

Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Varese



Linee Guida per la Previsione, Prevenzione
e Mitigazione del Dissesto Idrogeologico

LINEE GUIDA PER LA PREVISIONE, PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO

1. INTRODUZIONE

2. PRINCIPI E LINEE GUIDA PER LA REDAZIONE DI STUDI DI DETTAGLIO INERENTI DISSESTI IDROGEOLOGICI

2.1 Le frane di crollo

2.1.1 Generalità

2.1.2 Cause predisponenti e scatenanti

2.1.3 Segnali premonitori

2.1.4 Metodi da utilizzare per lo studio in dettaglio dei versanti soggetti a frane di crollo

2.1.5 Opere di mitigazione

2.2 Le frane di scivolamento

2.2.1 Generalità

2.2.2 Cause predisponenti e scatenanti

2.2.3 Segnali premonitori

2.2.4 Metodi da utilizzare per lo studio in dettaglio dei versanti soggetti a frane di scivolamento

2.2.5 Opere di mitigazione

2.3 Le colate

2.3.1 Generalità

2.3.2 Cause predisponenti e scatenanti

2.3.3 Segnali premonitori

2.3.4 Metodi da utilizzare per lo studio in dettaglio dei versanti soggetti a colate

2.3.5 Opere di mitigazione

3. PRINCIPI E LINEE GUIDA PER LA REDAZIONE DI STUDI DI DETTAGLIO INERENTI UN CASO PARTICOLARE DI DISSESTO IDROGEOLOGICO: I BACINI IDROGRAFICI E I CONOIDI

3.1 Generalità

3.2 Descrizione generale di un bacino idrografico

3.3 Generalità sui conoidi

3.4 Metodi da utilizzare per lo studio della pericolosità dei conoidi

3.4.1 Studi di dettaglio della pericolosità su conoidi

3.5 Opere di sistemazione per i conoidi e per i bacini idrografici

LINEE GUIDA PER LA PREVISIONE, PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO

1. INTRODUZIONE

I processi morfodinamici in atto nel territorio montano della provincia di Varese sono quelli tipici dell'area alpina e riguardano essenzialmente i versanti e le aste torrentizie e fluviali.

Per quanto riguarda i versanti, il territorio provinciale è caratterizzato da tipologie di dissesto differenti che vanno da frane di grandi dimensioni a fenomeni superficiali di soil-slip; nei versanti caratterizzati da pareti rocciose prevalgono i fenomeni di crolli.

E' chiaro che per l'incolumità delle persone quest'ultima tipologia di frana è assai pericolosa in quanto i crolli sono scarsamente prevedibili e caratterizzati da una velocità sempre molto elevata.

Nel territorio provinciale di Varese, le frane di crollo sono diffuse e la ragione di questo è da ricercarsi in una serie di fattori quali: l'elevata energia di rilievo, connessa alle caratteristiche morfologiche del territorio, le particolari condizioni geologiche locali, essenzialmente di carattere strutturale e litologico, il regime pluviometrico ed il clima, con ampi periodi caratterizzati da cicli di gelo e disgelo.

Questi fattori, che possono agire separatamente o in modo combinato sia nel tempo che nello spazio, determinano la maggior parte dei crolli presenti sui versanti.

Un'altra tipologia di fenomeni particolarmente diffusa nel territorio provinciale di Varese è quella delle frane superficiali le quali comprendono sia frane di scivolamento che frane di colamento.

Innanzitutto con il termine frane superficiali ci si riferisce a fenomeni gravitativi che coinvolgono spessori limitati di terreno, in genere fino ad un massimo di 5 metri.

Le cause principali di innesco di questa tipologia di dissesti sono le precipitazioni, mentre le cause predisponenti sono per lo più da ricercarsi nella natura litologica dei materiali affioranti nonché nelle elevate pendenze dei versanti.

Per valutare la diffusione delle varie tipologie di dissesto sul territorio provinciale, avendo così a disposizione una mappa delle zone più sensibili ai fenomeni di dissesto idrogeologico, sono stati effettuati negli ultimi anni, per volontà dell'Amministrazione Provinciale di Varese, numerosi studi sia a carattere generale che a carattere più specifico e di dettaglio.

In particolare, la documentazione redatta, che costituisce un valido strumento in grado di supportare una corretta pianificazione del territorio, è piuttosto ampia e esaustiva e consiste nei seguenti studi:

- "Analisi della Pericolosità dei Versanti del Territorio Provinciale di Varese";
- "Studi Geologici di dettaglio per la valutazione a scala locale della pericolosità per frane di crollo nella Provincia di Varese";

- "Programma Provinciale di Previsione e Prevenzione di Protezione Civile I e di II livello".

Qui di seguito vengono brevemente descritti i contenuti di questi lavori nonché i risultati riscontrati.

Per quanto concerne l' "**Analisi della Pericolosità dei Versanti del Territorio Provinciale di Varese**", l'obiettivo principale di questo studio, redatto dal Polo Regionale di Lecco del Politecnico di Milano, è stato quello di redigere delle carte di pericolosità a scala provinciale che mettano in luce le zone più sensibili dell'intero territorio provinciale in termini di fenomeni franosi. Queste carte rappresentano degli strumenti fondamentali sia per una corretta pianificazione provinciale, sia perché sono in grado di dare indicazioni sulle zone che necessitano di ulteriori approfondimenti, in quanto particolarmente critiche, e sulle priorità di intervento di difesa idrogeologica.

Per la realizzazione di questo lavoro sono state seguite le procedure proposte dal Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia le quali dettano con precisione le metodologie da adottare per valutare il grado di pericolosità riferito alle varie tipologie di fenomeni franosi riscontrabili nel territorio lombardo. Le fasi fondamentali che sono state seguite per la stesura di questo studio sono riportate nella tabella qui riportata:

	<u>ATTIVITA' SVOLTA</u>	<u>OBBIETTIVI</u>	<u>OPERAZIONI</u>
PERICOLOSITA'	Preparazione del materiale di base	Raccolta delle cartografie di base e dei dati idrogeologici	Ricerca, ordinamento ed analisi del materiale recuperato
	Censimento eventi storici	Redazione della carta inventario frane	-Esame della documentazione cronachistica -Interpretazione ortofoto -Esame della documentazione tecnica -Redazione di una carta tematica
	Valutazione della pericolosità a scala provinciale	Redazione di una carta di pericolosità per frane di scivolamento, per caduta massi e per conoidi; Redazione di una carta di sintesi tramite il metodo Zermos.	-Definizione delle caratteristiche degli eventi calamitosi del passato -Inquadramento del territorio -Individuazione preliminare delle zone soggette a rischio frana -Analisi statistica multivariata -Redazione di varie carte tematiche per le varie tipologie di frana -Applicazione di un modello deterministico per lo studio delle frane superficiali -Gerarchizzazione dei conoidi in funzione del loro grado di pericolosità -Applicazione del metodo Zermos

Dall'analisi di questa tabella è facile evincere che il lavoro ha avuto inizio con il reperimento di tutte le informazioni disponibili e nell'analisi critica di tutto il materiale recuperato. Una delle

parti più dispendiose è stato l'aggiornamento dell'inventario frane. La Regione Lombardia ha infatti fornito a tutte le Province una carta inventario frane e dissesti idrogeologici aggiornata a Luglio 2002. In particolare la carta inventario relativa alla provincia di Varese è stata analizzata e aggiornata, seguendo gli standard proposti. Questa fase ha portato i dissesti dai 200 iniziali a ben 873 dopo l'aggiornamento. Una verifica di questo aggiornamento è stata effettuata con le ortofoto fornite dalla Provincia, identificando le diverse tipologie di frana con la relativa attività (attualmente l'inventario frane risulta aggiornato a marzo 2005).

