

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

---

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Relazione di Laurea

**Titolo**

Analisi del rischio da caduta massi con Rockfall Hazard Rating  
System lungo la strada statale 612 (Molina di Fiemme, TN)

Candidato:  
**Michele Misconel**

Relatore:  
**Prof. Matteo Berti**

---

---

Sessione dicembre 2016  
Anno Accademico 2015-2016

# INDICE

<b>1. Introduzione</b> .....	1
<b>2. Fenomeni franosi: aspetti generali e classificazione</b> .....	2
2.2 La caduta massi (rock Fall).....	3
<b>3. Cenni di meccanica delle rocce</b> .....	5
<b>4. Rockfall Hazard Rating System</b> .....	6
4.1 Altezza Versante (Slope Height).....	7
4.2 Efficacia del Ditch (Ditch Effectiveness).....	7
4.3 Rischio medio per i veicoli (Average Vehicle Risk).....	8
4.4 Distanza minima di visuale (Percent of Decision Sight Distance).....	8
4.5 Larghezza strada (Roadway Width).....	9
4.6 Caratteristiche geologiche (Geologic Character).....	9
4.6.1 Caso 1: condizioni strutturali; attrito tra i blocchi.	
4.6.2 Caso 2: condizioni strutturali; differenza nel tasso di erosione.	
4.7 Dimensione dei blocchi o quantità di massi per evento (Block Size).....	11
4.8 Clima e presenza d'acqua sul versante (Climate and Presence of Water on Slope).....	12
4.9 Eventi franosi precedenti (Rockfall History).....	12
<b>5. Inquadramento geologico e geografico del sito</b> .....	14
<b>6. Applicazione del metodo RHRS</b> .....	17
6.1 Categorie in comune.....	17
6.2 Sezione 1.....	19
6.3 Sezione 2.....	21
6.4 Sezione 3.....	22
6.5 Descrizione dei risultati e considerazioni.....	23
<b>7. Conclusioni</b> .....	24
<b>Appendici</b> .....	25
<b>Bibliografia</b> .....	28

## 1. Introduzione

Il presente lavoro ha lo scopo di analizzare con il metodo *Rockfall Hazard Rating System* (Pierson et al, 1990) un tratto di strada lungo la SS612 nei comuni di Molina di Fiemme (Tn) e Anterivo (Bz) in tre zone distinte e valutarne il rischio rispetto ai fenomeni di crollo.

Questo sistema è stato sviluppato dal Dipartimento Autostrade dello Stato dell'Oregon (ODOT). Lo schema permette di fare un'analisi speditiva del rischio perché tiene conto anche dei valori esposti al pericolo ovvero i veicoli. Tuttavia le categorie riguardano principalmente la pericolosità, l'elaborato si focalizza quindi su essa.

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

È quindi spesso necessario conoscere quali sono le strade esposte a maggior rischio per prevenire, con adeguate misure di sicurezza, questi possibili disagi.

## 2. Fenomeni franosi: aspetti generali e classificazione

Con il termine movimenti franosi vengono generalmente identificati fenomeni di massa coinvolgenti rocce, detriti o terre, attraverso i quali si manifesta la tendenza da parte di un corpo solido al raggiungimento di un minimo di energia potenziale [Varnes, 1978]. Il distacco, al principio, e il successivo movimento dei volumi di roccia coinvolti sono determinati essenzialmente da un unico campo di forze, ossia l'attrazione gravitazionale. Agli sforzi gravitativi, le rocce oppongono in generale resistenza al taglio, attraverso le forze di attrito meccanico che si generano lungo i piani di rottura e scorrimento (coefficienti di attrito interno) e alle forze di legame tra gli elementi costituenti le rocce (coesione del materiale). Classificare tali fenomeni risulta opera molto complessa, in quanto sono caratterizzati da un articolato range di variabili, alcune delle quali apparentemente dettate dalla casualità.

La classificazione ad oggi più diffusa si basa sulla cinematica della frana e sul tipo di materiale coinvolto (Fig. 1). Il tipo di movimento è molto importante perché indica il processo che governa la frana. Si distinguono cinque tipi di movimento: crolli, ribaltamenti, scorrimenti, espansioni laterali e colate. Un sesto tipo è definito come la combinazione di uno o più movimenti principali. Nella classificazione di Cruden e Varnes (1994) sono previste tre categorie di materiali. Due di esse, facenti parte le terre, si distinguono in base alla distribuzione granulometrica. I terreni granulari (debris) sono quelli in cui la frazione ghiaiosa (percentuale in peso) è superiore al 20%, sono caratterizzati da un'elevata permeabilità, plasticità nulla, bassa compressibilità e resistenza al taglio relativamente elevata. Nei terreni fini invece la frazione ghiaiosa è inferiore al 20%, a differenza dei terreni granulari hanno bassa permeabilità, plasticità nulla, alta compressibilità e resistenza al taglio relativamente bassa. Fanno parte della terza categoria degli ammassi rocciosi tutti mezzi geologici con matrice lapidea indipendentemente dalla natura della roccia e dal pattern di fratturazione. Si tratta di una categoria molto vasta, che include ammassi con comportamenti meccanici molto differenti in ragione delle diverse caratteristiche di resistenza della roccia intatta, del grado di fratturazione, ed anche del rapporto tra assetto dell'ammasso e giacitura del versante.

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow	Earth flow (soil creep)
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Fig. 1 - Classificazione delle frane (Varnes, D. J. 1978)

Come si può notare la caduta massi (rock fall) si classifica come crollo in roccia.

## 2.1 La caduta massi (rock fall)

Un crollo è definito come un distacco di suolo o di roccia da un versante ripido che inizia con uno scorrimento di taglio nullo o limitato che discende principalmente in aria con un moto di caduta libera seguito da rimbalzo e rotolamento (Cruden & Varnes, 1996). Nel fenomeno di caduta massi vengono tipicamente movimentati blocchi rocciosi perlopiù isolati e volumetricamente limitati con velocità rapida o estremamente rapida, si raggiungono velocità di 30 m/s (Varnes, 1978). Esso caratterizza pareti rocciose particolarmente acclivi magari tettonicamente disturbate. Generalmente si verificano in versanti interessati da discontinuità strutturali preesistenti (faglie e piani di stratificazione) o di neoformazione e sono caratterizzati da scarsi segni premonitori. Infatti 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).

Cause innescanti di questo tipo di movimento sono tutti i meccanismi in grado di determinare la rottura dei contatti residui presenti su un sistema di piani di debolezza strutturale favorevolmente orientati quali: cicli di gelo e disgelo, alterazione chimica superficiale delle rocce, scalzamento alla base del versante ad opera di alvei fluviali o del moto ondoso, azione sismica, azione del vento, scorrimento superficiale dell'acqua, pressione dell'acqua presente tra le discontinuità, azione degli apparati radicali della vegetazione (Wiman, 1963; Potts, 1970). Chiaramente uno sbancamento, che il più delle volte crea il detensionamento dell'ammasso, amplifica gli effetti di questi meccanismi.

La caduta massi è quindi un tipico problema dovuto a influenze interne ed esterne al pendio interessato, insieme all'azione della gravità. 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 a elevate precipitazioni e quando le temperature oscillano intorno ai 0° C.

Nello studio dei fronti di crollo, importante è riuscire ad identificare le possibili aree di distacco definendo le eventuali dimensioni e la relativa forma dei massi instabili ed ipotizzando l'eventuale tragitto del masso lungo il versante.

Una volta avvenuto il distacco, la traiettoria seguita da un blocco è la combinazione di quattro processi principali: caduta libera, rimbalzo, rotolamento e scorrimento (Fig. 2). Questi processi sono governati da leggi fisico-meccaniche ben conosciute e possono essere descritti da equazioni.

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. Solitamente si verifica quando il versante ha un'inclinazione maggiore a 76° (Ritchie, 1963). Durante la caduta libera, l'energia potenziale del masso viene trasformata in energia cinetica. La fase di moto è composta da due differenti movimenti: traslazione e rotazione. La rotazione influenza la direzione di uscita da un impatto.

Nel rimbalzo invece, subito dopo il primo impatto, la roccia tende a rompersi in funzione della resistenza generata e a dissipare la maggior parte dell'energia cinetica accumulata nella fase di caduta. 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 e il versante presenta superfici pseudo - piane, a bassa inclinazione e scarsa rugosità delle superfici. Durante questa fase il blocco tramite i suoi spigoli è quasi sempre a contatto della superficie e la rotazione avviene molto velocemente.

Lo scorrimento 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.

