

AZIONE 5

Proposta di una metodologia inerente la mappatura e caratterizzazione dei processi di instabilità dei versanti da sperimentarsi sui bacini dell'alto Toce e della Maggia

Contributo dei partner italiani:

Manlio RAMASCO, Cinzia PICCIONI, Alberto GIGLIA
Regione Piemonte - Settore Studi e Ricerche Geologiche
Sistema Informativo prevenzione Rischi

Giovanni MORTARA, Gabriella DE RENZO
CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica
del Bacino Padano

Claudio SCAVIA, Marta CASTELLI,
Chiara DEANGELI, Margherita FERRERO
Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria
Strutturale e Geotecnica

Contributo dei partner svizzeri:

Silvio SENO*, Giorgio BEATRIZOTTI, Mariano LERBINI,
Sabina LÜTHI, Lisa MARTINENGHI, Alberto MAZZUCHELLI
Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana
- Istituto Scienze della Terra

*Università di Pavia - Dipartimento di Scienze della Terra

Laura SCESI, Umberto GIOIA
Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria
Idraulica, Ambientale e del Rilevamento

Pier Francesco BERTOLA
Lombardi SA Ingegneri Consulenti, Minusio, Svizzera

V-1. PREMESSA

Di seguito sono riportati i risultati delle ricerche dell'azione 5 che i partecipanti italiani e svizzeri hanno condotto sul tema dell'instabilità dei versanti in due ambiti territoriali adiacenti (il bacino dell'alto Toce ed il bacino della Maggia, rispettivamente). La scelta di operare in aree distinte e su aspetti diversi delle frane, il cui rischio è tuttavia percepito sui due versanti delle Alpi con uguale sensibilità, oltre che logisticamente più funzionale, ha consentito il reciproco trasferimento di esperienze e di risultati maturati su realtà territoriali differenti con indubbio arricchimento culturale.

Pur con approcci metodologici diversificati, comune intento dei due gruppi di lavoro è stato operare sia a livello territorialmente esteso che su situazioni locali, integrando queste diversità in un unico filo conduttore che, partendo da un'analisi generale del problema frane, conducesse gradualmente fino a studi di grande dettaglio. In quest'ottica gli specialisti italiani hanno realizzato una carta-inventario delle frane alla scala 1:25.000 informatizzata riguardante una ampia porzione della Val d'Ossola. Da parte loro gli specialisti svizzeri hanno realizzato un Sistema Informativo Territoriale riguardante i pericoli naturali - con particolare attenzione posta all'instabilità dei versanti rocciosi - basato sulla zonazione effettuata a partire dagli anni Novanta su tutto il territorio del Canton Ticino del quale il bacino della Maggia ha rappresentato l'area di partenza del progetto.



Figura V-1. Inquadramento geografico

A livello arealmente più circoscritto, da parte italiana è stata messa a punto una metodologia di studio multidisciplinare dei grandi movimenti di massa che mira alla valutazione dei possibili scenari di rischio. Tale metodologia è stata applicata al caso di Ceppo Morelli evidenziatosi criticamente nel corso dell'evento alluvionale dell'ottobre 2000. Da parte svizzera, è stato invece messo a punto un sistema di valutazione delle priorità di intervento lungo una importante via di comunicazione transfrontaliera esposta a pericolo di crolli. Inoltre il presente progetto ha fornito l'occasione per raccogliere, in maniera organica e fruibile dall'intera comunità scientifica interessata alla problematica delle grandi frane in roccia, la vasta mole di dati disponibile su Campo Vallemaggia, dando particolare risalto al confronto pre e post-intervento di sistemazione.

V-2. PROCESSI DI INSTABILITÀ DEI VERSANTI NELL'ALTO BACINO DEL TOCE

V-2.1. Introduzione

Attualmente lo studio dei versanti instabili viene affrontato sempre più di frequente con studi multidisciplinari che sopperiscono ai limiti insiti in ogni specifico approccio (morfologico, geologico, geomeccanico, idrologico, idrogeologico, storico), attenuando la soggettività dell'operatore o l'incertezza del dato e coagulando, al contempo, i punti di forza delle differenti metodologie di approccio al problema (Regione Piemonte & Univ. J. Fourier, 1996; Barla et al., 1998). Obiettivo finale è la visione globale e dinamica dei fenomeni naturali che è presupposto indispensabile per pianificare coerenti interventi sul territorio e predisporre adeguati piani di protezione civile.

Allo stato attuale delle conoscenze sulle frane si può dire che è:

- buona la capacità di riconoscimento di situazioni di instabilità;
- buona la capacità di classificazione tipologica;
- discreta la capacità di delimitazione di masse potenzialmente instabili;
- modesta la capacità di riconoscimento dell'area di invasione in caso di collasso;
- molto scarsa (se non nulla) la capacità di previsione del momento del collasso in assenza di monitoraggio.

A tutte le frane va prestata debita considerazione, è tuttavia indubbio che un'attenzione del tutto particolare va posta alle grandi frane, intendendo come tali quelle che coinvolgono masse rocciose o detritiche solitamente di volume dell'ordine di molte decine di migliaia o centinaia di migliaia sino a decine di

milioni di m³ e dalle quali possono derivare, in caso di collasso dell'intera massa o di parte di questa, conseguenze catastrofiche per la vita e le attività umane, sia dirette che indirette, di rilevanza non solo locale: esempi a tutti noti sono i disastri del Vajont (1963) e della Val Pola (1987), senza contare molti altri casi storicamente documentati.

L'area-campione scelta per gli studi previsti dall'Azione 5 ricade nella Val d'Ossola, settore del Piemonte alpino dove le frane di grandi dimensioni, oltre ad avere particolare diffusione, sono state in alcune occasioni responsabili di gravissime distruzioni e perdita di vite umane, con rilevanti effetti morfologici anche permanenti. Si ricordano a tal proposito le valanghe di roccia di Antronapiana (1642) e di S. Giovanni (1951 e 1958). L'interesse per i fenomeni di instabilità naturale del bacino ossolano è oltre modo giustificato dal fatto che il tessuto antropico, malgrado le asprezze morfologiche, è diffuso in ogni convalle ed annovera la presenza di due importanti vie di comunicazione internazionali (Ferrovia e Strada Statale del Sempione) e di numerosi invasi idroelettrici.

L'indagine ha riguardato in particolare il territorio del medio e alto bacino del F. Toce, includente valli tributarie di destra (Antrona, Bognanco, Diveria, Cairasca e Devero) e di sinistra (Isorno), nonché la Valle Formazza s.s., tutte confinanti con il territorio svizzero.

Il prodotto cartografico si è concretizzato in 12 tavole alla scala 1:25.000 per un totale di 36 sezioni e in una carta d'insieme alla scala 1:75.000. A titolo esemplificativo la carta d'insieme (Tav. I) e tre tavole alla scala 1:25.000 (Tavv. II-III-IV) sono presentate sul CD allegato al presente rapporto.

L'attività dell'Azione 5 si è sviluppata su più fronti, in funzione delle diverse competenze dei soggetti partecipanti. Gli argomenti sono stati affrontati fondamentalmente dal punto di vista geologico-geomorfologico (Regione Piemonte, CNR) e dal punto di vista

geotecnico (Politecnico di Torino), tenendo anche conto delle esperienze nel campo emerse da una preventiva rassegna bibliografica ragionata che è stata estratta dalla letteratura scientifica nazionale ed internazionale.

V-2.2. Analisi storica: criteri, scheda tipo, esempi

L'approccio geologico-geomorfologico, al quale è dedicato il capitolo successivo, è stato indirizzato al riconoscimento di quei settori di versante che, per l'insieme di indizi desunti dall'osservazione di aerofotografie e da rilevamenti di terreno possono essere considerati sede di movimenti più o meno veloci. Le valutazioni sullo stato di attività hanno in diversi casi trovato conferma dalle informazioni ricavate dalla Banca Dati della Regione Piemonte e da una specifica indagine storica retrospettiva.

In Val d'Ossola, forse più che in altri settori delle Alpi Piemontesi, i fenomeni gravitativi sono chiaramente correlabili a fattori litologico-strutturali e a fattori morfologico-topografici, i primi dipendenti dalle vicende geologiche, i secondi anche dal rilevante retaggio del modellamento glaciale. Alla fragilità geologica di quest'area non va disgiunto il ruolo che può giocare la piovosità che, nei valori medi annui, è tra le più elevate dell'arco alpino centro-occidentale (da 1800 a 2400 mm/anno).

La conoscenza di quanto è avvenuto in tempi più recenti, fermo restando il ruolo predisponente e/o determinante dei fattori sopra ricordati, è resa possibile dai documenti storici. Le date di accadimento di un evento di instabilità naturale e gli effetti che ne conseguono consentono infatti proiezioni sulla ripetitività dell'evento, sull'intensità (magnitudo), sull'entità degli spostamenti, sul rischio per le attività umane, ecc.

Figura V-2. Esempio di schedatura di dato storico

REGIONE PIEMONTE	
SETTORE PREVENZIONE DEL RISCHIO GEOLOGICO, METEOROLOGICO E SISMICO	
Sistema Informativo Geologico - Processi-effetti	
INFORMAZIONI A CARATTERE GENERALE	
Riassunto	Comune di Formazza località Morasco (abitato attualmente sommerso dalle acque dell'omonimo lago artificiale): durante l'alluvione del 27/08/1834 le acque dei torrenti distrussero alcuni edifici in cima al paese, verso il fiume
Comune	Formazza
Località	Morasco
Tavoletta IGM	
Sezione CTR	
Coordinata X	
Coordinata Y	
Bacino	Lago Maggiore
Sottobacino	Fiume Toce
Data inizio periodo	27/08/1834
Data fine periodo	27/08/1834
Commento date	
Fonte d'informazione	01 Bibliografia
Titolo	Cronaca e descrizione degli principali fatti accaduti in Val formazza (1750-1923) Tratto da "Almanacco Ossolano 1997" - Grossi Editore Domodossola, pp. 222-235
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E DESCRIZIONE FENOMENO	
Unità morfologica	06 Fondovalle
Unità litologica	01 Depositi alluvionali
Attività	02 Attività fluviale e torrentizia
Tipologia	14 Piena
CAUSE ED EFFETTI	
Tipo segnalazione	02 Fenomeno verificatosi
DANNI ED INTERVENTI	
Descrizione danni	01 Edifici distrutti
Interventi	
OSSERVAZIONI	
INFORMAZIONI SULLA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA	
Autore	Alessandro Pirocchi - Domodossola
Data	06.12.1999

Essendo dunque nota l'importanza della conoscenza della storia evolutiva di un territorio a fini pianificatori e di protezione civile, è parso opportuno svolgere un'indagine retrospettiva su frane ed alluvioni presso 19 archivi locali della Val d'Ossola, ad integrazione della documentazione già in possesso del CNR-IRPI e della Regione Piemonte.

L'arco temporale indagato è di circa 200 anni, pur risultando in maggioranza le notizie del sec. XX. I dati raccolti, oltre ad integrare quanto già noto su eventi alluvionali gravosi, riferiscono di frane non conosciute, talora modeste, ma con conse-

guenze anche gravi per la vita umana, o di riattivazioni di fenomeni più estesi e noti.

Alcune delle informazioni raccolte hanno consentito di datare frane riconoscibili sulle fotografie aeree o di venire a conoscenza di episodi di notevole importanza, ma che, per la difficile interpretazione o le ridotte dimensioni, non sono stati messi in luce dall'analisi delle fotografie aeree. Viceversa, l'analisi fotointerpretativa multitemporale ha permesso l'individuazione e la datazione di modificazioni morfologiche significative non segnalate da documenti.

V-2.3. Approccio geomorfologico

Considerata la vastità dell'area da indagare e la complessità morfologica dei luoghi, il riconoscimento dei corpi instabili è stato effettuato prevalentemente attraverso analisi di riprese aerofotografiche multitemporali, accompagnata da controlli a campione sul terreno.

È noto che attraverso l'analisi di aspetti morfologici distintivi, quali rotture di pendio, depressioni, contropendenze, stato di fratturazione della roccia, campi detritici, anomalie della rete idrografica, ecc., è possibile individuare e delimitare corpi di frana e pertanto realizzare "carte-inventario". In letteratura queste carte sono generalmente costituite da documenti analitici nei quali viene fissata la situazione esistente al momento dell'osservazione e l'eventuale distinzione tipologica dei movimenti, mentre non sono solitamente fornite indicazioni di grandezze quali intensità, frequenza e quindi probabilità di occorrenza dei fenomeni stessi.

Pur riconoscendo la validità di documenti di questo tipo, peraltro indispensabili nella fase conoscitiva di un territorio, il presente lavoro si è posto l'obiettivo di aggiungere alla tradizionale carta-inventario altre informazioni, quanto meno qualitative ed orientativamente quantitative, sulle caratteristiche evolutive delle frane, espresse in termini relativi di velocità di movimento e volumi in gioco. Questo tipo di approccio è stato affrontato nella prospettiva di fornire informazioni utili ad una successiva definizione del grado di pericolosità, passaggio, quest'ultimo, rigorosamente dipendente da una sistematica attività di rilevamento di terreno.

Lo sforzo compiuto, impostato sulla falsariga di esperienze maturate in Svizzera dal Servizio Idrologico e Geologico Nazionale (Bollinger & Noverraz, 1996), è stato quello di elaborare una legenda nella quale, in particolare, fossero contenute due categorie principali di significato evolutivo e non tradizionalmente tipologico, distinte in *fenomeni istantanei rapidi* (ricorrenti od occasionali) e *fenomeni permanenti o più lenti*. Per quest'ultima categoria sono state introdotte ulteriori distinzioni sulla stima della profondità e della velocità di movimento. Per soddisfare a questa esigenza, nella fase di fotointerpretazione si sono dovute rintracciare con sistematicità quelle caratteristiche morfologiche che potevano essere messe in relazione con tali parametri, in quanto connesse alla pericolosità dei fenomeni franosi.

Nelle intenzioni degli autori si è inteso pertanto creare una legenda che, oltre a superare la classica distinzione tipologica delle frane:























- costituisse un agile e versatile strumento di lavoro

per fotointerpreti e rilevatori;

- offrisse criteri di valutazione semplici e comprensibili anche ai più svariati utilizzatori.

