



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

Stampato su carta BIANCOFFSET

Copyright 2013, Arpa Piemonte

Via Pio VII, 9 – 10135 Torino – Italia

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 Lebourg¹

Coordinamento amministrativo del progetto

Marion Pierini²

Responsabile Azione 1

Daniele Bormioli³

Attività di confronto dei tre metodi

Daniele Bormioli³, Marta Castelli⁸, Davide Damato³, Anne Girard⁴, Luca Lanteri³, Nathalie Marcot⁴, Christian Maton⁴, Michele Morelli³, Jean-Bruno Pasquier⁵, Rocco Pispico³, Jean-Daniel Rouiller⁵, Dario Tosoni⁵ con i contributi di Anselmo Cucchi³, Mauro Tararbra³

Risultati di progetto esterni al confronto tra i tre metodi

Il database MASSA

Luca Lanteri³, Daniele Bormioli³, Michele Morelli³

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

Michele Morelli³, Davide Damato³, Rocco Pispico³, Stefano Campus⁹

Attività di rilevamento e monitoraggio in ambito emergenziale

Paolo Allasia⁷, Marco Baldo⁷, Connie Contrafatto⁶, Furio Dutto⁶, Daniele Giordan⁷, Giorgio Lollino⁷, Andrea Manconi⁷

Redazione relazione finale

Daniele Bormioli³, Michele Morelli³, Luca Lanteri³, Nathalie Marcot⁴, Jean-Bruno Pasquier⁵, Dario Tosoni⁵

Gestione amministrativa per Arpa Piemonte: Elena Massari³, Simonetta Riva³

Allestimento dei documenti nella fase pre-progettuale: Carlo Troisi⁹

Traduzioni dal francese all'italiano della relazione finale: Daniele Bormioli³, Isabella Tinetti³, Dario Tosoni⁵

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 Environment 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

1	INTRODUZIONE	7
2	DESCRIZIONE DEI 3 METODI	8
	• 2.1 - Il metodo Provialp	8
	• 2.2 - Il metodo BRGM	12
	• 2.3 - Il metodo Matterock short/light	16
3	SVOLGIMENTO DELLE ATTIVITÀ	21
	• 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
4	APPLICAZIONE DEI METODI	24
	• 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
5	CONFRONTO TRA I METODI	39
6	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	53
	ALLEGATI	54
	• 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 Provi alp

Il metodo Provi alp 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;

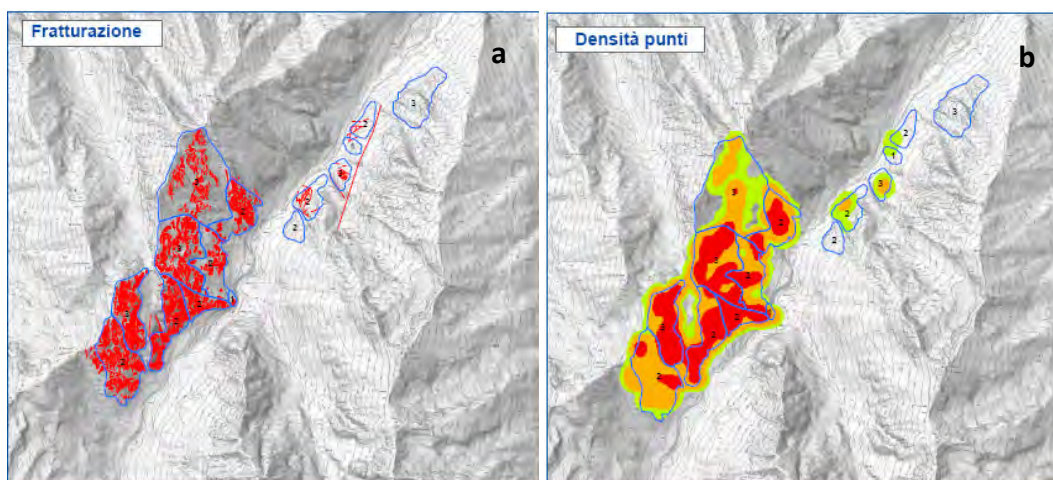


Figura 2.1 – a: distribuzione della fratturazione ottenuta dall’interpretazione di viste prospettive 3D di foto aeree; b: carta della densità di intersezione della fratturazione. I numeri rappresentano le tipologie di area omogenea (I)

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.

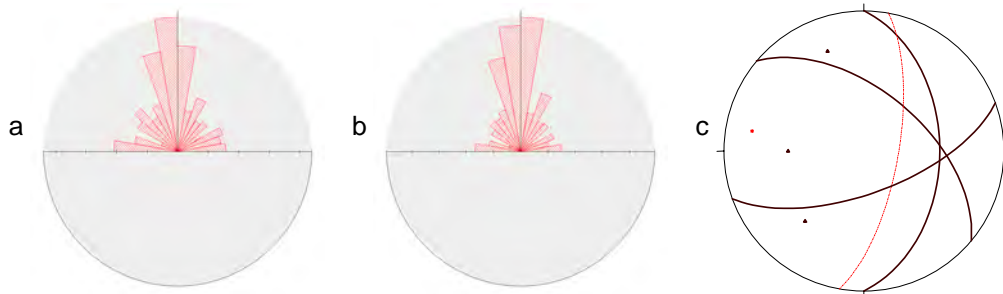


Figura 2.2 – Esempio di confronto tra le misure strutturali derivate a scale differenti (esempio di un'area omogenea del Vallone di S. Anna); a e b: diagrammi a rosa della frequenza azimuthale e delle lunghezze cumulative delle fratture individuate su viste prospettive in 3D di foto aeree; c: diagrammi 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);

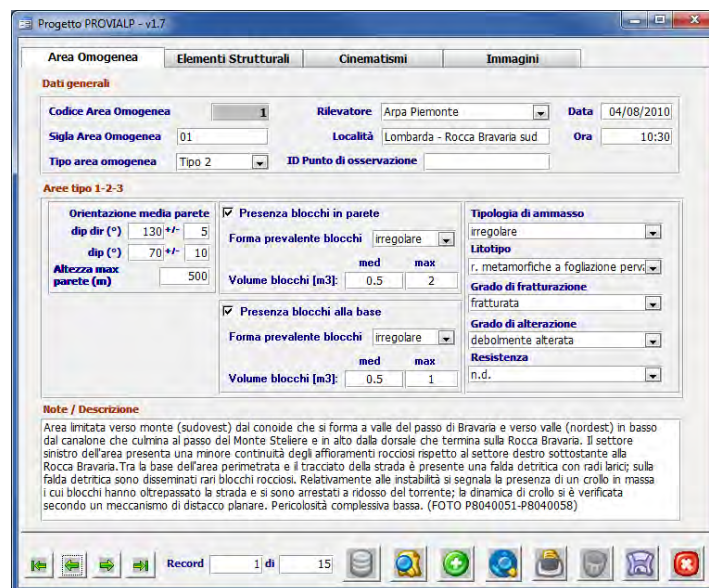


Figura 2.3 – Esempio di maschera a schede del database

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.

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 dm³) sia di volumi più importanti (parecchi m³).

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 verificano cadute massi di volume esiguo è nettamente più alta rispetto alla possibilità che grandi masse si destabilizzino frammentandosi successivamente in blocchi di decine di m³; 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 m³. Verranno quindi valutati soltanto i blocchi di volume esiguo mentre le masse potenzialmente instabili di diverse decine sino a centinaia di m³ 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 m³ 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).

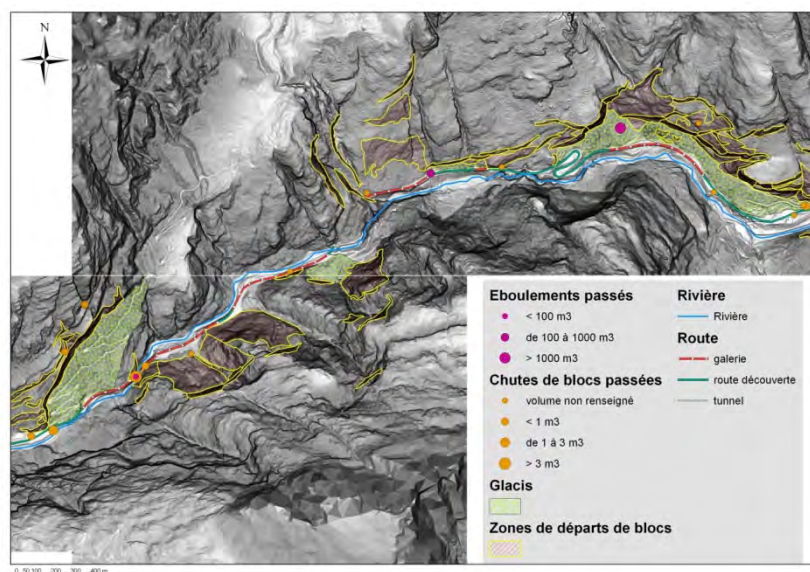


Figura 2.5 – Sintesi cartografica degli elementi utilizzati per la valutazione dell'aléa chute de blocs (F), rappresentati su una base DTM per il settore svizzero della Valle del Sempione

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
<p><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)</p>	

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

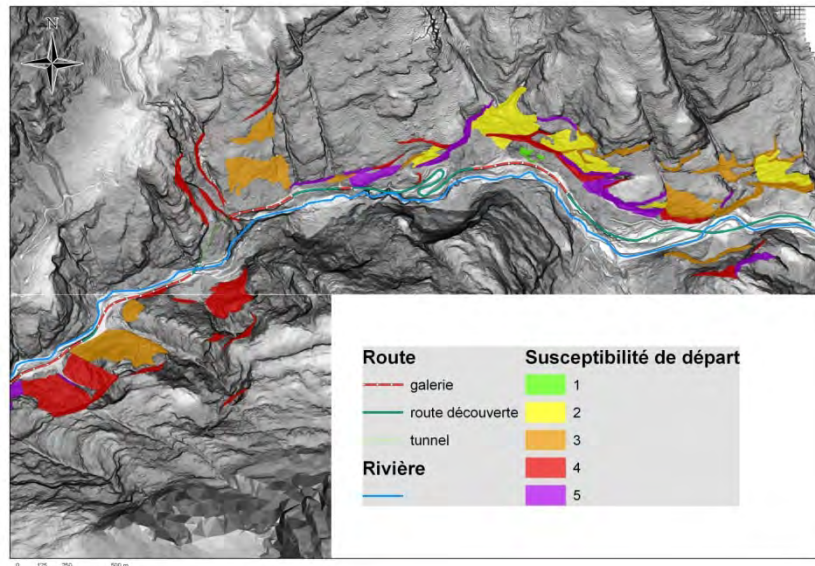


Figura 2.7 – Cartografia della susceptibilité de départ (F) sul tratto stradale svizzero del Sempione

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.

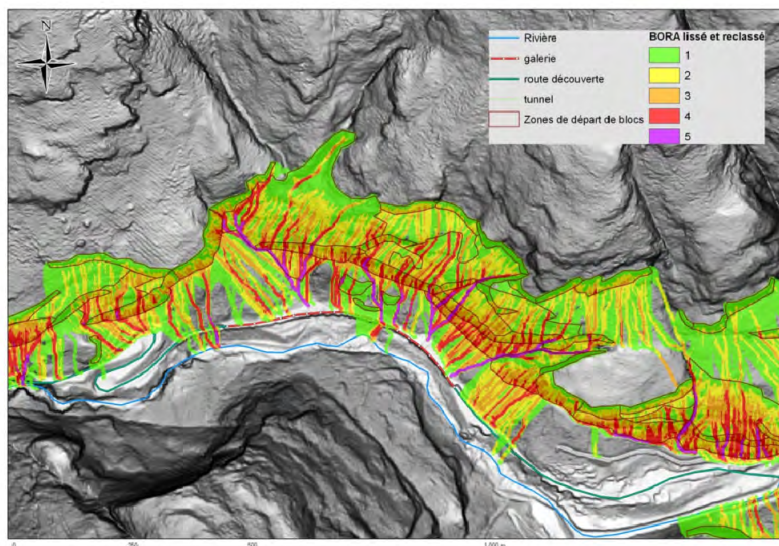


Figura 2.8 – Cartografia dell'aléa de propagation (F) corrispondente ai risultati grezzi forniti da BORA, riclassificati in 5 classi e lisciati (caso del Sempione svizzero)

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.

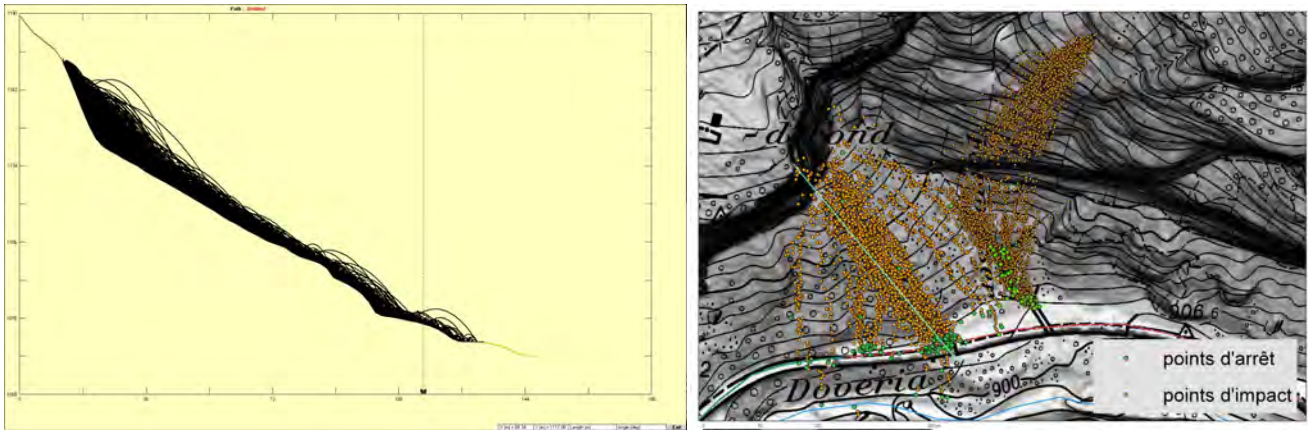


Figura 2.9 – Rappresentazione su diagramma dei risultati ottenuti con Pierre98 2D (a sinistra) e su GIS delle simulazioni con Pierre98 3D che evidenziano la ripartizione tra punti di impatto e punti di arresto dei blocchi (a destra)

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.

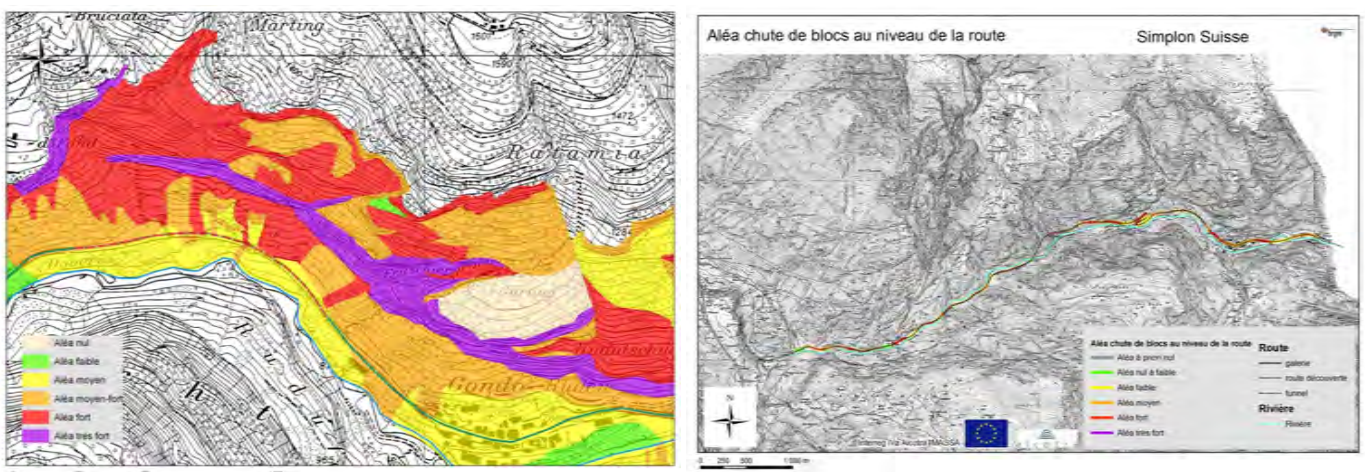


Figura 2.10 – Cartografia che rappresenta i limiti finali dell'aléa chute de bloc (F) complessiva globale e l'aléa chute de blocs (F) riferita solamente al tratto stradale svizzero del Colle del Sempione

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*¹ 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 *dangerosità (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.

¹ 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).

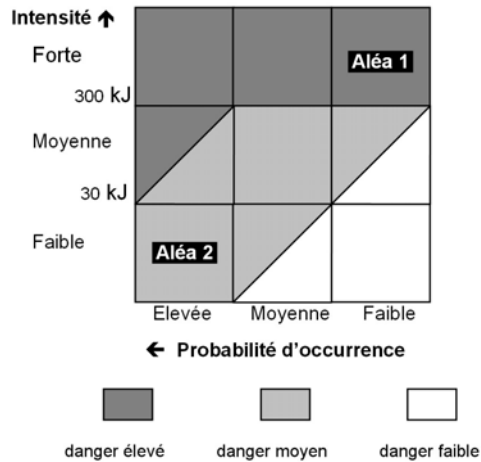


Figura 2.11 – Diagramma intensité (CH)– probabilité d'occurrence (CH) che definisce il danger (CH) da caduta massi

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
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).

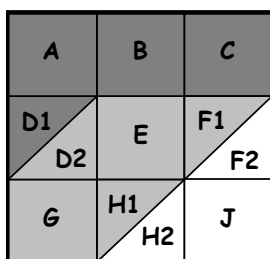


Figura 2.14 – Classi di danger (CH) da caduta massi

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.

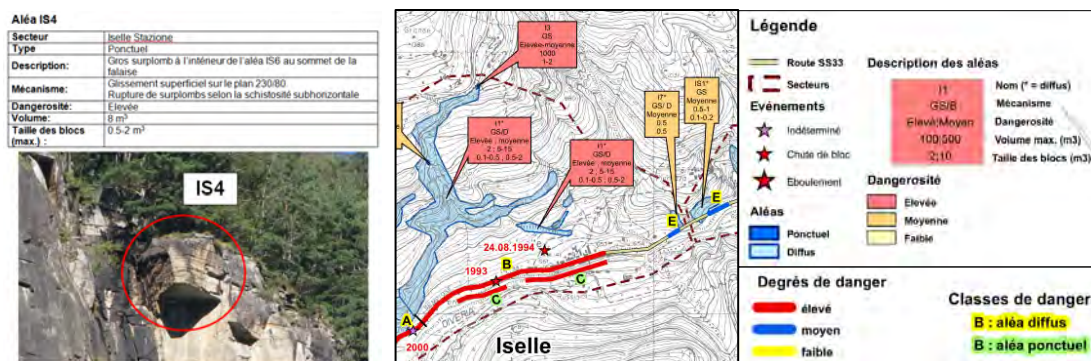


Figura 2.15 – Esempio di scheda identificativa e descrittiva dell'instabilità IS4 e stralcio della carta delle instabilità, degli eventi e del danger (CH) a livello della strada del Colle del Sempione, lato italiano

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.

3 – SVOLGIMENTO DELLE ATTIVITÀ

Il progetto MASSA si è sviluppato essenzialmente attraverso attività di terreno, effettuate sia separatamente sia congiuntamente dal personale dei 3 enti, e attività di discussione con la finalità di comprendere a fondo le caratteristiche di ciascun metodo in vista di una loro possibile integrazione.

Il fulcro delle attività realizzate direttamente sul territorio ha comportato l'analisi di 3 siti pilota corrispondenti a tre ambiti vallivi dove ciascun ente ha applicato il proprio metodo di studio per la valutazione della pericolosità da crollo (figura 3.1). La finalità del lavoro era quella di acquisire un bagaglio di dati articolato, fondamentale per poter effettuare un confronto dei metodi utilizzati non solo in modo teorico ma anche pratico.

Le aree di studio sono localizzate in tre differenti contesti geologici e morfologici del settore centrale ed esterno delle Alpi nord-occidentali e sono caratterizzate da una marcata valenza transfrontaliera.



Figura 3.1 – Ubicazione dei siti prescelti per il confronto tra i metodi speditivi di valutazione della pericolosità dei fenomeni di crollo

1. Asse viario francese della strada dipartimentale D6204 del colle di Tenda (1871 m s.l.m.)

Il tratto stradale preso in considerazione è parte della strada dipartimentale che attraversa la valle Roya che permette il collegamento tra la costa ligure e, per mezzo del tunnel del Colle di Tenda, il territorio della provincia di Cuneo. Il settore studiato, caratterizzato da uno sviluppo complessivo di 18 km, è compreso tra l'uscita settentrionale del tunnel a sud di Saorge e il piede del Mont Branegue, circa 1 km a monte dell'abitato di Tenda; dal punto di vista amministrativo il territorio considerato appartiene ai comuni di Tende, Fontan e Saorge.

La valle Roya si sviluppa su arenarie e peliti del Permiano, arenarie e carnirole del Trias, e su calcari e dolomie del Giurassico; gli elementi tettonici più rilevanti che controllano la morfologia della valle Roya hanno direzione N20°-40° e N140°.

2. Asse viario italiano della strada provinciale SP255 del colle della Lombarda (2350 m s.l.m.)

Lo studio è stato effettuato in relazione ad un tratto stradale di circa 7 km che si sviluppa tra le quote di 1120 m e 1700 m lungo il Vallone di S. Anna, ubicato in destra idrografica della Valle Stura di Demonte e appartenente al territorio del comune di Vinadio. Questa strada, seppure percorribile solo da maggio/giugno fino a ottobre in funzione delle condizioni di innevamento, rappresenta un importante e

frequentato asse turistico sia per la presenza del noto santuario di S. Anna di Vinadio sia per il collegamento che realizza tra la valle italiana della Stura di Demonte e la valle francese della Tinée.

Il Vallone di S. Anna si sviluppa nel dominio tettonico dell'Argentera che rappresenta un basamento cristallino pre-alpino costituito da gneiss migmatitici e granitoidi attraversati da zone di taglio *en echelon* ad orientazione N120°-140°.

3. Asse viario italiano della strada statale SS33 e della strada nazionale svizzera N9 del passo del Sempione (2005 m s.l.m.)

Il tratto stradale studiato corrisponde ad una porzione della strada che corre in fregio al torrente Diveria (Doveria in Svizzera) che pone in collegamento il settore ossolano del nord Piemonte con il territorio svizzero vallese. La parte studiata di tale via di comunicazione è compresa tra la località di Balmanolesca, nel comune italiano di Varzo, e la località svizzera di Gabi; complessivamente il tratto stradale valutato presenta uno sviluppo di circa 12 km e appartiene amministrativamente ai comuni italiani di Varzo e Trasquera e al comune svizzero di Simplon.

Questo settore si sviluppa nel dominio Pennidico inferiore costituito principalmente da ortogneiss a biotite e muscovite ai quali si intercalano marmi e calcescisti.

Per omogeneizzare la raccolta dei dati di terreno ed uniformare i criteri di interpretazione delle caratteristiche geometriche, tipologiche e geologiche nella valutazione della pericolosità da caduta massi è stato effettuato un rilievo congiunto del versante settentrionale della Valle Divedro presso la località di Iselle, nel comune di Trasquera (provincia del Verbano-Cusio-Ossola) (figura 3.2).

In posizione opposta rispetto alla falesia che sovrasta l'abitato, i tecnici di ciascun ente hanno effettuato i rilievi della falesia utilizzando ciascuno il proprio metodo in un tempo fissato di circa 45 minuti e, al termine, sono stati presentati e discussi i risultati ottenuti (cfr par. 3.1 e **ALLEGATO 2**).



Figura 3.2 – Fotografia delle pareti soprastanti l'abitato di Iselle oggetto del rilievo congiunto

Le fasi progettuali sviluppate direttamente sul territorio sono state accompagnate per tutta la durata del progetto da frequenti momenti di discussione e confronto dei risultati, che hanno consentito da un lato di chiarire in modo esaustivo le potenzialità e i limiti di ciascun metodo, riassunti sinteticamente in forma tabellare nel capitolo 5, e dall'altro di realizzare un prodotto che, a livello della fase di rilievo dei dati sul terreno, risponde all'obiettivo di integrare i tre modi di approcciare il problema della valutazione della pericolosità da caduta massi (cfr. **ALLEGATO 3**).

3.1 – Sintesi dell'applicazione delle metodologie di studio delle pareti rocciose (Proviaip, BRGM, Matterock short/light) sul versante pilota di «Iselle-dogana» il 19 maggio 2011

Questo lavoro è stato realizzato congiuntamente dai tecnici dei tre enti CREALP, ARPA PIEMONTE e BRGM che si sono trovati sul sito di Iselle-dogana per esaminare un tratto di versante da un punto di osservazione favorevole situato sul versante opposto (sud).

Ciascua squadra era formata da due o tre persone di diversa formazione (geologi, geotecnici, ingegneri) ed esperienza.

L'obiettivo era quello di realizzare in un intervallo di tempo relativamente breve (1 h), lo studio del versante considerato per definire la pericolosità da caduta blocchi che interessa il tratto di strada a valle secondo i criteri propri di ciascuna metodologia.

Questo lavoro, abbastanza unico nel suo genere e particolarmente formativo in termini di scambio di esperienza tra addetti ai lavori, è stato uno dei momenti chiave dell'Azione 1 del progetto MASSA.

