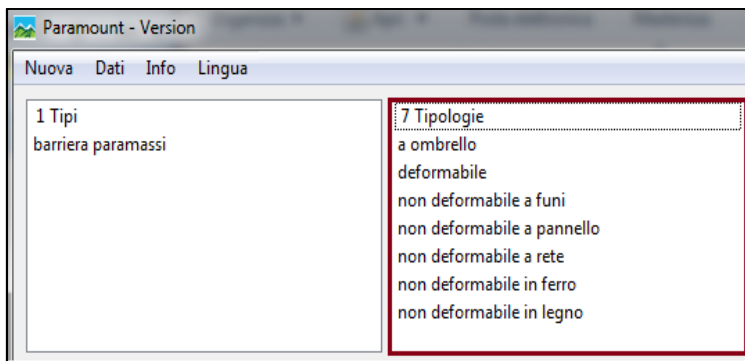
Accedendo alle schermate secondarie si possono andare ad osservare nel dettaglio le caratteristiche geometriche e costruttive di ogni barriera, alla quale è associata una scheda. Tali caratteristiche possono essere analoghe per tipi di barriere simili; per questo motivo all'interno del database sono presenti dei modelli, come evidenziato in figura.



The screenshot shows the main interface of the Paramount database. At the top, there are menu options: Nuova, Dati, Info, and Lingua. Below the menu, there are three panels: '1 Tipi' (barriera paramassi), '6 Tipologie' (a ombrello, deformabile, non deformabile a funi, non deformabile a pannello, non deformabile in ferro, non deformabile in legno), and '11 Altezze' (1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5). A filter 'Filtro: VF' is applied. The main table displays a list of records with columns: Cod.Opera, Tipo, Paese, Tip.mat., and Tipo difetto. The first record, 242_VF_002, is circled in red. The status bar at the bottom indicates '407 Barriere'.

Cod.Opera	Tipo	Paese	Tip.mat.	Tipo difetto
242_VF_002	barriera parama...	italia	deformabile	-
242_VF_003	barriera parama...	italia	deformabile	-
242_VF_004	barriera parama...	italia	deformabile	-
242_VF_005	barriera parama...	italia	deformabile	-
242_VF_006	barriera parama...	ITALIA	deformabile	CARENZE DI PR...
242_VF_007	barriera parama...	italia	deformabile	-
242_VF_008	barriera parama...	italia	deformabile	CARENZE IN SE...
242_VF_009	barriera parama...	italia	deformabile	-
242_VF_010	barriera parama...	italia	deformabile	CARENZE IN SE...
242_VF_011	barriera parama...	italia	deformabile	CARENZE IN SE...
244_VF_001	barriera parama...	italia	deformabile	-
244_VF_002	barriera parama...	italia	deformabile	-

Figura 38 - schermata principale del database PARAMOUNT



All'interno del database sono presenti i modelli di barriere non deformabili identificati dagli operatori dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali della Provincia

Figura 39 - dettaglio di una schermata di PARAMOUNT : tipologie di barriere non deformabili contengono informazioni circa le caratteristiche geometrico - tecniche di ogni tipologia.

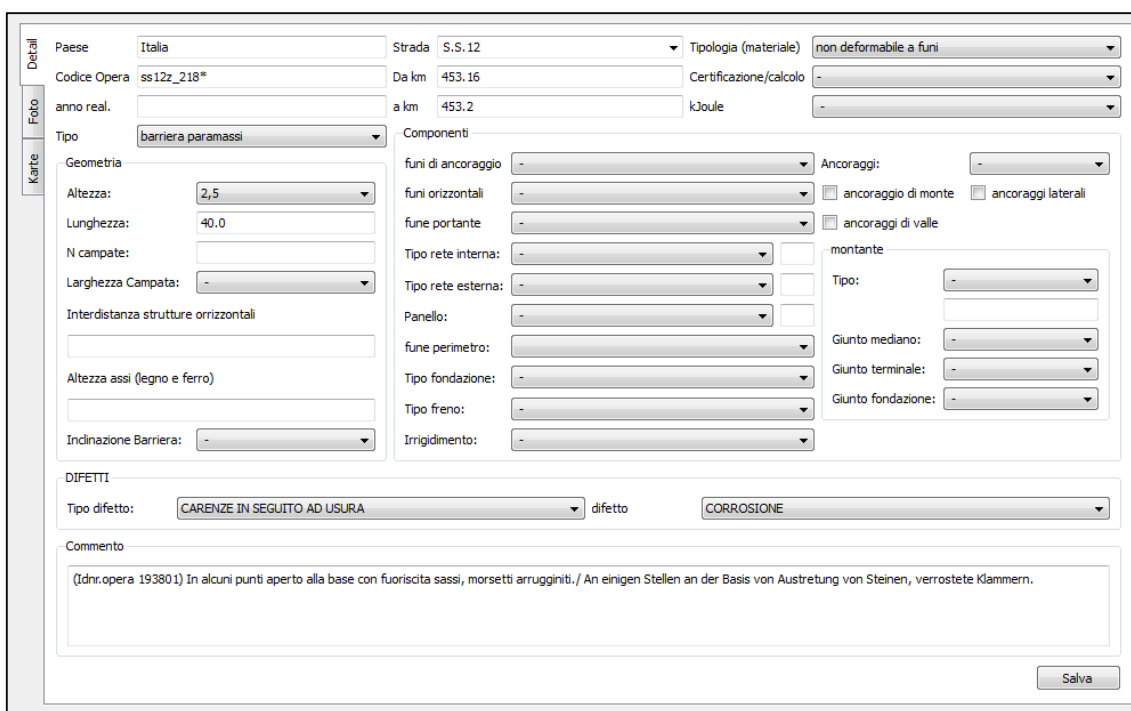


Figura 40 - schermata secondaria PARAMOUNT : dettaglio sulle informazioni presenti per ogni barriera

Il database consente, tramite la funzione *export*, l'esportazione in excel di dati che identificano i modelli inseriti e dei dati associati ad ogni opera: in questo modo si ha la possibilità di filtrare agevolmente i risultati, in relazione alle caratteristiche di

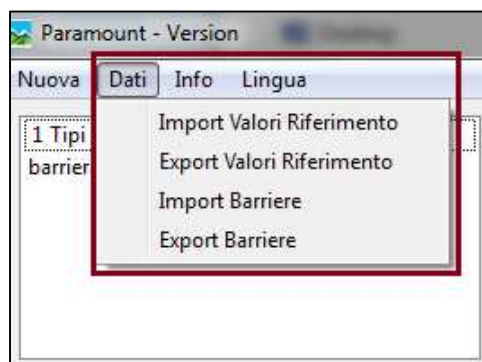


Figura 41 - dettaglio di una schermata di PARAMOUNT

maggiore interesse rendendo più facile e speditiva l'analisi del database. E' possibile inoltre segnalare la presenza di problematiche di varia natura connesse all'opera ; tali problematiche sono indicate nella sezione "difetti" e sono suddivise in categorie predefinite che fanno capo a tre macro gruppi : "carenze di progettazione e/o esecuzione", "carenze in seguito ad usura", "carenze in seguito ad evento". Ciascuna categoria contiene una sottocategoria con informazioni predefinite sulla tipologia specifica di danno.

- *Carenze di progettazione e/o esecuzione* : fanno lavorare la testa dei tiranti di taglio; mancanza di spazio utile per la deformazione; mancanza di rete piccola; rapporto morfologia terreno - barriera.



la

- *Carenze in seguito ad usura* : corrosione; decomposizione



- *Carenze in seguito ad evento* : fondazioni scalzate; funi staccate o rotte; montanti lesionati; rapporto base fondazione; riduzione altezza; piena di materiale da debris-flow; piena di materiale lapideo; piena di materiale misto lapideo – vegetativo.



Figura 44 - Carenze in seguito ad evento : riempimento vegetativo

Nel caso in cui le barriere osservate presentino più di un danno, nel qual caso si indica il più grave nella categoria difetti e si possono inserire informazioni aggiuntive nella sezione commenti.

Il database è inoltre fornito di una ricca documentazione fotografica che consente di osservare lo stato di ciascuna opera inserita.

3. Integrazione del database PARAMOUNT

Come descritto in precedenza, all'interno del database PARAMOUNT sono presenti i modelli di **barriere non deformabili** identificati dagli operatori dell'Istituto di Geologia e Prove materiali della Provincia Autonoma di Bolzano.

Si è provveduto dunque ad integrare il database con informazioni riguardanti le **barriere paramassi deformabili** presenti sul territorio.

Si è proceduto, con l'aiuto di una collega del corso di laurea, a raccogliere i dati relativi alle barriere paramassi deformabili installate, sul territorio della Provincia Autonoma di Bolzano, nell'arco di dieci anni.

Grazie ad un'analisi di archivio effettuata all'interno delle diverse sedi del servizio strade della Provincia Autonoma di Bolzano, si è presa visione (laddove presenti) delle schede tecniche delle barriere collocate sul territorio, si sono integrati i dettagli costruttivi contattando le principali ditte fornitrici e si è proceduto con una classificazione delle opere, identificando alcuni modelli di "barriere-tipo che sono stati inseriti nel database *PARAMOUNT*, già creato per il progetto VISO.

Si è proseguito associando a tali modelli le barriere provviste di documentazione fotografica rilevate in precedenza dall'istituto di Geologia della Provincia Autonoma di Bolzano e inserite in VISO e si è valutata la corrispondenza dei modelli creati, andando a verificare sul posto che le barriere presenti sul territorio ed inserite nel database (tramite modello), effettivamente coincidessero, nelle misure e per le caratteristiche geometrico-costruttive, ai modelli a cui erano state associate.

Inoltre sono stati considerati i danni tipici a cui può essere soggetta una barriera paramassi durante il suo periodo di esercizio poiché tali difetti andranno ad incidere sulla valutazione dell'utilità del sistema di difesa e di conseguenza sulla valutazione della pericolosità del versante(H*).

3.1 Ricerca ed analisi delle barriere paramassi deformabili presenti sul territorio della Provincia Autonoma di Bolzano

Le fasi ricerca e analisi delle barriere possono essere così schematizzate :

- *Analisi dei dati d'archivio* per l'identificazione delle principali caratteristiche costruttive delle barriere.
- *Creazione di modelli* : atti a definire una "barriera tipo".
- *Inserimento dei dati* all'interno del database Paramount.
- *Associazione dei modelli alle barriere* già inserite nel database e provviste di documentazione fotografica sufficiente.
- *Verifica* in sede di sopralluogo della validità dei modelli creati e della loro associazione alle barriere presenti nel database.

L'analisi di archivio, effettuata presso le ripartizioni del Servizio Strade della Provincia Autonoma di Bolzano, è stata effettuata al fine di reperire il maggior numero di informazioni riguardo alle barriere paramassi deformabili installate sul territorio nell'arco degli ultimi dieci anni.

Dove presenti, sono stati visionati i progetti, i calcoli, i disegni, le schede tecniche, le certificazioni, i libretti di manutenzione e i libretti di montaggio delle barriere.

Sono state individuate le ditte costruttrici relative alle barriere rilevate con più frequenza sul territorio e si è proceduto all'integrazione dei dettagli tecnici richiedendo tale documentazione alle principali ditte identificate (e.g. Geobruigg, Safe, Incofil, DDM, Trumer, Maccaferri).

Ciò ha consentito, in molti casi, di arricchire i dati mancanti (e.g. geometria, dimensioni, schema costruttivo, specifiche tecniche).

Occorre però sottolineare che, avendo effettuato le indagini su un arco temporale di dieci anni, molte delle barriere presenti sul territorio sono risultate sprovviste di documentazione tecnica sufficiente ad identificarle o non sufficiente per descriverne il comportamento. Spesso infatti tali barriere risultano costruite nell'ambito di *interventi di somma urgenza* senza una regolamentazione da normativa.

3.1.1 Creazione dei modelli e classificazione delle barriere deformabili

Il database PARAMOUNT consente l'inserimento di modelli di barriere ai quali sono associate determinate caratteristiche (e.g. capacità di assorbimento, tipo di freno e sua collocazione sulla barriera, diametro delle funi, tipologia del montante, tipologia di ancoraggio).

Si è osservato come nella maggior parte dei casi tali caratteristiche identifichino in maniera univoca una tipologia di barriera.

Sono quindi stati creati dei modelli da inserire nel database legati principalmente La classificazione è stata effettuata identificando dei modelli di "*barriere-tipo*" a tre caratteristiche : il tipo di freno, identificativo di ogni ditta; lo schema

geometrico della barriera (in particolare il collegamento della rete ai montanti) e la tipologia della rete.



Figura 45 - esempi di dissipatori di energia caratteristi di ogni ditta costruttrice



Figura 46 - esempi di rete di intercettazione

In questo modo, grazie a questi parametri distintivi, è stato possibile ricondurre a tali modelli anche barriere paramassi precedentemente accatastate all'interno del progetto VISO, sia per riconoscimento diretto in campo sia grazie ad una esistente e ricca documentazione fotografica.

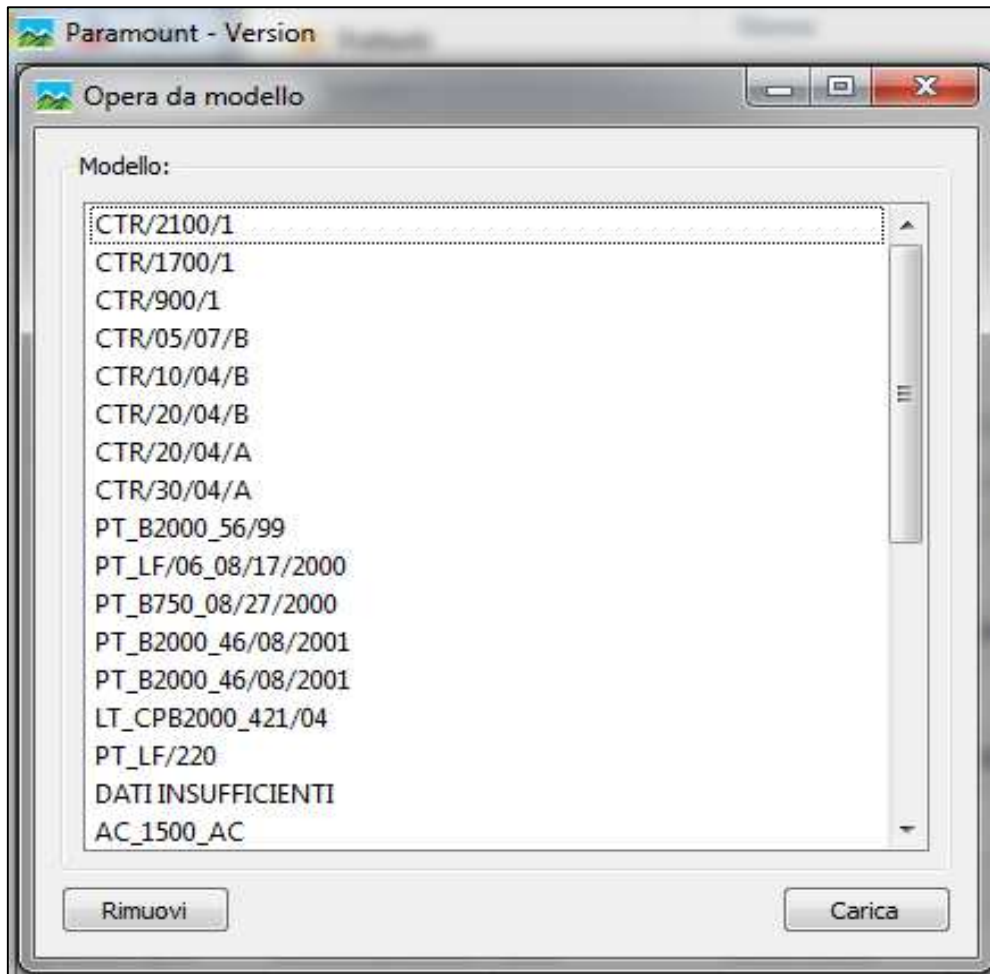
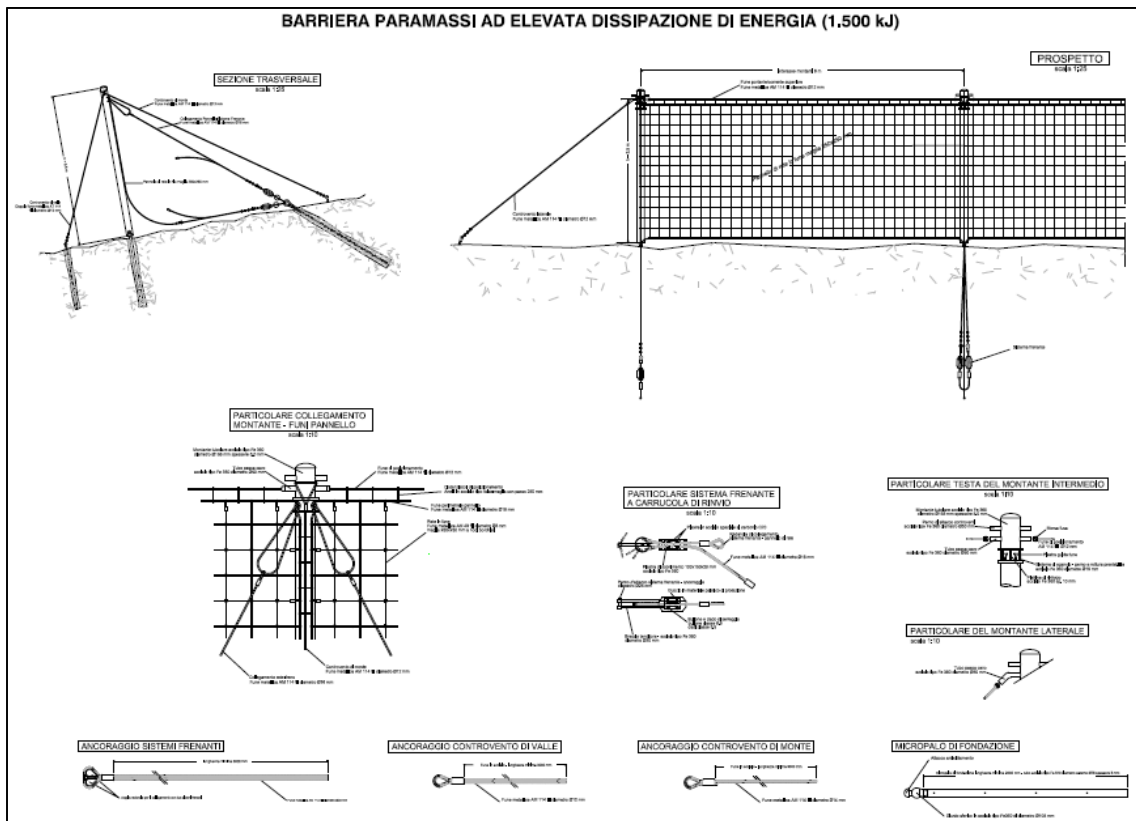


Figura 47 - dettaglio di una schermata di PARAMOUNT : opera da modello

Nell'immagine si osservano diversi modelli creati ed inseriti in PARAMOUNT.

Il codice che identifica ogni modello è riferito generalmente al nome della ditta costruttrice e/o al nome di chi ha effettuato le prove su campo, seguito dall'energia che la barriera è in grado di assorbire.

Si riportano a titolo di esempio gli schemi costruttivi della barriera identificata come PT_LF/220 e la scheda corrispondente all'interno del database.



12_VF_010

Detail
Paese: italia | Strada: S.S.12 | Tipologia (materiale): deformabile
Codice Opera: 12_VF_010 | Da km: 455.7 | Certificazione/calcolo: CERTIFICATO NORMA ITALIANA CAMPO PROVA
anno real.: 2001 | a km: | kJoule: 1000

Foto
Tipo: barriera paramassi

Carte

Geometria
Altezza: 5
Lunghezza: 16.0
N campate: 2
Larghezza Campata: 8
Interdistanza strutture orizzontali:
Altezza assi (legno e ferro):
Inclinazione Barriera: -

Componenti
funi di ancoraggio: f= 16mm
funi orizzontali: -
funi portante: f= 16mm
Tipo rete interna: rete metallica esagonale a doppia torsione | 3
Tipo rete esterna: -
Pannello: rete in fune d'acciaio a maglia quadrata | 10
fune perimetro:
Tipo fondazione: -
Tipo freno: barra funi di controvento
Irridimento: -

Ancoraggi:
 ancoraggio di monte | ancoraggi laterali
 ancoraggi di valle

montante
Tipo: profilo chiuso
TUBOLARE
Giunto mediano: -
Giunto terminale: -
Giunto fondazione: cerniera alla base

DIFETTI
Tipo difetto: - | difetto | -

Commento
- MODELLO LF/220
- PT_LF/220
- FUNE PERIMETRALE: 16 mm
- PANNELLO: maglia quadrata 250X250 - i pannelli sono di lunghezza 8 e altezza 5
- RETE METALLICA: dimensioni 80x100
- DISSIPATORI: tipo a frizione

Salva

Figura 49 - schermata di PARAMOUNT corrispondente al modello di barriera LF/220

Si osserva che, diversamente dalle barriere non deformabili, i modelli delle barriere deformabili sono indicati nella sezione “*commenti*” presente all’interno della schermata secondaria del database.

In particolare le barriere che sono state identificate da documentazione fotografica presentano oltre al nome del modello, la dicitura *stimata*. Questo ad indicare che tali barriere non sono state identificate in sede di sopralluogo né è stata reperita alcuna documentazione circa la loro tipologia. A tali barriere, una volta identificato il modello di appartenenza, si è scelto di attribuire la minima capacità di assorbimento dell’energia consentita dalla categoria, per rimanere a favore di sicurezza.

Il codice che identifica le *barriere stimate* all’interno del database mantiene la sigla utilizzata in precedenza (sigla strada (o nome del comune)_ rilevatore (cognome o sigla)_ numero) con l’aggiunta in coda della sigla di chi ha effettuato la stima, ovvero in questo caso _VF (vera francesca).

4. Analisi del database

Al fine di effettuare una sintesi delle tipologie di barriere presenti all’interno del database si è provveduto ad esportare le informazioni nel software excel dove sono state analizzate e schematizzate nelle tabelle seguenti :

BARRIERE NON DEFORMABILI		
	Tipologia	Totali Categoria
	A OMBRELLO	2
	A PANNELLO	43
	A RETE	4
	IN FERRO	30
	IN LEGNO	22
	A FUNI	310
	#err	38
	TOTALI	449

Figura 51 - Sintesi delle barriere non deformabili presenti nel database

BARRIERE DEFORMABILI				
tipologia dati		totale parziale	totale	
VF	(associate)	202	326	476
	(inserite)	124		
#err	(codice barriera)	15	150	
	(barr nn associate)	67		
	(barr nn identif)	68		

Figura 50 - sintesi delle barriere deformabili presenti nel database

Da tali tabelle si evince che all'interno del database Paramount sono presenti 411 barriere non deformabili e 326 barriere deformabili alle quali è associato un modello (stimato o da certificazione).

Sono presenti inoltre barriere deformabili e non, delle quali non si hanno ulteriori informazioni alle quali non è stato possibile associare alcun modello a causa della mancanza di documentazione fotografica, della scarsità dei dati correlati o a causa della presenza di errori nella compilazione del codice ; tali barriere sono contraddistinte dalla scritta *#err* e sono 38 nella categoria "non deformabili" e 150 appartenenti alla categoria delle "deformabili".

Le barriere denominate VF sono quelle che sono state inserite ed associate, dove per "inserite" si intendono quelle barriere i cui dati sono stati reperiti grazie alla ricerca di archivio; le barriere contrassegnate in tabella con la scritta "associate" sono quelle barriere *stimate* a cui è stato associato un modello grazie alla presenza della documentazione fotografica e alle quali è stata attribuita una capacità di assorbimento dell'energia cinetica che potrebbe essere, in alcuni casi, inferiore rispetto a quella reale.

Nella sezione *#err* sono presenti anche barriere cosiddette "inserite" ma non aventi dati sufficienti per essere associate ad un modello.

Nella tabella delle barriere non deformabili si nota come quasi tutte (eccetto 38) siano state immesse nel database associate ad un modello, occorre però evidenziare che i modelli di tali barriere fanno riferimento ad una tipologia costruttiva, ma non contengono informazioni standard sulla dimensione dell'opera né indicazioni per quanto riguarda la capacità di assorbimento.

Come detto in precedenza, alle barriere deformabili è stato associato un modello; si è quindi proceduto a suddividere, come nel caso delle barriere non deformabili, tali opere per tipologia di appartenenza.

E' stata aggiunta la denominazione "da modello" e "stimate" e si è effettuata la suddivisione, all'interno di ogni tipologia, considerando le diverse capacità di assorbimento di Energia cinetica per ogni gruppo.

Si è così ottenuta la tabella evidenziata nella pagina seguente.

BARRIERE DEFORMABILI							
tipologia		da modello	stimate	totali	totali parziali	totali	
CTR	900 (1000)	12	30	42	72	85	
	1700 (1500)	18	8	26	34		
	2100 (2000)	10	7	17	24		
PT	B750 (750)	28	37	65	102	146	
	LF06 (750)	7	1	8	9		
	LF220 (1000)	3	8	11	19		
	B2000 (2000)	18	44	62	106		
MAC	05 (500)	2	2	4	6	24	
	10B (1000)	4	4	8	12		
	20A (2000)	0	4	4	8		
	30A (3000)	2	4	6	10		
	50A (5000)	2	0	2	2		
ISOSTOP (WSL)	750	3	0	3	3	7	
	1500	1	2	3	5		
	2000	1	0	1	1		
GEOBRUGG	1500	1	4	5	9	5	
ALTRO	TRUMER	0	3	3	6	59	
	CPB2000 (2000)	3	3	6	9		
	FN_OZ	9	2	11	13		
	IGOR (1000)	1	0	1	1		
	BRIGLIA	3	0	3	3		
	MONT TUB (AC)	0	19	19	38		
	BTU_RAV	1	0	1	1		
	ANAS_CTR	12	3	15	18		
DATI INSUFF.	NEC .SOPRALL.					150	

Figura 52 - tipologia di barriere deformabili presenti all'interno del database

Nella categoria 'altro' si sono raggruppate quelle barriere scarsamente presenti sul territorio. Inoltre vi sono delle barriere "miste" come le anas-ctr e la fn_oz che sono barriere realizzate con lo schema costruttivo utilizzato per le barriere non deformabili con l'aggiunta dei dissipatori.

4.1 Barriere non deformabili

Dall'analisi della tabella vista in precedenza a cui fa riferimento il grafico sottostante, si evince come le barriere non deformabili che si osservano con più frequenza sul territorio siano quelle “a funi”.

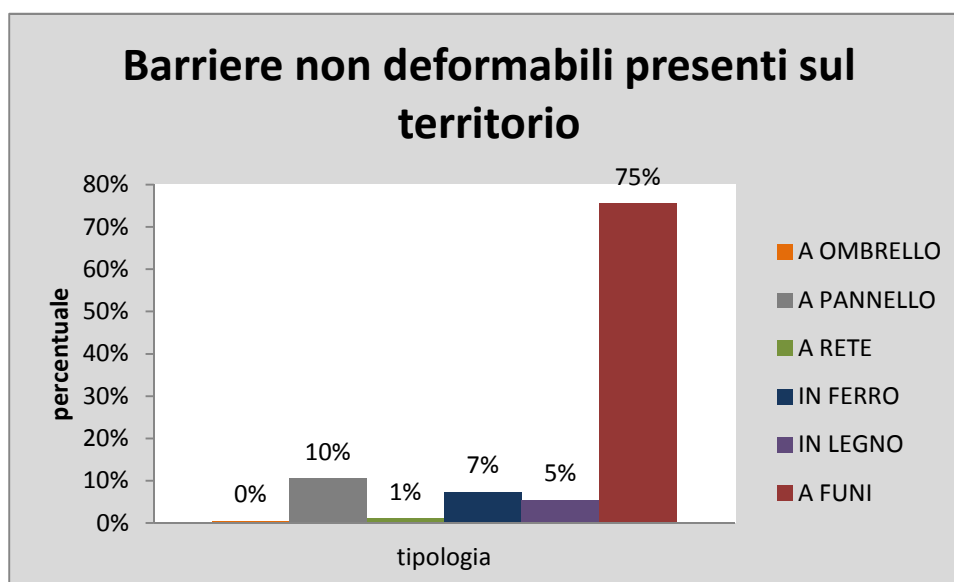


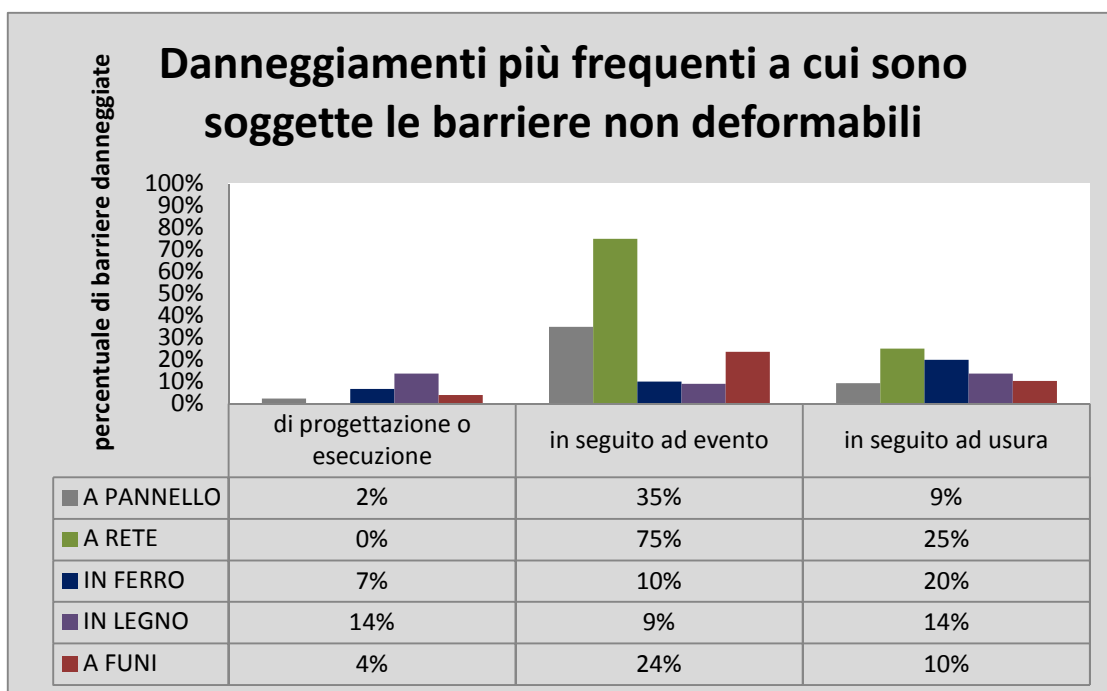
Figura 53 - esempio di barriera non deformabile a funi

Un altro dato molto interessante che si può estrapolare dal database, come detto in precedenza, è il “*tipo di danno*” a cui è soggetta una barriera.

