



alcotra  
Ensemble au-delà les frontières  
Insieme oltre i confini 2007-2013



FEDER  
Fonds Européens pour le Développement  
Régional  
FESR  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

# MASSA

*Medium And Small Size rockfall hazard Assessment*

## AZIONE 1

Confronto di metodi speditivi per la  
valutazione della pericolosità da  
“caduta massi”

Relazione finale



Torino  
2013



# Progetto n. 065 MASSA

Valutazione della pericolosità da crollo o da caduta massi di taglia intermedia

**Azione 1 – Confronto di metodi speditivi per la  
valutazione della pericolosità da caduta massi**

*Relazione finale*

**Interreg IVc 2007-2013 Alpi Latine COoperazione TRANsfrontaliera (ALCOTRA)**

**Progetto n. 065 MASSA, Valutazione della pericolosità da crollo o da caduta massi di taglia intermedia**

**Azione 1 – Confronto di metodi speditivi per la valutazione della pericolosità da caduta massi – Relazione finale**

*<http://massa.geoazur.eu>*

*Autori*

**Arpa Piemonte – Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto, Torino, Italia**

**BRGM Direction Régional PACA, Marseille, Francia**

**CREALP, Sion, Svizzera**

con il contributo di:

**Provincia di Torino – Servizio Protezione Civile, Torino, Italia**

**CNR IRPI, Torino, Italia**

*Immagini di copertina:*

Tende (Dipartimento delle Alpi Marittime, Francia) - Pareti soprastanti le Gorges de la Roya (lato pagina)

Demonte (Provincia di Cuneo, Italia) - Strada per il Colle Fauniera (centro pagina)

*Coordinamento redazionale*

**Daniele Bormioli, Giuseppina Moletta, Michele Morelli**

Finito di stampare nel mese di marzo 2013 da:

Sirea S.R.L.

Via Belfiore, 60 – 10126 Torino - Italia

[www.sireaservice.it](http://www.sireaservice.it)

Stampato su carta BIANCOFFSET

Copyright 2013, Arpa Piemonte

Via Pio VII, 9 – 10135 Torino – Italia

[www.arpa.piemonte.it](http://www.arpa.piemonte.it)

ISBN 978-88-7479-122-4

L'Arpa Piemonte non è responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo documento.  
La riproduzione è autorizzata citando la fonte.

## **Partecipanti al progetto MASSA – Azione 1**

### ***Coordinamento scientifico del progetto***

Thomas Lebourg<sup>1</sup>

### ***Coordinamento amministrativo del progetto***

Marion Pierini<sup>2</sup>

### ***Responsabile Azione 1***

Daniele Bormioli<sup>3</sup>

### ***Attività di confronto dei tre metodi***

Daniele Bormioli<sup>3</sup>, Marta Castelli<sup>8</sup>, Davide Damato<sup>3</sup>, Anne Girard<sup>4</sup>, Luca Lanteri<sup>3</sup>, Nathalie Marcot<sup>4</sup>, Christian Maton<sup>4</sup>, Michele Morelli<sup>3</sup>, Jean-Bruno Pasquier<sup>5</sup>, Rocco Pispico<sup>3</sup>, Jean-Daniel Rouiller<sup>5</sup>, Dario Tosoni<sup>5</sup> con i contributi di Anselmo Cucchi<sup>3</sup>, Mauro Tararbra<sup>3</sup>

### ***Risultati di progetto esterni al confronto tra i tre metodi***

#### ***Il database MASSA***

Luca Lanteri<sup>3</sup>, Daniele Bormioli<sup>3</sup>, Michele Morelli<sup>3</sup>

#### ***Integrazione tra il metodo dei coni e la fratturazione dell'ammasso roccioso***

Michele Morelli<sup>3</sup>, Davide Damato<sup>3</sup>, Rocco Pispico<sup>3</sup>, Stefano Campus<sup>9</sup>

#### ***Attività di rilevamento e monitoraggio in ambito emergenziale***

Paolo Allasia<sup>7</sup>, Marco Baldo<sup>7</sup>, Connie Contrafatto<sup>6</sup>, Furio Dutto<sup>6</sup>, Daniele Giordan<sup>7</sup>, Giorgio Lollino<sup>7</sup>, Andrea Manconi<sup>7</sup>

### ***Redazione relazione finale***

Daniele Bormioli<sup>3</sup>, Michele Morelli<sup>3</sup>, Luca Lanteri<sup>3</sup>, Nathalie Marcot<sup>4</sup>, Jean-Bruno Pasquier<sup>5</sup>, Dario Tosoni<sup>5</sup>

***Gestione amministrativa per Arpa Piemonte:*** Elena Massari<sup>3</sup>, Simonetta Riva<sup>3</sup>

***Allestimento dei documenti nella fase pre-progettuale:*** Carlo Troisi<sup>9</sup>

***Traduzioni dal francese all'italiano della relazione finale:*** Daniele Bormioli<sup>3</sup>, Isabella Tinetti<sup>3</sup>, Dario Tosoni<sup>5</sup>

**1 Geoazur**

**2 INDURA – Infrastructures Durables Rhone-Alpes**

**3 Arpa Piemonte – Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto**

**4 BRGM – Bureau de Recherches Géologiques et Minières**

**5 CREALP – Centre de Recherche Environnement Alpin**

**6 Provincia di Torino – Servizio Protezione Civile**

**7 CNR IRPI – Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica**

**8 Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica**

**9 Regione Piemonte**

***Questa pubblicazione è dedicata a Vincent Bestagno***

*Qual è quella ruina che nel fianco  
di qua da Trento l'Adice percosse  
o per tremoto o per sostegno manco  
che da cime del monte, onde si mosse,  
al piano è sì la roccia discoscisa,  
ch'alcuna via darebbe a chi sù fosse*

Dante, Inferno, XII, 4-9 (a proposito della frana dei Lavini di Marco, presso Rovereto)

## Indice

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>DESCRIZIONE DEI 3 METODI</b>  | <b>8</b>  |
|          | • 2.1 - Il metodo Provialp   | 8         |
|          | • 2.2 - Il metodo BRGM   | 12        |
|          | • 2.3 - Il metodo Matterock short/light  | 16        |
| <b>3</b> | <b>SVOLGIMENTO DELLE ATTIVITÀ</b>  | <b>21</b> |
|          | • 3.1 - Sintesi dell'applicazione delle metodologie di studio delle pareti rocciose (Provialp, BRGM, Matterock short/light) sul versante pilota di «Iselle-dogana» il 19 maggio 2011 | 23        |
| <b>4</b> | <b>APPLICAZIONE DEI METODI</b>   | <b>24</b> |
|          | • 4.1 - Attività di rilievo di terreno   | 24        |
|          | • 4.2 - Tempistica di applicazione delle metodologie   | 30        |
|          | • 4.3 - Trattamento dei dati   | 33        |
|          | • 4.4 - Confronto dei prodotti finali  | 33        |
| <b>5</b> | <b>CONFRONTO TRA I METODI</b>  | <b>39</b> |
| <b>6</b> | <b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b>   | <b>53</b> |
|          | <b>ALLEGATI</b>  | <b>54</b> |
|          | • Allegato 1 - Lessico tecnico   | 54        |
|          | • Allegato 2 - Applicazione delle tre metodologie sul sito pilota di Iselle-dogana   | 57        |
|          | • Allegato 3 - Prodotti realizzati da Arpa Piemonte  | 71        |
|          | • Allegato 4 - Rilevamento e monitoraggio in ambito emergenziale   | 77        |



## 1 – INTRODUZIONE

I fenomeni franosi di crollo, che vanno dalla semplice caduta massi sino ai distacchi in massa di parecchi milioni di metri cubi, rappresentano una delle tipologie di fenomeno franoso più diffusa e problematica nell'arco alpino. La grande estensione delle pareti rocciose che possono costituire zone di distacco, l'elevata velocità dei blocchi in caduta, la vastità delle possibili zone di invasione fanno sì che tale tipologia di fenomeno rappresenti una reale e costante minaccia per molte vallate alpine ed in particolare per gli assi viari. Le condizioni di rischio associate a tale tipo di fenomeno, inoltre, aumentano sensibilmente con lo sviluppo delle reti viarie, con l'aumento del traffico e con l'aumento dei volumi turistici.