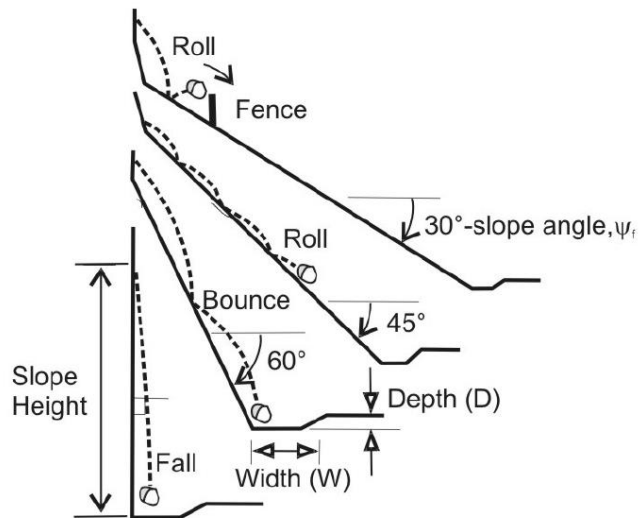


Fig. 2 - Possibili moti di un masso dopo il distacco  
(modified from Ritchie by Whiteside, 1986)

### 3. Cenni di meccanica delle rocce

La vasta categoria di mezzi geologici riconducibili agli “ammassi rocciosi” è definita da una caratteristica meccanica comune: il loro comportamento è controllato dall’interazione di elementi lapidei discreti limitati da piani di discontinuità. Essi mostrano due peculiarità: il comportamento meccanico varia in funzione della scala del problema (altezza del versante naturale o artificiale); a parità di scala, il comportamento meccanico è controllato dal rapporto tra piani di discontinuità ed orientazione del versante (Descoedres, 1988). Se consideriamo un ammasso roccioso caratterizzato da un sistema di discontinuità dominante (es. piani di strato), le resistenze disponibili dipendono da come questo sistema è orientato rispetto al versante: se il sistema è a franapoggio saranno mobilizzate le resistenze operative lungo i singoli piani di discontinuità; se è a reggipoggio saranno mobilizzate le resistenze dell’ammasso nel suo complesso. Si individuano quindi due meccanismi di rottura.

La rottura di un versante in roccia può avvenire per scorrimento lungo singoli piani di discontinuità quando nell’ammasso sono presenti uno o più sistemi di discontinuità e uno di questi ha un’orientazione sfavorevole rispetto al versante. Le resistenze disponibili sono quelle lungo i piani di discontinuità (non dell’intero ammasso) e si stimano attraverso il criterio di rottura empirico di Barton (1974):

$$\tau_R = \sigma \tan \phi_e$$

dove  $\sigma$  è la tensione normale media agente sulla superficie di scorrimento e  $\phi_e$  è detto “angolo di attrito equivalente”. L’angolo di attrito equivalente è funzione della rugosità del giunto e della possibilità di avere rottura delle asperità in funzione dello sforzo normale:

$$\phi_e = \tan \left[ \phi_b + JRC \cdot \log \left( \frac{JCS}{\sigma'_n} \right) \right]$$

dove  $\phi_b$  è l’angolo di attrito di base (angolo di attrito di una discontinuità liscia),  $JRC$  è il coefficiente di rugosità del giunto,  $JCS$  la resistenza a compressione uniassiale delle pareti del giunto e  $\sigma'_n$  la tensione normale efficace.

La rottura di un versante in roccia coinvolge l’ammasso nel suo complesso quando sono soddisfatte le seguenti condizioni: non sono presenti sistemi di discontinuità dominanti e lo stato di fratturazione è statisticamente isotropo; la scala del problema è tale che nessun piano di discontinuità, per quanto esteso, è in grado di controllare il meccanismo di rottura del versante. In queste condizioni è lecito trattare l’ammasso roccioso come un “continuo equivalente”, in modo del tutto analogo ai terreni. Il meccanismo di rottura atteso è quello per scorrimento rotazionale che caratterizza i materiali omogenei (alla scala del versante). Ci si affida quindi a stime indirette, basata essenzialmente sulle classificazioni geomeccaniche degli ammassi rocciosi (RMR, Q, GSI). I parametri ricavati dalle classificazioni sono in tensioni efficaci ( $c'$ ,  $\phi'$ ) e tengono in conto globalmente del contributo delle discontinuità e della roccia intatta.

## 4. Rockfall Hazard Rating System

La costruzione di strade e autostrade nelle zone montane rappresenta una particolare sfida per i geologi e gli ingegneri. Questo perchè la lunghezza di questi progetti rende difficile ottenere sufficienti informazioni per valutare adeguatamente la stabilità di ogni singolo versante lungo la strada. Infatti, a parte in sezioni particolarmente critiche, la maggioranza dei versanti sulle strade tendono a essere progettati sulla base di analisi geotecniche o geomeccaniche non specifiche. Le analisi condotte trattano di norma problemi di instabilità (crolli o scorrimenti) in versanti ideali ritenuti rappresentativi. Spesso non forniscono quindi informazioni dettagliate sulla situazione locale.

A causa della serietà del problema e della difficoltà nell'analizzare centinaia di chilometri di strade in zone montuose, in particolare nell'ovest degli Stati Uniti e del Canada, la sezione autostrade dello Stato dell'Oregon ha sviluppato uno schema speditivo per la stima del rischio da crollo. Il *Rockfall Hazard Rating System* (Pierson et al., 1990), uno dei metodi valutativi più accettati, permette di indentificare i versanti particolarmente pericolosi tramite un'ispezione visiva, delle misure e dei semplici calcoli. In tal modo si evidenziano le zone che richiedono lavori di messa in sicurezza o ulteriori studi più dettagliati. Il metodo viene spesso utilizzato per mappare diversi tratti di strada e identificare il rischio determinato dal loro punteggio.

Per il lavoro è stata utilizzata la tabella con le unità metriche elaborata da Budetta (2004).

	Category	Rating criteria by score			
		Points 3	Points 9	Points 27	Points 81
	Slope height	7.5 m	15 m	22.5 m	> 30 m
	Ditch effectiveness	Good catchment	Moderate catchment	Limited catchment	No catchment
	Average vehicle risk (% of time)	25%	50%	75%	100%
	Decision sight distance (% of design value)	Adequate (100%)	Moderate (80%)	Limited (60%)	Very limited (40%)
	Roadway width (including paved shoulders)	13.20 m	10.80 m	8.40 m	6 m
Geologic characteristics Case 1	Structural condition	Discontinuous joints, favorable orientation	Discontinuous joints, random orientation	Discontinuous joints, adverse orientation	Continuous joints, adverse orientation
	Friction	Rough, irregular	Undulating	Planar	Clay infilling or slickensided
Geologic characteristics Case 2	Structural condition	Few differential erosion features	Occasional erosion features	Many erosion features	Major erosion features
	Difference in erosion rates	Small	Moderate	Large	Extreme
	Block size	0.3 m	0.6 m	0.9 m	1.20 m
	Volume of rockfall per event	2.3 m <sup>3</sup>	4.6 m <sup>3</sup>	6.9 m <sup>3</sup>	9.2 m <sup>3</sup>
	Climate and presence of water on slope	Low to moderate precipitation; no freezing periods; no water on slope water on slope	Moderate precipitation or short freezing periods or intermittent water on slope	High precipitation or long freezing periods or continual water on slope and long freezing periods	High precipitation and long freezing periods or continual
	Rockfall history	Few falls	Occasional falls	Many falls	Constant falls

Tab. 1 - Rockfall Hazard Rating System  
(after Pierson et al., 1990)



Di seguito verranno elencate tutte le categorie con la descrizione di cosa rappresentano, come si misurano e in alcune dei calcoli da svolgere per ottenere il risultato a cui poi associare il punteggio.

#### 4.1 Altezza Versante (Slope Height)

Questo valore rappresenta l'altezza in verticale del versante (non la lunghezza di esso). Rocce che stanno in una posizione molto elevata hanno più energia potenziale di altre che stanno più in basso. Rappresentando un maggior rischio riceveranno valori più alti nella valutazione. La misura si esegue dal punto più alto dalla quale ci si aspetta la caduta dei massi. Se i blocchi scendono da un versante naturale sopra lo scavo, si utilizza l'altezza del fronte di scavo più l'altezza del versante naturale.

#### 4.2 Efficacia del Ditch (Ditch Effectiveness)

Con il termine ditch si indica l'area tra il bordo della strada e la base del versante. Come sinonimi si utilizzano anche rock fallout area e rockfall catch ditch.

La sua efficacia dipende dalla capacità di prevenire la caduta di blocchi in strada. Per stimare questo parametro bisogna considerare diversi fattori:

- altezza e angolo del versante;
- larghezza, profondità e forma del ditch;
- dimensioni e quantità dei blocchi già caduti;
- irregolarità del versante che possono modificare la traiettoria delle rocce che cadono (launching features).

Quest'ultimo aspetto è particolarmente importante perchè traiettorie sfavorevoli possono rendere il ditch totalmente inefficace. Bisogna innanzitutto valutare se le irregolarità del versante, naturali o artificiali, possono far cadere blocchi nella strada. Basandosi su una stima delle traiettorie (magari mediante simulazioni con programmi di analisi statistica) si ipotizza quale porzione della roccia sarà influenzato da queste irregolarità. Si attribuisce quindi uno dei quattro punteggi.

3 punti	<i>Good Catchment.</i> Tutte o quasi tutte le rocce che cadono si fermano nel ditch.
9 punti	<i>Moderate Catchment.</i> Le rocce che cadono raggiungono occasionalmente la strada.
27 punti	<i>Limited Catchment.</i> Le rocce che cadono raggiungono frequentemente la strada.
81 punti	<i>No Catchment.</i> Non c'è il ditch o è totalmente inefficace. Tutte o quasi tutte le rocce che cadono raggiungono la strada.

Per verificare l'efficacia del ditch si può inoltre consultare la "Ritchie's design chart" che stabilisce profondità e larghezza adeguate in funzione dell'altezza del versante e l'angolo di inclinazione (Fig. 3).