Lo studio ha permesso in particolare di:

- confrontare le tre metodologie direttamente sul terreno;
- illustrare *in situ* i diversi criteri utilizzati in ciascuna metodologia e quindi precisare meglio il senso di ciascuno di essi e il loro peso nei risultati finali;
- mostrare che la metodologia Proviaip di ARPA PIEMONTE necessita sistematicamente di un lavoro preliminare di analisi delle ortofoto prima di ogni rilievo di terreno al fine di: a) identificare le aree omogenee (I); b) identificare e caratterizzare geometricamente le «grandi» discontinuità e la loro densità di intersezione con la parete. Una prima valutazione della propagazione, attraverso l'applicazione automatizzata del metodo dei coni, è realizzata prima di andare sul terreno (ma solo nel caso in cui la valle non sia troppo incassata, situazione in cui il metodo dei coni non è applicabile). Il rilievo di terreno consiste nell'acquisire una serie di dati geomorfologici e strutturali e una descrizione sintetica delle caratteristiche del versante che vengono direttamente riversati nel database Proviaip, installato su un pc portatile;
- evidenziare che, per quanto riguarda il metodo Matterock short/light del CREALP, i rilievi di terreno consistono nel ricostruire l'assetto strutturale del versante, nell'identificare e descrivere le aléas ponctuels e/o le aléas diffus (CH) (meccanismi, volumi, taglia dei blocchi), nel valutare la loro dangerosità (CH) e nello stimare la probabilità d'atteinte (CH) dei blocchi costituenti le instabilità. L'esercizio eseguito ad Iselle ha permesso, dopo un'ora di indagine, di determinare un livello di danger (CH) lungo il tratto di strada interessato che comprende la nozione di probabilité d'occurrence (CH) e quella di energia dei blocchi stimata empiricamente mediante l'applicazione di un «fattore di caduta f» funzione della morfologia del versante alla base della parete;
- far emergere che il metodo BRGM utilizza i rilievi sul campo per determinare *in situ* la probabilità di distacco dei blocchi così come i valori di alcuni parametri che sono in seguito utilizzati nei programmi di modellazione traiettografica in 2D e 3D e/o di propagazione tipo «metodo dei coni» e BORA con lo scopo di valutare la probabilità di arrivo dei blocchi sulla strada. Il lavoro sul terreno consiste principalmente nel rilevare le caratteristiche morfologiche e strutturali della parete, nello stimare la taglia dei blocchi presenti sul pendio e nell'identificare le zones homogènes (F) alle quali saranno in seguito associate le susceptibilités de départ (F) dei blocchi. I valori dei criteri non sono vincolati da limiti di variabilità predefiniti; gli schizzi e i disegni realizzati in loco così come le foto rappresentano strumenti indispensabili nei rilievi di terreno.

I dettagli in merito ai rilievi realizzati sono disponibili nell'**ALLEGATO 2**.

4 – APPLICAZIONE DEI METODI

Come evidenziato nel capitolo 2 i tre enti operano con approcci differenti: la stima della suscettibilità (I), dell'aléa chute de blocs (F) e del danger (CH) viene ottenuta direttamente sul terreno e affinata in sede di elaborazione del rapporto finale, come nel caso del metodo Matterock short/light, o suddividendo in fasi successive le attività di raccolta, analisi e trattamento dati, nel caso dei metodi BRGM e Proviaalp. Queste diverse modalità operative determinano differenziazioni sia nelle modalità di rilievo sia nelle fasi di analisi dati e conseguentemente nei risultati finali ottenuti.

Di seguito viene riportato a titolo di esempio il confronto tra i rilievi e le osservazioni di terreno effettuate per il sito della Lombarda (Vallone di S. Anna); delle tre zone analizzate il Vallone di S. Anna risulta il sito in cui le carte di suscettibilità (I), aléa chute de blocs (F) e danger (CH) derivano dalla realizzazione ex-novo dei rilievi di terreno e delle elaborazioni da parte dei tre gruppi di lavoro; si rimanda invece al sito web MASSA per i dati completi ottenuti dall'analisi dei tre siti pilota studiati.

Vengono di seguito confrontati i risultati ottenuti sulla base delle diverse attività previste dai tre metodi per il tratto centrale di strada della suddetta valle (figura 4.1).

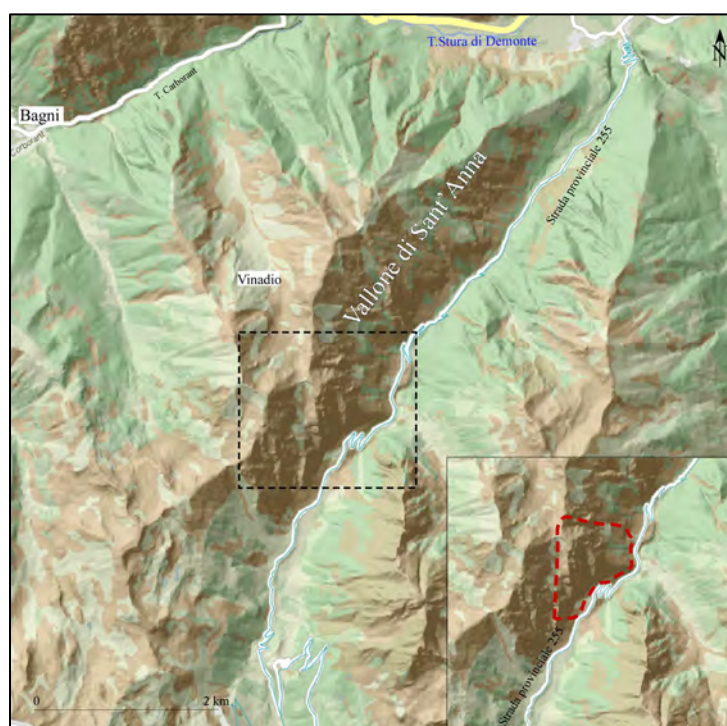


Figura 4.1 – Vallone di S. Anna, in rosso è riportata in dettaglio l'area di confronto

4.1 – Attività di rilievo di terreno

I tre metodi di studio comportano una prima fase che ha la finalità di suddividere le pareti rocciose sovrastanti la strada in aree omogenee (I), zone homogènes (F) o aires structurales (CH) ovvero in settori contraddistinti da caratteristiche strutturali e morfologiche analoghe. Per compiere tale operazione il metodo Proviaalp prevede un'analisi preliminare geomorfologica e strutturale da foto aeree che tiene conto del grado di destrutturazione e di orientazione, pendenza ed estensione dell'ammasso roccioso e affina il dato sul terreno; il metodo BRGM individua le zones homogènes (F) direttamente sul terreno contestualmente all'attività di rilievo strutturale e affina quindi il risultato in ufficio; il metodo Matterock short/light distingue la zona di studio in settori omogenei di significato prettamente logistico sulla base della morfologia e dell'orientazione del versante; successivamente questi settori possono essere distinti in aires structurales (CH), cioè in domini con lo stesso assetto strutturale.

Nel caso del vallone di Sant'Anna, il metodo italiano individua 15 aree omogenee (I), il metodo BRGM identifica 12 zones homogènes (F) e infine Matterock distingue, in funzione della litologia e dell'esposizione del versante, 3 aires structurales (CH), due in sinistra orografica e uno in destra (figura 4.2).

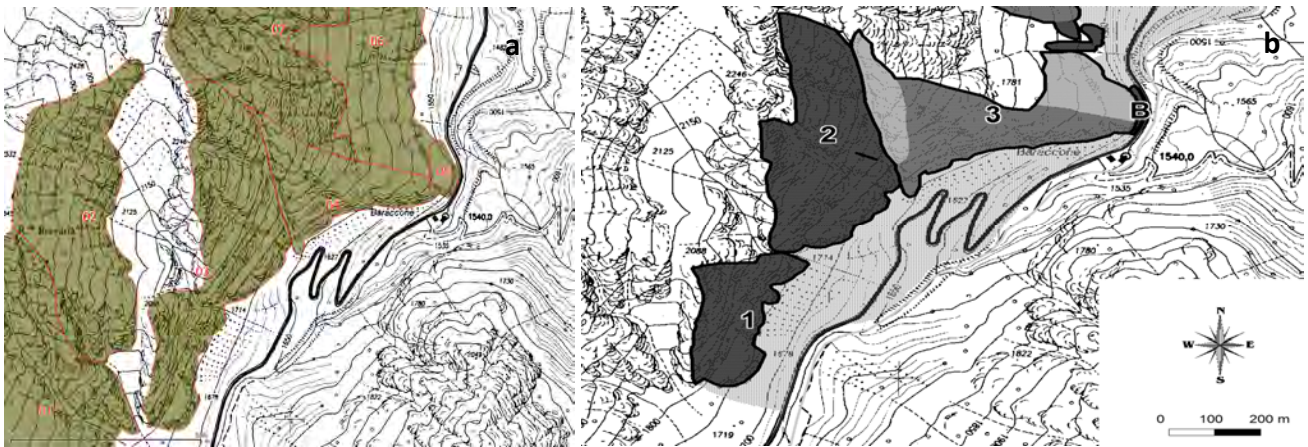


Figura 4.2 – Esempio di aree omogenee (I) relative al tratto centrale del Vallone di S. Anna, a: rilievo ARPA b: rilievo BRGM (i numeri identificano le zones homogènes (F) individuate). Per questo settore il metodo Matterock short/light individua una sola aires structurales (CH)

Sebbene in linea generale le attività di rilievo di terreno condotte dai 3 enti siano state svolte secondo le metodologie classiche di rilevamento dati geologico-strutturali e geomorfologici di superficie, si osservano differenze già in questa fase di studio.

Rilievo metodo Proviarp

I rilievi di terreno effettuati da Arpa Piemonte vengono riversati in un *database* strutturato *ad hoc* per la raccolta dati su *tablet pc*.

Per il settore in esame i rilievi di terreno sono stati effettuati sulle 4 aree omogenee (I) catalogate come tipo 2 (figura 4.3) per le quali si è ritenuto di poter fornire misure strutturali attendibili (tabella 4.1). Si tratta di aree caratterizzate da pendenze molto elevate (70°), che mostrano una morfologia e una densità di fratturazione differente come evidenziato anche dalle dimensioni dei volumi dei blocchi osservati sia in parete sia al piede del versante. Nelle 4 aree omogenee si distinguono 6 sistemi di discontinuità caratterizzati da differenti ordini gerarchici. I sistemi a maggiore persistenza e spaziatura interessano principalmente l'area 1 (persistenza > 20m) mentre le aree 3 e 4 sono interessate da sistemi a persistenza mediamente minore. Il metodo Proviarp prevede il confronto tra le misure strutturali di terreno e i sistemi di fratture individuati su viste prospettiche in 3D di foto aeree al fine di estendere il dato puntuale misurato sull'affioramento roccioso all'intera area omogenea.

Per le diverse aree sono stati descritti 6 cinematismi (I) ai quali si associa il meccanismo di distacco.

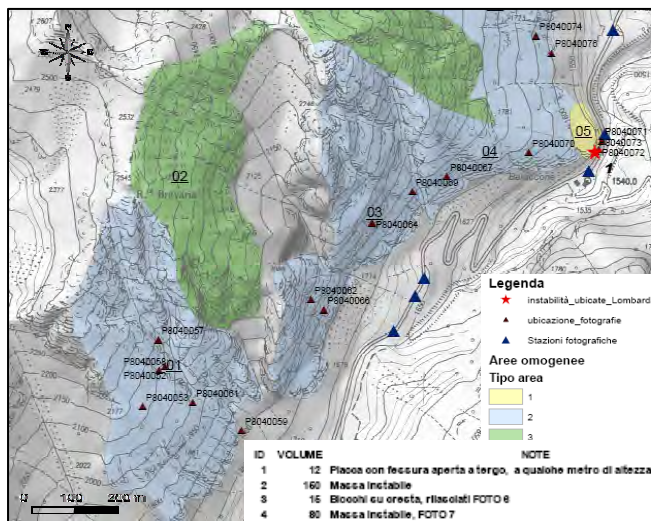


Figura 4.3 – Carta dei rilievi di terreno realizzata secondo il metodo Proviarp

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4		Tipo elemento	Spaziatura	Persistenza	
Orientazione Parete	Dir imm.130+/-5 Dip 70+/-10	Dir imm.110+/-20 Dip 70+/-10	Dir imm.130+/-5 Dip 70+/-10	Dir imm.140+/-10 Dip 70+/-5		A: N10 85 SE	molto ampia (>2m)	molto alta (>20m)	
Altezza max parete	500	450	550	500		B: N70 45 NO	molto ampia (>2m)	molto alta (>20m)	
Forma blocchi in parete	irregolare	n.d	irregolare	irregolare	Area 1	C: N155 45 NE	molto ampia (>2m)	molto alta (>20m)	
volume blocchi in parete	0.5 medio 2 max	n.d	1 medio 10 max	0.1 medio 5 max		D: N90 60 SE	ampia (60cm-2m)	media (3m-10m)	
Forma blocchi alla base	irregolare	n.d	irregolare	irregolare		E: N70 45 SE	ampia (60cm-2m)	media (3m-10m)	
volume blocchi alla base	0.5 medio 1 max	n.d	0.5 medio 10 max	0.5 medio 15 max		A: N10 85SE	n.d	n.d	
Tipologia ammasso	irregolare	irregolare	bloccoso	bloccoso		B: N90 60 SE	giunto	n.d	n.d
Litotipo	metamorfiche a fogliazione pervasiva	metamorfiche a fogliazione pervasiva	metamorfiche a fogliazione pervasiva	metamorfiche a fogliazione pervasiva	Area 2	C: N110 70 NE	giunto	n.d	n.d
Grado fratturazione	fratturata	fratturata	fratturata	fratturata		A: N30 50 SE	giunto	moderata (20cm-60cm)	molto alta (>20m)
Grado alterazione	Debolmente alterata	Debolmente alterata	Debolmente alterata	Debolmente alterata		B: N100 75 NE	giunto	moderata (20cm-60cm)	alta (10m-20m)
resistenza	n.d	n.d	n.d	n.d	Area 3	C: N120 70 NE	giunto	ampia (60cm-2m)	media (3m-10m)
Elementi strutturali	A: N10 85 SE B: N70 45 NO C: N155 45 NE D: N90 60 SE E: N70 45 SE Faglia: N10 85SE	A: N10 85SE B: N90 60 SE C: N110 70 NE	A: N30 50 SE B: N100 75 NE C: N120 70 NE D: N30 35 NO E: N165 70 NE	A: N160 45 NE B: N20 70 NO C: N70 60 SE		D: N30 35 NO	giunto	moderata (20cm-60cm)	bassa (1m-3m)
						E: N165 70 NE	giunto	n.d	n.d
						A: N10 85SE	giunto	ampia (60cm-2m)	alta (10m-20m)
						B: N90 60 SE	giunto	ampia (60cm-2m)	alta (10m-20m)
					C: N110 70 NE	giunto	n.d	n.d	
Cinematismi	C1; P1	P1	C1; P1	C1					

Tabella 4.1 – Esempio delle caratteristiche morfologiche e strutturali rilevate nelle aree omogenee (I) in esame derivate dalle schede del database. C (cuneo) e P (planare) indicano i meccanismi di instabilità

Rilievo metodo BRGM

In linea generale i rilievi effettuati dal BRGM sono rivolti ad attribuire dei punteggi ad ogni zone homogène (F) secondo un criterio misto morfologico e strutturale al fine di stabilire le classi di valutazione della susceptibilité de départ (F). I criteri sono suddivisi in tre classi di intensità che consentono di “incasellare” dapprima le osservazioni di terreno valutate dall’esperto di dominio (criterio morfologico) e successivamente di stabilire i meccanismi di crollo di blocchi instabili in base all’assetto giaciturale tra le orientazioni dei sistemi di frattura e quella del versante, attraverso i diagrammi di Schmidt (criterio strutturale).

Per il settore in esame le osservazioni di terreno per le tre zone homogènes (F) sopra individuate sono riportate in tabella 4.2. Le zone homogènes (F) 1 e 2 mostrano caratteristiche analoghe, sono caratterizzate da alte pendenze (50°-60°), da una direzione di immersione molto favorevole alla predisposizione di crolli e da una stato di fratturazione intenso. Sono stati misurati 5 sistemi di discontinuità differenti che conferiscono a queste due aree un grado di suscettibilità di distacco alto; viceversa la zone homogène (F) 3 presenta un ammasso roccioso più omogeneo caratterizzato da un stato di fratturazione debole ed una strutturazione a franapoggio mediamente poco marcata (tabella 4.2).

Area 1	Description Générale	Falaise de 200 mètres de hauteur, pente 60° en moyenne, d'exposition SE (N20) Falaise fracturée mais massive, discontinuités fermées
	Écoulement d'eau	Falaise humide
	Nombre de familles structurales 5 principales	Fracturation intense F1 N 140 60 SW S01 F2 N 72 90 3 fractures subverticales F3 N 160 50 NE Fa1 Aval pendage F4 N 55 40 SE Fa2 Aval pendage F5 N 50 50 NW S02
	Aval pendage	Très défavorable
	Surplomb	Nombreux surplombs
Area 2	Description Générale	Falaise de 250 mètres de hauteur, pente 55 à 60° en moyenne, d'exposition SE (N20 à N35). Falaise fracturée mais massive, discontinuités fermées
	Écoulement d'eau	Falaise humide
	Nombre de familles structurales 5 principales	Fracturation intense F1 N 30 35 SE Fa2 Aval pendage F2 N 145 67 NE Fa1 Aval pendage F3 N 30 55 NW S0 2 permet décollement F4 N 115 50 SW variante de Fa1 Aval pendage F5 N 157 90 S01
	Aval pendage	Très défavorable
	Surplomb	Nombreux surplombs
Area 3	Description Générale	Falaise de 100 à 150 mètres de hauteur, pente 50° en moyenne, d'exposition SE à S (N50 à N100). Falaise massive fracturée et découpage marqué en partie supérieure, discontinuités fermées, quelques figures de décompressions en partie inférieure
	Écoulement d'eau	Falaise humide
	Nombre de familles structurales 5 principales	Fracturation moyenne Homogène avec l'ensemble
	Aval pendage	Absent ou peu marqué en partie supérieure et très défavorable en partie inférieure
	Surplomb	Surplombs proéminents et/ou très nombreux

Tabella 4.2 – Descrizione di terreno delle tre zones homogènes (F) ottenute dal criterio di analisi morfologico

Le misure dei piani di fratturazione rilevati sul terreno consentono di determinare i meccanismi di distacco dei blocchi attraverso l'impiego del diagramma di Schmidt (figura 4.4).

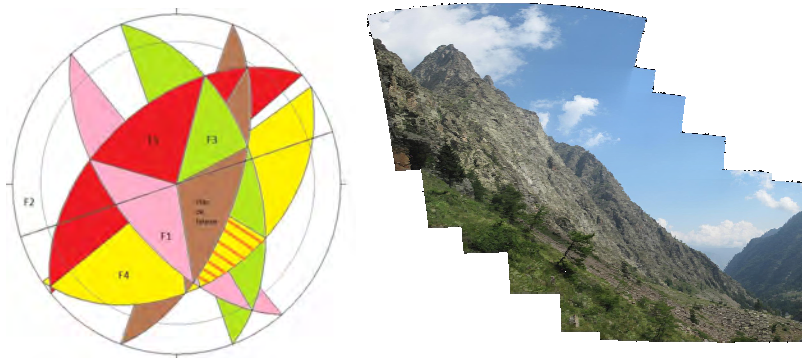


Figura 4.4 – Esempio di sistemi di discontinuità della zone homogène (F). I meccanismi di rottura dei blocchi si basano sull'assunzione che ogni zone homogène (F) è caratterizzata dalle stesse famiglie di fratture e che il meccanismo di rottura è condizionato da orientazione e pendenza del fronte roccioso

La valutazione della susceptibilité de départ (F) riportata in figura 4.5 rappresenta la somma ponderata dei pesi associati agli elementi morfologici e strutturali rilevati per ogni zone homogène (F).

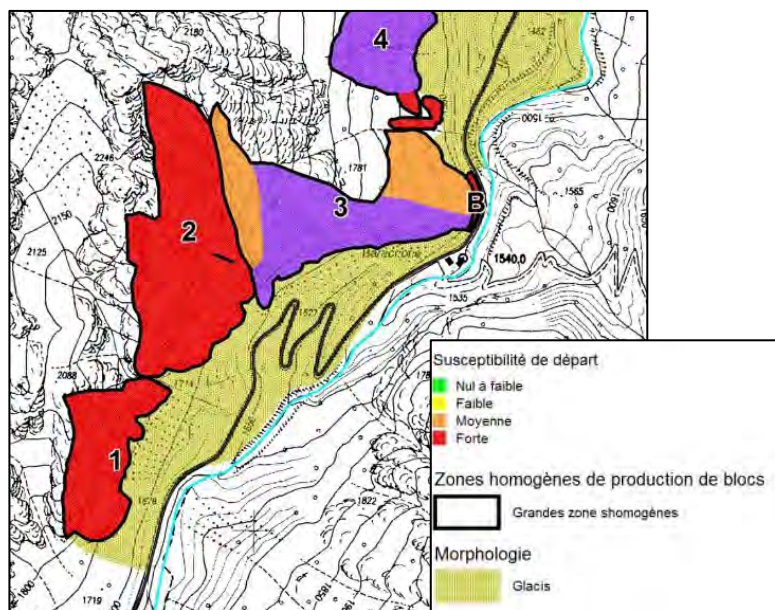


Figura 4.5 – Carta della susceptibilité de départ (F) del settore centrale de Vallone di S. Anna. Si osserva come all'interno di singole zones homogènes (F) i valori della pericolosità possono essere diversi

Rilievo metodo Matterock short/light

L'analisi strutturale del settore centrale del Vallone di S. Anna è stata effettuata a distanza attraverso osservazioni dal versante opposto al settore in studio. Sono stati individuati 6 sistemi di discontinuità principali distinti sulla base dei caratteri geometrici, geomeccanici e in base al ruolo nel meccanismo di instabilità dei blocchi e all'evidenza morfologica (tabella 4.3).

Per questo settore sono state individuate 9 aléa ponctuels (CH) e 4 aléas diffus (CH) caratterizzate da meccanismi di distacco di tipo scivolamento superficiale e profondo con volumi che variano da 1 a 200.000 m³ per le instabilità puntuali e da 10 a 50 m³ per le instabilità diffuse (figura 4.6).

Famille	Orientation	Persistance [m]	Espacement [m]	Rôle morphologique	Rôle principal dans les aléas	Remarques
J1	110-150/30-55	10-20 (30-50)	0.5-1 (4)	front falaise	plan glissement	--
J'1	120-150/55-70	10-15 (20-50)	0.2-0.5 (2)	front falaise	plan glissement	--
J2	060-090/40-55	10-20 (60)	3-5 (20)	vires au sommet du versant	plan glissement	moins diffus que J1
J3	220-260/40-60	10-30 (60-80)	2-5 (15)	grandes vires dans la partie supérieure du versant	plan décollement et glissement	--
J'3	220-260/60-90	4-6 (15)	5	--	plan cisaillement et glissement	--
J'4	160-190/60-80	10-20	1-2	front falaise (secteur S de l'aléa BS10)	plan glissement et cisaillement	--
J'5	300-330/50-80	4-6	--	--	plan décollement	--

en italique les plans secondaires

Tabella 4.3 – Esempio delle caratteristiche dei sistemi strutturali rilevati nel tratto centrale del Vallone di S. Anna

Secteur	Baraccone Sud
Type	Diffus
Description:	Aléa diffus qui comprend tout le versant
Mécanisme:	Glissement profond sur 130/30, 080/40 et –plus rarement– sur 230/40; glissement superficiel selon 140/60
Dangerosité:	Elevée (< 10m ²) ; moyenne (10-20 m ²)
Volume:	1) < 10 m ³ 2) 10-20 m ³
Taille des blocs (max.):	0.5-2 m ²

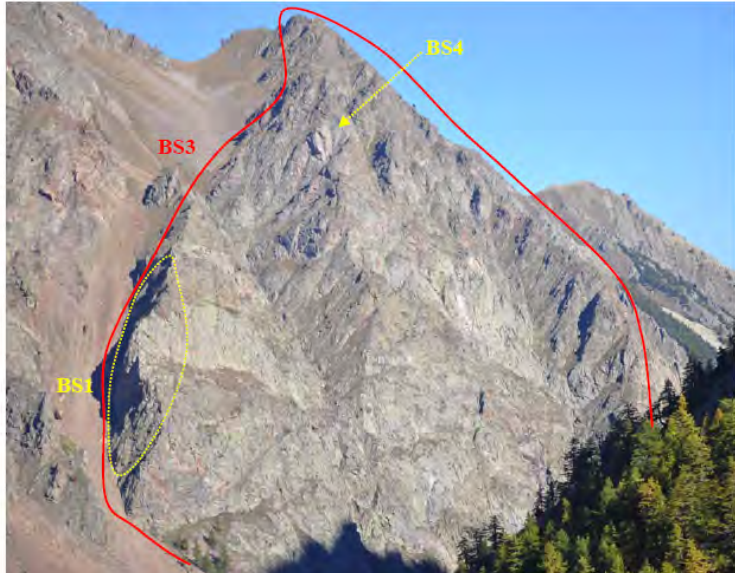


Figura 4.6 – Esempio di rilievo delle aléa puntuali e diffuse (CH) individuate nel settore centrale del Vallone di S. Anna (BS3 instabilità diffusa, BS1 e BS4 instabilità puntuali)

Per ogni aléa (CH) individuata le osservazioni di terreno sono rivolte a definire una *probabilité d'occurrence (CH)* attraverso la stima della sua probabilità di mobilitazione (definita anche *dangerosité (CH)* dell'aléa (CH)) e della *probabilité d'atteinte (CH)* dei blocchi in caduta (tabella 4.4). Come si osserva dalla tabella 4.4 la probabilità di accadimento o *probabilité d'occurrence (CH)* valutata per questo settore, sebbene si basi su parametri che dipendono da criteri morfologici (pendenza versante, distanza dell'instabilità dalla strada ecc.) risulta sensibilmente controllata dalla *dangerosité (CH)*, cioè da una probabilità di rottura dei blocchi che vincola successivamente anche le classi di *danger (CH)* nonostante i valori di intensità e di energia cinetica diversi.