Per procedere correttamente è stato fondamentale aver ben chiare quali fossero le informazioni da ricercare e, allo stesso tempo, possedere la giusta chiave di lettura per poterle comprendere. Ritenendo che l'approccio morfologico, volto essenzialmente a rilevare effetti indotti sulle forme del rilievo, non può essere applicato indistintamente per ogni tipologia di frana, ma deve tenere conto di alcune caratteristiche fondamentali dei fenomeni stessi, come già sopra anticipato, sono state introdotte due categorie principali di frane:

- *frane istantanee rapide*: fenomeni occasionali o ricorrenti che prevalentemente si innescano ed esauriscono nel corso dell'evento che li ha attivati, caratterizzati da grande rapidità di movimento, significativo percorso della massa spostata, bassa instabilità residua, dislocazioni di massa generalmente di limitato volume (ad eccezione dei grandi crolli in massa e delle valanghe di roccia);
- *frane permanenti o più lente*: fenomeni con attività che si sviluppa nel tempo e nello spazio in modo permanente, esplicandosi alternativamente con cicli di attività e di inattività, con dislocazione di tutta la massa o di parte di essa e spostamenti generalmente contenuti. Le velocità di movimento non sono mai molto elevate e i volumi coinvolti possono anche raggiungere dimensioni rilevanti (milioni di mc).

LEGENDA							
		zona di provenienza	zona di transito ed accumulo		fenomeno non cartografabile	possibili scenari evolutivi	
FENOMENI ISTANTANEI RAPIDI (ricorrenti od occasionali)	1	<p>crollo o ribaltamento di elementi lapidei [V < 10³ m³ ca.]</p> 	<p>su aree diffuse</p> 	<p>incanalato</p> 		<p>Possibile distacco e rotolamento a valle di singoli elementi lapidei o di piccoli ammassi rocciosi che possono raggiungere, in funzione delle caratteristiche morfologiche del pendio, settori difficilmente individuabili</p>	
	2	<p>crollo in massa [10³ m³ < V < 10⁶ m³ ca.]</p> 					
	3	<p>valanga di roccia [V > 10⁶ m³ ca.]</p> 					
	4	<p>aree soggette ad erosione e denudamento</p> 					
	5	<p>fenomeni gravitativi rapidi dei depositi sciolti di copertura</p> 				<p>Possibile coinvolgimento di settori distanti dall'area sorgente in funzione delle caratteristiche morfologiche del pendio</p>	
FENOMENI PERMANENTI O PIÙ LENTI		<p>ESTREMAMENTE LENTO (a) [V < cm./anno ca.]</p>	<p>MOLTO LENTO (b) [cm./anno < V < cm./mese ca.]</p>	<p>LENTO e/o MOLTO LENTO SOGGETTO A FORTI ACCELERAZIONI (c) [V > cm./mese ca.]</p>			
	le velocità indicate sono da considerarsi valori medi annui a lungo termine						
	6	<p>fenomeni gravitativi profondi [D > 15 m. ca.]</p> 				<p>Possibilità di evoluzione, prevalentemente per settori localizzati e nelle zone marginali, in fenomeni di tipo rapido</p>	
	7	<p>fenomeni gravitativi di profondità moderata [3 m. < D < 15 m. ca.]</p> 					
	8	<p>fenomeni gravitativi superficiali [D < 3 m. ca.]</p> 				<p>Possibilità di evoluzione in fenomeni di tipo rapido</p>	
9	<p>rock glacier</p> 						

SEGNI CONVENZIONALI

LIMITE DELLE GEOMETRIE AREALI



CORONAMENTO E PRINCIPALI SISTEMI DI FRATTURA



TRINCEA E FRATTURA BEANTE



CIGLIO DI PARETE CHE INSISTE SUL FONDOVALLE



AMMASSO ROCCIOSO DISARTICOLATO E/O CARATTERIZZATO DA INTENSA FRATTURAZIONE



ELEMENTO LAPIDEO DI DIMENSIONI RILEVANTI



DATA DELL'EVENTO PIÙ SIGNIFICATIVO

1956

V-2.3.1 *Frane istantanee rapide (fenomeni occasionali o ricorrenti)*

TIPOLOGIA 1: *crollo o ribaltamento di elementi lapidei*

Distacco da pareti rocciose o versanti molto ripidi per scivolamento o ribaltamento e successiva saltazione e/o rotolamento, di singoli elementi, o di ammassi rocciosi di modesto volume approssimativamente non superiore al migliaio di metri cubi. Il movimento può essere occasionale od avvenire con periodica frequenza in conseguenza delle cicliche variazioni stagionali e forti escursioni termiche in alta quota.

$$V < 1000 \text{ m}^3 \quad 5 < v < 30 \text{ m/s}$$

(V= volume; v= velocità)

TIPOLOGIA 2: *crollo in massa*

Movimento prevalente per caduta più o meno libera di ammassi rocciosi con volume compreso tra il migliaio ed il milione di metri cubi. In casi eccezionali possono essere coinvolti volumi sensibilmente maggiori. Il meccanismo di mobilitazione è simile a quello del crollo di elementi lapidei.

$$1000 < V < 10^6 \text{ m}^3 \quad 10 < v < 40 \text{ m/s}$$

TIPOLOGIA 3: *valanga di roccia*

Fenomeno di grandi dimensioni caratterizzato da movimento complesso. Caratteristiche peculiari di questi fenomeni sono le velocità estremamente elevate (> 40 m/s) e la grande distanza percorsa dalla massa franata (anche di ordine chilometrico). Questi fenomeni, non rari in Val d'Ossola, possono modificare radicalmente il paesaggio, lasciando marcate cicatrici nella zona di distacco e accumuli in grado di sbarrare le valli con conseguente formazione di laghi temporanei (es.: S. Giovanni, 1951) o permanenti (es.: Antrona, 1642).

$$V > 10^6 \text{ m}^3 \quad v > 40 \text{ m/s}$$

Per queste tre tipologie di fenomeni vengono indicate e distinte l'area sorgente da quelle di transito ed accumulo.

TIPOLOGIA 4: *aree soggette ad erosione e denudamento*

Si tratta di settori di versante su cui si instaurano fenomeni di tipo erosivo, connessi tanto al dilavamento meteorico quanto al disseccamento e al crioclastismo, sui quali non attecchisce alcuna forma di vegetazione. Interessano prevalentemente depositi sciolti (poco o nulla cementati), talora rocce tenere e rocce cristalline intensamente fratturate o tettonizzate. Sono soggetti a periodici distacchi di elementi lapidei singoli o di piccole

porzioni di materiale con fenomeni di rotolamento, colamento detritico e arretramento gravitativo delle scarpate sommitali.

TIPOLOGIA 5: *fenomeni rapidi dei depositi sciolti in copertura*

In questa tipologia vengono raggruppati i fenomeni di scivolamento e colamento rapido che interessano i terreni e le coltri detritiche superficiali (*soil slip, rapid earth flow, debris avalanche, debris flow, ecc.*). Si tratta di frane strettamente dipendenti dagli eventi pluviometrici severi, generalmente caratterizzate da ridotte dimensioni areali e volumetriche che prevalentemente si innescano su pendii stabili, ma talora costituiscono un'evoluzione rapida e localizzata di movimenti di massa di maggiori dimensioni. La loro azione morfogenetica è scarsamente incisiva sull'assetto dei versanti per cui sono facilmente delimitabili sul terreno o su foto aeree quando i rilievi e le riprese non sono troppo successivi all'accadimento. Centinaia di frane superficiali interessarono la Val d'Ossola, e segnatamente la Val Vigizzo, nel corso dell'evento alluvionale del 7-8 agosto 1978. Sia pure in numero inferiore, frane di questo tipo si originarono anche in eventi alluvionali più recenti (agosto 1987 e ottobre 2000).

V-2.3.2 *Fenomeni gravitativi permanenti o più lenti*

TIPOLOGIA 6: *fenomeni gravitativi profondi*
[D>15 m ca]

TIPOLOGIA 7: *fenomeni gravitativi di profondità moderata*

$$[3\text{m} < D < 15 \text{ m}]$$

$$(D = \text{profondità})$$

Sono stati compresi in queste due categorie gli scivolamenti roto-traslativi, gli espandimenti laterali e i colamenti lenti in roccia (deformazioni gravitative profonde di versante) o detritici, vale a dire i fenomeni gravitativi, solitamente di grandi dimensioni e di profondità quantomeno plurimetrica, che esplicano la loro attività in modo permanente sia nel tempo sia nello spazio. La loro evoluzione è caratterizzata da cicli nei quali si alternano periodi di inattività (situazioni caratterizzate da assenza di movimento o da presenza di movimento estremamente lento e non apprezzabile) a periodi di attività (ripresa o accelerazione del movimento). Tali manifestazioni si sviluppano generalmente in un ambito spaziale abbastanza ben delimitabile, trasformandosi in alcuni casi ed in situazioni del tutto particolari

(collasso dell'intera massa o di parte di questa) in fenomeni franosi di altro tipo. In queste due categorie sono compresi anche tutti quei fenomeni di scivolamento di dimensioni generalmente più ridotte, che esplicano la loro attività prevalentemente nel corso dell'evento che li ha generati e sono caratterizzati da velocità di movimento variabile da lenta a rapida nella scala delle velocità di Varnes.

La caratterizzazione dei fenomeni gravitativi si attua tenendo conto della tipologia di movimento, ma soprattutto ricorrendo all'analisi dello stato di conservazione delle manifestazioni morfologiche, definibile attraverso un determinato grado di rimodellamento. Ovviamente questo tipo di analisi non è facilmente codificabile e risente molto dell'esperienza e della sensibilità dell'operatore. I concetti ed i criteri di seguito espressi non devono pertanto essere intesi come assoluti, ma piuttosto come elementi di riferimento utili per rendere la interpretazione del fenomeno meno soggettiva possibile.

L'attività delle frane permanenti è accompagnata dallo sviluppo, sulla superficie del corpo (zona di distacco e di accumulo) e nelle aree contigue, di una serie di forme caratteristiche quali scarpate, dorsali, depressioni, fenditure ed ondulazioni del terreno, ecc. che rappresentano l'espressione superficiale delle deformazioni che si realizzano per effetto del movimento.

L'analisi della tipologia e della configurazione geometrica di queste forme, unitamente alla determinazione del senso di movimento delle strutture che esse sottendono, consente di interpretare il quadro deformativo superficiale e descrivere la cinematica del corpo franoso (Giardino, 1996). Individuata la tipologia del movimento sarà necessario effettuare un'analisi del "grado di conservazione" (o di rimodellamento) degli elementi in modo da poter interpretare il fenomeno stesso.

Il grado di rimodellamento esprime "quanto" (in termini qualitativi) forme e corpi, le cui origini sono legate ad un particolare processo, risultino modificati dall'azione di processi di altro o dello stesso tipo. Il grado di rimodellamento esprime in pratica l'evidenza che gli elementi bi- e tridimensionali hanno.

Nello schema proposto di seguito per la classificazione dei processi in oggetto (movimenti roto-traslativi, complessi, di espansione laterale e di colamento lento) è stata adottata una suddivisione che tiene conto del grado di rimodellamento delle forme e quindi della velocità del fenomeno stesso.

Se le forme presentano caratteri ben evidenti, mantenendo in pratica l'aspetto originale (grado di rimodellamento da nullo a basso), è molto probabile che siano soggette a movimenti più rapidi o a forti accelerazioni (velocità di modellamento > della velocità del rimodellamento).

I fenomeni che presentano queste caratteristiche ricadono nelle tipologie 6c e 7c della *legenda*.

Se le forme risultano in parte modificate dal rimodellamento (grado di rimodellamento da basso a medio) è ragionevole ritenere che i processi gravitativi responsabili della genesi di tali forme siano "molto lenti" (velocità di modellamento \approx velocità del rimodellamento).

I fenomeni che presentano caratteristiche di questo tipo ricadono nelle tipologie 6b e 7b.

Se le forme risultano profondamente modificate dai processi di rimodellamento (grado di rimodellamento da medio ad elevato) è molto probabile che tali forme siano legate a movimenti estremamente lenti (velocità di modellamento < velocità del rimodellamento).

I fenomeni che presentano caratteristiche di questo tipo ricadono nelle tipologie 6a e 7a.

Un discorso a parte deve essere fatto per le deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV), diffuse in tutte le catene montuose, che si manifestano attraverso lenti e continui meccanismi deformativi dell'ammasso roccioso a carico di estese e profonde porzioni di versante. Le espressioni morfologiche che le contraddistinguono, messe in relazione con dati strumentali rilevati per alcuni di questi fenomeni, consentono di stabilire che questi processi deformativi avvengono, come già detto in precedenza, con movimenti estremamente lenti e continui nel tempo, generalmente non influenzabili in modo significativo dalle naturali, cicliche variazioni climatiche. Questi fenomeni ricadono nella tipologia 6a.

È doveroso precisare che le velocità indicate sono da considerarsi valori medi annui a lungo termine, ai quali riferirsi senza pretesa di assolutezza.

TIPOLOGIA 8: *fenomeni gravitativi superficiali* [D < 3m ca]

Si tratta di tutti quei fenomeni di colamento e/o scivolamento lento di masse incoerenti di terreni superficiali lungo i versanti. Si verificano quando il terreno superficiale è generalmente imbevuto d'acqua e contiene discrete quantità della frazione limoso-argillosa

in una certa proporzione minima. Sono caratterizzati dalla formazione di leggere lobature più o meno regolari e talora dalla presenza di fratture di trazione.

TIPOLOGIA 9: *rock glacier*

Nella carta delle frane della Val d'Ossola si è ritenuto opportuno riportare anche i principali *rock glacier* ("ghiacciai di pietre" o "pietraie semoventi" dei vecchi Autori italiani), vale a dire quei caratteristici corpi detritici lobiformi costituiti da blocchi angolari organizzati in rughe, solchi e lobi in superficie, diffusamente presenti nelle parti alte dei bacini (ambiente periglaciale). Le evidenti strutture di flusso sulla superficie denunciano la possibilità di movimento che i *rock glacier* hanno avuto (r.g. antichi) o possono ancora avere (r.g. attivi) per la presenza di ghiaccio di varia origine. Esulava dagli obiettivi stabilire l'attività o meno di questi corpi: tuttavia, tenuto conto del riscaldamento globale in atto che si sta traducendo nella degradazione della fascia del permafrost e nella conseguente, possibile fusione della frazione ghiacciata, è utile sapere che la velocità di movimento di questi corpi detritici, che possono essere sede di infrastrutture (tralicci, impianti sciistici, strade), può variare da pochi centimetri a pochi decimetri/anno.

Bibliografia di riferimento

AMANTI M., CASAGLI N., CATANI F., D'OREFICE M. & MOTTERAN G., (1996), *Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione*. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Servizio Geologico, Miscellanea, VII, 109 pp.

BARLA G., BARBERO M. & MORTARA G., (1998), *Previsione e prevenzione degli eventi franosi a grande rischio*. Atti MIR98 " il ruolo della meccanica e dell'ingegneria delle rocce nella protezione del territorio e dell'ambiente" (Politecnico di Torino, 25-26 novembre 1998). Patron Ed. , 91-108.

BOLLINGER D. e NOVERRAZ F., (1996), *Pilotstudie Karte der Bodenbewegungsgefahren 1:25.000 Blatt 1247 Adelboden*. Geologische Berichte Nr. 20. 40 pp. e Allegati.