I recenti crolli che hanno interrotto l'accesso al tunnel del Gottardo nel 2006, del Monte Bianco nel 2007 e del Sempione nel 2008, causando l'interruzione del traffico internazionale per parecchie settimane, hanno avuto gravi conseguenze sia dal punto di vista economico che ambientale (deviazione del traffico, concentrazione dello stesso in altri punti ecc.). Questi eventi hanno dimostrato che i criteri scientifici e amministrativi che determinano le decisioni di apertura-chiusura degli assi viari bloccati da frane non sono gli stessi da una parte e dall'altra delle frontiere.

Gli enti pubblici francesi, svizzeri ed italiani hanno messo a punto proprie metodologie di valutazione speditiva della pericolosità da caduta massi lungo gli assi viari che, se da un lato, dimostrano la necessità comune di questi paesi di gestire il rischio legato alla caduta massi, dall'altro sono di fatto tra loro indipendenti e rendono la gestione degli assi viari delle regioni frontaliere poco efficaci.

Tali metodi sono:

- 1) il *metodo Proviaalp* sviluppato in Italia da Arpa Piemonte nell'ambito dell'interreg IIIa Alcotra n. 165 e applicato in cinque assi vallivi dell'arco alpino occidentale; comprende e combina sia aspetti di valutazione di tipo geomeccanico in parete ed aspetti di propagazione dei blocchi con modelli traiettografici;
- 2) il *metodo BRGM* sviluppato in Francia dal Bureau de Recherches Géologiques et Minières ed applicato sulla valle della Roya (Alpi Occidentali); consente essenzialmente di ottenere valutazioni speditive delle zone di invasione attraverso modellazioni, previa valutazione speditiva delle possibilità di distacco in parete;
- 3) il *metodo Matterock short/light*, sviluppato dal CREALP (Centre de Recherche en Environnement Alpin) ed applicato in Svizzera; riguarda essenzialmente la valutazione speditiva delle possibilità di distacco in falesia e non comporta di solito valutazioni di tipo traiettografico; è stato pensato soprattutto come metodo di stima del pericolo lungo un tratto di strada molto lungo come il Sempione svizzero, ma permette anche la valutazione rapida della situazione subito dopo un evento di crollo.

L'insieme dei tre metodi copre una completa gamma di possibilità applicative quali:

- valutazione rapida, in fase di emergenza, delle condizioni di pericolosità in parete, spesso necessaria a seguito di crolli verificatisi;
- valutazione speditiva su lunghi tratti di rete viaria per l'identificazione di settori critici da sottoporre ad analisi di dettaglio;
- valutazione speditiva su lunghi tratti delle condizioni di pericolosità da crollo a fini di pianificazione delle opere di protezione.

Sulla base di quanto sopra descritto nasce quindi l'esigenza di confrontare i differenti metodi e di tentare di armonizzare le tecniche di valutazione della pericolosità tra i paesi transfrontalieri, come esplicitamente richiesto dalla Convenzione delle Alpi\*.

\* La Convenzione per la protezione delle Alpi è una convenzione quadro intesa a salvaguardare l'ecosistema naturale delle Alpi e a promuovere lo sviluppo sostenibile in quest'area, tutelando gli interessi economici e culturali delle popolazioni residenti nei Paesi aderenti; fu firmata da tutti i paesi alpini il 7 novembre del 1991.



## 2 – DESCRIZIONE DEI 3 METODI

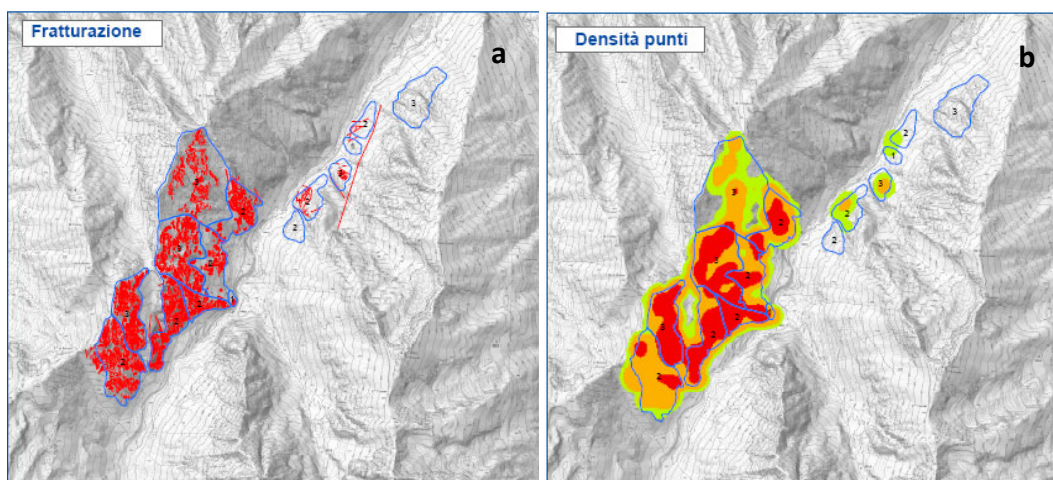
Vengono di seguito brevemente descritti i tre metodi di valutazione speditiva della pericolosità da caduta massi adottati dai partner del progetto. Ciascuna metodologia è caratterizzata da un lessico specifico che comprende termini che, come ad esempio “aléa”, sono utilizzati con significati diversi dal partner francese e svizzero. E’ parso perciò opportuno riportare in **ALLEGATO 1** il lessico proprio di ciascuna metodologia. Ogni termine è riportato nella lingua originale con accanto la sigla del paese di riferimento (I per l’Italia, F per la Francia, CH per la Svizzera).

### 2.1 – Il metodo Proviarp

Il metodo Proviarp nasce dalla collaborazione tra Arpa Piemonte e il Cemagref di Grenoble nell’ambito del progetto Interreg IIIa Alcotra n. 165 PROVIALP (Protezione della Viabilità Alpina) sviluppato tra il giugno 2005 e il dicembre 2007. Il progetto ha riguardato l’asse 2, misura 2.1 “*Mobilità e sistema dei trasporti*”, tipologia d’azione B2-1 “*Migliorare, integrare (...) e mettere in sicurezza le infrastrutture di trasporto (strade, linee ferroviarie, marittime e aeree) di interesse transfrontaliero*”. A tal fine Arpa Piemonte ha sviluppato in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica del Politecnico di Torino una proposta metodologica di valutazione speditiva della suscettibilità (I) da crollo ovvero della probabilità di accadimento di questo tipo di fenomeni franosi in una data area.