Nom aléa	Type (1: ponctuel , 2: diffus)	Bloc/volume de dimen- sionnement [m ³]	Dangero- sité	Probabilité d'atteinte	Probabilité d'occurrence	Intensité	Energie cinétique [kJ]	Classe de danger
BS1	1	1000	faible	élevée	faible	élevée	1'299'825	C
BS2	1	150	moyenne	élevée	moyenne	élevée	409'445	B
BS3	2	2	élevée	élevée	élevée	élevée	6'239	A
BS3	2	5	moyenne	élevée	moyenne	élevée	19'497	B
BS4	1	10	élevée	élevée	élevée	élevée	25'997	A
BS5	1	1000	faible	élevée	faible	élevée	623'916	C
BS6	1	200	moyenne	élevée	moyenne	élevée	187'175	B
BS7	1	150	élevée	élevée	élevée	élevée	77'990	A
BS8	1	30	moyenne	élevée	moyenne	élevée	48'353	B
BS9	1	200	moyenne	élevée	moyenne	élevée	265'164	B
BS10	2	2	élevée	élevée	élevée	élevée	520	A
BS10	2	10	moyenne	élevée	moyenne	élevée	5'199	B
BS11	1	1	moyenne	élevée	moyenne	moyenne	104	E

Tabella 4.4 – Parametri utilizzati per definire la classe di danger (CH) generata da ciascuna aléa (CH)

La carta finale denominata *Carta des aléas, des événements et du danger de chutes de pierres/blocs et éboulements au niveau de la route* (figura 4.7) deriva in genere da queste osservazioni e quindi direttamente dai rilievi di terreno. Nel settore specifico scelto per il confronto, la definizione del danger (CH) lungo strada è stata affinata mediante i risultati delle analisi traiettografiche realizzate con l'applicativo Rockyfor3D.

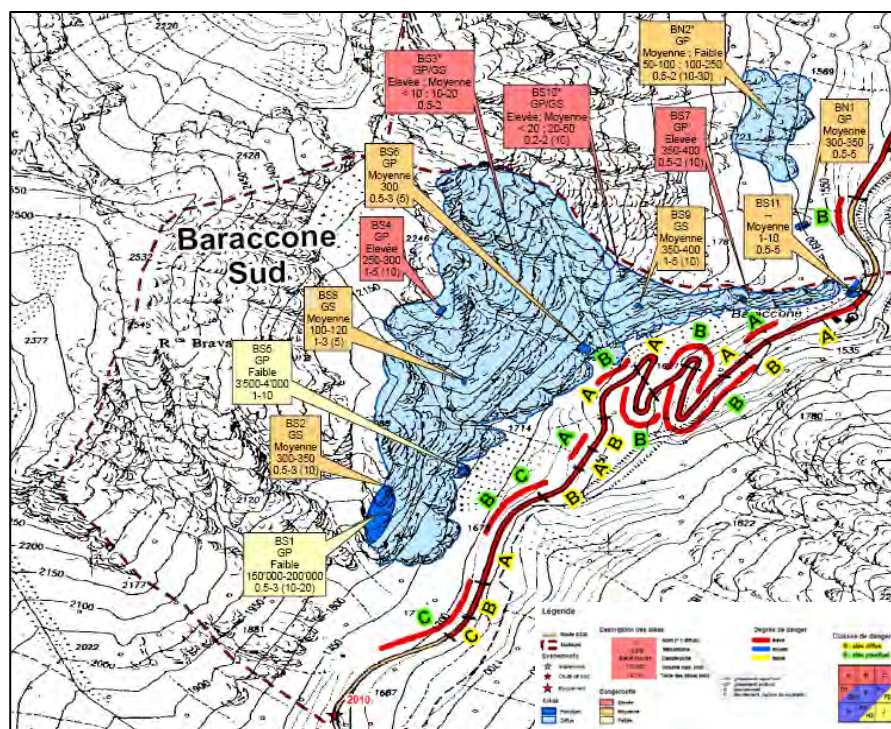


Figura 4.7 – Carta des aléas, des événements et du danger de chutes de pierres/blocs et éboulements derivata dall'applicazione del metodo Matterock short/light

Sintesi

Il rilievo dei dati di terreno dell'ammasso roccioso è un lavoro comune ai tre metodi che inizia con una descrizione delle condizioni generali, quali l'identificazione e la classificazione delle litologie e degli aspetti strutturali principali che costituiscono l'ammasso roccioso. Le osservazioni successive di maggiore dettaglio degli elementi che influiscono sull'instabilità seguono procedure standardizzate proprie di ogni metodologia e come tali definiscono delle classi di suscettibilità (I), aléa chute de blocs (F) e danger (CH) tra loro non

direttamente confrontabili. Ad esempio i metodi Proviaalp e BRGM prevedono la localizzazione e la descrizione dei blocchi instabili più voluminosi, ma sono elementi questi che non rientrano nelle successive fasi di valutazione delle classi di suscettibilità (I) o aléa chute de blocs (F); viceversa per il metodo Matterock short/light la descrizione e la localizzazione delle aléa (CH) è un parametro di grande importanza che controlla e influenza pesantemente la distribuzione areale della probabilità d'occurrence (CH) e quindi del danger (CH) di caduta blocchi sulla strada. I caratteri geometrici della parete rocciosa quali l'altezza, l'orientazione, la pendenza ecc... rappresentano nel metodo Proviaalp dati di ingresso nei codici di calcolo utilizzati nelle fasi successive di analisi, nel metodo BRGM punteggi all'interno di sommatorie pesate, nel metodo Matterock short/light caratteristiche direttamente stimate dall'operatore sul terreno per la valutazione della dangerosità (CH). Infine la scelta del numero, della dimensione e della delimitazione delle aree omogenee (I) o zones homogènes (F) presenti in parete, si basa su valutazioni soggettive in quanto si valuta e si quantifica la predisposizione di una porzione di falesia al franamento che non è realmente misurabile, ma soltanto stimabile qualitativamente dall'operatore.

4.2 – Tempistica di applicazione delle metodologie

Nella tabella 4.5 è riportato un consuntivo totale del tempo impiegato dai tre enti per la realizzazione dello studio dei quattro siti campione (Tenda, Sempione italiano, Sempione svizzero e Lombarda).

Il Totale ore utilizzate è ripartito in 3 classi (1. Lavoro preparatorio in ufficio, 2. Rilievi di terreno, 3. Ufficio corrispondente ad elaborazione dei dati di terreno, esecuzione analisi traietto grafiche e stesura della relazione tecnica) ed è messo in relazione con il numero di persone impiegate e i prodotti finali derivati dal lavoro svolto. Di ogni persona che ha preso parte allo studio viene data la percentuale di impiego distinta tra lavoro di ufficio e di terreno, riferita alla somma delle ore impiegate. Sono messe a confronto solo le ore relative al lavoro svolto nell'ambito del progetto Massa tralasciando quelle servite alla stesura di documenti che, pur essendo stati utilizzati per il confronto, non sono stati realizzati nell'ambito del progetto. Questi ultimi sono riportati in corsivo nell'elenco dei prodotti di ciascun sito.

Dall'analisi della tabella 4.5 si deduce che:

- l'applicazione della metodologia Matterock short/light richiede più ore rispetto a Proviaalp e BRGM. Solo al sito della Lombarda il totale ore impiegato è confrontabile tra le tre metodologie e sostanzialmente uguale se si limita al confronto tra BRGM e Matterock short/light (rispettivamente 160 e 166 ore). Questo è in parte giustificato dal fatto che Matterock prevede la realizzazione sistematica di rapporti tecnici di dettaglio contenenti le schede identificative delle aléa (CH) riconosciute, la cui compilazione è molto più onerosa in termini di tempo, e da una cartografia finale -standard per tutti i siti studiati- del danger (CH) a livello della strada, relativa sia ai fenomeni di caduta blocchi che agli eventi franosi di volume più significativo. I risultati ottenuti con la metodologia svizzera permettono inoltre di scegliere in prima approssimazione le opere di protezione più idonee a mettere in sicurezza l'elemento esposto al pericolo di frana (in questo caso la strada). La differenza di ore tra l'applicazione delle tre metodologie tende a ridursi quando il numero e le caratteristiche dei prodotti finali si assomigliano.

- le ore dedicate ai rilievi di terreno sono simili in valore assoluto (ad esempio alla Lombarda sono 58 h per Matterock short/light, 50 per Proviaalp e 48 per BRGM) ma diventano in percentuale circa 1/3 rispetto al monte ore totale per le metodologie BRGM e Matterock short/light, che prevedono la realizzazione di un rapporto finale standardizzato. Il lavoro di ufficio propedeutico alle osservazioni di campagna oscilla tra il 5% e il 10% del totale ore impiegato.

Il numero di persone impegnato nei rilievi di terreno è sempre pari o maggiore di 2 tranne che per l'applicazione Matterock short/light alla Lombarda (1 persona). Per il sito del Sempione svizzero Arpa ha svolto il rilievo impiegando 2 gruppi costituiti da 2 tecnici ciascuno. Nelle metodologie Matterock short/light e BRGM i rilievi di terreno, l'elaborazione dei dati raccolti e la redazione del rapporto finale sono affidati ad un gruppo di lavoro ristretto composto da 2 o 3 persone. Nel Proviaalp le diverse fasi dello studio sono spesso compiute da soggetti diversi e può succedere che chi fa i rilievi di terreno non sia la stessa persona che poi elabora i dati.

	Matterock short/light	BRGM	Proviaalp	
Tenda/Valle Roya (versante francese)	Lavoro preparatorio in ufficio	--	5%	
	Terreno	--	70%	
	Ufficio	--	25%	
	Totale ore	390	258	
	Personale impiegato	Terreno: 2 (15%) Ufficio: 1 (40%) + 1 (30%)	Terreno: 2 (35%) Ufficio: 1 (20%) + 1 (10%)	
	Prodotti	<ul style="list-style-type: none"> • Rapporto tecnico di dettaglio • Schede descrittive delle instabilità • Carta del <u>danger (CH)</u> di caduta blocchi e di frana a livello della strada • Risultati delle analisi traietto grafiche eseguite su alcuni siti specifici 	<ul style="list-style-type: none"> • Database delle aree omogenee (generalità, elementi strutturali, instabilità) • Rapporto sintetico (generalità area, geologia, rilievi) • Carta dei rilievi di terreno, carta delle instabilità ubicate e carta della pericolosità derivata • Carta elaborazione coni e carta della <u>suscettibilità (I)</u> derivata 	
				<p><i>Carta dell'<u>aléa chute de blocs (F)</u> a livello della strada (non prodotta nell'ambito del progetto)</i></p>
Sempione/Valle Divedro (tratto italiano)	Lavoro preparatorio in ufficio	5%	--	
	Terreno	25%	--	
	Ufficio	70%	--	
	Totale ore	201	120	
	Personale impiegato	Terreno: 2 (12,5%) Ufficio: 1 (75%)	Terreno: 2 (9%) + 1 (2%) Ufficio: 1 (60%) + 1 (10%) + 1 (5%)	
	Prodotti	<ul style="list-style-type: none"> • Rapporto tecnico di dettaglio • Schede descrittive delle instabilità • Carta del <u>danger (CH)</u> di caduta blocchi e di frana a livello della strada • Risultati delle analisi traietto grafiche eseguite su alcuni siti specifici 	<ul style="list-style-type: none"> • Schede tecniche per sito • Rapporto tecnico • Carta delle <u>zones homogènes (F)</u> • Anilisi traietto grafiche e di propagazione • Cartografie della propagazione • Cartografie dell'<u>aléa chute de blocs (F)</u> 	
				<p><i>Carta di <u>suscettibilità (I)</u> desunta dall'applicativo Rotomap (carta già esistente non prodotta nell'ambito del progetto)</i></p>

Sempione/Valle Divedro (tratto svizzero)	Lavoro preparatorio in ufficio	--	5%	5%
	Terreno	--	20%	60%
	Ufficio	--	75%	35%
	Totale ore	--	120	140
	Personale impiegato	--	Terreno: 2 (9%) + 1 (2%) Ufficio: 1 (60%) + 1 (10%) + 1 (5%)	Terreno: 4 (15%) Ufficio: 2 (10%) + 1 (20%)
Prodotti	<i>Carta del <u>danger</u> (CH) di caduta blocchi e di frana a livello della strada (non prodotta nell'ambito del progetto)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Schede tecniche per sito • Rapporto tecnico • Carta delle <u>zones homogènes</u> (F) • Anilisi traietto grafiche e di propagazione • Cartografie della propagazione • Cartografie dell'<u>aléa chute de blocs</u> (F) 	<ul style="list-style-type: none"> • Database delle <u>aree omogenee</u> (I) (generalità, elementi strutturali, instabilità) • Rapporto sintetico (generalità area, geologia, rilievi) • Carta dei rilievi di terreno e carta della pericolosità derivata • Carta elaborazione con i e carta della <u>suscettibilità</u> (I) derivata • Carta di <u>suscettibilità</u> (I) desunta dall'applicativo Rotomap 	
Lombarda/Vallone di S. Anna (versante italiano)	Lavoro preparatorio in ufficio	5%	5%	10%
	Terreno	35%	30%	50%
	Ufficio	60%	65%	40%
	Totale ore	166	160	100
	Personale impiegato	Terreno: 1 (35%) Ufficio: 1 (40%) + 1 (25%)	Terreno: 1 (20%) + 2 (5%) Ufficio: 1 (50%) + 1 (10%) + 1 (5%)	Terreno: 2 (25%) Ufficio: 3 (10%) + 1 (20%)
Prodotti	<ul style="list-style-type: none"> • Rapporto tecnico di dettaglio • Schede descrittive delle instabilità • Carta del <u>danger</u> (CH) di caduta blocchi e di frana a livello della strada • Risultati delle analisi traietto grafiche eseguite su alcuni siti specifici 	<ul style="list-style-type: none"> • Schede tecniche per sito • Rapporto tecnico • Carta delle <u>zones homogènes</u> (F) • Anilisi traietto grafiche e di propagazione • Cartografie della propagazione • Cartografie dell'<u>aléa chute de blocs</u> (F) 	<ul style="list-style-type: none"> • Database delle <u>aree omogenee</u> (I) (generalità, elementi strutturali, instabilità) • Rapporto sintetico (generalità area, geologia, rilievi) • Carta dei rilievi di terreno e carta della pericolosità derivata • Carta dello stato di fratturazione e carta della <u>suscettibilità</u> (I) derivata • Carta elaborazione con i e carta della <u>suscettibilità</u> (I) derivata • Carta di <u>suscettibilità</u> (I) desunta dall'applicativo Rotomap 	

Tabella 4.5 – Prospetto riassuntivo delle ore di lavoro svolte dagli esperti di dominio dei tre enti rapportate al personale impiegato e ai prodotti finali ottenuti

4.3 – Trattamento dei dati

I metodi francese ed italiano necessitano di trattare a posteriori i dati rilevati sul terreno per poter ottenere un risultato finale che indichi la pericolosità o la suscettibilità dell'elemento esposto nei riguardi dei crolli.

Il metodo ProviaIp permette di avere i dati acquisiti sul terreno già in forma organizzata grazie all'uso di un *database* realizzato ad hoc installato su un *tablet pc*; rimane tuttavia la necessità di un lavoro informatico attualmente realizzabile solo in ufficio, che comporta:

- una prima fase in cui, attraverso l'utilizzo di codici di calcolo sviluppati dal Politecnico di Torino, a partire dai dati strutturali rilevati, si calcola la probabilità di rottura (I) di ogni cinematismo (I) e quindi un indice di distacco (I) per ogni area omogenea (I);
- una seconda fase che, attraverso l'applicazione del programma traiettografico Rotomap, permette di ottenere la suscettibilità (I) dell'elemento esposto.

Il prodotto finale è rappresentato da una "Carta della suscettibilità dell'asse viario".

Il metodo BRGM prevede un lavoro di ufficio che, a partire dai dati acquisiti sul terreno, comporta il disegno preciso delle zones homogènes (F) mediante un programma GIS, la realizzazione degli stereogrammi attraverso i quali vengono individuate le instabilità possibili ed il calcolo della susceptibilité de départ (F) per ciascuna zone homogène (F) classificata secondo 5 classi i cui estremi corrispondono ai valori "debole o nulla" e "molto forte".

Per visualizzare il controllo esercitato dalla topografia nei riguardi dell'evoluzione dei crolli è utilizzato su tutto il territorio studiato il programma di propagazione BORA; per le situazioni ritenute più significative viene inoltre eseguita un'analisi traiettografica di dettaglio attraverso i programmi Pierre 98 2D/3D.

Bora è un applicativo sviluppato dal BRGM che viene utilizzato in presenza di valli molto ampie, caratterizzate da falesie sub verticali e pendii sottostanti ben sviluppati e a pendenza debole, per valutare la propagazione laterale di uno o più blocchi. L'applicativo Pierre 98 si utilizza in modo vantaggioso per pareti con o senza pendio al piede, con lo scopo di valutare più precisamente la propagazione frontale dei blocchi. La differenza basilare tra i due programmi è che Pierre 98 si basa su parametri fisici mentre BORA utilizza la sola morfologia del terreno derivata dal DTM.

Infine l'insieme dei risultati ottenuti necessita dell'intervento dell'esperto di dominio per essere sintetizzato nella "Carta della pericolosità da caduta blocchi a livello dell'asse viario".

La metodologia Matterock short/light permette già sul terreno di ottenere una prima stima del danger (CH) e demanda al lavoro di ufficio la fase di interpretazione ragionata dei dati di terreno che confluisce nella preparazione della relazione tecnica finale e nell'allestimento delle cartografie. Il prodotto riassuntivo dello studio effettuato è rappresentato da un'unica carta dove sono rappresentate le aléa (CH), i fenomeni franosi accaduti in passato e il danger (CH) da caduta massi e frana in roccia a livello della strada.

4.4 – Confronto dei prodotti finali

Considerazioni generali

Il differente approccio seguito dai metodi di studio della problematica dei crolli di massi, che come specificato nei paragrafi precedenti si evidenzia nelle fasi sia di raccolta dei dati sia del loro utilizzo, si traduce necessariamente in un risultato finale, rappresentato per i metodi Arpa e BRGM in una carta della suscettibilità e per il metodo Matterock short/light in una carta del danger (CH) o pericolo in italiano, che risultano difficilmente confrontabili.

In primo luogo la tipologia del dato posto a confronto è alla base differente dal momento che la carta finale derivata dal metodo Matterock short/light è relativa ad una suscettibilità che implica una probabilità stimata di accadimento su un periodo di tempo massimo di 300 anni, la carta del metodo BRGM descrive

una suscettibilità nel breve termine (indicativamente 10 anni) e senza alcun riferimento all'energia cinetica dei blocchi in caduta, mentre la carta del metodo Proviarp rappresenta una suscettibilità di tipo spaziale che non implica considerazioni in merito alla ricorrenza o tempo di ritorno del fenomeno. Il concetto di pericolo svizzero, inoltre, integra la nozione di intensità, cioè dell'energia espressa in kJ.

Tralasciando la considerazione appena espressa, senza dimenticare però che appare piuttosto difficoltoso paragonare dati di natura diversa, dal confronto delle cartografie finali ottenute dall'applicazione dei 3 metodi emergono ulteriori disuniformità alcune delle quali riconducibili alla delimitazione delle aree omogenee (I)/zones homogènes (F)/aléa diffus (CH) in parete. Ad aree di dimensione diversa, infatti, corrispondono tratti di strada esposti a caduta massi di lunghezza e posizione differente.

Osservando i prodotti a confronto risulta evidente il diverso stile di rappresentazione cartografica determinato da una differente organizzazione di ciascuna legenda; in effetti si può constatare che il metodo Proviarp indica la suscettibilità (I) secondo una scala di colori a classi multiple che in occasione del progetto MASSA è stata suddivisa in modo puramente aritmetico in 3 classi relative (bassa, media, alta) individuate da una gradazione semaforica (figura 4.8a), il metodo BRGM prevede la classificazione dell'aléa chute de blocs (F) in 5 classi (da nulla a debole, debole, media, forte, molto forte) indicate da un colore differente (figura 4.8b), il metodo Matterrock short/light suddivide il pericolo in 12 classi, funzione della probabilité d'occurrence (CH) e dell'intensité (CH), ciascuna evidenziata da una lettera, a sua volta raggruppate in 3 categorie di danger (CH) (debole, medio, elevato) rappresentate da un colore (figura 4.8 c).

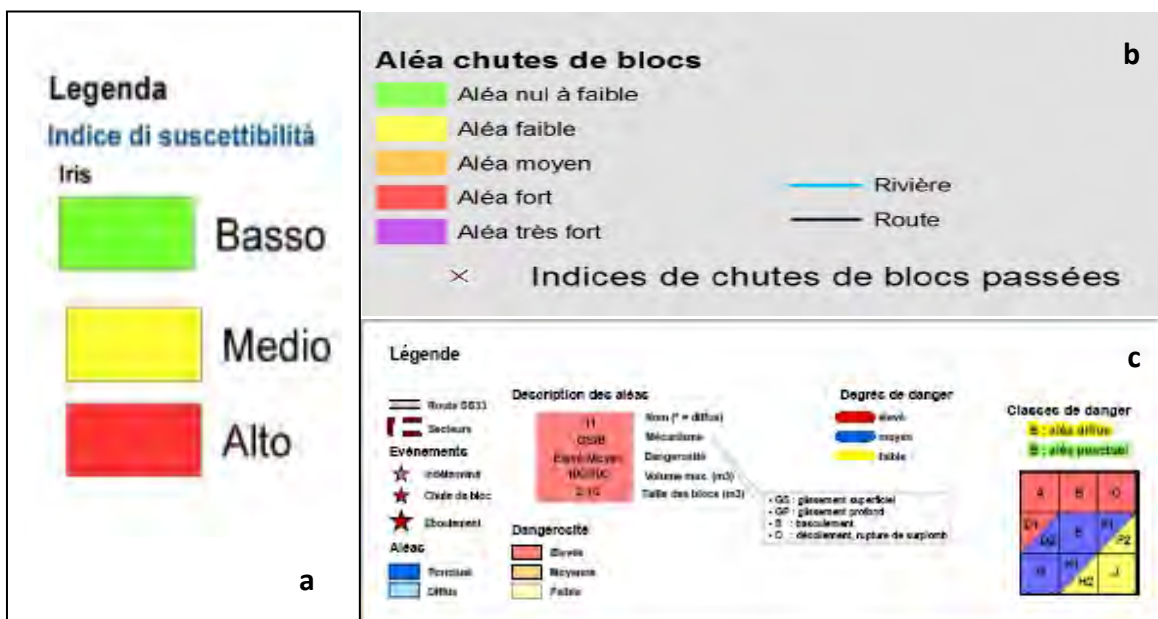


Figura 4.8 – Legenda delle carte di suscettibilità (I), aléa chute de blocs (F) e danger (CH) (a: metodo Proviarp; b: metodo BRGM; c: metodo Matterrock short/light)

Si tenga infine presente che mentre in Matterrock le classi di danger (CH) sono collegate a limiti costanti di energia (30 e 300 kJ) e di probabilité d'occurrence (CH) (30, 100 e 300 anni), le classi di aléa chute de blocs (F) francese e di suscettibilità (I) italiana non sono standard ma sono riferite al sito in esame per cui ad esempio un valore medio di aléa chute de blocs (F) in un sito di studio può non corrispondere esattamente ad un valore medio di aléa chute de blocs (F) calcolato in un altro sito.

Ponendo a confronto diretto le cartografie realizzate nel corso del progetto MASSA appare evidente che i prodotti ottenuti attraverso il metodo Matterrock short/light mostrano un livello di danger (CH) quasi sempre elevato mentre le carte ottenute con i metodi Proviarp e BRGM tendono ad essere caratterizzate da una proporzione più variegata delle classi di suscettibilità (I) e di aléa chute de blocs (F).

Questa differenza è legata al fatto che il metodo svizzero prende in considerazione la probabilité

d'occurrence (CH) del fenomeno caduta massi e l'energia. Se si considera infine che la legislazione di questo paese definisce di "intensità elevata" qualsiasi fenomeno con energia superiore ai 300 kJ ecco che si spiega facilmente la classificazione in "*danger (CH)* elevato" di gran parte dei tratti di strada oggetto di studio.

Se si considera ad esempio il risultato finale ottenuto per la zona di monte del Vallone di S. Anna a proposito dei *cinematismi (I)* / *aléas diffus (CH)* si osserva che la carta svizzera riporta un *danger (CH)* elevato compreso tra le classi A (intensità e probabilità di accadimento elevate) e B (intensità elevata e probabilità di accadimento media) mentre la carta francese e quella italiana individuano tratti soggetti a suscettibilità elevata più ristretti, la prima nei pressi della località Baraccone, la seconda in corrispondenza dei tornanti (figura 4.9 a, b, c).