CANUTI P. & CASAGLI N., (1994), *Considerazioni sulla valutazione del rischio da frana*. Estratto da "Fenomeni Franosi e Centri Abitati", Atti del Convegno di Bologna del 27 Maggio 1994, CNR-GNDCI - Regione Emilia Romagna.

CRUDEN D. M. & VARNES D. J., (1996), *Landslide types and processes*. Landslides, investigation and mitigation, Special Report 247, ed. A. C. Turner & R. L. Schuster, Transportation Research Board, National Research Council; National Academy Press, Washington, D.C.; pp. 36÷75.

GIARDINO M. (1996), *Validità e limiti del rilevamento geomorfologico di deformazioni superficiali per l'analisi cinematica di fenomeni franosi: il caso della frana di Slumgullion, Colorado (USA)*. Atti Convegno "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche, il contributo della ricerca scientifica" (Alba, 5-7 nov. 1996). Vol. I, 285-294, Pubbl. GNDCI n.1600.

GIGLIA A., PARO L. & RAMASCO M., (2001), Progetto IFFI: determinazione dello stato di attività dei fenomeni gravitativi nelle schede di I livello. Non pubblicato.

REGIONE PIEMONTE & UNIVERSITE J. FOURIER GRENOBLE, (1996), *Rischi generati da grandi movimenti franosi*. Programma INTERREG I Italia-Francia, 207 pp.

VARNES D.J., (1978), *Slope movements types and processes*. In Schuster R.L. & Krizek R.J. eds. Landslides, analysis and controll. Transp. Res. Board Special Report n. 176, Nat. Acad. Sc., 11-33.

V-2.3.3 Considerazioni conclusive

L'applicazione sperimentale della legenda qui proposta ha consentito di inserire nella carta dei movimenti gravitativi della Val d'Ossola nuove informazioni che hanno dimostrato di poter aver significato nella valutazione della pericolosità dei singoli fenomeni. Informazioni che non possono ovviamente assumere il peso ed il significato di dati forniti da indagini geognostiche, ma che tuttavia possono fornire elementi di valutazione propedeutici ad eventuali successivi progetti di indagine in occasione di pianificazione territoriale e/o di realizzazione di opere.

Un riscontro sull'applicabilità dei criteri sui quali si fonda la legenda si è avuto in occasione dell'evento alluvionale dell'ottobre 2000 che in Val d'Ossola ha riattivato alcuni movimenti gravitativi (Montescheno, Ceppo Morelli, Trasquera) con modalità fondamentalmente coerenti con le previsioni prospettate.

La possibilità sperimentata di integrare ancora i risultati della fotointerpretazione con nuovi dati ed informazioni di tipo diverso (tratti dalla letteratura, dall'analisi storica, acquisiti durante sopralluoghi o forniti da indagini strumentali) consentirà, in ogni momento, l'aggiornamento e l'affinamento della carta per la quale il dato da fotointerpretazione assumerà sempre più il ruolo di dato-base di riferimento.

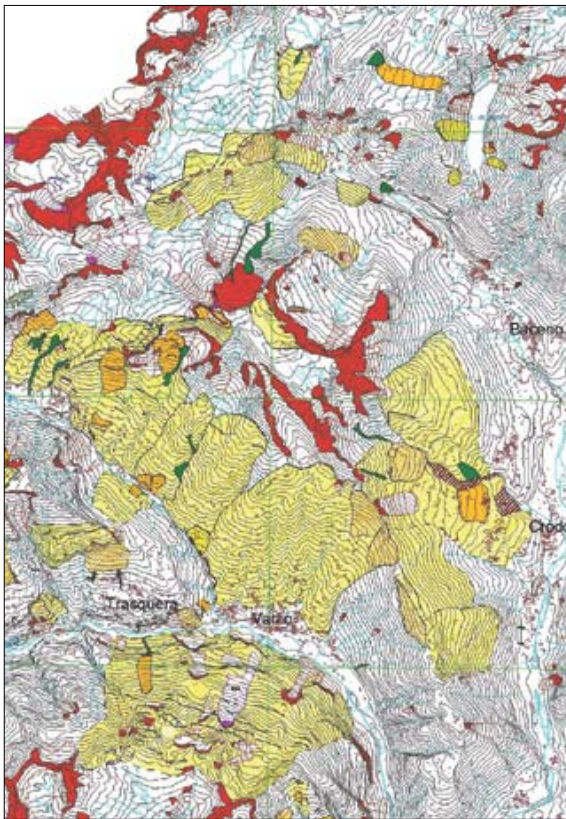


Figura V-4. Estratto della carta inventario delle frane alla scala 1:75.000

V-2.4. Casi di studio

Il lavoro è proseguito con l'individuazione di alcuni fenomeni di instabilità di particolare significato per i quali, in caso di rapida evoluzione, si presume possano avere interferenza con fondivalle antropizzati, impianti idroelettrici, direttrici stradali o ferroviarie, ecc. Per i casi considerati, scelti anche in funzione della relativa semplicità delle geometrie, sono stati ipotizzati possibili scenari evolutivi. Le ipotesi si basano su valutazioni forzatamente soggettive che, tuttavia, derivano dall'esperienza acquisita anche in questo lavoro, il quale ha dato modo di osservare l'amplessima variabilità delle situazioni di instabilità e delle modalità di evoluzione. Si precisa che gli scenari evolutivi sono stati delineati esclusivamente su criteri geomorfologici e pertanto hanno significato del tutto orientativo, in totale mancanza di dati strumentali sulle velocità dei movimenti e di indagini geognostiche in profondità.

I casi esaminati rappresentano soltanto alcuni esempi di situazioni abbastanza note e descrivibili con modelli geologici relativamente semplici. Ciò nonostante la definizione di attendibili scena-

ri evolutivi e l'individuazione di precisi limiti di espansione dei materiali in caso di collasso presenta molti margini di incertezza. La definizione di scenari evolutivi realistici per fenomenologie di questo tipo deve quindi essere fatta in modo approfondito, integrando studi e conoscenze pluridisciplinari, caso per caso, ogni qualvolta se ne presenti la necessità e considerando sempre che questi fenomeni oltre a produrre effetti diretti e immediati, possono anche indurre effetti e indiretti successivi all'evento principale altrettanto gravi e distrosi come nel caso della frana di San Giovanni.

Il caso di Ceppo Morelli, illustrato più avanti, pur utilizzando i criteri sopra esposti, non è scevro dei limiti imposti dalla situazione di emergenza venutasi a creare durante l'evento alluvionale dell'ottobre 2000.

A titolo di esempio si riporta il caso di S. Giovanni, episodio ancora ben vivo nella memoria dei locali per le conseguenze catastrofiche e fenomeno tutt'altro che stabilizzato.

V-2.4.1. La valanga di roccia di S. Giovanni

Uno dei più imponenti movimenti gravitativi nella storia recente della Val d'Ossola è indubbiamente quello noto come "frana di S. Giovanni" in comune di Crevoladossola, all'imbocco della Valle Diveria in area di affioramento di gneiss occhiadini. Il giorno 12 novembre 1951, dal versante sinistro del tributario Rio di Burra (o Rido), in prossimità dell'Alpe Marghino, al margine SE di un'area interessata da deformazione gravitativa e in un settore già sede di antichi movimenti ed in cui, prima dell'evento, erano state osservate "larghe e profonde crepe" (Zoppetti, 1952), si innescò una disastrosa valanga di roccia con iniziale meccanismo di scivolamento planare su superficie di scistosità in parte già esposta. La massa rocciosa coinvolta, valutata in circa 1 milione di m³, si incanalò nel sottostante vallone, sbarrando il corso del T. Burra, proseguì quindi la sua corsa sino all'inserzione con il fondovalle del T. Diveria, distruggendo alcune abitazioni della frazione S. Giovanni (4 vittime) e interrompendo la ferrovia e la strada statale del Sempione.

Marginalmente alla zona di distacco comparvero "numerose e vaste screpolature della roccia" (Zoppetti, 1959), ma fu la presenza dello sbarramento detritico all'interno del bacino del Rio di Burra a creare, sette anni più tardi, i presupposti per un'ulteriore, imprevista evoluzione dell'area coinvolta dalla frana del 1951. Il 19-20 agosto 1958 piogge particolarmente intense contribuirono a far

Figura V-5. Veduta d'insieme della frana di S. Giovanni un anno dopo la caduta, avvenuta il 12 novembre 1951 (Aerofotografia IGM, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 51, 9-2-1999)



colmare rapidamente l'invaso a monte della sbarramento che, per fenomeni erosivi, cedette dando origine ad una colossale colata detritica la quale, a sua volta, bloccò il deflusso del T. Diveria in piena impetuosa. Il sormonto e l'erosione di questo sbarramento di neoformazione sul fondovalle principale provocò la distruzione di alcune case con la morte di 13 persone e fu causa di gravissimi danni.

V-2.4.1.1 *La situazione attuale e la possibile evoluzione dell'area*

A distanza di cinquant'anni, l'area coinvolta dalla frana del 1951 è ancora perfettamente riconoscibile in corrispondenza dell'area di distacco e di scivolamento, mentre l'accumulo, rimodellato dall'episodio del 1958, è ampiamente colonizzato da vegetazione arborea. L'evento del 1951 ha conferito al versante una situazione di instabilità diffusa, apprezzabile soprattutto lungo tutta la scarpata rocciosa che delimita nettamente il fianco destro della frana. In questo settore il gioco di intersezione tra famiglie di giunti di frattura favorisce l'isolamento di setti rocciosi di dimensioni anche decametriche, suscettibili di ribaltamento e crollo in direzione grosso modo SW-NE con scarse possibilità di lunghe percorrenze per la accentuata rugosità

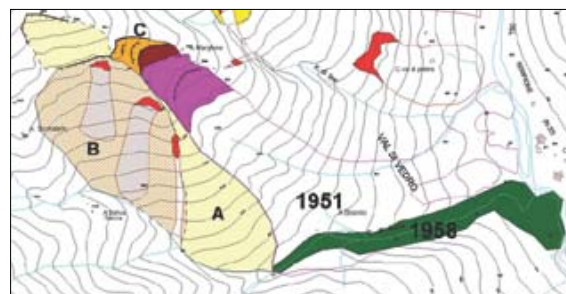


Figura V-6. Estratto della carta inventario delle frane

dell'alveo della frana del 1951, tappezzato da blocchi rocciosi di grandi dimensioni.

Sempre sulla parte destra, distacchi e scivolamenti di bancate rocciose nel settore più direttamente prospiciente l'incisione torrentizia (laddove era avvenuto lo sbarramento del 1951), potrebbe essere contenute nell'incisione stessa, per volumi dell'ordine delle migliaia di metri cubi. Uno sguardo più allargato della situazione attuale del versante sinistro del vallone del Rio di Burra evidenzia un settore triangolare (A), fittamente boscato, interposto tra un settore in deformazione con substrato roccioso totalmente disarticolato (B) ed il fianco destro della frana di S. Giovanni. Non si può escludere che anche questo settore di versante, su cui insistono alcuni alpeggi, diventi suscettibile di futuri movimenti.

Nella prefigurazione di un ipotetico scenario di collasso di questo settore si è tenuto conto di alcuni aspetti morfologici (collocazione topografica dell'ammasso roccioso A; direzione di scivolamento tendenzialmente verso S, quindi circa normale all'asse del T. Burra; modesta energia del rilievo rispetto; rugosità del percorso lungo l'incisione del Rio di Burra): si potrebbe ipotizzare lo sbarramento del Rio di Burra per altezze presumibilmente pluridecametriche, data la ristrettezza della valle in cui scorre. Più a valle, per le considerazioni sopra esposte, la velocità di traslazione dovrebbe ridursi e di conseguenza anche l'elongazione dell'accumulo. Tuttavia non è da escludere la fuoruscita di materiali dal bacino, e, quindi, il possibile coinvolgimento della ferrovia del Sempione che corre addossata al piede del versante destro della Valle Diveria in prossimità del nodo di confluenza.

È tuttavia il settore di versante (C) immediatamente a monte della nicchia di distacco della frana del 1951 a focalizzare su di sé l'attenzione per uno scenario evolutivo di maggior gravità. Questo settore presenta evidenti segni di instabilità per la forte

disarticolazione dell'ammasso roccioso (già segnalata da Zopetti e ben riconoscibile sulla foto aerea del 1952). Nel caso di un coinvolgimento in massa di questa porzione di versante di volume confrontabile quello della frana 1951 e ipotizzabili analoghi

meccanismi evolutivi, tenuto conto della maggior energia del rilievo rispetto alla situazione del 1951, non si può escludere che la frana potrebbe raggiungere nuovamente il fondovalle principale, riproponendo verosimilmente gli effetti avutisi nel 1951.

Bibliografia

ZOPPETTI L., (1952), *La frana che interruppe il Sempione*. L'Universo, XXXII (3), 345-351.

ZOPPETTI L., (1959), *L'Ossola e le sue frane. La frana di S. Giovanni nel 1958*. L'Universo, XXXIX (3), 601-610.

V-3. LA VALUTAZIONE DEI PERICOLI NATURALI IN TICINO

V-3.1. Premessa

In Svizzera, dove sembra che le zone esposte a pericoli naturali occupino tra il 6% e l'8% del territorio, si è giunti alla conclusione che, in linea di principio, l'uso del suolo debba adattarsi alle condizioni ambientali e che le misure di protezione si giustificano solo dove si ha già un'occupazione del territorio tale da richiederne una tutela, oppure dove un cambiamento di destinazione è assolutamente indispensabile. In tutti gli altri casi sono invece previste esclusivamente delle misure pianificatorie.

V-3.2. Nozione di pericolo

- Pericolo elevato - Zona rossa: zona di divieto. Persone in pericolo di vita sia all'interno sia all'esterno delle costruzioni. Probabile distruzione delle costruzioni.
- Pericolo medio - Zona blu: zona di regolamentazione. Persone in pericolo al di fuori delle costruzioni, ma poco o per nulla al loro interno. Danni principali alle costruzioni.
- Pericolo basso - Zona gialla: zona di sensibilizzazione. Danno debole o inesistente per le persone. Danni lievi alle costruzioni.
- Pericolo residuo - Zona gialla tratteggiata: ancora zona di sensibilizzazione. Danni con una probabilità di evenienza molto remota ma con forte intensità.

V-3.3. Basi tecniche

Gli uffici federali della pianificazione, dell'economia delle acque e dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio, hanno formulato delle raccomandazioni sull'identificazione dei pericoli, sulla loro valutazione e sulle misure di protezione.

