

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 $\leq 30-50 \text{ m}^3$	si	si	si
• Evento caduta blocchi ¹ $\geq 30-50 \text{ m}^3$	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 + Rockyfomet)	considerato (Rotomap)
<ul style="list-style-type: none"> Elasticità del suolo lungo la traiettoria di caduta 	considata (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) - 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	non commercializzato	in commercio (circa 3.000 €)
<ul style="list-style-type: none"> Obiettivi / principi di funzionamento del programma 	- 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

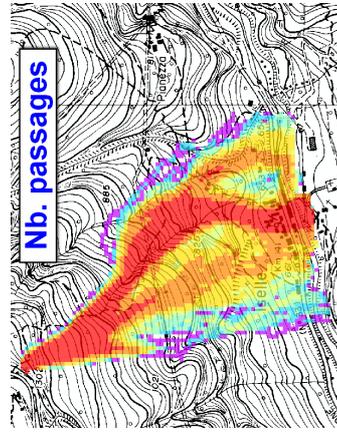
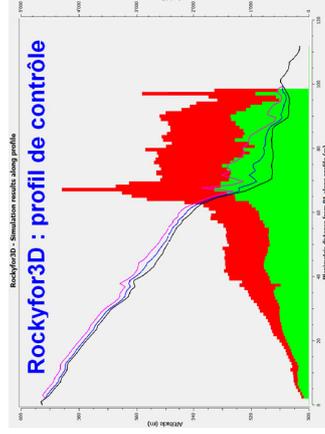
Criteri di confronto

Matterock

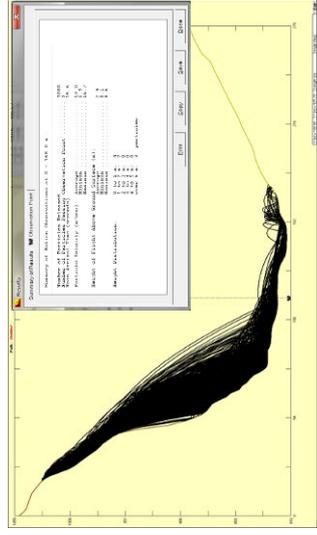
BRGM

Proviap

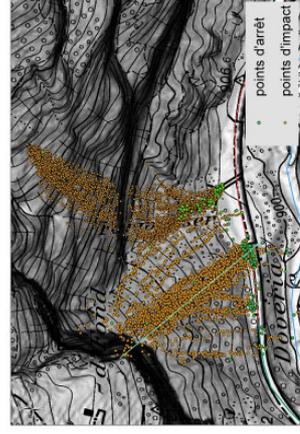
- **Illustrazioni**



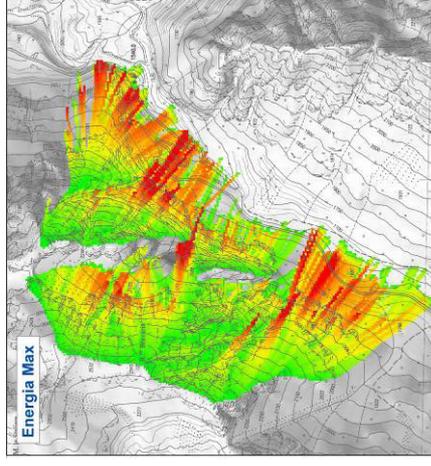
Rappresentazioni dei risultati di Pierre 98 2D



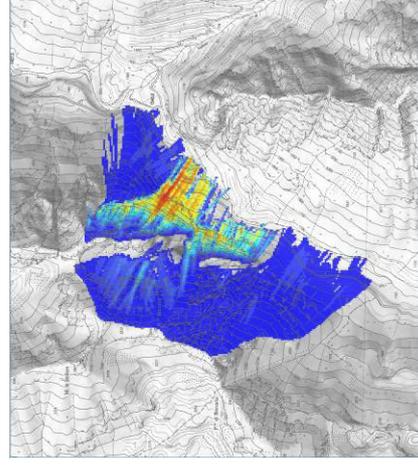
Rappresentazioni dei risultati di Pierre 98 3D



Rotomap: energia massima



Rotomap: indice di suscettibilità IRIS



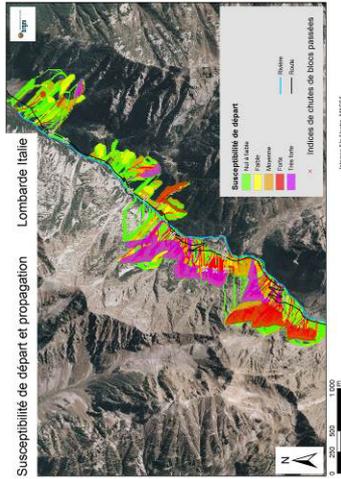
Criteri di confronto	Matterock	BRGM	ProviaIp
Propagazione s.l.			
<ul style="list-style-type: none"> Valutazione della propagazione (empirica) e/o delle linee d'energia 	<p>si (criteri geomorfologici – Matterock short/light)</p>	<p>si (ma senza calcolo dell'energia, definizione della probabilità d'arrivo 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