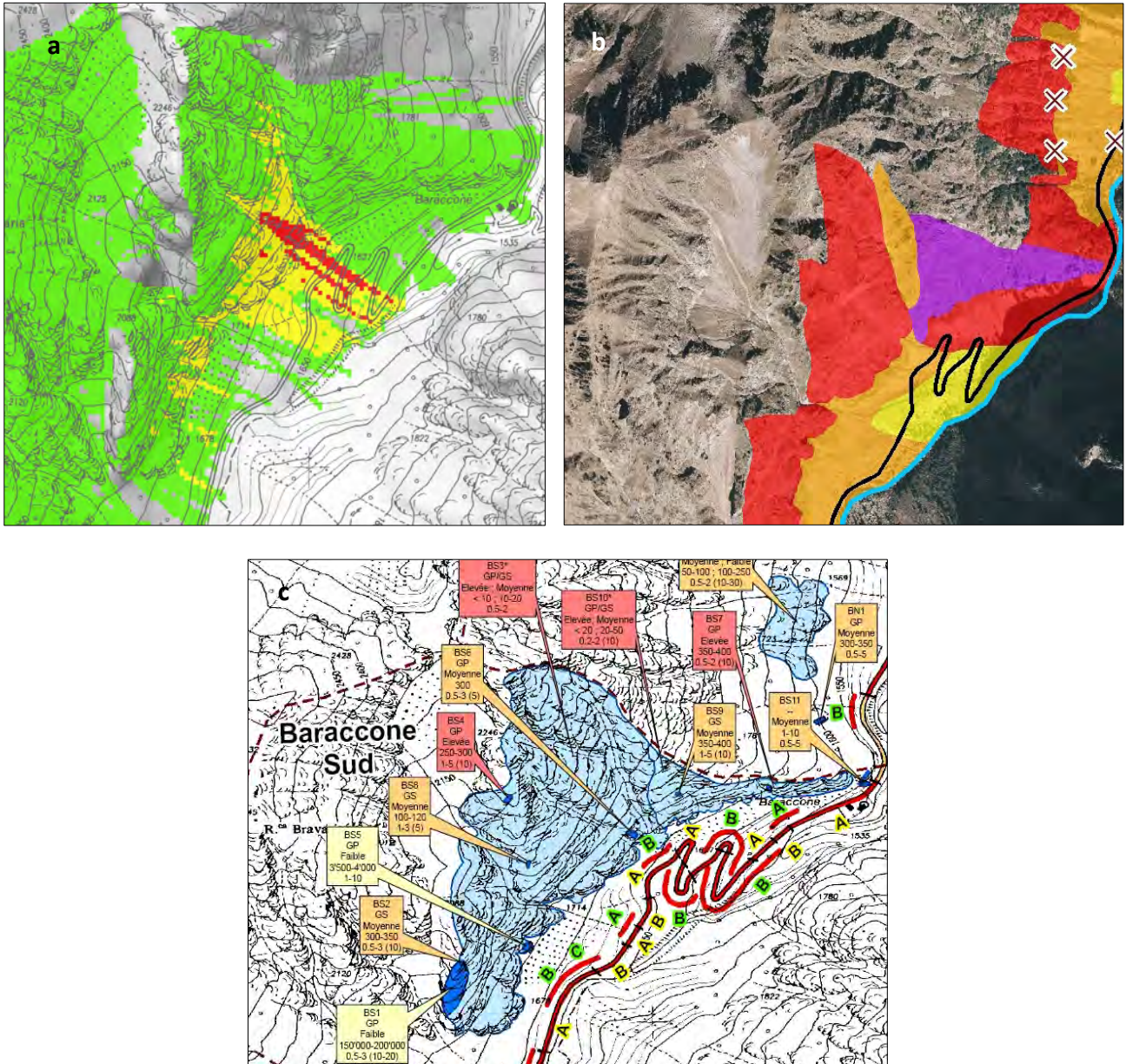


Figura 4.9 – Carte di *suscettibilità (I)*, *aléa chute de blocs (F)* e *danger (CH)* (a: metodo Proviaalp; b: metodo BRGM; c: metodo Matterrock short)

Risultati del confronto

Malgrado i prodotti finali delle tre metodologie siano concettualmente diversi attraverso alcune semplificazioni è stato possibile mettere a confronto tra loro i risultati ottenuti. Per farlo è stato necessario procedere ad alcune semplificazioni:

- si sono messe a confronto la suscettibilità (I) (desunta dai rilievi di terreno o, se disponibile, dall'applicativo Rotomap), l'aléa final de chute de blocs (F) e la probabilité d'occurrence (CH) a livello della strada relativamente ai soli fenomeni di caduta massi, tralasciando la probabilità di accadimento legata alla mobilitazione di aléa ponctuels (CH) di volumi maggiori;

- sono state ridotte da cinque a tre le classi dell'aléa de chute de blocs (F) secondo il seguente criterio:

- da nulla a debole e debole = debole
- media = media
- da forte a molto forte = elevata.

La strada è stata suddivisa in tronconi di lunghezza e numero variabile ai quali è stato associato il valore di suscettibilità/probabilità di accadimento ottenuto dalle tre metodologie. Con la semplificazione sopradescritta si è assunto che la suscettibilità/probabilità di accadimento può essere bassa, media o elevata. Per tre dei quattro siti studiati (Tenda, Sempione svizzero e Sempione italiano) si è anche effettuato un confronto a 2. In questo caso si è distinto tra risultati in accordo (i valori di suscettibilità/probabilità di accadimento coincidono), risultati in disaccordo (quando i risultati differiscono di un grado, ad esempio basso-medio, medio-elevato) e i risultati in forte disaccordo (quando la valutazione è sensibilmente diversa: coppie basso-elevato) (tabella 4.6).

Lombarda (versante italiano)

Il sito della Lombarda è l'unico che è stato studiato *ex novo* nel quadro del progetto per cui non sono stati effettuati confronti a 2. Il confronto a 3 mette in luce una concordanza di risultati a 3 di appena l'8%. Confortante è il dato relativo a risultati in moderato disaccordo che raggiungono il 64% del totale. La differenza di valutazione può essere influenzata anche dal numero e dall'esperienza dei rilevatori impiegati sul terreno (1 persona per Matterock short/light, 2 per Proviaalp, 3 per BRGM).

Tenda (versante francese)

Il confronto a 3 dei risultati sul sito della valle Roya è condizionato dal fatto che il metodo BRGM non valuta l'aléa de chute de blocs (F) su gran parte del tratto di strada oggetto di studio. La percentuale di risultati in accordo comunque si attesta al 28%. Se si restringe il confronto alle metodologie Matterock short/light e Proviaalp la percentuale di risultati in accordo completo sale al 50%.

Nella statistica dei risultati non è stato incluso il tratto tra St. Dalmas e Tenda a causa della grande differenza sia nell'ubicazione dei tratti di strada esposti a caduta massi sia nella valutazione della probabilità di accadimento. In condizioni di osservazione molto difficili come in questo tratto (assenza di punti di osservazione panoramici, vegetazione particolarmente densa), i metodi speditivi applicati non danno risultati affidabili.

Sempione (tratto italiano)

Il sito del Sempione italiano è quello dove i risultati concordano di più sia in termini di stima della suscettibilità/probabilità di accadimento sia nella segmentazione dei tronconi. Se si restringe il confronto a Matterock short/light e BRGM, le uniche metodologie applicate *ex-novo* nell'ambito di questo progetto, la concordanza dei risultati è sorprendente. Su un solo tratto si ha una valutazione totalmente differente, probabilmente connessa alla presenza di una galleria. La convergenza tra i risultati è molto elevata ed è maggiore di quanto non risulti dai dati in tabella. La statistica non tiene infatti conto della lunghezza dei tronconi: su un totale di 4 tronconi lunghi, 3 mostrano risultati concordanti.

Difficile spiegare la concordanza di risultati in questo sito soprattutto se confrontata con il sito del Sempione

svizzero; probabilmente è da ricercare nelle condizioni di rilievo morfologico-strutturali più semplici, di osservazione relativamente più agevoli e nella minore lunghezza del tratto in studio.

Sempione (tratto svizzero)

La mancanza di punti di osservazione sul versante opposto e la morfologia estremamente acclive hanno reso difficile l'esecuzione dei rilievi di terreno. Solo in 3 segmenti di strada posti in prossimità di Gondo la valutazione è concordante. La discrepanza dei risultati è accentuata dal fatto che mentre i risultati Proviaip e BRGM derivano da uno studio speditivo eseguito ad hoc per il progetto MASSA, quelli svizzeri sono la somma di studi di dettaglio eseguiti nel tempo da vari professionisti. Il confronto a 2 tra risultati dello stesso livello di approfondimento (BRGM e Proviaip) mostra una concordanza bassa dei risultati (25%), soprattutto se confrontata con il sito del Sempione italiano (44%) e di Tenda (50%).

		Confronto a 3	Confronto a 2	
			(Proviaip-Matterock)	
Tenda/Valle Roya (versante francese)	3 risultati in accordo	28%	50%	Risultati in accordo
	2 su 3 in accordo	47%	31%	Risultati in disaccordo
	Disaccordo completo	25%	19%	Risultati in forte disaccordo
			(BRGM-Matterock)	
Sempione/Valle Divedro (tratto italiano)	3 risultati in accordo	28%	44%	Risultati in accordo
	2 su 3 in accordo	52%	53%	Risultati in disaccordo
	Disaccordo completo	20%	3%	Risultati in forte disaccordo
			(Proviaip-BRGM)	
Sempione/Valle Divedro (tratto svizzero)	3 risultati in accordo	8%	25%	Risultati in accordo
	2 su 3 in accordo	61%	64%	Risultati in disaccordo
	Disaccordo completo	31%	11%	Risultati in forte disaccordo
			--	
Lombarda/Vallone di S. Anna (versante italiano)	3 risultati in accordo	8%	--	Risultati in accordo
	2 su 3 in accordo	64%	--	Risultati in disaccordo
	Disaccordo completo	28%	--	Risultati in forte disaccordo

Tabella 4.6 – Confronto tra i risultati ottenuti dalle tre metodologie nei 3 siti di studio. Dettagli esplicativi nel testo

Il confronto dei risultati così esposto dimostra che non esiste una metodologia migliore in assoluto e applicabile in tutti i contesti. Si tratta di metodologie speditive e quindi di per se l'affidabilità non può essere elevata.

E' opportuno sottolineare tuttavia che le tre metodologie, benché speditive, sono quasi sempre in grado di riconoscere i tratti di strada sottoposti ad un livello di suscettibilità di crollo elevata e molto elevata e quelli invece poco o per niente esposti a questi fenomeni. Più problematico appare, invece, definire le situazioni intermedie.

Un esempio di utilizzo pratico di queste metodologie speditive nella pianificazione del territorio ci è offerto dalla collocazione di una centralina idroelettrica nel Vallone di Sant'Anna, la quale è stata posizionata proprio nell'unico tratto a suscettibilità elevata di caduta massi confermato dalle cartografie di tutte le tre metodologie (figura 4.10).

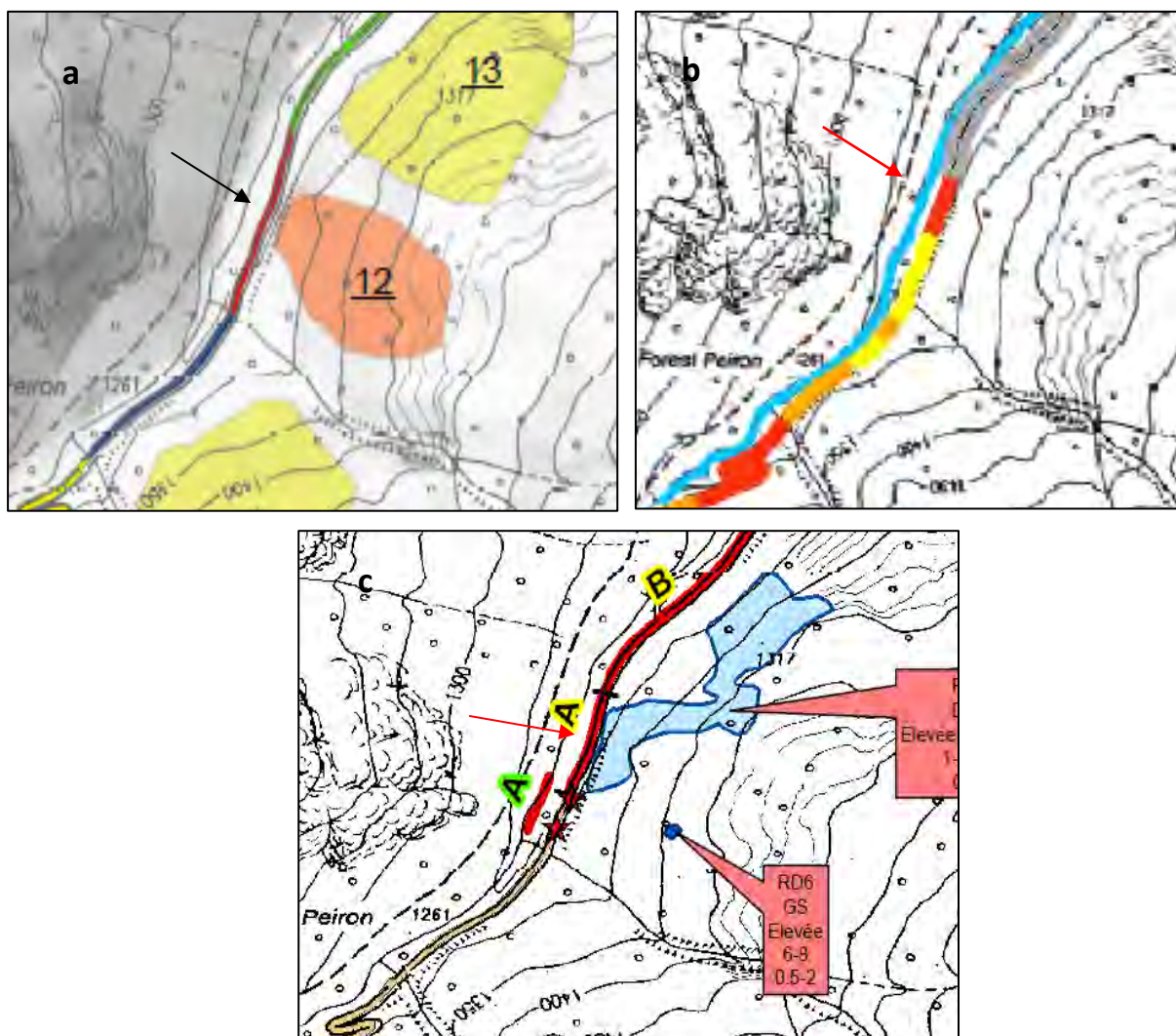


Figura 4.10 – Sito della Lombarda: carta della suscettibilità (I) (a), carta dell'aléa chute de blocs (F) (b) e del danger (CH) (c). La freccia indica la posizione della centralina idroelettrica

5 – CONFRONTO TRA I METODI

Le attività di rilievo di terreno, accompagnate da discussioni approfondite sui risultati ottenuti, hanno permesso di comprendere in che modo si sviluppano i 3 metodi di studio del fenomeno di caduta blocchi e le caratteristiche dei risultati che si ottengono. Se a priori era sembrato facile confrontare metodi di studio che si occupano del medesimo problema e che hanno l'obiettivo comune di zonare il territorio in classi di suscettibilità (I), aléa chute de blocs (F) e/o danger (CH), al contrario l'esperienza maturata nel progetto MASSA ha fatto emergere notevoli difficoltà in questo senso.

Una possibile motivazione può essere ricercata nella finalità per la quale le metodologie sono state concepite: per studi a piccola scala indirizzati principalmente alla pianificazione come capita per i metodi Provialp e BRGM, per studi di dettaglio facilmente adattabili a situazioni di pronto intervento come nel caso del metodo Matterock short/light.

Tuttavia, anche nel caso della metodologia francese e di quella italiana improntate allo stesso obiettivo, si rilevano differenze a causa di una diversa strutturazione generale e soprattutto del differente peso che viene ascrivito alle variabili in gioco.

È infatti proprio nella valutazione speditiva dei parametri che regolano un processo naturale piuttosto complesso come quello dei crolli e nel peso che viene loro attribuito che si può ricercare il motivo della differenza che caratterizza i risultati ottenuti.

I metodi utilizzati dai tre enti, sia che prevedano approcci diretti sia semidiretti (simulazioni automatiche), si basano sulla conoscenza delle cause e dei fattori di instabilità la cui bontà dipende dal livello di comprensione dei processi geomorfologici in atto o che hanno agito nel passato sul terreno. I fattori ritenuti responsabili dell'instabilità, generalmente litologia, fratturazione, pendenza dei versanti, giacitura, uso del suolo, ai quali si aggiungono i fattori che influiscono sulla valutazione della suscettibilità e/o del pericolo quali la stima dei volumi dei blocchi instabili, la loro probabilità di accadimento, le trattorie dei blocchi in caduta ecc., vengono classificati e pesati sulla base dell'importanza che si presume possano assumere in ciascun movimento gravitativo. Dalla combinazione di questi fattori, in maniera automatica, semi-automatica o diretta da terreno, vengono derivate le carte di suscettibilità (I), aléa chute de blocs (F) e danger (CH) che saranno quindi caratterizzate da una più o meno elevata soggettività.

Preso atto di questa situazione è emersa la necessità di allestire un documento speditivo che permetta di evidenziare le caratteristiche di ciascun metodo e quindi il campo di utilizzo più adeguato di ciascuno di essi.

Il mezzo che si è ritenuto essere più funzionale a tale necessità è costituito da una tabella che pone a confronto i metodi di studio sulla valutazione della suscettività da crollo utilizzando una serie di criteri di comparazione definiti a priori accorpati in sezioni.

Di seguito si riporta integralmente il documento che è stato realizzato.

Tabella di confronto delle metodologie MATTEROCK – BRGM - PROVIALP

Criteri di confronto	Matterock	BRGM	ProviaIp
Campo di applicazione			
Caduta di pietre o blocchi			
• Evento caduta pietre	no <i>(possibile)</i>	si	si
• Evento caduta blocchi $\leq 30\text{-}50\text{ m}^3$	si	si	si
• Evento caduta blocchi ¹ $\geq 30\text{-}50\text{ m}^3$	si	no	no
Tipologia dello studio			
• A grande scala: su lunghi assi stradali	si <i>(molto più tempo necessario)</i>	si	si <i>(più tempo necessario)</i>
• A scala locale: dopo un evento	si	no	no
Tipologia della valle			
• Valle senza versante opposto accessibile	poco adatta ²	adatta	adatta
• Valle con versante opposto accessibile		adatta	
Soggettività della metodologia (= esperienza del geologo preponderante)	alta	media	bassa
Tempo di ritorno dell'evento	a lungo termine <i>(≤ 300 anni)</i>	a breve termine <i>(≤ 10 anni)</i>	non considerato

¹ Comprende le frane in roccia.

² L'applicazione della metodologia MATTEROCK necessita di punti di osservazione a distanza (ad esempio dal versante opposto o da elicottero).

Criteri di confronto	Matterock	BRGM	ProviaIp
Valutazione della probabilità di rottura			
<ul style="list-style-type: none"> Analisi dello stato di fratturazione della parete 	non considerato sistematicamente	considerato	considerato in modo indiretto (ortofoto)
<ul style="list-style-type: none"> Mecanismo di rottura (= confronto tra l'assetto strutturale della parete e la sua orientazione e inclinazione) 		considerato	
<ul style="list-style-type: none"> Altezza della parete 	non considerata	considerata	non considerata
<ul style="list-style-type: none"> Persistenza e spaziatura 		considerate	
<ul style="list-style-type: none"> Forma dei blocchi alla partenza 	non considerata	considerata	non considerata
<ul style="list-style-type: none"> Taglia dei blocchi alla partenza 	non considerata	considerata	considerata
<ul style="list-style-type: none"> Grado di alterazione della roccia 		non considerato sistematicamente	
<ul style="list-style-type: none"> Presenza di acqua 	considerata per le instabilità puntuali	considerata	non considerato
Valutazione generale della propagazione			
<ul style="list-style-type: none"> Analisi dei blocchi alla base della parete 		considerata qualitativamente	
<ul style="list-style-type: none"> Taglia del blocco alla partenza 	considerata	considerata (Pierre 98)	considerata (Rotomap)
<ul style="list-style-type: none"> Ruolo della foresta 	considerato qualitativamente (Rockyfor3D: quantitativamente)	può essere considerato (Pierre 98 + Rockyfor3D)	considerato (Rotomap)
<ul style="list-style-type: none"> Elasticità del suolo lungo la traiettoria di caduta 	considerata (Rockyfor3D)	considerata (Pierre 98)	considerata (Rotomap)
<ul style="list-style-type: none"> Valutazione senza calcolo numerico 	<ul style="list-style-type: none"> si con Matterock short/light 	<ul style="list-style-type: none"> si (BORA + linea d'energia quando la morfologia del versante lo consente) 	no

Criteri di confronto	Matterock	BRGM	Proviaip
Traiettopografia e propagazione			
Traiettopografia (= software)			
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di programma: deterministico / probabilistico - 2D/3D 	Rockyfor3D probabilistico	Pierre 98 2D-3D deterministico e probabilistico	Rotomap 3D deterministico
<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilità del programma 	in commercio (150 €/anno)	non commercializzato	in commercio (circa 3.000 €)
<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivi / principi di funzionamento del programma 	<ul style="list-style-type: none"> - simulazione di traiettorie monoblocco in 3D con l'impiego di un DTM - generazione di raster caricabili su GIS - simulazione con barriere e sezioni di controllo 	<ul style="list-style-type: none"> - determinare in modo più preciso l'estensione verso valle del fenomeno di caduta blocchi (Pierre98 2D) - permette di ottenere i punti di impatto e di arresto dei blocchi sul DTM (Pierre98 3D) 	<ul style="list-style-type: none"> - calcolare le aree di transito e di arresto dei blocchi soggetti a crollo
<ul style="list-style-type: none"> • Geometria del volume instabile in parete (punto, linea, superficie) 	superficie	2D: punto 3D: superficie	superficie
<ul style="list-style-type: none"> • Numero di blocchi alla partenza 	non limitato	2D: dipende dalla topografia + strati del suolo 3D: non limitato	non limitato
<ul style="list-style-type: none"> • Forma dei blocchi 	si	si	no
<ul style="list-style-type: none"> • Rotazione dei blocchi 	si	si	no
<ul style="list-style-type: none"> • Punto materiale 	no	no	si
<ul style="list-style-type: none"> • Valutazione della foresta nella modellazione 	considerata quantitativamente (Rockyfor3D)	no	no

Criteri di confronto	Matterock	BRGM	ProviaIp
<ul style="list-style-type: none"> • Risultati forniti 	<p>Rockyfor3D: energie + 95%, velocità massima, altezze di volo medie + 95%, numero transiti, numero celle sorgenti, probabilità arrivo, numero punti di arresto, volume massimo blocchi arrestati, angolo linea energia, tempo traiettoria (con foresta: numero + altezze di impatto sugli alberi)</p>	<p>Pierre 98 2D / 3D: distanze di propagazione minima, media, massima; analisi singole traiettorie con velocità in ogni punto; informazioni su un punto scelto per varie problematiche di pianificazione. Dati su velocità e rimbalzi</p>	<p>Rotomap: energia media, energia massima, altezze massime di volo, frequenze arrivi, indice di suscettibilità IRIS</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamento delle opere di protezione 	<p>si</p>	<p>no</p>	<p>no</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Forma dei risultati 	<ul style="list-style-type: none"> - layer GIS (14 griglie raster) - file con caratteristiche dettagliate dei blocchi in caduta in corrispondenza di opere/sezioni di controllo (velocità, energia, altezza di volo, angolo di impatto) 	<ul style="list-style-type: none"> - per i 2D: risultati sotto forma di profili e diagrammi + elaborazioni statistiche - per i 3D: layer GIS dei punti di arresto e impatto. Precisione inferiore rispetto al 2D 	<ul style="list-style-type: none"> - 4 raster - cartografie realizzate in funzione di energia cinetica media e massima, altezze massime di volo, distribuzione dei punti di arresto, indice di suscettibilità
<ul style="list-style-type: none"> • Limiti di utilizzo 	<ul style="list-style-type: none"> - Rockyfor3D comporta la creazione di numerosi layer raster (da 10 fino a 17) - non è un metodo speditivo: rilievi di terreno dettagliati, elaborazioni e analisi richiedono molto tempo 	<ul style="list-style-type: none"> - molti, a volte troppi parametri - punti di partenza puntuali, scelta di punti di partenza solo rappresentativi dato che non è possibile far partire i blocchi da una zona di rottura - programma non in commercio 	<ul style="list-style-type: none"> - richiede un DTM dettagliato - la costruzione del dato di input non è speditiva - il software è a pagamento

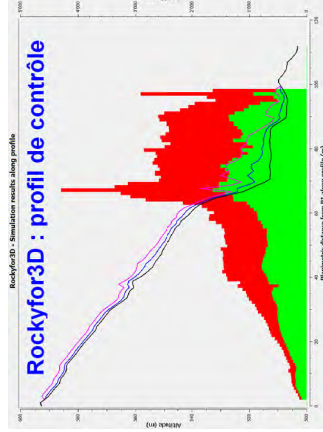
Criteri di confronto

Matterock

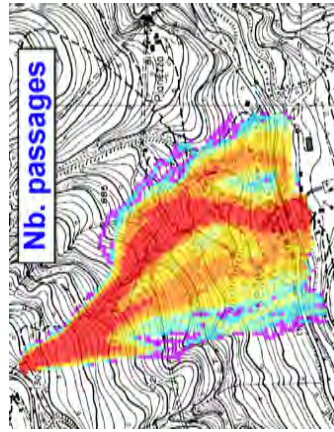
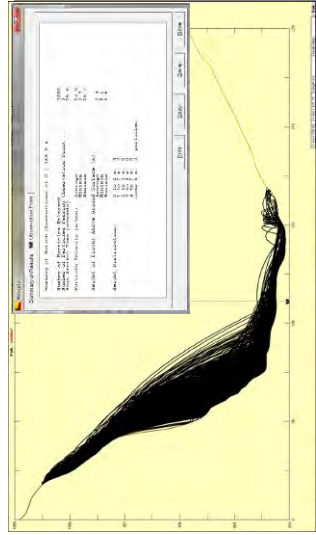
BRGM

Proviarp

- **Illustrazioni**



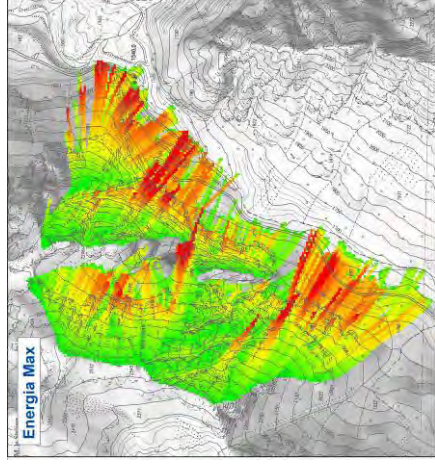
Rappresentazioni dei risultati di Pierre 98 2D