Passo successivo è stato quello di definire la pericolosità dei versanti a scala di sottobacino. Ciò è avvenuto impiegando metodi differenti (sia statistici che deterministici) a seconda delle seguenti tipologie di frana:

- Crolli in roccia
- Frane di scivolamento
- Frane superficiali, colate di detrito e fango su versanti
- Colate di detrito e fango su conoidi

Per quanto concerne le frane superficiali, i debris flow, le colate sui versanti e le colate di detrito e fango su conoidi è stata applicata l'analisi statistica multivariata. Il risultato delle cartografie ottenute sono state sintetizzate in un'unica carta che riporta la pericolosità per frana. Oltre alla procedura statistica basata sull'analisi multivariata, è stata anche effettuata una valutazione della pericolosità da frane superficiale indotte da eventi meteorici fondata su un modello matematico fisicamente basato (SHALSTAB). Con questo modello è possibile valutare l'altezza di pioggia critica che potrebbe innescare un movimento franoso. Con l'unione delle cartografie ottenute con i due diversi metodi si ottiene una pericolosità da frana completa ed esaustiva.

Per le carte di pericolosità per crolli, redatte sempre a scala provinciale, si è utilizzato un programma appositamente creato per tale scopo, che, per la sua applicazione, necessita della conoscenza delle caratteristiche geologiche dei versanti dai quali si potrebbero staccare dei blocchi e delle leggi fisiche che regolano la caduta di un masso su un versante.

Ad ulteriore conferma dei risultati ottenuti con le metodologie proposte dalla normativa regionale, si è voluto applicare un altro metodo per la valutazione della pericolosità da frana: il Metodo Zermos. Esso ha come grande vantaggio quello di fornire una cartografia unica che permette di avere una visione globale della suscettibilità del territorio all'innescare delle varie tipologie di frana. Lo svantaggio del metodo è però quello di non distinguere tra loro le differenti tipologie di frane.

Prima di esporre brevemente i risultati ottenuti dall'applicazione delle metodologie sopra accennate (per il cui approfondimento si rimanda al lavoro originario o a testi specifici) è opportuno mostrare nella tabella qui di seguito riportata la classificazione della pericolosità per frana utilizzata.

Classe	Pericolosità
HO	Nulla – non sono presenti o non si ritengono possibili fenomeni franosi;
H1	Moderata - Zone in cui sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici. Zone in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi.
H2	Alta – Zone in cui sono presenti frane quiescenti per la cui riattivazione ci si aspettano presumibilmente tempi pluriennali o pluridecennali. Zone di possibile espansione areale delle frane attualmente quiescenti. Zone in cui sono presenti indizi geomorfologici di instabilità dei versanti e in cui si possono verificare frane di neoformazione presumibilmente in un intervallo di tempo pluriennale o pluridecennale.
H3	Molto Alta – Zone in cui sono presenti frane attive, continue o stagionali. Zone in cui è prevista l'espansione areale di una frana attiva. Zone in cui sono presenti evidenze geomorfologiche di movimenti incipienti.

Brevemente, per quanto concerne le carte di pericolosità ottenute per le frane superficiali, i debris flow e gli scivolamenti esse sono state sovrapposte per avere una visione globale (fig. 1). Da un'analisi dei risultati ottenuti si possono effettuare le seguenti considerazioni che hanno ovviamente carattere generale:

- Prima zona ad elevata pericolosità: quella del Monte Borgna, Monte Cadrigna, Monte Sirti, Monte Gradisca che coinvolge gran parte della Comunità Montana delle Valli del Luinese;
- Seconda zona ad elevata pericolosità: quella del Pizzo di Cuvignone, Monte Nudo, Monte La Teggia, Pizzoni di Laveno, Sasso Cadrega, che coinvolge la parte meridionale della Comunità Montana delle Valli del Luinese;
- Terza zona ad elevata pericolosità: quella che interessa l'area del Monte Campo dei Fiori.

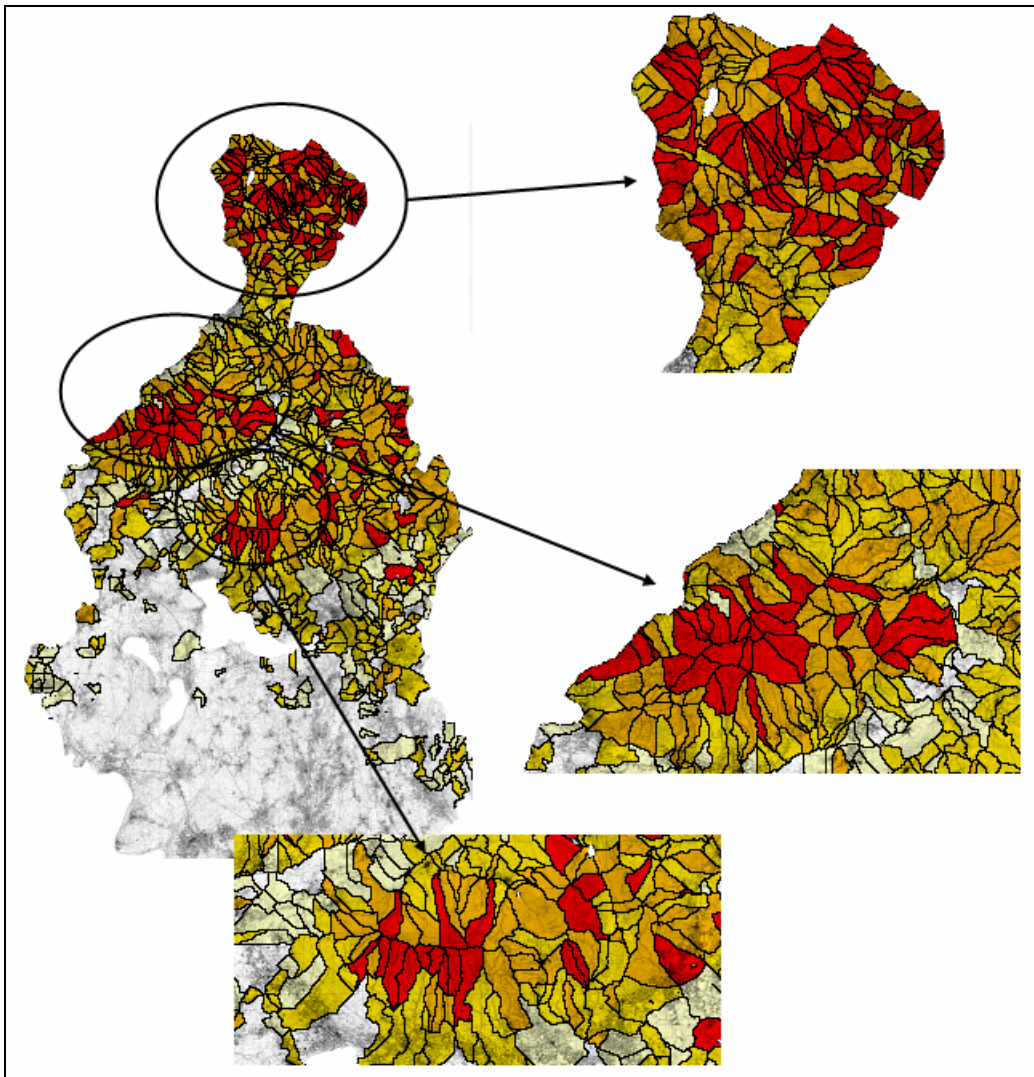


Figura 1: Carta di pericolosità per frane superficiali, debris flow e scivolamenti