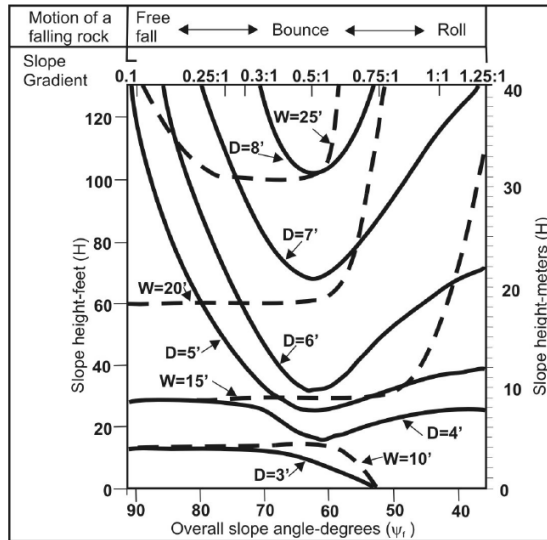


Fig.3 – Modified Ritchie's design chart (after Whiteside, 1986)

#### 4.3 Rischio medio per i veicoli (Average Vehicle Risk)

Questa categoria misura la percentuale di tempo nel quale un veicolo può essere presente nella zona di rischio caduta massi. La percentuale si ottiene usando la formula basata sulla lunghezza del versante, media del traffico giornaliero (Average Daily Traffic) e i limiti di velocità della strada. Una valutazione del 100% significa che la media di macchine attesa presente nella sezione di rischio è del 100% del tempo. Bisogna fare attenzione nel misurare solo la lunghezza del versante dove la caduta di blocchi può creare problemi. Lunghezze sovrastimate modificheranno fortemente il risultato della formula. Dove la media del traffico giornaliero (ADT) è alta o il versante è molto lungo possono risultare valori superiori a 100%. Quando questo si verifica vuol dire che ad ogni istante più di una macchina è presente all'interno della sezione misurata. La formula che si utilizza è:

$$\frac{\text{ADT (vehicle/h)} \times \text{Slope Length (km)} \times 100\%}{\text{Posted Speed Limit (km/h)}} = \text{AVR}$$

#### 4.4 Distanza minima di visuale (Decision Sight Distance)

La distanza di visuale rappresenta la lunghezza minima di strada (in chilometri) necessaria a un guidatore per intraprendere una decisione istantanea o complessa. Questa distanza è critica quando gli ostacoli sulla strada sono difficili da vedere o quando sono richieste manovre inaspettate o inusuali per evitarli. È definita come la lunghezza minima da cui è visibile costantemente un oggetto stazionario di altezza 15 cm da 1.10 m di quota dalla strada (altezza stimata dell'occhio del guidatore). Attraverso una sezione la sua lunghezza può cambiare notevolmente. Curve o dossi lungo una strada con affioramenti rocciosi o vegetazione folla possono rendere ancora meno visibili gli ostacoli. Questa distanza viene ulteriormente ridotta in caso di brutto tempo o scarsa visibilità.

Per determinare dove essa può essere critica, bisogna prima di tutto guidare sulla strada in entrambe le direzioni e decidere quale delle due ha la visibilità più scarsa. Vanno quindi valutate

sia le curve che i dossi. Normalmente un oggetto è meno visibile quando è posizionato appena dopo la zona di massima curvatura.

Per misurare questa distanza occorre posizionare un oggetto di 15 cm sul bordo della strada e camminare nella direzione opposta al senso di percorrenza della corsia. La lunghezza si prende fino al punto dopo cui l'oggetto non è più visibile (guardando da un'altezza di 1.10 m). Si trova così la distanza minima di visuale specifica del tratto di strada (ASD). I valori della distanza minima di visuale idonea (DSD), in base al tipo di strada, si trovano nella tabella sottostante.

Decision Sight Distance (Metric Units)					
Design Speed (km/h)	Stopping Sight Distance		DSD (Speed/path/direction change)		
	A	B	C	D	E
50	70	155	145	170	195
60	95	195	170	205	235
70	115	235	200	235	275
80	140	280	230	270	315
90	170	325	270	315	360
100	200	370	315	355	400
110	235	420	330	380	430
120	265	470	360	415	470
130	305	525	390	450	510
	Rural	Urban	Rural	Suburban	Urban

Tab. 2 - Valori della distanza minima di visuale  
(AASHTO Greenbook, 2001)

La formula che si utilizza:

$$\frac{\text{Actual Sight Distance (km)}}{\text{Decision Sight Distance (km)}} \times 100\% = \text{Percent Sight Distance (\%)}$$

#### Larghezza strada (Roadway Width)

Questa dimensione si misura perpendicolarmente alla strada, da un estremo all'altro (inclusi i bordi). Rappresenta lo spazio disponibile per permettere il passaggio dei veicoli anche quando la strada è ostruita dal materiale franato. Dunque minore sarà la larghezza maggiore sarà il punteggio da assegnare.

#### 4.6 Caratteristiche geologiche (Geologic Character)

In questa categoria si valutano gli aspetti geologici del versante.

Si prendono in considerazione due casi:

- *caso 1* - per i versanti dove i joints, la foliazione o altre discontinuità sono la caratteristica strutturale dominante che controlla la caduta massi;
- *caso 2* - dove invece la caratteristica dominante è l'erosione differenziale o l'elevata inclinazione del versante.

Nella valutazione si può usare il caso più adeguato per il tipo di versante o, se sono presenti entrambe le situazioni, usarli entrambi e considerare solo il punteggio peggiore (quello più elevato).

#### 4.6.1 Caso 1

##### *Condizioni Strutturali.*

L' orientazione sfavorevole dei joints, come si definisce in questa classificazione, prevede di considerare parametri come l'angolo di attrito della roccia, riempimento delle fratture e la quota idrostatica se l'acqua è presente. Questi joints sfavorevoli sono quelli che creano fratture che possono indurre scivolamenti di cunei di roccia, caduta blocchi o ribaltamenti. Il termine "continui" è riferito a joints più lunghi di 3 m.

- |          |   |
|----------|---|
| 3 punti  | <i>Joints discontinui, orientazione favorevole.</i> Rocce fratturate senza significative orientazione sfavorevoli dei joints, foliazioni ecc.   |
| 9 punti  | <i>Joints discontinui, orientazione casuale.</i> Versanti in roccia con joints orientati casualmente creando un pattern tridimensionale. Questo tipo di pattern è probabile che induca il distacco di qualche blocco in presenza di joints sfavorevoli ma quest'ultimi non sono comunque presenti in maniera consistente. |
| 27 punti | <i>Joints discontinui, orientazione sfavorevole.</i> Il versante esibisce un pattern di joints prominente, foliazione o altre discontinuità con un'orientazione sfavorevole. Queste discontinuità hanno comunque una lunghezza inferiore ai 3m.   |
| 81 punti | <i>Joints continui, orientazione sfavorevole.</i> Nel versante è presente un pattern di joints dominante, foliazione o altre discontinuità con un'orientazione sfavorevole e una lunghezza oltre i 3 m.   |

##### *Attrito tra i blocchi.*

Questo parametro influisce direttamente sul potenziale di un blocco di muoversi rispetto ad un altro. L'attrito lungo le fratture, la foliazione o le discontinuità è governato dalla rugosità alla macro e microscala della superficie. La macro-rugosità è il grado dell'ondulazione della roccia. La micro-rugosità invece è la scabrezza della superficie del joint. Il potenziale di distacco è più elevato dove: le fratture contengono materiale molto alterato o idrotermalizzato; si è verificato un movimento creando superfici con strie o materiale non consolidato come cataclasite; joints aperti dominano il versante o dove essi sono riempiti d'acqua. Fare attenzione all'angolo delle fratture dei distacchi precedenti del versante può aiutare a stimare l'attrito tra le rocce lungo le discontinuità.

- |          |  |
|----------|--|
| 3 punti  | <i>Ruvide, irregolari.</i> La superficie della frattura è rugosa e le superfici dei joints sono irregolari abbastanza da creare incastro.  |
| 9 punti  | <i>Ondulate.</i> Con macro e micro-rugosità ma senza la capacità di incastro.  |
| 27 punti | <i>Planari.</i> Superfici dei joints lisce alla macroscala ma ruvide alla microscala. La superficie non contiene ondulazioni. L'attrito deriva dalle asperità della superficie delle rocce.  |
| 81 punti | <i>Riempimento con argilla o superfici di scorrimento.</i> Materiali con attrito basso come argille o rocce alterate, separate da rocce che non presentano macro o micro-rugosità sulle superfici di frattura. Questo materiale di riempimento ha un angolo di attrito molto minore di quello che c'è tra un contatto roccia-roccia. |

#### 4.6.2 Caso 2

##### *Condizioni strutturali.*

Questo caso si usa per versanti con erosione differenziale o se l'elevata inclinazione del versante è il carattere che domina la caduta dei blocchi. Le caratteristiche dell'erosione comprendono: versanti con elevata inclinazione; unità con litologie poco cementate; rocce resistenti ma molto esposte che possono comunque innescare un fenomeno di crollo. La caduta di massi è causata da una perdita di resistenza locale o lungo tutto il versante. Pendii tipici di queste condizioni sono:

- unità stratificate contenenti rocce facili da erodere pregiudicando così anche gli strati più resistenti;
- quelli costituiti interamente da detrito;
- unità molto eterogenee come conglomerati, materiale derivante da colate argillose etc. che venendo erosi causano il distacco delle componenti più resistenti;
- versanti in roccia o terra che innescano la caduta massi se la matrice viene erosa.

Si distinguono quattro gradi di erosione.