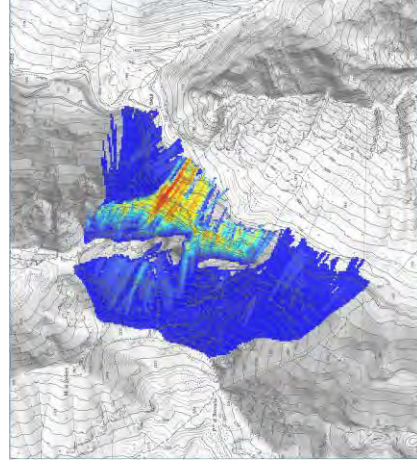
Rappresentazioni dei risultati di Pierre 98 3D



Rotomap: energia massima



Rotomap: indice di suscettibilità IRIS



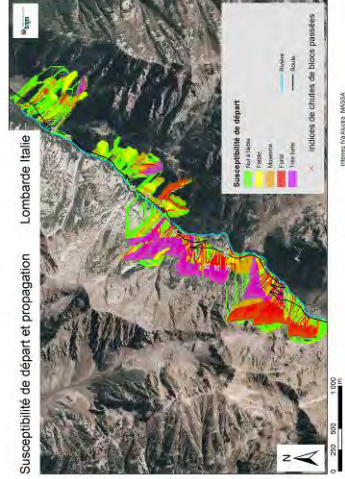
Criteri di confronto	Matterock	BRGM	ProviaIp
Propagazione s.l.			
<ul style="list-style-type: none"> Valutazione della propagazione (empirica) e/o delle linee d'energia 	<p>si (criteri geomorfologici – Matterock short/light)</p>	<p>si (ma senza calcolo dell'energia, definizione della probabilità d'arrivo corrispondente al pericolo di propagazione ricavato con il programma BORA)</p>	<p>si (metodo dei coni modificato – linee di energia)</p>
<ul style="list-style-type: none"> Obiettivi / principi dei programmi 	<p>nessun programma utilizzato</p>	<p>Riproduzione degli eventi conosciuti in condizioni identiche e estrapolazione ad altri siti mantenendo gli stessi parametri</p>	<p>stimare la massima distanza di arresto dei blocchi</p>
<ul style="list-style-type: none"> Utilizzo di un volume instabile di partenza che richiede una valutazione di terreno 	<p>si (morfologia, vegetazione, taglia e forma dei blocchi)</p>	<p>no se si dispone di un evento esistente o di una retroanalisi su eventi conosciuti</p>	<p>no</p>
<ul style="list-style-type: none"> Geometria del volume instabile di partenza (punto, linea, superficie) 	<p>punto (aléa puntuale) o superficie (aléa diffusa)</p>	<p>superficie o linea (con buffer)</p>	<p>superficie</p>
<ul style="list-style-type: none"> Valutazione della foresta 	<p>considerata qualitativamente (Matterock short/light)</p>	<p>no</p>	<p>no</p>
<ul style="list-style-type: none"> Tipo dei risultati 	<p>probabilità di arrivo (3 classi)</p>	<p>probabilità di arrivo</p>	<p>arrivo/non arrivo in rapporto ad un angolo dato</p>
<ul style="list-style-type: none"> Formato dei risultati grezzi 	<p>tabella</p>	<p>raster</p>	<p>raster + shape</p>
<ul style="list-style-type: none"> Rappresentazione cartografica dei risultati 	<p>no</p>	<p>si (classificazione basata sulle valutazioni dell'esperto di dominio e sulle osservazioni di terreno)</p>	<p>si (classificazione su basi matematiche)</p>
<ul style="list-style-type: none"> Limite di utilizzo 	<ul style="list-style-type: none"> rilievi di terreno necessari 	<ul style="list-style-type: none"> programma empirico senza parametri fisici non utilizzabile su pareti verticali senza pendio alla base 	<ul style="list-style-type: none"> dipende dal dettaglio del DTM applicabile quando la morfologia è favorevole

• **Illustrazioni**

Matrice di attribuzione delle classi di probabilità di arrivo

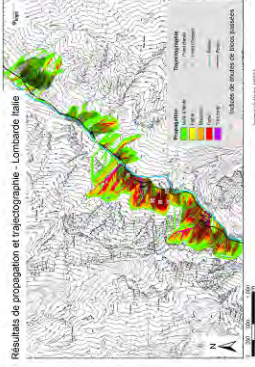
<i>Elevée</i>	20 - 100%
<i>Moyenne</i>	2 - 20%
<i>Faible</i>	0 - 2 %

Rappresentazione cartografica della propagazione e della probabilità di rottura



Metodo dei coni – frequenze arrivi

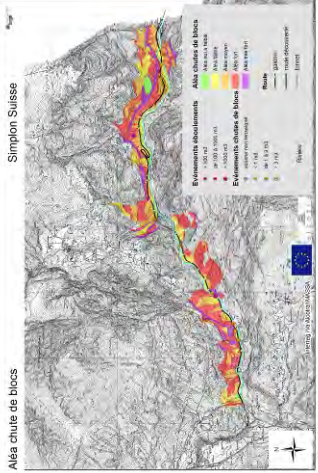

Carta della suscettibilità derivata dal metodo dei coni

Criteri di confronto	Matterock	BRGM	Proviaip
Sintesi generale (probabilità di rottura / analisi traietto grafiche e propagazione)			
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzazione dei risultati intermedi di traietto grafia e di propagazione 	<p>sintesi delle osservazioni di terreno, degli eventi storici e delle simulazioni (Rockyfor3D)</p>	<p>combinazione tra propagazione (BORA) e traietto grafia (Pierre 98) + osservazioni di terreno + foto / ortofoto / eventi storici</p>	<p>1 (speditivo): combinazione densità di fratturazione + propagazione (Proto) 2 (dettato): combinazione osservazioni di terreno + codici di calcolo instabilità + traietto grafia (Rotomap)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Apporti della propagazione 	<p>Matterock short/light: stima delle probabilità di arrivo in relazione all'elemento esposto (asse stradale)</p>	<p>BORA: visualizzare le direzioni preferenziali prese dai blocchi e quindi le zone a probabilità di arrivo più o meno elevata. Corrisponde a una estensione 3D di Pierre 98</p>	<p>PROTO: stimare la massima distanza di arresto dei blocchi in modo speditivo</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Apporti della traietto grafia 	<p>Rockyfor3D: stima dei limiti di arrivo verso valle e lateralmente, calcolo dell'energia dei blocchi (dimensionamento delle opere di protezione), messa in evidenza dei corridoi preferenziali di caduta (concentrazione dei blocchi)</p>	<p>Pierre 98: stimare i limiti di propagazione verso valle e lateralmente e quindi tracciare il perimetro delle zone coinvolte</p>	<p>ROTOPAP: definire le zone di arresto e la suscettibilità dell'elemento esposto</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Illustrazioni relative all'integrazione dei due approcci (traietto grafia e propagazione) 	<p style="text-align: center;">no</p>	<p>Rappresentazione cartografica della traietto grafia e della propagazione</p> 	<p style="text-align: center;">no</p>

Criteri di confronto	Matterock	BRGM	Proviaalp
Risultati ottenuti			
<ul style="list-style-type: none"> • Probabilità di rottura dei volumi instabili 	<p>si [qualitativo: 3 classi di pericolosità]</p>	<p>si [semi-quantitativo: criteri di ponderazione]</p>	<p>si [quantitativo: calcolo stabilità]</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di descrizione dei volumi instabili 	<p>alea diffusi + puntuali</p>	<p>zone omogenee (≈ alea diffusi)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Schede identificative dei volumi instabili 	<p>si</p>	<p>no</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Probabilità di arrivo 	<p>si (Matterock short/light: qualitativo Matterock complete: quantitativo)</p>	<p>si (quantitativo, Pierre 98)</p>	<p>si (quantitativo, Rotomap; qualitativo, Proto+densità fratturazione)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Probabilità di accadimento (rottura + probabilità di arrivo nel periodo di ritorno dato) 	<p>si</p>	<p>si</p>	<p>no</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Energia dei blocchi 	<p>si (Matterock short/light: qualitativo Matterock complete: quantitativo)</p>	<p>no</p>	<p>si (Rotomap: energia cinetica; Proto+fratturazione: energia potenziale)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Altezza di volo dei blocchi 	<p>si (Rockyfor 3D)</p>	<p>si</p>	<p>si (Rotomap: con rimbalzi; Proto: altezza di partenza dei massi)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Grado di suscettibilità³ (nozione spaziale = probabilità di rottura + probabilità di arrivo) 	<p>no</p>	<p>si</p>	<p>si (Rotomap)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Grado di pericolo⁴ (diagramma intensità – accadimento) 	<p>si</p>	<p>no</p>	<p>no</p>

³ La suscettibilità PROVIALP non tiene conto della nozione di ricorrenza – tempo di ritorno del fenomeno. E' unicamente una combinazione di suscettibilità di partenza del volume instabile + probabilità di arrivo + energia.

⁴ In MATTEROCK il pericolo è ottenuto combinando la probabilità d'accadimento e l'intensità (energia) dei blocchi.

Criteri di confronto	Matterrock	BRGM	Proviaalp																																																																																																																																				
<ul style="list-style-type: none"> Dimensionamento delle opere di protezione 	<p>no: Matterrock short/light si: Matterrock completo</p>	<p>no</p>	<p>no (possibile con Rotmap)</p>																																																																																																																																				
<ul style="list-style-type: none"> Posizionamento delle opere di protezione 	<p>no: Matterrock short/light si: Matterrock completo (Rockyfor 3D: messa in evidenza dei canali e degli assi di propagazione dei blocchi)</p>	<p>no</p>	<p>no (possibile con Rotmap)</p>																																																																																																																																				
<ul style="list-style-type: none"> Illustrazioni 	<p>Relazione profilo del versante - fattore di caduta utilizzato per il calcolo dell'energia dei blocchi (Matterrock short/light)</p> <table border="1" data-bbox="699 1142 1069 1534"> <thead> <tr> <th colspan="2">A/ Falaise sans versant</th> <th colspan="2">Facteur de chute f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Falaise très raide ou verticale avec chute libre sur la route</td> <td colspan="2">f = 0,9 - 1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Falaise très raide ou verticale avec chute libre sur la route et rebonds et impacts en hauteur</td> <td colspan="2">f = 0,6 - 0,9</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Falaise inclinée à 45-60° avec rebonds</td> <td colspan="2">f = 0,4 - 0,6</td> </tr> <tr> <th colspan="2">B/ Falaise avec versant</th> <th colspan="2">Facteur de chute f</th> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Blocs sautent</td> <td colspan="2">f = 0,1 - 0,4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Blocs roulent</td> <td colspan="2">f = 0,01 - 0,1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Cas n°4 ou 5 avec petite falaise le long de la route</td> <td colspan="2">f = 0,4 - 0,6</td> </tr> </tbody> </table>	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 hauteur	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			<p>Tabella riassuntiva del calcolo della probabilità di rottura (P_R) di ogni cinematismo e dell'indice di distacco (I_b) di ogni area omogenea</p> <table border="1" data-bbox="790 100 1372 526"> <thead> <tr> <th>Area</th> <th>Cinematisimo</th> <th>P_R (%)</th> <th>Vol (m³)</th> <th>I_b (-)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>89.8</td><td>0.10</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>19.6</td><td>0.10</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>10.7</td><td>2.00</td><td>2.20</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td><td>65.3</td><td>0.10</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>76.9</td><td>0.10</td><td>0.17</td></tr> <tr><td>6</td><td>6</td><td>93.7</td><td>0.10</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>7</td><td>100</td><td>0.10</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>8</td><td>53.6</td><td>1.00</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>9</td><td>97.1</td><td>0.30</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>10</td><td>65.5</td><td>0.30</td><td>1.30</td></tr> <tr><td>11</td><td>11</td><td>2.7</td><td>0.30</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>12</td><td>45.3</td><td>0.30</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>13</td><td>100</td><td>0.03</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>14</td><td>18.5</td><td>0.20</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>15</td><td>0</td><td>0.30</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>16</td><td>6</td><td>0.10</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>17</td><td>100</td><td>0.50</td><td>0.76</td></tr> <tr><td>18</td><td>18</td><td>49.8</td><td>0.30</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>19</td><td>22.2</td><td>0.30</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Area	Cinematisimo	P _R (%)	Vol (m ³)	I _b (-)	1	1	89.8	0.10	0.09	2	2	19.6	0.10		3	3	10.7	2.00	2.20	4	4	65.3	0.10		5	5	76.9	0.10	0.17	6	6	93.7	0.10		7	7	100	0.10		8	8	53.6	1.00		9	9	97.1	0.30		10	10	65.5	0.30	1.30	11	11	2.7	0.30		12	12	45.3	0.30		13	13	100	0.03		14	14	18.5	0.20		15	15	0	0.30		16	16	6	0.10		17	17	100	0.50	0.76	18	18	49.8	0.30		19	19	22.2	0.30	
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 hauteur	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																																																																																																																																					
Area	Cinematisimo	P _R (%)	Vol (m ³)	I _b (-)																																																																																																																																			
1	1	89.8	0.10	0.09																																																																																																																																			
2	2	19.6	0.10																																																																																																																																				
3	3	10.7	2.00	2.20																																																																																																																																			
4	4	65.3	0.10																																																																																																																																				
5	5	76.9	0.10	0.17																																																																																																																																			
6	6	93.7	0.10																																																																																																																																				
7	7	100	0.10																																																																																																																																				
8	8	53.6	1.00																																																																																																																																				
9	9	97.1	0.30																																																																																																																																				
10	10	65.5	0.30	1.30																																																																																																																																			
11	11	2.7	0.30																																																																																																																																				
12	12	45.3	0.30																																																																																																																																				
13	13	100	0.03																																																																																																																																				
14	14	18.5	0.20																																																																																																																																				
15	15	0	0.30																																																																																																																																				
16	16	6	0.10																																																																																																																																				
17	17	100	0.50	0.76																																																																																																																																			
18	18	49.8	0.30																																																																																																																																				
19	19	22.2	0.30																																																																																																																																				
	<p>Diagramma intensità-accadimento + classi di pericolo</p> 																																																																																																																																						

Criteri di confronto	Matterock	BRGM	Proviaalp
Rappresentazione cartografica			
• Catasto degli eventi storici		si	
• Carta dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso	no	no	si
• Carta dei fenomeni ⁵	no: Matterock short/light si: Matterock completo	si (a titolo indicativo ma non integrata nella valutazione, utilizzata come verifica)	si (fa parte dei dati raccolti sul terreno, ma non è utilizzata direttamente)
• Carte delle zone omogenee	no	si	si
• Carta dei volumi instabili	si carta delle alea	no	no
• Carte della probabilità di arrivo	si (Rockyfor3D)	si	si (Rotomap, Proto)
• Carta della probabilità di accadimento	no	si	no
• Carta dell'intensità	si (Rockyfor3D)	no	si (Rotomap)
• Carta della suscettibilità CADUTA BLOCCHI	no	si chiamata comunemente carta d' <u>aléa chute de blocs</u> in quanto non include la nozione di tempo di ritorno	si (Rotomap)

⁵ Indici e gradi di attività, rilievi geomorfologici, depositi dei blocchi, ecc.

Criteri di confronto	Matterock	BRGM	Proviaalp
<ul style="list-style-type: none"> • Carta della pericolosità CADUTA BLOCCHI/FRANA DI CROLLO 	<p>si</p> <ul style="list-style-type: none"> - aléa ponctuel/cliffus - pericolosità (bassa, media, alta) - grado di pericolo sulla strada (bassa, media, alta) - classi di pericolo (12 classi) - pericolo di caduta blocchi e pericolo di frana tenuti distinti 	<p>si (equivalente alla carta d'alea = suscettibilità)</p> <ul style="list-style-type: none"> - numero di gradi di alea definiti in funzione del contesto - 5 gradi per la Lombardia (a priori nullo, da nullo a basso, basso, medio, elevato) - 6 gradi per il Sempione (a priori nullo, da nullo a basso, basso, medio, elevato, molto elevato) 	<p>no</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Rapporto finale standardizzato 	<p>si</p>	<p>si</p>	<p>no (schede automatiche da database per aree omogenee, elementi strutturali, cinematismi, immagini)</p>

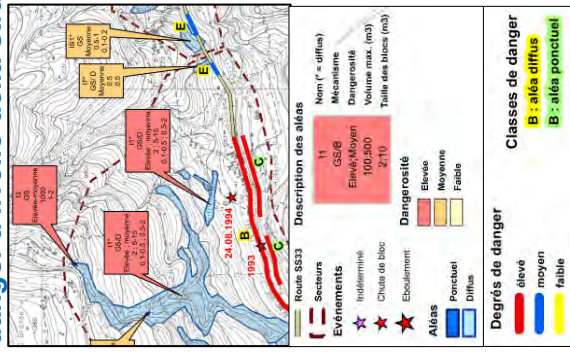
Esempio di scheda di una instabilità puntuale

Aléa IS4

Secteur	Isère - Stapeone
Localisation	Isère - Stapeone
Description	Gros saproduct à l'aval de l'IS5 au sommet de la falaise
Mécanisme	Glissement superficiel sur le plan (200/80)
Dangerosité	Evénement de surprenant selon la technicité autoroutière
Volumé	8 m ³
Hauteur des blocs (max)	0.50 m

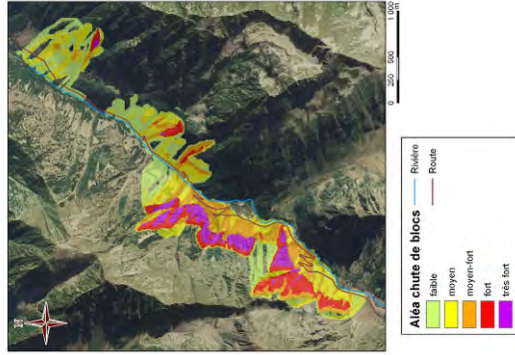


Esempio di carte synthétique des aléas, des événements et du danger a livello della strada

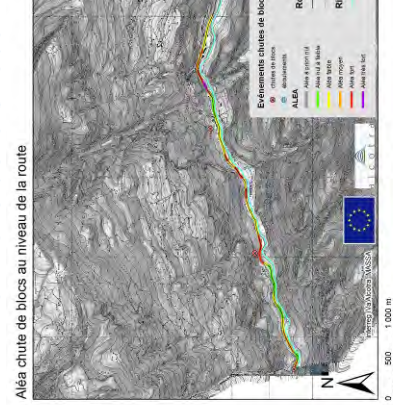


- **Illustrazioni**

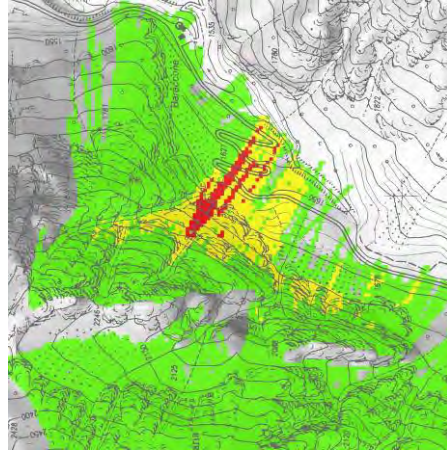
Cartografia dell'aléa chute de blocs



Cartografia dell'aléa chute de blocs a livello della strada



Carta della suscettibilità ottenuta mediante l'applicativo ROTOMAP



Allodi A., Castelli M. (2007). *Toppling Stones: analisi probabilistica all'equilibrio limite della stabilità per ribaltamento di un blocco prismatico* - Manuale d'uso. Politecnico di Torino – DISTR.

Arpa Piemonte, Cemagref, Politecnico di Torino, Consorzio Forestale Alta Valle di Susa (2008) – *Progetto n. 165 Proviaalp. Protezione della viabilità alpina. Relazione Finale*. Interregg IIIa 2000-2006 Alpes Latines. Litografia Viscardi, Alessandria. ISBN 978-887479-070-8

Carere K., Ratto S., Zanolini F. coord. (2002). *Prevenzione dei fenomeni di instabilità delle pareti rocciose. Confronto dei metodi di studio dei crolli nell'arco alpino – Prévention des mouvements de versant et des instabilités de falaises. Confrontation des méthodes d'étude des éboulements rocheux dans l'arc alpin*. Programma Interreg IIC «Falaises». Rapport final.

Evans S.G., Hungr O. (1993). *The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes*. Canadian Geotechnical Journal, vol. 30(4), pp. 620-636.

GéoVal SA et Pra SA (2006). *Simplonstrasse A9 / Brig-Gondo. Steinschlaggefährdung Galerien: Generelle Überprüfung. Technischer Bericht: Methodik*. Rapport inédit des bureaux Pra SA et GéoVal SA, Sion

Marçot N. et Girard A. (2011). *Projet MASSA ALCOTRA n°65 (Medium And Small Size rockfall hazard Assessment): Evaluation de l'aléa lié aux chutes de blocs et aux éboulements de volume intermédiaire. Rapport intermédiaire - Action 1: Méthodes d'évaluation – Activité 1: Application de la méthodologie BRGM à la cartographie «rapide» de l'aléa chute de blocs sur les axes transversaux*. Rapport intermédiaire BRGM/RP-59667-FR - 170 pages, 78 Ill. et 4 An.

Major J., Marder F., Kim H.S. (1974). *WINTAM (Wedge along line of INTERsection Analysis including Monte Carlo simulation)*. Mining Research Laboratories - CANMET, Department of Energy, Mines and Resources.

Office Fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP (1997). *Recommandations fédérales pour la prise en compte des dangers dus au mouvement de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire*.

Pisani G. (2005). *Un metodo di tipo probabilistico per lo studio degli scivolamenti planari in roccia*. Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Torino – DISTR.

Rouiller, J.D., Jaboyedoff M., Marro C., Philippossian F., Mamin M. (1998). *Pentes instables dans le Pennique valaisan face aux changements climatiques. Matterock. Une méthodologie d'auscultation des falaises et de détection des éboulements majeurs potentiels*. Rapport final du PNR 31. Éditeur vdf Hochschulverlage AG an der ETH Zürich.

ALLEGATO 1 - LESSICO TECNICO

Lessico tecnico Provialp (I)

Area omogenea (I)

Settore di una falesia caratterizzato da condizioni geologico-strutturali omogenee e da un'orientazione del fronte più o meno costante; quando possibile, ovvero se sono stati riconosciuti nell'area uno o più cinematismi (I), al settore viene associato un indice di distacco (I).

Analisi traiettografica (I)

Studio della traiettoria dei blocchi a partire da punti di distacco definiti. I risultati ottenuti attraverso il programma ROTOMAP GIS sono espressi in termini di energia cinetica specifica media e massima, altezze di rimbalzo massime, frequenza degli arrivi e indice di suscettibilità (I).

Cinematismo (I)

Volume roccioso instabile riconosciuto nell'area omogenea (I), non ubicato con precisione, collegato ad un definito meccanismo di distacco. Si assume che il cinematismo possa prodursi a scala dell'intera area omogenea (I). Per ogni area omogenea (I) è possibile censire più di un cinematismo; per ciascun cinematismo viene calcolata una probabilità di rottura (I).

Indice di distacco (I)

Parametro associato a ciascuna area omogenea (I) che dipende dalla probabilità di rottura (I) di ogni cinematismo (I) individuato e dal relativo volume medio.

Indice di suscettibilità (I)

Parametro determinato come il prodotto tra l'energia cinetica calcolata attraverso il codice di calcolo ROTOMAP GIS e l'indice di distacco (I) calcolato per ciascuna area omogenea (I).

Instabilità ubicata (I)

Volume instabile caratterizzato da un definito meccanismo di distacco localizzato in parete con precisione (il censimento delle instabilità ubicate è stato introdotto da Arpa Piemonte durante lo svolgimento del progetto Massa).

Probabilità di rottura (I)

Probabilità statistica che un cinematismo (I) si mobilizzi; viene calcolata come il rapporto tra i casi in cui il fattore di sicurezza calcolato è minore di 1 e i casi totali considerati.

Suscettibilità (I)

Probabilità che un evento naturale di data intensità interessi una certa area.

Lessico tecnico BRGM (F)

Aléa chute de blocs (F)

Probabilità che un evento di “caduta blocchi” si verifichi in una determinata area, in un dato intervallo di tempo, ma senza arrivare a stabilire la data precisa di distacco né i danni che da esso possono derivare.

Nell’aléa chute de blocs (F) si possono distinguere:

- aléa diffusa: è caratterizzata, in un dato perimetro, da un certo numero di instabilità qualificate e globalmente identificate, ma senza conoscere la loro localizzazione esatta. Esse sono in genere numerose e di volume inferiore al m³;
- aléa puntuale: è caratterizzata dalla localizzazione e delimitazione di compartimenti potenzialmente instabili con volume unitario di diversi m³.

L’aléa chute de blocs (F) prende in considerazione la suscettibilità di distacco e le eventuali riduzioni di aléa legate alla propagazione e di conseguenza al rilievo.

Aléa de propagation (F)

Probabilità che uno o più blocchi che si distaccano dalla parete si propaghino verso valle su una superficie inclinata posta ai piedi della parete subendo una eventuale attenuazione di velocità in funzione della morfologia locale. La propagazione valutata con il programma BORA non prende in considerazione i parametri fisici del pendio o le caratteristiche dei blocchi, ma è tarata sugli eventi verificatisi in passato.

Glissement banc sur banc (F)

Tipo di instabilità rocciosa che si mobilita per scivolamento su una discontinuità piana posta a franapoggio meno inclinato del pendio.

Rupture de dièdre (F)

Tipo di instabilità rocciosa che si mobilita per scivolamento su due discontinuità formanti un diedro.

Susceptibilité de départ (F)

Probabilità di rottura dei compartimenti rocciosi instabili compresi in una zona omogenea.