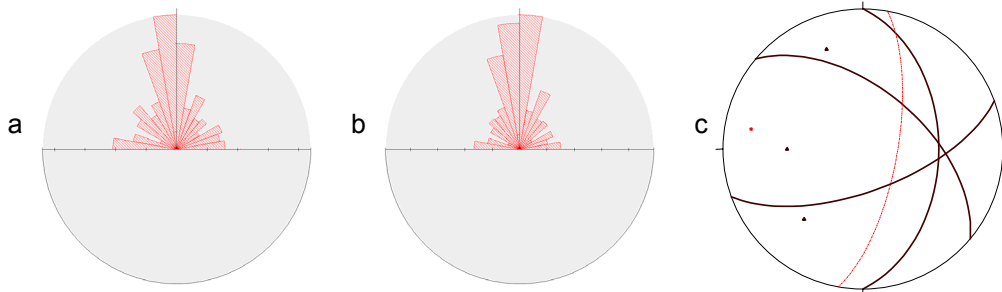
La metodologia messa a punto si basa su una serie di azioni collegate tra di loro:

1. **ricerca bibliografica** di archivio sui fenomeni franosi di crollo verificatisi nell’area di studio; questo primo passo permette di definire una ricorrenza spazio-temporale dei fenomeni di crollo e un loro inquadramento tipologico (tipi di instabilità prevalenti e dimensioni più frequenti);
2. **analisi geomorfologica e strutturale** ottenuta dall’interpretazione di foto aeree, rivolta all’identificazione di aree omogenee (I) ove applicare in seguito l’indagine di terreno. Le aree omogenee (I) vengono individuate integrando gli elementi geomorfologici (orientazione e pendenze del fronte, grado di esposizione ecc..) e morfometrici (altezza, lunghezza del fronte, ecc..) con lo stato di fratturazione dell’ammasso roccioso ottenuto dall’analisi geostatistica delle intersezioni delle fratture (figura 2.1). Le aree omogenee (I) sono classificate in 3 categorie: di tipo 1 se il rilievo può essere condotto agevolmente a ridosso della parete; di tipo 2 se il rilievo viene effettuato a distanza; di tipo 3 se non è possibile realizzare un rilievo speditivo affidabile a causa dell’eccessiva lontananza delle pareti e/o della complessità strutturale. La perimetrazione delle aree omogenee (I) viene affinata nel corso dei rilievi di terreno;



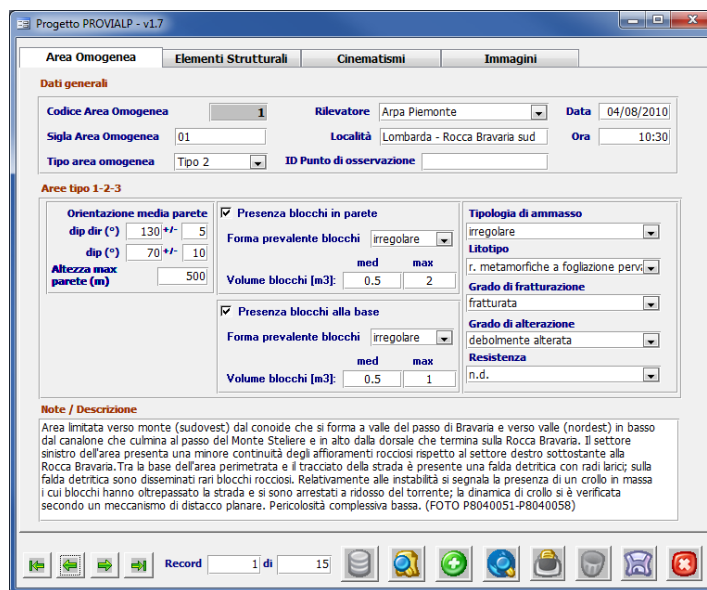
**Figura 2.1** – a: distribuzione della fratturazione ottenuta dall’interpretazione di viste prospettive 3D di foto aeree; b: carta della densità di intersezione della fratturazione. I numeri rappresentano le tipologie di area omogenea (I)

3. **rilievo geologico-strutturale speditivo** lungo gli assi vallivi, che comporta per ciascuna area omogenea (I) la caratterizzazione di alcuni elementi geomorfologici generali, l'analisi dei principali sistemi di fratturazione che interessano l'ammasso roccioso supportata dall'esame della distribuzione e della orientazione dei sistemi di fratture individuate su foto aree (figura 2.2), il censimento dei cinematismi (I) (scivolamenti planari, scivolamenti a cuneo, ribaltamenti) e la realizzazione di riprese fotografiche panoramiche e di dettaglio.



**Figura 2.2** – Esempio di confronto tra le misure strutturali derivate a scale differenti (esempio di un'area omogenea del Vallone di S. Anna); a e b: diagrammi a rosa della frequenza azimutale e delle lunghezze cumulative delle fratture individuate su viste prospettive in 3D di foto aeree; c: diagrammi strutturali di terreno (proiezione stereografica equiangolare emisfero inferiore); le ciclografiche indicano i sistemi di discontinuità misurati sul terreno (linee nere) e l'orientazione del fronte (linea rossa tratteggiata)

L'insieme dei dati rilevati viene direttamente acquisito su *tablet pc* attraverso un *database* (figura 2.3) espressamente dedicato ai dissesti per crollo e un *software* libero sviluppato per il rilevamento di terreno (BeeGis);



**Figura 2.3** – Esempio di maschera a schede del database

4. **analisi probabilistica** delle condizioni di rottura in parete dei cinematismi (I) individuati. Il metodo adottato è basato sull'approccio dell'equilibrio limite e della tecnica probabilistica di Monte Carlo, a partire dalle distribuzioni statistiche semplificate dei dati strutturali rilevati, senza prendere in considerazione la variabile tempo. I risultati sono stati ottenuti mediante l'applicazione dei seguenti programmi di calcolo:

- **Plasmon** (Pisani, 2005): cinematismo per scivolamento planare;
- **Wintam** (Major et al., 1974): cinematismo per scivolamento a cuneo;
- **Toppling Stones** (Allodi e Castelli, 2007): cinematismo per ribaltamento a blocchi.

Per ciascun *cinematismo (I)* sono state effettuate 1000 estrazioni di Monte Carlo. Gli unici parametri forniti in senso statistico sono quelli relativi alla giacitura dei piani coinvolti. Ad essi viene associata una distribuzione di frequenza uniforme corrispondente all'intervallo di variazione fornito dal rilievo speditivo. Il risultato per ogni *area omogenea (I)* è un *indice di distacco (I)*, funzione della *probabilità di rottura (I)* di ogni meccanismo e del relativo volume medio (tabella 2.1);

| Area omogenea | Cinematismo | PR (%) | Vol (m3) | ID (-) |
|---------------|-------------|--------|----------|--------|
| 1             | 01P01       | 11.30  | 0.5      | 0.0565 |
| 5             | 05P01       | 1.40   | 1.5      | 0.021  |
| 8             | 08P01       | 0.40   | 2.25     | 0.027  |
|               | 08P02       | 0.80   | 2.25     |        |
| 9             | 09P01       | 42.90  | 0.25     | 0.107  |
| 10            | 10P01       | 23.60  | 1.5      | 0.354  |
| 11            | 11C01       | 8.50   | 3        | 0.255  |
| 18            | 18P01       | 9.30   | 1.05     | 0.377  |
|               | 18P02       | 9.30   | 3        |        |
| 27            | 27P01       | 3.80   | 12       | 0.456  |
| 35            | 35P01       | 56.90  | 0.5      | 0.491  |
|               | 35P02       | 41.30  | 0.5      |        |