Come si vede dalla suddetta carta si individuano, oltre alle zone sopra indicate, anche altre aree critiche che interessano la parte orientale della Provincia e precisamente:

- Monte Clivio, versante rivolto verso il Monte Bedea
- Monte Mezzano, tra la valle Ronco e il fiume Tresa
- Monte la Nave, Rio Torrase
- Cugliate Fabiasco, zona Sorgente Molinazze
- Monte Piambello, lato Ghirla e lato Valle S.Giovanni-Valle Tassera
- Monte Val De Corni lato Valle Bossero Spino
- Valganna, zona tra Monte Mondonico e Monte Martica
- Monte Martica, Valle Castellera
- Poncione di Ganna, lato est
- Monte Minisfreddo, Valle Cavrascialla
- Zona tra Monte S.Elia, Monte Usesia
- Monte Rho D'Arcisate, lato Arcisate

- Monte Chiusarelo, lato Bregazzano
- Monte Sangiano, lato Caravate
- Monte Castelletto, lato strada provinciale
- Monte Marzio, zona Roncate
- Monte Berta, lato Lago di Lugano
- Bocchetta Stivione, lato Valle Borsago
- Cave di Cuasso al Monte

Si ricordi che la carta allegata individua una pericolosità omogenea per emibacino. Pertanto tutta l'unità territoriale sottesa non è chiaramente soggetta alla stessa magnitudo. Tutto ciò evidenzia la necessità di approfondire quanto già identificato da questa carta tramite dei sopralluoghi.

Per quanto concerne la carta di pericolosità per colate di detrito e fango sui conoidi (fig.2) occorre subito precisare che questa tipologia di dissesto richiede necessariamente degli studi di dettaglio a scala 1:2000 / 1:5000 che esulano dai lavori a scala provinciale.

Lo studio condotto ha permesso però di realizzare una gerarchizzazione delle conoidi in modo da poter facilmente identificare quelle caratterizzate dalla pericolosità più elevata. In questo senso quindi è stata immediata la visione delle priorità di intervento per questa tipologia di dissesto idrogeologico.

Il procedimento per ottenere questa gerarchizzazione si basa sulla valutazione della magnitudo, ovvero il volume massimo di materiale rimobilizzabile durante un evento di trasporto in massa su conoide. Questi studi sono solo delle valutazioni di massima tramite le poche informazioni disponibili a scala provinciale, servono quindi per avere un'idea delle conoidi che necessitano dei sopralluoghi atti ad identificare la corrispondenza con quanto delineato dal suddetto studio preliminare.

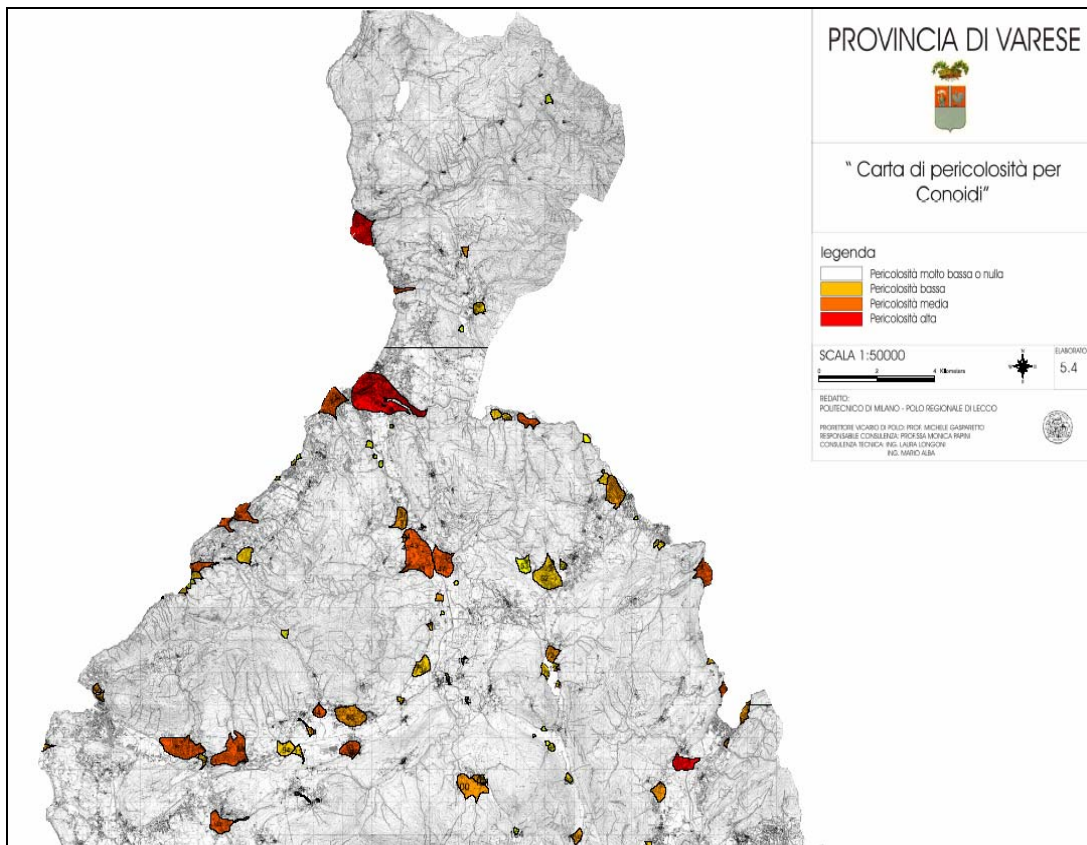


Fig. 2 – Carta di pericolosità per conoidi

Dalla carta riportata si possono identificare le seguenti aree critiche:

- ❖ MACCAGNO
- ❖ LUINO E GERMIGNAGA
- ❖ CUASSO AL PIANO
- ❖ MESEZANA
- ❖ GRANTOLA
- ❖ BRUSIMPIANO
- ❖ CITTIGLIO

Infine per i crolli, occorre sottolineare che di norma la realizzazione di una carta di pericolosità viene effettuata non a livello provinciale, ma più frequentemente attraverso studi a scala locale. E' anche vero che recentemente alcuni Autori hanno messo a punto un codice di calcolo che permette di valutare la pericolosità per frane di crollo a scala regionale. Prendendo spunto da questo codice, si è elaborata una metodologia, basata su semplici applicazioni GIS, per la valutazione preliminare della pericolosità per frane di crollo. Dall'applicazione di questa metodologia, si sono estratte due carte fondamentali:

- la carta delle traiettorie: che rappresenta la frequenza con cui si verifica il fenomeno
- la carta delle velocità massime: che rappresenta l'intensità del fenomeno.