V-3.3.1. Valutazione della pericolosità

A livello nazionale, la pericolosità è definita attraverso una valutazione combinata di frequenza e intensità:

1 FREQUENZA:

- Alta (periodo di ritorno: 30 anni)
- Media (periodo di ritorno: 30 - 100 anni)
- Bassa (periodo di ritorno: 100 - 300 anni)

Il periodo di ritorno (T) integrato con la probabilità di accadimento (p) di un evento:

$$(1) p = 1 - (1 - 1/T)^n$$

permette di stabilire la probabilità che nell'arco di vita di un'opera (n) questa sia interessata da un evento con un periodo di ritorno assegnato (es. piena centenaria)

- Alta (100 ÷ 82 %)
- Media (82 ÷ 40 %)
- Bassa (40 ÷ 15 %)

2 INTENSITÀ:

è misurata attraverso una grandezza fisica. In particolare per la caduta di pietre o blocchi si utilizza l'energia cinetica (E) espressa in kJ.

- Alta E > 300 kJ
- Media E > 30 kJ

- Bassa $E < 30 \text{ kJ}$

Per le valanghe di roccia si utilizza la pressione (P) misurata in kPa:

- Alta $P > 30 \text{ kPa}$
- Media $P > 3 \text{ kPa}$
- Bassa $P < 3 \text{ kPa}$

Al momento non si è invece ancora riusciti a stabilire una scala di pericolosità per gli scivolamenti profondi.

I processi causa dei pericoli idrogeologici possono essere suddivisi in:

- 1 Periodici (alluvioni, valanghe, flussi di detrito, ecc.), per cui la nozione di periodo di ritorno si adatta molto bene.
- 2 Continui (deformazioni gravitative e scivolamenti profondi), ove la nozione di periodo di ritorno è sostituita con il fattore di sicurezza del versante.
- 3 Sporadici (crolli di roccia e caduta sassi), si applica una valutazione probabilistica della stabilità.

In termini molto schematici la nozione di pericolosità di crolli di roccia può essere rappresentata dal seguente diagramma (figura V-7).

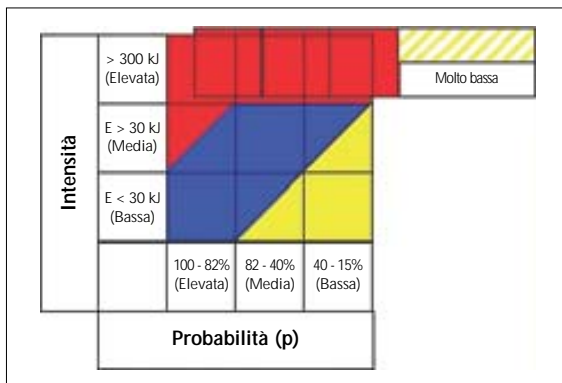


Figura V-7. Valutazione della pericolosità di un'area in funzione dell'intensità di un evento e della sua probabilità di accadimento. I tre campi in cui è suddiviso il diagramma (rosso, blu e giallo) corrispondono, rispettivamente, a un grado di pericolo alto, medio e basso. Il giallo rigato corrisponde al pericolo residuo che deriva da eventi caratterizzati da elevate intensità ma con una probabilità di accadimento molto bassa

V-3.4. Gestione

Il Cantone Ticino, a seguito dei danni subiti (1978 e 1987), ha affrontato il problema dei pericoli in anticipo sugli altri Cantoni e sulla Confederazione, dotandosi di una Legge specifica per il trattamento dei pericoli naturali, che prevede i seguenti passi:

- 1 accertamento dei territori esposti a pericolo con una procedura pubblica ("catasto"), realizzazione di una carta dei territori esposti a pericolo fondata su realizzazione di una carta geomorfologica:
 - presentazione alla popolazione;
 - esame dei ricorsi e decisione;
 - riedizione della carta;
 - iscrizione a registro fondiario della menzione di diritto pubblico (territorio esposto a pericoli naturali).
- 2 Piano per la realizzazione degli interventi di prevenzione: Piano cantonale di premunizione e risanamento (PCPR).
- 3 Realizzazione degli interventi.

V-3.4.1. Gli interventi

La seconda tappa per la gestione dei territori a rischio è data dalla preparazione di un piano di intervento che, in accordo col piano finanziario, permetta una programmazione delle opere. L'Autorità politica ha fissato dei particolari criteri di intervento secondo delle priorità, 0 massima 3 minima.

V-3.4.2. Uso del suolo

Per quanto riguarda l'uso del suolo toccato dall'instabilità dei versanti, si sono scelti i seguenti indirizzi:

- territorio non insediato: in linea di principio, dovrebbe essere lasciato allo stato naturale, qualora altri interessi spingano verso un altro tipo di uso, la carta dei pericoli costituisce comunque un punto di partenza per l'analisi costi benefici;
- territorio già insediato: la gestione è fatta secondo i criteri presentati nella tabella V-1:

	Pericolo		
	Alto	Medio	Basso
Attività di incidenza territoriale	Alto	Medio	Basso
Nuove zone edificabili	no	no (o)	si (p)
Nuovi edifici	no	no (o)	si (p)
Nuove costruzioni	no (m)	si (o)	si (p)
Cambiamenti di destinazione	no (n)	si (o)	si (p)
Modifiche senza cambiamento destinazione			
Manutenzione	si (n)	si (n)	si (p)
Costruzione accessi e posteggi	si	si (p)	si (p)

Tabella V-1. Uso del suolo in territorio già insediato

- (m) ubicazione vincolata (+ p)
- (n) non deve esservi un sostanziale aumento di persone soggette a pericolo (+p)
- (o) indice di sfruttamento inferiore a 0.2 (+ p)
- (p) misure costruttive di protezione diretta organizzazione di un sistema di allarme

A conclusione di questa seppur sintetica presentazione degli approcci seguiti in Svizzera per affrontare il tema dei pericoli naturali, si vuol sottolineare la necessità di un progresso tecnico che dovrebbe toccare in particolare i seguenti settori:

- il rilievo geomorfologico
- le tecniche di misura
- la modellistica (con le sue implicazioni sia fisiche sia numeriche)
- la progettazione delle opere di difesa.

V-3.5. Archiviazione delle informazioni

Già dagli anni '70 si è provveduto alla realizzazio-

ne di schede, al cui interno sono indicati i processi e le formazioni geologiche interessate (figura V-8).

Nel 1991, al momento dell'entrata in vigore della Legge sui territori esposti a pericoli naturali, si è ampliata la Banca Dati delle caratteristiche fisiche del Cantone realizzando anche un progetto "pericoli naturali" in grado di assicurare:

- una notevole facilità di aggiornamento
- il disegno informatizzato
- la possibilità di correlare e rappresentare graficamente più informazioni.

Attualmente tutte le informazioni riguardanti il Cantone si stanno trasferendo su un GIS che dovrebbe contenere linee, superfici e schede: un esempio tratto da questo GIS si trova nel CD Rom allegato che contiene la carta della distribuzione dei dissesti che interessano i versanti in roccia nel Bacino della Maggia, oggetto del presente Programma INTERREG.

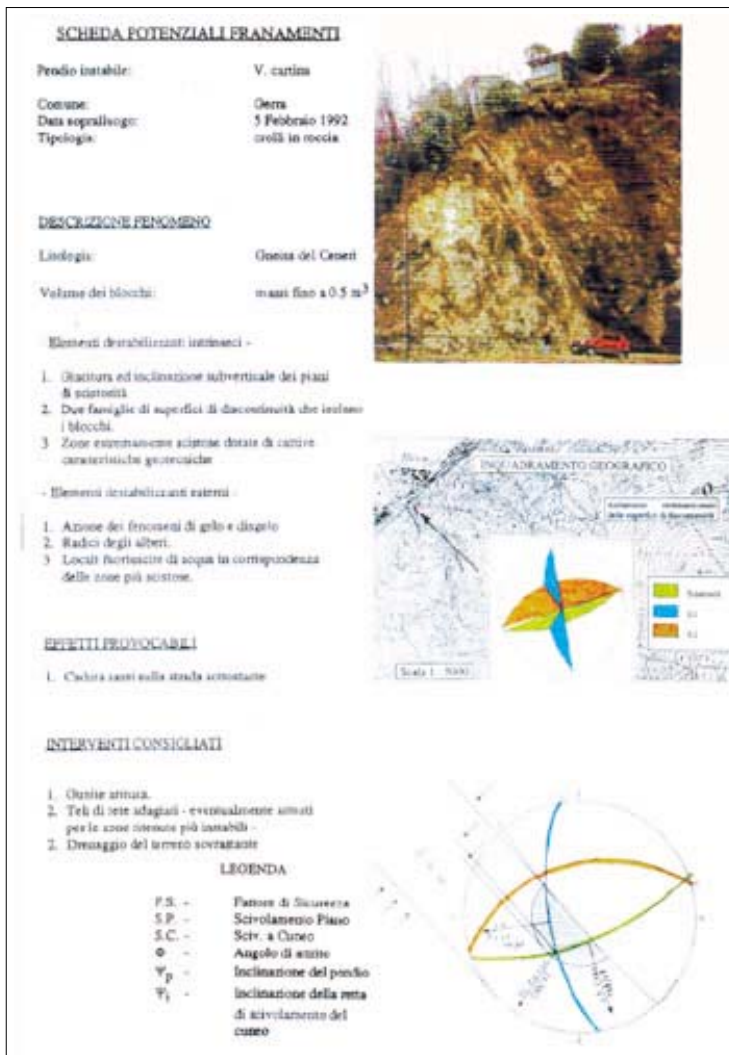


Figura V-8. Esempio di scheda per il censimento degli eventi franosi

V-4. DUE TIPOLOGIE DI INSTABILITÀ DEI VERSANTI

V-4.1. I grandi movimenti di massa

Con il termine "Grandi Movimenti di Massa" si intendono essenzialmente quei fenomeni che coinvolgono porzioni di ammasso di volume superiore al milione di metri cubi.

Simili volumetrie pongono, dal punto di vista della stabilità, una serie di problemi aggiuntivi rispetto ai pendii di dimensioni più ridotte:

- la determinazione dell'estensione della zona potenzialmente instabile;
- l'individuazione delle cause del dissesto (tettonica, azione dei ghiacciai);
- la definizione dei parametri meccanici dell'ammasso roccioso costituente il versante (effetto di scala).

In ragione di tali problemi, lo studio di tali fenomeni richiede l'utilizzo di una serie di approcci (geologico, geotecnico, idrogeologico...) che devono integrarsi tra loro.

Nel presente capitolo vengono riportate un'analisi statistica relativa all'influenza dei parametri geometrici e meccanici sull'insorgere di grandi movimenti di massa, e una metodologia multidisciplinare di studio degli stessi. Vengono inoltre ripor-

tati lo studio del caso di Ceppo Morelli, nel bacino del Toce, svolto in condizioni di emergenza legata all'alluvione dell'ottobre 2000 e lo studio del caso di Campo Valle Maggia, nel bacino del Maggia.

V-4.1.1. Analisi statistica

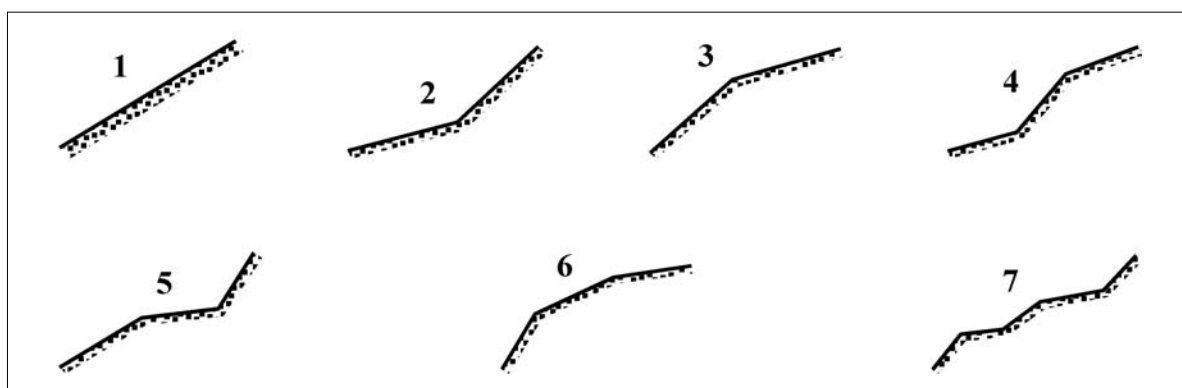
Ai fini di individuare i principali fattori geometrici e litologici predisponenti l'insorgenza di grandi movimenti di massa sono stati analizzati 152 casi segnalati dal Settore Studi e Ricerche Geologiche della Regione Piemonte.

Sono stati elaborati statisticamente i seguenti parametri: litotipo, configurazione a franapoggio o a reggipoggio, angolo tra la scistosità ed il pendio, dislivello, pendenza media ciglio-valle, tipo di configurazione ciglio-valle (figura V-9), angolo tra la valle glaciale ed il pendio.

I risultati ottenuti mostrano che:

- 1 per i calcescisti e gli gneiss minuti la configurazione a franapoggio è predisponente;
- 2 per i calcescisti possono presentarsi le configurazioni ciglio-valle 1, 2, e 3, con dislivelli compresi tra 800 e 1000 m;
- 3 per gli gneiss minuti sono possibili solo le configurazioni ciglio-valle 1 e 2, con dislivelli compresi tra 600 e 800 m.

Figura V-9. Configurazioni ciglio-valle considerate per le analisi



V-4.1.2. Metodologia di analisi di un grande movimento di massa

Lo studio di un grande movimento di massa deve comportare una serie di approcci tra di essi interagenti e deve condurre alla valutazione del rischio per le aree minacciate.

La metodologia proposta si compone dei seguenti punti:

- 1 analisi storica, modello geologico e fotointerpretazione, per la determinazione della zona potenzialmente instabile;
- 2 modello idrogeologico, per la determinazione della circolazione d'acqua nel versante;
- 3 modello geometrico, cinematico e geomeccanico, sulla base di indagini in superficie per l'individuazione dei sistemi di discontinuità e

dell'estensione della zona in movimento, e di indagini in profondità per il campionamento di materiale da sottoporre a prove di laboratorio e l'individuazione dello stato dell'ammasso roccioso e della superficie di scivolamento;

- 4 modello di calcolo dell'innescò dell'instabilità, analitico e/o numerico;
- 5 modello di calcolo evolutivo della massa instabile per la determinazione dell'intensità del fenomeno e delle zone di invasione;
- 6 inventario dei beni presenti nelle zone di invasione;
- 7 grado di vulnerabilità dei beni di cui al punto 6;
- 8 definizione del rischio;
- 9 opere di mitigazione del rischio



Figura V-10. Vista d'insieme del versante in frana

V-4.1.3. Il caso di Ceppo Morelli

La metodologia brevemente sintetizzata nel paragrafo precedente è stata applicata al caso di Ceppo Morelli, ubicato in Valle Anzasca nella zona nord-orientale del Piemonte.