3 punti	<i>Pochi tipi di erosione.</i> Pochi tipi di erosione che non sono distribuite uniformemente nel versante.
9 punti	<i>Tipi di erosione occasionale.</i> Pochi tipi di erosione ma distribuite nel versante.
27 punti	<i>Molti tipi di erosione.</i> Differenti tipologie di erosione, numerose e ben sviluppate in tutto il versante.
81 punti	<i>Tipi di erosione pericolosa.</i> Casi particolari di sporgenze create da erosione molto sviluppata; significative inclinazioni del versante o del detrito.

##### *Differenza nel tasso di erosione.*

Questo parametro è direttamente collegato a un potenziale evento di caduta massi. L'erosione avanzando può indurre condizioni di instabilità e aumento dell'inclinazione del versante. Bisogna considerare sia l'effetto della comune erosione (alterazione chimica e disgregazione fisica) sia l'effetto indotto dall'azione antropica quindi "artificiale" (scavi ecc). Il rischio causato dall'erosione, quindi il punteggio attribuito a questa categoria, dovrebbe rispecchiare: la sua velocità; la grandezza dei blocchi, delle rocce o delle unità esposte; la frequenza degli eventi di caduta; la quantità di materiale rilasciato durante un evento.

3 punti	<i>Poca differenza.</i> Erosione che si sviluppa nell'arco di molti anni. I versanti che sono quasi in equilibrio con l'ambiente circostante ricadono in questa categoria.
9 punti	<i>Differenza moderata.</i> Erosione che si sviluppa nell'arco di alcuni anni.
27 punti	<i>Differenza notevole.</i> Erosione che si sviluppa annualmente.
81 punti	<i>Differenza estrema.</i> Erosione che si sviluppa molto rapidamente (alla scala dei mesi).

#### **4.7 Dimensione dei blocchi o quantità di massi per evento (Block Size or Quantity of Rockfall Per Event)**

Questa misura dovrebbe essere rappresentativa per qualsiasi tipo di fenomeno di caduta che può verificarsi nella zona. Se massi singoli sono tipici dell'evento di crollo, bisogna considerare la loro dimensione; se invece il materiale principale costituente la frana è una massa di blocchi occorre invece verificare la quantità in volume di essi. Questo può essere determinato dagli archivi o, in assenza di essi, si stima osservando le condizioni dell'ammasso.

#### **4.8 Clima e presenza d'acqua sul versante (Climate and Presence of Water on Slope)**

Acqua e cicli di gelo-disgelo possono contribuire alla disgregazione fisica e a movimentare i materiali che compongono la roccia. Bisogna quindi valutare se l'acqua scorre continuamente o saltuariamente sul versante. In generale le zone che ricevono meno di 500 mm d'acqua all'anno sono "aree a bassa precipitazione" mentre quelle che superano i 1200 mm annui ricadono nella categoria "aree ad alta precipitazione". L'impatto dei cicli gelo-disgelo può essere interpretato dalla conoscenza della temperatura nell'arco dell'intero anno. Nella valutazione la categoria con un punteggio di 27 è per siti dove ci sono lunghi periodi freddi (cioè con temperature al di sotto di 0° C) o problemi d'acqua come alte precipitazioni con acqua che scorre continuamente. 81 punti vengono invece attribuiti a zone dove coesistono entrambi i problemi.

#### **4.9 Eventi franosi precedenti (Rockfall History)**

È possibile ottenere questa informazione dall'ente che si occupa della manutenzione della strada. Rappresenta l'attività di caduta massi avvenuta precedentemente nel sito. Potrebbe non essere a disposizione alcuna informazione, per esempio in strade appena costruite o dove è assente una documentazione dettagliata. Questo dato è importante per avere un'idea di potenziali eventi futuri. Se il registro degli eventi passati è ben documentato si potranno fare conclusioni accurate sui futuri crolli.

- |          |  |
|----------|--|
| 3 punti  | <i>Pochi crolli.</i> Si sono verificate alcune frane nel corso degli anni ma non sono un problema persistente. Ha senso utilizzare questa categoria quando i crolli si verificano: alcune volte l'anno (o anche meno) e quando ci sono delle tempeste. Rientrano in questa categoria anche le zone prive di documentazione.  |
| 9 punti  | <i>Crolli occasionali.</i> Frane che si verificano regolarmente, diverse volte l'anno e durante le tempeste.   |
| 27 punti | <i>Numerosi crolli.</i> Frane che si verificano frequentemente durante determinate stagioni, per esempio d'inverno (causa gelo-disgelo) o periodi di intense precipitazioni primaverili. Questa categoria si addice a versanti che pur essendo soggetti a frequenti crolli durante le stagioni stagioni critiche non rappresentano un problema significativo durante il resto dell'anno. |
| 81 punti | <i>Crolli costanti.</i> Frane che si verificano frequentemente nell'arco dell'intero anno. Questa categoria contraddistingue siti dove pericolosi eventi di crollo sono comuni.  |

Nel modello modificato Budetta (2004) è presente una tabella con le varie funzioni esponenziali in base 3 che permettono di calcolare i punteggi delle varie categorie.

Category	Equation
Slope height ( $H$ )	$y=3^{H/7.5}$
Average vehicle risk (AVR)	$y=3^{AVR/25}$
Decision sight distance ( $\%D_a$ )	$y=3^{(120-\%D_a)/20}$
Roadway width ( $L_c$ )	$y=3^{(27.5-L_c)/6}$
Slope mass rating (SMR)	$y=3^{80/SMR}$
Block size ( $D_b$ )	$y=3^{D_b/0.3}$
Volume of rockfall per event ( $V_{fall}$ )	$y=3^{V_{fall}/2.3}$
Annual rainfall ( $h$ )	$y=3^{h/300}$
Rockfall frequency ( $f$ )	$y=3^{1+(0.334 \cdot f)}$

Tab. 3 - Funzioni esponenziali per il calcolo dei punteggi  
(Budetta, 2004)

In questa tabella non compare la categoria “Caratteristiche geologiche” perchè nel modello modificato da Budetta essa è stata sostituita con Slope Mass Rating (SMR-Romana, 1991) un metodo derivato da Rock Mass Rating di Beniaowski. Per le categorie che rimangono invariate si possono utilizzare le funzioni per ottenere i punti.

Il metodo RHRS definisce versanti a “scarsa urgenza di messa in sicurezza” quelli con punteggio minore di 300 mentre versanti a “elevata urgenza che necessitano di interventi di stabilizzazione immediata” quelli con più di 500 punti.

## 5. Inquadramento geografico e geografico del sito

L' area d'interesse è situata in Val di Fiemme in Trentino orientale dove scorre il Fiume Avisio che, attraversando la Valle di Cembra, si immette nell'Adige (Fig. 4).

Il sito è nel Comune di Castello - Molina di Fiemme in località Stramentizzo in una posizione di confine tra la Provincia di Trento e quella di Bolzano. La quota media della zona è di 780 metri s.l.m. In dettaglio la strada statale 612 collega l'abitato di Molina a quello di Capriana, anch'esso in Provincia di Trento, attraversando il Comune di Anterivo in Provincia di Bolzano. La strada costeggia la sponda destra del lago artificiale di Stramentizzo (Fig. 5).

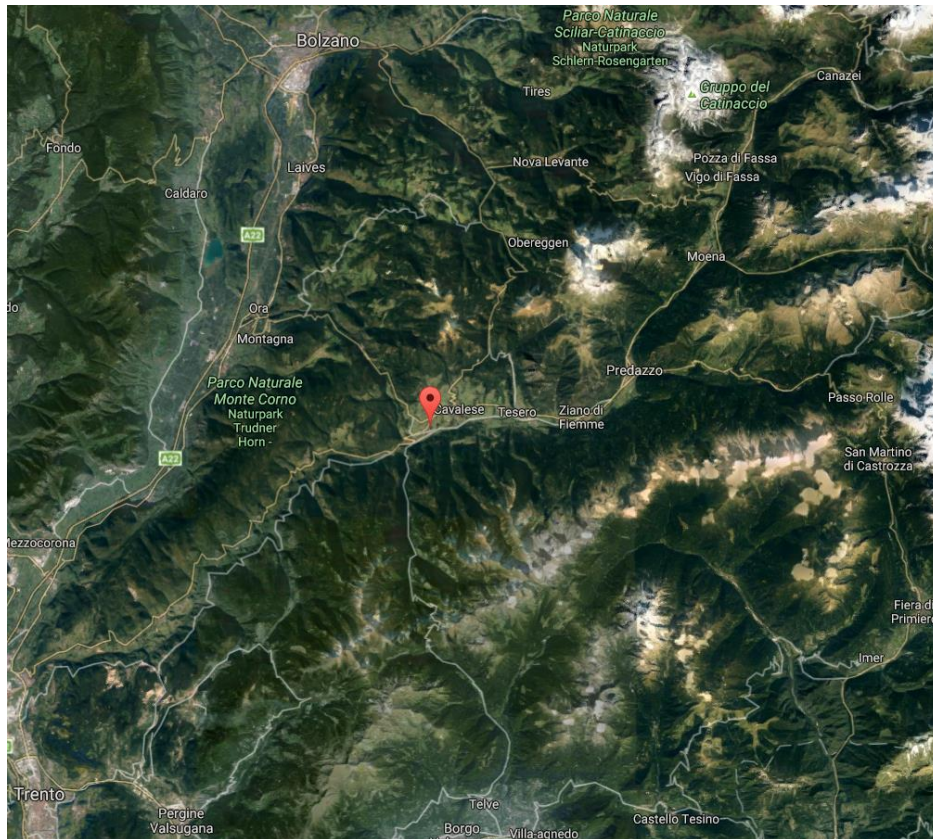


Fig. 4 - Localizzazione geografica del sito  
(Google Maps)