Dalla sovrapposizione delle due carte è stato possibile ricavare la carta di pericolosità per frane di crollo a scala provinciale (fig. 3).

Dalla carta pericolosità per frane di crollo si evidenziano le seguenti criticità:

- ❖ BRUSIMPIANO

- ❖ PORTO CERESIO
- ❖ MACCAGNO
- ❖ LAVENO
- ❖ LUINO
- ❖ CURIGLIA

I risultati sopra riportati e ottenuti dalle carte a scala di bacino allegate (figg. 1,2,3) danno delle indicazioni circa le aree che necessitano di studi di dettaglio; per questa ragione la conclusione del lavoro è consistita nella stesura di alcuni studi di dettaglio su delle aree risultate particolarmente sensibili. Gli studi di dettaglio realizzati in questo primo lavoro sono stati successivamente integrati da uno studio ulteriore eseguito sempre dal Polo Regionale di Lecco.

In particolare un'elaborazione è stata condotta su un pendio soggetto a scivolamento e a colata di terra ubicato nel Comune di Cadegliano con Viconago. La scelta non è stata casuale, ma dettata dal fatto che proprio in quest'area si è verificato nel novembre 2002 un movimento franoso causato dall'erosione del Fiume Tresa al piede del versante. Ciò ha portato all'interruzione della SP 61 che ancora adesso è chiusa al transito.

Un'altra elaborazione è stata effettuata su un conoide del Luinese (Comune di Grantola: Torrente Grantorella) applicando il Metodo di Takahashi. Con tale metodologia è possibile valutare le modalità di propagazione e di arresto di una eventuale colata detritica.

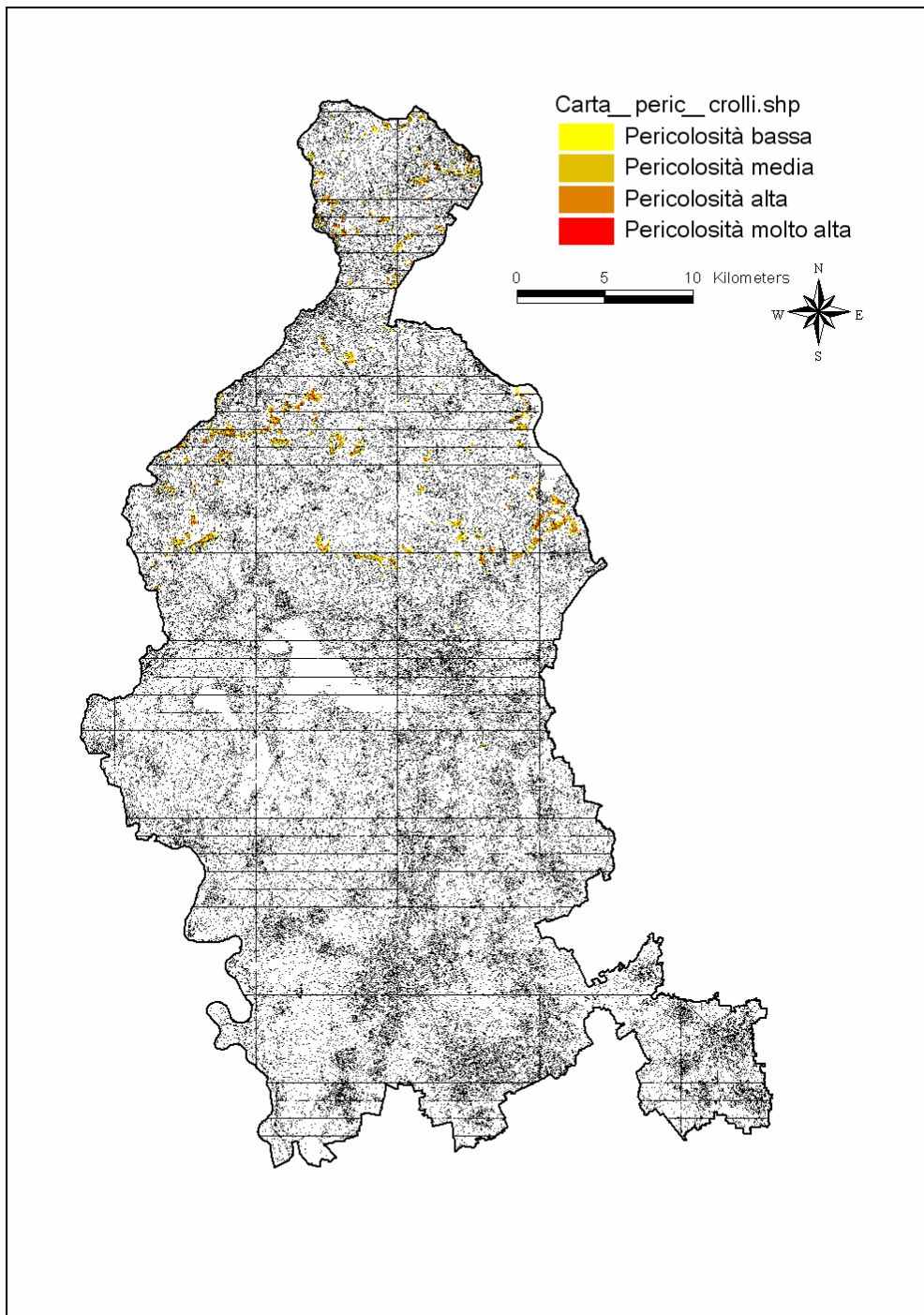


Figura 3: Carta di pericolosità per crolli

Infine l'ultima elaborazione è stata condotta per stimare la pericolosità per crolli in roccia a scala locale. Tra le numerose aree presenti nella Provincia di Varese soggette a questa tipologia di frana è stato scelto di analizzare in dettaglio, avvalendosi di un modello matematico tridimensionale (ROTOMAP), un versante situato in località Maccagno. Con tale metodo è stato possibile individuare le traiettorie più probabili seguite da eventuali blocchi che si dovessero staccare dalla parete, nonché valutare le aree di probabile arresto.

Per correttezza di informazioni, occorre precisare che nell'intero territorio della Provincia di Varese è presente anche un fenomeno di deformazione gravitativa profonda situato sempre nel

Comune di Maccagno. Tale fenomeno non è stato analizzato in dettaglio in quanto lo studio di una fenomenologia così complessa richiede una caratterizzazione geomeccanica delle rocce rigorosa ottenibile esclusivamente con prove dirette sia in sito che in laboratorio, nonché conoscenze sulla stratigrafia dei materiali da valutare con prove indirette (geosismica, geoelettrica) oppure con sondaggi geognostici.

I quattro studi di dettaglio condotti sono stati successivamente integrati, come detto precedentemente, da altri studi i cui risultati sono riportati nel lavoro: **“Studi Geologici di dettaglio per la valutazione a scala locale della pericolosità per frane di crollo nella Provincia di Varese”**.