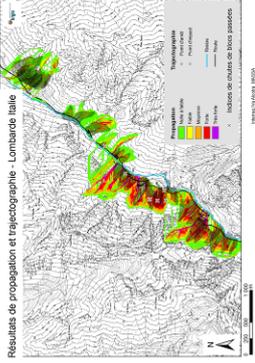
<i>Elevée</i>	20 - 100%
<i>Moyenne</i>	2 - 20%
<i>Faible</i>	0 - 2 %

Rappresentazione cartografica della propagazione e della probabilità di rottura



Metodo dei coni – frequenze arrivi

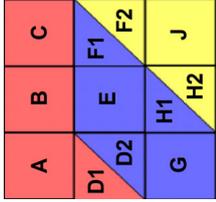
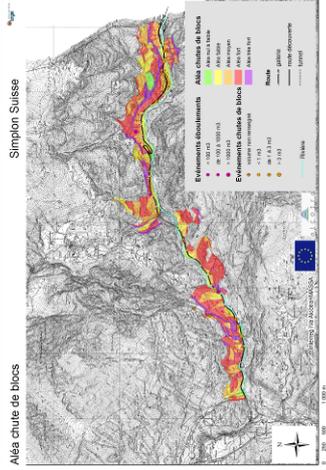
Carta della suscettibilità derivata dal metodo dei coni

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

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	Matterock	BRGM	Proviaalp																																																																																																				
<ul style="list-style-type: none"> Dimensionamento delle opere di protezione 	<p>no: Matterock short/light si: Matterock completo</p>	<p>no</p>	<p>no (possibile con Rotmap)</p>																																																																																																				
<ul style="list-style-type: none"> Posizionamento delle opere di protezione 	<p>no: Matterock short/light si: Matterock completo (Rockyfor 3D: messa in evidenza dei canali e degli assi di propagazione dei blocchi)</p> <p>Relazione profilo del versante - fattore di caduta utilizzato per il calcolo dell'energia dei blocchi (Matterock short/light)</p> <table border="1" data-bbox="699 1144 1070 1534"> <thead> <tr> <th colspan="2">A/ Falaise sans versant</th> <th>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>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>f = 0,6 - 0,9</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Falaise inclinée à 45-60° avec rebonds</td> <td>f = 0,4 - 0,6</td> </tr> <tr> <th colspan="2">B/ Falaise avec versant</th> <th>Facteur de chute f</th> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Blocs sautent</td> <td>f = 0,1 - 0,4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Blocs roulent</td> <td>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>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>no</p>	<p>no (possibile con Rotmap)</p>																																																																												
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																																																																																																					
<ul style="list-style-type: none"> Illustrazioni 	<p>Diagramma intensità-accadimento + classi di pericolo</p> 		<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="788 103 1374 533"> <thead> <tr> <th>Area</th> <th>Cinematismo</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	Cinematismo	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	
Area	Cinematismo	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																																																																																																				

Criteri di confronto	Matterock	BRGM	Proviaalp
Rappresentazione cartografica			
• Catasto degli eventi storici	si	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 Lombarda (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>

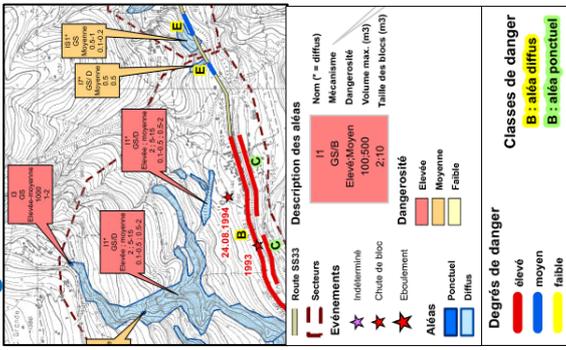
Esempio di scheda di una instabilità puntuale

Aléa IS4

Secteur:	Isère - Strieux
Localité:	Château de la Roche
Description:	Gros saproducts à l'interface de l'AM4 (IS4) au sommet de la falaise
Mécanisme:	Glissement superficiel sur le plan (200/80)
Dangerosité:	Evénement de surpression selon la technique autoroutière
Volume:	8 m ³
Surface des blocs (max):	0,5x m ²