**Tabella 2.1** – Risultati dell'analisi probabilistica (PR=probabilità di rottura; Vol=volume rappresentativo; ID=indice di distacco)



5. **analisi traiettografica (I)** con il programma di simulazione tridimensionale Rotomap che consente di valutare le zone di invasione. L'analisi di propagazione con modello tridimensionale viene effettuata sulla base di un metodo *lumped mass* che considera cioè la massa del blocco concentrata in un punto e ne analizza il moto lungo il pendio in funzione delle fasi di volo libero, rimbalzo e rotolamento secondo i principi della cinematica; i dati di ingresso sono rappresentati dalla massa valutata attraverso i rilievi di terreno, dall'*indice di distacco (I)* derivante dall'analisi probabilistica e dai parametri di restituzione attribuiti al terreno su cui i blocchi in caduta impattano. Il risultato più importante è rappresentato dall'*indice di suscettibilità (I)* dato dal prodotto dell'energia cinetica calcolata per la *probabilità di rottura (I)* che permette di evidenziare le zone a maggiore pericolosità relativa spaziale.

Dall'applicazione del metodo ProviaIp derivano una serie di prodotti sia di tipo tabellare che cartografico.

In particolare per ciascuna *area omogenea (I)* individuata vengono forniti:

- un *report* automatico, derivante dal *database* di raccolta dei dati, che contiene le caratteristiche generali dell'area, le caratteristiche delle discontinuità principali e lo stereogramma relativo, le caratteristiche delle instabilità rilevate, le fotografie panoramiche e di dettaglio (figura 2.4);

- i risultati dello studio probabilistico che comprendono le analisi cinematiche, costituite da tabelle e stereogrammi, e le analisi probabilistiche in forma tabellare.


**PROGETTO MASSA**  
**Scheda di rilevamento di terreno**


---

**Dati Generali**

Codice: 1055 Località: Iselle ovest Data: 19/05/2011 Ora: 09:00

Tipo Area Omogenea  
 Tipo 1  Tipo 2  Tipo 3

Punto Osservazione: opposto Orientazione parete: dip dir: 120 aS  
dip: 80aS

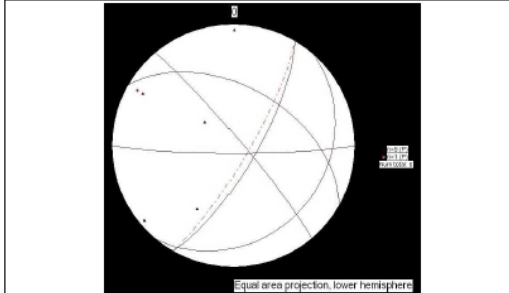
**Descrizione:**  
 Area test con svizzeri e francesi. Settore di parete a ovest dell'abitato di Iselle. In destra litografica rispetto ad una marcata incisione definita da un piano di faglia. Il settore si articola in 5 fasce principali. Sul fronte principale i orientamenti diffusi sono generalmente di piccole dimensioni. Alla base della parete, sulla scarpata soprastante la strada nazionale, sono presenti blocchi di maggiori dimensioni conseguenti al crollo di grosse instabilità probabilmente provenienti dalla parte alta del versante all'interno del canale generato dalla faglia, attualmente è evidente un grande blocco staccato a tergo posizionato sul fronte locale 230/85 definito dal piano di faglia stesso.

**Litologia:**  
 f. metamorfiche poco o nulla foliate

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <b>Tipologia Ammasso</b><br><input checked="" type="radio"/> Massivo<br><input type="radio"/> Bloccoso<br><input type="radio"/> Tabulare<br><input type="radio"/> Colonnare<br><input type="radio"/> Irregolare<br><input type="radio"/> Frantumato | <b>Grado di fratturazione</b><br><input type="radio"/> Sana<br><input checked="" type="radio"/> Fratturata<br><input type="radio"/> Rilasciata<br><input type="radio"/> Disarticolata | <b>Grado di alterazione</b><br><input type="radio"/> Inalterata<br><input checked="" type="radio"/> Debolmente ait.<br><input type="radio"/> Moderatamente ait.<br><input type="radio"/> Fortemente ait.<br><input type="radio"/> Completamente ait. | <b>Resistenza</b><br><input type="radio"/> Estremamente debole<br><input type="radio"/> Molto debole<br><input type="radio"/> Debole<br><input type="radio"/> Mediamente debole<br><input checked="" type="radio"/> Resistente<br><input type="radio"/> Molto Resistente<br><input type="radio"/> Estremamente resistente |
|---|---|--|---|

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Blocchi in parete<br>Forma Blocchi<br><input type="radio"/> Prismatica <input type="radio"/> Irregolare<br><input checked="" type="radio"/> Tabulare <input type="radio"/> n.d. | Volume blocchi (mc)<br>max: 2,5<br>med: 0,5 | <input checked="" type="checkbox"/> Blocchi Alla base<br>Forma Blocchi<br><input type="radio"/> Prismatica <input type="radio"/> Irregolare<br><input checked="" type="radio"/> Tabulare <input type="radio"/> n.d. | Volume blocchi (mc)<br>max: 2,5<br>med: 0,5 |
|---|---|---|---|

**Dati Strutturali**



Equal area projection, lower hemisphere

**Figura 2.4** – Pagina iniziale del report automatico generato a partire dal database di rilevamento

A scala dell'intero settore vallivo studiato sono fornite le seguenti cartografie:

- carta dei rilievi di terreno (*aree omogenee (I)*, *instabilità ubicate (I)*, ubicazione fotografie)
- carta dei risultati desunti dall'applicativo Rotomap
- carta della *suscettibilità (I)*

Inoltre, nel corso del progetto MASSA è stato sviluppato da Arpa Piemonte un metodo agile di analisi della suscettibilità da frane di crollo in parte già adottato nell'ambito del progetto Provalp. Si tratta di un metodo che integra il modello di *run-out* dello "shadow angle" o "metodo dei coni" (qui implementato e modificato in ambiente GIS con il nome di PROTO <http://www.adaptalp.org>) con la distribuzione spaziale della densità di intersezione della fratturazione dell'ammasso roccioso. Questo metodo ha lo scopo di vincolare il modello di *run-out* al contesto strutturale dell'area in studio in base al presupposto che le rocce caratterizzate da un'elevata densità di fratturazione e quindi da uno stato di deformazione elevato, siano soggette, a parità di altre condizioni, ad una maggiore predisposizione all'instabilità da crollo (**ALLEGATO 3**).

## 2.2 – Il metodo BRGM

### **Obiettivi del metodo**

La metodologia che il BRGM propone di applicare nell'ambito del progetto MASSA ha come obiettivo la valutazione dell'aléa chute de blocs (F) in modo rapido, su di un tronco stradale di una decina di chilometri, basandosi su una caratterizzazione dell'esperto di dominio e sull'interpretazione con strumenti cartografici. L'obiettivo consiste nel cartografare le zone di aléa chute de blocs (F), ovvero le zone in cui la probabilità di accadimento di fenomeni di caduta massi varia da debole a molto forte, in funzione dei parametri del sito, sia che si tratti di piccoli volumi (qualche dm<sup>3</sup>) sia di volumi più importanti (parecchi m<sup>3</sup>).