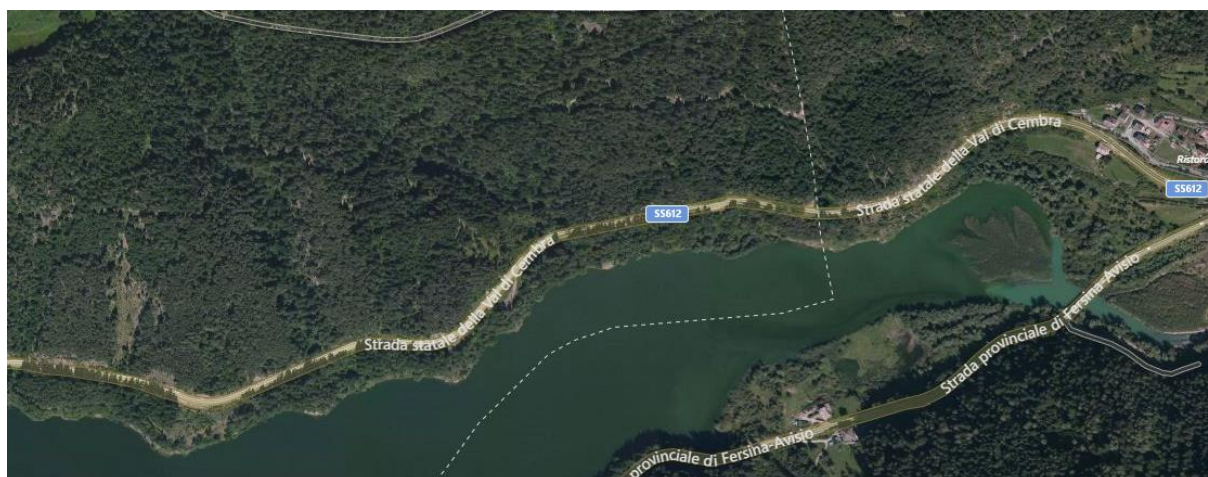


Fig. 5 - Immagine di dettaglio della strada in analisi, SS612  
(Google Maps)



La roccia che affiora lungo tutto il tratto di strada analizzato è porfido. Esso fa parte della Piattaforma Porfirica Atesina (Permiano Inferiore) che si differenzia in due gruppi: quello inferiore composto perlopiù da prodotti lavici e quello superiore da ignimbriti. Infatti in questa zona si trovano ignimbriti riolitiche facenti parte della Formazione di Ora, la più recente del Gruppo Vulcanico Atesino (Fig. 6). Sono il prodotto di enormi volumi di flussi piroclastici che raggiungono i 1000 m di spessore nelle zone più depresse (Bertoldi, 2007). Si classificano come lapilli-tuff, hanno come minerale principale il quarzo e abbondanti plagioclasti, K-Feldspati e biotite immersi in una pasta di fondo (Bargossi, 2007).

Localmente si riscontra la presenza di depositi quaternari in particolare alluvioni recenti e morene miste a detrito.

L'assetto strutturale della zona è controllato dalla linea di Trodena, in posizione più settentrionale rispetto all'area (Fig. 7). Questo sovrascorrimento nord-vergente pone le ignimbriti permiane della formazione di Ora sopra formazioni calcaree triassiche. In formazioni calcaree del settore che sovrascorre, questo lineamento ha generato delle sinclinali con asse circa est-ovest: una nel fondovalle e un'altra a monte degli abitati di Cavalese e Predazzo. Nel porfido invece ha creato due sistemi di faglie circa perpendicolari con orientazioni preferenziale E-NE/S-SW e N-NW/S-SE.

Le vulcaniti sono poi sovrastate da altre formazioni, di età compresa tra il Permiano superiore al Triassico, che nei pressi del sito non affiorano.

Le Arenarie della Val Gardena (Permiano Sup.), di colore rosso con composizione quarzoso-feldspatica, sono sostanzialmente costituite dal materiale smantellato dalle ignimbriti sottostanti (Massari & Neri, 1997). In posizione stratigrafica superiore troviamo la formazione a Bellerophon (Permiano sup.) testimonianza di un ambiente di deposizione assimilabile a quello di sabka costiera o laguna con apporti terrigeni. Si riscontrano due facies: una con dolomie cariate e rocce evaporitiche; l'altra, più distale, con calcari scuri ricchi di materia organica (Accordi, 1958).

La Formazione di Werfen segna il passaggio al triassico inferiore e descrive il ritorno a condizioni costiere di bassa profondità con oscillazioni della linea di costa. Costituita da svariati litologie (calcari, dolomie, siltiti e arenarie) è stata suddivisa in dieci unità (Neri & Posenato, 1988).

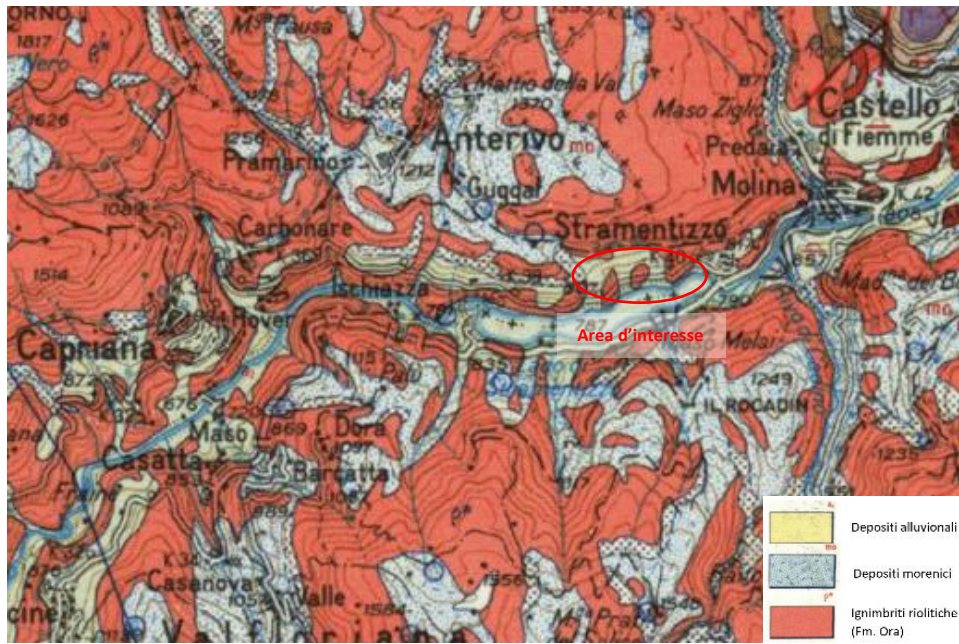


Fig. 6 - Estratto dalla Carta geologica d'Italia 1:100.000 dell'ISPRA (foglio 21 "Trento")

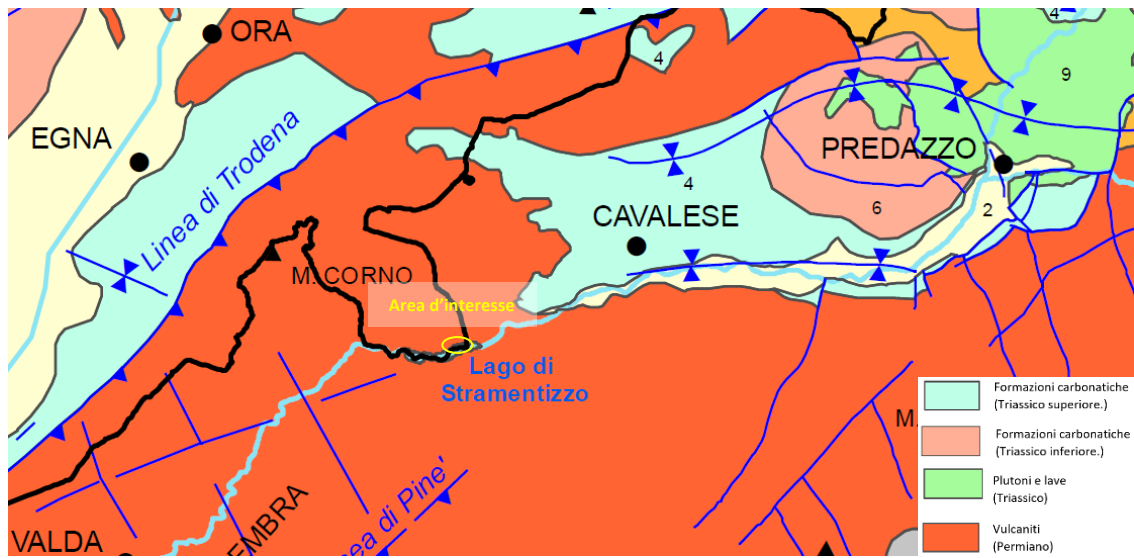


Fig. 7 - Estratto dalla Carta geologico-strutturale del Trentino. Servizio geologico

## 6. Applicazione del metodo RHRS

Il tratto di strada analizzato lungo la strada statale 612 ha una lunghezza totale di 1450 m. È stato scelto di suddividerlo in 3 parti perché, anche se il versante non varia in maniera significativa (né strutturalmente né litologicamente), ci sono delle caratteristiche che possono differenziare i punteggi e rappresentare in maniera più precisa le tre sezioni (Fig. 8). Si possono quindi confrontare i valori ottenuti e commentare il grado di pericolosità ad essi associati.