Trajectographie (F)

Estensione di un blocco su un pendio determinata mediante strumenti informatici che permettono di modellizzare il comportamento (rimbalzo, velocità, punti di arresto, ecc.) del blocco lungo un profilo traiettografico (2D) o su un modello numerico del terreno (3D). I parametri fisici che caratterizzano il pendio e i blocchi sono sempre presi in considerazione nelle modellazioni traiettografiche.

Zone homogène (F)

Superficie topografica che riunisce insieme pareti rocciose che presentano geologia, struttura e geomorfologia omogenee e che sono caratterizzate da una susceptibilité de départ (F) definita.

Lessico tecnico Matterock short/light (CH)

Aléa ponctuel (CH)

Compartimento roccioso ben delimitato in parete di cui si stima il volume, il meccanismo di mobilizzazione e la probabilità di rottura (dangerosité (CH)). Sinonimo: instabilità puntuale.

Aléa diffus (CH)

Settore di parete in cui si distribuiscono vari compartimenti rocciosi instabili di volume comparabile caratterizzati da meccanismo di mobilizzazione e dangerosités (CH) simili. Sinonimo: instabilità diffusa.

Aire structurale (CH)

Settore di parete che presenta lo stesso assetto strutturale, cioè che è attraversato dalle stesse famiglie di discontinuità.

Danger (CH)

Il pericolo di «caduta blocchi» è il prodotto tra la probabilité d'occurrence (CH) del fenomeno e la sua intensité (CH) in un dato sito. Il pericolo si articola in elevato, medio, basso.

Dangerosité (CH)

Probabilità di mobilizzazione dell'aléa (CH) considerata. Si chiama anche probabilità di rottura. La dangerosité (CH) è suddivisa in tre gradi: elevata, media, bassa.

Intensité (CH)

Energia di impatto (in kJ) dei blocchi che cadano in un dato sito.

Probabilité d'atteinte (CH)

Probabilità che un volume roccioso che si distacca da una parete raggiunga un dato luogo (strada, casa o altri elementi minacciati).

Probabilité d'occurrence (CH)

Probabilità che il fenomeno «caduta blocchi» si verifichi in un luogo dato. La probabilité d'occurrence (CH) è il risultato della combinazione tra dangerosité (CH) dell'aléa (CH) e la probabilité d'atteinte (CH) dei blocchi che costituiscono l'aléa (CH) considerata.

Scénario de rupture (CH)

Scenario ipotetico di distacco collegato ad un'aléa (CH) data, in un periodo di ritorno definito. Ciascun scénario de rupture (CH) è caratterizzato da un volume mobilizzabile e da una taglia dei blocchi. Per le aléas diffus (CH) con diversi gradi di dangerosité (CH) sono definiti diversi scenari di distacco per i differenti periodi di ritorno considerati.

ALLEGATO 2 - APPLICAZIONE DELLE TRE METODOLOGIE SUL SITO PILOTA DI ISELLE-DOGANA

(con dettaglio sui rilievi di terreno eseguiti dai tre gruppi di lavoro)

Metodo Provialp

Il metodo Provialp consiste in due attività: una di tipo preliminare realizzata principalmente in ufficio e l'altra di rilievo di terreno. I risultati dell'attività preliminare qui presentati sono stati ottenuti al di fuori del progetto Massa.

Analisi preliminare al rilievo di terreno

Gli studi che precedono i rilievi di terreno consistono in:

- 1) **Interpretazione geologica attraverso un modello prospettico del terreno in 3D**, rivolta a:
 - a. Individuazione delle *aree omogenee (I)* (figura 1);
 - b. identificazione dei sistemi di discontinuità (faglie, fratture) dell'ammasso roccioso (figura 2);
 - c. caratterizzazione geometrica dei sistemi di frattura (figura 3);
 - d. analisi della densità di intersezioni della fratturazione (figura 4a, 4b).

Nelle figure sono riportati i risultati della fase di analisi preliminare propedeutica ai rilievi di terreno. Questa prima parte è realizzata al fine di caratterizzare le geometrie dei sistemi di frattura e le zone maggiormente fratturate dell'ammasso roccioso.



Figura 1 – *Aree omogenee (I)* (linee verdi)



Figura 2 – *Sistemi di fratture (in giallo) e faglie (in rosso)*



Figura 3 – Sistemi di discontinuità (linee rosse) e diagrammi a rosa dei settori a maggiore densità di fratturazione (cerchi neri tratteggiati). I sistemi di frattura mostrano una direzione media N-S, E-W e WNW-ESE.



Figura 4a – Sistemi di discontinuità (linee rosse) ed intersezioni (punti in blu).

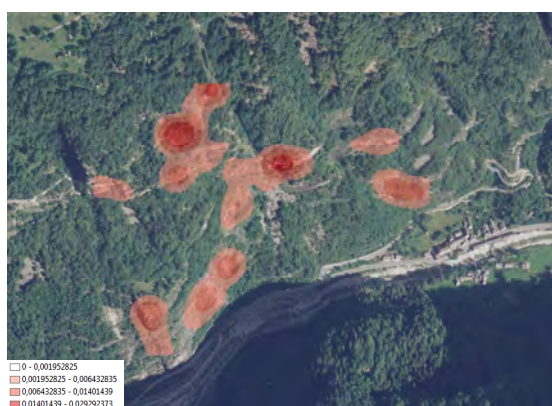


Figura 4b – Densità delle intersezione dei sistemi di discontinuità.

2) Modellazione rivolta alla valutazione delle aree di invasione tramite il metodo dei coni.

Per questo studio le aree a maggior fratturazione sono state utilizzate come dati di input per il modello dei coni (figura 5).

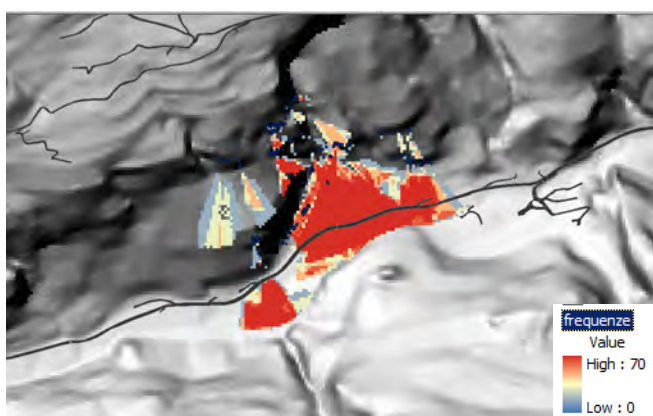


Figura 5a – Frequenze di arrivo.

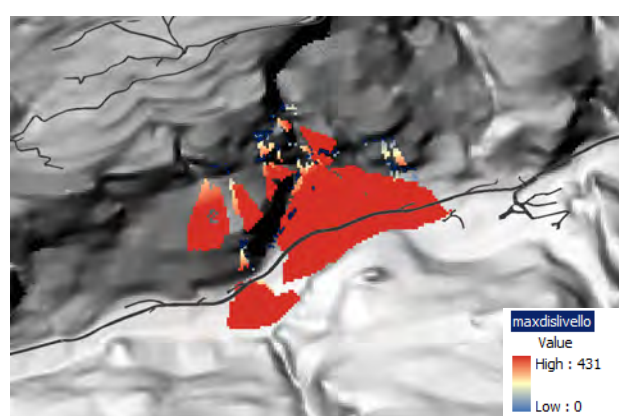


Figura 5b – Massimo dislivello

Rilievi di terreno

Le osservazioni di terreno hanno permesso di riconoscere 2 aree omogenee **Iselle ovest** e **Iselle nord** di cui si fornisce il *report* automatico ricavabile direttamente dal database di raccolta dati.

Dati Generali

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

Tipo Area Omogenea
 Tipo 1 Tipo 2 Tipo 3
Punto Osservazione: pposto **Orientazione parete:** **dip dir:** 120 ±5
dip: 80±5

Descrizione:

Area test con svizzeri e francesi. Settore di parete a ovest dell'abitato di Isole, in destra idrografica rispetto ad una marcata incisione definita da un piano di faglia; il settore si articola in 5 falesie principali. Sul fronte principale i cinematismi 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:

r. metamorfiche poco o nulla folgate

Tipologia Ammasso

- Massivo
- Bloccoso
- Tabulare
- Colonnare
- Irregolare
- Frantumato

Grado di fratturazione

- Sana
- Fratturata
- Rilasciata
- Disarticolata

Grado di alterazione

- Inalterata
- Debolmente alt.
- Moderatamente alt.
- Fortemente alt.
- Completamente alt.

Resistenza

- Estremamente debole
- Molto debole
- Debole
- Mediamente debole
- Resistente
- Molto Resistente
- Estremamente resistente

Blocchi in parete

Forma Blocchi

- Prismatica
- Irregolare
- Tabulare
- n.d.

Volume blocchi (mc)

max 2,5
med: 0,5

Blocchi Alla base

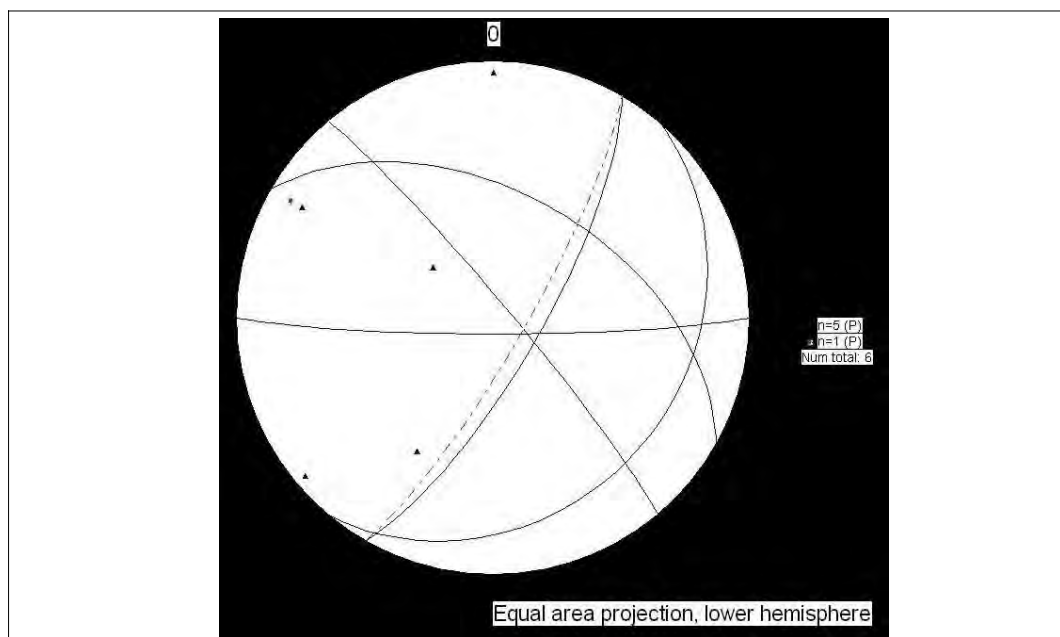
Forma Blocchi

- Prismatica
- Irregolare
- Tabulare
- n.d.

Volume blocchi (mc)

max 2,5
med: 0,5

Dati Strutturali



Dati Strutturali

Nome	Tipo	Dip. dir	Dip	Spaziatura	Persistenza	Scabrezza	Apertura	Riempimento	C. Idrauliche
a	F	50±5	85±5	(mA)>2m	(mA)>20m				
b	G	130±5	25±10	(mA)>2m	(A)10m-20m				
c	G	120±5	75±5	(M)20cm-60cm	(B) 1m-3m				
d	F	30±10	50±10	(mA)>2m	(M)3m-10m				
e	F	180±5	85±5	n.d.	(mA)>20m				

Cinematismi

nome	tipo	H (med/max)	L (med/max)	P (med/max)	V (med/max)	Piano 1	Giunto traz.
R1	ribaltamento	0 / 10	0 / 3	0 / 5	0 / 150	c	a
note:		Un blocco tabulare che si stacca sul fronte locale definito dal piano di faglia; potrebbe verificarsi un ribaltamento oppure uno scivolamento.				Piano 2	Svincolo
nome	tipo	H (med/max)	L (med/max)	P (med/max)	V (med/max)	Piano 1	Giunto traz.
P1	planare	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0,5 / 2,5	c	b
note:						Piano 2	Svincolo

ALLEGATI FOTOGRAFICI



Panoramica delle falesie inserite nell'area omogenea Iselle ovest



Particolare della falesia inferiore

Dati Generali

Codice: 1056 **Località:** Iselle nord **Data** 19/05/2011 **Ora:** 09:00

Tipo Area Omogenea
 Tipo 1 Tipo 2 Tipo 3
Punto Osservazione: pposto **Orientazione parete:** **dip dir:** 170 ±10
dip: 65±10

Descrizione:

Area test con svizzeri e francesi. Settore di parete a nord dell'abitato di Iselle, in sinistra idrografica rispetto ad una marcata incisione definita da un piano di faglia; il settore si articola in 4 falesie principali, 3 immediatamente a monte dell'abitato e 1 in alto sul versante a valle del ripiano su cui sorge la frazione di Bugliaga. Sul fronte principale i cinematismi diffusi sono generalmente di piccole dimensioni. Sono presenti reti paramassi installate a ridosso della parete nella parte destra idrografica (in prossimità del canalone di faglia) e subito a monte della strada secondaria che si stacca dalla nazionale.

Litologia:

r. metamorfiche poco o nulla folgate

Tipologia Ammasso

- Massivo
- Bloccoso
- Tabulare
- Colonnare
- Irregolare
- Frantumato

Grado di fratturazione

- Sana
- Fratturata
- Rilasciata
- Disarticolata

Grado di alterazione

- Inalterata
- Debolmente alt.
- Moderatamente alt.
- Fortemente alt.
- Completamente alt.

Resistenza

- Estremamente debole
- Molto debole
- Debole
- Mediamente debole
- Resistente
- Molto Resistente
- Estremamente resistente

Blocchi in parete

Forma Blocchi

- Prismatica
- Irregolare
- Tabulare
- n.d.

Volume blocchi (mc)

max 3
med: 1

Blocchi Alla base

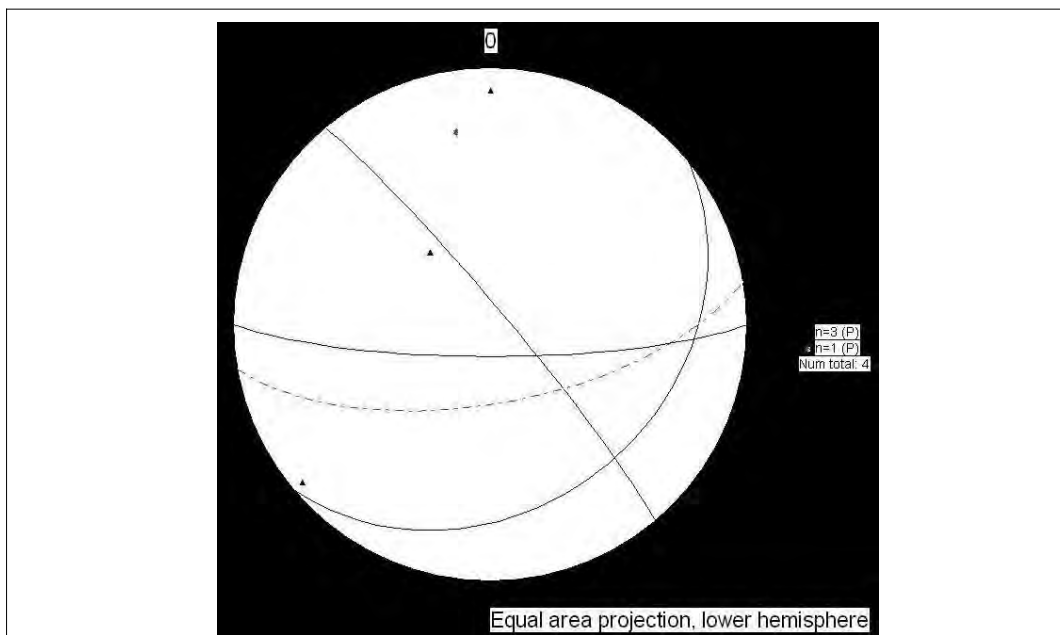
Forma Blocchi

- Prismatica
- Irregolare
- Tabulare
- n.d.

Volume blocchi (mc)

max 3
med: 1

Dati Strutturali



Dati Strutturali

Nome	Tipo	Dip. dir	Dip	Spaziatura	Persistenza	Scabrezza	Apertura	Riempimento	C. Idrauliche
a	F	50±5	85±5	(mA)>2m	(mA)>20m				
b	G	140±10	30±20	(M)20cm-60cm	(A)10m-20m				
c	G	180±5	80±5	(M)20cm-60cm	(B) 1m-3m				

Cinematismi

nome	tipo	H (med/max)	L (med/max)	P (med/max)	V (med/max)		
P2	planare	1 / 1,5	2 / 2	0,5 / 1	1 / 3	Piano 1	<u> c </u> Giunto traz. <u> b </u>
note:						Piano 2	<u> </u> Svincolo <u> a </u>
nome	tipo	H (med/max)	L (med/max)	P (med/max)	V (med/max)		
P1	planare	1 / 1,5	2 / 2	0,5 / 1	1 / 3	Piano 1	<u> c </u> Giunto traz. <u> b </u>
note:						Piano 2	<u> </u> Svincolo <u> a </u>

ALLEGATI FOTOGRAFICI



Panoramica del settore destro idrografico dell'area omogenea Iselle nord



Panoramica del settore sinistro idrografico dell'area omogenea Iselle nord

Metodo BRGM

Osservazioni di terreno

Lo studio prende avvio con la realizzazione su carta di uno schema generale (figura 6) della parete che riporta informazioni riguardanti:

- la fratturazione;
- il volume dei blocchi prodotti;
- la presenza o assenza della vegetazione;
- la presenza o assenza di interventi;
- le zones homogènes (F) individuate a partire dalle precedenti osservazioni.



Figura 6 – Schema globale della parete

Identificazione delle principali famiglie di fratture

Le misure sono effettuate utilizzando la bussola, a distanza, dal punto di osservazione prescelto. Sono state identificate 6 famiglie di fratture oltre che una direzione di scistosità con azimuth e inclinazione variabile da una estremità all'altra della parete, da est a ovest.

S0: N30 40SE → Scistosità a franapoggio

F1: N160 90° → Direzione regionale di fratturazione

- F2: N70 70N → Fratturazione pervasiva e ben visibile
 F3: N85 70N → Fratturazione immergente a ovest
 F4: N120 10NE → Determina gli strapiombi
 F5: N30-40 80SE → Orientazione della parete ad est
 F6: N40 90° → Orientazione della falesia ad ovest

Censimento dei blocchi instabili

Una particolare attenzione è riservata ai blocchi o ai volumi rocciosi potenzialmente instabili (figura 7). A titolo di esempio, si riporta la descrizione e l'illustrazione di 5 settori caratterizzati da volumi instabili:

- 1- zona densamente fratturata che determina blocchi, alcuni dei quali in posizione strapiombante;
- 2- scaglia valutata come potenzialmente instabile nel lungo periodo (100 m^3), isolata da una fratturazione perpendicolare al piano della parete e che appare leggermente staccata dalla parete stessa; una rottura al piede della scaglia potrebbe causare la sua destabilizzazione;
- 3- blocco strapiombante molto voluminoso, ubicato sulla cresta sommitale della parete;
- 4- blocchi strapiombanti in corrispondenza di una cengia rocciosa;
- 5- destabilizzazione incipiente di blocchi strapiombanti, per ribaltamento, sotto ad una barra rocciosa; uno di questi sembra che sia ancora in posto solo per l'attrito tra i 2 piani che lo isolano.

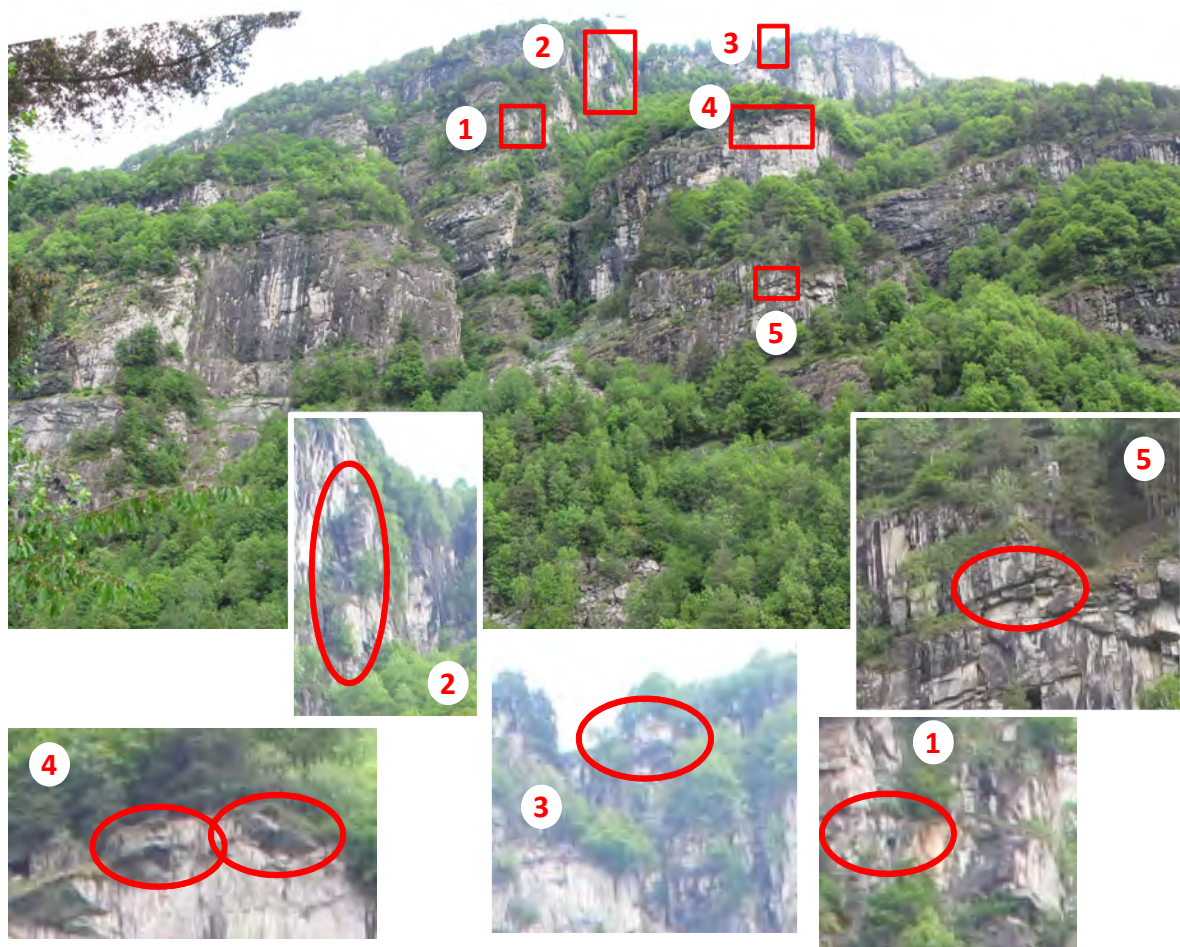


Figura 7 – Localizzazione in parete dei blocchi instabili

Scelta delle zones homogènes (F)

A partire dalle osservazioni di terreno e dalle misure della fratturazione, la parete è stata divisa in 5 zones homogènes (F) rappresentate nella figura 8.

Le 5 zones homogènes (F) identificate sono:

A: Zona al piede della parete che evidenzia strutture a franapoggio tra la scistosità e F4 ad est e tra il piano della parete (F6) e F4 a ovest con una stima del volume dei blocchi potenzialmente destabilizzabili pari a 5-10 m³.

B: Zona intermedia ad ovest che evidenzia una fratturazione marcata determinata da un sistema verticale e da un sistema obliquo (F3), gli strapiombi che si formano possono portare alla formazione di blocchi di circa 2-3 m³ (osservazione di volumi isolati in parete e di blocchi nel detrito al piede della parete).

C: Zona intermedia ad est caratterizzata da una fratturazione verticale che forma strapiombi, ma apparente assenza della fratturazione obliqua (F3); in ogni caso sono stati osservati diedri schiacciati formati da due direzioni di fratturazione sub orizzontali.

D: Zona triangolare individuata dai sistemi di fratturazione a scala regionale (F1), uno dei quali è una faglia marcata (F2); zona molto fratturata che evidenzia la presenza di un'*aléa chute de blocs (F)* puntuale con una scaglia (E1) di volume stimato pari a 100 m³ e una più piccola posizionata al piede della precedente (E2).

E: Zona superiore definita da sistemi di fratturazione a scala regionale meno pervasivi (F1) e da destabilizzazioni sulla cresta.