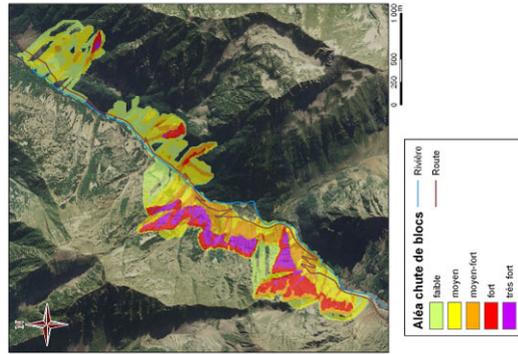


Esempio di carte synthétique des aléas, des événements et du danger a livello della strada

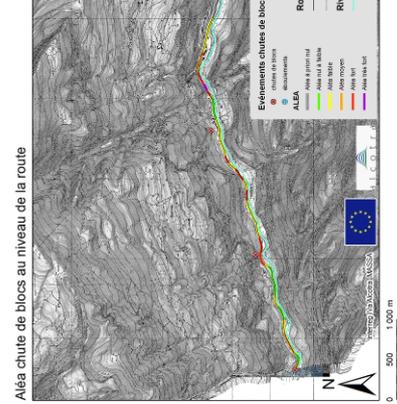


- Illustrazioni

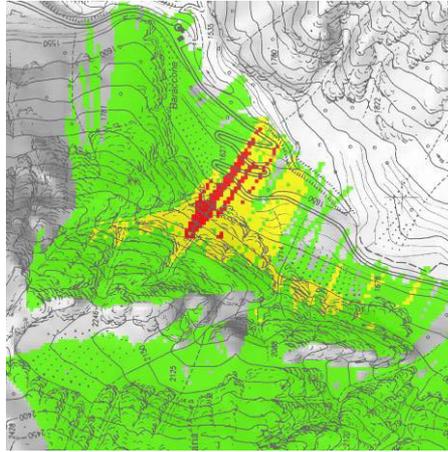
Cartografia dell'aléa chute de blocs



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 transversalières*. 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 Proviaip (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).

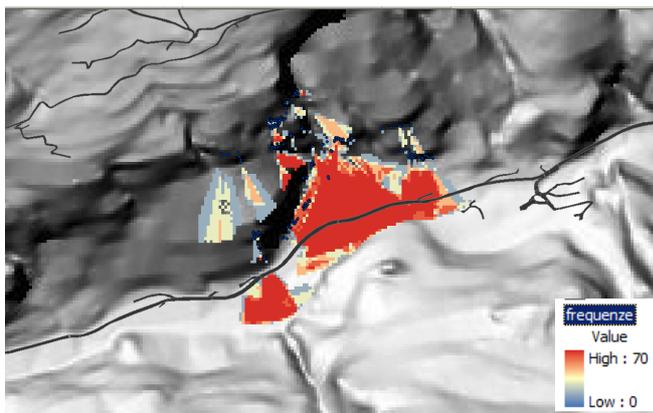


Figura 5a – Frequenze di arrivo.