In effetti il BRGM ha valutato che la circolazione stradale può essere bloccata da un evento di caduta massi malgrado questi siano di volume esiguo. Inoltre la probabilità che si verifichino cadute massi di volume esiguo è nettamente più alta rispetto alla possibilità che grandi masse si destabilizzino frammentandosi successivamente in blocchi di decine di m<sup>3</sup>; conseguentemente si è deciso di valutare, con questa metodologia, un'aléa chute de blocs (F) detta «diffusa», ovvero considerando la destabilizzazione di quei blocchi aventi volume tra i 0,5 e 4-5 m<sup>3</sup>. Verranno quindi valutati soltanto i blocchi di volume esiguo mentre le masse potenzialmente instabili di diverse decine sino a centinaia di m<sup>3</sup> non saranno espressamente contemplate in questa relazione. L'aléa chute de blocs (F) così cartografata sarà funzionale ad un'intensità relativa a volumi non superiori ai 5 m<sup>3</sup> e a tempi di ritorno relativamente brevi (annuali fino a biennali).

### **Azioni del BRGM**

La metodologia che il BRGM propone di applicare nell'ambito del progetto MASSA si basa sull'analisi di un esperto di dominio per quanto concerne la fase di osservazioni a terra, successivamente completata tramite strumenti di supporto alla cartografia di propagazione (trajectographie (F)) deterministica e probabilistica, ma pur sempre empirica) al fine di perfezionare le delimitazioni dei diversi livelli di aléa chute de blocs (F).

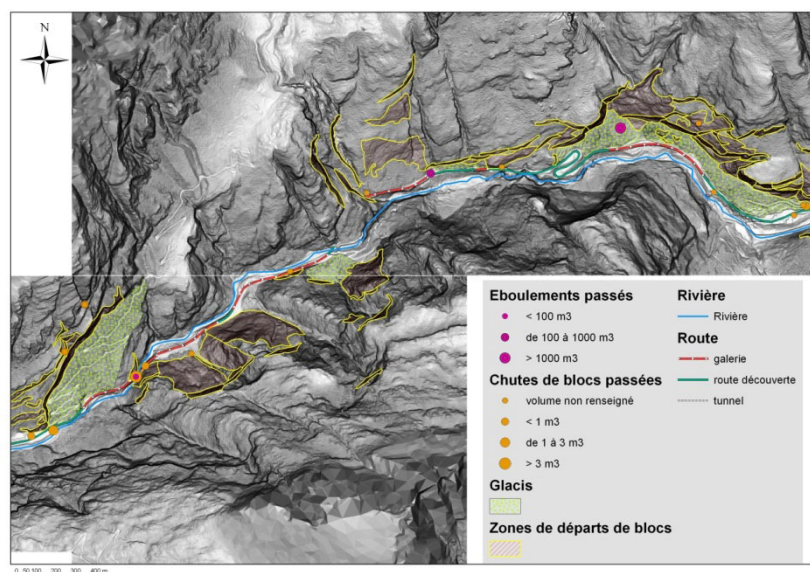
### **Aspetti interessanti del metodo**

Questa metodologia permette di realizzare in maniera relativamente rapida un rilievo degli indizi sul terreno da parte di un geologo qualificato e, nel contempo, un'analisi e un'interpretazione dei dati basate su pochi applicativi: un software GIS, un software di trajectographie (F) e uno strumento di supporto alla cartografia del tipo BORA.

### **Applicazione alla Valle del Sempione (I/CH) e al Colle della Lombarda (I)**

Il procedimento adottato per cartografare in modo «rapido» l'aléa chute de blocs (F) nelle due zone ha seguito la metodologia descritta di seguito (figura 2.5), ovvero:

- suddivisione del settore di studio in zones homogènes (F) dal punto di vista geomorfologico;
- descrizione generale della parete o affioramento roccioso per ogni zona individuata, quindi descrizione dettagliata degli elementi rilevanti (massi passibili di distacco, nicchie relativamente fresche);
- descrizione del versante al piede della parete (quando esistente) come zona di ricezione nonché zona potenzialmente suscettibile di produrre massi alla base della zona di produzione principale: detrito presente, taglia dei blocchi situati sul versante, presenza d'acqua, ...;
- analisi strutturale tramite misure effettuate ai piedi della parete o a vista e valutazione della fratturazione distinguendo le famiglie di fratture (per le quali si determinano, quando possibile, la frequenza, l'apertura e la persistenza).



**Figura 2.5** – Sintesi cartografica degli elementi utilizzati per la valutazione dell'aléa chute de blocs (F), rappresentati su una base DTM per il settore svizzero della Valle del Sempione

### **Valutazione della susceptibilité de départ (F)**

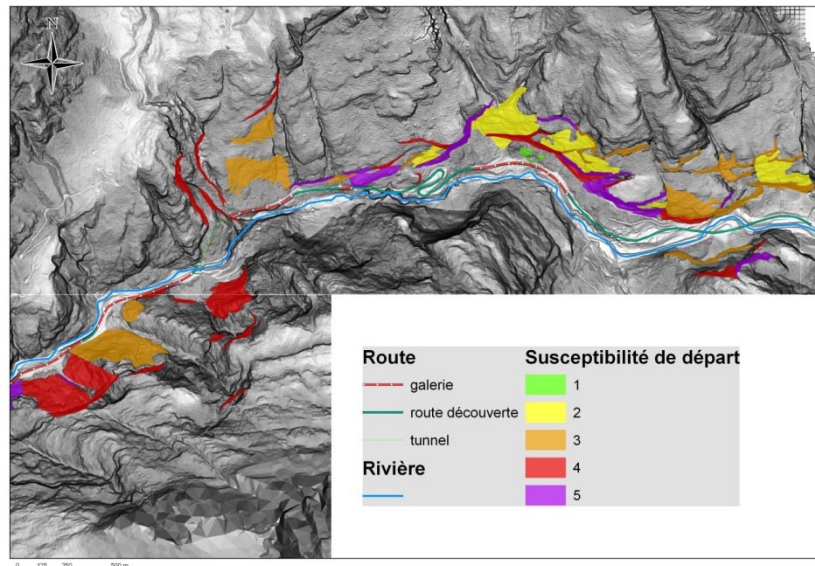
La susceptibilité de départ (F) è stata valutata secondo criteri che, a prescindere da quelli desunti dalle misure della fratturazione, sono qualitativi e valutati dall'esperto di dominio. Ciascun criterio è valutato secondo tre classi di intensità che consentono l'attribuzione di un valore arbitrario ad ogni zona di produzione di massi.

- criteri morfologici e valutati dall'esperto (pendenza media, altezza media, aspetto generale della parete, stato dello strapiombo, presenza di acqua nella fratturazione, ...);
- criteri strutturali (famiglie di fratture, diedri e piani instabili).