Si è proceduto quindi con l'analisi di quello che nel database viene indicato come "tipo di difetto" e che fa riferimento alla presenza di carenze che caratterizzano le barriere e che possono essere di tipo progettuale o costruttivo, o che possono essersi verificate in seguito ad un evento franoso o in seguito ad usura. Il database contiene al suo interno delle categorie predefinite per indicare il tipo di danno che caratterizza l'opera. Si sono dunque suddivise le barriere secondo le carenze che possono presentare, ottenendo i seguenti dati :

BARRIERE NON DEFORMABILI	TIPOLOGIA DI DANNEGGIAMENTO					
	TIPOLOGIA	carenze di progettazione o esecuzione	danno in seguito ad evento	danno in seguito ad usura	totale	
A OMBRELLO	0	0	0	0	0%	
A PANNELLO	1	15	4	20	47%	
A RETE	0	3	1	4	100%	
IN FERRO	2	3	6	11	37%	
IN LEGNO	3	2	3	8	36%	
A FUNI	12	73	32	117	38%	
	18	96	46			
	11%	60%	29%			

Figura 54 - tabella riepilogativa dei "tipi di danno" a cui sono soggette con più frequenza le barriere paramassi non deformabili presenti nel database PARAMOUNT



Dalla tabella e dal grafico si deduce che le barriere maggiormente danneggiate, con una percentuale pari al 100% siano le barriere a rete, anche se il numero di tali barriere sul totale è pari solo all'1%. Le barriere “a pannello” che risultano danneggiate sono il 47%, mentre per quanto riguarda le barriere a funi, la percentuale di danneggiamento è pari al 38%.

Il danneggiamento più frequente quello denominato “in seguito ad evento”.



Figura 55 - Danneggiamento di una barriera in seguito ad evento : montante lesionato

Si osservano nel dettaglio nella tabella seguente le tipologie di danno sottese nella categoria “in seguito ad evento”.

BARRIERE NON DEFORMABILI	CARENZE DELLA BARRIERA IN SEGUITO AD EVENTO					
	fondazioni scalzate	funi staccate o rotte	montanti lesionati	riduzione altezza	piena di materiale lapideo	piena di materiale misto lapideo vegetativo
A PANNELLO	0%	9%	0%	0%	9%	16%
A RETE	0%	0%	0%	0%	25%	50%
IN FERRO	0%	3%	0%	0%	7%	0%
IN LEGNO	0%	5%	0%	0%	0%	5%
A FUNI	1%	2%	2%	2%	8%	9%

Figura 56 tabella riepilogativa delle carenze di una barriera osservate in seguito ad evento



Figura 58 - esempio di barriera piena di materiale lapideo



Figura 57 - esempio di barriera soggetta a corrosione



Figura 59 - esempio di barriera danneggiata in seguito ad usura : montanti e funi arrugginite



Figura 60 - esempio di barriera danneggiata in seguito ad usura : decomposizione

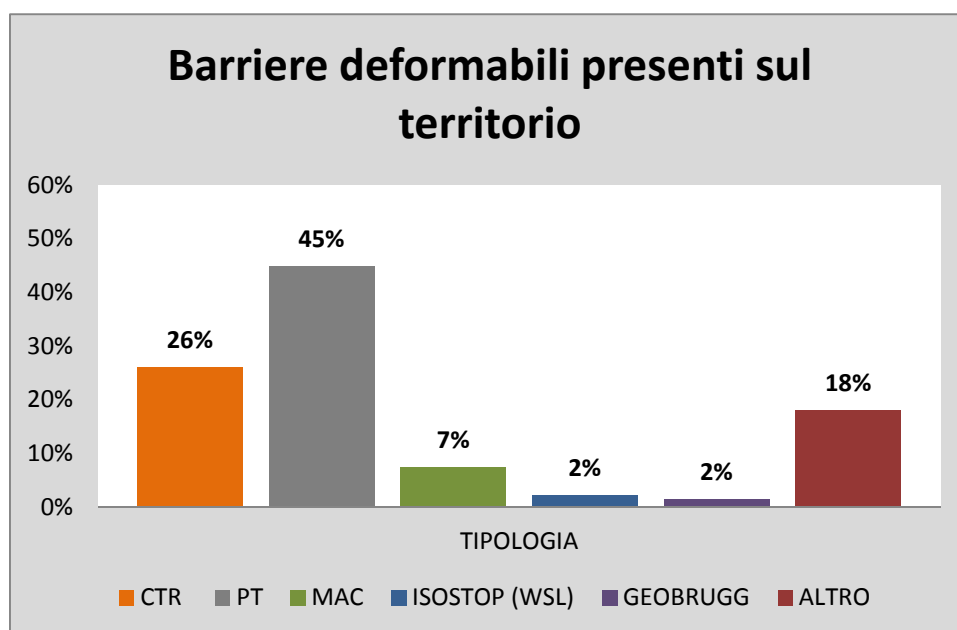


Figura 61 - esempio di barriera piena di materiale vegetativo

La presenza di numerose barriere piene di materiale porta in evidenza il fatto che per un corretto funzionamento di una barriera è strettamente necessaria un'opportuna manutenzione. La validità del sistema di difesa dipende fortemente dalla manutenzione dello stesso, infatti l'efficienza di un'opera progettata e dimensionata nel modo corretto può, con il passare degli anni, diminuire fino ad annullarsi completamente, e la presenza dell'opera stessa può addirittura peggiorare le condizioni di pericolosità che il versante presentava quando ne era sprovvisto. Si rende dunque necessaria un'analisi numerica a partire da tali dati per ricavare il comportamento delle barriere deformabili non standardizzate e il cui comportamento è modificato a causa dell'usura.

4.2 Barriere deformabili

Dall'analisi delle tabelle si evince come le barriere più frequenti sul territorio della Provincia Autonoma di Bolzano siano quelle denominate "PT", seguite da quelle denominate "CTR" e "MAC".

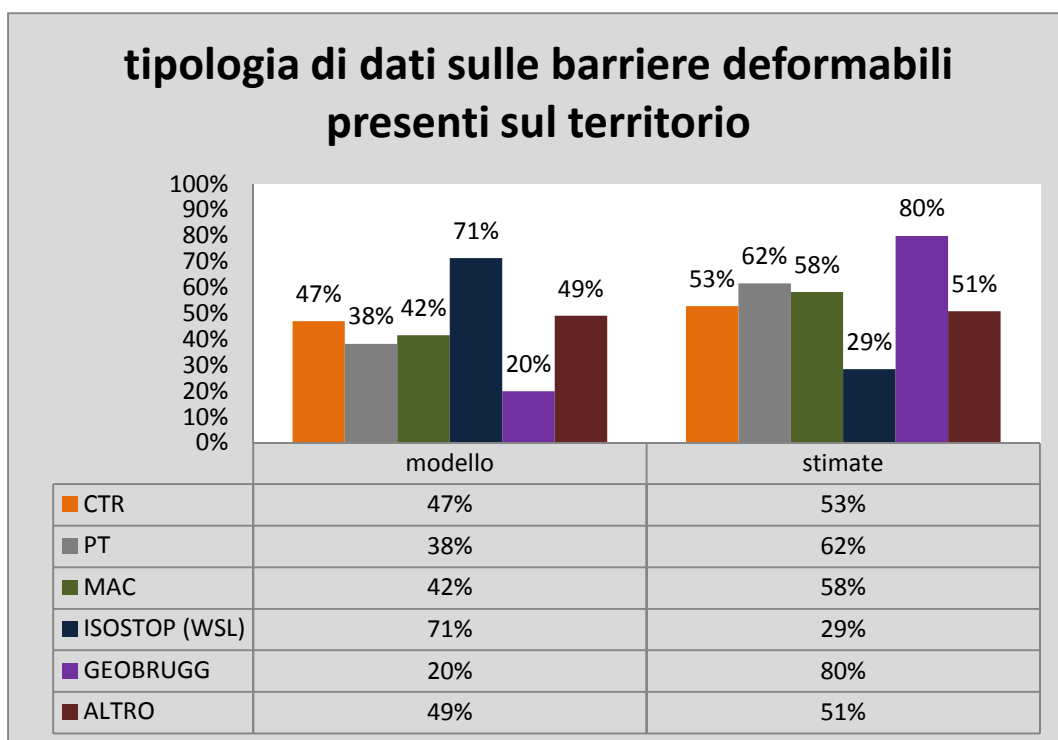


Si è proceduto con l'analisi della tipologia dei dati utilizzati per identificare la quantità di barriere presenti sul territorio. Si mostra nella tabella seguente e nel

successivo grafico, quante barriere in percentuale sono state inserite mediante modello e mediante stima tramite documentazione fotografica.

BARRIERE DEFORMABILI	inserite da MODELLO	STIMATE
CTR	47%	53%
PT	38%	62%
MAC	42%	58%
ISOSTOP	71%	29%
GEOBRUGG	20%	80%
ALTRO	49%	51%

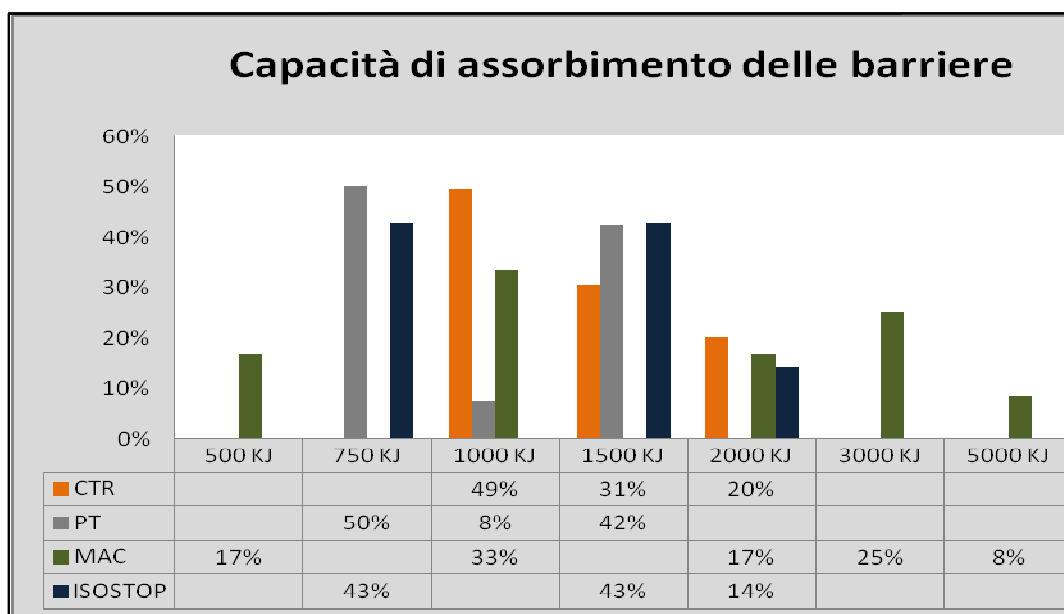
Figura 62 - tabella riepilogativa del tipo di dati utilizzati per inserire le barriere deformabili nel database



Si è proseguito suddividendo le barriere in base alla capacità di assorbimento, notando che risulta un numero più elevato di barriere a più bassa capacità di assorbimento a causa della presenza delle barriere stimate a favore di sicurezza.

BARRIERE DEFORMABILI	500 KJ	750 KJ	1000 KJ	1500 KJ	2000 KJ	3000 KJ	5000 KJ
CTR			49%	31%	20%		
PT		50%	8%	42%			
MAC	17%		33%		17%	25%	8%
ISOSTOP		43%		43%	14%		

Figura 63 - tabella di riepilogo della capacità di assorbimento delle barriere deformabili presenti nel database



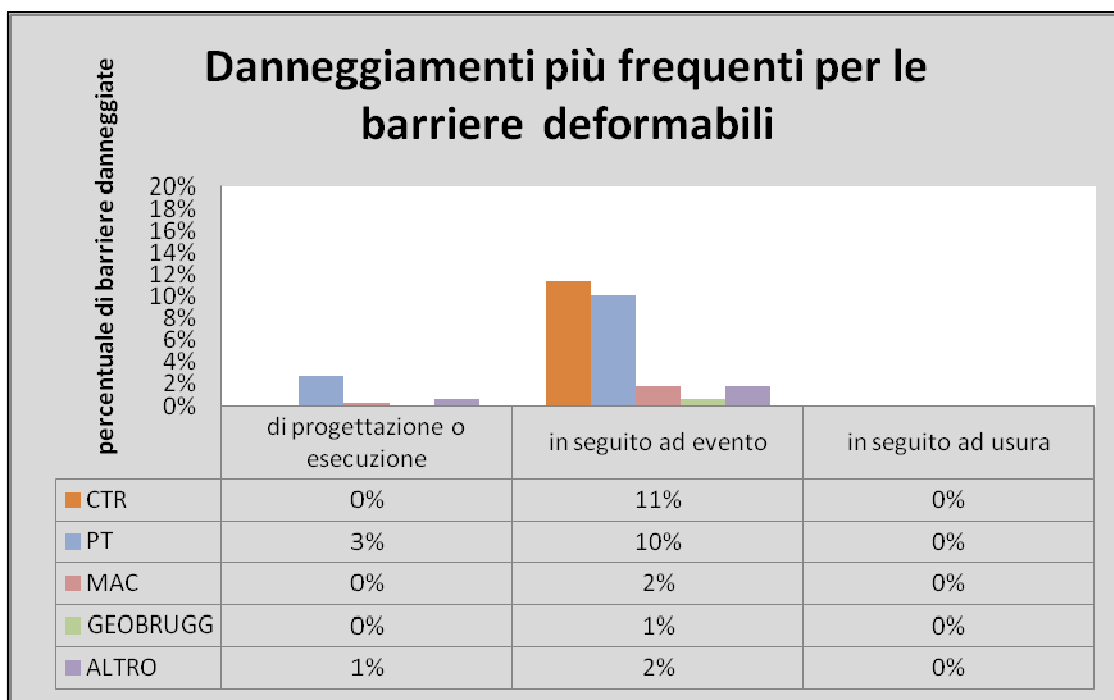
Si prosegue con l'analisi dei danni a cui sono soggette queste barriere, considerando dapprima i macrogruppi e poi nel dettaglio i danni del gruppo che si presenta più volte.

BARRIERE DEFORMABILI	TIPOLOGIA DI DANNEGGIAMENTO				
	di progettazione o esecuzione	in seguito ad evento	in seguito ad usura	totali	
CTR	0	37	0	37	44%
PT	9	33	0	42	29%
MAC	1	6	0	7	29%
ISOSTOP	0	0	0	0	0%
GEOBRUGG	0	2	0	2	40%
ALTRO	2	6	0	8	14%
	12	84	0		
	12%	87%	0%		

Figura 64 - tabella riepilogativa del tipo di danneggiamento che ricorre più frequentemente nelle barriere paramassi deformabili presenti nel database

Si osserva che le barriere più frequentemente danneggiate risultano essere le CTR (44% delle CTR totali) seguite dalle PT (29% delle PT totali) e che la tipologia di

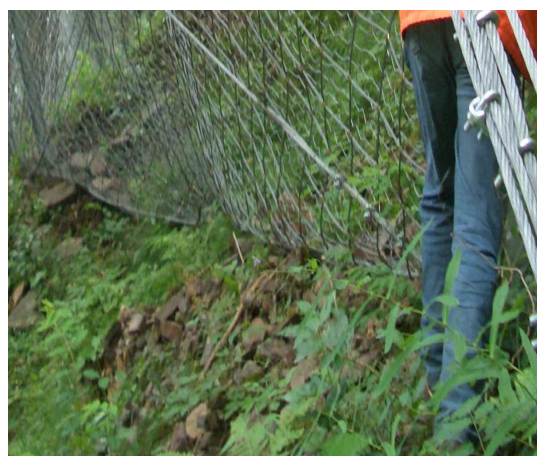
danno più ricorrente è ancora una volta quella denominata “*in seguito ad evento*” : l’87% delle barriere danneggiate infatti presenta questo tipo di carenza.



Nel grafico sono state riportate le percentuali facendo riferimento al totale delle barriere deformabili presenti nel database, fatta eccezione per quelle associate ad errori di inserimento.



oggetta a danno di
pporto morfologia



danneggiata a causa
ve : rapporto
rato.

Si analizza nel dettaglio il danno “*in seguito ad evento*” come effettuato per le barriere non deformabili.

BARRIERE DEFORMABILI	CARENZA IN SEGUITO AD EVENTO							
TIPOLOGIA	fondazioni scalzate	funi staccate o rotte	montanti lesionati	riduzione altezza	piena di materiale da debris flow	piena di materiale lapideo	piena di materiale misto lapideo vegetativo	
CTR	0%	0%	0%	3%	0%	16%	79%	0%
PT	0%	0%	0%	2%	0%	17%	60%	0%
MAC	0%	0%	0%	0%	0%	29%	57%	0%
GEOBRUGG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
ALTRO	0%	0%	0%	0%	0%	13%	50%	13%

Figura 67 - tabella di riepilogo che evidenzia quale sia la carenza "in seguito ad evento" che si manifesta con più frequenza nelle barriere deformabili presenti nel database

Si rilevano ancora una volta le percentuali più elevate in corrispondenza dei danni in seguito a riempimento della barriera.



Figura 68 - esempio di barriera danneggiata a causa di riempimento lapideo e vegetativo. si noti la presenza a valle della barriera di materiale lapideo



Figura 69- esempio di barriera paramassi danneggiata in seguito a riempimento ad opera di materiale vegetativo

CAPITOLO III

Applicazione del software RocFall nell'individuazione dell'intensità del fenomeno che potenzialmente si sviluppa dal versante

Al fine di individuare in maniera speditiva la pericolosità (H, H^*) che caratterizza un versante adiacente ad un tratto di rete stradale, ricopre molta importanza il rilievo di campagna.

E' infatti all'interno di tale passaggio che, ad opera di un tecnico esperto, avviene l'individuazione dell'intensità del fenomeno che potrebbe potenzialmente svilupparsi da un versante. Il cospicuo numero delle strade che si trovano in diretta prossimità di fronti montuosi, nonché la considerevole schiera di opere protettive già installate, rende necessario che le analisi sul campo siano di tipo speditivo. L'intensità del fenomeno viene dunque definita, come descritto nel precedente capitolo, mediante l'individuazione del tempo di ritorno associato a tale evento e grazie ad un rilievo dei parametri che concorrono a definire il vigore del fenomeno che potrebbe interessare il versante attiguo alle infrastrutture di trasporto.

Nell'ambito del progetto VISO si è presentata l'esigenza di associare a tali parametri informazioni sull'energia che sviluppa durante il crollo, sulle velocità raggiunte dai massi e sulle altezze di rimbalzo lungo tutto il versante considerato, nonché sulla determinazione del punto di arresto dei massi.

Si è dunque deciso di associare alle tabelle utilizzate per il rilievo di campagna dei profili-tipo rappresentanti il pendio in esame che inseriti in software di simulazione di caduta massi, possano restituire dei valori attendibili di energia e altezza di rimbalzo associati al fenomeno preso in esame.

In particolare il programma che si è utilizzato per effettuare lo studio di tali profili è Rocfall 4.0 della Rocscience, il cui funzionamento verrà descritto di seguito.

1. Il software RocFall (Rocscience)

La previsione accurata di un fenomeno di caduta massi è praticamente impossibile. La variabilità della geometria del pendio, l'incertezza delle proprietà dei materiali (specialmente dei coefficienti di restituzione) e un metodo di analisi sensibile alle piccole variazioni di questi parametri sono fattori che contribuiscono a rendere la previsione estremamente difficile.

L'approccio probabilistico - statistico tiene presente della incertezza dei differenti parametri in gioco, considerandoli come variabili aleatorie che si modificano secondo una distribuzione probabilistica, che nello specifico di RocFall viene assunta di tipo normale o uniforme.

RocFall è un programma che consente di effettuare simulazioni probabilistiche di fenomeni di caduta massi, consentendo anche il progetto di opere di difesa adeguate. Esso offre importanti informazioni sull'energia che si sviluppa durante il crollo, sulle velocità raggiunte e sulle altezze di rimbalzo lungo tutto il versante considerato nonché la determinazione del punto finale raggiunto dai massi.

Il modello di calcolo implementato in RocFall adotta un metodo *lumped mass* che opera su un schema bidimensionale e si basa sulle seguenti ipotesi :

- Il profilo del versante è costruito adeguatamente per tener conto del percorso più probabile del masso lungo il versante.
- Il blocco è simulato come una massa concentrata in un punto, coincidente con il baricentro del blocco.
- È considerata solo la velocità traslazionale del blocco e non quella rotazionale.
- Si considera trascurabile l'attrito tra aria e corpo, nella fase di moto nell'aria.

Con queste assunzioni, la traiettoria di caduta risulta funzione esclusivamente dei coefficienti di restituzione e del coefficiente d'attrito al roto-scivolamento dei materiali con i quali il blocco viene a contatto e del profilo topografico, mentre è indipendente dalla massa del blocco.

Di conseguenza, i dati in ingresso nel modello, oltre al profilo topografico del versante, sono i parametri dei materiali con i quali il blocco viene a contatto (coefficienti di restituzione normale e tangenziale e coefficiente di attrito di roto-scivolamento), le condizioni di moto iniziali (velocità orizzontale, verticali e velocità angolare) e la massa del blocco. Quest'ultima non influenza il moto del blocco ma è necessaria per il calcolo dell'energia cinetica del corpo. Un altro parametro che non viene considerato dal software è la forma del blocco, in quanto il metodo implementato modella i corpi in caduta come elementi puntiformi.

1.1 Definizione del profilo del versante

Il processo di creazione del profilo in RocFall è relativamente senza restrizioni; il profilo del versante può essere costituito da un insieme di tratti ai quali si possono associare differenti proprietà dei materiali (e.g. R_n, R_t, ϕ). Se la superficie del versante fosse perfettamente regolare, il percorso dei blocchi seguirebbe la linea di massima pendenza di ogni tratto della parete. Nella realtà il percorso dei blocchi è influenzato da moltissimi fattori, fra i quali la morfologia del versante, le condizioni delle superfici del versante, le caratteristiche meccaniche del suolo e del blocco, il cinematismo che possiede il blocco in ogni tratto del versante. Poiché l'interesse ingegneristico di una analisi di stabilità per caduta massi è solitamente legato al problema della sicurezza di opere antropiche (Strade, abitazioni, ecc) la sezione scelta deve tenere in conto anche l'ubicazione delle opere a rischio.

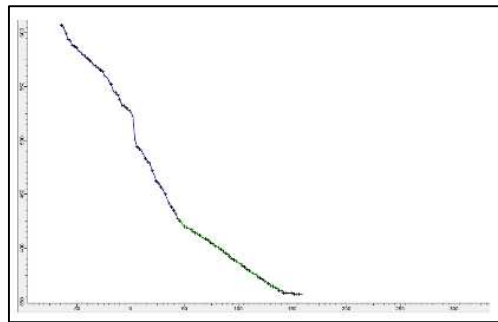


Figura 70 - schermata RocFall : profilo in un sistema di coordinate x,y

Nel codice RocFall il profilo così definito viene inserito come coppie di coordinate x,y (slope, define slope) riferite ad un sistema di riferimento.

1.2 Individuazione della nicchia di distacco

Le aree dalle quali si possono distaccare i blocchi con maggiore frequenza si possono individuare facendo riferimento a dati storici circa i fenomeni avvenuti nel passato, tramite osservazioni sulla morfologia del versante oppure osservazione della parete per l'individuazione di eventuali segni indicatori di volumi di roccia distaccatisi.

Nel codice RocFall le nicchie di distacco possono inserirsi secondo due tipologie :

- Nicchia puntuale – (add point seeder) : la posizione iniziale del blocco è individuata da un unico punto mediante le sue coordinate;
- Nicchia lineare – (add line seeder) : la posizione iniziale del blocco può variare casualmente all'interno di una linea definita dai suoi estremi.

Si utilizza la nicchia puntuale quando, ad esempio, si è in presenza di due strade parallele poste ad altezze diverse sullo stesso pendio e la maggior parte della caduta massi viene originata sul lato della strada più alta; si utilizza una nicchia di distacco lineare quando non si conosce con certezza il punto di partenza del movimento di crollo, in questo in caso ogni punto all'interno della linea specificata si ha la stessa probabilità di generazione di un movimento franoso.

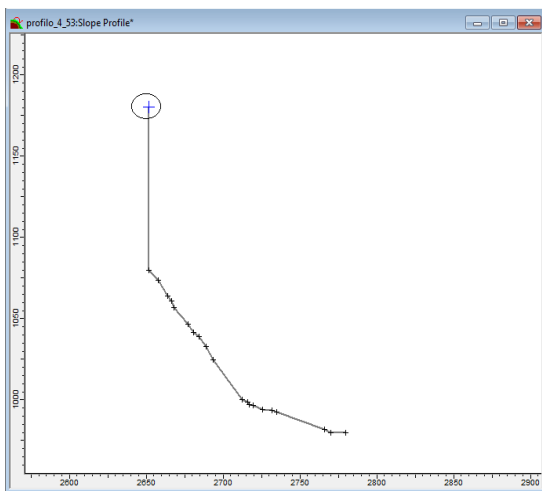


Figura 72 - schermata RocFall : nicchia di distacco puntuale

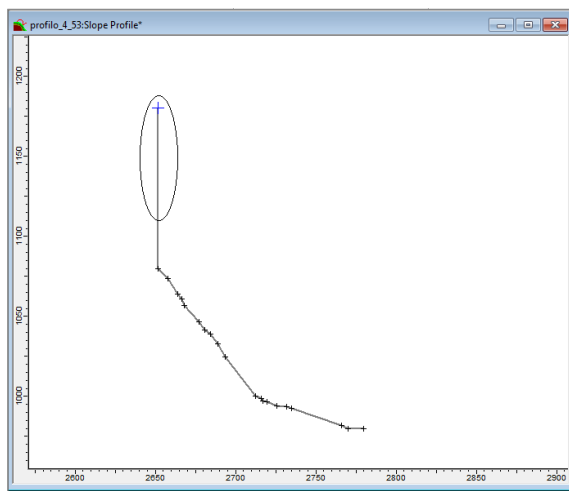


Figura 71 - schermata RocFall : nicchia di distacco lineare

1.3 Individuazione delle dimensioni del blocco e calcolo della massa

Il volume del blocco caratteristico si può individuare considerando :

- Testimonianze di eventi avvenuti nel passato
- Osservazione di eventuali blocchi presenti al piede del versante, distaccatisi in precedenti eventi di crollo:
- Analisi dei sistemi di discontinuità che interessano il versante (giacitura e spaziatura).

Il calcolo della massa si esegue in base al valore del peso per unità di volume stimato per la roccia costituente l'ammasso. In base alla spaziatura e giacitura dei sistemi di discontinuità che interessano l'ammasso, si può definire il volume medio del blocco caratteristico come segue:

- Si individuano le due famiglie (1 e 2) di discontinuità che, intersecandosi, formano con il fronte del versante un cuneo potenzialmente instabile;
- Si calcola l'angolo θ di apertura del cuneo;
- Si calcola la spaziatura media (L_1 e L_2) e la persistenza media (I_1 e I_2) delle famiglie e si valuta N , pari a metà del minimo valore tra I_1 e I_2 ;
- Si calcola il volume medio del cuneo :

$$V_m = \frac{2}{\pi \sin \theta} L_1 L_2 N$$

1.4 Scelta della velocità iniziale del blocco

L'intensità e la direzione della velocità con cui il blocco inizia il suo moto a partire dalla nicchia di distacco dipendono dalla causa scatenante il distacco (gravità, pressione idraulica, sisma, etc.); dalla tipologia dell'eventuale cinematismo a cui è soggetto il blocco prima di giungere nella posizione indicata nel modello come nicchia (in questo caso si ipotizza che il blocco si sia distaccato altrove e transiti nel punto indicato come punto iniziale del moto).

La velocità iniziale del blocco viene scelta sulla base di un ragionevole giudizio da parte di chi esegue l'analisi di stabilità.

Nel codice rocfall, una volta definita la tipologia di nicchia di distacco si apre automaticamente una tabella nella quale si possono inserire le componenti orizzontale e verticale della velocità iniziale del blocco (in m/s); La massa del blocco (in Kg); la velocità angolare iniziale del blocco (in rad/s);

Poiché il codice esegue analisi di tipo statistico, i dati sono inseriti considerando una media e una deviazione standard.

1.5 Scelta dei parametri di restituzione dei materiali costituenti il versante

Il rimbalzo che si origina in conseguenza all'impatto del blocco sul pendio viene assunto di tipo elastico o anelastico in relazione al tipo di interazione tra massa e la superficie del pendio caratterizzata dall'energia persa nell'urto. Data l'indeterminazione dell'aspetto insito nell'urto, e la sua notevole complessità, i vari autori (Piteau & Clayton, 1987; Hoek 1987; Bozzolo & Pamini 1988; Hoek & Bray, 1988) hanno proposto di semplificare i problemi fisico matematici implicati nel rimbalzo, mediante l'adozione di coefficienti di restituzione che possono essere determinati ricorrendo al principio di conservazione della quantità di moto (Spang & Rautenstrauch, 1988) rappresentato dal rapporto tra la velocità del corpo prima dell'impatto e la velocità del corpo dopo l'impatto. L'evidenza sperimentale mostra che i coefficienti di restituzione devono essere considerati nelle componenti normali (R_n) e tangenziali (R_t) rispetto alla superficie dell'urto. Per tali coefficienti si utilizzano in prima approssimazione valori, reperibili in letteratura, assegnati a diverse tipologie di materiale; dove possibile è consigliabile effettuare una back-analysis riproducendo una traiettoria del blocco che conduca ad una distanza di arresto coerente con quanto osservato in sito; in alternativa si può ricorrere a prove in sito in modo da ottenere valori di velocità del blocco coerenti con le osservazioni sperimentali.