Si ribadisce che la strada in analisi è già stata messa in sicurezza con numerose reti paramassi, muri di sostegno, chiodature e calcestruzzo proiettato (spritz beton) per stabilizzare il versante. L'analisi è stata svolta ipotizzando che questi elementi non ci siano, in modo da verificare l'effettivo accordo tra le opere realizzate e il rischio calcolato col metodo RHRS.

Le misure sono state fatte con metro (ditch e dimensione dei blocchi), corda metrica (larghezza della strada), ruota metrica (distanza minima di visuale ASD) ed elettrodistanziometro (altezza del versante). Il conteggio dei veicoli è stato svolto manualmente.

Per l'attribuzione dei punteggi delle categorie con un'unità di misura definita sono state utilizzate le funzioni esponenziali della tabella 3. Non sono state quindi calcolate con la funzione: l'efficacia del ditch, le caratteristiche geologiche e gli eventi franosi precedenti. Per non sfasare in maniera eccessiva i punteggi è stato utilizzato come massimale 100 punti. Questa non è una regola univoca, in alcuni lavori si possono trovare punteggi superiori a 150.

Segue una descrizione delle categorie comuni (quelle che mantengono il punteggio costante in tutte e tre le valutazioni), la descrizione specifica di ogni sezione e la rispettiva tabella riassuntiva con i punteggi calcolati.



Fig. 8 - Immagine dei tre tratti analizzati lungo strada SS612 (Google Earth)

### 6.1 Categorie in comune

Nella regione dove è si trova il sito è presente un clima temperato. Nei mesi invernali la temperatura scende spesso al di sotto di 0° C, in particolare nei mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio (con rispettive temperature medie di -0.7°, -2.2 e 0° C). Tuttavia negli altri mesi la

temperatura media è più elevata dunque questa non si può considerare zona con lunghi periodi freddi.

La piovosità è significativa durante tutto l'anno. Anche nel mese più secco non mancano le precipitazioni (gennaio raggiunge comunque 32 mm di pioggia). La piovosità media annuale è di 793 mm. Sul versante non scorre acqua in maniera costante ad eccezione di un punto nella sezione 2 dove è presente un piccolo flusso d'acqua continuo. Probabilmente c'è un impluvio a monte di questa parte del versante. Si ritiene comunque un parametro di scarsa influenza alla scala dell'intero affioramento. Valutando questi fattori, in particolare le precipitazioni medie annue, si ottiene un punteggio di 18.

La larghezza media della strada è di 8 m; (sono presenti alcune piazzole di sosta lungo la strada ma non sono state considerate in questa misura). Questa categoria viene valutata con 18 punti.

Per la ricerca degli eventi franosi precedenti è stato necessario consultare due registri differenti dato che la strada passa sia nella provincia di Trento che in quella di Bolzano.

Per il tratto di strada iniziale, nel Comune di Molina di Fiemme (TN), è stato consultato l'Archivio Eventi Calamitosi della Provincia Autonoma di Trento (Progetto Arca). Si evidenziano cinque principali eventi di frana (Fig. 9). Essi arrecarono gravi danni alla strada ostruendola con materiale franato o provocando cedimenti. Alcuni la resero inagibile anche per diversi giorni.

Di seguito si riporta un'immagine estratta dall'archivio dove vengono localizzati i vari eventi (sono state segnalate anche le alluvioni in blu e in viola i nubifragi). Vicino a ogni evento (punto in rosso) viene indicato l'anno.

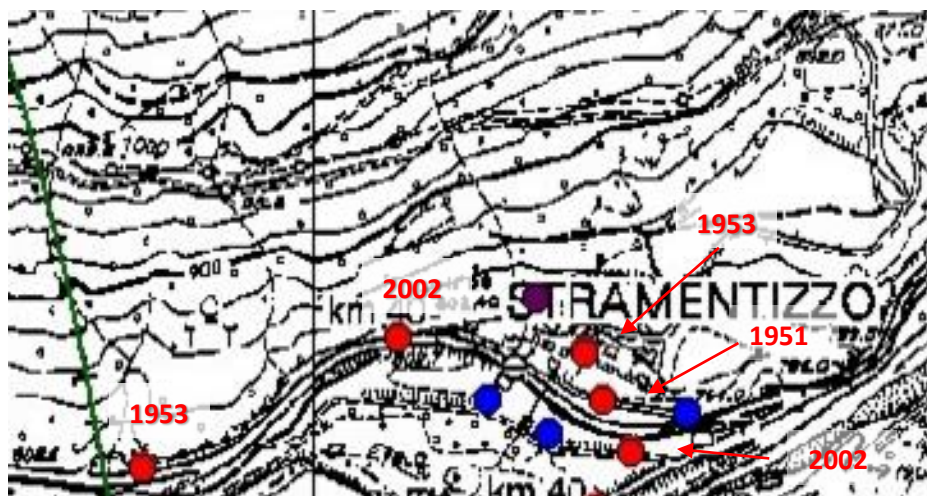


Fig. 9 - Estratto dal Catasto Eventi Calamitosi PAT (Progetto ARCA)

Per il tratto passante nel Comune di Anterivo (BZ) è stato consultato l'Inventario fenomeni franosi in Italia (Progetto IFFI) della Provincia Autonoma di Bolzano attraverso l'utilizzo di Hazardbroswer (parte integrante del Geobroswer). È segnalato un unico evento franoso generato di cui non si conosce la data (Fig. 10).

Di seguito si riporta l'immagine tratta dal geobroswer (ortofoto) dove è localizzato il crollo avvenuto; anche la aree in viola nei versanti sovrastanti sono soggette a crolli e/o ribaltamenti.



Fig. 10 - Estratto dal Hazardbroswer del Geobroswer  
(Progetto IFFI)

In base ai dati in possesso si può affermare che nella zona si sono verificati 6 eventi nell'arco di 65 anni (dal 1951 anno in cui è avvenuto il primo crollo). Si ottiene quindi una frequenza di circa un evento ogni 11 anni tenendo conto dell'intero tratto stradale analizzato (e non delle singole sezioni). Secondo il metodo non si raggiunge neanche un punteggio di 3.

Bisogna tener conto che questo dato è affetto da errore. Se nell'analisi si ipotizza l'assenza delle reti paramassi bisognerebbe calcolare quanti potenziali eventi si sarebbero verificati.

Prendendo spunto dal metodo modificato da Budetta (2004) che attribuisce una frequenza di eventi ad ogni categoria si considerano le "condizioni limite": *pochi crolli* (1 evento ogni 10 anni) e *crolli costanti* (9 all'anno). Si attribuisce a questa categoria un punteggio intermedio di 9 (corrispondente a 3 crolli all'anno) per tutte e tre le sezioni (*crolli occasionali*).

## 6.2 Sezione 1

L'altezza massima dalla quale si possono verificare potenziali distacchi è di 26.6 m. Il versante è una parete di sbancamento creato quindi artificialmente (Fig. 11). Sopra di esso la vegetazione è folta e il pendio ha un'inclinazione minore. Si ipotizza che i distacchi non avvengano in questa zona. Per questo motivo non si aggiungono ulteriori metri all'altezza del versante artificiale.

In questa sezione il ditch non è presente. In qualche zona ci sono degli spazi al piede del versante leggermente più ampi ma comunque non sufficienti a impedire il raggiungimento dei blocchi all'interno della strada. Si ritiene quindi la sua efficacia nulla attribuendogli 81 punti.

Il traffico diurno ha una media di 120 veicoli all'ora. La lunghezza della strada dove il versante può essere rischioso è di 0.347 km e il limite di velocità imposto è di 50 km/h. Si ottiene una percentuale di 83% del tempo in cui il veicolo è esposto a rischio.

In base alla tabella 2, essendo questa una strada corrispondente a quella definita rurale, si ha una distanza minima di visuale ottimale (DSD) di 145 m. La distanza minima di visuale misurata lungo la strada (ASD) è di 42m che equivale al 29% della DSD.

Per le caratteristiche geologiche è stato preso in considerazione il caso 1 che rispecchia le caratteristiche dell'ammasso in maniera più significativa. La caratteristica strutturale dominante è infatti la presenza di joints e discontinuità di vario tipo.

Sono presenti joints discontinui con orientazione sfavorevole; si assegna un valore di 27 punti.

L'attrito tra i blocchi è dato da una rugosità presente sulle superfici di frattura apparentemente lisce alla macroscale; anche questo parametro della categoria riceve quindi un punteggio di 27.

Il metodo suggerisce che se sono presenti le due situazioni si possono utilizzare entrambi i casi e considerare solo quello col punteggio peggiore. Come appena scritto, il caso 1 è quello che meglio si addice alla sezione analizzata. Tuttavia nel caso 2 rientrano anche versanti con elevata inclinazione con rocce resistenti ma molto esposte, caratteristica che si riscontra anche negli affioramenti lungo la strada. Assegnando i punteggi alle categorie si ottiene: 3 punti alle condizioni strutturali perchè ci sono poche tipologie di erosione essendo il versante costituito interamente da porfido; 3 punti alla differenza del tasso di erosione che si sviluppa nell'arco di molti anni essendo la roccia molto resistente. Il punteggio non è significativo per la sezione. Essendo pure inferiore all'altro, esso non viene considerato.

La dinamica di crollo principale sembra essere per blocchi singoli; la grandezza media è di circa 0.3m.