La susceptibilité de départ (F) finale corrisponde alla somma ponderata dei punteggi di ogni criterio (figura 2.6). Successivamente è stata trasposta in forma cartografica (figura 2.7).

| Criteria   | Coefficienti di ponderazione |
|--|------------------------------|
| Inclinazione della parete  | C1=3                         |
| Altezza della parete   | C2=2                         |
| Aspetto della parete   | C3=3                         |
| Condizione degli scivolamenti planari (se presenti)  | C4=2                         |
| Condizione degli strapiombi (se presenti)  | C5=2                         |
| Presenza d'acqua nelle fratture  | C6=1                         |
| Numero di diedri e planari instabili   | C7=3                         |
| <b><u>Susceptibilité de départ (F)</u> = C1*(Valore-inclinazione della parete) + C2*(Valore-altezza della parete) + C3*(Valore-aspetto della parete) + C4*(Valore-scivolamenti planari) + C5*(Valore-presenza di strapiombi) + C6*(Valore-acqua) + C7*(Valore-piani sfavorevoli)</b> |                              |

**Figura 2.6** – Sintesi dei criteri morfologici e strutturali per la Valle del Sempione

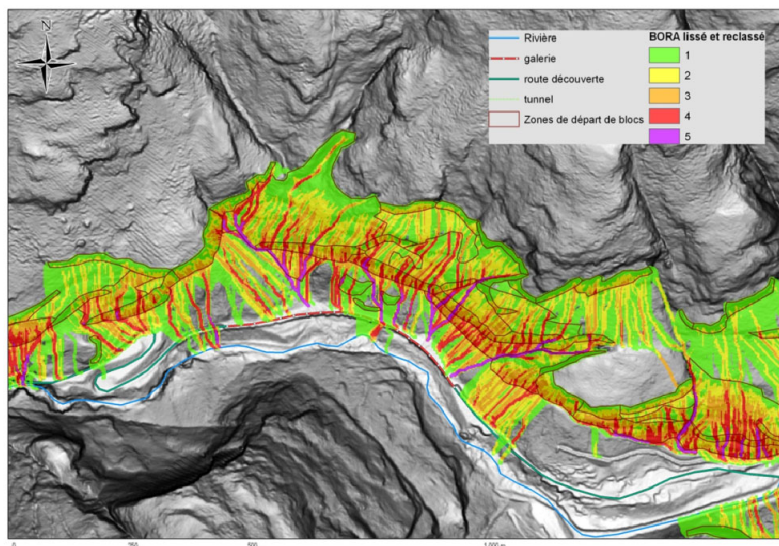


**Figura 2.7** – Cartografia della susceptibilité de départ (F) sul tratto stradale svizzero del Sempione

**Studio della propagazione e della trajectographie (F)**

L'aléa final de chute de blocs (F) prende in considerazione la susceptibilité de départ (F) e le eventuali attenuazioni dell'aléa stessa dovute alla propagazione e quindi alle caratteristiche del rilievo. La propagazione viene stimata tramite il *software* empirico BORA, sviluppato dal BRGM ad uso interno. Non si tratta di uno strumento di modellizzazione ma di supporto alla cartografia che consente il tracciamento di zone potenzialmente raggiungibili dai massi (figura 2.8).

Il *software* di propagazione BORA è stato creato su base empirica e di conseguenza non può calcolare l'estensione esatta del fenomeno di caduta massi. In effetti questo programma non prende in considerazione i parametri fisici dovuti alla pendenza (rugosità, coefficiente di attrito e di restituzione...) o ai massi (volume, grandezza, forma). Il *software* BORA non tiene conto altresì dei potenziali rimbalzi che i massi possono subire variando così il loro punto di arresto.

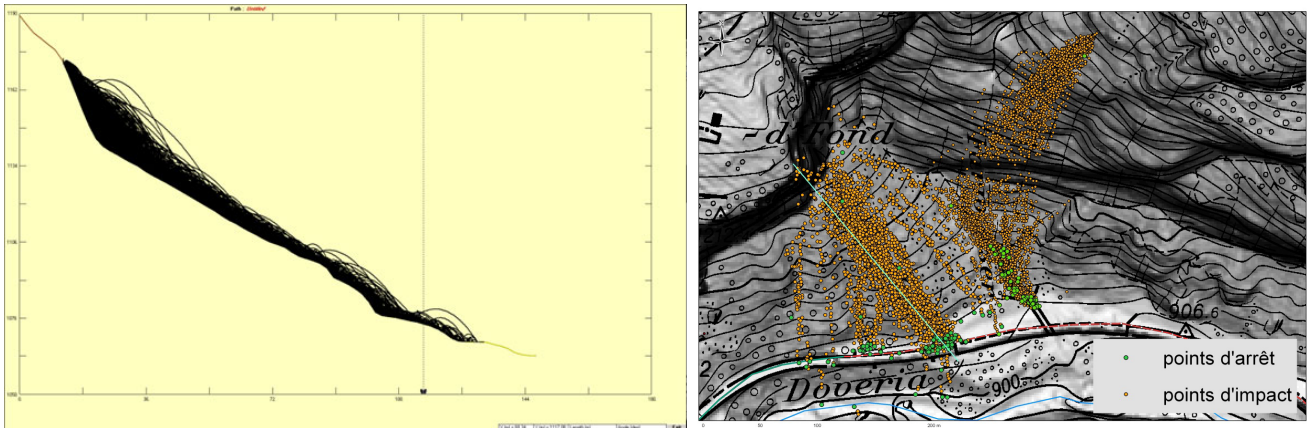


**Figura 2.8** – Cartografia dell'aléa de propagation (F) corrispondente ai risultati grezzi forniti da BORA, riclassificati in 5 classi e lisciati (caso del Sempione svizzero)

Per questo è parso necessario integrare la definizione cartografica dell'aléa chute de blocs (F) tramite valutazioni di trajectographie (F) con l'ausilio di *software* classici (deterministici/probabilistici) quali Pierre 98 2D e 3D (figura 2.9).

L'obiettivo nell'utilizzo di Pierre98 2D è poter determinare in modo più preciso l'estensione a valle del fenomeno di caduta massi. Pierre 98 2D è un *software* di *trajectographie (F)* che permette di modellare il comportamento di un masso (rimbalzi, velocità, punto di arresto...) lungo un profilo topografico.

Il *software* Pierre98 3D permette la visualizzazione tridimensionale delle traiettorie di un masso caduto da un determinato punto e viene utilizzato in una seconda fase per ottenere una migliore visualizzazione della propagazione dei blocchi. L'algoritmo di base è lo stesso di quello utilizzato da Pierre98 2D ma in questo caso i massi si propagano per celle anziché per segmenti. Viene utilizzato un DTM sul quale è applicata una maglia dello stesso passo del DTM, ma alle cui celle vengono attribuiti i parametri del suolo scelti ad hoc.

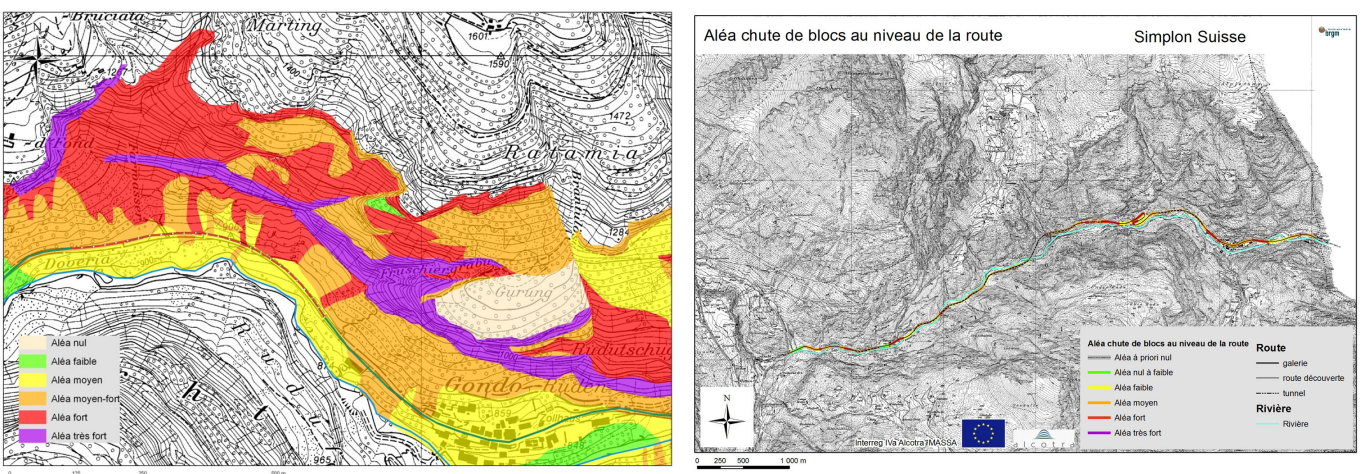


**Figura 2.9** – Rappresentazione su diagramma dei risultati ottenuti con Pierre98 2D (a sinistra) e su GIS delle simulazioni con Pierre98 3D che evidenziano la ripartizione tra punti di impatto e punti di arresto dei blocchi (a destra)