	Rn	Rt	standard - abweichung	reibungsw inkel [°]	Standard- abweichung	Oberflächen- rauhigkeit [°]
Roccia	0.5	0.9	0.04	30	2	0
Asfalto (Strada)	0.4	0.9	0.04	25	2	0
Detrito senza vegetazione	0.31	0.81	0.04	35	2	0
Detrito con vegetazione	0.31	0.79	0.04	35	2	0

Figura 73 - valori tipici dei coefficienti di restituzione normale (Rn) e tangenziale (Rt) presenti nel software RocFall

Altri parametri richiesti per un'analisi *lumped mass* sono i parametri di resistenza identificati mediante l'angolo di attrito (considerato ragionevolmente pari all'angolo di resistenza a taglio lungo le discontinuità dell'ammasso roccioso) e la scabrezza della superficie del versante (parametro di difficile valutazione, usualmente posto uguale a zero).

Nel codice RocFall le caratteristiche dei materiali costituenti il versante si inseriscono in termini di valore medio e deviazione standard, mediante il comando "*slope-material editor*" che apre la tabella mostrata in figura.

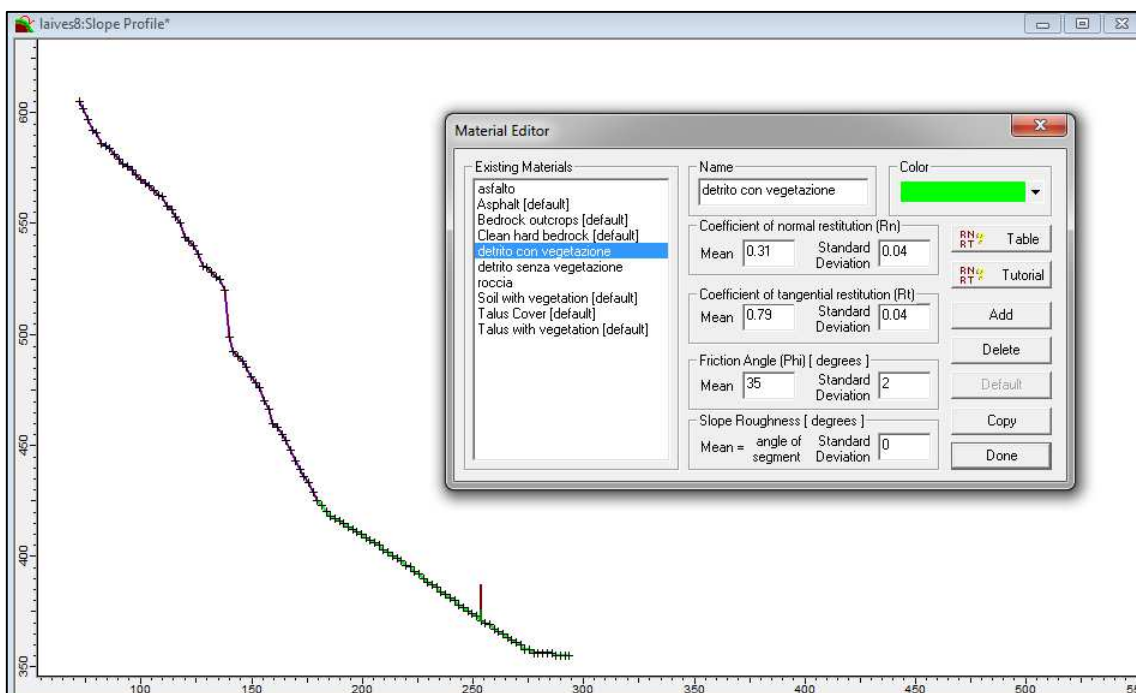


Figura 74 - schermata RocFall : Slope material editor

1.6 Scelta del numero di lanci e della tipologia di simulazioni

L'analisi di stabilità per caduta massi è di tipo statistico quindi si utilizza un numero di simulazioni di lancio del masso sufficientemente elevato, in letteratura viene suggerito un minimo di 1000 simulazioni.

Nel codice RocFall, il comando che consente di inserire il numero di simulazioni è *rocks-project setting* (number of rock sto throw); all'interno della stessa tabella si possono selezionare opzioni che consentono di scalare i parametri di restituzione e opzioni che permettono di ottenere traiettorie di massi "random" o "pseudo-random" : di default RocFall genera numeri random per campionare la distribuzione dei dati definita dalle proprietà dei materiali indicate, questo implica che ogni volta che viene selezionato il comando "compute" l'analisi risulterà differente e verrà generato un percorso diverso per ogni masso. Nel caso in cui si desideri generare risultati riproducibili, è consigliabile selezionare l'opzione *pseudo-random* che utilizza lo stesso "seed number" per il campionamento della distribuzione di dati, in questo modo ogni volta che si farà partire l'analisi con gli stessi parametri di input si otterrà la stessa distribuzione.

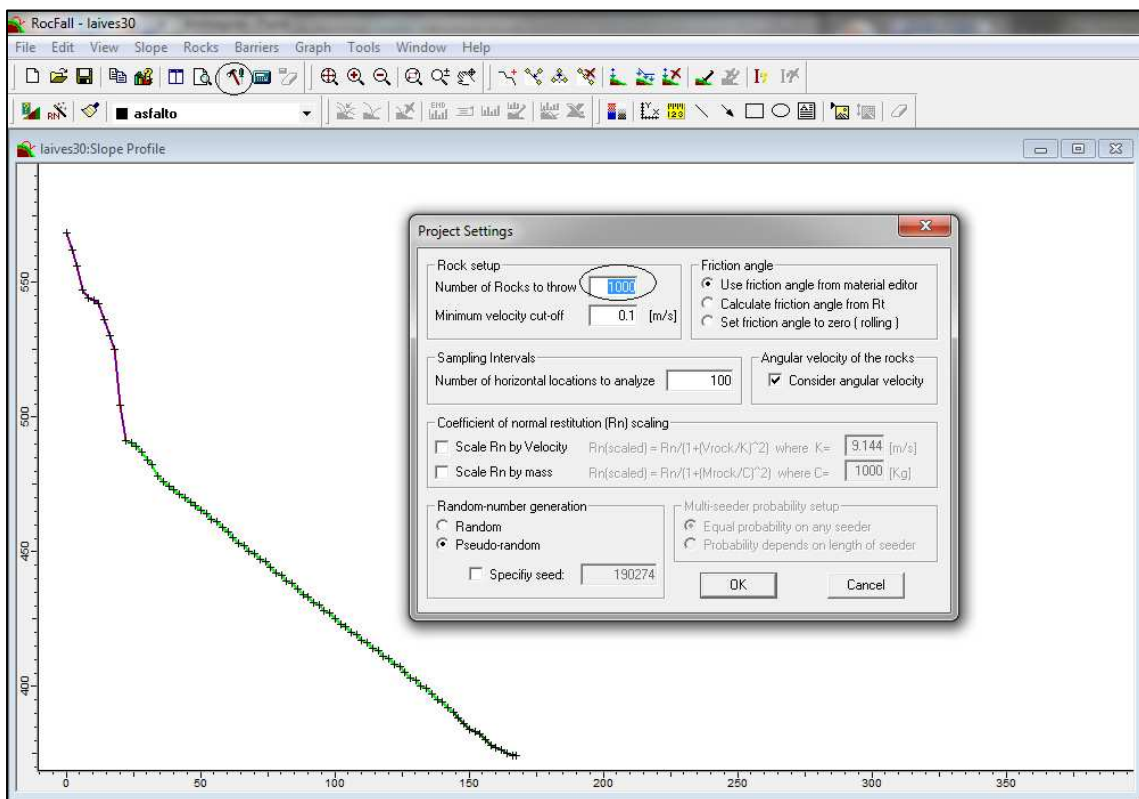


Figura 75 - schermata RocFall : numero di lanci e tipo di simulazione; pseudo random, random

1.7 I dati restituiti dal programma

Il programma produce tre grafici – *envelopes* : andamento dell'energia cinetica – *kinetic Energy envelope*, andamento della velocità – *velocity envelope*, andamento delle altezze di rimbalzo – *bounce-height envelope*.

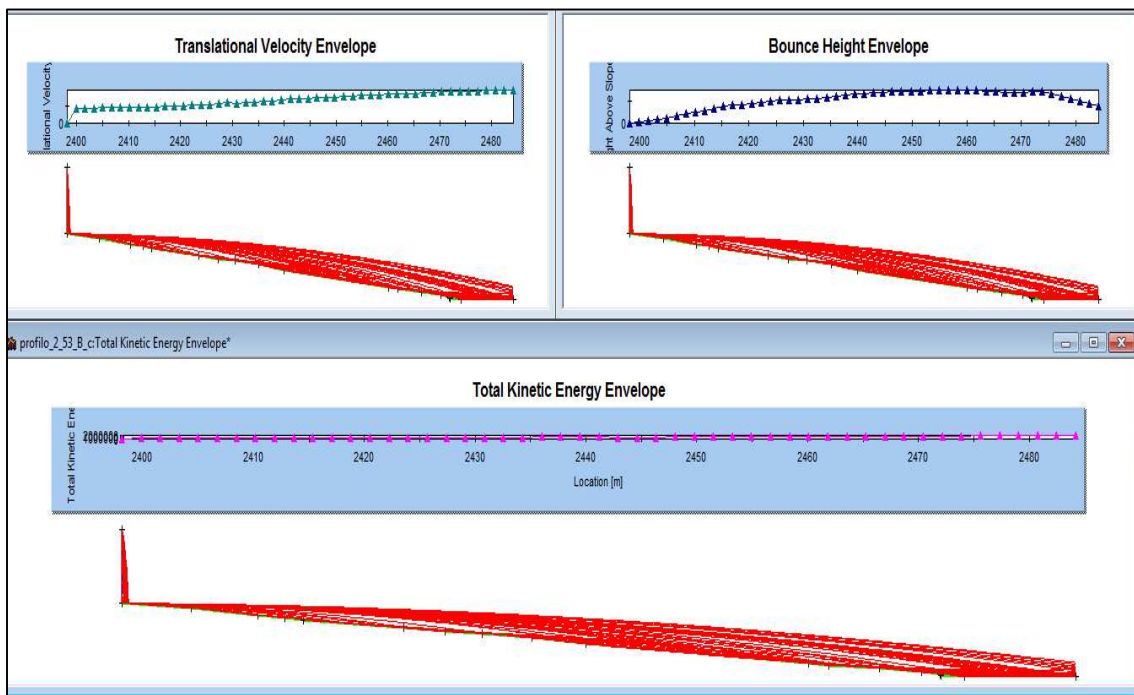


Figura 76 - schermata RocFall : Envelopes risultanti da una prova di simulazione

Ciascun *envelope* è definito dal valore massimo (e.g. massima velocità) su un numero di intervalli orizzontali distanziati lungo il profilo del pendio.

Il grafico sul quale è rappresentata la velocità misura la più alta velocità che ogni roccia ottiene passando attraverso ogni posizione orizzontale; il grafico che rappresenta l'altezza di rimbalzo individua la massima altezza che raggiunge ogni roccia meno l'altezza del pendio in ogni punto della spaziatura orizzontale considerata.

Gli *envelopes* forniscono una panoramica delle condizioni delle rocce nella fase di transito tra una sezione del pendio ed un'altra.

Sono molto utili nella determinazione della collocazione delle opere di difesa ed in particolare delle barriere paramassi, infatti indicano dove il posizionamento dell'opera possa essere più efficace.

La collocazione ottimale si ha in corrispondenza di bassi valori di energia di impatto e di altezza di rimbalzo, in modo da poter utilizzare una barriera non troppo alta che però sia in grado di intercettare tutte le rocce.

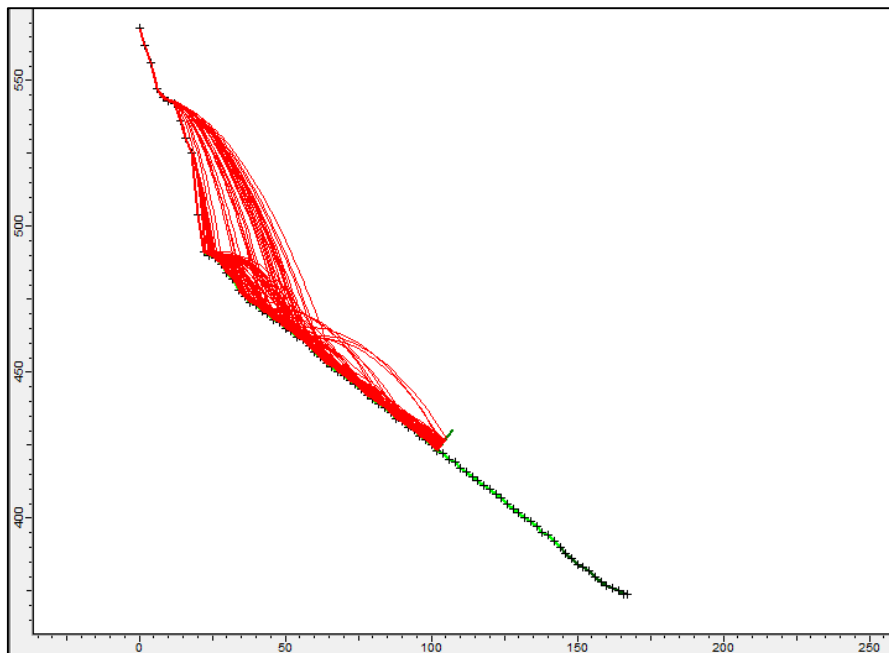


Figura 77 - Schermata RocFall : esempio di posizionamento di una barriera paramassi

A causa del fatto che gli *envelopes* mostrano solamente i valori massimi, è utile utilizzare un *data collector* in combinazione con questi grafici. Il *data collector* può essere utilizzato per determinare le distribuzioni delle altezze e delle energie in un punto specifico, una volta che si è stabilita una posizione di interesse.

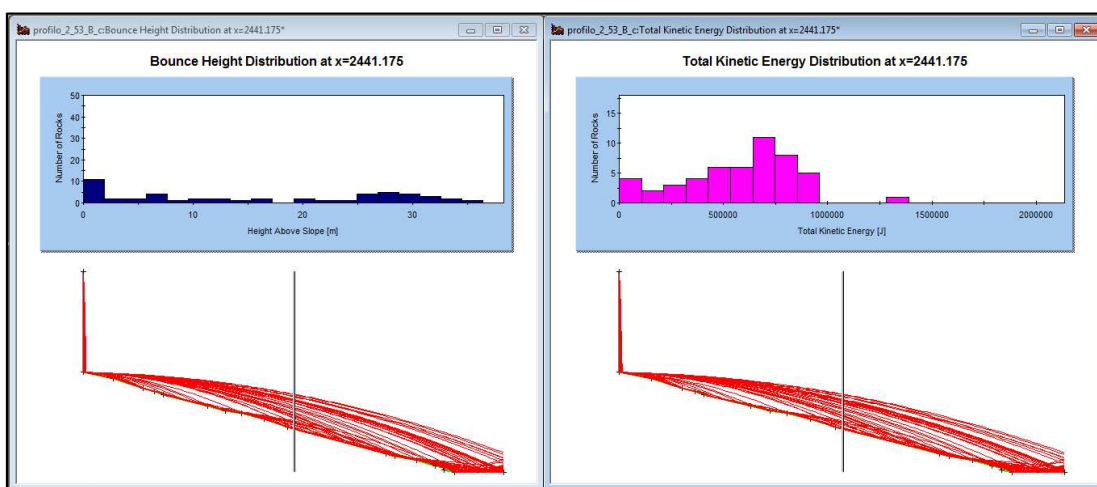


Figura 78 - Schermata RocFall : valori puntuali delle altezze di rimbalzo (BH) e dell'energia cinetica (KE) in corrispondenza di un data collector

Il più importante output fornito dal programma è la restituzione delle distanze di arresto dei massi – *rock endpoint*. Infatti è proprio questo parametro che determina se un progetto possa o meno andare bene. L'ubicazione dei punti di arresto si presenta come una distribuzione.

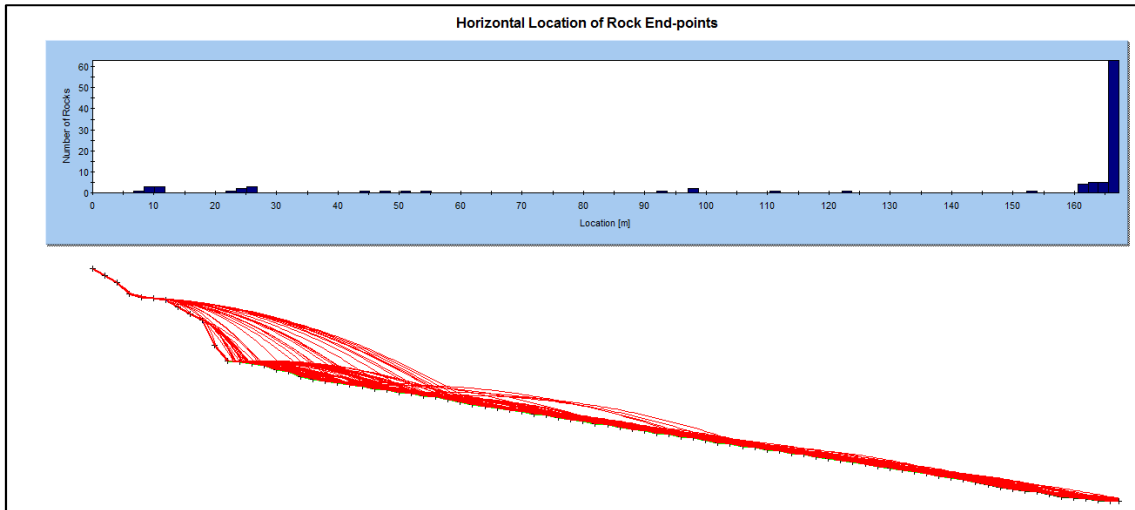


Figura 79 - Schermata RocFall : esempio della distanza di arresto dei massi lungo un profilo

1.8 Analisi in presenza di opere di difesa

Come evidenziato nelle immagini precedenti, RocFall consente l'inserimento di opere di difesa all'interno delle analisi.

Dopo aver individuato le posizioni lungo il versante che, da un punto di vista operativo e ingegneristico, risultano adeguate per l'installazione dell'opera di difesa, e una volta note le caratteristiche del moto dei blocchi in quelle specifiche posizioni, occorre verificare la distanza di arresto dei blocchi per provare che nessun blocco oltrepassi la barriera considerata.

Il programma inoltre consente, grazie al comando barrier editor, di attribuire alcune caratteristiche alle barriere paramassi, come per esempio i coefficienti di restituzione normale e tangenziale. L'inserimento di opere quali rilevati paramassi o gabbionate deve essere fatto invece graficamente. Il profilo del

versante va opportunamente modificato inserendo l'ingombro geometrico dell'opera. Occorre poi definire ed assegnare il materiale costituente l'opera.

Nell'immagine seguente si può osservare la tabella che consente di variare le caratteristiche di una barriera paramassi posta lungo il pendio. Si noti che in questo caso la barriera non impedisce il passaggio della totalità dei massi considerati.

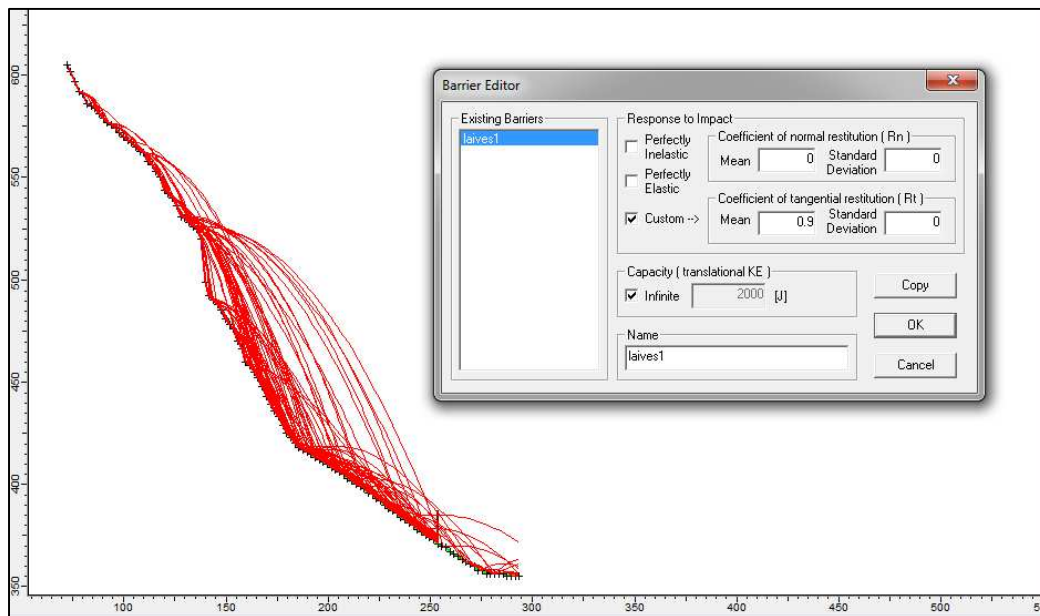


Figura 8o - Schermata RocFall : esempio di un'analisi di simulazione in presenza di un sistema di difesa; in questo caso il sistema risulta insufficiente

2. Utilizzo di Rocfall nell'individuazione dell'intensità del fenomeno che potenzialmente si sviluppa dal versante

L'algoritmo di calcolo implementato nel software RocFall sfrutta le potenzialità dell'approccio probabilistico-statistico rispetto a quello deterministico, nella consapevolezza che un'accurata previsione della caduta è nella pratica impossibile, considerati i numerosi fattori che intervengono nella sua risoluzione (parametri geometrici del profilo, condizioni iniziali e dei coefficienti di restituzione o scivolamento incontrati sul pendio); risoluzione analitica che si

presenta inoltre molto sensibile alla variazione anche modestissima di uno solo dei suddetti parametri. L'approccio probabilistico - statistico tiene presente della variabilità dei differenti parametri in gioco, considerandoli come variabili aleatorie che seguono una distribuzione probabilistica, che nello specifico di RocFall viene assunta di tipo normale o uniforme. Nel presente lavoro, la variabilità statistica è stata applicata ai coefficienti di restituzione normale R_n e R_t tangenziale, all'angolo di scivolamento ed alla massa del blocco. La distribuzione normale del singolo parametro è descritta dal parametro considerato come valore medio e dalla sua deviazione standard.

Il manuale del software consiglia di adottare l'introduzione della funzione velocità angolare (quantunque si tratti di un metodo lumped mas).

La velocità angolare viene associata ad un masso di forma sferica di massa definita dall'utente e con densità media di 2100 kg/m³. Tale funzione introduce una variante nei calcoli delle velocità tangenziali e normali, nonché, delle loro risultanti prima e dopo l'impatto.

L'adozione di tale opzione di calcolo produce un contributo modesto in termini di energia cinetica rotazionale in rapporto a quella traslazionale, mentre le traiettorie subiscono modifiche in termini di altezza di rimbalzo e distanza di arresto. Nel caso specifico è stata adotta tale funzione di velocità angolare.

2.1 I parametri di giudizio

L'intensità del fenomeno, come descritto in precedenza, *S.E.I - Slope Event Intensity*, viene determinata considerando sia parametri che individuano l'intensità dell'evento che si può sviluppare sul versante *G.E.I. - Geomechanical Event Intensity*, sia parametri legati alle caratteristiche del percorso tra nicchia di distacco e sede stradale; detti ultimi parametri rappresentano i fattori di attenuazione o amplificazione di *G.E.I.*, e concorrono a definire l'ulteriore parametro *S.C. Slope - Coefficient*.

Ad ognuna delle misure di cui sopra, vengono attribuiti dei coefficienti numerici, che sommati tra loro individuano proprio l'intensità del fenomeno *S.E.I.* (il cui valore varia tra 23 e 150).

I parametri di giudizio si attribuiscono al versante utilizzando gli intervalli di valori corrispondenti ai punteggi riportati nelle tabelle seguenti che sono le rappresentative delle schede di campagna utilizzate per effettuare il rilievo del versante in maniera sintetica.

parametri di giudizio	intervallo dei valori				punteggio
volume dei blocchi (m ³)	> 1	0,5 - 1	0,1 - 0,5	< 0,1	
punteggio parziale	15	10	5	2	A
volume max mobilizzabile per singolo evento (m ³)	> 100	10 - 100	5 - 10	< 5	
punteggio parziale	20	15	10	2	B
stato di decomposizione dell'ammasso roccioso	notevole	discreto	basso	compatto	
punteggio parziale	50	20	10	2	C
assetto giaciturale	molto sfavorevole	poco sfavorevole	ininfluente o assente	favorevole	
punteggio parziale	15	10	0	-6	D
G.E.I. - Geomechanical Event Intensity = A+B+C+D+50					

Figura 81 - Scheda di campagna utilizzata per determinare G.E.I.

pendenza media del versante	75 - 90	60 - 75	45 - 60	35 - 45	
punteggio parziale	15	10	0	-6	E
morfologia del versante e risp del terreno	sfavorisce nettamente l'arresto dei massi	sfavorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce nettamente l'arresto dei massi	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	F
vegetazione	prati, pascoli, roccia nuda [A]	cespugliato [B]	bosco di conifere (LAIVES) [C]	bosco ceduo (VADENA) [D]	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	G
S.C. - Slope Coefficient = E+F+G					

Figura 82 - Scheda di campagna utilizzata per determinare S.C.

Al parametro G.E.I. sono attribuiti di base 50 punti, ai quali si sommano i punteggi che derivano dalla valutazione dei parametri riportati nella tabella.

Il “*volume dei blocchi*” ed il “*volume massimo mobilizzabile per singolo evento*”, sono coefficienti che racchiudono informazioni sull'energia cinetica che i massi possono acquisire durante il loro percorso, nonché sulla quantità di materiale che può distaccarsi per ogni singolo evento;

I coefficienti “*stato di decomposizione dell'ammasso roccioso*” e “*assetto giaciturale*” contribuiscono in questo contesto ad aumentare l'intensità del fenomeno, in quanto entrambi favoriscono il verificarsi di distacchi multipli, non sincroni, ma abbastanza vicini nel tempo da non permettere le operazioni d'intervento.

La caratterizzazione dello “*stato di decompressione dell'ammasso roccioso*” varia da compatto (senza fratturazioni o con fratture serrate e distanziate) a notevole (molto de-tensionato, con fratture beanti ed eventuale presenza d'acqua).

L’*assetto giaciturale*” valuta, in base alla disposizione della fratturazione riscontrabile rispetto al versante, la propensione al distacco. Il termine “*molto sfavorevole*” indica giaciture o piani di scivolamento a franapoggio, con un'inclinazione elevata prossima a quella del pendio; con il termine “*favorevoli*” sono individuate quelle condizioni di giaciture o piani di scivolamento a reggipoggio, non delimitate da altri giunti.

Il coefficiente S.C. valuta la tendenza del fenomeno ad attenuarsi o amplificarsi nel tratto di transito tra la nicchia di distacco e la sede stradale.

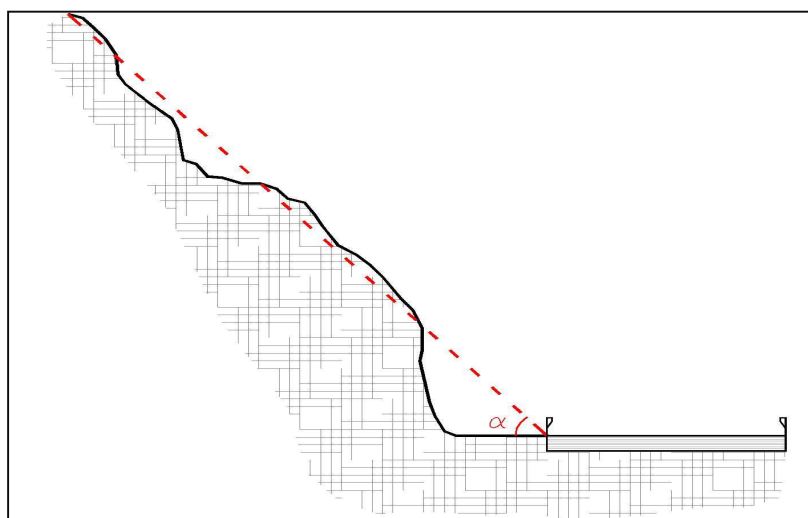


Figura 83 - Pendenza media di un versante

Più la pendenza media del versante (ottenuta tracciando idealmente un segmento che unisce il punto più alto dell'affioramento fonte del pericolo, con il ciglio della carreggiata stradale, e misurando l'angolo che tale segmento forma con l'orizzontale) è bassa, e più è elevato il grado di smorzamento dell'intensità dell'evento.

L'uso del suolo, indicato con il termine di “*vegetazione*”, influisce in maniera differente sulla mitigazione del fenomeno di caduta massi. Prati e pascoli non condizionano sostanzialmente lo smorzamento dell'energia cinetica di un fenomeno, mentre il bosco ceduo è caratterizzato da una maggior capacità d'assorbimento e di trattenuta dei massi che procedono con cinematismi di rimbalzo o rotolamento.

Per “*morfologia del versante e risposta del terreno*” sul tratto di transito si intende in sostanza quanto la capacità di assorbimento elastico del terreno (valori elevati per detrito sciolto di falda e valori minimi per roccia affiorante), l'asperità (intesa come granulometria dei blocchi presenti lungo il versante in rapporto ai massi in caduta) e le caratteristiche morfologiche del pendio lungo l'eventuale linea di caduta, influiscano sull'arresto dei massi che compongono il corpo di frana. E' evidente che la presenza di eventuali tratti piani o avvallamenti presenti tra la nicchia di frana e la carreggiata stradale, così come la presenza di grossi blocchi o asperità lungo la linea di caduta, sono da considerarsi fattori che favoriscono l'arresto dei massi.

2.2 Importazione dei parametri in Rocfall

I parametri di giudizio sono stati importati in RocFall utilizzando le schede di campagna viste in precedenza ed integrando ciascun parametro come mostrato nelle tabelle seguenti.

pendenza media del versante	75 - 90	60 - 75	45 - 60	35 - 45	
punteggio parziale	15	10	0	-6	E
valore assegnato	83	67	53	37	
morfologia del versante e risp del terreno	sfavorisce nettamente l'arresto dei massi	sfavorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce nettamente l'arresto dei massi	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	F
valore assegnato	morfologia 1	morfologia 2	morfologia 3	morfologia 4	
vegetazione	prati, pascoli, roccia nuda [A]	cespugliato [B]	bosco di conifere (LAIVES) [C]	bosco ceduo (VADENA) [D]	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	G
valore assegnato	Rt = 0.7	Rt = 0.83	Rt = 0.8 (valore sperimentale LAIVES)	Rt = 0.75 (valore sperimentale VADENA)	
S.C. - Slope Coefficient = E+F+G					

Figura 84 - scheda di campagna modificata

volume max mobilizzabile per singolo evento (m ³)	> 100	10 - 100	5 - 10	< 5	
punteggio parziale	20	15	10	2	B
valore assegnato - Numero di lanci	4	3	2	1	
stato di decomposizione dell'ammasso roccioso	notevole	discreto	basso	compatto	
punteggio parziale	50	20	10	2	C
valore assegnato - Numero di lanci	40	30	20	10	
assetto giaciturale	molto sfavorevole	poco sfavorevole	ininfluente o assente	favorevole	
punteggio parziale	15	10	0	-6	D
valore assegnato - Numero di lanci	40	30	20	10	
G.E.I. - Geomechanical Event Intensity = A+B+C+D+50					

Figura 85 - scheda di campagna modificata

2.2.1 Morfologia del versante e risposta del terreno

Grazie all'esperienza dei tecnici dell'Istituto di Geologia e Prove materiali della Provincia Autonoma di Bolzano, sono state individuate 4 morfologie di versante che favoriscono o meno l'arresto dei massi durante un movimento franoso e che ricorrono con maggiore frequenza sul territorio.