Categoria	Valore	Punteggio
Altezza versante	26,6 m	49
Efficacia del ditch	Nulla	81
Media del rischio per i veicoli	83%	38
Distanza minima di visuale	29% (42m)	100
Larghezza strada	8 m	35
Condizioni strutturali	Joints con orientazione sfavorevole	27
Attrito tra i blocchi	Superfici planari con rugosità	27
Grandezza dei blocchi	0,3 m	3
Media precipitazioni annuali	793 mm	18
Eventi franosi precedenti	crolli occasionali	9
<b>Punteggio totale</b>		<b>387</b>

Tab. 4 - Valori e punteggi con RHRS della sezione 1



Fig. 11 - Sezione 1

### 6.3 Sezione 2

L'altezza massima dalla quale è possibile che si verifichino crolli è 38,7 m (Fig. 12).

Nemmeno in questa sezione è presente un vero e proprio ditch quindi questa categoria riceve 81 punti.

Il tratto della strada con versante rischioso per i veicoli è di 0.198 km si ottiene una percentuale di 48% del tempo.

La distanza minima di visuale misurata (ADT) è di 40 m, il 28% di quella idonea (DSD).

Le caratteristiche geologiche della roccia sono molto simili alla sezione precedente trattandosi della stesso tipo di roccia (porfido) e della stessa formazione.

Sono state quindi valutate con un punteggio di 27 le condizioni strutturali e 27 punti anche per l'attrito tra i blocchi. Le dimensioni dei blocchi sono nuovamente simili alla sezione precedente ovvero 0.3m.

Categoria	Valore	Punteggio
Altezza versante	38,7 m	100
Efficacia del ditch	Nulla	81
Media del rischio per i veicoli	48%	8
Distanza minima di visuale	28% (40m)	100
Larghezza strada	8m	35
Condizioni strutturali	Joints con orientazione sfavorevole	27
Attrito tra i blocchi	Superfici planari	27
Grandezza dei blocchi	0,3m	3
Media precipitazioni annuali	793mm	18
Eventi franosi precedenti	crolli occasionali	9
<b>Punteggio totale</b>		<b>408</b>

Tab. 5 - Valori e punteggi con RHRS della sezione 2

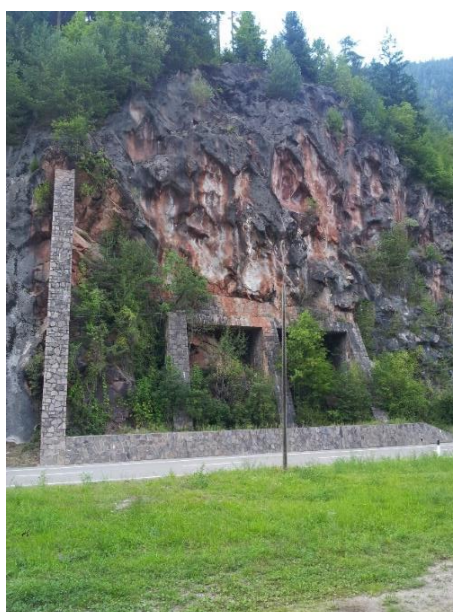


Fig. 12 - Sezione 2

### 6.4 Sezione 3

L'altezza massima del versante è 12.6 m (Fig. 13). Significativamente inferiore alle due sezioni precedenti. Il ditch è presente, con dimensioni che variano lungo la sezione ha una larghezza media che si aggira attorno a 1,5-2 m. Si ritiene la sua efficacia limitata, ipotizzando che i blocchi che cadono raggiungono solo frequentemente la strada, il punteggio è 27.

Il rischio per i veicoli è di 74% che equivale a 26 punti. La distanza minima di visuale misurata è di 45 m ovvero il 31% di quella idonea. Condizioni strutturali e attrito tra i blocchi ricevono entrambi un punteggio di 27. Le dimensioni dei blocchi sono di 0.3 m.

Categoria	Valore	Punteggio
Altezza versante	12,6 m	6
Efficacia del ditch	Limitata	27
Media del rischio per i veicoli	74%	26
Distanza minima di visuale	31% (45m)	100
Larghezza strada	8m	35
Condizioni strutturali	Joints con orientazione sfavorevole	27
Attrito tra i blocchi	Superfici planari	27
Grandezza dei blocchi	0,3 m	3
Media precipitazioni annuali	793 mm	18
Eventi franosi precedenti	crolli occasionali	9
<b>Punteggio totale</b>		<b>278</b>

Tab. 6 - Valori e punteggi con RHRS della sezione 3

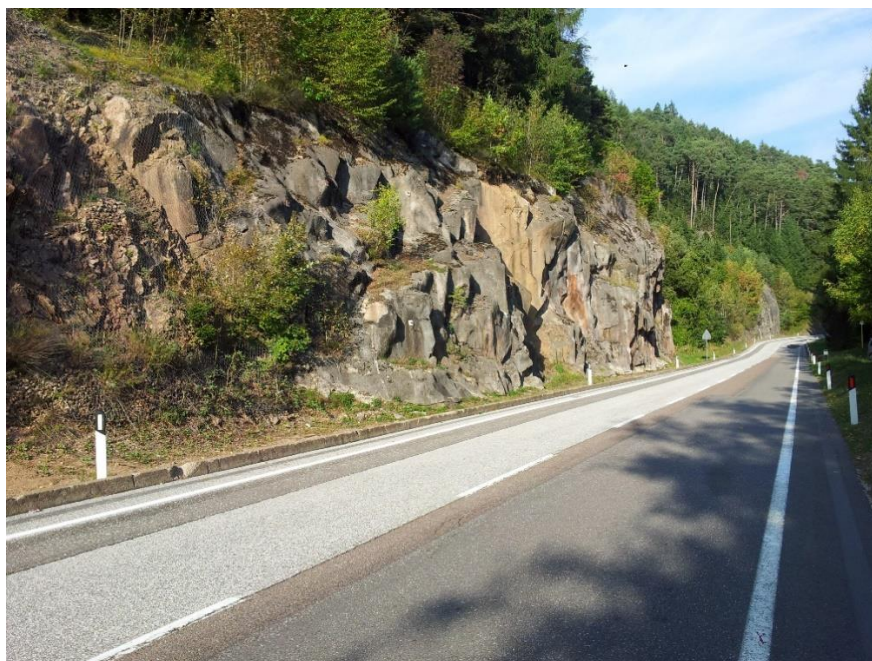


Fig. 13 – Sezione 3



## 6.5 Descrizioni dei risultati e considerazioni

I punteggi variano in un range di 130 (Fig. 14). Il dato interessante è che il punteggio di 300, sotto il quale i versanti sono definiti a “*scarsa urgenza di messa in sicurezza*” è compreso in questo intervallo. Si può, quindi definire la sezione 3 (278 punti) non a rischio e differenziarla dalle sezioni 1 e 2 con rischio maggiore. In particolare la sezione 2 (408 punti) è in una situazione intermedia perchè un punteggio maggiore a 500 contraddistingue i versanti con “*urgenza di messa in sicurezza che richiedono immediata stabilizzazione*”.

Un parametro che influisce notevolmente sul punteggio finale è l’altezza del versante. Basti pensare che con una differenza di quota di 14 m, tra la sezione 1 e 3, c’è uno scarto di 43 punti. La sezione 2, anche se ha un punteggio massimo di 100 nella valutazione, totalizza più di 250 punti tramite la funzione esponenziale. La differenza di quota con la sezione 1 è di poco più di 10m, numericamente equivale a 240 punti di scarto. Oltre alla presenza del ditch, è questo il fattore che rende la sezione 1 significativamente meno rischiosa.

La distanza minima di visuale ha ottenuto punteggio massimo in tutte e tre le sezioni.

Le caratteristiche geologiche non sono state diagnostiche perchè gli affioramenti erano molto simili tra loro trattandosi tutti della stessa roccia e della stessa formazione. Ne consegue che anche la dimensione media dei blocchi è la stessa.

In definitiva si può concludere che le misure di sicurezza adottate in questa zona erano effettivamente necessarie per evitare che eventi di crollo arrecassero gravi danni alla strada dunque alla viabilità.



### Punteggio RHRS

sezione 1	387
sezione 2	408
sezione 3	278

Fig. 14 - Immagine dei tre tratti con i punteggi calcolati (Google Earth)

## 7. Conclusioni

Lo scopo del lavoro era di analizzare col metodo “*Rockfall Hazard Rating System*” (Pierson et al, 1990) un tratto di strada lungo la SS612 (Molina di Fiemme, TN) suddividendolo in tre parti e determinare per ognuna il rischio da caduta massi in base al punteggio.

La sezione 1 e 2 superano la soglia dei 300 punti (rispettivamente 387 e 408), risultano quindi a rischio secondo il metodo ma comunque non ritenute “*ad elevata urgenza di messa in sicurezza*”. La sezione 3 invece totalizzando un punteggio di 278 si ritiene a “*scarsa urgenza di messa in sicurezza*”. Dati gli esiti si valutano le misure di sicurezza presenti (reti paramassi e chiodature) necessarie.

Per quanto i risultati appaiano realistici bisogna sottolineare che il metodo è semiquantitativo. Non è infatti basato su un’analisi dettagliata sulle condizioni meccaniche dell’ammasso ma uno strumento per descrivere le situazioni locali e dare un’idea di quali possono essere a maggiore rischio. In altre parole non fornisce una risposta certa riguardo a potenziali distacchi e crolli ma fornisce indicazioni qualitative. Il vantaggio è che permette di mappare svariati chilometri di strada in maniera agevole e identificare le zone da analizzare più approfonditamente. In tali zone si possono fare ulteriori indagini come rilievi geomeccanici o analisi di stabilità.