Il fenomeno franoso si colloca nell'ambito più generale dell'instabilità, in atto da tempi remoti, dell'intero versante del Monte Rupio (figura V-10) ed ha assunto carattere di emergenza in seguito all'evento alluvionale dell'ottobre 2000.

Esso potrebbe coinvolgere nella sua evoluzione globale gli abitati di Campioli e Prequarera, evacuati in seguito all'alluvione, e la strada statale SS 549 per Macugnaga, già interessati in passato e nell'ottobre 2000 da fenomeni di caduta massi (figura V-12).

In relazione al carattere di emergenza dello studio, che ha mirato a fornire indicazioni per la gestione del rischio, la metodologia è stata applicata in parte, privilegiando la stima dei volumi coinvolti e delle aree di possibile invasione.

L'ammasso roccioso è costituito in massima parte di gneiss ed è formato da un insieme disarticolato di massi di grosse dimensioni. La fotointerpretazione ha permesso (figura V-12) di individuare un'area potenzialmente instabile di 150.000 m² su un dislivello di 600 m.

Il rilievo geostrutturale di superficie ha permesso l'individuazione di 5 sistemi di discontinuità, la giacitura dei quali è riportata in Figura.

Facendo riferimento alla figura, si individua la possibilità di scivolamento della massa disarticolata sul piano 2, passante per il piede della zona potenzialmente instabile. Tale massa è contrastata in parte nel suo movimento dalla parete rocciosa situata alla sua destra e coincidente con la direzione del piano 3. Sulla base di tale ipotesi è stato stimato un volume instabile di circa 5 milioni di m³.

Figura V-11. Foto d'archivio in cui è rappresentato un masso distaccatosi nell'ottobre 1971

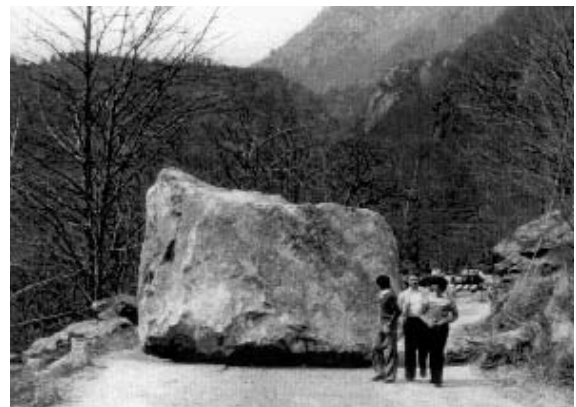
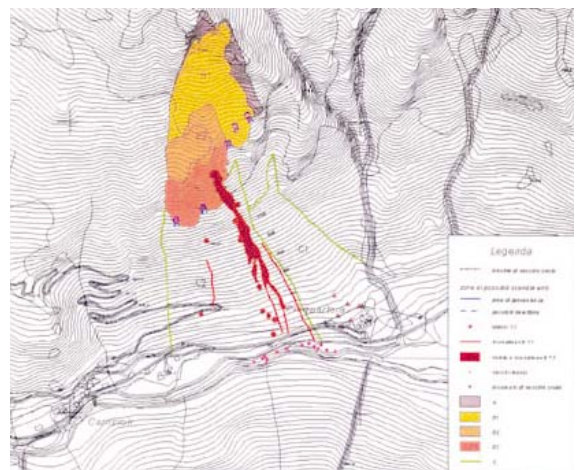
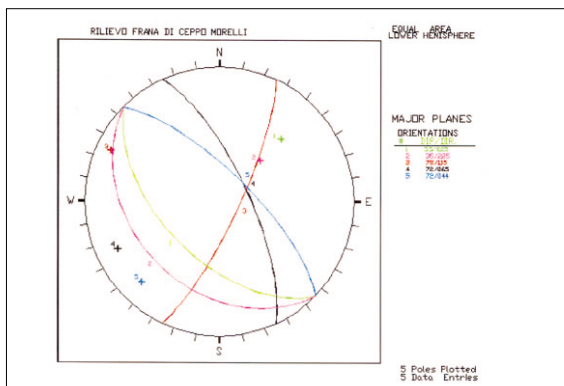


Figura V-12. Carta di supporto alla caratterizzazione degli elementi morfostrutturali del corpo di frana



Mancando gli elementi necessari alla definizione della probabilità di innesco (assenza di modello idrogeologico e di indagini in profondità), ai fini di fornire una risposta preliminare, ci si è limitati a valutare l'evoluzione a valle della massa di roccia qualora essa si destabilizzi.

Figura V-13. Rappresentazione dei principali piani di discontinuità evidenziati presso il sito in studio (giacitura rappresentativa del fronte: direzione di immersione 180°, inclinazione 50°)



A tale scopo si è fatto riferimento al metodo degli Automi Cellulari, applicato comunemente a modellazioni fisiche (Deangeli, 1997; Deangeli & Giani, 1998) e a casi reali di *debris flow* (Deangeli & Grasso, 1996). I risultati della modellazione sono riportati in figura V-14¹.

Dalla figura emerge quanto segue:

- la Frazione di Prequartera risulta essere interamente coinvolta nel fenomeno;

1)Le analisi numeriche sono state effettuate da M. Ferrero e C. Deangeli del Dipartimento di Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino.

Bibliografia

AA. VV., (2000), *Frana di Prequartera - Comune di Ceppo Morelli, Gruppo interdisciplinare per lo studio del movimento franoso e la valutazione delle potenziali fasi evolutive*. Rapporto Confidenziale: Regione Piemonte, Torino.

DEANGELI C. & GRASSO N., (1996), The Evolutive mechanism of debris flow: analysis and protection works. In *Proc. 7th Int. Symposium on Landslides*, Trondheim, Balkema: 2, 1183-1188.

DEANGELI C., (1997), *Metodologia di studio delle colate rapide: modelli fisici matematici e numerici*. Tesi di Dottorato - Politecnico di Torino, Dipartimento di Georisorse e Territorio.

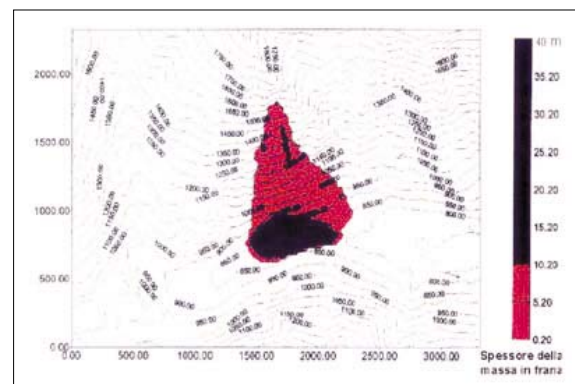
DEANGELI C. & GIANI G.P., (1998), *Analisi dei meccanismi di innesco e di propagazione di colamenti di detrito: modelli fisici e numerici*. Atti MIR98 " il ruolo della meccanica e dell'ingegneria delle rocce nella protezione del territorio e dell'ambiente" (Politecnico di Torino, 25-26 novembre 1998). Patron Ed., 237-252.

- l'abitato di Campioli risulta parzialmente coinvolto;
- un tratto significativo della Strada Statale 549 viene investito;
- un tratto dell'alveo del Torrente Anza è occluso dall'accumulo detritico.

Occorre però evidenziare come tali risultati debbano considerarsi preliminari, in relazione ad una serie di limitazioni legate all'esigua quantità di tempo disponibile per lo studio. In particolare:

- i dati di ingresso del modello sono limitati e da integrare;
- è necessario effettuare diverse simulazioni numeriche, in modo da valutare parametricamente l'influenza dei parametri in gioco.

Figura V-14. Area d'invasione del movimento franoso, nell'ipotesi di un collasso generale dell'intera area instabile



Sulla base dei risultati esposti si è provveduto a:

- mantenere evacuati gli abitati di Prequartera e Campioli;
- costruire una nuova strada sulla sponda opposta al movimento franoso.
- progettare una galleria sul lato sinistro della valle, che permetta di evitare la zona pericolosa.

V-4.2. La stabilizzazione dello scivolamento di Campo Vallemaggia

V-4.2.1. Introduzione

Lo scivolamento più importante presente nel Cantone Ticino è sicuramente quello nella zona di Campo Vallemaggia, alla cui base scorre un piccolo affluente del fiume Maggia, il Rovana. Lo scivolamento, che interessa un volume totale di circa 400 milioni di metri cubi, ha un fronte di 1200 m, uno spessore di 170 m ed un'estensione di 2 km.

Le conseguenze dello scivolamento sono:

- pericolo latente per il paese di Campo Vallemaggia ed i suoi abitanti;
- pericolo di sbarramento della valle e conseguente minaccia del fondovalle (possibile formazione di un lago).

Sono stati quindi eseguiti:

- studio del problema
- determinazione cause instabilità
- proposta di soluzioni idonee per la stabilizzazione.

V-4.2.2. Piano delle ricerche

- 1897 Prime ricerche (Prof. Albert Heim)
- 1927 Misure geodetiche
- 1962-63 Due sondaggi carotati di 200 m
- 1986-88 Profili sismici a riflessione
- 1986 Profili elettrici
- 1986 Rilievo geologico
- 1987 Tre sondaggi a distruzione di nucleo e posa d'inclinometri
- 1988 Installazione sistema di monitoraggio continuo (STAU)
- 1989 Due sondaggi all'altezza del Rovana
- 1990-91 Nove profili sismici a riflessione
Un profilo sismico a riflessione
Tre perforazioni profonde carotate e posa d'inclinometri, piezometri e celle a pressione.

V-4.2.3. Geologia

I sondaggi geognostici hanno permesso di rilevare quanto segue:

- strato superiore (30 ÷ 130 m), di roccia alterata ove però si riconoscono gli andamenti strutturali e litologici;
- strato intermedio (ca. 80 m), di roccia dislocata con permeabilità pari a $10^5 \div 10^6$ m/s, sede principale della circolazione idrica;

- strato di base, di gneiss leucocratici intercalati da sottili strati di micascisto a granato, staurolite e distene ($25^\circ \div 30^\circ$ d'inclinazione), impermeabile.

L'andamento strutturale permette quindi di spiegare l'origine dello scivolamento: gli strati, sul fianco sinistro della valle, sono a franapoggio e perciò una situazione poco favorevole per la stabilità.

V-4.2.4. Idrologia e circolazione idrica

V-4.2.4.1. Precipitazioni

L'analisi dei dati storici delle precipitazioni (1931 ÷ 1986) ha permesso di determinare:

- media annua: 1861 mm (100%)
- minimo: 1255 mm (70%)
- massimo: 3002 mm (171%)
- ottobre - marzo: 1/3 delle precipitazioni
- aprile - settembre: 2/3 delle precipitazioni

Per quanto riguarda il deflusso del fiume Rovana questo può essere classificato come nivale:

- massimo da maggio a giugno
- minimo a febbraio

V-4.2.4.2. Idrologia superficiale

Per quanto riguarda l'analisi dei dati storici della portata del Rovana (misure prof. Gygax) si ha

- Portata media: 4 m³/s
- Portata massima: 93 m³/s (22.08.1954)

V-4.2.4.3. Idrologia sotterranea

- Circolazione idrica ridotta
- Presenza di acqua sotterranea in pressione (10 l/s e 3.5 atm.)

V-4.2.4.4. Analisi di stabilità

Il problema dell'analisi di stabilità è stato affrontato applicando i metodi dell'equilibrio limite (Morgenstern, Fellenius e Bishop). I risultati ottenuti evidenziano come la causa principale di questo dissesto sia l'acqua in pressione.

V-4.2.5. Stabilizzazione dello scivolamento

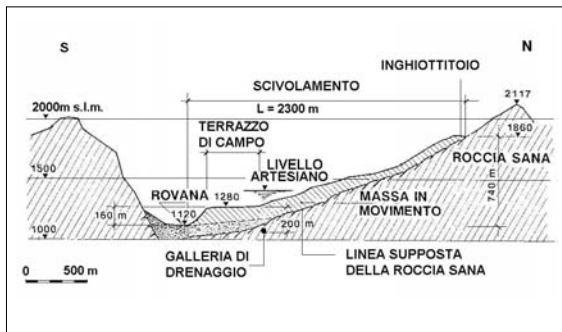
Essendo la causa principale del dissesto l'acqua in pressione si è provveduto alla realizzazione di:

- una galleria di drenaggio; il cui tracciato, nella roccia sana, è stato realizzato imponendo una copertura minima di 35 m. La lunghezza è di

1810 m e la sezione è di 10,5 m².

- Perforazioni di drenaggio: data la presenza di forti pressioni sono stati realizzati, ogni 100 m di galleria, 374 m di dreni subverticali. Per controllare l'evoluzione delle pressioni si sono eseguiti piezometri attrezzati con manometri e si è posizionata una cella di pressione all'interno di un sondaggio (CVM6).

Figura V-15. Sezione attraverso la frana di Campo Vallemaggia e posizione della galleria di drenaggio



V-4.2.6. Modello cinematico

Grazie alle ultime ricerche sulla geologia e l'idrologia della frana è stato possibile, attraverso la teoria di Vuillet & Hutter (1988), spiegarne l'evoluzione del movimento. Infatti, per movimenti lenti di versante si ipotizza una parte superiore rigida che scivola su un piano fisso, dove i due strati sono separati da un terzo strato detto di transizione, che si deforma nello scivolamento (materiale a comportamento viscoso).

V-4.2.7. Misure di controllo (2000-2001)

PIANO DI MONITORAGGIO

Per quanto riguarda la galleria di drenaggio si eseguono:

- misure manuali della portata delle perforazioni di drenaggio (mensilmente)
- misure manuali delle pressioni sui paramenti della galleria (mensilmente).

Il monitoraggio del corpo di frana prevede:

- misure automatiche in tempo reale degli sposta-

menti della stazione automatica STAU

- raccolta dei dati pluviometrici
- misure geodetiche di precisione una volta all'anno
- livellazioni lungo la strada con frequenza trimestrale
- misura delle portate delle sorgenti
- misure delle pressioni nel cunicolo
- misure della cellula a pressione installata nel sondaggio CVM6 (mensilmente).

PLUVIOMETRIA

Il regime pluviometrico del periodo 2000 - 2001, si situa nell'ambito dei valori pluriannuali tranne che per i mesi di settembre, ottobre e novembre 2000 dove, questi sono stati superati nella misura del 270 ÷ 320 % (periodo di ritorno T = 50 anni).

Parallelamente a queste precipitazioni si è avuto un incremento pressoché istantaneo, 0.75 ÷ 0.9 l/s, (progressiva 1250 e 1290 m). A metà dicembre però, questo incremento era pari a metà di quello iniziale. Il deflusso risulta quindi essere di natura principalmente subsuperficiale ("ipodermico").

DEFORMAZIONI DEL CORPO FRANA

Il cambiamento di direzione del moto (SW), conseguente all'entrata in funzione del cunicolo di drenaggio, ha reso inutile la stazione di rilevamento automatica (STAU).