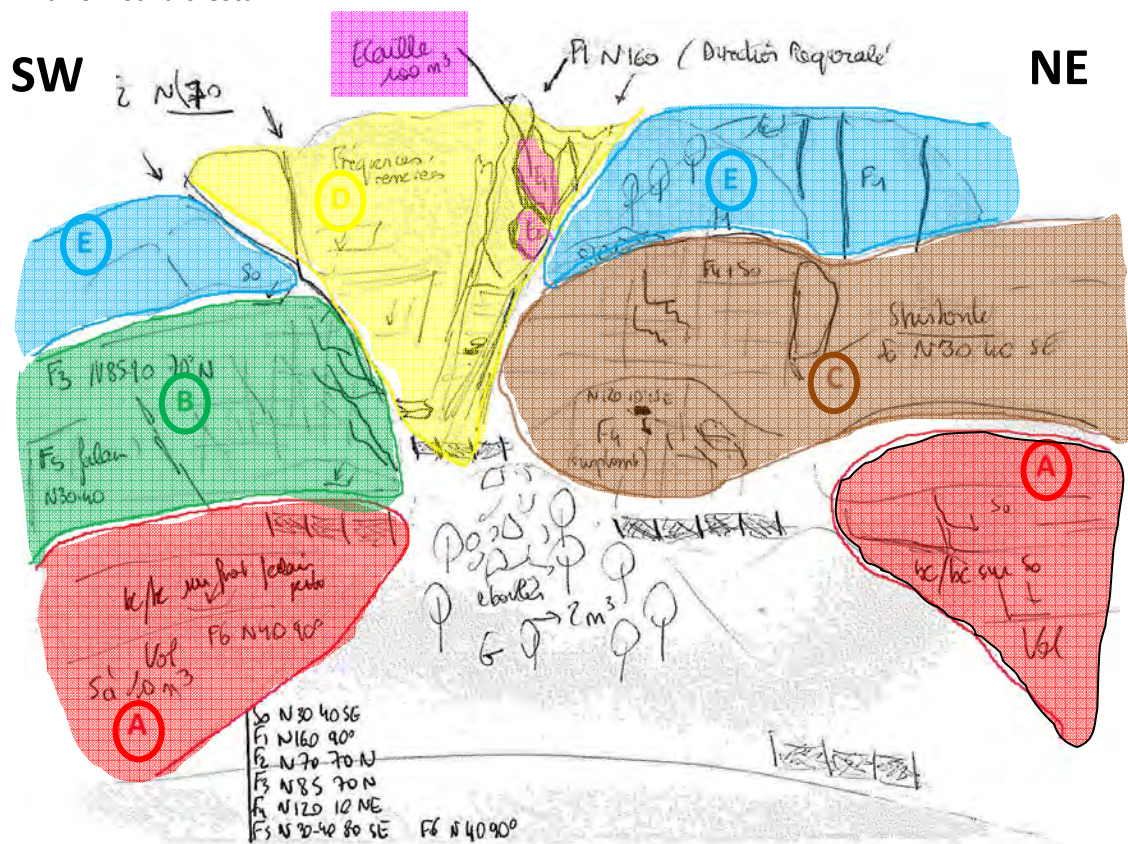


Figura 8 – Schema della parete con la sovrapposizione delle zones homogènes (F) riconosciute

A ciascuna zone homogène (F) viene attribuita una susceptibilité de départ (F) in funzione dei seguenti criteri 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

Questo lavoro si può fare esclusivamente in ufficio attraverso le informazioni acquisite sul terreno e i calcoli realizzati sul GIS. Le zones homogènes (F) vengono ridisegnate attraverso un GIS utilizzando un *raster* topografico o l'ortofoto. Anche gli stereogrammi sono realizzati in ufficio mediante un PC.

Tuttavia le osservazioni fatte precedentemente hanno permesso di individuare la presenza di blocchi instabili in parete e una strutturazione tale che la susceptibilité de départ (F) può essere definita, anche se in maniera provvisoria, media.

La susceptibilité de départ (F) sarà meglio definita considerando il valore di ciascun criterio, valutata per zone homogène (F) e quindi riclassificata in 5 livelli da una suscettibilità «debole o nulla» ad una suscettibilità «molto forte».

Metodo Matterock Short/Light

L'applicazione del metodo Matterock short/light si sviluppa secondo le seguenti tappe.

Ricostruzione dell'assetto strutturale

	Orientazione	Persistenza [m]		Spaziatura [m]		Note
		a piccola scala	a grande scala	a piccola scala	a grande scala	
J'1	130/70	--	20-50	0.5-1	5-10	Forma il fronte della parete; piano di scivolamento /scollamento
S	230/20 - orizzontale	1-5	15	0.2-2	5	Scistosità; forma cenge o piccoli strapiombi
J'2	240/75-90	1-2	20-50	0.5-1	5-10	Piano spesso subverticale
J3	170/50-70	5-10	30	5	30	Talvolta cenge erbose tra la faglia e il canale di sinistra
PS1	020/70	5-10	--	--	--	Piano secondario visibile a sinistra
PS2	orizzontale	--	--	--	--	Piano secondario; strapiombi

Tabella 1 – Caratteristiche strutturali e geomeccaniche delle discontinuità in riferimento al sito pilota di Iselle-dogana

Le osservazioni di terreno hanno permesso di riconoscere le principali famiglie di discontinuità che caratterizzano la parete. L'assetto strutturale è unico per tutto il versante pilota.

Individuazione delle aléas (CH)

E' stata riconosciuta una sola aléa diffus (CH). Ingloba l'intero versante pilota ed è caratterizzata da 2 scénarios de rupture (CH):

1° scenario

- meccanismo di mobilizzazione: 1) rottura di strapiombo; 2) scivolamento superficiale su J'1 con scollamento su S e taglio secondo J'2; 3) scivolamento superficiale su J3
- volume mobilizzabile: 1-2 m³
- taglia dei blocchi: 0.1-1 m³; media: 0.5 m³
- dangerosité (CH) : elevata

2° scenario

- meccanismo di mobilizzazione: scivolamento superficiale su J3
- volume mobilizzabile: 10-20 m³
- taglia dei blocchi: 0.5-2 m³
- dangerosité (CH) : media

Determinazione della probabilité d'atteinte (CH) della strada

La valutazione della probabilité d'atteinte (CH) è fatta a vista.

Scenario 1 – blocco di 0.5 m³: probabilité d'atteinte (CH) **media**. Meno del 20 % dei blocchi di 0.5 m³ raggiungono la strada a causa della presenza della foresta e di detrito a grossi blocchi → rugosità marcata.

Scenario 2 – blocco di 1 m³: probabilité d'atteinte (CH) **media**. Meno del 20 % dei blocchi di 1 m³ raggiungono la strada per le stesse motivazioni di cui sopra.

Determinazione della probabilité d'occurrence (CH)

La valutazione della probabilité d'occurrence (CH) è realizzata per mezzo della seguente matrice (tabella 2):

Probabilité d'occurrence	Probabilité de mobilisation (dangerosité de l'aléa)			
	Elevée	Moyenne	Faible	
Probabilité d'atteinte	Elevée	Elevée	Moyenne	Faible
	Moyenne	Moyenne	Faible	-
	Faible	Faible	-	-

Tabella 2 – Relazione tra la probabilità di distacco (dangerosité CH) e la probabilité d'atteinte (CH)

Risultati: probabilité d'occurrence (CH) **media** per il 1 scenario e **bassa** per il 2 scenario.

Determinazione del danger (CH) a livello della strada

Il danger (CH) è stimato incrociando la probabilité d'occurrence (CH) e l'energia, la quale è direttamente proporzionale alla dimensione dei blocchi. Il valore dell'energia a livello della strada è stimata mediante un fattore di caduta **f** che dipende dalla morfologia del versante alla base della parete.

Formula: $E_{cin} = m g h f$: qui il fattore di caduta considerato è di 0.1-0.2

Scenario di energia 1: $(0.5 \text{ m}^3 \cdot 2.6 \text{ t/m}^3) \cdot g \cdot 150$ (altezza di caduta medio) $\cdot 0.1 = 191 \text{ kJ}$ → **intensità media** (energia compresa tra 30 e 300 kJ)

Scenario di energia 2: $(1 \text{ m}^3 \cdot 2.6 \text{ t/m}^3) \cdot g \cdot 150$ (altezza di caduta medio) $\cdot 0.2 = 765 \text{ kJ}$ → **intensità elevata** (energia > 300 kJ).

Risultati:

Lo **scenario 1** genera un danger (CH) **medio** di classe E (con una probabilité d'occurrence (CH) media)

Le **scenario 2** genera un danger (CH) **elevato** di classe C (con una probabilité d'occurrence (CH) bassa).

ALLEGATO 3 - PRODOTTI REALIZZATI DA ARPA PIEMONTE

(Risultati di progetto esterni al confronto tra i metodi Proviaalp, BRGM e Matterock short/light)

Integrazione tra i metodi: il *database* MASSA

Sulla base di quanto descritto nei capitoli precedenti emerge come sia difficoltoso riuscire a definire una metodologia di analisi unica e comune che soddisfi le esigenze dei diversi enti territoriali delle tre nazioni coinvolte nel progetto. Le tre metodologie analizzate, infatti, sebbene abbiano tutte come fine ultimo la valutazione speditiva della suscettibilità da crollo, affrontano il problema utilizzando approcci differenti e sono adattate alle differenti esigenze degli enti territoriali preposti alla pianificazione di ogni nazione. È altresì vero che proprio le differenze riscontrate tra i diversi metodi possono essere il loro maggior punto di forza: i tre metodi possono essere infatti considerati sotto diversi aspetti complementari tra loro, in quanto ognuno presenta caratteristiche e peculiarità proprie. Invece di realizzare una nuova metodologia condivisa che avrebbe presentato caratteristiche ibride e sarebbe risultata poco confacente alle necessità dei singoli, si è scelto di integrare tra loro le diverse metodologie all'interno di uno strumento unico, mantenendone però intatte le caratteristiche proprie di ognuna. In questo modo è facoltà del rilevatore scegliere se una delle metodologie proposte si adatta meglio alle proprie necessità o, al contrario, se applicare contemporaneamente le diverse metodologie per confrontarne i risultati.

Nell'ambito del Progetto Proviaalp (Arpa Piemonte & et al., 2008) al fine di contenere al massimo i tempi di raccolta dei dati su terreno e di analisi e riorganizzazione degli stessi in ufficio, era stato realizzato uno specifico *database* per la raccolta delle informazioni di rilievo di terreno. Il *database* permette di inserire i dati in modo guidato mediante l'utilizzo di *form*, limitando al massimo la possibilità di errori. Inoltre, sono stati implementati alcuni strumenti per la gestione della componente geografica, per il plottaggio dei dati strutturali, per la verifica dei dati inseriti e per l'esportazione dei dati in altri formati. Al fine di rendere disponibili questi strumenti a tutti i partner di progetto, le componenti di rilevamento di terreno delle metodologie francese e svizzera sono state inserite all'interno del *database* Proviaalp. In tal modo è possibile inserire tutti gli elementi utili alla valutazione dell'indice di distacco direttamente su terreno. Nel caso della metodologia italiana (Proviaalp) per poter calcolare un indice di distacco è comunque necessario elaborare i dati raccolti su terreno con i codici di calcolo sviluppati dal Politecnico di Torino; pur non escludendo questa possibilità, si è deciso di affiancare a questo metodo il calcolo di un indice di distacco semplificato, simile a quello francese, che fosse possibile ottenere contestualmente alla fase di rilevamento di terreno. In questo modo è possibile, con tutte e tre le metodologie ottenere già direttamente su terreno una prima stima della probabilità di distacco di blocchi rocciosi. Il *database* infatti, una volta inserite le informazioni essenziali, calcola in automatico i valori di output definiti secondo le tre metodologie.

Per semplificare la lettura del *form* i campi sono stati contraddistinti con colori ed etichette diverse: le etichette colorate in blu [F], in verde [I] e in bianco [CH] permettono di identificare le informazioni relative alla tre diverse metodologie. I campi gialli invece indicano le informazioni minime obbligatorie per poter calcolare gli indici propri di ogni metodologia.

L'accesso alle diverse componenti del *database* avviene mediante il pannello principale. La scheda relativa all'inserimento/consultazione dei dati è suddivisa in quattro diverse sezioni, ognuna relativa a diversi tematismi di dati. I campi e le sezioni sono accessibili dalle linguette posizionate nella parte alta della maschera.

- Area omogenea: (figura 1) contiene, oltre ai dati relativi all'inquadramento anagrafico dell'area analizzata (il tipo di area, il nome del rilevatore, la data di compilazione della scheda, l'orientazione media del fronte roccioso), le informazioni utili per la caratterizzazione delle aree omogenee (I), come definite secondo il metodo italiano e francese. Una volta compilati i campi in giallo (obbligatori) è possibile calcolare l'indice di distacco (I) secondo i due metodi utilizzando il pulsante presente nella parte bassa del *form*.

Progetto MASSA - v2.1

Codice Scheda **18** Sigla Settore **1**

Area Omogenea | Elementi Strutturali | Instabilità | Immagini | Descrizione

Dati generali

Rilevatore: Arpa Piemonte | Data: 2012-10-01
 Località: Bardonecchia Melezet | Ora: 10:30

Caratteristiche parete

Orientazione media: | Altezza max (m): 170
 dip dir (°): 115 +/- 10 | Altezza Falesia: >100m | F
 dip (°): 70 +/- 10 | Pendenza Falesia: >= 60° < 80° | F I

Blocchi in parete

Forma prevalente: irregolare
 Volume [m3]: med 0.5 max 8
 n° instab. snet: due | F
 n° instab. terreno: due | I

Blocchi alla base

Volume [m3]: med 0 max 0
 n° blocchi: nessuno | I

Caratterizzazione geologico-strutturale

Tipologia di ammasso: irregolare | densità di intersezione: alta | I | strapiombi: alcuni | F
 Litotipo: rocce carbonatiche | evidenze di distacchi progressi: alcune | I | fratturazione franapoggio: assente o poco marcata | F
 fratturazione falesia: media | F | acqua nelle fratture: asciutto | F

Indice di distacco: I 24 | F 36 | calcola

Record 1 di 5

Figura 1 – Database di raccolta dei dati di terreno: sezione area omogenea (I)

- **Elementi strutturali:** (figura 2) raccoglie le caratteristiche gomecchaniche della famiglia di discontinuità descritte. Si tratta di informazioni opzionali per tutti e 3 i metodi speditivi ma indispensabili per utilizzare il metodo Proviaip originale. Nella parte superiore vengono riportate, in forma raccolta, le principali informazioni relative alle discontinuità. Selezionando una delle righe è possibile inserire o consultare tutte le informazioni di dettaglio. Le informazioni sulla geometria delle strutture devono essere inserite seguendo lo standard *dip direction/dip* (immersione/inclinazione). Per maggior comodità di lettura, dopo aver inserito i dati in tale formato, questi vengono visualizzati anche nel formato *strike/dip* (direzione/inclinazione).

Progetto MASSA - v2.1

Codice Scheda **18** Sigla Settore **1**

Area Omogenea | Elementi Strutturali | Instabilità | Immagini | Descrizione

Famiglie elementi strutturali

ID elemento	Sigla	Elemento	dip dir	dip	strike	dip
60	G1		230	55	N 140	55 SO
61	c2		90	45	N 180	45 NE

Dettaglio Famiglia selezionata

ID elemento: 60 | Sigla: G1 | dir. immersione (°): 230 +/- 10
 Spaziatura: ampia (60cm-2m) | inclinazione (°): 55 +/- 20
 Persistenza: molto alta (>20m)
 Note: presenti localmente

Record 1 di 5

Figura 2 – Database di raccolta dei dati di terreno: sezione elementi strutturali

- Instabilità: (figura 3) contiene i dati che descrivono i *cinematismi (I)* e le *instabilità ubicate (I)* individuati in parete. La sezione è strutturata in modo simile alla precedente: la parte superiore riporta l'elenco di tutte le instabilità individuate visualizzando le principali informazioni in forma tabellare, mentre nella parte inferiore è possibile consultare tutte le informazioni di dettaglio per l'instabilità selezionata. La sezione comprende le informazioni da rilevare per il calcolo della probabilità di accadimento, dell'intensità e della pericolosità ricavabili secondo il metodo Matterock short/light.

The screenshot shows the 'Instabilità' section of the 'Progetto MASSA - v2.1' software. At the top, there are tabs for 'Area Omogenea', 'Elementi Strutturali', 'Instabilità', 'Immagini', and 'Descrizione'. Below the tabs is a table titled 'Instabilità associate' with columns for 'ID' and 'Sigla'. The table contains two rows: ID 3, Sigla I3 and ID 5, Sigla I5. Below the table is a 'Dettaglio Instabilità' section for the selected instability 'I3'. This section includes fields for 'Fronte instabilità', 'dip dir (*)', 'dip (*)', 'Volume blocchi [m3]' (set to 'med'), and 'Tipo' (set to 'planare'). There are also checkboxes for 'Instabilità ubicata' and 'Cinematismo'. A 'Parametri' section contains fields for 'vol. dimensionamento [m3]' (10), 'densità specifica [kg/dm3]' (2), 'altezza di caduta [m]' (1), and 'fattore di caduta' (1). A 'Note' field is also present. On the right side, there is a summary box with 'probabilità accadimento: Debole (100-300 anni)', 'intensità [kJ]: 20', and 'pericolosità CREALP: DEBOLE'. At the bottom, there is a 'Matrice' field set to 'G' and a 'calcola' button.

Figura 3 – Database di raccolta dei dati di terreno: sezione instabilità

- Documentazione fotografica: in questa sezione è possibile inserire e consultare l'eventuale documentazione fotografica con una breve descrizione. Nel campo note possono essere indicate ulteriori informazioni caratteristiche dell'area omogenea.
- Descrizione: in questa scheda è possibile inserire tutte le informazioni testuali descrittive relative all'area omogenea e ai suoi attributi.

Valutazione delle zone d'invasione da crollo: integrazione tra il metodo dei coni e la fratturazione dell'ammasso roccioso

La valutazione della pericolosità da frane di crollo è un compito complesso a causa dell'elevato grado di incertezza nella definizione dei parametri principali che determinano l'attivazione, la fase di *run-out* e soprattutto la localizzazione delle potenziali aree di origine. Inoltre, l'ampia estensione delle aree coinvolte rende difficile in tempi brevi una raccolta di informazioni sufficienti per condurre delle analisi dettagliate. Nel caso di grandi aree la procedura deve quindi necessariamente essere effettuata attraverso l'uso di metodi semplificati i cui risultati possono costituire la base di partenza per analisi di dettaglio.

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 in ambito del progetto Proviaalp. Si tratta di un metodo che fornisce carte di suscettibilità, sulla base dell'identificazione di aree maggiormente predisposte a frana di crollo e della valutazione delle aree di invasione di caduta blocchi. Questo metodo si basa sul 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, a maggiore predisposizione all'instabilità da crollo. È un metodo applicabile a scala locale (falesia, versante) e/o a scala regionale (intera valle) in diversi contesti geografici e geologico-geomorfologici, ed adattabile all'oggetto in analisi quali ad esempio: strade, ferrovie, ponti, sentieri, aree urbanizzate, ecc.

Le carte di suscettibilità (I) sono state ottenute attraverso tre attività principali:

1. caratterizzazione dello stato di fratturazione del versante attraverso l'individuazione dei sistemi di frattura dell'ammasso roccioso ottenuto dall'interpretazione di ortofoto prospettive in 3D di dettaglio (figura 4a) e la realizzazione della carte di densità di intersezione della fratturazione attraverso l'analisi geostatistica (figura 4b e 4c). Lo scopo è di suddividere le diverse porzioni dell'ammasso roccioso in settori caratterizzati da diversi livelli di predisposizione a fenomeni di crollo;

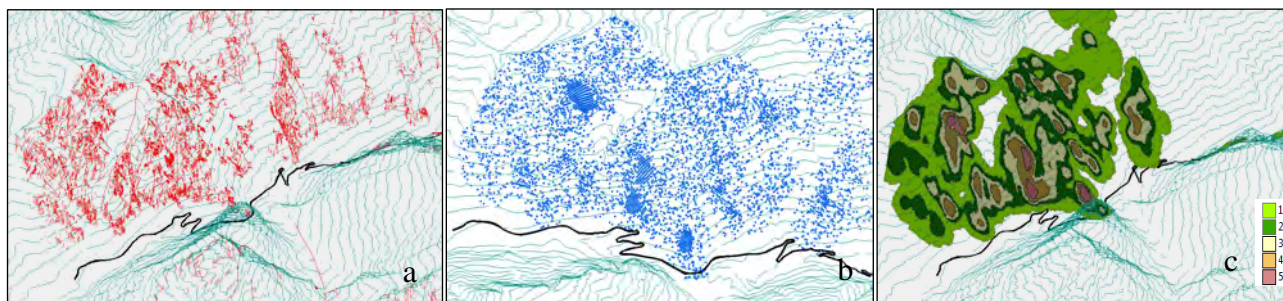


Figura 4 – Studio dello stato di fratturazione (esempio: sito della valle della Lombardia). a: carta della fratturazione, in rosso sono riportati i sistemi di fratture individuati su ortofoto prospettive in 3D di dettaglio; b: distribuzione delle intersezioni della fratturazione; c: carta della densità di intersezione della fratturazione (le classi di colori corrispondono alle diverse classi di densità di fratturazione ottenute dall'analisi geostatistica in funzione dello stato di fratturazione generale dell'ammasso roccioso)

2. analisi delle aree di invasione per frane di crollo (metodo dello *shadow angle* o *metodo dei coni*). È un metodo empirico e veloce per valutare la massima zona di invasione, senza dover far riferimento a parametri di tipo meccanico, e si basa unicamente sulle caratteristiche geometriche del versante. In questo metodo ogni punto è posto nel baricentro di una cella del DEM ed è considerato origine di un cono di vista, con l'ipotesi che possa essere sorgente di un distacco. L'algoritmo realizzato in ambiente GIS, in ambito Massa (chiamato PROTO <http://www.adaptalp.org>), permette di definire la zona di *run-out* del crollo secondo il metodo descritto da Evans e Hungr, 1993. Il programma realizzato in linguaggio Python prende come dati in input: il DEM della zona in esame ed uno *shapefile* di punti in cui vengono definiti: la quota di partenza, l'angolo di visibilità sul piano

orizzontale, l'angolo di visibilità sul piano verticale e la distanza di visibilità. L'algoritmo produce in output tre *raster* della stessa dimensione (estensione e risoluzione) del DEM di partenza che indicano rispettivamente: la frequenza di punti di partenza che "vedono" la cella di arrivo, la quota del punto con il maggior dislivello e la media delle quote di tutti i punti che partecipano alla definizione della frequenza. Infine, viene prodotto uno *shapefile* di punti con tutte le indicazioni di x, y, z, id del punto di partenza e x, y, z, id del punto di arrivo (figura 5). Questo *shapefile* permette di conoscere cella per cella quali sono i punti di partenza che concorrono alla visibilità. L'algoritmo PROTO si basa su ipotesi semplificate che tutti i punti di partenza sono potenziali aree di origine;

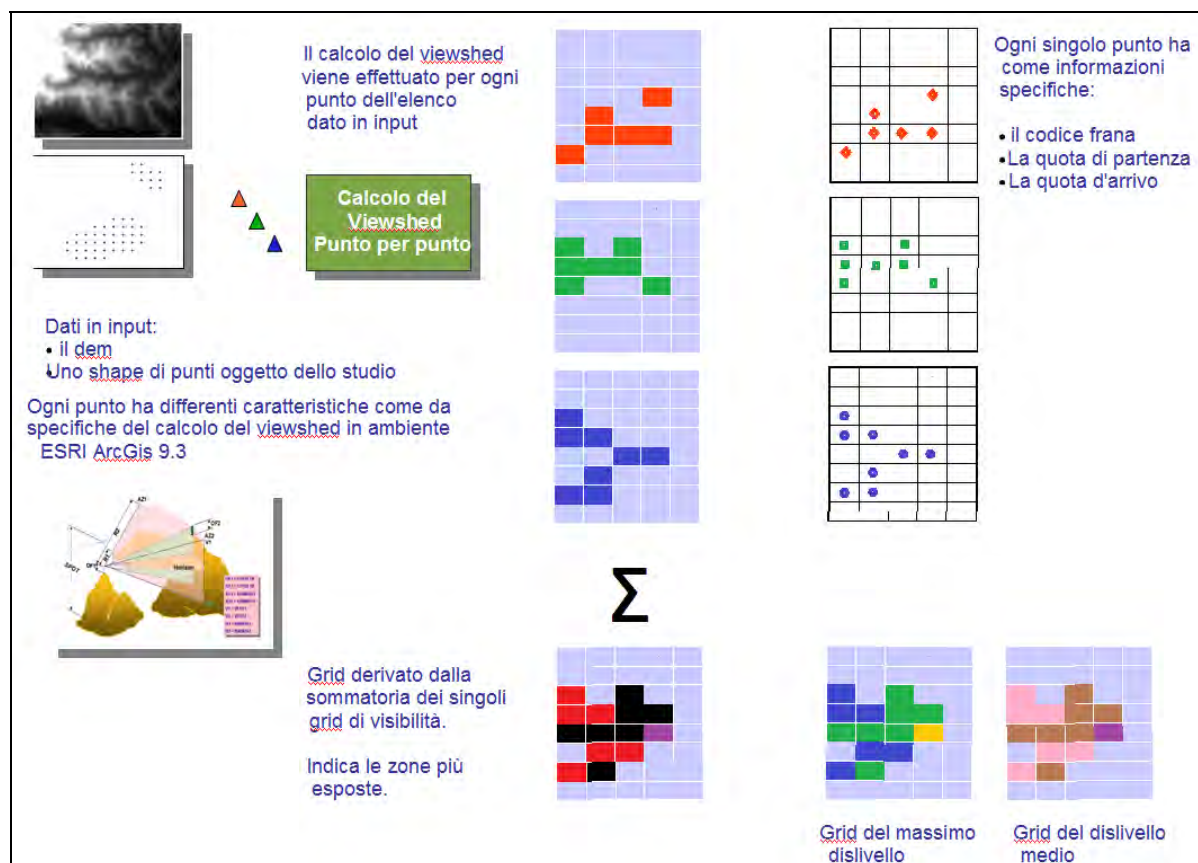


Figura 5 – Schema logico dell'algoritmo PROTO

3. integrazione delle cartografie della fratturazione e il metodo dello *shadow angle* in cui le ubicazioni dei blocchi potenzialmente instabili sono ottenuti dalla carta della densità di fratturazione ed utilizzati come dato di input all'algoritmo PROTO (figura 6). Questa integrazione ha la finalità di produrre carte di suscettibilità vincolate all'assetto geologico-strutturale del versante in esame (figura 7).