Si è scelto realizzare dei profili-tipo suddividendo il pendio in tre parti : parete verticale (H = 100 m) lungo la quale si sviluppa il movimento franoso; pendio di altezza H = 100 m e angolo pari ai quattro valori medi della pendenza indicati in tabella; strada (L = 10 m).

Ad ogni profilo è stata associata una sigla definita come segue : morfologia(1,2,3,4) _ pendenza (37,53,67,83 gradi) _ uso del suolo (A,B,C,D) _ massa (a,b,c,d) .

Utilizzando il software Cad si sono realizzati 16 profili associando la pendenza media del versante alle 4 morfologie individuate; si è proceduto importando tali profili in RocFall dove si sono aggiunte le informazioni riguardanti la massa del blocco e l'uso del suolo ottenendo 256 profili-tipo.

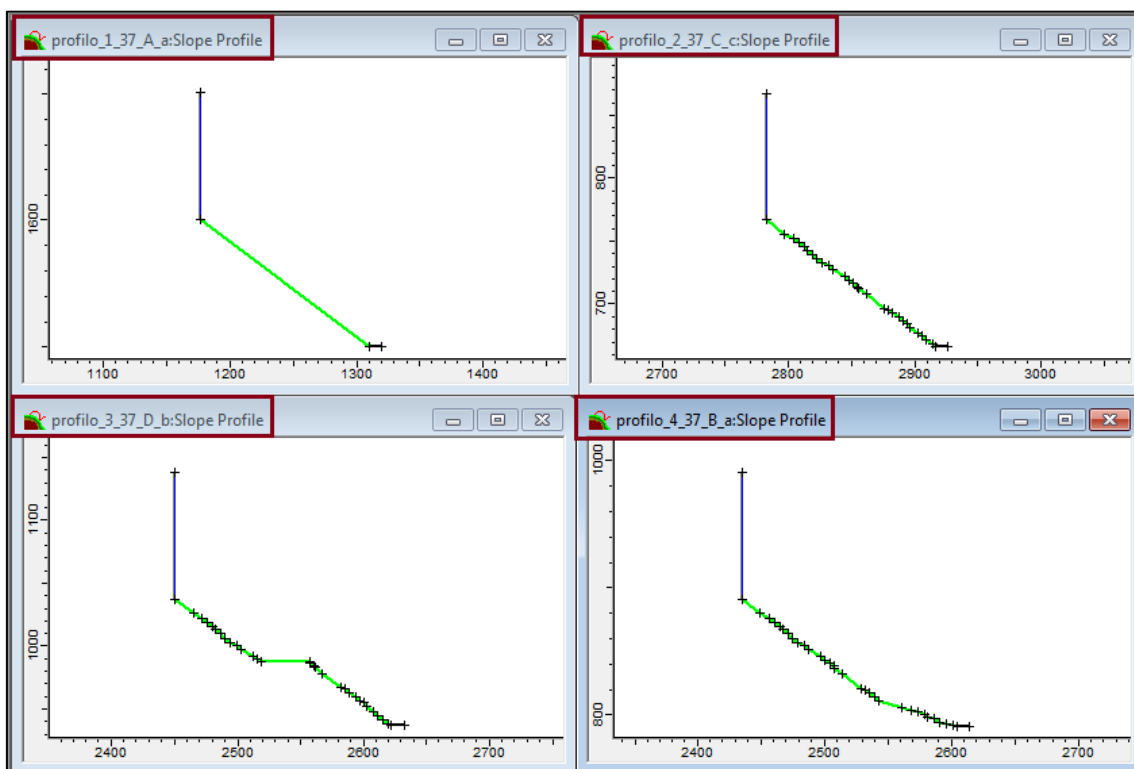


Figura 86 - Schermata RocFall : morfologie 1,2,3,4 inserite per indicare quanto il pendio sia favorevole o meno all'arresto dei massi. esempio con pendenza 37°

Nell'immagine si osservano quattro morfologie diverse riferite alla pendenza del versante di 37°, ciascuna influisce in maniera differente sull'arresto dei massi ed in particolare, da sinistra verso destra, *sfavorisce nettamente l'arresto dei massi; sfavorisce in parte l'arresto dei massi; favorisce in parte l'arresto dei massi;*

favorisce nettamente l'arresto dei massi. Ad ogni 'morfologia-tipo' è associato inoltre un diverso valore del coefficiente di restituzione normale R_n come mostrato in tabella :

PROFILO	VALORE DI R_n ASSOCIATO	DEVIAZIONE STANDARD
sfavorisce nettamente l'arresto dei massi [1]	0.5	0.04
sfavorisce in parte l'arresto dei massi [2]	0.45	0.04
favorisce in parte l'arresto dei massi [3]	0.4	0.04
favorisce nettamente l'arresto dei massi [4]	0.38	0.04

Figura 87 - tabella riepilogativa : corripendenza tra morfologia inserita in RocFall e valori del corrispondente coefficiente di restituzione normale (R_n)

2.2.2 *Uso del suolo*

La vegetazione, come già detto, condiziona la distanza di arresto dei massi influenzando sul coefficiente di restituzione tangenziale; i valori utilizzati per tale coefficiente e riportati di seguito sono stati ricavati dalle sperimentazioni effettuate dall'Istituto di geologia e prove materiali.

VEGETAZIONE	VALORE DI R_t ASSOCIATO	DEVIAZIONE STANDARD
prati, roccia [A]	0.7	0.04
cespugliato [B]	0.83	0.04
bosco conifere - LAIVES [C]	0.8	0.04
bosco ceduo - VADENA [D]	0.75	0.04

Figura 88 - Valori di R_t corrispondenti alla vegetazione del pendio

Nella realizzazione dei profili tipo si è utilizzato lo schema seguente per quanto riguarda l'assegnazione della vegetazione :

- parete verticale : clean hard bedrock [default]
- pendio : prati roccia [A] ; cespugliato [B] ; bosco conifere [C] ; bosco ceduo [D]
- strada : asphalt [default]

2.2.3 *Ammasso roccioso : stato di decomposizione, assetto giaciturale e volume dei blocchi*

Il volume dei blocchi viene inserito in RocFall sotto forma di massa ; si è scelto di considerare il valore medio per ogni intervallo dei volumi forniti in tabella, moltiplicato per il peso specifico della roccia 2650 kg/m^3 , ottenendo i valori indicati in tabella, associati ad una deviazione standard pari al 20% del valore iniziale.

VOLUME DEI BLOCCHI [m ³]	PESO DEI BLOCCHI [Kg]	DEVIAZIONE STANDARD
4 [a]	10600	2120
1 [b]	2650	530
0.5 [c]	1325	265
0.1 [d]	265	53

Figura 89 - Corrispondenza tra i volumi medi indicati nella scheda di campagna e il peso dei blocchi utilizzati in RocFall

I parametri corrispondenti al *volume massimo mobilizzabile per singolo evento*, allo *stato di decomposizione dell'ammasso roccioso* e all' *assetto giaciturale* vengono sintetizzati in un unico parametro che rappresenta i numeri di lanci ovvero il numero di traiettorie che vengono considerate in RocFall per ogni simulazione. Si è scelto di aumentare il numero di lanci in relazione alla maggiore criticità del versante, per rappresentare la probabilità che aumenti la quantità di materiale che può distaccarsi per ogni singolo evento, incrementando l'intensità

del fenomeno. Tali parametri sono legati anche al tempo di ritorno dell'evento stesso.

Il numero di lanci totale si è ricavato tramite una combinazione dei valori associati ad ogni parametro, ed in particolare tramite il prodotto del valore corrispondente alla definizione indicata per ogni categoria rappresentata in tabella.

volume max mobilizzabile per singolo evento		stato di decomposizione dell'ammasso roccioso		assetto giaciturale	
(m ³)	n ₁ (n lanci)	definiz	n ₂ (n lanci)	definiz	n ₃ (n lanci)
> 100	4	notevole	40	molto sfavorevole	40
10 - 100	3	discreto	30	poco sfavorevole	30
5 - 10	2	basso	20	ininfluente o assente	20
< 5	1	compatto	10	favorevole	10

Figura 90 - combinazione dei parametri "volume massimo mobilizzabile per singolo evento", "stato di decomposizione dell'ammasso roccioso", "assetto giaciturale" inseriti in RocFall come "numero di lanci".

Esempio :

- Volume massimo mobilizzabile per singolo evento > 100
 - Stato di decomposizione dell'ammasso roccioso : discreto
 - Assetto giaciturale : ininfluente o assente
- ⇒ Numero di lanci : 4 x 30 x 20 = 2400

2.3 Impiego del software RocFall e simulazioni

2.3.1 Definizione del profilo del versante

Combinando i 16 profili-tipo con le caratteristiche evidenziate nel paragrafo precedente, si sono ottenuti 256 profili sui quali poi sono state effettuate le simulazioni variando il numero di lanci.

2.3.2 Individuazione della nicchia di distacco e definizione delle condizioni iniziali

Si è scelto di utilizzare la funzione 'add line seeder' spiegata in precedenza, considerando l'intera parete di roccia come probabile generatrice del movimento franoso (linea blu in figura). Si sono definite le condizioni iniziali come segue :

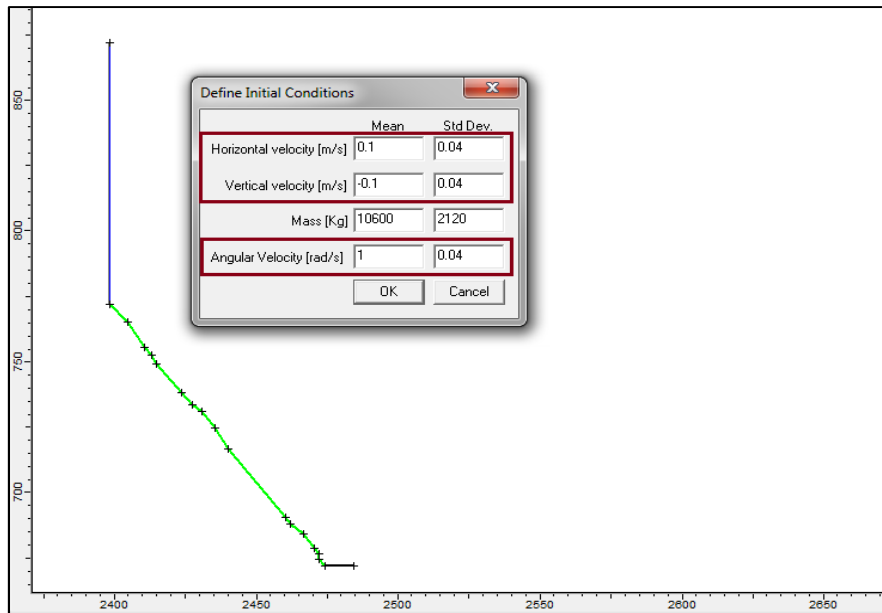


Figura 91 - Schermata RocFall : individuazione della nicchia di distacco lineare (linea blu) e definizione delle condizioni iniziali (rettangolo rosso)

2.3.3 Individuazione delle dimensioni del blocco e calcolo della massa

RocFall utilizza un codice di calcolo basato sul metodo *lumped mass* che considera le seguenti ipotesi:

- schema piano;
- profilo del pendio assimilabile ad una spezzata costruita da segmenti rettilinei;
- blocco puntiforme;
- resistenza dell'aria trascurabile;

Con queste assunzioni, la traiettoria di caduta è funzione dei coefficienti di restituzione e del coefficiente d'attrito al roto-scivolamento dei materiali con i quali il blocco viene a contatto e del profilo topografico, mentre è indipendente

dalla massa del blocco. La massa viene determinata all'inizio della simulazione e rimane costante durante la stessa; viene inserita allo scopo di calcolare la velocità rotazionale e l'energia cinetica, indispensabile per le verifiche e le analisi delle opere o barriere a contrasto alla caduta.

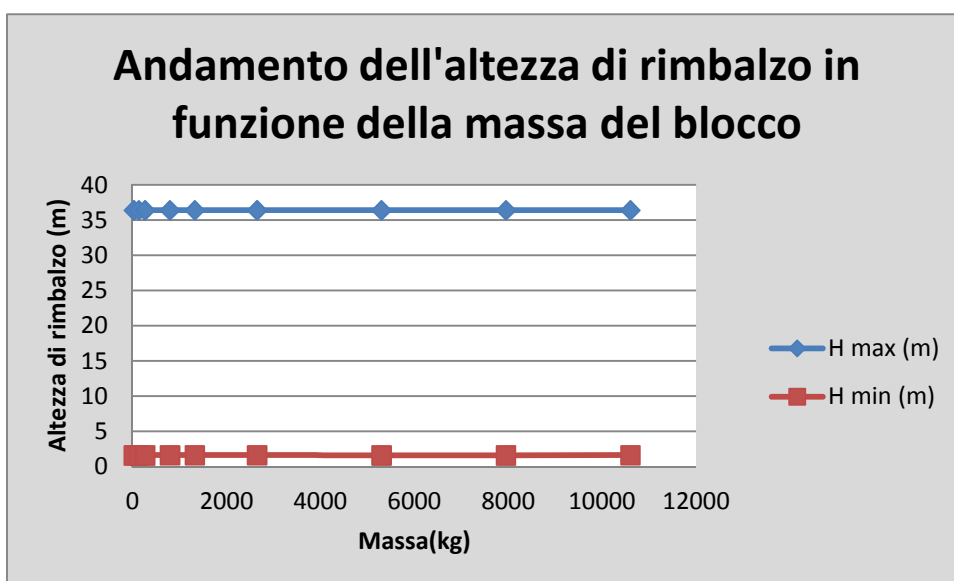
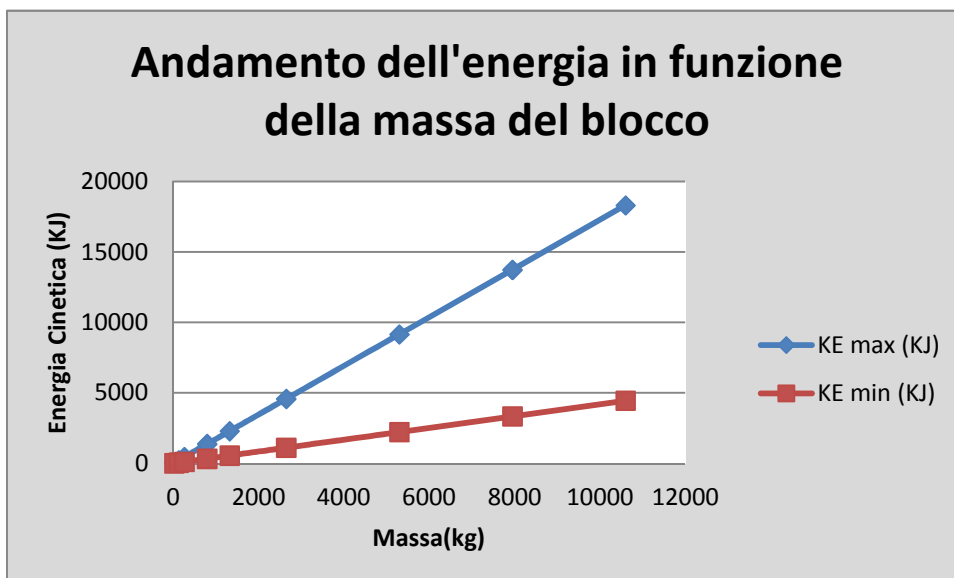
Nei calcoli, come descritto in precedenza, si sono usati i valori della massa del blocco corrispondenti ai volumi riportati in tabella.

VOLUME DEI BLOCCHI [m ³]	PESO DEI BLOCCHI [Kg]	DEVIAZIONE STANDARD
4 [a]	10600	2120
1 [b]	2650	530
0.5 [c]	1325	265
0.1 [d]	265	53

Figura 92 - tabella riportante la corrispondenza tra il volume e il peso dei blocchi considerati

Fissando la morfologia del pendio e quindi il coefficiente di restituzione normale R_n (e.g. morfologia 1 ; $R_n = 0,5$) e il coefficiente di restituzione tangenziale associato al tipo di vegetazione costituente il pendio (e.g. A : prati, roccia ; $R_t = 0,7$) si è osservato un incremento dell'energia cinetica corrispondente all'incremento della massa del blocco in coerenza con le ipotesi iniziali ed una variazione minima nell'andamento dell'altezza di rimbalzo dovuta all'aleatorietà delle grandezze considerate.

Valori fissati su RocFall $R_n = 0,5$ [morfologia NUMERO 1 : SFAVORISCE NETTAMENTE L'ARRESTO DEI MASSI] ; $R_t = 0,7$ (vegetazione A : PRATI, PASCOLI, ROCCIA NUDA)									
Massa (kg)	x (m)	KE max (KJ)	x (m)	KE min (KJ)	x (m)	H max (m)	x (m)	H min (m)	% massi su strada
26,5	126,315	45,782	22,966	11,112	63,157	36,398	1,435	1,621	100
132,5	126,315	228,905	22,966	55,566	63,157	36,398	1,435	1,621	100
265	126,315	457,802	22,966	111,14	64,593	36,398	1,435	1,621	100
795	126,315	1373,341	22,966	333,473	64,593	36,398	1,435	1,645	100
1325	126,315	2288,83	22,966	555,848	64,593	36,398	1,435	1,645	100
2650	126,315	4577,401	22,966	1111,909	64,593	36,398	1,435	1,645	100
5300	126,315	9154,076	22,966	2224,412	64,593	36,398	1,435	1,621	100
7950	126,315	13730,28	22,966	3337,303	64,593	36,399	1,435	1,621	100
10600	126,315	18306,1	22,966	4450,511	64,593	36,399	1,435	1,645	100



2.3.4 Scelta del numero di lanci e della tipologia di simulazione

Il numero di lanci viene stabilito come precedentemente illustrato, mediante la combinazione dei valori associati ai parametri *Volume massimo mobilizzabile per singolo evento*, *Stato di decomposizione dell'ammasso roccioso*, *Assetto giaciturale*.

Nell'effettuare le simulazioni si è scelto di utilizzare l'opzione *pseudo-random* che utilizza lo stesso *seed number* per il campionamento della distribuzione di dati, in modo da generare risultati riproducibili e ottenere in output la stessa distribuzione ogni volta che si eseguirà l'analisi con gli stessi parametri di input.

2.3.5 Esito delle simulazioni

Fissando il peso del masso che, come detto prima, incide solo sul valore dell'energia cinetica (e.g. $M = b = 2650 \text{ kg}$) e utilizzando un numero di lanci pari a 1000, avendo osservato che all'aumentare di tale numero (purchè sufficientemente elevato) non si riscontrano variazioni sostanziali nei risultati dell'analisi, si valuta come i parametri *uso del suolo* (A;B;C;D), *morfologia* (1;2;3;4) e *pendenza* ($37^\circ;53^\circ;67^\circ;83^\circ$) incidano sulla variazione di energia cinetica, di altezza di rimbalzo e sulla percentuale di massi che raggiunge la strada.

Si sceglie come punto di riferimento il punto di intersezione tra il pendio e la strada, evidenziato dal cerchietto rosso in figura.

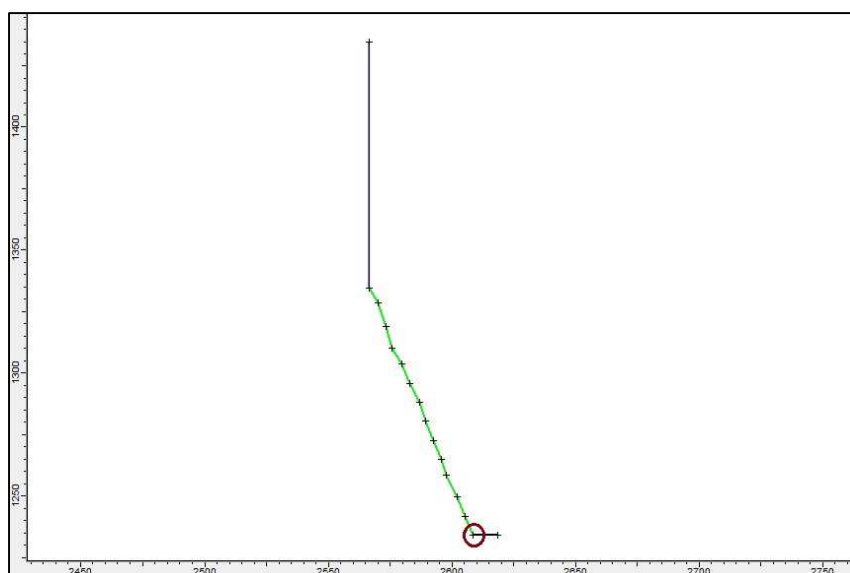


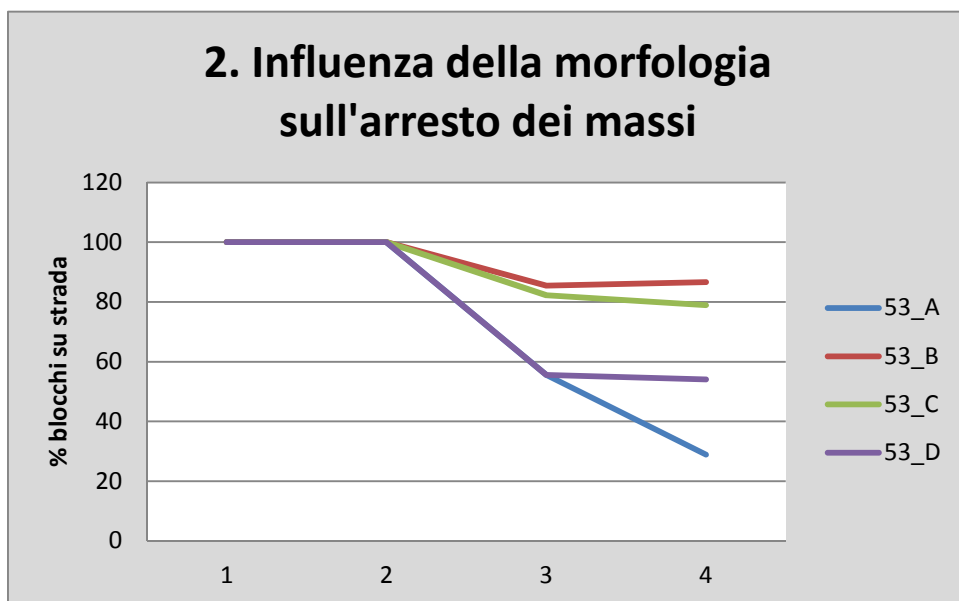
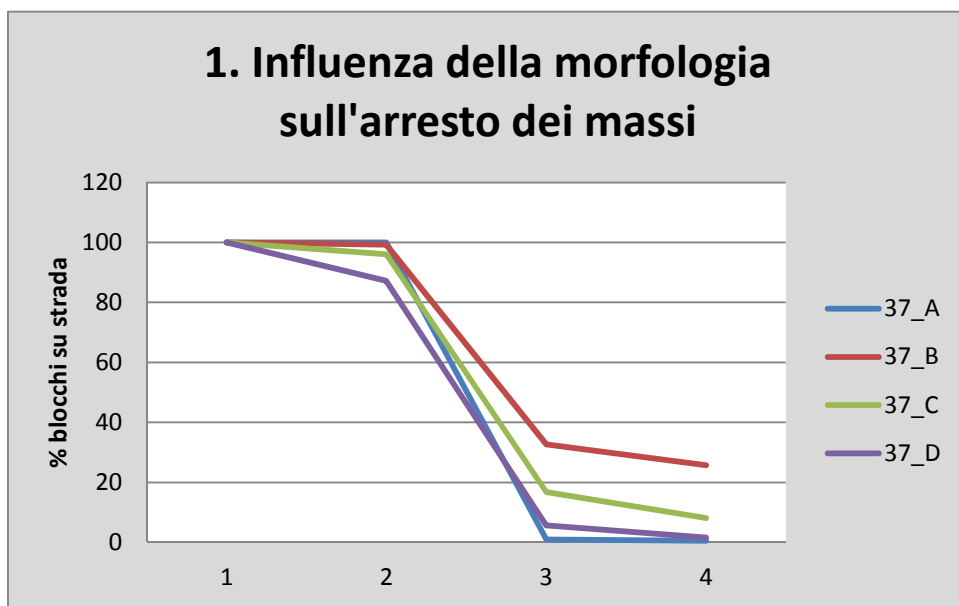
Figura 93 - Schermata RocFall : individuazione del punto di riferimento per il calcolo della percentuale di blocchi arrestati, dell'energia cinetica e dell'altezza di rimbalzo. (cerchietto rosso)