MISURE GEODETICHE

Il confronto tra gli spostamenti del 2000 - 2001 e quelli del 1999 - 2000 confermano il progressivo arresto del movimento di Campo. Ci si trova infatti entro l'ellisse d'errore.

LIVELLAZIONE

È necessario rivalutare l'impostazione della rete di livellazione (abbassamento del punto di appoggio)

V-4.2.8. Idrologia sotterranea e pressioni nel corpo frana

- L'azione dei drenaggi si è mantenuta sui valori dell'anno precedente.
- Nel periodo in esame (da giugno 2000 a giugno 2001) il cunicolo di drenaggio ha scaricato ca. 920'000 m³ d'acqua pari a 29 l/s.
- La quantità d'acqua che penetra nel sottosuolo è compresa tra il 25 ed il 30% delle precipitazioni entrate ed uscite d'acqua nel corpo frana.
- Pressioni nel sondaggio CVM6 sono rimaste abbondantemente al di sotto della soglia dei movimenti (ca. 12 bar), attestandosi attorno ai 7 bar.

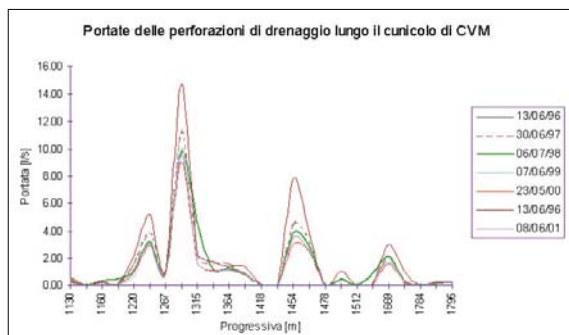
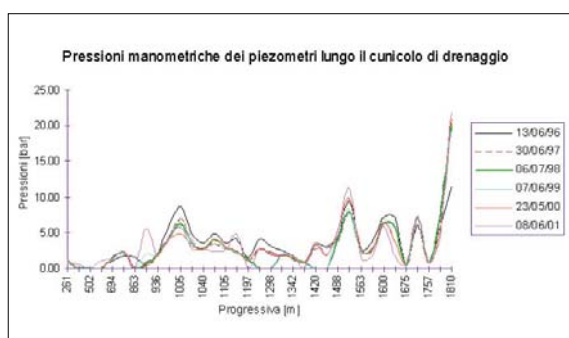


Figura V-16. Andamento delle portate

Figura V-17. Andamento delle pressioni



Bibliografia

VULLIET L. & HUTTER K., (1988), *Viscous-type sliding laws for landslides*. Can. Geotech. J. 25, 467-477.

V-4.3. Le frane da crollo

Nelle aree montuose di vari paesi, ed in particolare nello spazio alpino, i crolli di elementi rocciosi rappresentano uno degli aspetti più comuni tra quelli legati alla stabilità dei versanti. L'accresciuta urbanizzazione e, in particolare, l'aumentata densità della rete stradale e ferroviaria hanno fatto sì che siano diventate molteplici le situazioni caratterizzate da elevati livelli di pericolo.

Se a questo aspetto si aggiunge anche il fatto che il fenomeno è difficile da prevedere, dato che un ammasso roccioso è caratterizzato da un grande numero di variabili che possono mutare sia nello spazio che nel tempo, si ha un'idea della complessità che lo studio dei crolli comporta dal punto di vista della pianificazione del territorio, in particolare per la definizione del perimetro delle aree sottoposte a pericolo e del grado di intensità di quest'ultimo.

Si ricorda che con il termine "frana di crollo" si

V-4.2.9. Conclusioni

- Vi è stata una riduzione del deflusso attraverso il cunicolo e una diminuzione delle pressioni (svuotamento del serbatoio e assestamento della frana).
- Prosegue invece l'erosione dell'orlo del terrazzo di Cimalmotto (inclinazione fronte scarpata maggiore dell'angolo di naturale declivio).
- Nel periodo tra settembre - novembre 2000, il sistema è stato sottoposto ad una prima prova di carico, e le misure registrate confermano il raggiungimento degli obiettivi.
- In termini operativi è confermata la validità del drenaggio come metodo di risanamento delle grandi frane dove la sottopressione si combina con la forza di gravità per provocarne il movimento.
- Da un profilo più teorico si vogliono segnalare da un lato una conferma delle teorie che interpretano gli scivolamenti lenti come degli scorrimenti di tipo viscoso, dall'altro però che le teorie più classiche sulla stabilità dei versanti permettono di arrivare a valide soluzioni progettuali.

intende il distacco da una parete rocciosa o da un pendio ad elevata acclività di una massa di dimensione variabile, con spostamento di taglio lungo la superficie di distacco nullo o trascurabile, seguito da un moto vario per caduta libera in aria, salto, rimbalzo o rotolamento, da rapido ad estremamente rapido, eventualmente preceduto da movimenti minori nella fase precedente il distacco (Varnes 1978).

Nel capitolo V-4.3.1 sono presentati alcuni degli approcci più comunemente utilizzati per affrontare le problematiche legate alle frane di crollo, mentre nel capitolo V-4.3.2 si fa cenno ad alcune delle metodologie messe a punto negli ultimi anni da diversi autori per valutare sia l'estensione delle aree sottoposte a tali eventi franosi sia il grado di pericolo che ne può derivare. Infine nel capitolo V-4.3.3 viene affrontato un aspetto particolare del problema dei crolli, vale a dire quello legato alla presenza di opere viarie.

V-4.3.1. Gli approcci utilizzati per affrontare le problematiche legate alle frane da crollo

V-4.3.1.1. Classificazioni geomeccaniche

Un modo per caratterizzare in via preliminare un ammasso roccioso dal punto di vista della sua potenziale instabilità può essere quello di utilizzare una delle classificazioni geomeccaniche, ormai diventate classiche, attualmente finalizzate a scopi applicativi (progettazione di gallerie stradali, ferroviarie, ecc.): questo tipo di approccio non consente di individuare specifiche situazioni di instabilità ma, piuttosto, di ottenere un'informazione generale sulle condizioni dell'ammasso.

I sistemi di classificazione esistenti sono molteplici e sono stati sviluppati a cominciare dalla fine degli anni '40 da Terzaghi (1946), Lauffer (1958) e Deere *et al.* (1967), ma è a partire dall'inizio degli anni '70, con il metodo RSR proposto da Wickham *et al.* (1972), che tali classificazioni cominciano ad essere di tipo quantitativo (attribuzione di un punteggio ai diversi parametri che caratterizzano l'ammasso roccioso). Successive, ma dello stesso tipo, sono le classificazioni RMR di Bieniawski (1989), Q-system di Barton *et al.* (1974) e SMR sviluppato da Romana (1985). Ciascuno di questi tre metodi si basa sulla suddivisione preliminare dell'ammasso roccioso in "zone strutturali" omogenee ed individua, sostanzialmente, un indice numerico che determina la qualità dell'ammasso roccioso a partire da un pre-determinato numero di parametri.

V-4.3.1.2. Analisi cinematica

L'analisi cinematica ha il pregio di consentire una rapida definizione dei tipi di eventuali instabilità; si basa sul principio che i movimenti avvengono lungo blocchi delimitati da fratture piane ed infinitamente estese, che lo spostamento si attui per effetto del peso dei blocchi, ostacolato dall'attrito lungo le fratture che li delimitano. Un modo per valutare i cinematicismi possibili in relazione alle discontinuità presenti in una massa rocciosa è quello di utilizzare le proiezioni stereografiche; in tal caso sono necessari i seguenti dati: orientazione delle discontinuità, orientazione del pendio, angolo d'attrito sulle discontinuità.

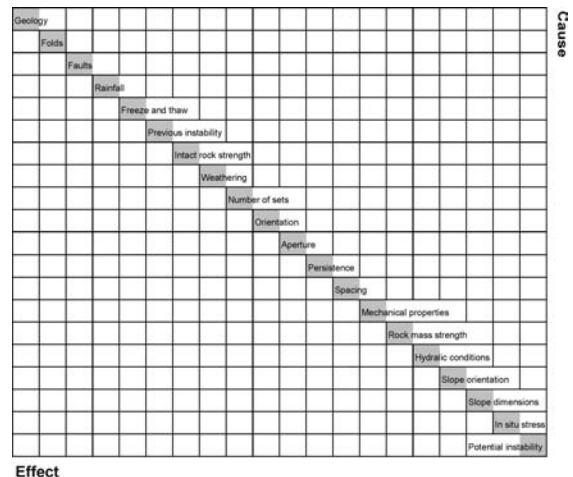
In generale l'analisi cinematica è adatta ad una valutazione preliminare della stabilità e consente, anche in fase di rilevamento, di poter operare una selezione dei siti che mostrano di avere situazioni di potenziale pericolo e sui quali occorre condurre analisi più approfondite.

V-4.3.1.3. Matrici RES

Il metodo RES (Rock Engineering Systems; Hudson, 1992) consente, mediante l'uso di una matrice (figura V-18), di esaminare i mutui rapporti tra i vari parametri che caratterizzano il sistema, cioè l'ammasso roccioso, e di capire il meccanismo che li coinvolge.

Si articola, normalmente, attraverso i seguenti passi: scelta dei parametri rilevanti per il problema caduta massi; analisi delle interazioni tra i parametri; valutazione dell'importanza e dell'influenza reciproca tra i parametri; definizione delle classi di valori che può assumere ciascun parametro; calcolo finale di un indice di pericolosità "R.M.I.I." (Rock Mass Instability Index).

Figura V-18. Esempio di matrice RES applicata alla stabilità di versanti in roccia (da Mazzoccola & Hudson, 1996, modificata)



V-4.3.1.4. Analisi della stabilità

Viene determinato il fattore di sicurezza, ad esempio con i metodi all'equilibrio limite, per un tratto di pendio che è, o si considera, uniforme.

Questo tipo di approccio ha significato solo se applicato ad aree molto piccole: una zonazione basata sulla verifica di stabilità può essere affrontata sia dal punto di vista deterministico (distribuzione del fattore di sicurezza) sia da quello probabilistico (distribuzione della probabilità che il fattore di sicurezza sia minore di uno).

V-4.3.2. Zonazione del pericolo

V-4.3.2.1. Matterock

Basandosi sul principio che nel caso di pendii rocciosi non esiste instabilità senza che siano presenti sistemi di discontinuità, il metodo Matterock (Roullier & Marro, 1997; Roullier et al. 1998; figura V-19) consiste nel determinare l'assetto strutturale delle pareti rocciose per poi confrontarlo successivamente con la topografia.

I settori che mostrano situazioni favorevoli allo scivolamento oppure al ribaltamento vengono identificati come instabilità (aléas).

A questa prima fase fa seguito:

- lo studio geomeccanico delle situazioni di instabilità;
- l'individuazione dei possibili cinematismi per ciascuna instabilità e dei volumi potenzialmente instabili;
- l'attribuzione di un grado di pericolosità sulla

base della valutazione di persistenza delle discontinuità, grado di attività passata, presenza di acqua, grado di sensibilità del sistema rispetto a fattori di degrado oppure, di segno opposto, rispetto a fattori stabilizzanti, fattore di sicurezza.

V-4.3.2.2. Metodo del LPC (Laboratoire Central des Pontes et des Chaussées)

Questo metodo (LPC 1978), che riprende alcuni principi che ispirano il più generale sistema di cartografia ZERMOS (Zones Exposées à des Risques liés aux Mouvements du Sol et du sou-sol), prevede una prima fase di raccolta di dati di base che riguardano la topografia, la litologia, la frequenza e la tipologia degli eventi passati, compresi gli eventuali danni che questi hanno provocato. A questa fa seguito una indagine di dettaglio che consiste nell'identificare e classificare gli eventi potenziali e nel definire il volume delle masse rocciose poten-

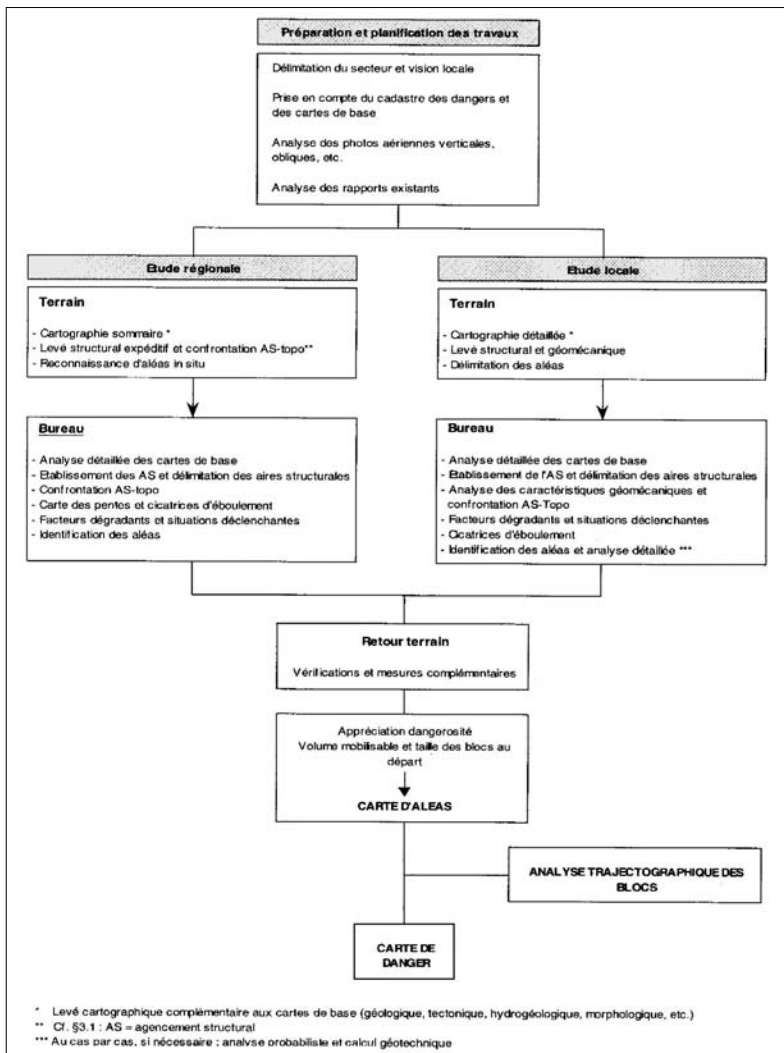


Figura V-19. Andamento delle pressioni

zialmente instabili.

Tutte le informazioni precedenti vengono trasferite su una base cartografica sulla quale vengono così definiti il pericolo, la probabilità che questo ha di verificarsi (hazard) e l'area di invasione.

V-4.3.2.3. R.H.A.P.