Inoltre, essendo un sistema di valutazione è soggetto a un certo grado di soggettività; il punteggio dipende anche da chi esegue l’analisi. Sono stati sviluppati diversi modelli più quantitativi (modificando l’originale) ma in generale resta difficile che il risultato sia univoco.

In definitiva ogni analisi dev’essere utilizzata in base al tipo di informazione che può fornire e al grado di dettaglio di cui si ha bisogno. È fondamentale tener conto di questo concetto per poter fare considerazioni sensate o previsioni.

## Appendice 1

Category	Rating criteria by score				
	Points 3	Points 9	Points 27	Points 81	
Slope height	7.5 m	15 m	22.5 m	> 30 m	
Ditch effectiveness	Good catchment: properly designed according to updates of Ritchie's ditch design chart + barriers	Moderate catchment: properly designed according to updates of Ritchie's ditch design chart	Limited catchment: wrongly designed	No catchment	
Average vehicle risk (% of time)	25%	50%	75%	100%	
Decision sight distance (% of design value)	Adequate (100%)	Moderate (80%)	Limited (60%)	Very limited (40%)	
Roadway width	21.5 m	15.50 m	9.50 m	3.50 m	
Slope Mass Rating ( <i>SMR</i> )	80	40	27	20	
Block size	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	
Boulder volume	26 dm <sup>3</sup>	0.21 m <sup>3</sup>	0.73 m <sup>3</sup>	1.74 m <sup>3</sup>	
Volume of rockfall per event	2.3 m <sup>3</sup>	4.6 m <sup>3</sup>	6.9 m <sup>3</sup>	9.2 m <sup>3</sup>	
Annual rainfall and freezing periods	<i>h</i> =300 mm or no freezing periods	<i>h</i> =600 mm or short freezing periods	<i>h</i> =900 mm or long freezing periods	<i>h</i> =1200 mm or long freezing periods	
Rockfall frequency	1 per 10 years	3 per year	6 per year	9 per year	

Class	V	IV	III	II	I
<i>SMR</i>	0–20	21–40	41–60	61–80	81–100
Description	Very bad	Bad	Normal	Good	Very good
Stability	Completely unstable	Unstable	Partially stable	Stable	Completely stable
Failures	Big planar or soil-like	Planar or big wedges	Some joints or many wedges	Some blocks	None

Modello modificato di Rockfall Hazard Rating System (Budetta, 2004)

## Appendice 2

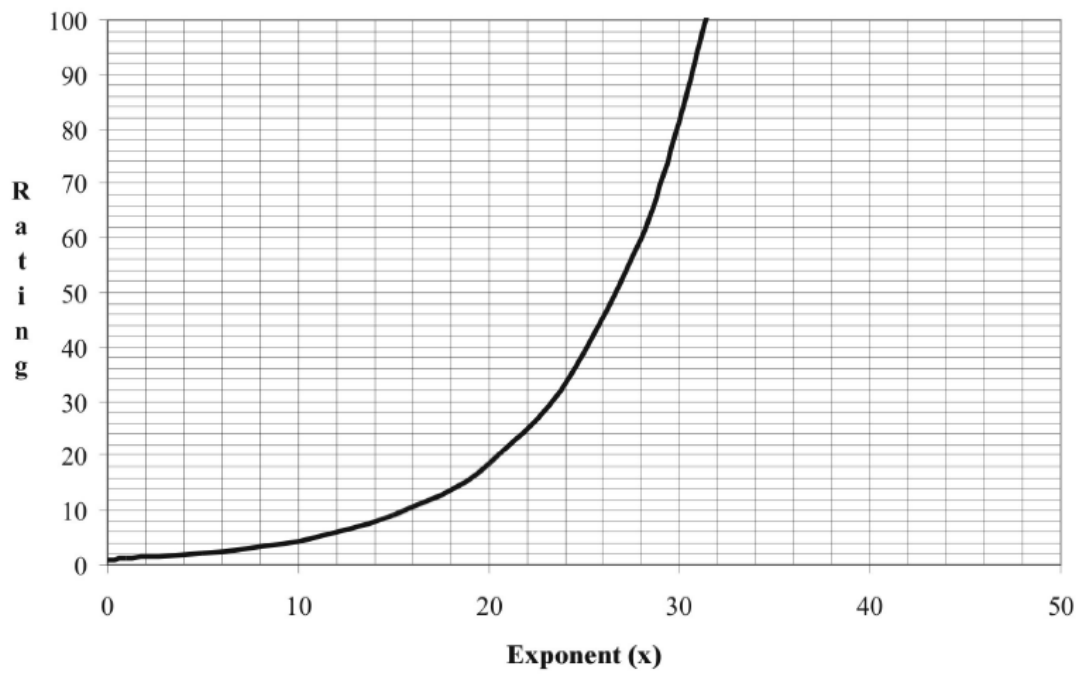


Grafico esponenziale che si può utilizzare per valutare i punteggi

## Appendice 3



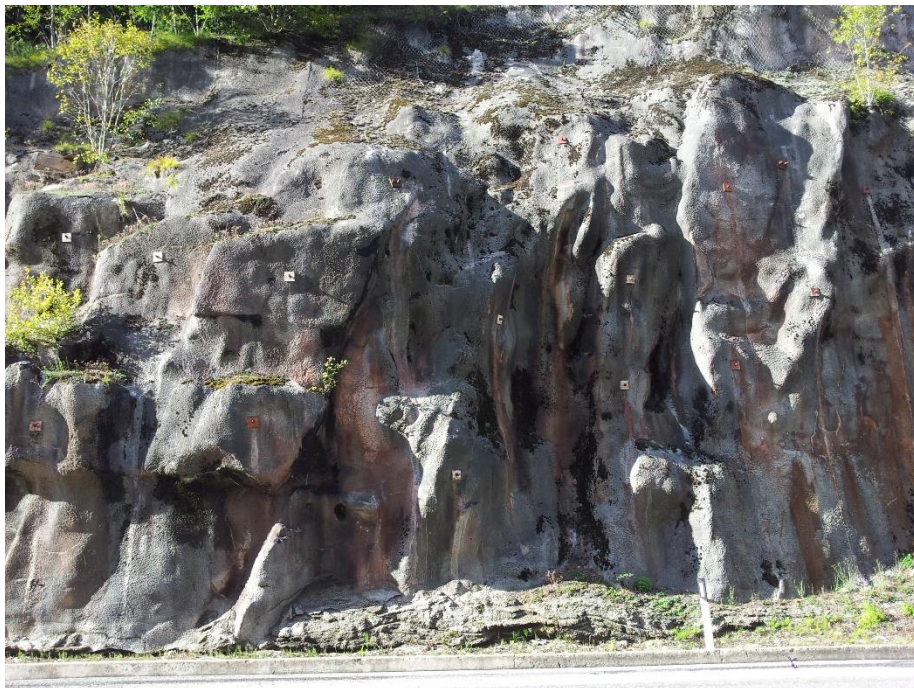
Elettrodistanziometro utilizzato per le misure delle altezze

## Appendice 4



Materiale franato presente nelle reti

## Appendice 8



Versante messo in sicurezza con chiodature gettate in spritz beton e reti (sopra)

## Bibliografia

- *Arpa Piemonte (2004). Progetto iffi – inventario fenomeni franosi in italia, l'esperienza in piemonte. centro regionale per le ricerche geologiche e territoriali.*
- *Berti M. (2011). Materiale didattico per il corso di stabilità dei versanti.*
- *Brogini V. (2010). Analisi del rischio da frane di crollo in presenza di sistemi di protezione passiva nella provincia autonoma di Bolzano*
- *Budetta P. (2004). Assessment of rockfall along roads. Natural Hazards and Earth System Science. Vol. 4, p71-81.*
- *Cruden D.M. & Varnes D.J. (1996). Landslide types and processes. in landslides investigation and mitigation, turner a.k. & schuster r.l. (eds), transportation*
- *Dellantonio E.(1996). Geologia delle Valli di Fiemme e Fassa*
- *Layton R. (2013). Decision Sight Distance, Prepared for Oregon Department of Transportation Salem, OR*
- *Marotto A. (2014). Bosco e dinamica dei crolli di roccia in ambiente dolomitico: Caso di studio di un versante del Monte Antelao (Vodo di Cadore, Belluno)*
- *Pierson, Gullixson & Chassie (2001). Rockfall catchment area design guide, FINAL REPORT SPR-3(032)*
- *Pierson, L.A., Davis, S.A. and Van Vickle, R. 1990. Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual. Federal Highway Administration (FHWA) Report FHWA-OR—EG-90-01. FHWA, U.S. Department of Transportation.*
- *Selli, Bargossi, Avanzini & Borsato (2010). Note illustrative della carta geologica d'Italia, Foglio 60 Trento (Progetto CARG).*
- *Semenza, Bartolomei, Corsi Dal Cin, D'Amico, Gatto, Nardin & Sacerdoti (1969). Note illustrative della carta geologica d'Italia, Foglio 21 Trento.*
- *Varnes D.J. (1978). Slope movement types and processes.*
- *Z. H. Li, H. W. Huang, J. Yin (2007). Risk Assessment of Rockfall Hazards on Highways*

## Sitografia

- [www.climate-data.org](http://www.climate-data.org)
- [www.protezionecivile.tn.it/](http://www.protezionecivile.tn.it/)
- [www.gis2.provinz.bz.it](http://www.gis2.provinz.bz.it)