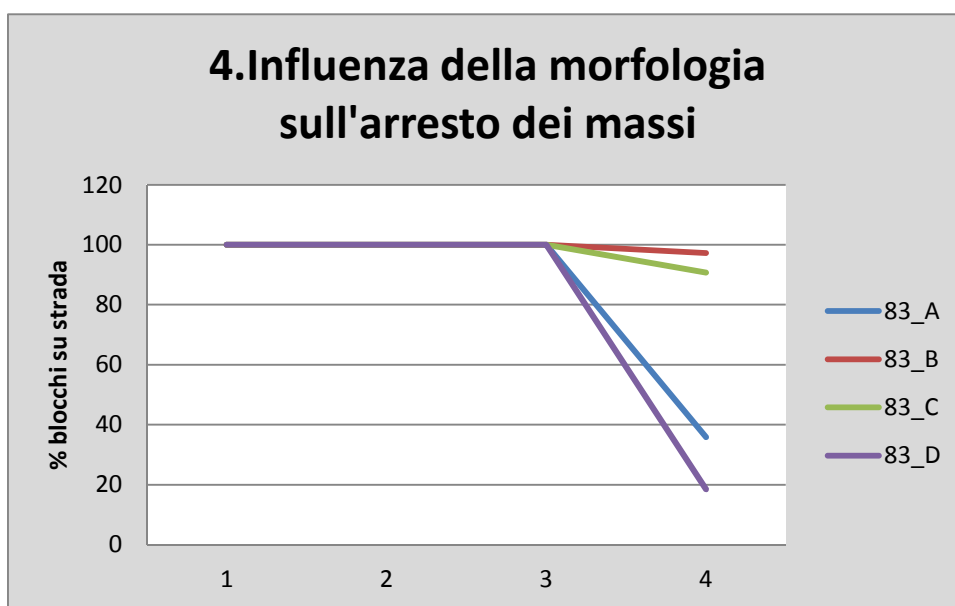
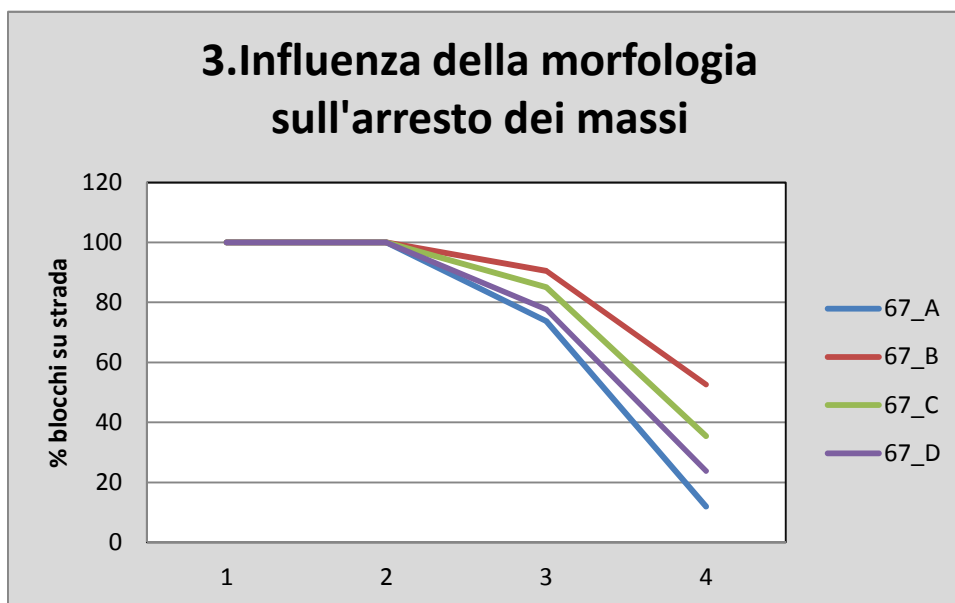
profili	KE							BH					% blocchi
	<500	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	>5000	<1	<2	<3	<5	>5	
1 37 A	0,62	0,868	0,944	0,987	1	1	0	0,882	0,932	0,943	0,962	0,038	100
1 37 B	0,172	0,622	0,759	0,886	0,998	1	0	0,798	0,863	0,885	0,929	0,071	100
1 37 C	0,226	0,715	0,816	0,909	0,998	1	0	0,865	0,865	0,865	0,931	0,069	100
1 37 D	0,497	0,78	0,913	0,979	1	1	0	0,863	0,913	0,921	0,944	0,056	100
1 53 A	0,442	0,495	0,634	0,781	0,906	0,999	0,001	0,582	0,657	0,748	0,865	0,135	100
1 53 B	0,336	0,39	0,437	0,491	0,804	0,999	0,001	0	0,69	0,69	0,77	0,23	100
1 53 C	0,377	0,409	0,486	0,56	0,863	1	0	0	0,926	0,926	0,999	0,001	100
1 53 D	0,314	0,361	0,42	0,572	0,828	1	0	0,486	0,553	0,659	0,775	0,225	100
1 67 A	0,38	0,417	0,523	0,692	0,871	0,999	0,001	0,53	0,593	0,71	0,814	0,186	100
1 67 B	0,323	0,346	0,424	0,529	0,766	0,999	0,001	0,53	0,593	0,71	0,814	0,186	100
1 67 C	0,261	0,294	0,309	0,38	0,665	0,997	0,003	0,387	0,494	0,544	0,566	0,434	100
1 67 D	0,281	0,305	0,327	0,415	0,691	0,997	0,003	0,381	0,49	0,558	0,576	0,424	100
1 83 A	0,306	0,327	0,365	0,477	0,746	0,999	0,001	0,412	0,527	0,588	0,607	0,393	100
1 83 B	0,282	0,298	0,341	0,44	0,696	1	0	0,363	0,457	0,468	0,489	0,511	100
1 83 C	0,237	0,262	0,269	0,301	0,54	0,992	0,008	0,329	0,409	0,419	0,446	0,554	100
1 83 D	0,253	0,2077	0,29	0,339	0,592	0,995	0,005	0,363	0,446	0,485	0,490	0,510	100
2 37 A	0,271	0,292	0,315	0,398	0,656	0,996	0,004	0,36	0,444	0,461	0,485	0,515	100
2 37 B	0,270	0,494	0,812	0,969	0,998	1,000	0,000	0,683	0,763	0,816	0,900	0,100	99,3
2 37 C	0,365	0,623	0,896	0,985	1,000	1,000	0,000	0,736	0,794	0,846	0,898	0,102	96,1
2 37 D	0,518	0,776	0,955	0,999	1,000	1,000	0,000	0,788	0,831	0,864	0,897	0,103	87,2
2 53 A	0,243	0,440	0,580	0,709	0,900	1,000	0,000	0,232	0,282	0,358	0,523	0,477	100
2 53 B	0,042	0,174	0,380	0,562	0,867	1,000	0,000	0,017	0,115	0,244	0,387	0,613	100
2 53 C	0,100	0,224	0,419	0,586	0,878	1,000	0,000	0,050	0,167	0,253	0,407	0,593	100
2 53 D	0,172	0,331	0,541	0,675	0,904	1,000	0,000	0,161	0,220	0,290	0,443	0,557	100
2 67 A	0,069	0,125	0,262	0,477	0,938	1,000	0,000	0,125	0,172	0,203	0,262	0,738	100
2 67 B	0,022	0,045	0,136	0,343	0,900	1,000	0,000	0,092	0,127	0,139	0,185	0,815	100
2 67 C	0,014	0,043	0,164	0,398	0,922	1,000	0,000	0,076	0,118	0,138	0,213	0,787	100
2 67 D	0,044	0,116	0,242	0,452	0,936	1,000	0,000	0,128	0,176	0,209	0,269	0,731	100
2 83 A	0,000	0,066	0,449	0,822	0,927	0,999	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,998	100
2 83 B	0,000	0,010	0,162	0,536	0,884	0,996	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	100
2 83 C	0,000	0,025	0,200	0,603	0,892	0,994	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001	0,999	100
2 83 D	0,000	0,048	0,308	0,705	0,917	0,999	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	100
3 37 A	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	1
3 37 B	0,783	0,972	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,988	0,991	0,994	1,000	0,000	32,7
3 37 C	0,946	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,988	0,994	1,000	1,000	0,000	16,8
3 37 D	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	5,6
3 53 A	0,554	0,942	0,978	1,000	1,000	1,000	0,000	0,471	0,543	0,594	0,793	0,207	55,6
3 53 B	0,142	0,673	0,902	0,988	1,000	1,000	0,000	0,062	0,188	0,302	0,490	0,510	85,5
3 53 C	0,241	0,778	0,943	0,991	1,000	1,000	0,000	0,070	0,265	0,391	0,586	0,414	82,3
3 53 D	0,554	0,942	0,978	1,000	1,000	1,000	0,000	0,471	0,543	0,594	0,793	0,207	55,6
3 67 A	0,176	0,741	0,955	1,000	1,000	1,000	0,000	0,091	0,216	0,263	0,361	0,639	73,7
3 67 B	0,244	0,694	0,941	0,996	1,000	1,000	0,000	0,070	0,128	0,152	0,225	0,775	90,5
3 67 C	0,214	0,699	0,946	0,994	1,000	1,000	0,000	0,087	0,162	0,192	0,271	0,729	85,1
3 67 D	0,176	0,669	0,954	0,997	1,000	1,000	0,000	0,097	0,183	0,220	0,305	0,695	77,7
3 83 A	0,001	0,085	0,367	0,824	0,971	0,999	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,996	100
3 83 B	0,000	0,011	0,129	0,498	0,932	0,996	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	100
3 83 C	0,000	0,014	0,162	0,566	0,954	0,998	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	100
3 83 D	0,000	0,031	0,254	0,700	0,969	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	100
4 37 A	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,5
4 37 B	0,891	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,700	0,949	1,000	1,000	0,000	25,7
4 37 C	0,951	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,704	0,963	1,000	1,000	0,000	8,1
4 37 D	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,813	0,938	1,000	1,000	0,000	1,6
4 53 A	0,837	0,962	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,651	0,893	0,934	0,948	0,052	28,9
4 53 B	0,589	0,935	0,997	1,000	1,000	1,000	0,000	0,762	0,888	0,899	0,930	0,070	86,7
4 53 C	0,686	0,956	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,752	0,894	0,919	0,944	0,056	78,9
4 53 D	0,813	0,959	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,730	0,891	0,926	0,957	0,043	54,1
4 67 A	0,924	0,983	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,832	0,941	1,000	1,000	0,000	11,9
4 67 B	0,694	0,975	0,996	1,000	1,000	1,000	0,000	0,827	0,939	0,983	0,996	0,004	52,6
4 67 C	0,698	0,977	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,768	0,918	0,983	0,992	0,008	35,4
4 67 D	0,853	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,807	0,945	0,996	1,000	0,000	23,8
4 83 A	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,766	0,889	0,955	0,972	0,028	35,9
4 83 B	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,216	0,632	0,903	0,981	0,019	97,2
4 83 C	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,352	0,745	0,928	0,987	0,013	90,7
4 83 D	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,951	1,000	1,000	1,000	0,000	18,5

Dall'analisi della tabella si evince come il parametro che influisce maggiormente sull'arresto dei blocchi sia la morfologia. Osserviamo come la 'morfologia 4'

contribuisca maggiormente all'arresto dei massi rispetto alla 'morfologia 1' a parità di angolo e di *uso del suolo*.

Nei seguenti grafici, sui quali si può osservare la variazione della morfologia sulle ascisse e la percentuale di blocchi che raggiunge la strada sulle ordinate, si nota che all'aumentare della pendenza, l'effetto della morfologia risulta ridotto. Infatti nel grafico n 4 , a causa dell'elevata pendenza. si osserva una riduzione del numero di blocchi che raggiunge la strada solo nel caso della *morfologia 4*.





Nella prossima serie di grafici si può osservare l'influenza del parametro *uso del suolo* sull'arresto dei massi a parità di pendenza del versante.

Anche in questo caso si evince che è la morfologia il fattore predominante e infatti si nota in ciascun grafico il raggiungimento della strada per il totale dei massi considerati per i profili caratterizzati da morfologia 1 e 2; si nota inoltre come all'aumentare della pendenza aumentino i profili che presentano una

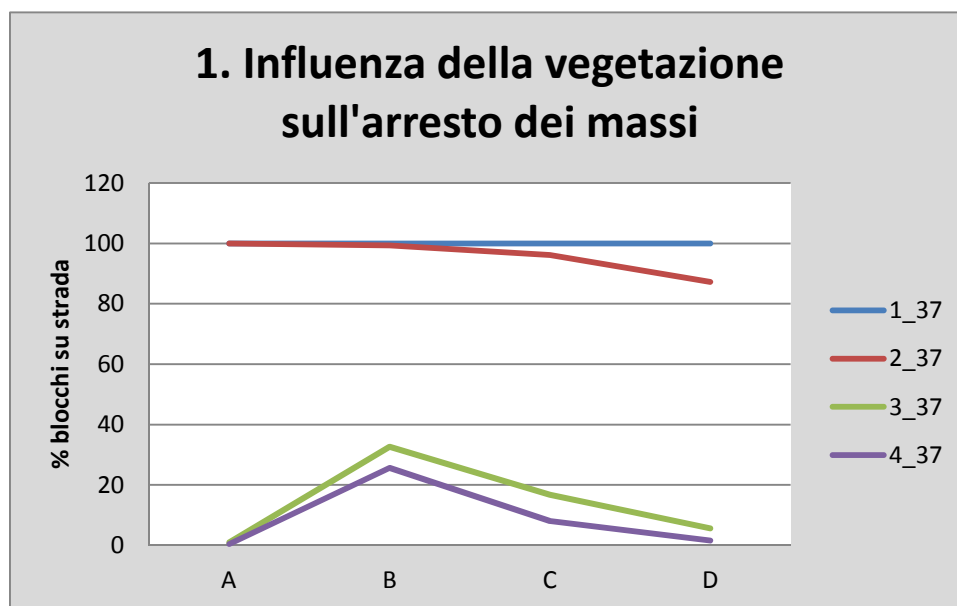
percentuale di blocchi su strada pari al 100% . In tale contesto si nota come la vegetazione *A - prati, roccia nuda* alla quale è stato associato un valore di restituzione tangenziale $R_t = 0,7$ e la vegetazione *D - bosco ceduo* alla quale è stato associato un valore di restituzione tangenziale $R_t = 0,75$, siano quelli che contribuiscono maggiormente all'arresto dei massi lungo il pendio.

La vegetazione indicata con la lettera *B - cespugliato* e alla quale è associato un valore di R_t pari a $0,83$ risulta essere la meno influente sulla percentuale di arresto dei massi.

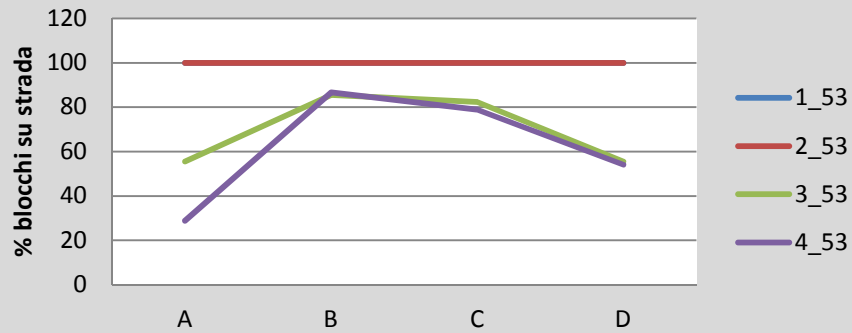
Ciò non è coerente con quanto imposto nelle ipotesi alla base delle simulazioni, secondo le quali il parametro *D* dovrebbe essere quello che influisce maggiormente sulla percentuale di massi arrestati e il parametro *A* quello caratterizzato dalla minore influenza, come si può notare dai punteggi assegnati a tali parametri nelle schede di campagna, ed evidenziati in tabella.

VEGETAZIONE	prati, pascoli, roccia nuda [A]	cespugliato [B]	bosco di conifere [C]	bosco ceduo [D]	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	G

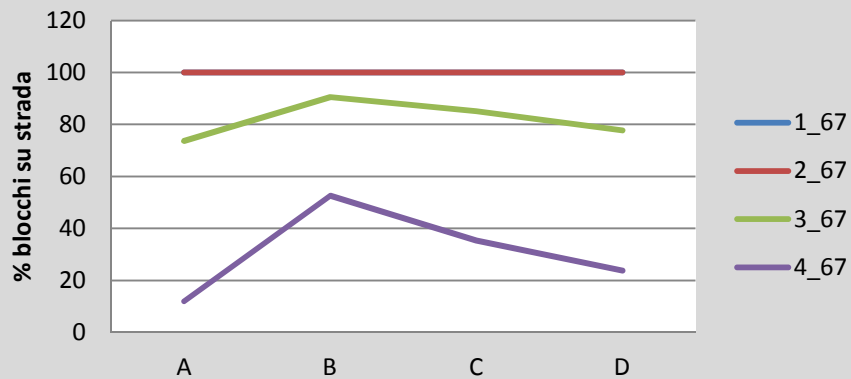
Figura 94 - influenza della vegetazione sull'arresto dei massi. Il bosco ceduo influisce maggiormente sulla percentuale di massi arrestati a differenza dei prati o pascoli che sono quasi ininfluenti.



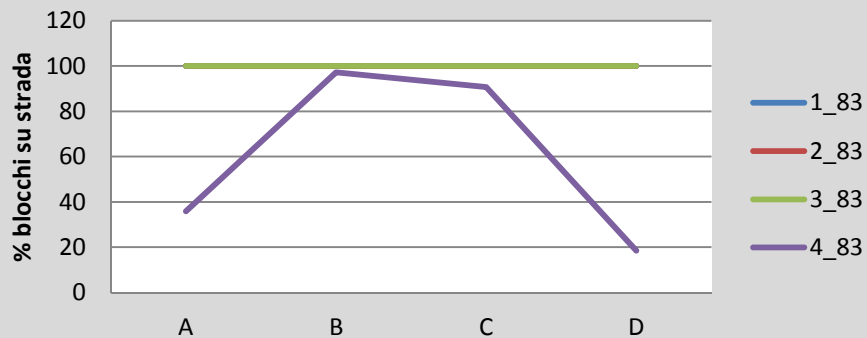
2. Influenza della vegetazione sull'arresto dei massi



3. Influenza della vegetazione sull'arresto dei massi



4. Influenza della vegetazione sull'arresto dei massi



2.3.6 *Confronto tra l'analisi della pericolosità di un versante reale e l'analisi del corrispondente profilo-modello.*

Al fine dell' applicazione dell'integrazione della scheda di campagna nel calcolo dell'intensità del fenomeno che può potenzialmente svilupparsi da un versante, si è deciso di confrontare i risultati ottenuti da un'analisi di simulazione della caduta massi per un profilo "reale" e per il relativo profilo-modello associato.

In particolare i profili reali fanno riferimento ad un versante posto nel comune di Laives, osservato in sede di sopralluogo , dal quale sono stati estrapolati grazie all'estensione Easy Profiler in ArcMap sul modello digitale del terreno da Laser Scanner (risoluzione 1 m x 1 m) e calcolati con una risoluzione di 1 punto ogni metro.

2.3.6.1 *Caratterizzazione geologica dell'area studiata*

Il versante analizzato, posto in destra idrografica del Rio Vallarsa a ridosso della strada comunale 40.26 - Via Pietralba lungo la Vallarsa, nel Comune di Laives, è noto per le frequenti cadute di massi e blocchi che hanno raggiunto in molti casi la strada e le abitazioni sottostanti.

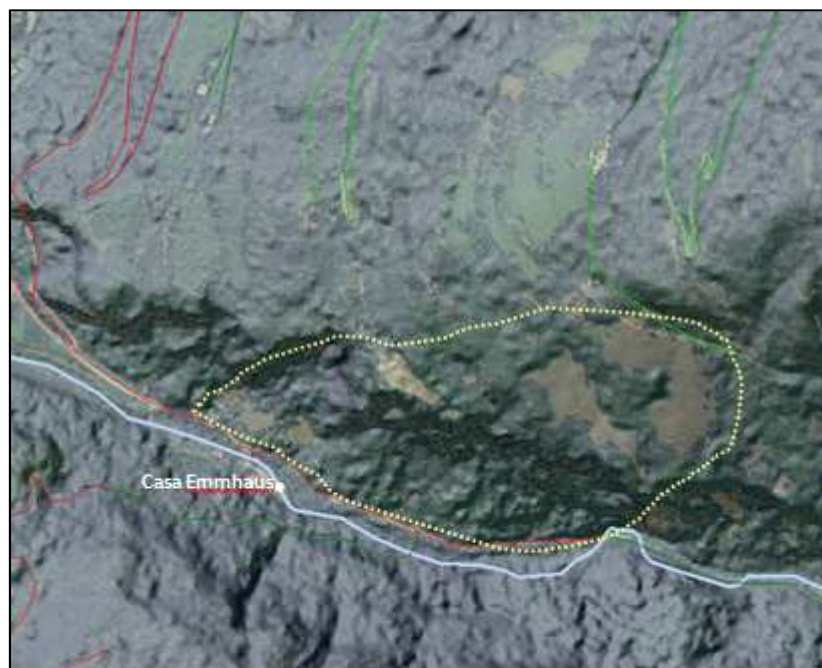


Figura 95 - versante analizzato posto nel comune di Laives

Il tratto di versante in esame è stato oggetto di numerosi sopralluoghi ed indagini, ad opera dell'Istituto di Geologia e Prove Materiali della Provincia Autonoma di Bolzano, atti a valutare il livello di pericolosità e di rischio legato al fenomeno di caduta massi.

Il versante è caratterizzato da una formazione vulcanica molto omogenea e con caratteristiche litologiche abbastanza costanti a fessurazione sub-verticale (2 famiglie di discontinuità K_1 e K_2) che attribuisce all'ammasso una struttura colonnare. Un terzo sistema di discontinuità è disposto ortogonalmente a queste ultime e concorre ad isolare blocchi di roccia di notevoli dimensioni.

Nella zona di interesse essa affiora con spessori di almeno 250 metri lungo le falesie che appaiono in uno stato di forte decompressione, con discontinuità marcate e fratture in genere beanti.

Geomorfologicamente il versante presenta una parte superiore con pareti verticali, talora interrotte da brevi cenge situate in corrispondenza di marcate fratture con assetto a reggipoggio. La presenza di tali strutture devia la traiettoria di caduta dei massi verso canali preferenziali. Le pareti sono poi raccordate al fondo valle da una fascia continua di falde detritiche talvolta molto attive, composte da materiale detritico grossolano fortemente addensato.

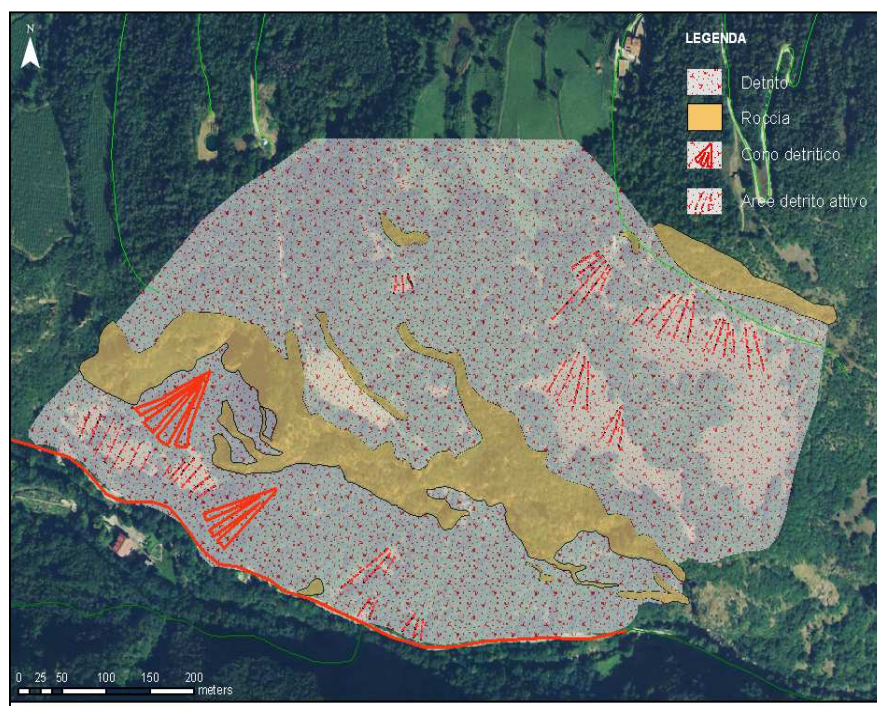


Figura 96 - caratterizzazione geomorfologica dell'area studiata

L'ammasso roccioso si presenta discontinuo e discretamente fratturato, con un indice RQD che non scende mai al di sotto del 50%, se si esclude il cappellaccio superiore delle pareti ed alcune fasce cataclasate. I giunti si presentano aperti, allentati ma privi di riempimento e dotati di notevole continuità laterale.

Il tratto di versante in oggetto risulta molto acclive, con pendenze comprese tra i 30° e i 50° gradi: nella parte inferiore, in corrispondenza delle falde detritiche e di terrazzi morfologici, si rilevano le pendenze inferiori (prevalentemente comprese tra 30°-38°), mentre in prossimità delle pareti ignimbriche subverticali si raggiungono i valori massimi. L'elevata acclività delle pendici predispone il versante a fenomeni di mobilitazione o distacco di singoli blocchi di dimensioni che variano in funzione dei sistemi di discontinuità esistenti. Anche le zone interessate dal macereto e dalle coltri detritiche presentano diffuse condizioni di instabilità dovute alle elevate pendenze o alla presenza di blocchi in equilibrio precario.

Il tratto di versante indagato è stato oggetto di un approccio multidisciplinare consistito in un rilievo laser scan, con elaborazione di un modello digitale del terreno ad alta risoluzione, ed un rilievo geomeccanico puntuale, per identificare con precisione i sistemi di discontinuità e le aree

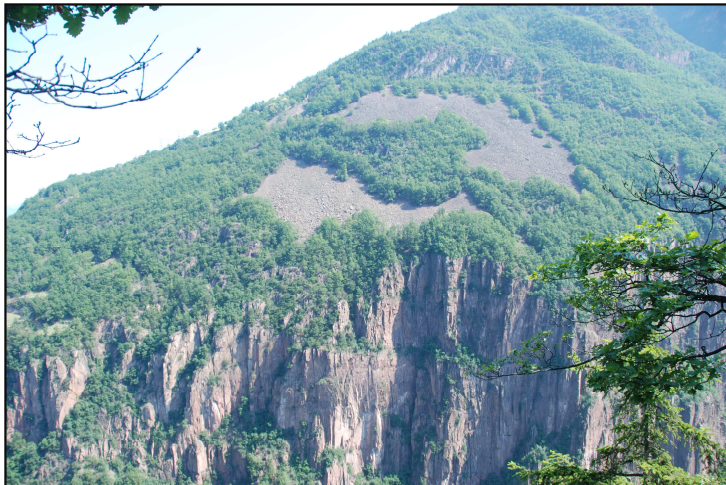


Figura 97 - elevata acclività del versante studiato

caratterizzate dai dissesti più consistenti. L'applicazione della tecnologia Laser Scanner a problematiche geologico-strutturali permette di ottenere una grandissima quantità di dati in tempi relativamente brevi e di acquisire misurazioni uniformemente distribuite a prescindere dalle condizioni di stabilità e accessibilità dei luoghi. La scansione laser produce un modello numerico tridimensionale (*points cloud*) che è in grado di documentare le principali caratteristiche geometriche e geomorfologiche degli ammassi. I limiti di

applicazione sono legati alla presenza di vegetazione, che riduce l'accuratezza della misura. Il rilievo del tratto di versante posto in destra idrografica del Rio Vallarsa ha permesso di descrivere i sistemi di discontinuità esistenti nelle quattro principali fasce di affioramento di roccia che costituiscono le più probabili zone di innesco di crolli.

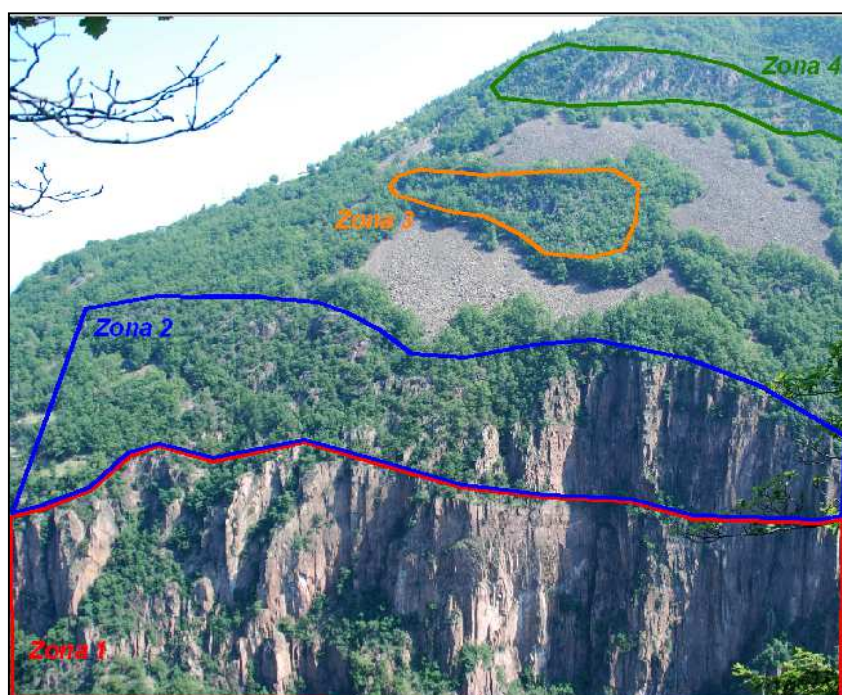


Figura 98 - diverse zone di distacco presenti nell'area in esame

I sistemi di fatturazione dell'ammasso generano una grande variabilità delle classi volumetriche dei blocchi. Nelle zone di "alta probabilità di distacco" sono stati raccolti dati riguardanti le dimensioni dei massi instabili, con valutazione dei volumi massimi e più frequenti (**moda**), e la loro frequenza.

	Volume modale (m ³)	Volume massimo (m ³)
Zona 1	0,76	2,43
Zona 2	0,27	1,28
Zona 3	0,4	1,34
Zona 4	1,6	1,7

Figura 99 - zone con volumi di distacco differenti

Dall'analisi dei dati esistenti nell'archivio dell'Ufficio geologia e Prove materiali (relazioni pregresse e protocolli di sopralluogo) risulta che la dimensione massima dei massi che hanno intercettato la strada comunale è di circa 1 m^3 con un valore medio di $0,5 \text{ m}^3$. Il volume totale del dissesto ha raggiunto anche i 10 m^3 per evento. Nella figura seguente sono evidenziati i profili ottenuti tramite l'estensione Easy Profiler in ArcMap sul modello digitale del terreno da Laser Scanner.

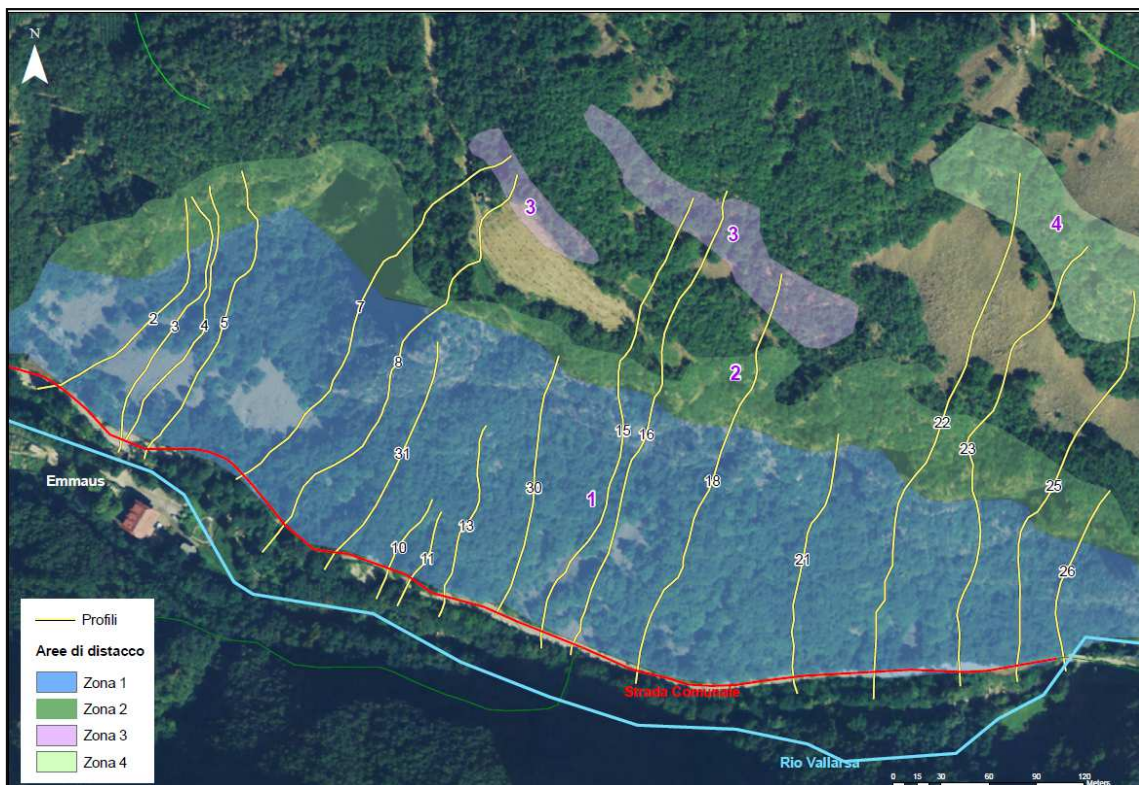


Figura 100 - profili ottenuti tramite l'estensione Easy Profiler in ArcMap da modello digitale del terreno ottenuto da laserscan

2.3.6.2 Confronto tra profili reali e profilo-tipo

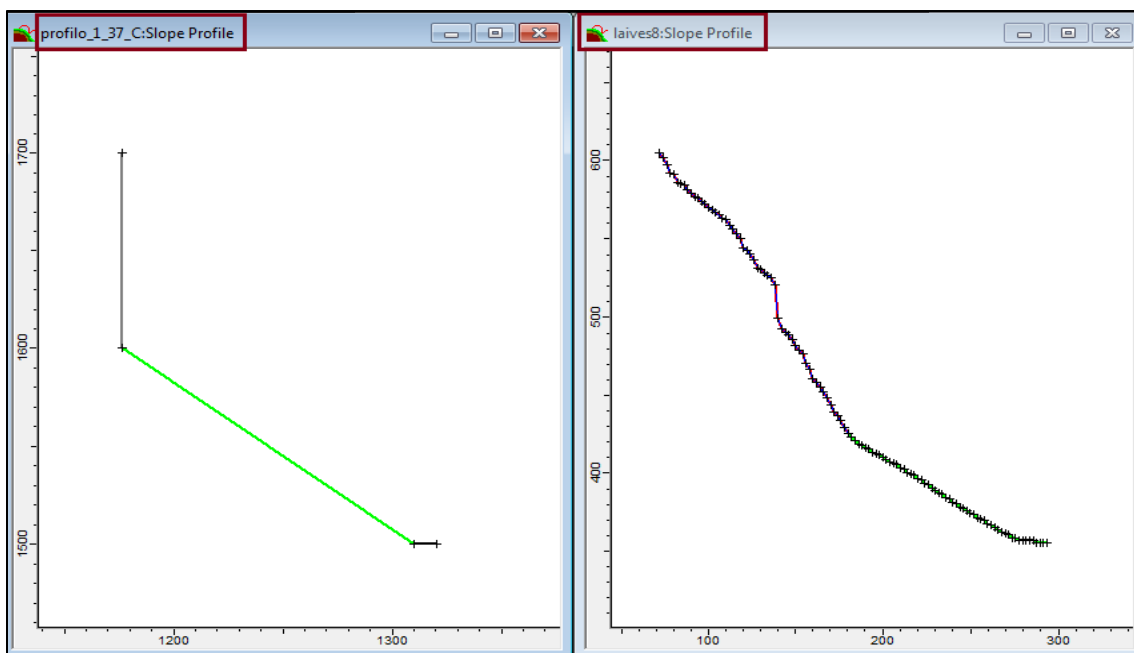
Al fine di realizzare un confronto tra il profilo reale e profilo-tipo, sono stati utilizzati i profili 8,16,23,30 limitandoci alla considerazione della zona di distacco 1, caratterizzata da un volume più elevato dei singoli blocchi. Il volume dei blocchi considerato è quello corrispondente ad una massa $b = 2650 \text{ kg}$.