La procedura R.H.A.P. (Rockfall Hazard Assessment Procedure; Regione Lombardia 2000) è stata messa a punto per effettuare una zonazione basata sulla pericolosità ed ha come obiettivo quello di essere utilizzata dal punto di vista della pianificazione. Essa si adatta ai crolli di volume inferiore a 1000 m³ e si applica sia alla zona di alimentazione, valutando la predisposizione di una parete a generare situazioni di instabilità, che al pendio sottostante, in termini di probabilità che vengano raggiunte determinate distanze lungo le traiettorie di rotolamento dei blocchi.

Vengono sviluppati i seguenti passaggi:

- individuazione delle pareti rocciose che possono produrre crolli;
- delimitazione sulla parete di aree omogenee in termini di caratteristiche geomeccaniche e morfologiche;
- identificazione delle aree raggiungibili dai blocchi mediante simulazioni di caduta con modelli numerici;
- suddivisione del pendio in tre settori in funzione della percentuale di arresto del 70, 95 e 100% dei blocchi;
- in aggiunta si valuta la probabilità di distacco del crollo in ciascuna delle aree omogenee;
- la classe di pericolosità viene poi incrementata, lasciata invariata oppure diminuita di 1 a seconda del fatto che a monte sia presente una parete rocciosa ad attività alta, media oppure bassa: in questo modo sono possibili 5 classi di pericolosità.

V-4.3.2.4. Rockfall Hazard Rating System e Ontario Rockfall Hazard Rating System (RHRON)

Tra i metodi che utilizzano un sistema di classificazione per attuare una zonazione del pericolo va segnalato il Rockfall Hazard Rating System (R.H.R.S.) messo a punto dal Dipartimento dei Trasporti dell'Oregon (Pierson et al. 1990; Pierson & Van Vickle 1993): esso è destinato alla valutazione del pericolo legato ai crolli che possono interessare il sistema viario autostradale o ferroviario ed ha la peculiarità di abbinare una valutazione di parametri legati alla situazione geologica delle pareti con una valutazione di alcune caratteristiche della strada che vi soggiace.

Ogni sito considerato potenzialmente instabile

riceve così un punteggio che tiene conto sia della gravità del dissesto sia di alcuni parametri (in totale nove) legati alle caratteristiche dell'infrastruttura. Il confronto fra i punteggi ottenuti per ogni sito analizzato mette quindi in evidenza le aree potenzialmente più pericolose, al fine di indirizzare, nel modo più appropriato possibile, gli eventuali interventi di sistemazione.

Il metodo viene trattato diffusamente nel capitolo successivo al quale si rimanda per gli ulteriori dettagli. In questa sede va ricordata una versione modificata in Ontario, il RHRON (Franklin & Senior, 1997): quest'ultimo risulta più sensibile ai dissesti che si trovano su pareti di limitate dimensioni e contiene cinque categorie in più rispetto alle nove del metodo RHRS.

V-4.3.3. Uno degli aspetti del problema: crolli e viabilità stradale

Parte dell'attività svolta nell'ambito del presente progetto INTERREG in tema di crolli e di viabilità nelle regioni di montagna è stata rivolta alla verifica dell'efficacia del metodo RHRS e della sua applicabilità in ambito alpino e, successivamente, alla messa a punto di un metodo alternativo più adatto alla tipologia della nostra rete viaria; per far ciò è stata presa in esame la strada di collegamento tra Locarno (Canton Ticino - Svizzera) e Domodossola (Verbania - Italia), che si snoda in parte sul territorio elvetico, con il nome di Strada Cantonale delle Centovalli, ed in parte sul territorio italiano, con il nome di S.S. n. 337 della Val Vigizzo (figura V-20). Tale scelta deriva da una serie di motivazioni quali, ad esempio, il fatto che si tratta di un'arteria di collegamento transfrontaliero quasi completamente delimitata da pareti rocciose particolarmente soggette ad attività di frana.

Figura V-20. Ubicazione della strada Centovalli - Vigizzo



V-4.3.3.1. Il metodo RHRS (Rockfall Hazard Rating System)

Si sviluppa sui seguenti sei passaggi:

1. La creazione di una banca dati con i siti in cui si sono verificate cadute di elementi rocciosi.
2. L'analisi preliminare dei fronti rocciosi con lo scopo di differenziarli in base alla loro pericolosità geologica ed alla loro evoluzione pregressa. Durante questa fase, importante perché consente di ridurre drasticamente il numero di situazioni alle quali applicare i passi successivi della procedura, le pareti rocciose vengono suddivise in tre classi (A, B, C) di pericolosità geologica, "alta", "moderata" o "bassa".
3. L'analisi dettagliata delle zone precedentemente identificate come instabili (pareti "A"); per ogni zona vengono valutati, con un punteggio, nove parametri: presenza ed efficacia della trincea laterale della strada; rischio medio del veicolo; percentuale dello spazio di arresto (è in relazione alla visuale che un guidatore ha a disposizione e spazio di reazione e frenata); larghezza della carreggiata; altezza della parete; dimensione media (o volume complessivo) degli elementi instabili; caratteristiche geologiche della parete (cioè condizioni strutturali dell'ammasso roccioso e caratteristiche delle discontinuità predisponenti il movimento); dati storici (cioè clima ed analisi storica del versante. Al termine di questa fase, sulla base della somma dei punteggi ottenuti dai nove parametri precedenti viene definita una scala di pericolosità.
4. Il progetto preliminare di consolidamento e/o difesa.
5. Il progetto definitivo e l'attuazione dell'intervento di risanamento.
6. La revisione e l'aggiornamento annuale della banca dati.

V-4.3.3.2. Modifiche apportate al metodo RHRS

Il lavoro che abbiamo effettuato ha permesso di mettere in evidenza alcuni aspetti critici del metodo RHRS, che non lo rendono del tutto trasferibile alla realtà di un sistema stradale alpino.

Il principio generale su cui si basa, vale a dire l'abbinamento di informazioni di natura diversa, organizzate in un sistema di giudizi standardizzato, è senza dubbio idoneo a fornire uno strumento di decisione efficace. Tuttavia esso è stato ideato per un sistema stradale a scorrimento veloce di dimensioni notevolmente superiori rispetto a quelle del sistema viario ordinario. Ciò comporta almeno due ordini di differenze: il primo, di tipo "stradale",

influisce sui valori critici da assegnare a parametri quali "larghezza della carreggiata", "visuale", ecc... Il secondo, "geologico", deriva ad esempio dal fatto che, in genere, un'autostrada ha uno sviluppo di diverse centinaia di chilometri e può quindi attraversare contesti lito-strutturali anche molto disomogenei, differenziabili tra loro sulla base di pochi elementi, anche solo qualitativi.

Proprio in ragione di una migliore caratterizzazione geologica dei siti, che nel metodo RHRS standard ci è apparsa troppo sommaria, è derivata l'esigenza di apportare alcune modifiche alla procedura di analisi. Tale esigenza ci ha portato a proporre un sistema alternativo, meno qualitativo, per condurre l'"analisi preliminare", come mostrato in sintesi dalla figura V-21, e due approcci differenti per la definizione del parametro "caratteristiche geologiche" nell'analisi di dettaglio. Il primo, applicato al tratto svizzero della strada Vigezzo - Centovalli, sfrutta alcuni principi delle classificazioni geomeccaniche e dell'analisi cinematica delle instabilità, il secondo è un'applicazione del metodo delle matrici RES di Hudson (1992) ed è riferito al tratto italiano della stessa strada, vale a dire la S.S. n. 337 della Val Vigezzo. È rimasta invece invariata l'analisi degli altri parametri compresi nel metodo, la cui valutazione di rappresentatività ed efficacia appartiene a competenze più di ingegneria dei trasporti.

V-4.3.3.3. La Strada delle Centovalli: approccio geometrico-geomeccanico

Lungo tutto il tracciato della strada Vigezzo-Centovalli è stato dapprima verificato l'assetto geologico e strutturale generale e sono stati raccolti ed analizzati i dati relativi agli eventi pregressi ed ai più importanti fenomeni di instabilità. In seguito è stata realizzata una graduatoria della pericolosità tra i siti esaminati, così come viene definita mediante i nove parametri RHRS: essa dovrebbe costituire la base tecnica per definire una scala di priorità circa le opere di stabilizzazione da realizzare.

La strada delle Centovalli ha rappresentato l'occasione per applicare l'approccio geometrico-geomeccanico che è mostrato nella figura V-22.

Inizialmente sono state prese in considerazione 45 pareti rocciose situate nel tratto svizzero compreso tra Camedo ed Intragna (figura V-23) e la loro predisposizione a generare processi di instabilità è stata verificata sottoponendole alla "analisi preliminare" secondo la metodologia di figura V-21. Tale operazione ha permesso di ridurre a 21 le pareti da studiare nel dettaglio, cioè classificate "A": per ciascuna di esse sono poi stati misurati e/o valutati

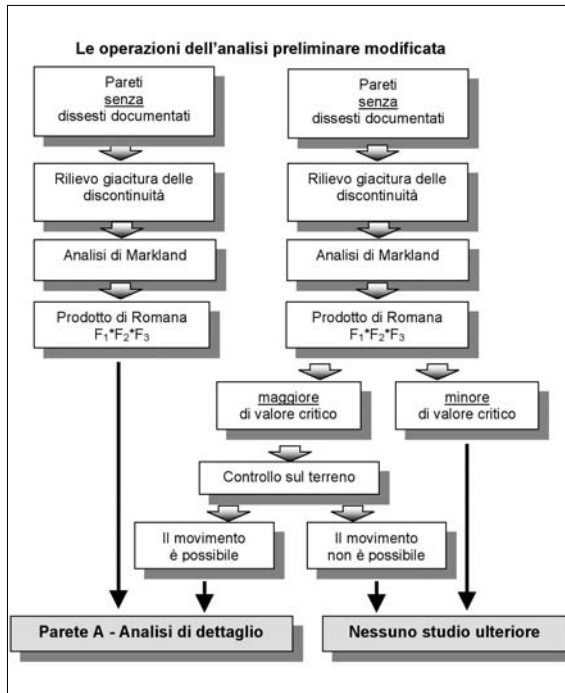


Figura V-21. Diagramma di flusso per l'analisi preliminare modificata

Figura V-22. Diagrammi di flusso del percorso attraverso cui calcolare il punteggio per "condizioni strutturali" e "caratteristiche delle discontinuità" nell'ambito del parametro "caratteristiche geologiche della parete"

tutti i nove parametri necessari all'analisi. I risultati sono sintetizzati dall'istogramma "B" di figura V-23.

Il punteggio ottenuto costituisce l'indicatore della pericolosità assoluta del tratto stradale che la parete sovrasta.

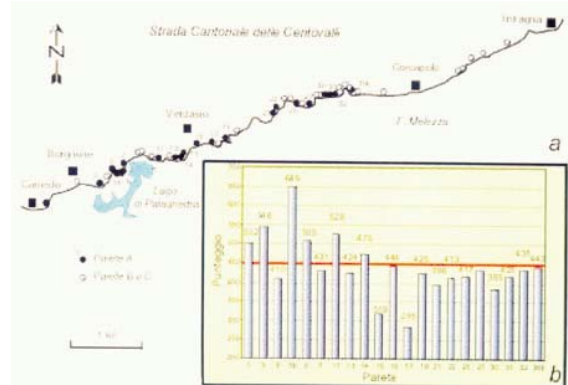
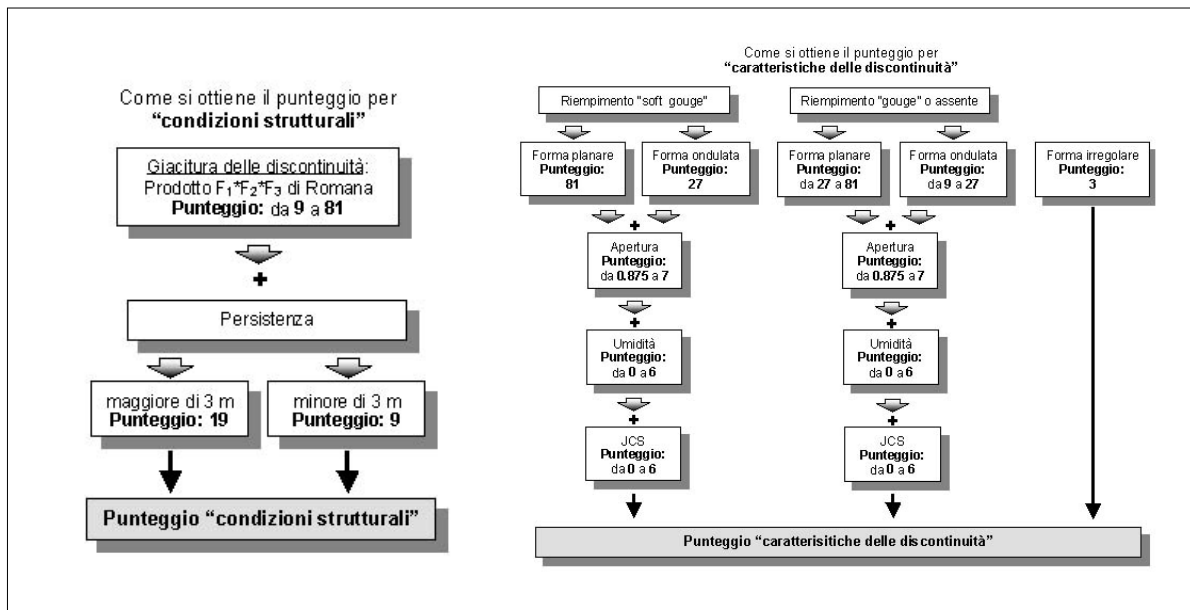


Figura V-23. a: ubicazione delle pareti analizzate mediante l'approccio geometrico-geomeccanico lungo la Strada Cantonale delle Centovalli (Svizzera); b: istogramma dei punteggi ottenuti: le pareti che si trovano sopra la linea marcata dovrebbero essere studiate nel dettaglio oppure risanate



Anche in questo caso, lungo il tratto di strada esaminato (Masera-Paiesco) si è proceduto all'individuazione delle pareti di classe "A" sulle quali è stata applicata la metodologia RHRS-RES. I risultati (figura V-25b) evidenziano che i versanti caratterizzati dal punteggio più elevato (Cocco, Paiesco B, Merro) sono quelli che mostrano, o hanno mostrato, l'instabilità e la pericolosità più marcate. Tali versanti sono anche quelli in cui più massiccio è stato l'intervento di sistemazione; fa eccezione il pendio di Cocco, dove un intervento anche parziale sul versante sarebbe auspicabile nonostante l'alveo del torrente agisca da trincea naturale a protezione del solido stradale. L'analisi è risultata efficace anche nei confronti delle situazioni di maggior pericolo potenziale. Solo la pericolosità del versante Paiesco A, sede del dissesto più recente, risulta a nostro avviso sottostimata. Inferiore alle aspettative è anche il punteggio RHRS del versante di Masera (nonostante l'indice RMII risulti analogo a quello dei due pendii di Paiesco): la distanza di visuale disponibile permette infatti di limitare il pericolo per i veicoli in transito.