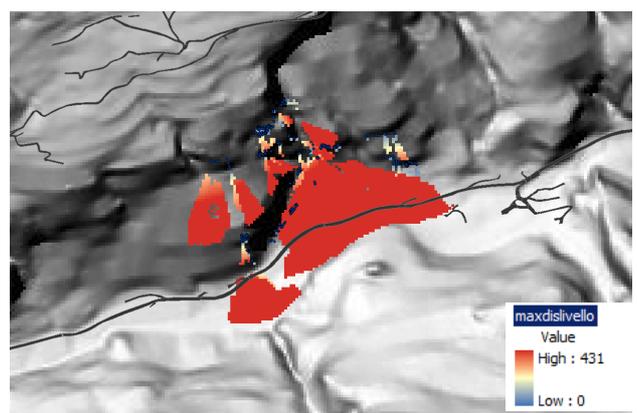


Figura 5b – Massimo dislivello

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

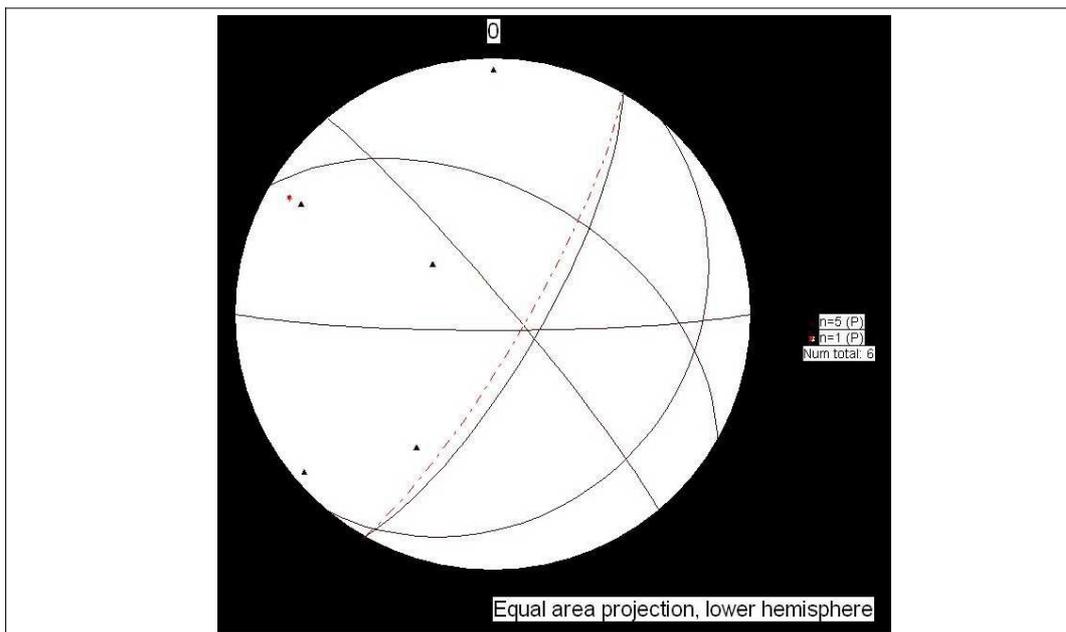
Forma Blocchi

- 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

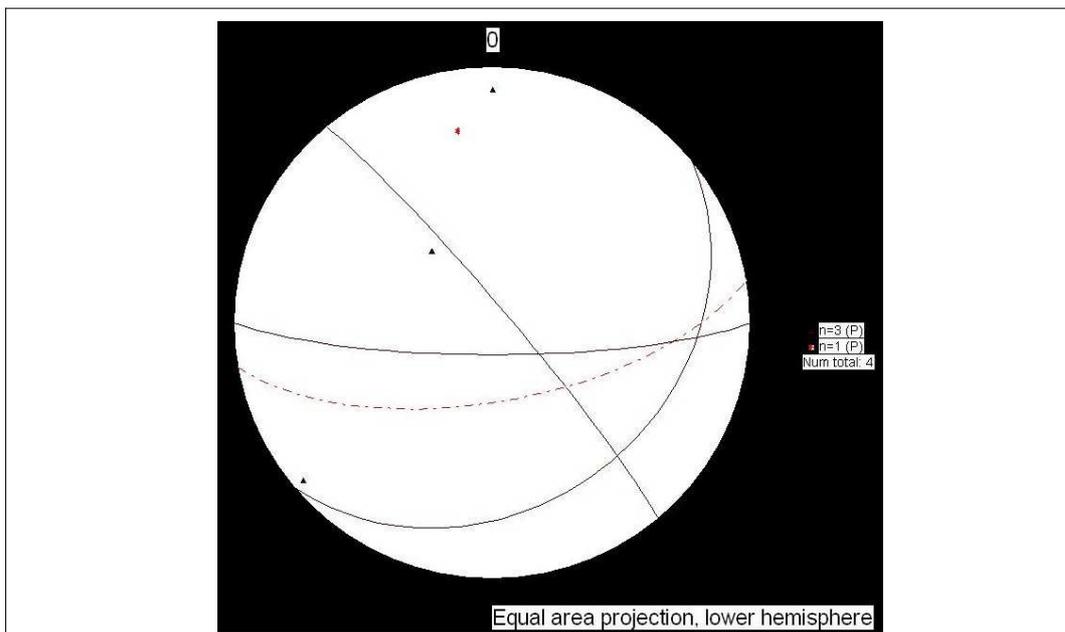
Forma Blocchi

- 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.