Occorre precisare che in questo elaborato si è volutamente concentrare l’attenzione su una particolare tipologia di dissesto che è quella di crollo in quanto risulta particolarmente pericolosa in quanto estremamente rapida nella sua evoluzione e difficilmente prevedibile.

In dettaglio, su incarico dell’Amministrazione Provinciale di Varese, si sono eseguiti studi geologici di dettaglio lungo quattro pareti rocciose prospicienti infrastrutture e/o edifici per valutare a scala locale la pericolosità connessa a frane di crollo.

Le pareti sono state scelte sulla base dei risultati ottenuti dalla “Carta di pericolosità Crolli in roccia” redatta a scala 1 : 50.000 nell’ambito dello studio “Analisi della pericolosità dei versanti del Territorio Provinciale” (fig. 3). L’effettiva pericolosità di tali pareti è stata poi verificata attraverso sopralluoghi preliminari che hanno consentito di valutare anche il potenziale rischio indotto da eventuali crolli di blocchi sulle infrastrutture viarie e/o sulle abitazioni.

Lo studio è stato condotto seguendo le indicazioni metodologiche indicate nel D.G.R. n. 7/11074 del novembre 2002 per quanto attiene gli “Approfondimenti e aggiornamenti inerenti le condizioni di pericolosità dei versanti” relativamente a questa tipologia di frana.

In dettaglio, il lavoro è stato articolato in fasi diverse partendo innanzitutto da una breve descrizione delle frane di crollo e delle loro principali cause predisponenti e scatenanti, seguita da un inquadramento geologico-geomorfologico dell’area in cui sono localizzate le pareti stesse. Si è poi proceduto con la caratterizzazione degli ammassi rocciosi attraverso rilievi geomeccanici di dettaglio indispensabile per la definizione di aree omogenee e per la scelta delle traiettorie di caduta massi. A tale proposito, è stata valutata la pericolosità da crollo delle pareti in esame attraverso l’applicazione del Metodo “Rockfall Hazard Assesment Procedure” (RHAP- Regione Lombardia, 2000) utilizzando anche un adeguato codice di calcolo (ROTOMAP) atto a simulare la caduta massi.

Su una delle pareti esaminate, è stata applicata anche la metodologia RES (Rock Engineering System) vista la complessità dell’area e i possibili effetti che un distacco potrebbe avere sulle abitazioni. I risultati sono stati poi messi a confronto con la procedura RHAP.

L’applicazione delle metodologie sopra riportate è risultata indispensabile per valutare l’effettiva pericolosità delle pareti oggetto del presente studio e valutare eventualmente la

necessità di intervenire con adeguati metodi di sistemazione per la messa in sicurezza delle aree esaminate.

Un ultimo studio realizzato nel 2005 sempre dal Polo Regionale di Lecco, è stato il **“Programma Provinciale di Previsione e Prevenzione di Protezione Civile II livello”** che vede come base di partenza il Programma di I livello già a disposizione dell'Amministrazione Provinciale di Varese.

Il Programma di II livello nasce come momento di ricognizione e di conoscenza del territorio, indispensabile per la scelta delle priorità di intervento della Provincia.

L'obbiettivo degli studi nel campo della Protezione Civile è infatti quello di localizzare le aree interessate dai vari rischi (in questo caso particolare il rischio frane), valutare le caratteristiche delle opere esistenti, individuare gli elementi a rischio, l'attività di monitoraggio e definire le normative atte a mitigare gli effetti del danno atteso, identificando la probabilità di ricorrenza, la relativa magnitudo, l'estensione areale e i precursori di evento. Tutto ciò non può sintetizzarsi nel solo Programma di Previsione e Prevenzione, questo rappresenta solo l'inizio di un lavoro ben più complesso che necessita di approfondimenti e di ulteriori integrazioni.

Con il Programma di I livello sono stati censiti i fenomeni e i processi generatori di rischio; con quello di II livello sono stati integrati e aggiornati i dati e le informazioni raccolte, inoltre sono stati censiti gli elementi a rischio. Questi studi sono stati realizzati con un supporto cartografico 1:10.000; pertanto la funzione di questi studi deve essere ben definita: rappresentano uno strumento che la Provincia deve utilizzare per decidere come e dove impiegare le proprie risorse per approfondimenti di varia natura.

I Programmi di Previsione e Prevenzione costituiscono dunque il punto di riferimento per la determinazione delle priorità e delle gradualità temporali di attuazione degli interventi di protezione civile, in funzione della pericolosità dell'evento calamitoso, della vulnerabilità del territorio nonché della disponibilità finanziaria. In questo senso si inquadrano gli studi di dettaglio (scala 1:2.000 / 1:5.000) che, come vedremo successivamente, rappresentano un vero e proprio approfondimento delle zone che il Programma individua come maggiormente soggette a rischio frane. L'obbiettivo finale della Provincia sarà quello di redigere un Piano di Emergenza Provinciale; questi studi di dettaglio rappresenteranno la base indispensabile per l'individuazione e la definizione degli scenari di rischio che interessano il territorio provinciale.

E' opportuno soffermarsi brevemente sui contenuti del Programma di Previsione e Prevenzione di Secondo livello.

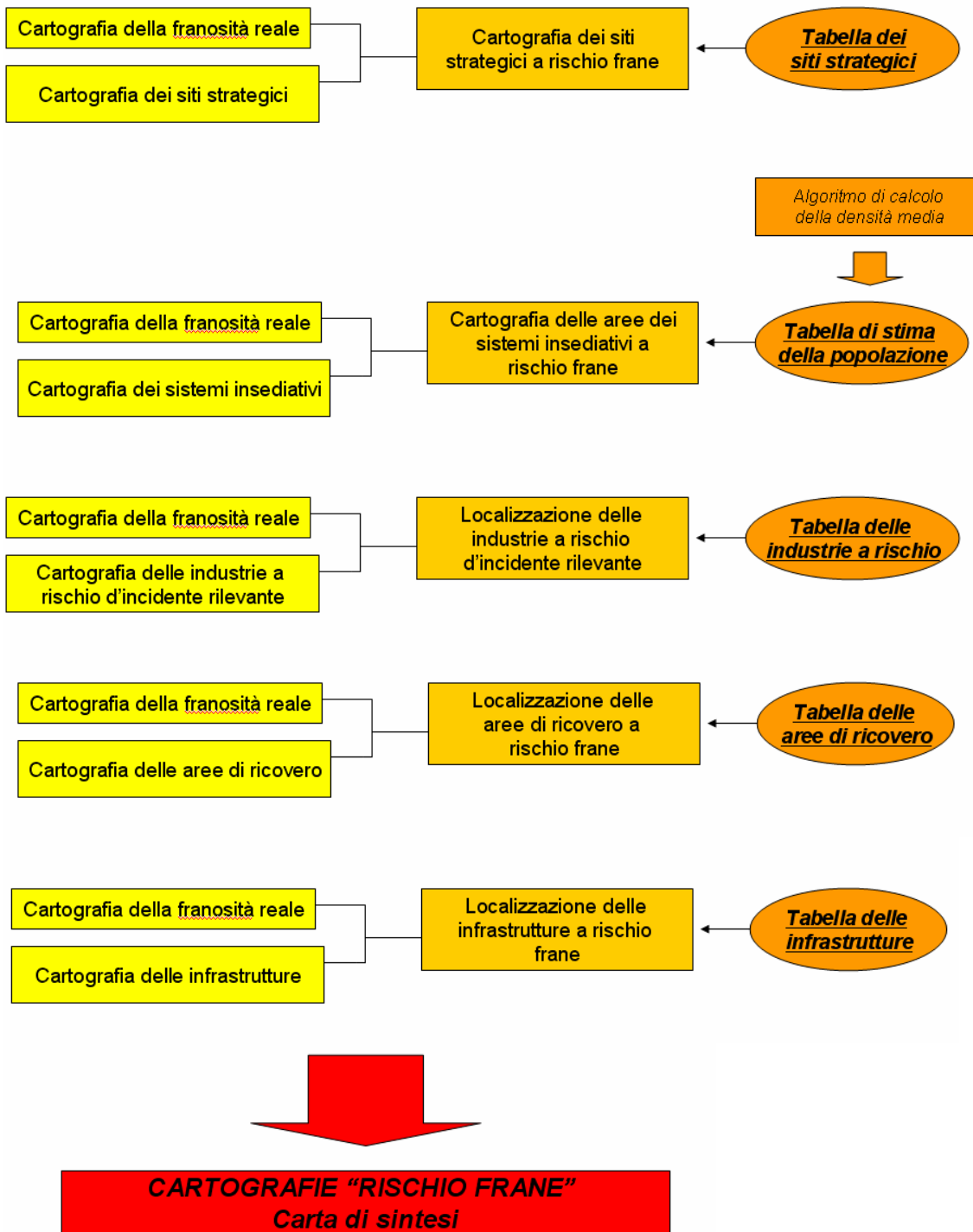
Esso è stato realizzando con il seguente approccio metodologico:

- Valutazione della pericolosità
- Valutazione della vulnerabilità e del danno del territorio
- Valutazione del rischio

Questo procedimento è stato utilizzato per i vari rischi esistenti e precisamente rischio alluvioni, rischio dighe e invasi, rischio industriale, rischio radiazione, rischio frane e rischio traffico e trasporti. Qui di seguito si espone brevemente il metodo utilizzato per la valutazione

del rischio frane, in quanto oggetto del presente studio. Il metodo è quello proposto dalla Regione Lombardia, secondo il quale devono essere realizzate varie cartografie che rappresentano gli elementi a rischio della Provincia e tali carte devono essere poi sovrapposte alla carta di pericolosità per frana.

Il seguente diagramma ben esemplifica il procedimento utilizzato per la valutazione finale del rischio frane per la Provincia di Varese.



Come si evince dal diagramma, la carta di partenza per la valutazione del rischio frane è la carta di pericolosità già ampiamente descritta sopra sia nel significato che nella procedura.

Pertanto il valore aggiunto in questo terzo lavoro è la valutazione, per qualsiasi tipo di evento (frane, alluvioni, ecc...) del danno legato agli elementi presenti sul territorio e alla loro vulnerabilità, per poi arrivare alla valutazione del rischio.

Il risultato finale dell'intero studio è quello dell'individuazione sul territorio provinciale delle aree maggiormente critiche che necessitano di approfondimenti in termini di sopralluoghi mirati e studi idrogeologici di dettaglio.

2. PRINCIPI E LINEE GUIDA PER LA REDAZIONE DI STUDI DI DETTAGLIO INERENTI DISSESTI IDROGEOLOGICI

Per redigere degli studi di dettaglio è importante in primo luogo fare una descrizione delle linee guida che devono essere effettivamente seguite. Solo in questo modo sarà possibile standardizzare la procedura di studio e avere una omogeneità di risultati facilmente implementabili in un Piano di Emergenza. E' necessario infatti ricordare che tale strumento rappresenta il collettore finale di tutti gli studi condotti affinché una eventuale calamità naturale possa in futuro essere affrontata in modo razionale, scientifico e privo di ogni improvvisazione.

Qui di seguito vengono riportati i principi e le linee guida che devono essere seguiti per la redazione di studi di dettaglio inerenti i dissesti idrogeologici. Tali linee si differenziano in funzione delle varie tipologie di frane che affliggono il territorio provinciale.

La loro descrizione verrà preceduta da una breve introduzione inerente le caratteristiche di ciascuna tipologia di frana e i segnali premonitori utili per una loro identificazione sul territorio. Inoltre verranno elencate le metodologie atte allo studio della pericolosità relativa ai singoli cinematismi (senza entrare nella descrizione dettagliata delle stesse) e le principali opere di sistemazione che possono essere impiegate per la messa in sicurezza dei versanti instabili.

2.1 Le frane di crollo

2.1.1 Generalità

Avvengono per lo più in roccia. Le frane di crollo consistono nella caduta libera di blocchi di singole dimensioni che si staccano dalla parete di un pendio ripido o di una rupe in seguito alla rottura per taglio o trazione lungo i piani di discontinuità preesistenti (figura 2.1). I processi caratterizzanti il fenomeno sono:

- distacco
- caduta libera
- impatto
- rimbalzo
- rotolamento
- scivolamento

I crolli in roccia possono essere classificati in base al volume di distacco V e all'entità delle interazioni dinamiche lungo la traiettoria:

- 1) crollo di blocchi isolati (V minore di 10^2 m^3), con assenza di interazioni;
- 2) crollo di piccole masse (V minore di 10^5 m^3), con interazioni nulle o trascurabili fra i blocchi;

- 3) crolli di grandi masse (V minore di 10^7 m^3), con interazioni non trascurabili e crescenti col volume;
- 4) grandi movimenti di massa (V fino ed oltre a 10^{10} m^3), caratterizzati da interazioni fra i blocchi sempre più elevate con l'aumentare del volume.

Tuttavia i crolli in roccia più comuni coinvolgono volumi compresi tra 1 e 100000 m^3 , con trascurabili interazioni fra i blocchi.

Inoltre è possibile suddividere tra crolli primari e secondari. I crolli primari si riferiscono al distacco del blocco direttamente dalla parete rocciosa, mentre i secondari riguardano la rimobilizzazione di un blocco detritico temporaneamente fermo lungo il pendio a seguito di:

- impatto da parte di un ammasso staccatosi dalla parete sovrastante
- sollecitazione sismica
- accumulo di materiale sulla sommità della massa detritica

Il fenomeno evolve molto velocemente e ha un elevato potere distruttivo.