### **Valutazione dell'aléa final de chute de blocs (F)**

La zonazione dell'aléa final de chute de blocs (F) è realizzata dall'esperto di dominio a partire dalle zone di propagazione definite da BORA, dai risultati delle simulazioni effettuate con Pierre 2D e 3D e dalle osservazioni di terreno (figura 2.10).

I risultati ottenuti con BORA consentono di visualizzare le direzioni preferenziali seguite dai massi e quindi le zone con probabilità di coinvolgimento più o meno intensa. Essi sono altresì utili per fornire probabilità di arrivo dei blocchi relativamente a ciascuna zona.



**Figura 2.10** – Cartografia che rappresenta i limiti finali dell'aléa chute de bloc (F) complessiva globale e aléa chute de blocs (F) riferita solamente al tratto stradale svizzero del Colle del Sempione



## 2.3 – Il metodo Matterock short/light

Il metodo Matterock utilizzato nel cantone del Vallese in Svizzera si articola in vari livelli di studio a seconda della scala di analisi e della precisione richiesta: «completo» se si tratta di uno studio di dettaglio, «short» per uno studio regionale e «light» per uno studio speditivo. Per rispondere alle necessità del progetto MASSA è stata proposta una variazione del metodo denominata «Matterock short/light». Nei capitoli seguenti sono illustrate le differenti tappe che caratterizzano il metodo e i lavori realizzati.

### Attività preparatorie

Prima dell'avvio della campagna di terreno, vengono svolte le seguenti attività preparatorie:

- sintesi dei documenti geologici esistenti (carte geologiche, relazioni di studio);
- creazione di un catasto degli eventi passati con il fine di individuare i settori che dovranno essere analizzati prioritariamente;
- preparazione della cartografia topografica (dove possibile alla scala 1:5000 o 1:10000), delle ortofoto e del materiale di rilevamento (bussola, altimetro, binocolo, macchina fotografica).

### Attività di terreno

L'acquisizione dei dati sul terreno costituisce la **fase più importante del metodo** e può rappresentare circa un terzo del tempo dedicato allo studio. Dati incompleti o approssimativi si ripercuotono sull'insieme dell'analisi influenzando negativamente la qualità dei risultati. I rilievi di terreno si svolgono in due tempi.

Viene effettuata una **prima campagna** di rilevamento al fine di:

- individuare i punti di osservazione delle pareti a distanza, generalmente dal basso o dal versante opposto;
- suddividere le zone di studio in settori omogenei in funzione della morfologia, dell'orientamento delle pareti, dei punti di osservazione e dell'accessibilità;
- realizzare foto panoramiche delle pareti che serviranno al posizionamento delle *aléas*<sup>1</sup> durante la seconda campagna di rilevamento.

Durante la **seconda campagna** di terreno si realizzano i seguenti lavori:

- definizione dell'assetto strutturale delle pareti, per tratti omogenei, dopo aver individuato e descritto le principali famiglie di discontinuità.
- identificazione e caratterizzazione delle *aléas (CH)* per le quali viene definito il meccanismo di instabilità, il volume instabile, la dimensione dei massi e la *dangerosité (CH)*. Sono distinte le *aléas ponctuels (CH)* facilmente riconoscibili e le *aléas diffus (CH)*. Per le *aléas diffus (CH)* sono spesso distinti differenti scenari di rottura;
- valutazione della *probabilité d'atteinte (CH)* della strada per ogni *aléas (CH)* e per ogni scenario di rottura, sulla base di un blocco o volume di riferimento e secondo criteri morfologici (pendenza del versante, natura e rugosità del terreno, copertura arborea, attività).

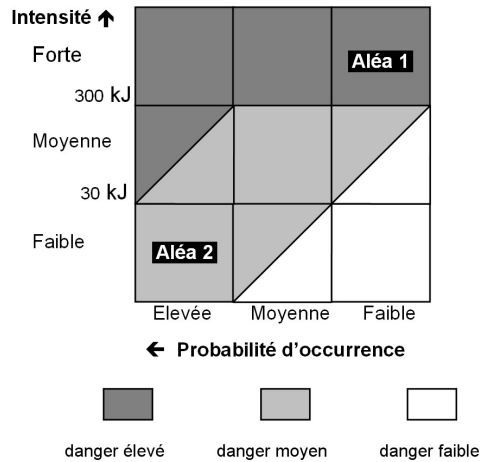
Nell'ambito specifico del progetto MASSA questa seconda campagna di ricognizione è stata realizzata da un'equipe di 2 geologi esperti di dominio e questo ha permesso, oltre ai vantaggi pratici e di sicurezza, di migliorare la qualità dei rilievi. Le pareti sono state studiate principalmente a distanza e le osservazioni sono state successivamente validate e completate in base agli affioramenti presenti lungo gli assi stradali esaminati.

---

<sup>1</sup> Aléa è utilizzato in senso vallesano come volume roccioso potenzialmente instabile. Sinonimo: instabilità

**Valutazione del danger (CH)**

Il metodo Matterock short/light segue le norme federali svizzere, secondo le quali il grado di danger (CH) di un sito minacciato da caduta massi è proporzionale all'intensità dell'urto e alla probabilità di accadimento dell'impatto. Il danger (CH) è valutato tramite un diagramma a due valori "intensité (CH) – probabilité d'occurrence (CH)" (figura 2.11).



**Figura 2.11** – Diagramma intensité (CH)– probabilité d'occurrence (CH) che definisce il danger (CH) da caduta massi

La probabilité d'occurrence (CH) è la probabilità che un blocco che si mobilizza da una parete possa raggiungere l'oggetto o il perimetro minacciato (probabilité d'atteinte (CH)), valutato in funzione della dangerosité (CH) del blocco stesso (= probabilità di rottura o di distacco), (figura 2.12). La frequenza dei fenomeni osservabili è un altro criterio che, quando valutabile, influenza ugualmente la probabilité d'occurrence (CH).