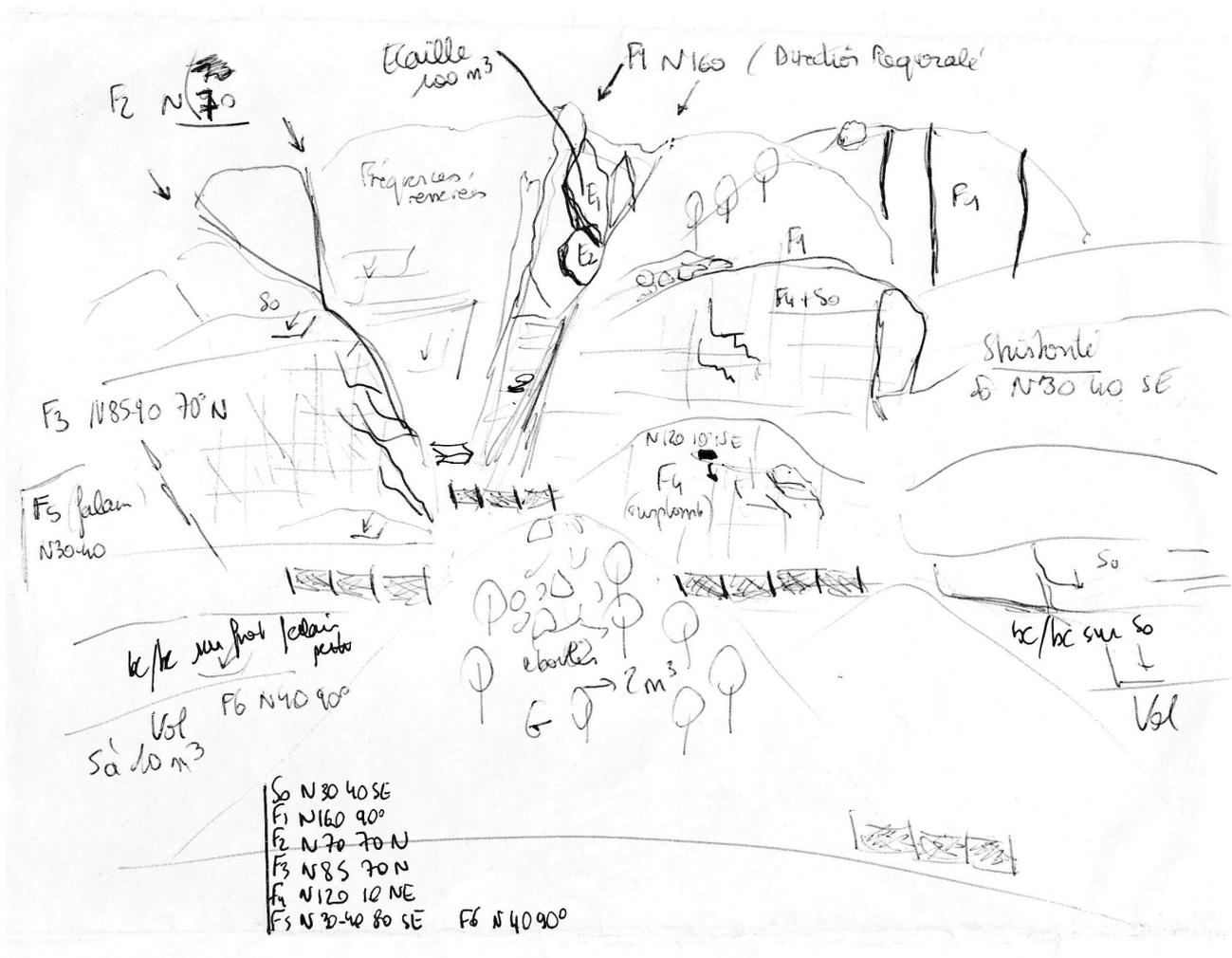


Figura 6 – Schema globale della parete

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 m³), 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.