Si è proceduto alla compilazione della scheda di campagna per i profili scelti (denominati con la scritta LAIVES associata al numero del profilo) e si sono ricavati i profili corrispondenti da utilizzare in RocFall e si è proseguito con l'effettuazione delle analisi di simulazione per entrambi i profili.

- Profilo LAIVES 8

pendenza media del versante	75 - 90	60 - 75	45 - 60	35 - 45	
punteggio parziale	15	10	0	-6	E
valore assegnato	83	67	53	37	
morfologia del versante e risp del terreno	sfavorisce nettamente l'arresto dei massi	sfavorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce nettamente l'arresto dei massi	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	F
valore assegnato	morfologia 1	morfologia 2	morfologia 3	morfologia 4	
vegetazione	prati, pascoli, roccia nuda [A]	cespugliato [B]	bosco di conifere (LAIVES) [C]	bosco ceduo (VADENA) [D]	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	G
valore assegnato	Rt = 0.7	Rt = 0.83	Rt = 0.8 (valore sperimentale LAIVES)	Rt = 0.75 (valore sperimentale VADENA)	
S.C. - Slope Coefficient = E+F+G					

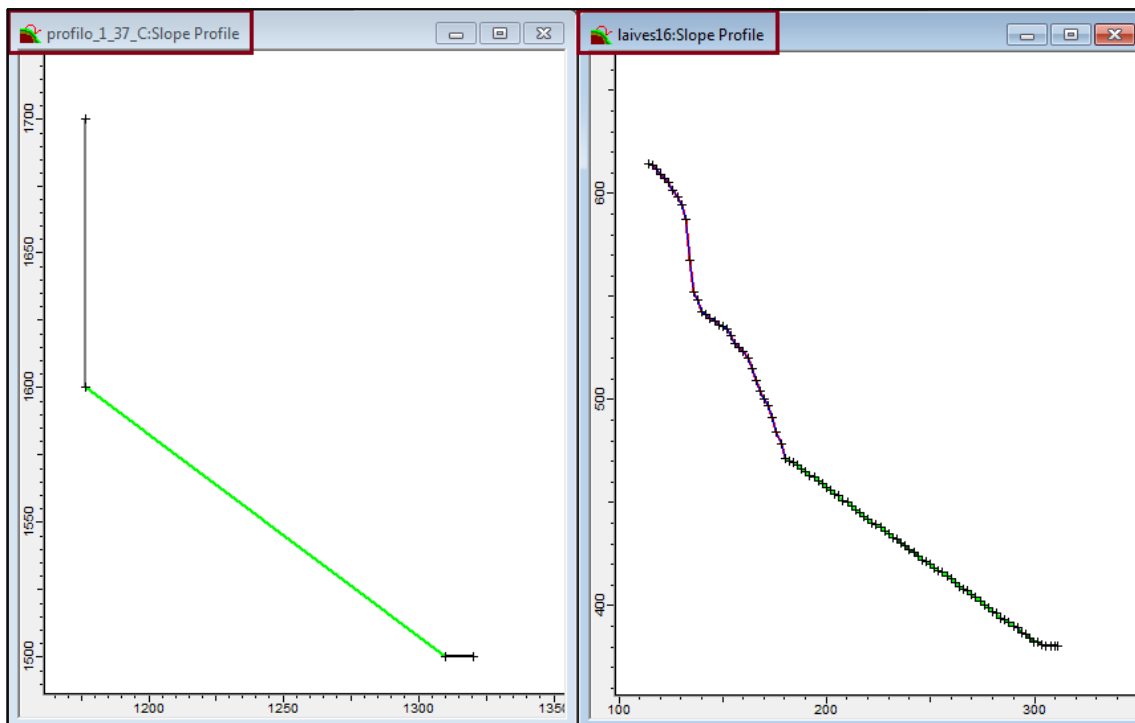
Il profilo corrispondente a "laives 8" è quello denominato 1_37_C.



- Profilo LAIVES 16 :

pendenza media del versante	75 - 90	60 - 75	45 - 60	35 - 45	
punteggio parziale	15	10	0	-6	E
valore assegnato	83	67	53	37	
morfologia del versante e risp del terreno	sfavorisce nettamente l'arresto dei massi	sfavorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce nettamente l'arresto dei massi	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	F
valore assegnato	morfologia 1	morfologia 2	morfologia 3	morfologia 4	
vegetazione	prati, pascoli, roccia nuda [A]	cespugliato [B]	bosco di conifere (LAIVES) [C]	bosco ceduo (VADENA) [D]	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	G
valore assegnato	Rt = 0.7	Rt = 0.83	Rt = 0.8 (valore sperimentale LAIVES)	Rt = 0.75 (valore sperimentale VADENA)	
S.C. - Slope Coefficient = E+F+G					

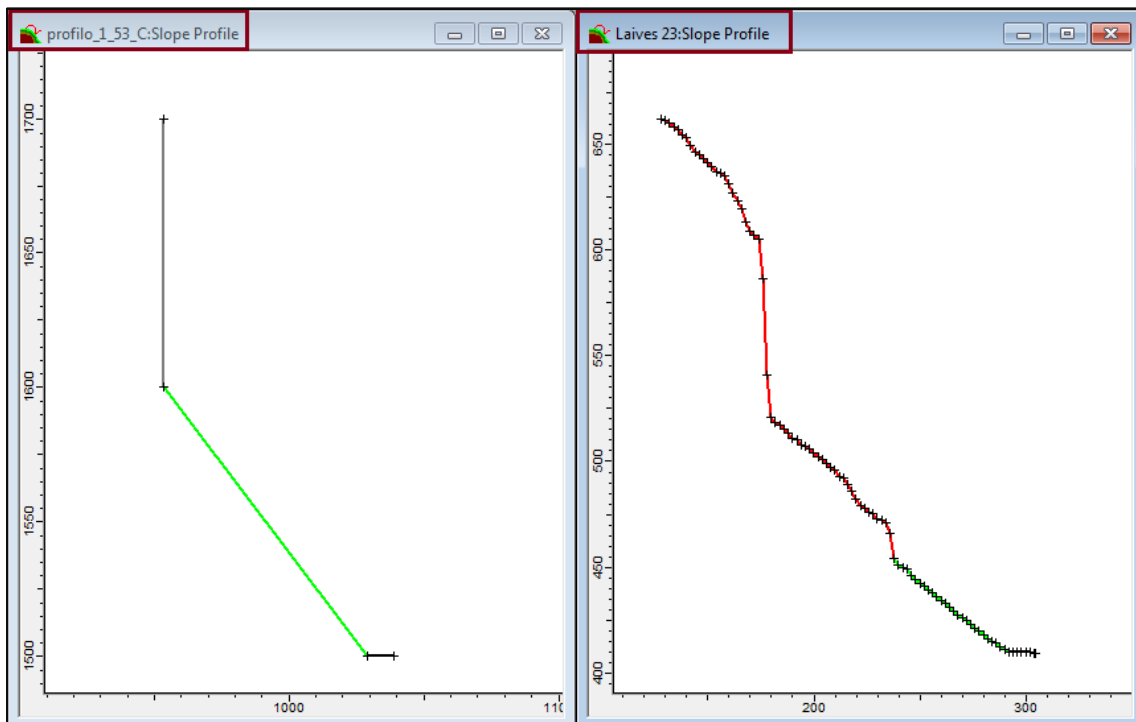
Anche in questo caso il profilo - modello corrispondente al profilo reale LAIVES 16 risulta essere quello denominato 1_37_C.



- LAIVES 23 :

pendenza media del versante	75 - 90	60 - 75	45 - 60	35 - 45	
punteggio parziale	15	10	0	-6	E
valore assegnato	83	67	53	37	
morfologia del versante e risp del terreno	sfavorisce nettamente l'arresto dei massi	sfavorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce nettamente l'arresto dei massi	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	F
valore assegnato	morfologia 1	morfologia 2	morfologia 3	morfologia 4	
vegetazione	prati, pascoli, roccia nuda [A]	cespugliato [B]	bosco di conifere (LAIVES) [C]	bosco ceduo (VADENA) [D]	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	G
valore assegnato	Rt = 0.7	Rt = 0.83	Rt = 0.8 (valore sperimentale LAIVES)	Rt = 0.75 (valore sperimentale VADENA)	
S.C. - Slope Coefficient = E+F+G					

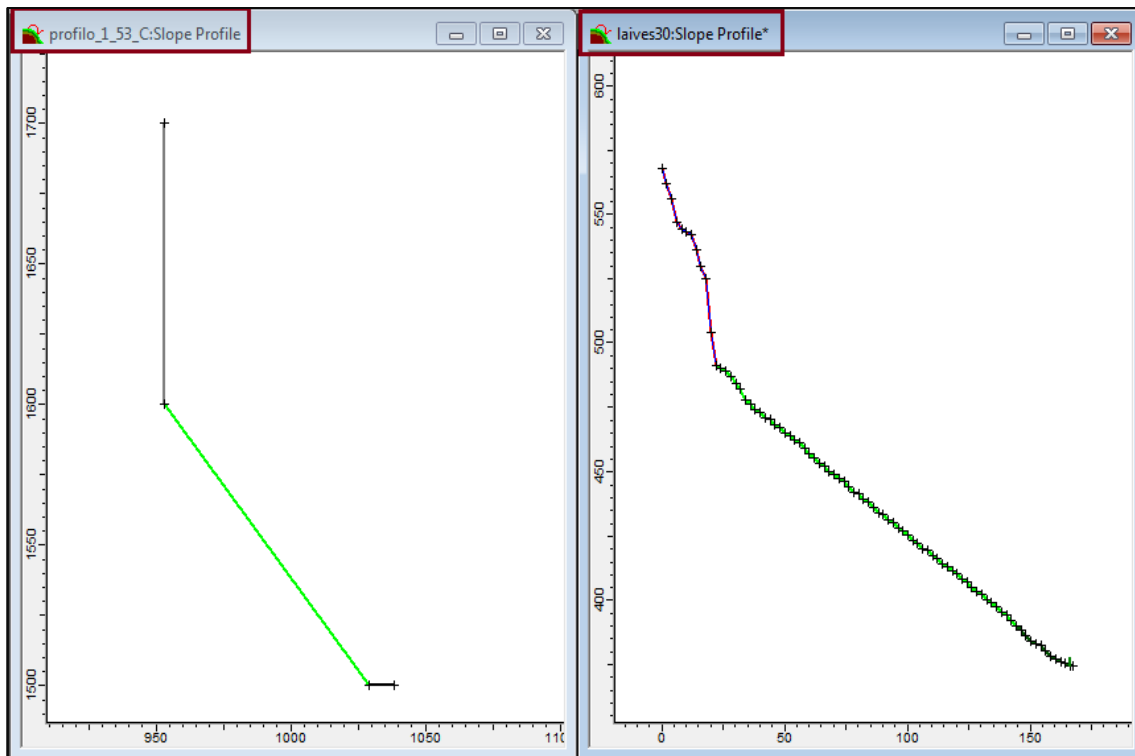
Il profilo modello corrispondente al profilo reale LAIVES 23 è quello denominato 1_53_C, avente le stesse caratteristiche di quelli precedenti eccetto la pendenza.



- LAIVES 30 :

pendenza media del versante	75 - 90	60 - 75	45 - 60	35 - 45	
punteggio parziale	15	10	0	-6	E
valore assegnato	83	67	53	37	
morfologia del versante e risp del terreno	sfavorisce nettamente l'arresto dei massi	sfavorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce nettamente l'arresto dei massi	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	F
valore assegnato	morfologia 1	morfologia 2	morfologia 3	morfologia 4	
vegetazione	prati, pascoli, roccia nuda [A]	cespugliato [B]	bosco di conifere (LAIVES) [C]	bosco ceduo (VADENA) [D]	
punteggio parziale	0	-2	-4	-6	G
valore assegnato	Rt = 0.7	Rt = 0.83	Rt = 0.8 (valore sperimentale LAIVES)	Rt = 0.75 (valore sperimentale VADENA)	
S.C. - Slope Coefficient = E+F+G					

Il profilo corrispondente al profilo reale LAIVES 30 è quello denominato con 1_53_C.



Si sono confrontati i risultati ottenuti in termini di Energia cinetica; altezza di rimbalzo e percentuale dei blocchi in corrispondenza della strada.

Si sono considerati degli intervalli caratteristici per le altezze di rimbalzo (<1; <2; <3; <5; >5) e per le energie cinetiche (>500; <1000; <1500; <2000; <3000; <5000; >5000) e si sono individuate le percentuali di massi corrispondenti a ciascun intervallo.

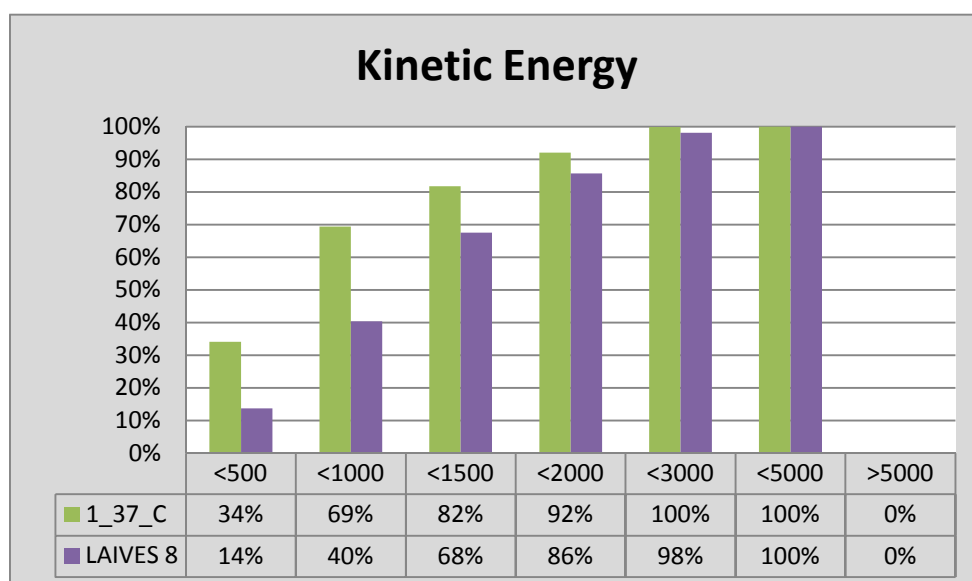
2.3.6.3 Risultati del confronto

Nella tabelle si osserva la percentuale dei massi corrispondente ai valori dell'altezza di rimbalzo o dell'energia cinetica indicati di fianco.

Confronto dei profili LAIVES 8 e 1_37_C :

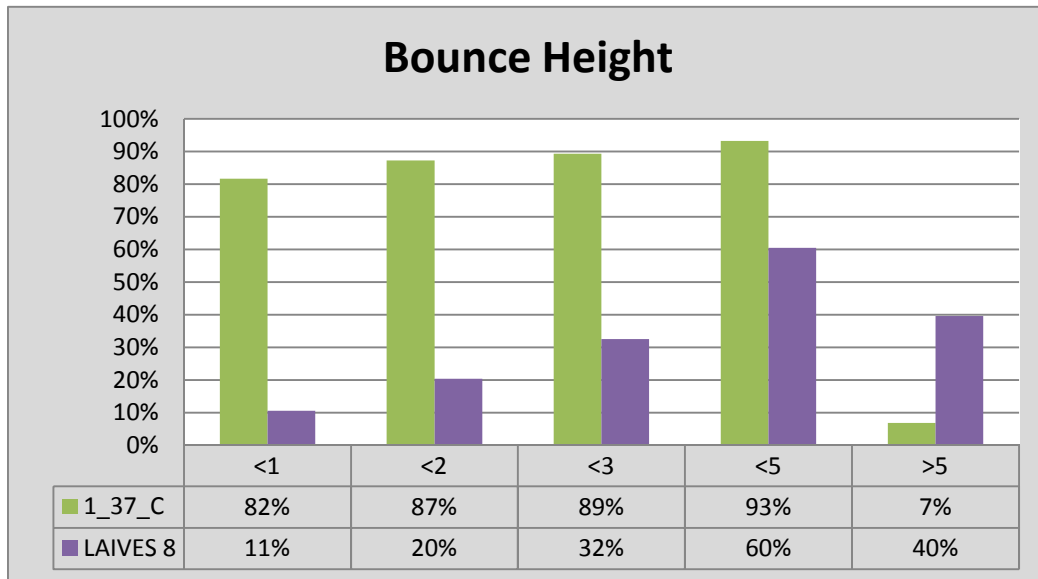
			1_37_C	LAIVES 8	differenza (%)
	KE	<500	34%	14%	20%
		<1000	69%	40%	29%
		<1500	82%	68%	14%
		<2000	92%	86%	6%
		<3000	100%	98%	2%
		<5000	100%	100%	0%
		>5000	0%	0%	0%

Figura 109 - Confronto della percentuale dei valori di energia cinetica in corrispondenza della strada per i profili 1_37_C e LAIVES 8



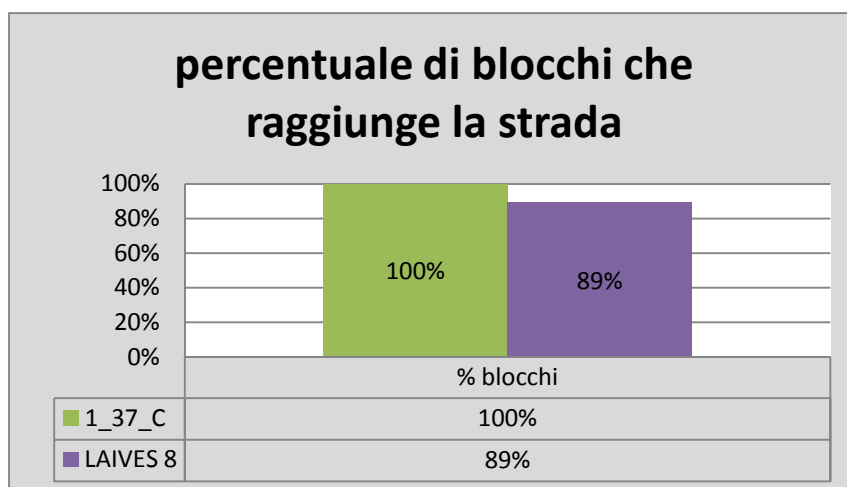
			1_37_C	LAIVES 8	differenza (%)
BH	<1		82%	11%	71%
	<2		87%	20%	67%
	<3		89%	32%	57%
	<5		93%	60%	33%
	>5		7%	40%	33%

Figura 110 - Confronto della percentuale dei valori dell'altezza di rimbalzo in corrispondenza della strada per i profili 1_37_C e LAIVES 8



	1_37_C	LAIVES 8	differenza (%)
% blocchi	100%	89%	11%

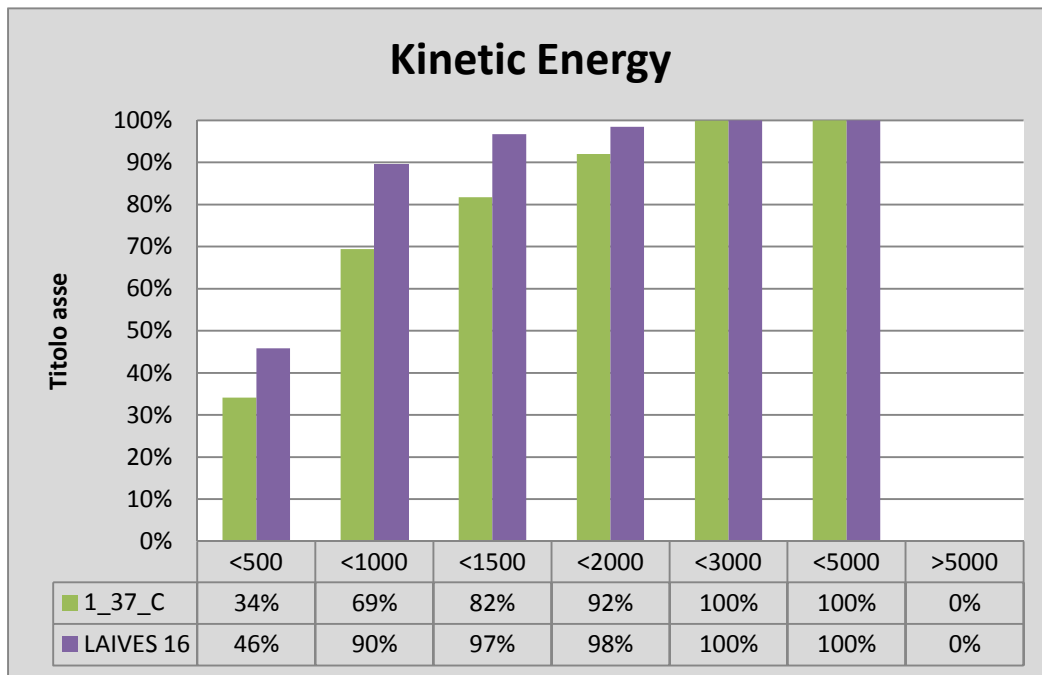
Figura 111 - Confronto della percentuale di blocchi che raggiunge la strada



Confronto dei profili LAIVES 16 e 1_37_C :

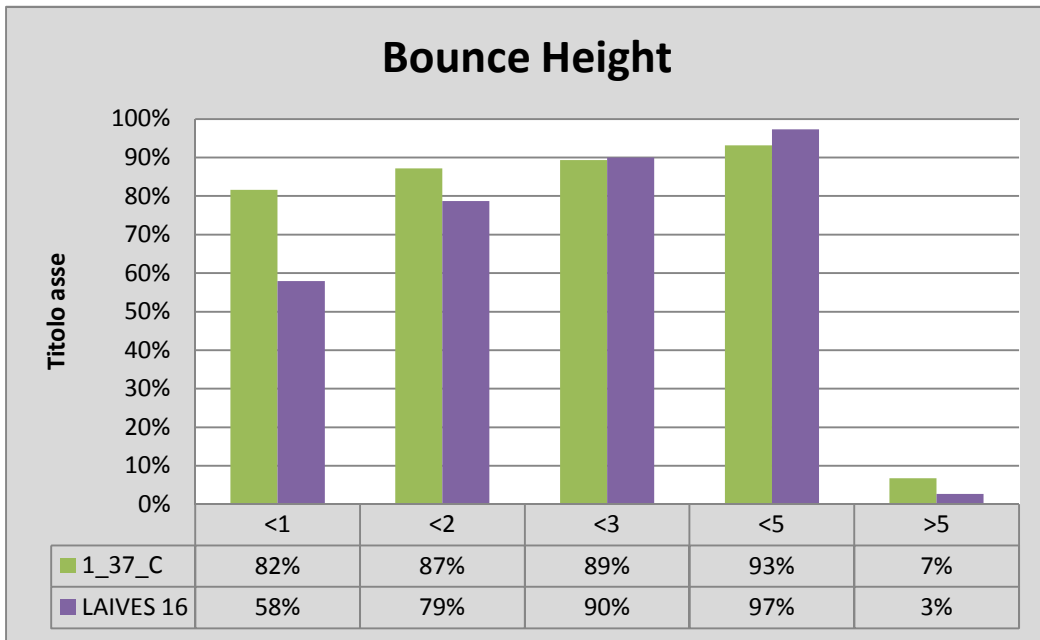
			1_37_C	LAIVES 16	differenza (%)
KE	<500		34%	46%	12%
	<1000		69%	90%	20%
	<1500		82%	97%	15%
	<2000		92%	98%	6%
	<3000		100%	100%	0%
	<5000		100%	100%	0%
	>5000		0%	0%	0%

Figura 112 - confronto dei valori di energia cinetica in corrispondenza della strada per i profili LAIVES 16 e 1_37_C



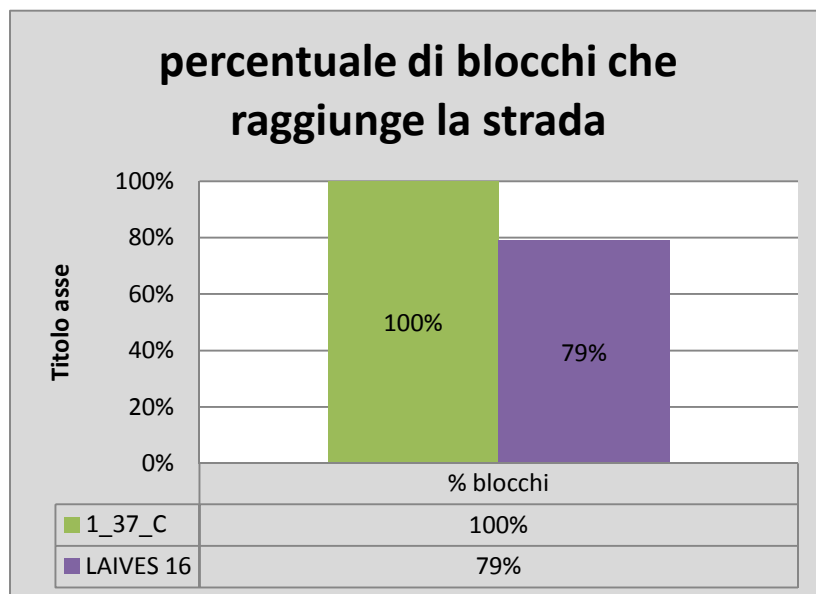
			1_37_C	LAIVES 16	differenza (%)
BH	<1		82%	58%	24%
	<2		87%	79%	8%
	<3		89%	90%	1%
	<5		93%	97%	4%
	>5		7%	3%	4%

Figura 113 - confronto dei valori dell'altezza di rimbalzo in corrispondenza della strada per i profili LAIVES 16 e 1_37_C



	1_37_C	LAIVES 16	differenza (%)
% blocchi	100%	79%	21%

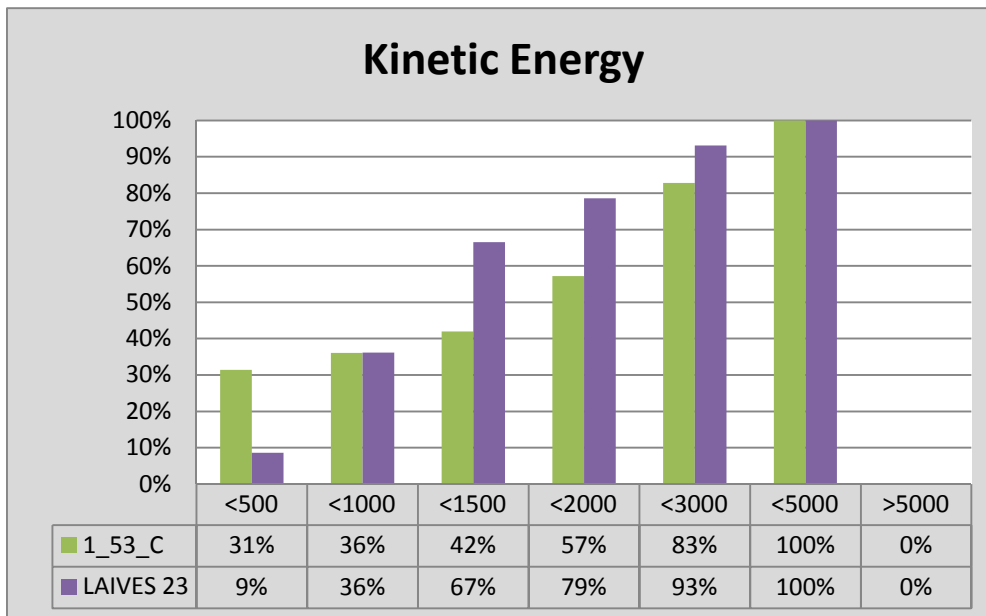
Figura 114 confronto della percentuale di massi che raggiunge la strada per i due profili



Confronto dei profili LAIVES 23 e 1_53_C :

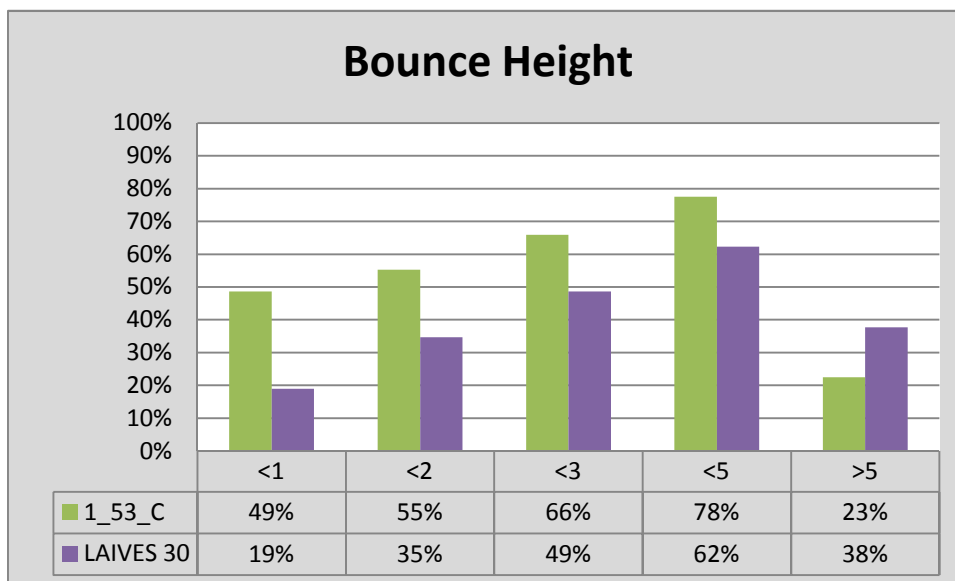
			1_53_C	LAIVES 23	differenza (%)
KE	<500	31%	9%	23%	
	<1000	36%	36%	0%	
	<1500	42%	67%	25%	
	<2000	57%	79%	21%	
	<3000	83%	93%	10%	
	<5000	100%	100%	0%	
	>5000	0%	0%	0%	