La probabilité d'occurrence (CH) di un evento, come la dangerosité (CH) di una instabilità, è classificata in:

- Elevata: periodo di ritorno compreso tra 1 e 30 anni
- Media: periodo di ritorno compreso tra 30 e 100 anni
- Bassa: periodo di ritorno tra 100 e 300 anni

| Probabilité d'occurrence |         | Probabilité de rupture (= dangerosité de l'aléa) |         |        |
|--------------------------|---------|--|---------|--------|
|                          |         | Elevée   | Moyenne | Faible |
| Probabilité d'atteinte   | Elevée  | Elevée   | Moyenne | Faible |
|                          | Moyenne | Moyenne  | Faible  | -      |
|                          | Faible  | Faible   | -       | -      |

**Figura 2.12** – Matrice per la valutazione della probabilité d'occurrence (CH) in funzione della dangerosité (CH) o probabilità di rottura e della probabilité d'atteinte (CH)

La probabilité d'atteinte (CH) delle instabilità è valutata sul terreno secondo criteri morfologici. Le classi adottate sono le seguenti:







- Elevata: 20 – 100% di arrivo dei massi
- Media: 2 – 20% di arrivo dei massi
- Bassa: 0 – 2 % di arrivo dei massi

Simulazioni traiettografiche 3D a blocchi singoli, che tengono conto della vegetazione arborea, sono state realizzate su alcuni tratti stradali significativi con l'ausilio del software Rockyfor3D dell'associazione EcorisQ. Permettono di validare le stime fatte sul terreno e soprattutto di simulare la propagazione laterale dei massi.

L'**intensité (CH)** è definita dall'energia cinetica dei blocchi espressa in kJ. Viene calcolata tramite la formula « $E_{cin} = m g h f$ » i cui fattori sono: la massa  $m$ , la gravità  $g$ , l'altezza di caduta  $h$  e un fattore di perdita di energia  $f$  definito come "fattore di caduta". Questo fattore dipende dalla morfologia del versante e varia generalmente tra 1 e 0.01 (figura 2.13). Per le aléas diffus (CH), nei calcoli sono stati presi in considerazione l'altezza media della parete ed il volume medio delle instabilità o dei massi instabili. La modellizzazione 3D applicata in determinati punti permette di validare i calcoli effettuati con l'uso del fattore di caduta. Per i tratti interessati si è presa in considerazione l'energia media dei massi.

L'**intensité (CH)** è classificata in 3 livelli:

- Elevata: energia cinetica > 300 kJ
- Media: energia cinetica compresa tra 30 e 300 kJ
- Bassa: energia cinetica < 30 kJ

| A/ Falaise sans versant |  | Facteur de chute f |
|-------------------------|--|--------------------|
| 1                       |  Falaise très raide ou verticale avec chute libre sur la route                                | f = 0.9 - 1        |
| 2                       |  Falaise très raide ou verticale avec chute libre sur la route et rebonds et impacts en haut | f = 0.6 - 0.9      |
| 3                       |  Falaise inclinée à 45-60° avec rebonds   | f = 0.4 - 0.6      |
| B/ Falaise avec versant |  | Facteur de chute f |
| 4                       |  Blocs sautent  | f = 0.1 - 0.4      |
| 5                       |  Blocs roulent  | f = 0.01 - 0.1     |
| 6                       |  Cas n°4 ou 5 avec petite falaise le long de la route                                       | f = 0.4 - 0.6      |

**Figura 2.13** – Tabella di stima del fattore di caduta in funzione della morfologia del terreno

Per la stima delle probabilités d'atteinte (CH) e per il calcolo delle energie, per ciascuna instabilità sono stati definiti dei blocchi o dei volumi di riferimento:

- **Blocco di riferimento:** dimensione del blocco considerato per le aléas diffus (CH) e le aléas ponctuels (CH) posizionate lontano rispetto alla strada;
- **Volume di riferimento:** volume considerato nel caso che le aléas ponctuels (CH) possano investire la strada come una sola massa o per crolli voluminosi.

A ciascuna instabilità viene attribuita una **classe di danger (CH)** potenziale, che si basa sul diagramma intensité (CH) - probabilité d'occurrence (CH) (figura 2.14).

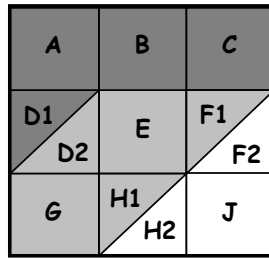


Figura 2.14 – Classi di danger (CH) da caduta massi

La riduzione del pericolo dovuta alle misure di protezione già esistenti lungo la strada (reti, ancoraggi, sorveglianza, ecc.) non viene considerata nella definizione del grado di danger (CH).

### Risultati

I risultati dell'analisi del danger (CH) da caduta massi secondo il metodo Matterock short/light sono inclusi in un rapporto tecnico che contiene, per ogni settore omogeneo dell'asse stradale analizzato, le seguenti tabelle:

- stereogramma delle discontinuità principali;
- caratteristiche strutturali delle principali discontinuità (direzione/inclinazione, persistenza, spaziatura più altre indicazioni);
- caratteristiche principali delle instabilità (tipo, meccanismo di rottura, volume mobilizzabile, dimensione dei blocchi, dangerosità (CH) denominata anche probabilità di rottura);
- valutazione della probabilità d'atteinte (CH) dei massi;
- valutazione dell'energia cinetica dei massi;
- valutazione del danger (CH).

I rapporti tecnici sono accompagnati da allegati (figura 2.15):

- schede identificative e descrittive delle instabilità;
- analisi traiettografiche 3D (non sistematiche);
- cartografie delle instabilità, degli eventi e del danger (CH) da caduta pietre/massi e crolli a livello della strada.

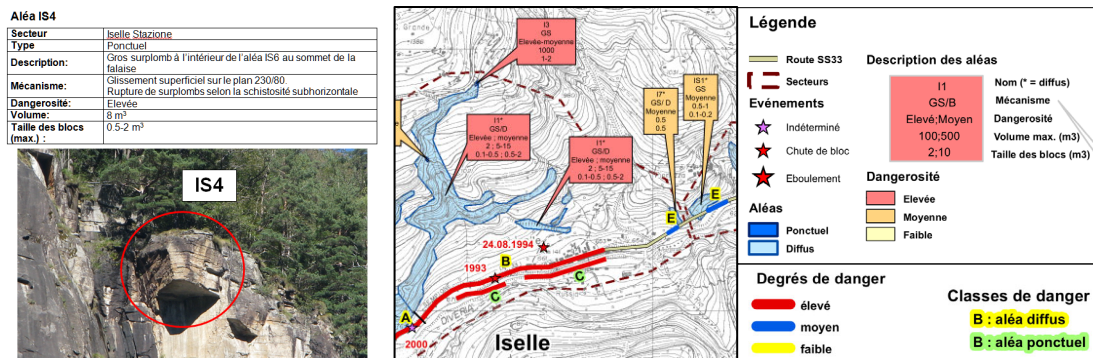


Figura 2.15 – Esempio di scheda identificativa e descrittiva dell'instabilità IS4 e stralcio della carta delle instabilità, degli eventi e del danger (CH) a livello della strada del Colle del Sempione, lato italiano

### ***Vantaggi e limiti del metodo***

L'applicazione del metodo Matterock short/light ai tre assi stradali studiati nell'ambito del progetto MASSA ha permesso di rilevarne vantaggi e limiti.

**Punti forti** del metodo sono:

- scelta della scala di analisi;
- identificazione delle instabilità direttamente sul terreno (*aléas ponctuels (CH)*);
- identificazione delle instabilità di grosso volume;
- rapidità nell'ottenere una prima stima del *danger (CH)*;
- possibilità di posizionare e dimensionare protezioni adatte alle instabilità;
- analisi che prende in considerazione la nozione del tempo (periodi di ritorno);
- Diagnostica post-evento rapida e precisa (analisi della nicchia).

**Punti deboli** del metodo sono:

- risultati fortemente assoggettati alle condizioni di osservazione in situ (meteo e accessibilità alle stazioni di osservazione ideali);
- poco adattabile alle cadute di pietre di piccole dimensioni;
- poco adattabile alla valutazione speditiva di grandi assi stradali.