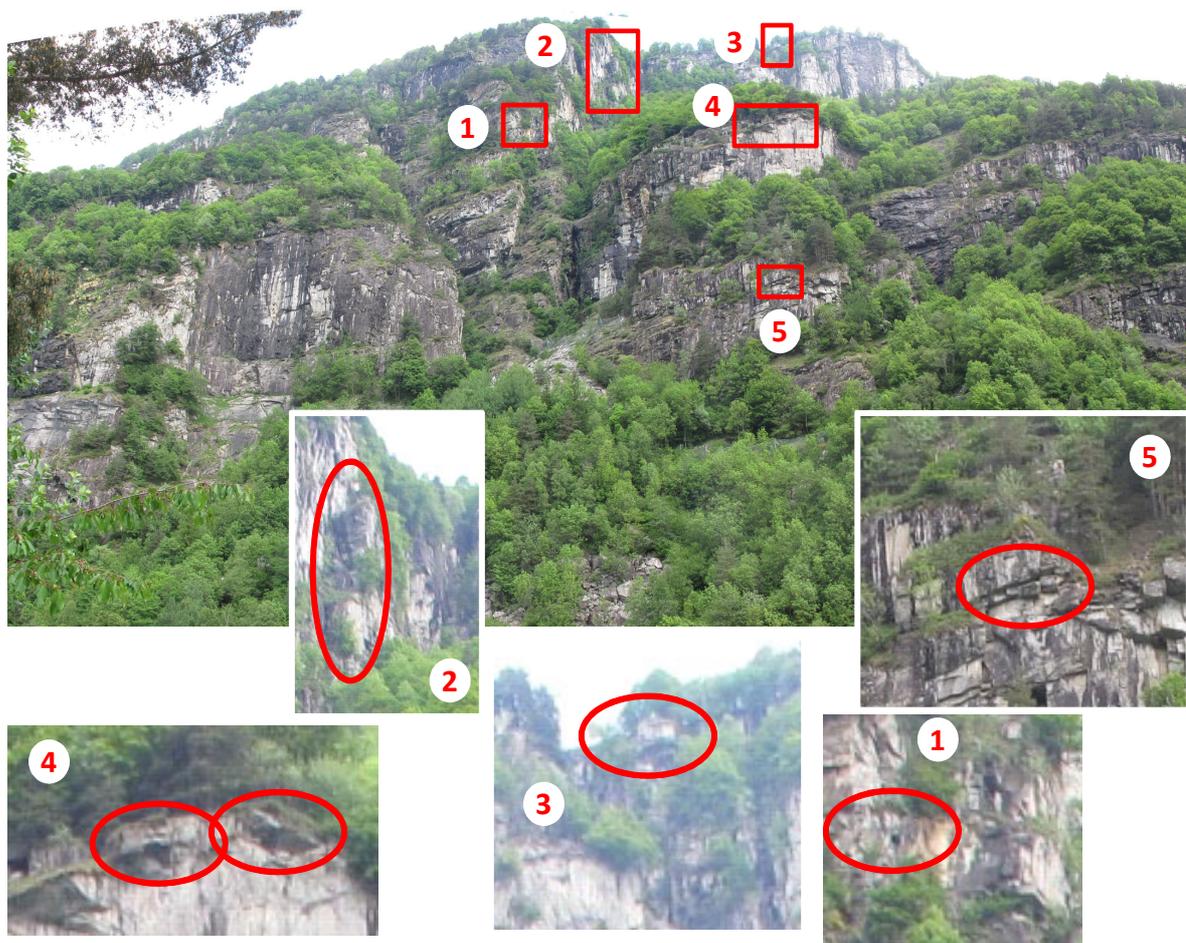


Figura 7 – Localizzazione in parete dei blocchi instabili

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
 Litotipo: rocce carbonatiche | evidenze di distacchi progressi: alcune | I
 fratturazione falesia: media | F
 strapiombi: alcuni | F
 fratturazione franapoggio: assente o poco marcata | 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). Below this is a 'Ruolo dei piani' section with a table for 'Piano di sciv.' and 'Giunto di trazione'. The right sidebar shows calculated values: 'probabilità accadimento: Debole (100-300 anni)', 'intensità [kJ]: 20', and 'pericolosità CREALP: DEBOLE'. At the bottom, there is a 'Note' field and a 'Record' section with '1 di 5' records.

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;

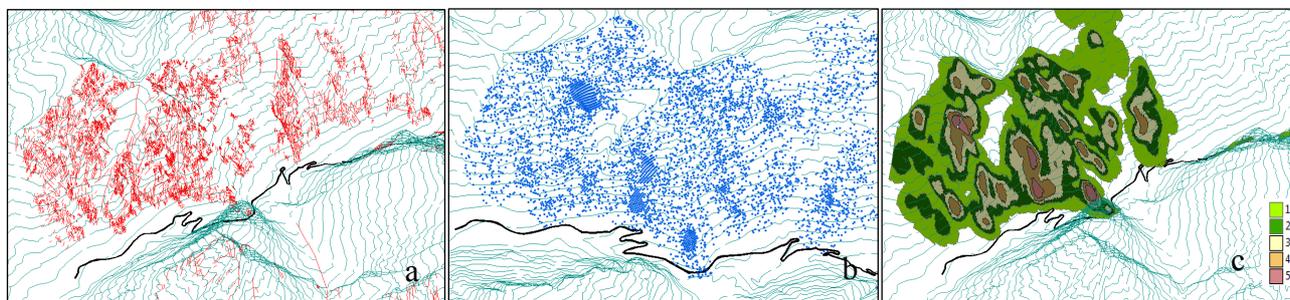


Figura 4 – Studio dello stato di fratturazione (esempio: sito della valle della Lombardia). a: carta della fratturazione, in rosso sono riportati i sistemi di fratture individuati su ortofoto prospettive in 3D di dettaglio; b: distribuzione delle intersezioni della fratturazione; c: carta della densità di intersezione della fratturazione (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;