Figura 115 - confronto dei valori di energia cinetica in corrispondenza della strada per i profili LAIVES 23 e 1_53_C



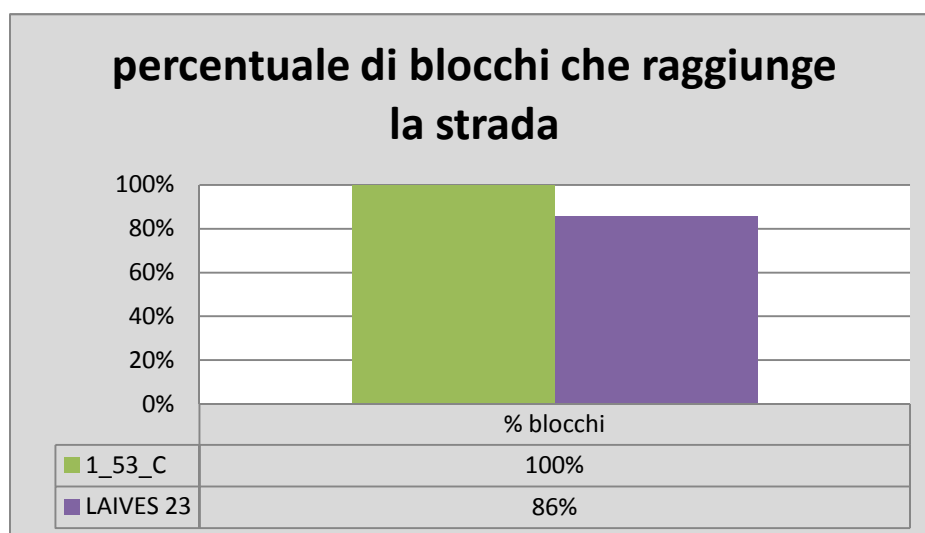
			1_53_C	LAIVES 23	differenza (%)
BH	<1	49%	18%	31%	
	<2	55%	26%	29%	
	<3	66%	36%	30%	
	<5	78%	46%	31%	
	>5	23%	54%	31%	

Figura 116 - confronto dei valori dell'altezza di rimbalzo in corrispondenza della strada per i profili LAIVES 23 e 1_53_C



	1_53_C	LAIVES 23	differenza (%)
% blocchi	100%	86%	15%

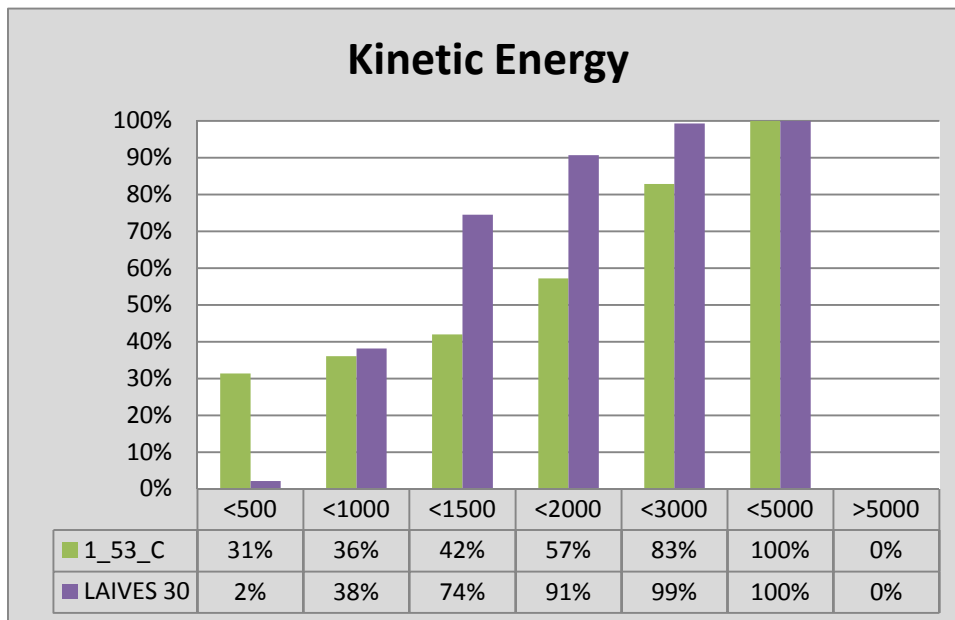
Figura 117 - confronto della percentuale di massi che raggiunge la strada per i due profili



Confronto dei profili LAIVES 30 e 1_53_C :

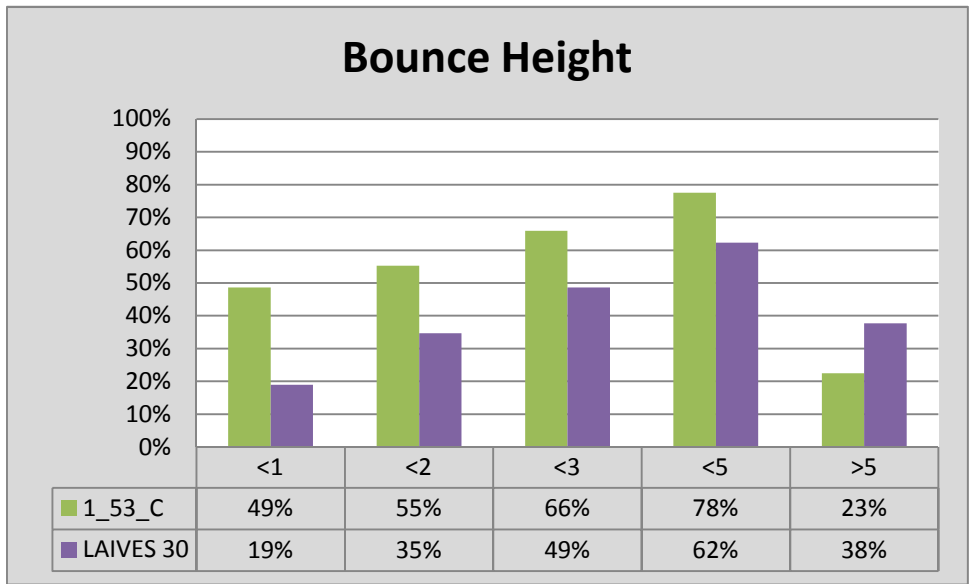
			1_53_C	LAIVES 30	differenza (%)
	KE	<500	31%	2%	29%
		<1000	36%	38%	2%
		<1500	42%	74%	32%
		<2000	57%	91%	33%
		<3000	83%	99%	16%
		<5000	100%	100%	0%
		>5000	0%	0%	0%

Figura 118 - confronto dei valori di energia cinetica dei massi in corrispondenza della strada per i due profili



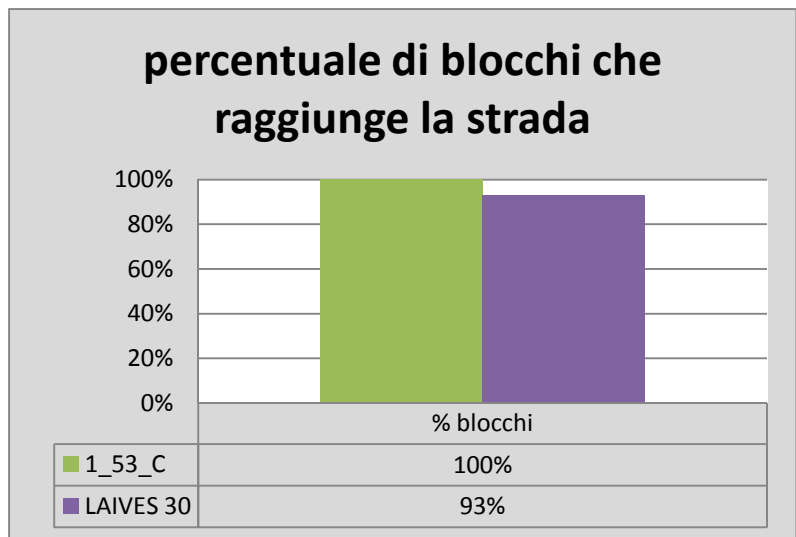
			1_53_C	LAIVES 30	differenza (%)
	BH	<1	49%	19%	30%
		<2	55%	35%	21%
		<3	66%	49%	17%
		<5	78%	62%	15%
		>5	23%	38%	15%

Figura 119 - confronto delle altezze di rimbalzo in corrispondenza della strada per il profilo laives 30 e il corrispondente modello 1_53_C



	1_53_C	LAIVES 30	differenza (%)
% blocchi	100%	93%	7%

Figura 120 - confronto della percentuale di massi che raggiunge la strada per i due profili esaminati

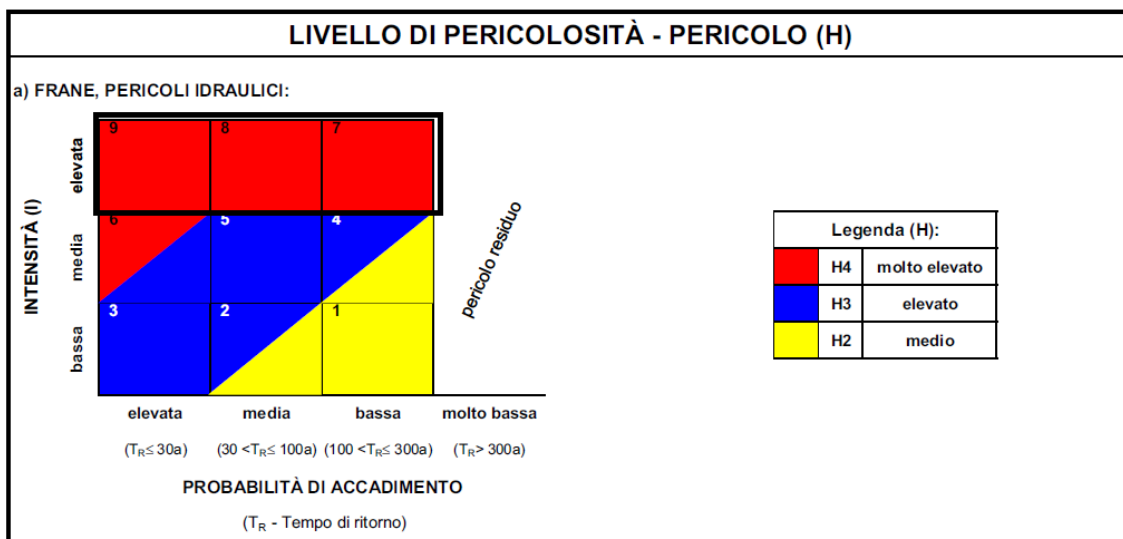


Osservando i risultati riportati nelle tabelle ed evidenziati dai grafici corrispondenti, si può notare che, nei i quattro casi esaminati, la differenza per i valori di l'energia cinetica KE ricavati per il profilo - modello e quelli risultanti dall'analisi del pendio a morfologia reale si assesta intorno al 20% ed è più marcata per i primi tre indici, con un valore massimo pari al 30% circa.

L'altezza di rimbalzo BH presenta una differenza variabile, più marcata nel primo indice (<1) e con un valore massimo pari al 71%.

La percentuale dei blocchi che transitano in corrispondenza della strada è, per i quattro profili-modello sempre pari al 100% ; variabile tra il 79 e l'85% per i profili reali, con una differenza massima pari al 21%.

Dall'analisi di pericolosità utilizzata in VISO i quattro profili 'LAIVES' risultano caratterizzati da un valore di pericolosità pari ad H_4 , avendo un valore del coefficiente G.E.I sempre maggiore di 100 e quindi corrispondente ad una *INTENSITA' I* elevata che, inserita nel grafico sottostante ed associata a qualsiasi tempo di ritorno considerato, individua una pericolosità che risulta essere H_4 .



rtire dall'intensità

Inoltre, anche correlando il livello di pericolosità alla percentuale di blocchi che interessano il punto esaminato, con una percentuale di blocchi arrestati pari massimo al 30% si assume che i profili studiati siano ancora una volta appartenenti alla categoria H_4 .

Si osserva nella tabella riportata qui di seguito un esempio di correlazione tra la percentuale di transito ed arresto dei blocchi in corrispondenza di un punto e la relativa classe di pericolosità assegnata a tale punto.

Percentuale di transito e arresto	Livello di pericolosità	Classe di pericolosità
Transito e arresto del 70% dei blocchi	H4	Pericolosità alta
Arresto del 95% dei blocchi	H3	Pericolosità media
Arresto del 100% dei blocchi	H2	Pericolosità bassa
Distanza massima raggiungibile	H1	Pericolosità molto bassa

li

2.3.7 Analisi in presenza di un'opera di difesa

2.3.7.1 Analisi della pericolosità di un versante provvisto di opera di difesa

Come già espresso in dettaglio nel capitolo precedente l'analisi della pericolosità del versante in presenza di opera protettiva passa attraverso la determinazione della Priorità di Intervento, espressa in 5 classi; A(urgenza),B,C,D,E(bassissima priorità di intervento).

Questa viene ricavata dall'intersezione su di un grafico tra l'Utilità del sistema di difesa (dipendente dal dimensionamento dell'opera ed il suo corretto posizionamento), e lo Stato del sistema di protezione. Utilità e Stato dell'opera sono ricavati anch'essi durante il rilievo di campagna.

Una volta determinata la Priorità di intervento, il valore della pericolosità H^* a partire da H viene ricavato utilizzando le seguenti relazioni:

A: $H^* = H + 100/9$; B: $H^* = H$; C: $H^* = H - 100/9$; D: $H^* = H - 200/9$; E: $H^* = H - 100/3$.

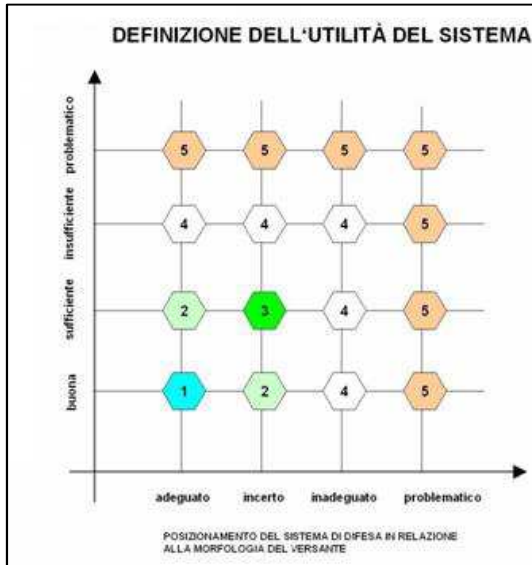


Figura 124 - matrice per la definizione dell'utilità del sistema di difesa

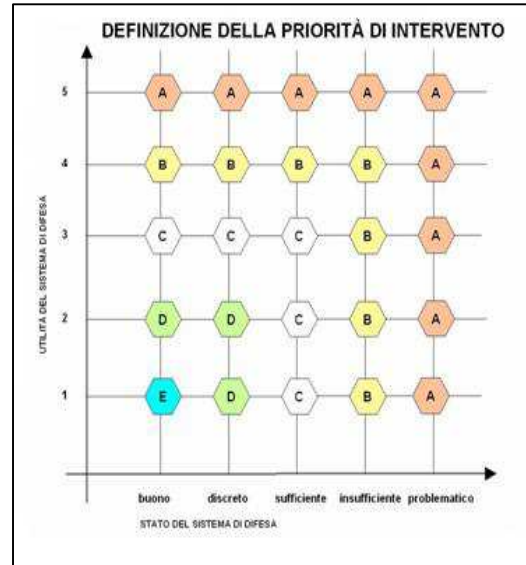


Figura 123 - matrice per la determinazione della priorità di intervento

Dall'analisi dei grafici sopra riportati si evince che la priorità di intervento sull'opera dipende essenzialmente da tre parametri:

- Posizionamento dell'opera
- Dimensionamento dell'opera
- Stato dell'opera

Poiché la pericolosità è direttamente correlata alla priorità di intervento tramite le formule riportate in precedenza, una volta fissate le condizioni di sicurezza del versante:

- A: accentua la pericolosità del versante
- B: non ha influenza sulla pericolosità del versante
- C,D,E: migliorano la condizione di sicurezza rispettivamente di circa il 20%,30% e 40%

è automaticamente fissata anche la pericolosità.

Sarà quindi sufficiente analizzare i tre parametri che concorrono alla definizione della priorità di intervento per fare delle considerazioni sulla pericolosità del versante provvisto di opera di protezione.

- A: si verifica un peggioramento delle condizioni di sicurezza del versante nel caso in cui anche solo uno dei tre parametri risulti “problematico”; dunque si ottiene una A:
 - a. se il posizionamento dell’opera è “adeguato” e il suo dimensionamento è “buono”, ma lo stato dell’opera è problematico.

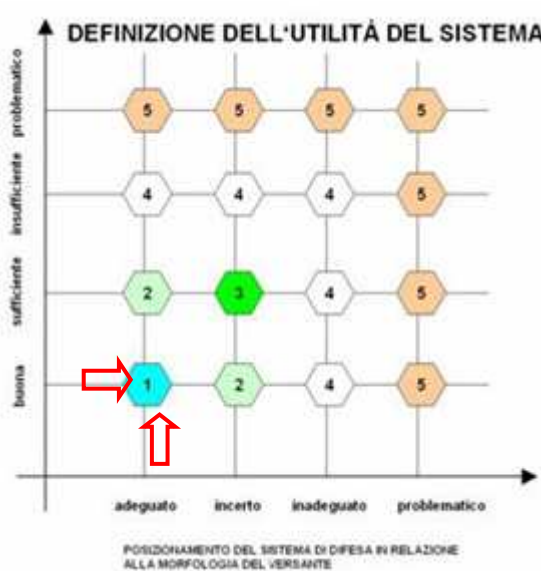


Figura 125 - matrice dell'utilità del sistema di difesa nel caso a.



Figura 126 - matrice per la definizione della priorità di intervento nel caso a.

- b. se lo stato e il dimensionamento sono “buoni” ma il posizionamento è problematico.



Figura 128 - matrice per la definizione dell'utilità del sistema nel caso b.



Figura 127 - matrice per la definizione della priorità di intervento nel caso b.

c. se lo stato è “buono” e il posizionamento “adeguato” ma il dimensionamento è problematico.

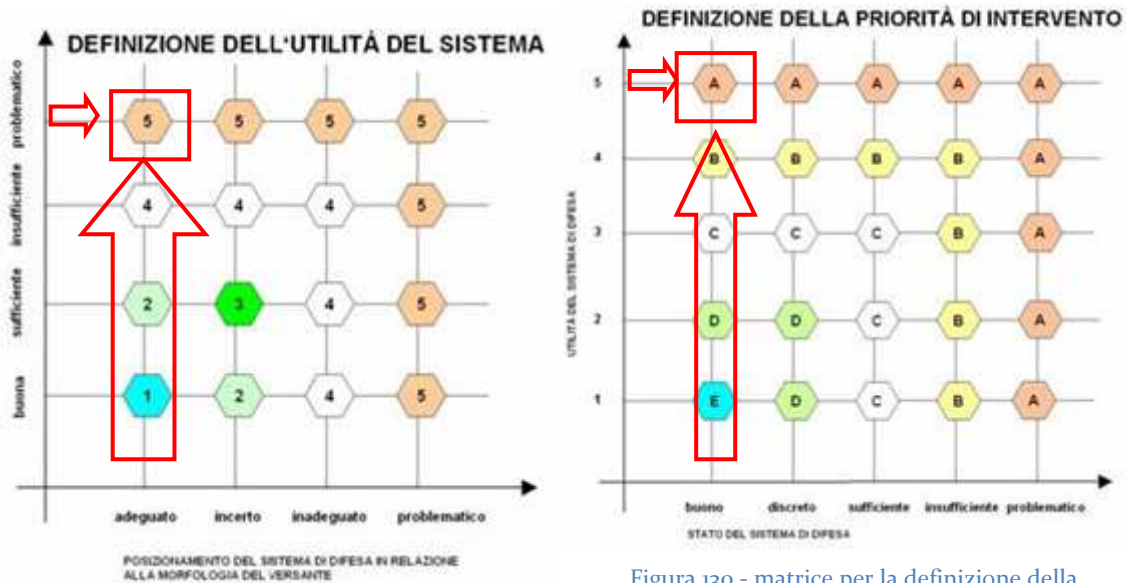


Figura 129 - matrice per la definizione dell'utilità del sistema nel caso c.

Figura 130 - matrice per la definizione della priorità di intervento nel caso c.

- B: affinché le condizioni di sicurezza del versante si mantengano invariate, analogamente al caso precedente, è sufficiente che uno solo dei tre parametri risulti “insufficiente” o “inadeguato”.
- C,D,E : a parità di “stato” dell’opera il parametro che influisce maggiormente è il dimensionamento dell’opera, poiché otteniamo un miglioramento delle condizioni di sicurezza del versante anche con un posizionamento “incerto”.

2.3.7.2 Posizionamento del sistema di difesa sul profilo LAIVES 16

Analizziamo in dettaglio mediante RocFall come variano i valori di energia e di altezza lungo il profilo reale “LAIVES 16”, per valutare l’ubicazione di eventuali opere di protezione lungo il pendio.

Si definiscono le seguenti condizioni iniziali :

- Velocità orizzontale : 0,1 m/s ; std dev. = 0,04
- Velocità verticale : - 0,1 m/s ; std dev. = 0,04
- Massa : 2650 kg ; std dev. = 530
- Velocità angolare : 1 rad/s ; std dev. = 0,04

Si considera l'intera parete rocciosa come generatrice di un possibile movimento franoso (add line seeder).

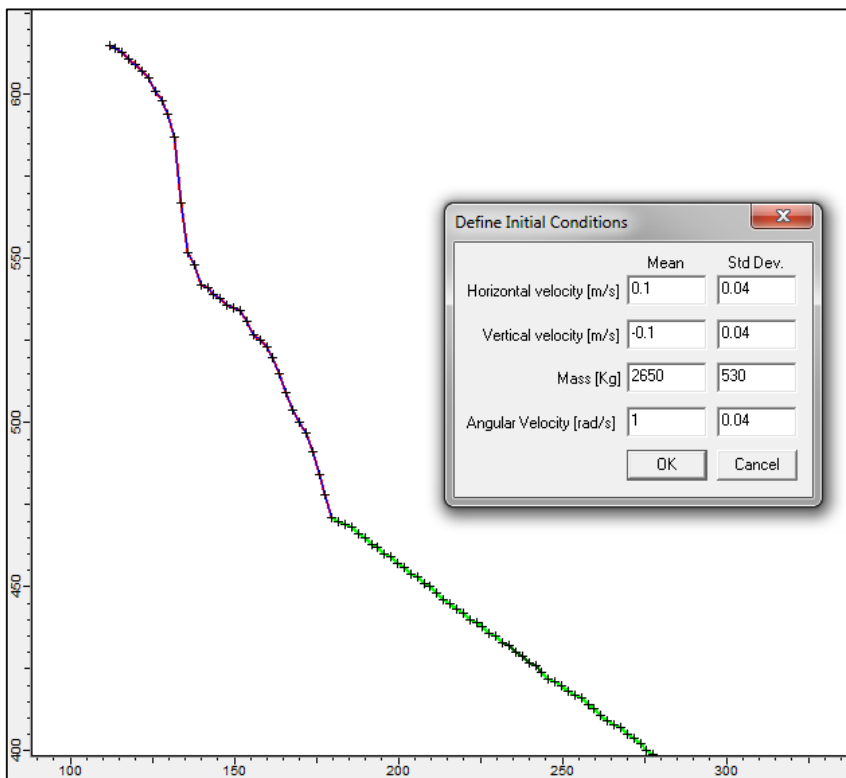


Figura 131 - schermata RocFall : scelta del tipo di nicchia di distacco : lineare

Si procede con la simulazione, considerando un numero di rocce pari a 1000 equivalenti a 1000 "lanci".

Si utilizza il metodo "pseudo-random" per ottenere risultati riproducibili.

Si prosegue con l'eliminazione delle traiettorie inverosimili e si calcola l'*envelope* risultante per i valori di energia cinetica totale e di altezza di rimbalzo lungo tutto il pendio.

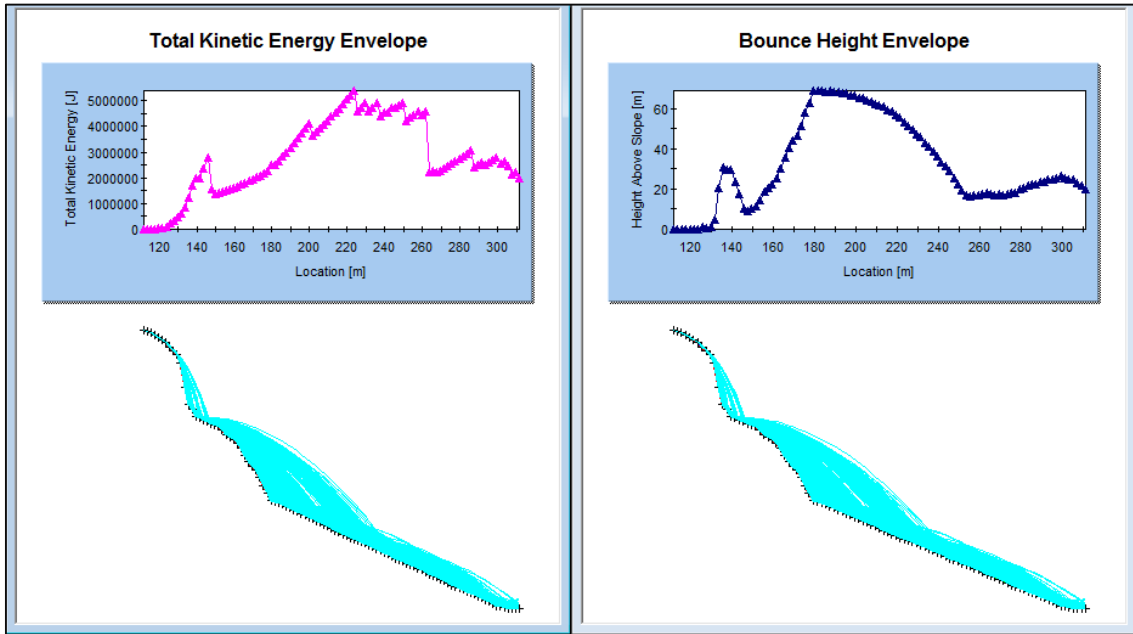
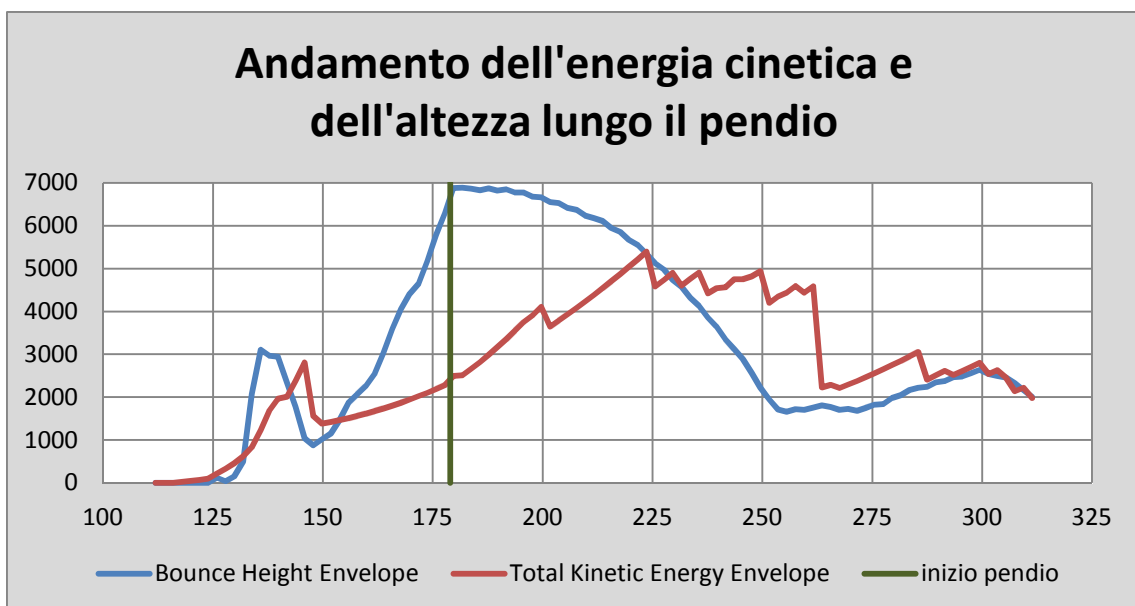


Figura 132 - andamento dell'energia cinetica totale e dell'altezza di rimbalzo lungo il pendio

Si procede esportando in excel i valori dell'Energia cinetica e dell'altezza di rimbalzo lungo il pendio corrispondenti al grafico soprastante e si effettua un confronto dell'andamento delle due grandezze. A causa della differenza degli ordini di grandezza tra le due, si fa riferimento ai valori di BH moltiplicati per 100.

Si posizionano dunque i valori delle grandezze KE [KJ], BH (m*100) su un grafico sulle cui ascisse viene rappresentata la lunghezza del pendio.



La retta verde in figura indica la fine della parete rocciosa e l'inizio del pendio. A partire da tale punto si osservano un minimo nell'altezza di rimbalzo e nell'energia cinetica in corrispondenza della x comprese tra 250 e 275. Ricordando che gli *envelope* delle grandezze sono realizzati con i valori massimi e che il valore minimo nell'andamento corrisponde al valore massimo nel punto, si riportano tali valori in tabella.

Total KE Envelope		BH Envelope	
Location [m]	Total KE [KJ]	Location [m]	Height Above Slope [m]
253,53603	4347,015758	253,53603	17,13503652
261,51575	4589,893594	261,51575	17,52416685
263,51068	2227,77584	263,51068	18,0664453
305,40421	2456,235298	305,40421	24,55447221

Figura 133 - valori minimi di energia cinetica e di altezza di rimbalzo lungo il percorso e in corrispondenza della strada

Il valore evidenziato è quello corrispondente all'inizio della strada. Si sceglie di posizionare una barriera paramassi da 5000 KJ ed altezza $H = 5$ metri in corrispondenza della $x = 261,515$ considerando che, anche se ci sono traiettorie che presentano un valore molto elevato dell'altezza di rimbalzo, questo può essere causato da traiettorie che verranno filtrate come inverosimili e ricordando che la parete rocciosa si estende fino a $x = 178$.