V-4.3.3.5. Conclusioni

Il metodo RHRS, con le modifiche e le integrazioni proposte, rappresenta uno strumento conoscitivo rapido per l'analisi delle condizioni delle pareti rocciose sovrastanti un'infrastruttura viaria, e come tale va giudicato. In altre parole non sostituisce lo studio di dettaglio che deve necessariamente precedere la progettazione di eventuali opere di protezione, mentre ha la funzione di identificare in modo preliminare le situazioni per le quali programmare un approfondimento.

Si può senz'altro affermare che la procedura per l'esecuzione dell'analisi preliminare proposta nel presente studio è più efficace per definire le caratteristiche strutturali delle pareti rocciose di quanto non lo sia quella originariamente prevista dal metodo RHRS, garantendo nel contempo una maggiore 'scrematura' dei siti da sottoporre ad indagini di dettaglio fondata su dati geologici più obiettivi e significativi. Questo procedimento consente inoltre di riutilizzare i dati emersi nel corso dell'analisi preliminare nella successiva fase rappresentata dall'analisi di dettaglio, riducendo così i tempi di esecuzione.

Per quanto riguarda la procedura modificata dell'analisi di dettaglio si possono fare alcune considerazioni:

1. la maggior parte delle situazioni risultate più pericolose erano già note per aver prodotto, in tempi più o meno recenti, dissesti di varia entità.

Ciò si presta a due chiavi di lettura: una positiva, come conferma del fatto che i parametri utilizzati sono adeguati per identificare situazioni effettivamente problematiche, ed una negativa, secondo la quale il metodo porterebbe semplicemente a riaffermare situazioni già altrimenti conosciute. In realtà il sistema ha lo scopo principale proprio di stabilire, anche nell'ambito di situazioni già note, una scala di priorità negli interventi di sistemazione.

2. La scelta di approfondire gli aspetti geologici del metodo seguendo due differenti procedure deriva in parte dalla volontà di sperimentarne l'efficacia in un simile contesto e in parte dall'esigenza di limitare quanto più possibile la soggettività nella definizione di tali aspetti. L'esperienza maturata nel corso di questo lavoro ci ha portato a concludere che entrambe le metodologie, pur nella loro diversità, sono adeguate ad identificare le situazioni di instabilità e possono essere utilizzate indifferentemente.
3. Sebbene esuli dagli scopi di questo studio, va sottolineato come l'attribuzione dei punteggi ai parametri tecnici di natura stradale perda parzialmente significato in contesti come quello esaminato, dove la carreggiata mantiene caratteristiche simili per tutta la tratta studiata. Questo limite è facilmente spiegabile con gli obiettivi originari del metodo RHRS (confronto di ampia casistica relativa a strade differenti, in contesti geologici differenti, ecc.); è dunque necessario incrementare le potenzialità del metodo introducendo opportune modifiche anche ai fattori stradali, in adeguamento alle caratteristiche basilari di una normale strada montana europea.

Bibliografia

BARTON N., LIEN R. & LUNDE J., (1974), *Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support*. *Roch. Mech.*, 6, 183-236.

BIENIAWSKI Z.T., (1989), *Engineering Rock Mass Classification*. Wiley, New York, 251 pp.

DEERE D.U., HENDRON A.J., PATTON F.D. & CORDING E.J., (1967), *Design of Surface and Near Surface Construction in Rock*. *Proc. 8th U.S. Symp. Rock Mech.*, AIME. New York., 237-302.

FRANKLIN J.A. & SENIOR S.A., (1997), *Outline of RHON, the Ontario Rockfall hazard rating system*. Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens, Greece, 657-663.

HUDSON, J.A., (1992), *Rock engineering systems: theory and practise*. High Plains Press (JAH), pp. 185.

LAUFFER H., (1958), *Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau*. *Geol. Bauwesen*, 74, 46-51.

LPC. 1978 *Eboulements et chutes des pierres sur les routes, Méthode de cartographie* Groupe d'études des Falaises, Laboratoire Central des Pontes et des Chaussées. Rapport de recherche LPC 80, 63 pp.

MAZZOCCOLA D. & HUDSON J.A., (1996), *A new rock mass characterisation method for indicating large scale instability with an example application in the Italian Alps*. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 29, 37-56.

PIERSON L.A., DAVIS S.A., VAN VICKLE R., (1990), *Rockfall Hazard Rating System*. Implementation Manual, Federal Highway Administration (FHWA), Report FHWA-OR-EG-90-01. FHWA, U.S. Department of Transportation.

PIERSON L.A. & VAN VICKLE R., (1993), *Rockfall Hazard Rating System*. Participant's Manual, Federal Highway Administration (FHWA), Report FHWA-SA-93-057. FHWA, U.S. Department of Transportation.

REGIONE LOMBARDIA, *Struttura Rischi Idrogeologici. 2000 Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità del rischio da frana in Regione Lombardia*. Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia, 51.

ROMANA M., (1985), *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. In *Proc. Int. Symp. on the Role of Rock Mech. Zacatecas*, pp. 49-53.

ROULLIER J.P., & MARRO C., (1997), *Application de la méthodologie Matterock à l'évaluation du danger lié aux falaises*. *Eclogae geol. Helv.*, 90, 393-399.

ROULLIER J.P., JABOYEDO M., MARRO C., PHILIPPOSIAN F. & MAMIN M., (1998), *Pentes instables dans le Pennique Valaisan. Matterock: une méthodologie d'auscultation des falaises et de détection des éboulements majeur potentiels*. Rapport final PNR 31. Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 239 pp.

TERZAGHI K., (1946), *Rock Defects and Loads on Tunnel Support*. *Rock Tunneling with Steel supports*, (R. V. Proctor and T. White eds), Commercial Shearing Co. Youngstown, OH, pp. 15-99.

VARNES D.J., (1978), *Slope movements. Types and process. Landslides Analysis and Control* (R.L. Schuster & R.J. Krizek, eds.), Nat. Acad. of Sciences, Transp. Res. Board. Washington D.C., Special Report 176, 11-35.

WICKHAM G.E., TIEDEMANN H.R. & SKINNER E.H., (1972), *Support Determination based on Geologic Predictions*. *Proc. Rapid Excav. Tunneling Conf.*, AIME. New York.

V-5. ALTRI TEMATISMI

Lo studio dei fenomeni di instabilità sui versanti della Val d'Ossola è stato integrato con altre informazioni ricavate dall'analisi fotointerpretative riguardanti le *principali discontinuità geologiche* dell'area e la *propensione della rete idrografica a generare piene torrentizie con elevato carico solido* in funzione del grado di fratturazione e di disarticolazione del substrato roccioso indotto dai movimenti gravitativi. Questi ulteriori livelli di informazione (scorporate dalla carta-inventario delle frane) completano le informazioni sulla pericolosità dei versanti instabili e possono fornire dati di supporto all'Azione 4 che affronta il tema specifico delle colate detritiche, sviluppato da altri soggetti operanti nel Progetto INTERREG II.

Un ulteriore contributo alla conoscenza dell'instabilità naturale della Val d'Ossola è venuto dall'analisi fotointerpretativa della ripresa aerofotografica eseguita successivamente all'intenso evento alluvionale che interessò soprattutto la Val Formazza nella seconda decade di agosto 1987, con grande prevalenza di fenomeni torrentizi. Dallo studio ne è conseguita la realizzazione di una "Carta degli effetti dell'evento alluvionale del 25-26 agosto 1987" alla scala 1:25.000.

L'evento alluvionale dell'agosto 1987 fu responsabile dell'innesco di numerose colate detritiche e di occasionali frane in Val Formazza e, più sporadicamente, in altre valli tributarie del medio F. Toce.

Gli effetti morfologici di questo evento ed i danni conseguenti, documentati da una specifica ripresa aerofotografica di poco posteriore e dal volo IGM 1988 per le parti periferiche, sono stati riportati su quattro tavole riguardanti l'area più significativamente colpita. In merito si rileva:

- un'intensità di evento probabilmente paragonabile con quella raggiunta dall'evento del 26 agosto 1834, almeno per la Val Formazza;
- una particolare concentrazione di colate detritiche torrentizie nel comune di Formazza, generate dai tributari del Toce con apporti anche consistenti di sedimenti prevalentemente grossolani sui conoidi;
- il singolare riprodursi dell'"effetto cascata o manicotto" (*fire-hose effect*) in apice conoide di tributari che si raccordano al fondovalle con un salto roccioso;
- la modesta reazione dei versanti a piogge che pure hanno raggiunto valori giornalieri superiori anche a 200 mm in diverse stazioni: le frane

superficiali sono state sporadiche, anche se in più casi esse sono state motivo di innesco di colate detritiche;

- l'attivazione del reticolo idrografico si è manifestata già nella fascia glacializzata: sulla superficie dei ghiacciai si sono talora arrestati cumuli detritici provenienti dai canali sovrastanti, mentre le morene si sono rivelate aree sorgenti di colate detritiche, talora cospicue.

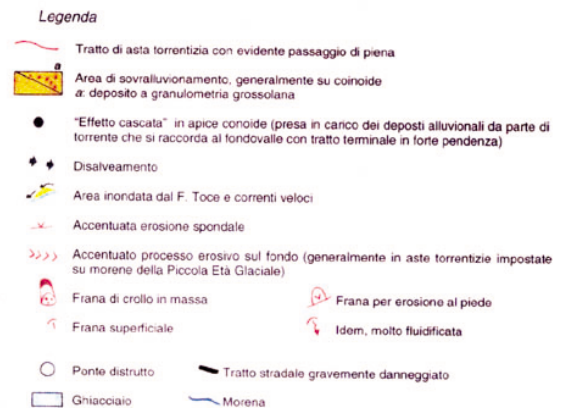


Figura V-26. Legenda della Carta dell'evento alluvionale del 25-26 agosto 1987 in Val Formazza

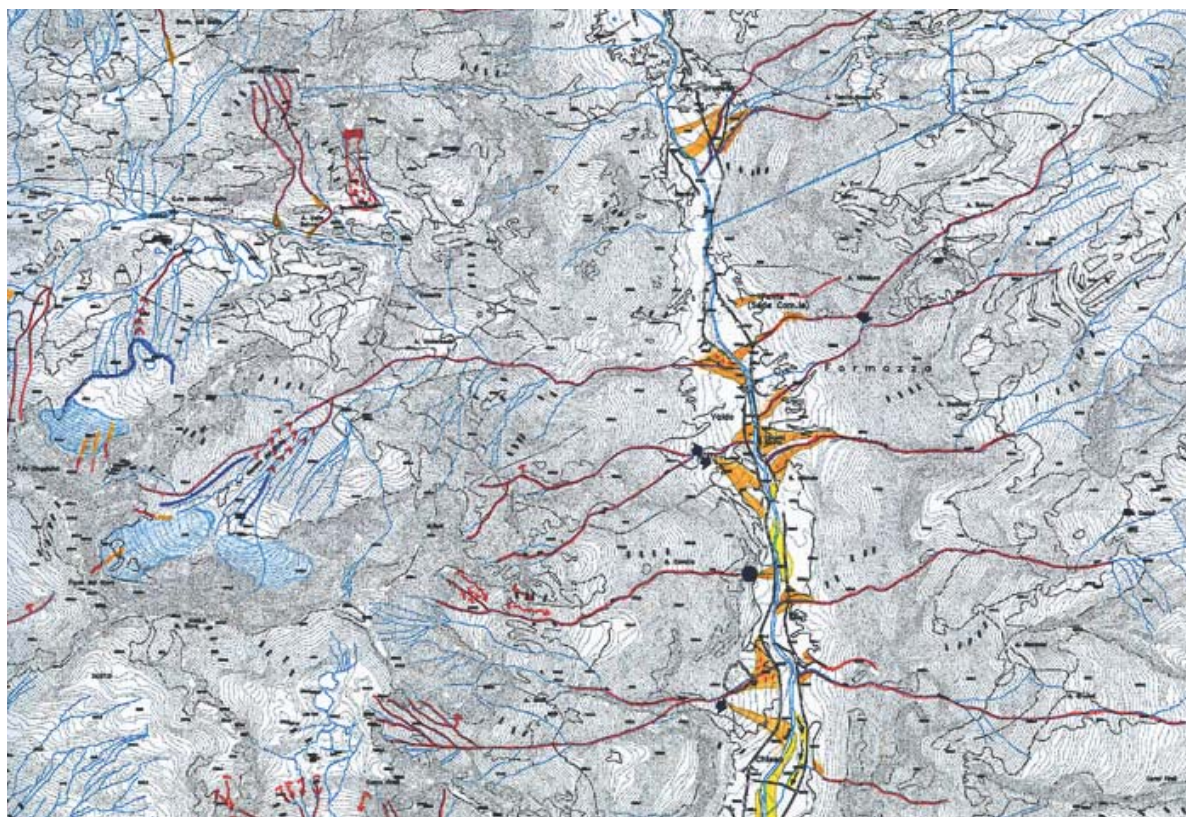


Figura V-27. Estratto della Carta dell'evento alluvionale del 25-26 agosto 1987 in Val Formazza

Quest'ultimo aspetto accomuna l'evento alluvionale dell'agosto 1987 in Val Formazza a quello che, negli stessi giorni, coinvolse altri bacini glacializzati italiani (Valtellina, Val Venosta), austriaci e svizzeri. La copiosa letteratura prodotta su questo evento collega la grande diffusione di fenomeni di instabilità accaduti nella fascia altimetrica di pertinenza glaciale e periglaciale alla collocazione dell'isoterma 0°C a quote insolitamente elevate (superiori a 3500 m), attribuendone le cause al probabile riscaldamento globale. Analoghe manifestazioni di instabilità si sono ripetuti in anni più recenti nell'intero arco alpino (es. settembre 1993 in Piemonte, luglio 1996 in Valle d'Aosta) e sempre più frequentemente sono segnalati crolli da creste sommitali e da speroni rocciosi in pieno ambiente glaciale.

La progressiva deglaciazione dei bacini alimentatori, in atto dalla fine della Piccola Età Glaciale (circa 1820-1860), sta comportando anche una modificazione termica e meccanica delle masse rocciose: in particolare la riduzione di spessore del ghiaccio, dell'ordine di metri o decine di metri, determina una significativa diminuzione dell'azione di confinamento esercitata dal ghiacciaio sulle pareti rocciose adiacenti; al contempo cicli di gelo-disgelo, come conseguenza della fusione del permafrost, favoriscono e accelerano la fratturazione della roccia.

A queste cause sono presumibilmente da attribuire gli incessanti crolli di roccia e ghiaccio che, a oltre 4000 m di quota e da circa due anni, anche in piena stagione invernale, stanno modificando la parete ossolana del Monte Rosa.