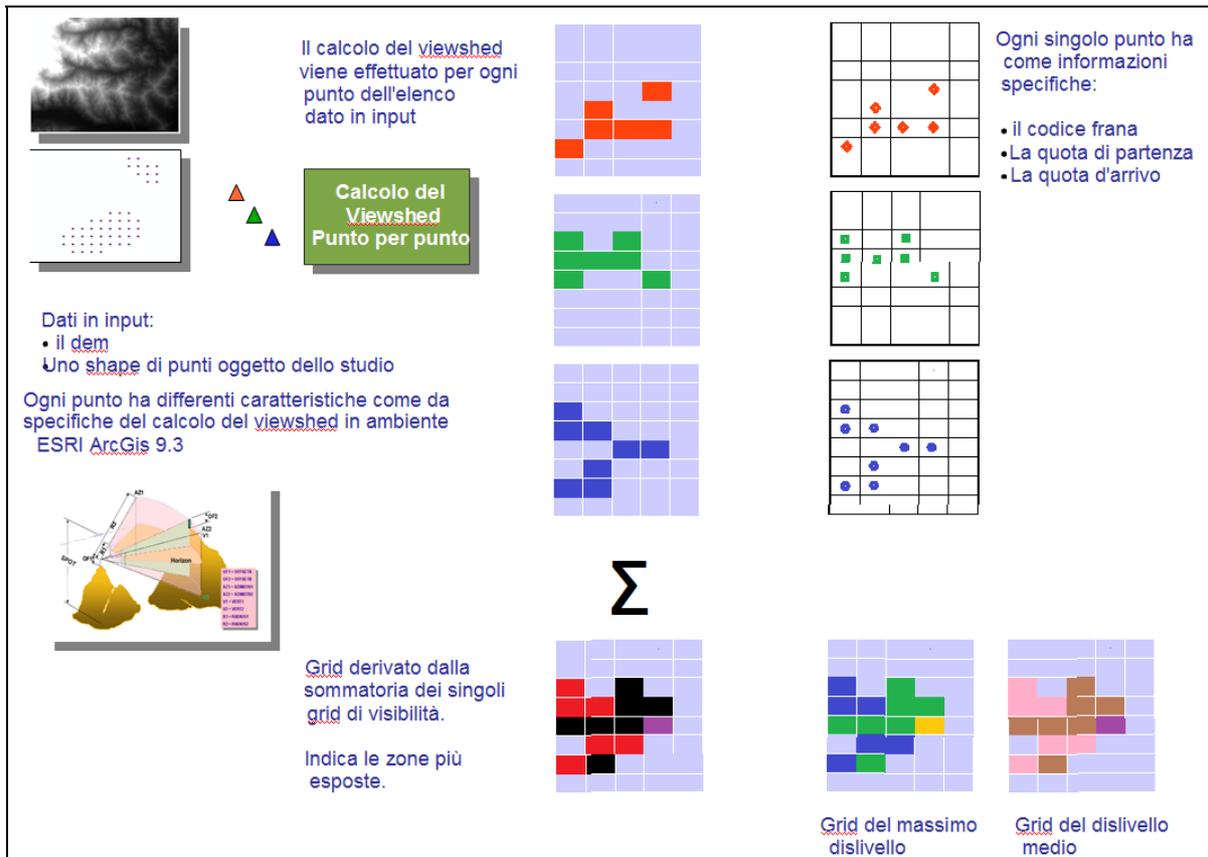


Figura 5 – Schema logico dell'algoritmo PROTO

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).

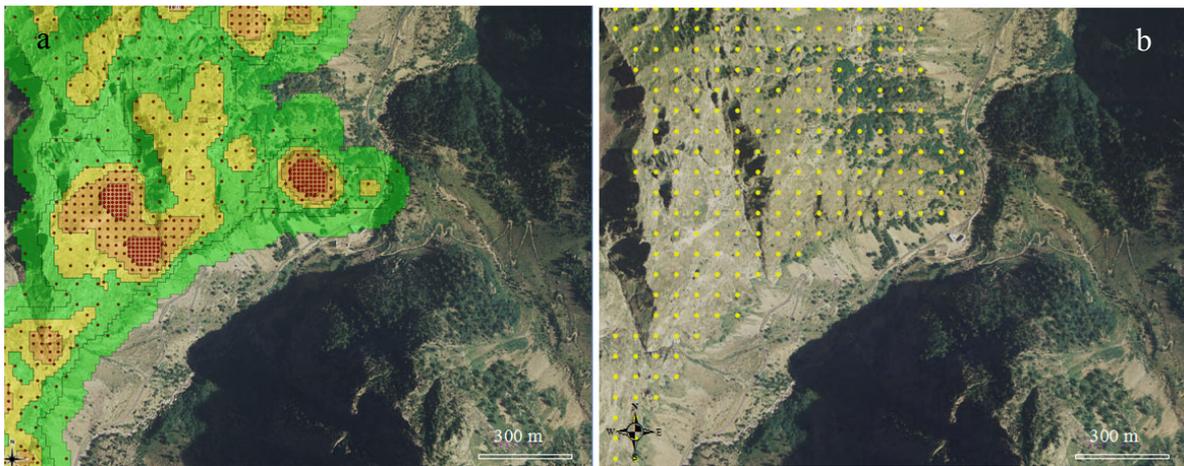


Figura 6 – a: esempio di carta della distribuzione dei punti di partenza in funzione della densità di fratturazione (la densità dei punti di partenza è scelta in funzione dei valori ottenuti dall’analisi geostatistica); b: esempio di distribuzione regolare dei punti di partenza vincolato unicamente alle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