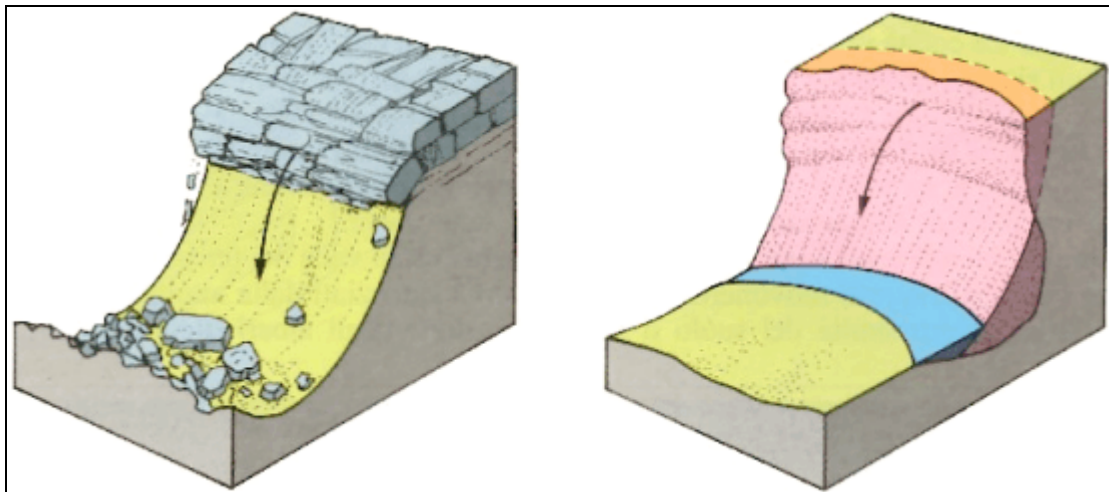


Figura 2.1: Frane di crollo

Il masso o i massi che si staccano in genere percorrono un tratto (più o meno lungo) in caduta libera per poi impattare sul terreno. Qui si possono fermare oppure continuare nel movimento rotolando o rimbalzando. Il deposito che ne consegue è costituito da un accumulo di materiale di varie dimensioni al piede del versante, ma alcuni frammenti possono percorrere anche notevoli distanze in funzione della geometria e della lunghezza del versante e, soprattutto dagli ostacoli su di esso presenti ivi compresa la copertura vegetale.

2.1. 2 Cause predisponenti e scatenanti

I crolli primari possono avere origine da cause diverse (fig. 2.2) e manifestarsi con modalità estremamente variabili:

- erosione differenziale con formazione di blocchi aggettanti;
- spinta derivante dalla formazione di ghiaccio nelle fratture: l'acqua penetra nelle fratture, durante l'inverno gela aumentando il suo volume anche del 9% e allarga le fratture stesse. Inoltre al disgelo, la frattura non è più tenuta assieme dal ghiaccio e ciò può causare il franamento (fenomeno del crioclastismo);
- spinta esercitata dalle radici delle piante; le radici si insinuano nelle fratture provocando un allontanamento delle labbra delle fratture stesse (fenomeno del bioclastismo)
- spinta idrostatica nell'acqua delle fratture;
- erosione differenziale e sottoescavazione ad opera del moto ondoso delle acque correnti;
- azioni umane (escavazioni, esplosioni);
- scivolamento sia planare che a cuneo;
- ribaltamento sia di tipo semplice che flessionale;

Il distacco e il crollo sono condizionati da una serie di fattori sia interni all'ammasso roccioso che esterni. I primi comprendono:

- litologia;
- assetto strutturale (giacitura);
- carattere della fratturazione;
- stato di alterazione;
- comportamento geomeccanico dell'ammasso;
- volume roccioso unitario;

I secondi comprendono:

- fattori idrologici ed idrogeologici:
 - circolazione superficiale;
 - circolazione sotterranea;
- fattori morfologici:
 - altezza della parete;
 - inclinazione della parete;
- fattori meteorologici:
 - precipitazioni;
 - temperatura;
- altri fattori naturali:
 - sollecitazioni sismiche;
 - crescita della vegetazione sulla parete;
 - incendio (shock termico);
- fattori antropici:
 - sovraccarichi;
 - scavi;

- altri interventi di iniezione;
- perdite d'acqua da condutture;
- vibrazioni indotte da traffico e macchine vibranti;

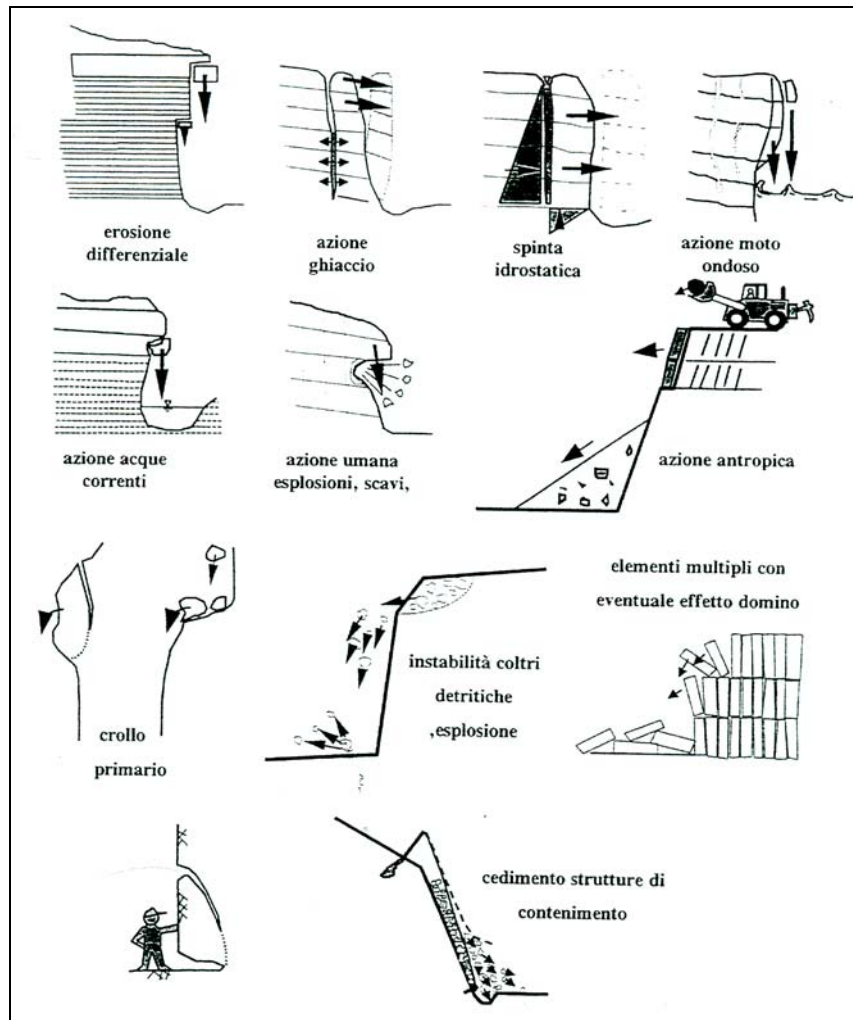


Fig.2.2- Cause dei crolli primari

2.1. 3 Segnali premonitori

Per valutare la predisposizione di un versante a sviluppare questa tipologia di frana è importante durante sopralluoghi mirati andare a rilevare alcune caratteristiche geometriche e geologiche dell'ammasso roccioso, così da valutare la reale possibilità che il versante possa dar luogo a questa tipologia di frana. Gli aspetti principali che dovranno essere considerati in sito sono i seguenti:

- **pendenza ed altezza delle pareti:** ovviamente più un versante è pendente e alto più tale versante è predisposto al franamento



Versante caratterizzato da altezza ridotta: situazione non pericolosa



Versante caratterizzato da altezza e pendenza elevata: situazione pericolosa

- **colore della roccia:** è importante vedere se in una parete la roccia ha in alcuni punti una colorazione anomala (ad esempio rossa o gialla). Se ciò accade significa che la roccia è molto alterata, cioè ha subito delle trasformazioni a causa dell'azione dell'acqua, del vento, del gelo, ecc.. Tali trasformazioni indeboliscono la roccia predisponendola al franamento