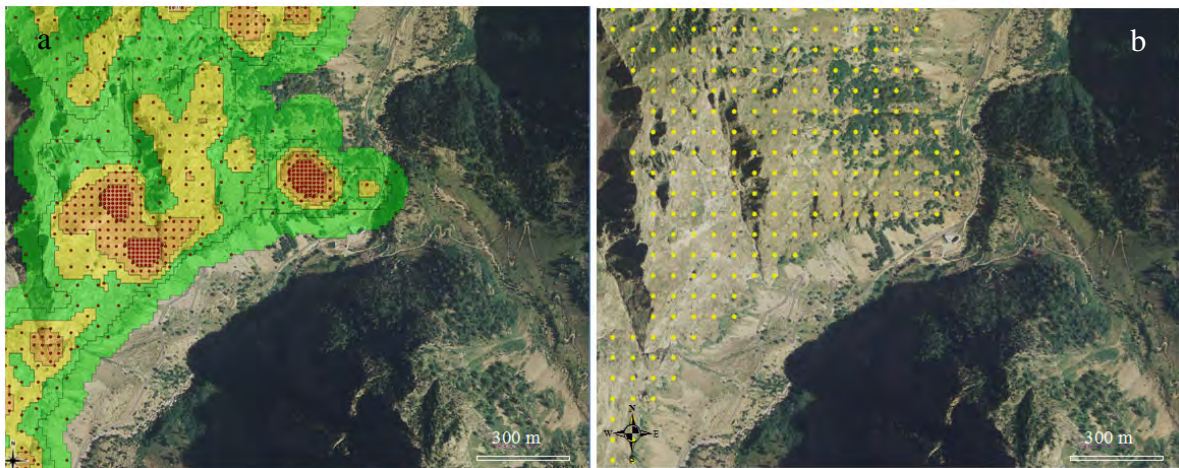


Figura 6 – a: esempio di carta della distribuzione dei punti di partenza in funzione della densità di fratturazione (la densità dei punti di partenza è scelta in funzione dei valori ottenuti dall’analisi geostatistica); b: esempio di distribuzione regolare dei punti di partenza vincolato unicamente alle caratteristiche geometriche del DTM

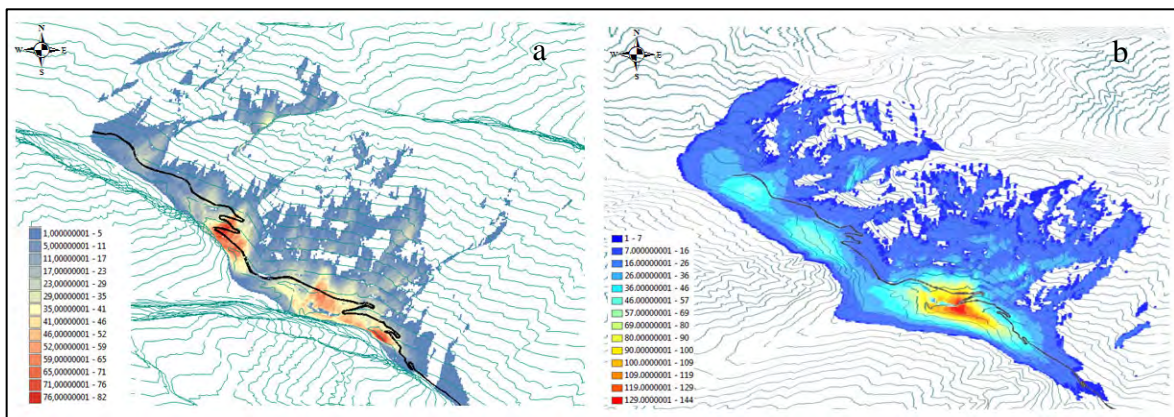


Figura 7 – Carta delle frequenze di arrivo (valle della Lombardia); a: esempio di carta di suscettibilità vincolata allo stato di fratturazione; b: carta di suscettibilità ottenuta dal solo metodo dei coni. La legenda riporta le frequenze di arrivo

Riferimenti bibliografici

Arpa Piemonte, Cemagref, Politecnico di Torino, Consorzio Forestale Alta Valle di Susa (2008). *Progetto n° 165 Proviaalp. Protezione della viabilità alpina. Relazione Finale*. Interregg IIIa 2000-2006 Alpes Latines. Litografia Viscardi, Alessandria. ISBN 978-887479-070-8

Evans S.G., Hungr O. (1993). *The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes*. Canadian Geotechnical Journal, vol. 30(4), pp. 620-636.

ALLEGATO 4 - RILEVAMENTO E MONITORAGGIO IN AMBITO EMERGENZIALE

(Attività di progetto esterna al confronto tra i metodi Proviapl, BRGM e Matterock short/light)

Introduzione

Nell'ambito del progetto MASSA è stata avviata una collaborazione tra il Servizio Protezione Civile della Provincia di Torino ed il CNR IRPI, U.O.S. di Torino, finalizzata all'analisi delle attività di rilevamento e monitoraggio da compiersi nelle fasi immediatamente successive ad un fenomeno di crollo.

L'analisi si è dunque concentrata su quelle attività che possono essere svolte immediatamente dopo l'evento, in un lasso di tempo di 24-72 ore. Tale lasso temporale rappresenta, di fatto, il periodo nel quale sono solitamente chiamati ad intervenire i servizi di protezione civile per una prima valutazione dell'evento e per una definizione delle azioni preliminari di salvaguardia e messa in sicurezza del territorio e della popolazione. In seguito ad un evento di crollo, infatti, le prime fasi d'intervento hanno come oggetto la comprensione del fenomeno e l'analisi circa la possibilità che esso possa ripetersi nel breve e medio termine. In queste fasi spesso l'accesso ai luoghi da cui si è generato il crollo può essere estremamente difficile, se non impossibile, per molti fattori tra i quali le condizioni meteorologiche avverse o il pericolo imminente di nuovi distacchi. In tale ambito, lo studio metodologico ha cercato di individuare una serie di operazioni che fossero in grado di supportare sia la fase preliminare di analisi dello stato dei luoghi che le operazioni di interdizione o messa in sicurezza delle aree colpite o potenzialmente coinvolgibili.

Dato il ridotto intervallo di tempo a disposizione per la messa in opera delle procedure e la spesso scarsa disponibilità di accesso diretto alle aree di innesco, la ricerca si è concentrata sulla possibilità di utilizzare sistemi topografici in grado sostanzialmente di rilevare con elevato dettaglio lo stato dei luoghi e monitorarne l'evoluzione nel tempo. Per riuscire ad attuare una soluzione di questo genere sono stati analizzati i numerosi sistemi di rilevamento e controllo delle deformazioni presenti sul mercato, cercando di differenziarli in base al prodotto ottenibile, alle modalità di impiego ed ai tempi di processamento e restituzione. L'impiego di sistemi di monitoraggio nell'ambito dello studio dei crolli in roccia è un aspetto molto delicato e complesso a causa delle caratteristiche intrinseche del processo che deve essere studiato. L'elevata velocità del processo e la scarsa presenza di segnali premonitori rendono infatti solitamente molto difficile la messa in opera di sistemi di controllo altrimenti molto diffusi nel campo del monitoraggio di altre tipologie di fenomeni di dissesto. Nel caso specifico, lo studio si è concentrato su quei sistemi che possono essere utilizzati nel breve periodo per supportare le prime fasi post evento fornendo dei dati oggettivi a chi è chiamato a prendere delle decisioni per la gestione del rischio residuo. In tale ambito, si è ritenuto opportuno suddividere le metodologie analizzate in due macro categorie dividendo i sistemi in grado di restituire un rilevamento ad alta risoluzione dell'area indagata o un suo monitoraggio. In tutti e due i casi la metodologia proposta si basa essenzialmente sull'impiego di sistemi topografici.

Metodologie atte al rilevamento di aree soggette a crolli

Per quanto riguarda le attività di rilevamento, l'obiettivo principale è la produzione di un modello digitale ad alta risoluzione dell'area in esame con sistemi che non necessitano di un accesso diretto al sito. In particolare, per il progetto MASSA sono stati presi in considerazione sia la versione terrestre che aviotrasportata dei sensori LiDAR (Abellan et al., 2009, 2010) ed una particolare tecnica basata sul processamento di immagini digitali ad alta risoluzione che presenta numerosi vantaggi rispetto all'approccio stereoscopico classico (Furukawa & Ponce 2007). Tutti e tre i metodi sono stati appositamente testati sui siti campione qui di seguito presentati per effettuarne una valutazione comparata ed un'analisi di tipo metodologico. In base ai dati raccolti è stato possibile riassumere una serie di indicazioni generali circa l'impiego di tali sistemi in aree interessate da crolli in condizioni di emergenza. Per ogni metodo sono stati descritti i prodotti ottenibili, i principali pregi e limitazioni e, soprattutto, è stata fornita un'indicazione relativa al tempo necessario per l'esecuzione delle operazioni di rilievo e restituzione del dato (tabella 1 e figura 1). A tal proposito, si sottolinea come le specifiche qui di seguito elencate debbano essere considerate indicative e quindi soggette a variazioni anche importanti in funzione delle condizioni specifiche dei singoli siti. Tra gli elementi maggiormente variabili c'è sicuramente il fattore tempo: le

indicazioni di durata delle operazioni sono infatti da riferirsi a condizioni di rilevamento ideali, senza la presa in considerazione di stop derivanti da condizioni meteorologiche particolarmente avverse che potrebbero rendere estremamente difficile la fase iniziale di rilevamento.

METODOLOGIA	PRODOTTI ATTESI	PREGI	LIMITAZIONI
Fotogrammetria digitale ad alta risoluzione	Immagine solida ad alta risoluzione derivante da una nuvola di punti estratta dalla mosaicatura delle immagini da cui viene generato un DSM	L'analisi di dettaglio del sito in modalità realtà virtuale consente una maggior cura nell'individuazione dei sistemi di fratturazione e permette una prima individuazione e misurazione delle aree instabili	Nuvola di punti a bassa risoluzione; necessita di un supporto topografico per la georeferenziazione che aumenta la complessità delle operazioni
LiDAR terrestre	DTM ad altissima risoluzione (sino a maglie regolari centimetriche) da cui generare una serie di prodotti numerici derivati (curve di livello, <i>shaded relief</i>); produzione di ortofoto	Particolarmente indicato per il rilevamento di porzioni ridotte di territorio con particolare riferimento ad aree subverticali scarsamente vegetate. Parziale eliminazione della presenza di coni d'ombra attraverso l'unione di più scansioni riprese da punti diversi	Il suo impiego dipende dalla disponibilità di punti di presa idonei; bassa capacità di penetrazione della vegetazione che lo rende poco indicato per aree boschive. Rilevamenti eseguibili solamente in condizioni meteorologiche favorevoli
LiDAR aviotrasportato	DTM ad alta risoluzione (sino a maglie regolari decimetriche) da cui generare una serie di prodotti numerici derivati (curve di livello, <i>shaded relief</i>); produzione di ortofoto	Particolarmente indicato per il rilevamento di vaste aree di territorio anche molto vegetate; particolarmente indicato per il rilievo di aree a morfologia complessa che prenda in considerazione non solo il punto di distacco ma anche la zona di <i>run out</i>	Il suo impiego è poco indicato per il rilevamento di falesie a causa dell'orientamento nadirale del sistema di presa. Rilevamenti eseguibili solamente in condizioni meteorologiche favorevoli

Tabella 1 – Tabella riassuntiva che prende in considerazione i prodotti ed i principali vantaggi e svantaggi dei metodi presi in considerazione

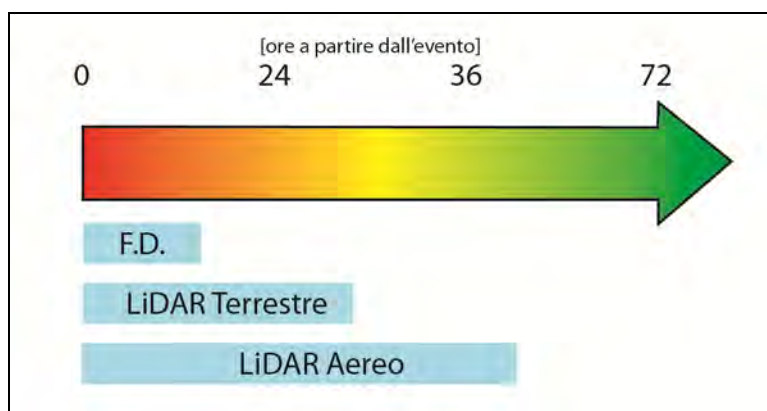


Figura 1 – Valutazione indicativa del tempo necessario per la restituzione dei risultati ottenibili dai diversi metodi presi in considerazione; le valutazioni proposte si intendono a partire dall'arrivo del team di intervento sul luogo delle operazioni senza che intercorrano periodi di tempo caratterizzati da condizioni meteorologiche sfavorevoli. F.D. = fotogrammetria digitale ad alta risoluzione

Metodologie atte al monitoraggio speditivo di aree soggette a crolli

Passando ad un approccio multi-temporale in grado di valutare nel tempo l'evoluzione dell'area soggetta a crollo è necessario introdurre il concetto di monitoraggio. Anche in questo caso, il lasso di tempo preso in considerazione per l'installazione e l'utilizzo della strumentazione è estremamente ridotto e quindi il numero di sistemi impiegabili si riduce bruscamente, prendendo in considerazione quasi esclusivamente sistemi in grado di misurare le deformazioni superficiali. Prima di entrare nel merito dei sistemi analizzati va tuttavia premesso come l'impiego di strumenti di monitoraggio per il controllo di aree soggette a crolli sia estremamente complesso e a volte non consigliabile in quanto il carattere impulsivo del crollo rende non consone gran parte delle strumentazioni in commercio. Nell'ambito dei crolli esistono tuttavia situazioni geologico-strutturali molto eterogenee che possono portare alla generazione di fenomeni simili ma con processi differenti. Come si vedrà per il caso di studio B, in base alla tipologia di fenomeno esistono tuttavia sistemi di monitoraggio che possono essere impiegati anche in questi frangenti. A prescindere dal tipo di sensore impiegato, uno degli elementi determinanti è legato alla frequenza di campionamento ed alla velocità di campionamento ed analisi del dato; i sistemi in *real time* sono da preferire ad altri sistemi differiti. Qui di seguito sono stati inseriti i sistemi che possono essere ritenuti maggiormente efficaci soprattutto nel brevissimo termine (tabella 2 e figura 2). In particolare, gli estensimetri a filo (così come anche i tilometri, soprattutto con sensori MEMS), il SAR nella sua versione terrestre e la stazione totale possono essere considerati tra i sistemi maggiormente indicati per l'impiego in contesti emergenziali legati a fenomeni di crollo.

METODOLOGIA	PRODOTTI ATTESI	PREGI	LIMITAZIONI
Estensimetri a filo/barra	Misura diretta, talvolta in tempo reale, dell'apertura di una determinata discontinuità; solitamente organizzati in reti di sensori lungo le discontinuità più importanti	Si tratta di un sistema di misura diretto ad altissima frequenza che, con opportuni accorgimenti, può essere abbinato ad un sistema di allarme. Si tratta di uno dei pochi sistemi che possono essere utilizzati in <i>real time</i>	Misurazione monodimensionale la cui precisione può risentire delle variazioni degli agenti esterni (temperatura); l'installazione presuppone un accesso diretto al sito
GBInSAR	Misurazione ad alta frequenza delle variazioni di distanza tra il target e lo strumento lungo la <i>line of sight</i> (LOS). Il risultato è spesso presentato come una mappa di deformazione	Si tratta di un sistema di monitoraggio areale particolarmente indicato per aree subverticali poco vegetate che raggiunge risoluzioni in termini di spostamento molto elevate; l'installazione non prevede nessun accesso diretto al sito	Misurando esclusivamente la componente lungo la LOS, la corretta orientazione dello strumento rispetto alla direzione di spostamento presunta dell'oggetto monitorato è fondamentale; può essere complessa la fase di analisi ed interpretazione dei dati
Stazione totale robotizzata	Misurazione nelle tre componenti di una serie di target installati in punti rappresentativi delle aree da monitorare	Consente la misurazione nelle tre componenti di una serie di target. Può essere usato per riconoscere eventuali trend evolutivi anche in aree che hanno componenti di movimento molto eterogenee	Strumento spesso non adatto per un monitoraggio di fenomeni di crollo in quanto la frequenza di campionamento e l'accuratezza possono non essere sufficienti

Tabella 2 – Tabella riassuntiva che prende in considerazione i prodotti ed i principali vantaggi e svantaggi dei metodi presi in considerazione

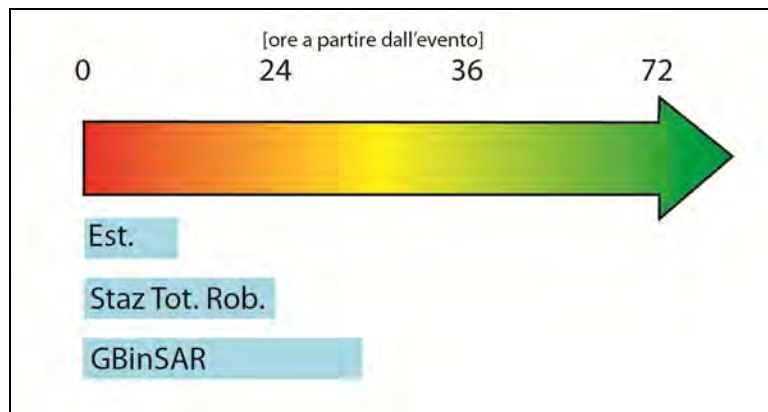


Figura 2 – Valutazione indicativa del tempo necessario per la restituzione dei risultati ottenibili dai diversi metodi presi in considerazione; le valutazioni proposte si intendono a partire dall'arrivo del team di intervento sul luogo delle operazioni e prendono in considerazione anche i tempi di calibrazione del sistema

Scenari di riferimento

Per poter testare le diverse metodologie sono stati presi in considerazione dei siti campione che potessero essere considerati come rappresentativi di situazioni differenti nei quali fossero avvenuti dei fenomeni di crollo. I due siti impiegati si trovano in Provincia di Torino e rispettivamente nei comuni di Sauze di Pinerolo (CASO A: loc. Ponte della Rabbiosa – figura 3a) e Quincinetto (CASO B: loc. Lacou – figura 3b). Qui di seguito vengono brevemente descritti i tratti salienti dei siti, si rimanda al sito web del progetto per una completa analisi delle attività svolte. Il primo caso è rappresentativo di una situazione tipica, dove un ammasso roccioso subverticale è caratterizzato da un elevato grado di fratturazione che determina l'insorgenza di instabilità locali. Il secondo caso è invece più articolato, in quanto il fenomeno di crollo deve essere inserito in un contesto più complesso legato alla presenza di un ampio fenomeno gravitativo caratterizzato da tassi di movimento differenti.

Il Caso A è stato considerato un esempio di un fenomeno di crollo tipico, nel quale è difficile poter installare repentinamente un sistema di monitoraggio ma è fondamentale, sin dalle prime battute, poter disporre di un *dataset* il più possibile completo su cui basare le valutazioni circa la stabilità dell'ammasso roccioso ed il riconoscimento di ulteriori settori instabili. In questo caso, quindi, sono da preferire, almeno nelle prime 24-36 ore attività che siano in qualche modo di supporto alle prime valutazioni attraverso la creazione di immagini solide navigabili. Il caso specifico ha evidenziato come spesso le avverse condizioni meteorologiche rendono difficile l'accesso diretto al sito e rendono necessario l'impiego di sistemi di rilevamento e monitoraggio da remoto.

Il Caso B vuol essere invece un esempio che evidenzia come talvolta un fenomeno di crollo possa essere indice della presenza di un fenomeno di instabilità decisamente più ampio. In questo caso, data la complessità dell' reale coinvolto e la presenza di un fenomeno gravitativo di più ampie dimensioni nell'area sorgente, si è ricorsi ad una tecnica mista che ha previsto un rilievo LiDAR integrato terrestre ed aereo e la realizzazione di una rete di monitoraggio delle deformazioni presenti nell'area a monte del distacco.

Il *dataset* così ottenuto è stato impiegato sia per un'iniziale valutazione dello stato del fenomeno ma anche come base per approfondimenti successivi, tra cui la simulazione delle traiettorie di caduta massi e l'eventuale progettazione di opere di difesa.

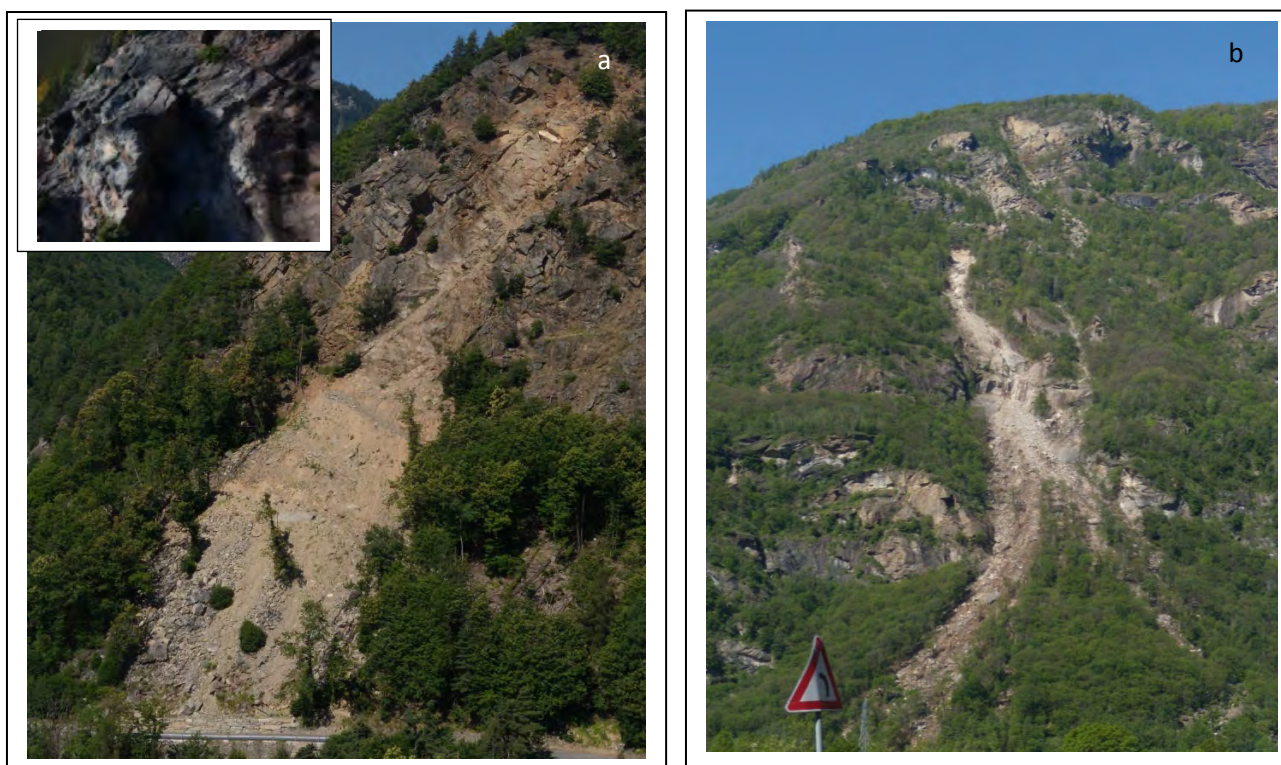


Figura 3 – a) CASO A, in loc. Ponte della Rabbiosa (Comune di Sauze di Pinerolo - TO); b) CASO B in loc. Lacou (Comune di Quincinetto – TO). In alto a sinistra nell’immagine 3a un estratto dall’immagine solida navigabile.

Conclusioni

La realizzazione di un sistema di pronto intervento consente alla Protezione Civile di fornire un sostegno alle decisioni che gli amministratori si trovano a dover prendere nel più breve tempo possibile al fine di salvaguardare l’incolumità delle persone e dei beni minacciati dall’evento, ma non solo, la definizione dell’evoluzione dello stesso sia in termini temporali che spaziali consente ai sindaci e quindi alla popolazione coinvolta di minimizzare il disagio patito e di supportare la provincia e le amministrazioni coinvolte nelle decisioni riguardanti gli interventi che si possono realizzare in emergenza per la messa in sicurezza dei luoghi.

Le analisi svolte consentono poi di ricalibrare le pianificazioni di emergenza esistenti sul nuovo stato di fatto rendendo i piani di protezione civile comunali elastici ed aderenti alle continue mutazioni del territorio nel rispetto e nella salvaguardia della popolazione e delle infrastrutture coinvolte.

Riferimenti bibliografici

Abellán, A., Calvet, J., Vilaplana, J.M., Blanchard, J. 2010 . *Detection and spatial prediction of rockfalls by means of terrestrial laser scanner monitoring*. *Geomorphology* 119:162–171.

Abellán, A., Jaboyedoff, M., Oppikofer, M.T., Vilaplana, J.M. 2009 . *Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: experiment and application to a rockfall event*. *Nat. Hazard Earth Syst. Sci.* 9: 365-372.

Furukawa, Y., Ponce, J. 2007 . *Accurate, dense and robust multi-view stereopsis* . aper presented at Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Comput. Soc., Minneapolis, Minn.

Allegato redatto da: Daniele Giordan (CNR-IRPI), Furio Dutto e Connie Contrafatto (Provincia di Torino – Servizio Protezione Civile).




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

Il progetto MASSA n. 065 è un progetto semplice del programma Interreg IVc 2007 – 2013 Alpi Latine COoperazione TRAnsfrontaliera (ALCOTRA).

Il progetto MASSA, focalizzato sulla problematica della caduta massi e delle frane in roccia che riguardano gli assi stradali transfrontalieri di collegamento tra Francia, Italia e Svizzera, si è sviluppato secondo tre azioni di ricerca.

Il presente volume descrive le attività e i risultati inerenti l’Azione 1 “Confronto di metodi speditivi per la valutazione della pericolosità da caduta massi” che ha previsto il raffronto tra il metodo francese BRGM dell’ente omonimo, quello italiano Proviaalp, sviluppato da Arpa Piemonte e quello svizzero Matterock short/light messo a punto dal Crealp.