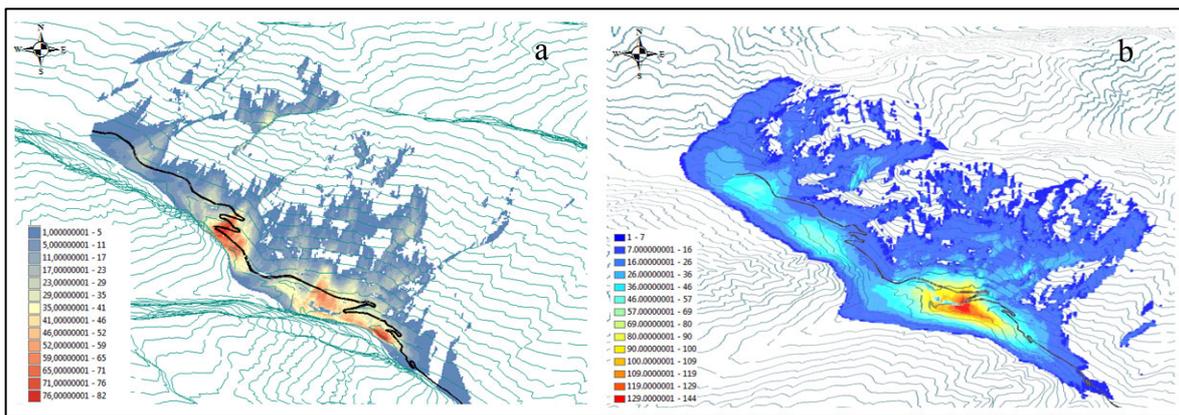


Figura 7 – Carta delle frequenze di arrivo (valle della Lombardia); a: esempio di carta di suscettibilità vincolata allo stato di fratturazione; b: carta di suscettibilità ottenuta dal solo metodo dei coni. La legenda riporta le frequenze di arrivo

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

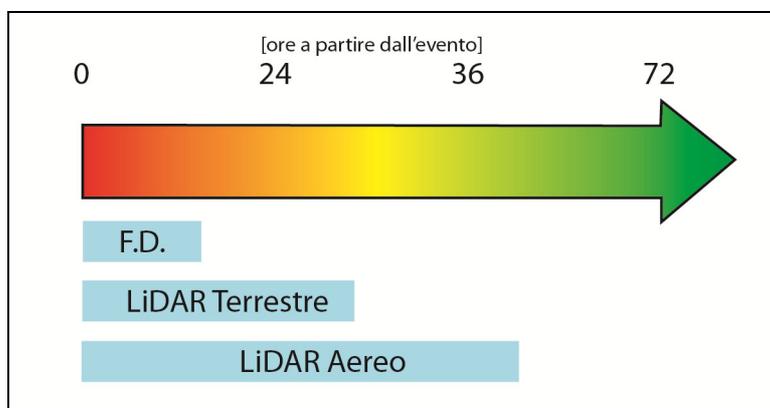


Figura 1 – Valutazione indicativa del tempo necessario per la restituzione dei risultati ottenibili dai diversi metodi presi in considerazione; le valutazioni proposte si intendono a partire dall'arrivo del team di intervento sul luogo delle operazioni senza che intercorrano periodi di tempo caratterizzati 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 tilmetri, 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

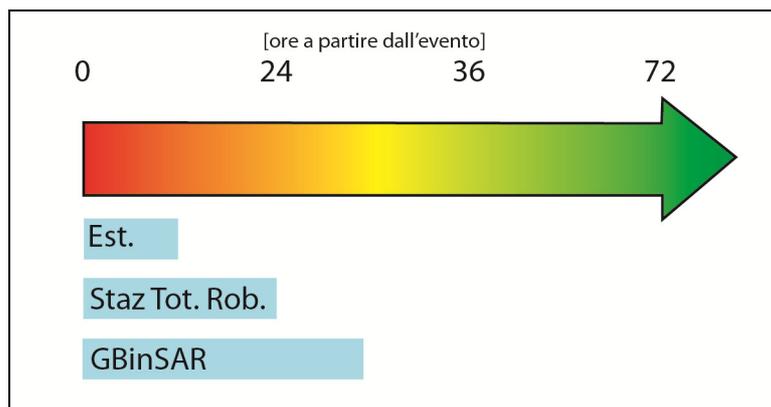


Figura 2 – Valutazione indicativa del tempo necessario per la restituzione dei risultati ottenibili dai diversi metodi presi in considerazione; le valutazioni proposte si intendono a partire dall'arrivo del team di intervento sul luogo delle operazioni e prendono in considerazione anche i tempi di calibrazione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