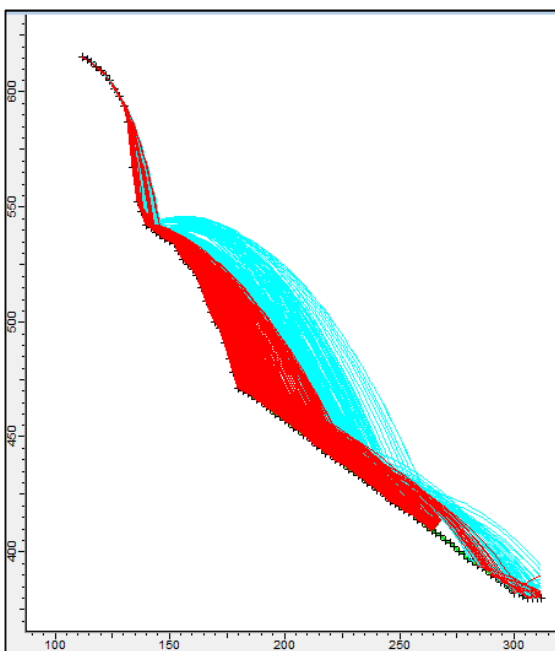


Figura 135 - analisi del profilo in presenza di una barriera;

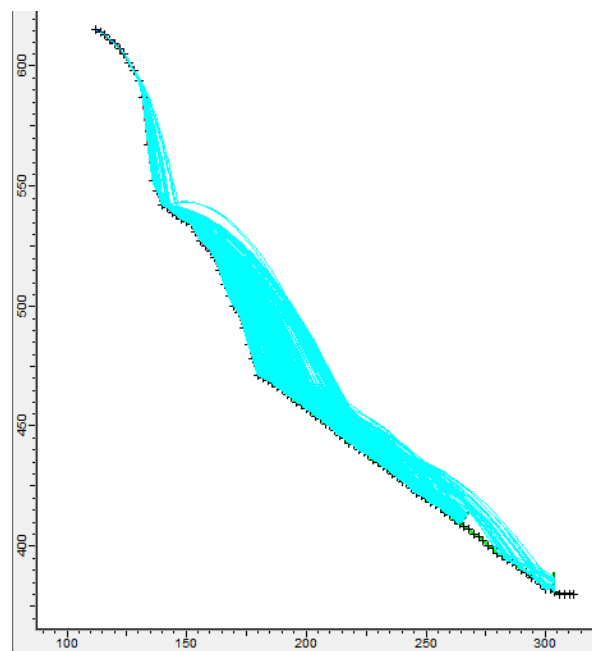


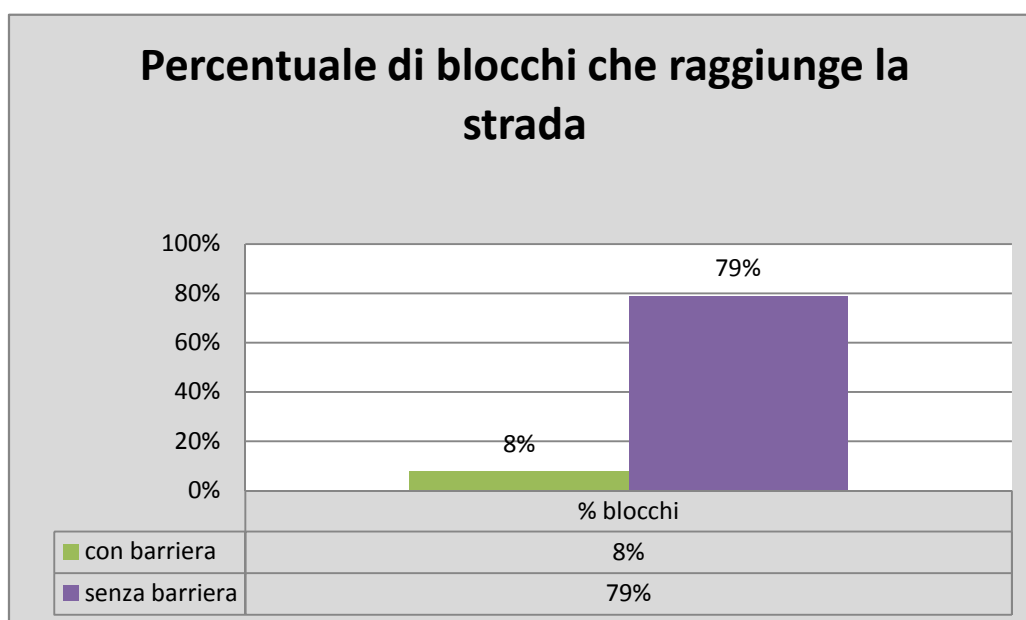
Figura 134 - analisi del pendio in presenza di due opere di difesa

Nella fig. 135 si osserva l'andamento delle traiettorie in presenza dell'opera di protezione considerata; le traiettorie celesti indicano quelle che verranno filtrate in quanto ritenute inverosimili. Si nota che, nonostante il filtro si ha la presenza di traiettorie che raggiungono la strada. Per questo, come evidenziato nella fig. 134 si può pensare di collocare un'opera di protezione secondaria in prossimità della strada. In questo caso le traiettorie celesti sono quelle risultanti dal filtro effettuato in precedenza.

Si procede ad esaminare il confronto della percentuali di massi che raggiunge la strada considerando il pendio dapprima sprovvisto di opere di protezione e in seguito in presenza delle opere di difesa collocate.

	con barriera	senza barriera	differenza (%)
% blocchi	8%	79%	71%

Figura 136 - percentuale di massi che raggiunge la strada considerando il pendio in presenza o meno dell'opera di protezione



Si osserva come la percentuale di blocchi che raggiunge la strada diminuisca notevolmente in presenza dell'opera di difesa.

2.3.7.3 *Efficienzadel sistema di difesa*

Sebbene appena installato il sistema di difesa di un versante possa risultare perfettamente efficace, con il passare del tempo tale efficienza può diminuire a causa dell'usura oppure in seguito ad eventi che modificano lo stato dell'opera. Nel capitolo II sono stati esaminati i danni che più frequentemente interessano le barriere paramassi collocate sul territorio della Provincia Autonoma di Bolzano ed è emerso che uno dei problemi che ricorre maggiormente è causato dal riempimento dell'opera con materiale lapideo e/o vegetativo. In tali condizioni il funzionamento del sistema di difesa non è più ottimale a causa della minore capacità di assorbimento dell'energia e della riduzione dell'altezza utile di intercettazione.



Figura 137 - esempio di barriera paramassi piena di materiale lapideo

In figura si osserva una barriera la cui altezza di intercettazione è ridotta a meno della metà.

A titolo di esempio si è fatta una prova di simulazione con RocFall confrontando la percentuale di massi che riesce a raggiungere la strada in presenza dell'opera di difesa collocata precedentemente sul profilo LAIVES 16 e in presenza della stessa

opera considerando una riduzione di altezza pari al 50% andando a modificare il pendio in corrispondenza dell'opera grazie alla funzione *slope-editor*.

Tale esempio non è rappresentativo del comportamento della barriera ma serve semplicemente a sottolineare l'importanza di una corretta manutenzione del sistema di difesa collocato sul territorio.

Si può dunque pensare di osservare il comportamento della barriera posizionata in precedenza sul pendio, effettuando una riduzione dell'altezza pari ad esempio al 50% andando a modificare il profilo studiato su RocFall.

In queste condizioni osserviamo la differenza nella percentuale di blocchi che raggiunge la strada ed inoltre come variano le distanze di arresto lungo il percorso ed in particolare nel punto in cui è posizionata l'opera.

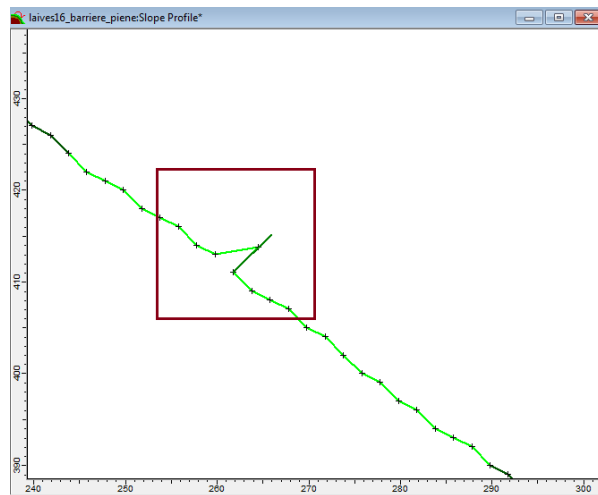


Figura 138 - Schermata RocFall : modifica del profilo

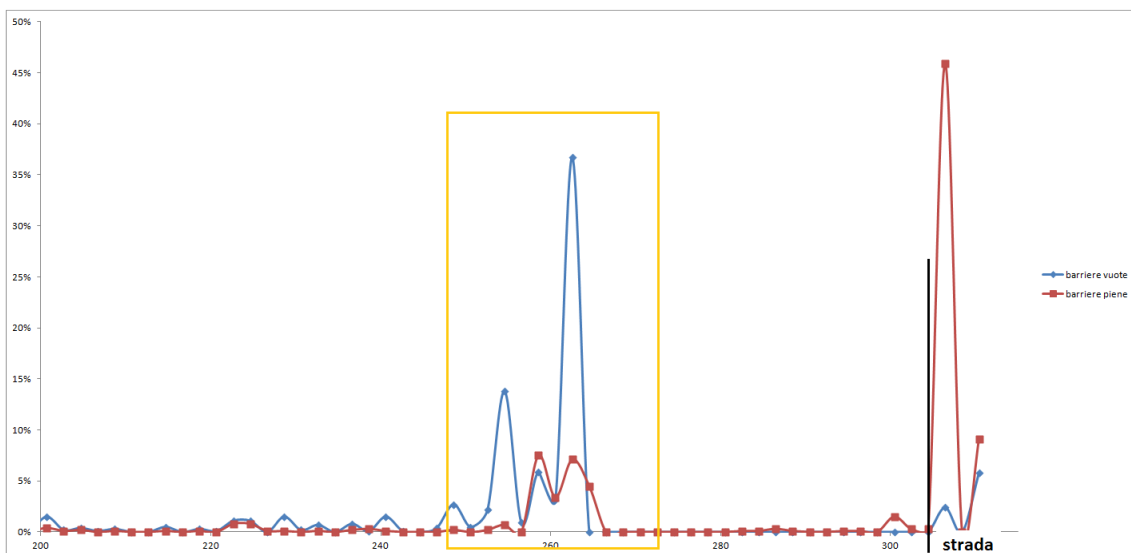


Figura 139 - confronto percentuale arresto di massi tra barriera perfettamente funzionante e barriera modificata

Si osserva come in corrispondenza della barriera, la percentuale dei massi fermati dalla stessa sia notevolmente maggiore considerando l'opera perfettamente funzionante.

La percentuale dei massi fermati prima del raggiungimento della strada è in questo caso pari al 91%. Considerando invece l'opera con altezza ridotta a causa dell'usura, la percentuale di massi che raggiunge la strada è pari al 55%.

In conclusione si intuisce facilmente che la validità del sistema di difesa dipende fortemente dalla manutenzione dello stesso. Infatti, come evidenziato nel punto 1 e nell'esempio precedente, l'efficienza di un'opera, anche se progettata e dimensionata nel modo corretto, può con il passare degli anni diminuire fino ad annullarsi completamente, e la presenza dell'opera stessa può addirittura peggiorare le condizioni di pericolosità che il versante presentava quando ne era sprovvisto.

Conclusioni

Il presente lavoro è stato sviluppato in collaborazione con la Provincia Autonoma di Bolzano (PAB) nell'ambito del progetto VISO ed in particolare all'interno delle attività di ricerca del *progetto PARAMount - Improved accessibility reliability and safety of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazard in a changing climate*.

Il progetto ha come scopo l'implementazione di un catasto informatizzato che raccolga indicazioni sul patrimonio delle opere di protezione contro la caduta massi; la definizione di una procedura oggettiva che consenta di rilevare e valutare il pericolo, la vulnerabilità, il rischio di un versante provvisto o meno di opere protettive e di valutare l'effettiva funzionalità delle opere di protezione contro la caduta massi situate lungo le strade statali e provinciali.

In tale contesto, nel presente elaborato si è valutata la possibilità di utilizzare un programma di simulazione di caduta massi per calcolare l'intensità di un fenomeno franoso che potrebbe potenzialmente svilupparsi su un versante e, nello specifico, un fenomeno di crollo da pareti rocciose che interessa il territorio della Provincia Autonoma di Bolzano. In tale ambito si è osservato in che modo la presenza di opere di protezione passiva possa influire sull'analisi di pericolosità, con particolare attenzione rivolta alle barriere paramassi.

A titolo introduttivo è stata realizzata una panoramica sui fenomeni di crollo descrivendo i fattori principali che li originano e gli interventi di protezione posti a difesa del versante.

Si sono esaminate brevemente le tipologie di intervento, suddivise in opere attive e passive, con particolare attenzione alle barriere paramassi che si collocano tra gli interventi di difesa passivi e che stanno diventando il tipo di intervento più frequentemente utilizzato. Tali opere sono state descritte dal punto di vista progettuale, prendendo in esame anche la normativa di riferimento nonché le nuove linee guida per la certificazione CE delle barriere, nate negli ultimi anni

per portare ad una facile comparabilità dei vari prodotti sottoposti ad impatti normalizzati.

Si è proseguito con una descrizione dell'iter procedurale dell'analisi del rischio adottato dalla Provincia Autonoma di Bolzano in relazione alle frane da crollo, ed in particolare con l'esposizione delle linee guida fornite nell'ambito del progetto VISO.

Si è quindi entrati nel merito del lavoro effettuato.

La prima fase ha avuto come oggetto la messa a punto di un ricco database, realizzato grazie ad un'analisi di archivio effettuata all'interno delle diverse sedi del servizio strade della Provincia Autonoma di Bolzano, dove si è presa visione delle schede tecniche delle barriere installate sul territorio nell'arco degli ultimi dieci anni e si è proseguito con una classificazione delle opere, identificando alcuni modelli di "barriere-tipo che sono stati inseriti nel database *PARAMOUNT*, già creato per il progetto VISO.

Di particolare rilievo si è rivelata l'identificazione delle opere e la verifica dello stato di conservazione delle stesse.

Si è rilevato che, nonostante la linea di tendenza porti ad installare sempre più barriere paramassi deformabili in grado di sviluppare grandi deformazioni ed assorbire blocchi con capacità energetiche elevate, sono ancora molto diffuse (per circa il 50%) barriere di tipo rigido, capaci di assorbire una minor quantità di energia, che sono state installate senza una precedente fase di progetto e che non sono neppure mai state testate sperimentalmente.

Le barriere di questo tipo che si osservano con più frequenza sono quelle cosiddette *a funi* che rappresentano il 75% delle barriere non deformabili.

Un dato cruciale nella valutazione dell'efficacia del sistema di difesa e quindi nella valutazione di pericolosità del versante è il danneggiamento a cui può essere soggetta un'opera. Si è proceduto quindi con l'osservazione di quello che nel database viene indicato come "*tipo di difetto*" e che fa riferimento alla presenza di carenze che caratterizzano le barriere e che possono essere di tipo progettuale o costruttivo, o che possono essersi verificate in seguito ad un evento franoso o in seguito ad usura. Il database contiene al suo interno delle categorie predefinite per indicare il tipo di danno che caratterizza l'opera.

Da tale analisi è emerso che il danno che maggiormente interessa le barriere disposte sul territorio, siano esse deformabili o meno, è quello denominato “*in seguito ad evento*” ed in particolare causato dal riempimento della barriera ad opera di materiale lapideo o vegetativo portando in evidenza la necessità di un’opportuna manutenzione delle opere installate sul territorio.

In secondo luogo, utilizzando il software Cad si sono realizzati 16 profili associando la pendenza media del versante a 4 morfologie individuate grazie all’esperienza dell’Istituto di Geologia e Prove materiali della Provincia Autonoma di Bolzano; si è proceduto importando tali profili in RocFall dove sono state aggiunte informazioni riguardanti la massa del blocco e l’uso del suolo, ottenendo 256 profili-tipo.

Fissando i parametri corrispondenti al peso del masso (inserito al solo scopo di calcolare la velocità rotazionale e l’energia cinetica) e considerando, per ogni simulazione, un numero di traiettorie possibili pari a 1000, avendo osservato che all’aumentare di tale numero (purchè sufficientemente elevato) non si riscontrano variazioni sostanziali nei risultati dell’analisi, si è valutato come i parametri *uso del suolo* (A;B;C;D), *morfologia* (1;2;3;4) e *pendenza* (37°;53°;67°;83°) incidano sulla variazione di energia cinetica, di altezza di rimbalzo e sulla percentuale di massi che raggiunge la strada, scegliendo come punto di riferimento il punto di intersezione tra il pendio e la strada.

Si è rilevato che il parametro che influisce maggiormente sull’arresto dei blocchi è la morfologia, intesa come capacità del pendio di ostacolare il passaggio dei massi.

Osservando l’influenza del parametro *uso del suolo* sull’arresto dei massi a parità di pendenza del versante, si nota come la vegetazione *A - prati, roccia nuda* alla quale è stato associato un valore di restituzione tangenziale $R_t = 0,7$ e la vegetazione *D - bosco ceduo* alla quale è stato associato un valore di restituzione tangenziale $R_t = 0,75$, siano quelli che contribuiscono maggiormente all’arresto dei massi lungo il pendio.

La vegetazione indicata con la lettera *B - cespugliato* e alla quale è associato un valore di R_t pari a 0,83 risulta essere la meno influente sulla percentuale di arresto dei massi.

Ciò non è coerente con quanto imposto nelle ipotesi alla base delle simulazioni, secondo le quali il parametro D dovrebbe essere quello che influisce maggiormente sulla percentuale di massi arrestati e il parametro A quello caratterizzato dalla minore influenza, come si può notare dai punteggi assegnati a tali parametri nelle schede di campagna utilizzate per l'individuazione della pericolosità.

Si può pensare dunque di tarare nuovamente il modello, utilizzando diversi coefficienti di restituzione.

Al fine di realizzare un confronto tra un profilo reale e un profilo-tipo, sono stati utilizzati 4 profili posti su un versante situato nel Comune di Laives, noto per le frequenti cadute di massi che hanno raggiunto in molti casi la strada.

Tali profili sono stati visionati in sede di sopralluogo dove si è provveduto alla compilazione delle schede di campagna (impiegate per valutare l'intensità del fenomeno che potenzialmente si sviluppa dal versante) e all'individuazione dei profili-tipo corrispondenti.

I profili reali sono stati importati in RocFall in seguito ad estrapolazione dal modello digitale del terreno (ottenuto da analisi con Laser Scanner) utilizzando l'estensione Easy Profiler nel software Arcmap.

Sono state effettuate analisi di simulazione per entrambe le tipologie di profilo, e sono stati confrontati i risultati ottenuti in termini di Energia cinetica; altezza di rimbalzo e percentuale dei blocchi in corrispondenza della strada.

Si è osservato che la differenza per i valori di l'energia cinetica (KE) ricavati per il modello e quelli risultanti dall'analisi del pendio reale è più marcata per i primi tre indici, ovvero per i valori più bassi di energia, con un valore massimo pari al 30% circa.

Per quanto riguarda l'altezza di rimbalzo (BH) si è rilevata una differenza variabile, più marcata in corrispondenza del primo indice (altezze di rimbalzo inferiore ad 1 metro) e con un valore massimo pari al 71%.

La percentuale dei blocchi che transitano in corrispondenza della strada è risultata essere, per entrambe le tipologie, maggiore del 70% in congruenza con l'analisi di pericolosità utilizzata in VISO che attribuisce a tali versanti un valore

di pericolosità H₄, spesso identificato in letteratura da una percentuale di massi (che interessa il punto considerato) pari al minimo al 70%.

Si è dunque valutata la possibilità di collocare eventuali barriere paramassi su un profilo reale, andando ad effettuare una analisi di simulazione di caduta massi in RocFall ed importando in excel i valori corrispondenti all'andamento dei massimi dell'Energia cinetica e dell'altezza di rimbalzo lungo il pendio che forniscono una buona indicazione circa l'idonea ubicazione delle opere di protezione.

Ne è risultato che, nel caso specifico, a causa degli elevati valori di altezza e di energia riscontrati sarebbe consigliabile utilizzare un sistema di difesa primario posto a circa 50 m di distanza dalla strada ed un sistema di difesa secondario costituito da una barriera paramassi posta in prossimità della strada stessa.

A titolo di esempio si è effettuata una breve analisi per valutare la perdita di efficienza che si può rilevare nel sistema di difesa in seguito all'usura ed in particolare in seguito ad eventi che provocano riempimenti lapidei e vegetativi della barriera. Tale problematica è infatti, come osservato in precedenza, risultata come quella predominante nell'analisi della tipologia del danno che si frequenta con maggiore frequenza nelle barriere paramassi del territorio.

Considerando una riduzione dell'altezza utile per l'intercettazione dei massi pari a circa il 50% è risultato che la percentuale di massi che riesce a raggiungere la strada è pari al 55% a fronte di un 9% iniziale.

Si intuisce facilmente che la validità del sistema di difesa dipende fortemente dalla manutenzione dello stesso. Infatti, come evidenziato dall'esempio precedente, l'efficienza di un'opera, anche se progettata e dimensionata nel modo corretto, con il passare degli anni può diminuire fino ad annullarsi completamente, e la presenza dell'opera stessa può addirittura peggiorare le condizioni di pericolosità che il versante presentava quando ne era sprovvisto.

In conclusione resta aperto un tema importante e degno di approfondimento.

Si è rilevata la presenza sul territorio di molte barriere paramassi, anche deformabili, installate in condizioni di somma urgenza delle quali non si hanno dati attendibili di progetto, e una elevata quantità di barriere rigide delle quali non si conosce il comportamento.

Per queste barriere è necessario operare analisi di tipo numerico ai fini di determinarne, al minimo, le caratteristiche di assorbimento energetico (quando non le caratteristiche di deformazione). Tali analisi necessitano certamente di informazioni sulla geometria dell'opera e sulle caratteristiche meccaniche dei suoi componenti. In quest'ottica, i dati raccolti nel database PARAMount, possono essere riguardati quindi come punto di partenza essenziale per l'analisi numerica di tutte quelle barriere attualmente installate ma di cui non si conosce il reale comportamento. Tali analisi possono infatti fornire, con ottima approssimazione, ad una descrizione dell'efficacia della barriera in presenza di impatto (e.g. l'altezza residua, il massimo allungamento e la capacità di assorbimento energetico) permettendo di pervenire ad una stima attendibile della pericolosità del versante oggetto di studio.

Bibliografia

Aleotti P., Polloni P. : *“valutazione e mitigazione del rischio frane”* (2005)

Tanzini M.: *“fenomeni franosi e opere di stabilizzazione”* (2001)

A. Keith Turner, Robert I. Schuster : *“landslides investigation and mitigation” special report 247 national academy press Washington, d.c. 1996*

Claudia Borgarello, Carlo Troisi, Daniele Bormioli - Arpa piemonte : *“protezione della viabilità alpina”*

Peila D. : *“opere di protezione contro la caduta massi, analisi di valutazione e mitigazione del rischio idrogeologico.*

Arpa Piemonte (2004), progetto iffi : *inventario fenomeni franosi in italia, l'esperienza in piemonte. centro regionale per le ricerche geologiche e territoriali.*

Azzoni A., La Barbera G. & Mazzà G. : *studio con modello matematico e con sperimentazione in sito del problema di caduta massi. bollettino associazione mineraria subalpina, Torino 28 (4), pp. 547-573. (1991).*

Cruden D.M. & Varnes D.J. : *landslide types and processes. in landslides investigation and mitigation, turner a.k. & schuster r.l. (eds), transportation research board, national research council, special report n. 247 (1996).*

Varnes d.j. : *slope movement types and processes. in schuster r.l., and krizek r.j. (eds) landslides analysis and control (1978).*

Lorenzo Del Maschio, Giampiero Gozza, Daniela Piacentini, Marco Pizziolo, Mauro Soldati : “ *previsione delle traiettorie di blocchi mobilizzati da frane di crollo: applicazione e confronto di modelli*”.

werner gerber : “ *direttiva per l’omologazione delle reti paramassi*” istituto federale di ricerca wsl, birmensdorf.

linee guida per la salvaguardia dei beni naturali dal rischio di frana” – fascicolo ii – “*linee guida per il rischio da frane*”

fell r. et al., “guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning”, env. geol., 102: 85-98, 2008.

sabatino Cuomo : “ *rischio da frana: analisi e mitigazione*” *laram school landslide risk assessment and mitigation - university of salerno.*

ANPA ,agenzia nazionale per la protezione dell’ambiente, “*atlante delle opere di sistemazione dei versanti, Roma (maggio 2001).*

Casadio m., elmi c.: “*il manuale del geologo*”. *pitagora editrice, Bologna 1997.*

Hoek e., Bray jw.: “*rock slope engineering*”- 3 ed., *imm, Londra.*

Maccaferri s.p.a.: “*soluzioni per l’ambiente*”. *brochure documentaria, Bologna, 1997.*

Paronuzzi P., Coccolo A.: “*impatto di blocchi contro barriere paramassi sui versanti naturali (Friuli)*”. *geologia tecnica e ambientale n. 4, ottobre dicembre 1994.*

Quaderno del geologo, provincia autonoma di Bolzano – Alto Adige – “*pericolo d caduta massi sulle strade: la strategia di previsione e prevenzione adottata dal dipartimento dei lavori pubblici della provincia di Bolzano*” (2010)

European Organisation For Technical Approvals, stabilito in conformità all'appendice ii della direttiva cee/89/106 del 21 dicembre 1988 sull'armonizzazione delle leggi, regolamenti e disposizioni amministrative degli stati membri in tema di prodotti per l'edilizia (direttiva prodotti da costruzione). (direttive prodotti da costruzione) : “*guida al rilascio del benestare tecnico europeo di kit paramassi edizione 01-02-2008*”

Agostimacchio M., Olita S. (2002) – “*elementi di ritenuta paramassi. EPC libri, Roma*”.

Giani G.P. (1997) – “*caduta massi. Helvelius, benevento*”.

Giani G.P (1992) – “*Rock Slope Stability Analysis. Balkema, Rotterdam*”.

Budetta P., Panico M. – “*il metodo Rockfall Hazard rating System modificato per la valutazione del rischio da caduta massi sulle vie di comunicazione*”. *Geologia tecnica & Ambientale*.

Locatelli., (2005) – “*Analisi del rischio di caduta massi lungo un tratto della Gardesana Occidentale. GEAM, Torino*”.

Peila D., Pelizza S. (1998) – “*Linee guida per la classificazione e la certificazione di comportamento di barriere paramassi a rete. GEAM, Torino*”.

Peila D., Pelizza S., Sassudelli F.(1995) – “*Prove in scala reale su barriere paramassi deformabili a rete. GEAM*”, Torino.

Peila D. , Oggeri C., Baratono P. : *“Barriere paramassi a reste interventi e dimensionamento”*

Tesi di Laurea E. De Trucco : *“Valutazione della pericolosità da invasione per caduta massi mediante l’uso di un codice di calcolo di tipo “lumped mass” ”*

Stevens, Warren D., 1998. RocFall: Tool for Probabilistic Analysis. thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Applied Science. Graduate Department of Civil Engineering, University of Toronto. W.D. Stevens : *“Design of remedial measures and prediction of rockfalls” (1998)*

RocFall Risk Analysis of Falling Rocks on Steep Slopes – Rocscience : *User’s Guide (1998-2002)*

PAGINE WEB CONSULTATE

www.eota.be

www.provincia.bz.it

www.maccaferri.it

<http://geology.utah.gov>

<http://www.isprambiente.it/site/it-IT>

www.geobruigg.com

www.incofil.com

http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/rischio_ambientale.wp

<http://www.safegeo.it>

http://amslaurea.cib.unibo.it/2460/1/Alice_Gorlato_tesi.pdf

[http://amslaurea.cib.unibo.it/1775/1/ANALISI DEL RISCHIO DA FRANE DI CROLLO IN PRESENZA DI SISTEMI DI PROTEZIONE PASSIVA NELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO.pdf](http://amslaurea.cib.unibo.it/1775/1/ANALISI_DEL_RISCHIO_DA_FRANE_DI_CROLLO_IN_PRESENZA_DI_SISTEMI_DI_PROTEZIONE_PASSIVA_NELLA_PROVINCIA_AUTONOMA_DI_BOLZANO.pdf)

<http://geoappunti.altervista.org>

<http://amslaurea.cib.unibo.it/2460/>

<http://www.geologi.it/>

<http://www.rocscience.com/products/12/RocFall>

Ringraziamenti

Giunta infine alla conclusione di questo lavoro ritengo sia doveroso ringraziare chi ha contribuito alla sua realizzazione.

Vorrei ringraziare innanzitutto il professore Guido Gottardi, per avermi dato l'opportunità di sviluppare questo studio attuale ed interessante.

I ringraziamenti più sentiti alla professoressa Laura Govoni, per avermi seguito con interesse e attenzione, per la disponibilità ed i preziosi consigli.

Desidero ringraziare tutti i collaboratori dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali di Bolzano, per la disponibilità, la gentilezza e la simpatia che mi hanno dimostrato per l'intero periodo trascorso in loro compagnia.

In particolare i più sentiti ringraziamenti alla dottoressa Claudia Strada che, sempre premurosa e disponibile, mi ha seguito con cura e ha reso ogni giorno unico grazie alla sua solarità.

Un grazie a Martina Stefani e all'ing. Matteo Mottironi per l'aiuto nella prima parte del lavoro, a Gianluca Cotza e Verena Larcher per l'aiuto geologico e per avermi accompagnato nei rilievi in campagna, a Silvia Tagnin e Giulia Chinellato per avermi aiutato nella seconda parte del lavoro ed aver risposto sempre con pazienza e gentilezza alle mie mille domande.

Grazie a Betta, compagna di peripezie Bolzanine, per aver diviso lavoro e fatica, ma anche avventure ed emozioni; per esserci perse ovunque fosse possibile ed impossibile e per tutti gli errori che "se l'avessimo saputo prima", sicuramente non avremmo fatto.

Un ringraziamento va' a tutti i miei compagni di facoltà, per la condivisione delle ore di lezione, per i lunghi pomeriggi di studio passati insieme, ma anche per le piacevoli serate in compagnia.

Infine il più grande ringraziamento è per la mia famiglia, senza la quale non avrei potuto intraprendere questo percorso, che mi è stata sempre accanto in ogni circostanza senza farmi mancare mai niente e dandomi sempre la forza e il coraggio per arrivare fino in fondo.