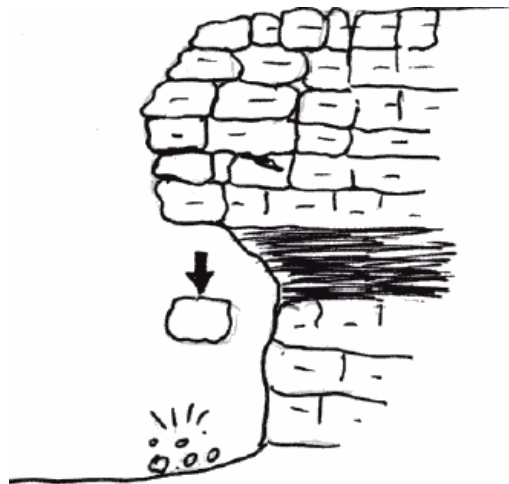


La roccia presenta una tipica colorazione giallo-ocra ad indicare l'elevato stato di alterazione



La roccia presenta una colorazione rossastra ad indicare l'elevato stato di alterazione

- **discontinuità dell'ammasso roccioso.** Di norma una parete non è costituita da roccia massiccia ed integra, molto più frequentemente la roccia si presenta attraversata da fratture più o meno regolari. Osservando una parete rocciosa, è facile notare che alcune fratture sono orientate nello stesso modo e predominano su altre fratture secondarie. Più una roccia presenta fratture ravvicinate che scompongono l'ammasso in tanti blocchi, più è probabile che dalla parete questi blocchi si stacchino. Ciò può essere aggravato dal fatto che spesso questi blocchi sono sporgenti e privi di un sostegno alla base.



Ammasso roccioso con blocchi privi di un sostegno alla base (in rosso)



Ammasso roccioso fittamente stratificato con frattura che aggrava l'instabilità del versante



Ammasso roccioso interessato da discontinuità verticali che isolano, unitamente a fratture perpendicolari, blocchi instabili.

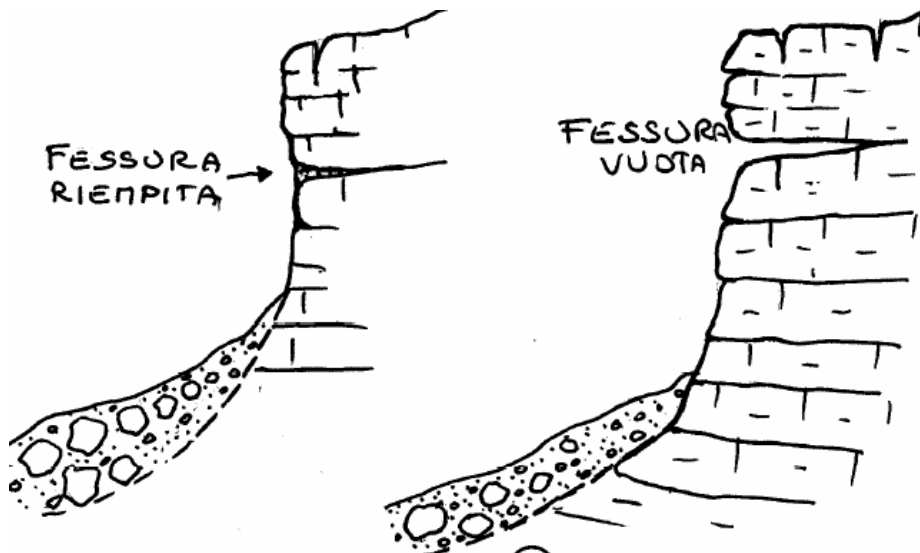
- **condizioni delle discontinuità:** oltre ad osservare se queste fratture sono più o meno fitte, è importante analizzare in sito in che stato si trovano queste fratture. In particolare si osserverà l'apertura delle discontinuità, cioè la distanza che intercorre tra le labbra delle fratture. Più le labbra delle fratture sono aperte, più la probabilità che dei blocchi si stacchino è elevata. Questo perché può entrare acqua che di per sé esercita una spinta sulle pareti delle fratture medesime. Inoltre, in inverno l'acqua gelando aumenta notevolmente il suo volume e ciò esercita una pressione notevole che può provocare il distacco di blocchi. Aperture maggiori di 1-2 cm sono molto pericolose. Inoltre occorrerà valutare la circolazione d'acqua all'interno dell'ammasso roccioso. Se si osserva dell'acqua fuoriuscire dalle fratture, allora la situazione potrebbe essere critica, soprattutto se queste venute d'acqua si verificano anche alcuni giorni dopo l'evento piovoso. Un altro fattore da osservare è il riempimento delle fratture, cioè se all'interno delle labbra delle discontinuità c'è o meno del materiale. Se la frattura è completamente vuota, significa che non esiste del materiale che funge da coesione delle pareti delle fratture stesse. Questo aumenta decisamente la probabilità che i blocchi si stacchino.



Frattura con apertura ridotta che non causa grossi problemi di instabilità



Ammasso roccioso caratterizzato da una frattura aperta e priva di riempimento che isola un blocco di roccia fortemente instabile



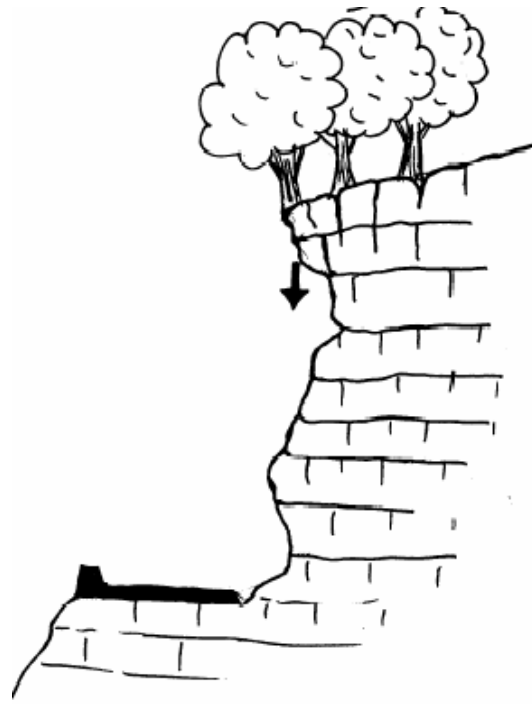
Situazione meno pericolosa

Situazione pericolosa

- **vegetazione:** è importante osservare la vegetazione, la tipologia e la sua ubicazione rispetto alle pareti del versante. Alberi situati proprio sul ciglio delle pareti appesantiscono il versante predisponendolo al franamento. Inoltre se si osservano delle radici che si insinuano nelle fessure della roccia , queste tendono ad allargarle aggravando la situazione. A causa del vento si può anche creare l'effetto vela secondo il quale alberi ad alto fusto possono pericolosamente oscillare. In questa situazione anche le radici si muovono, destabilizzando ulteriormente il versante. Ruolo positivo si ha invece se la vegetazione è sulle pendici del versante, a valle della nicchia di distacco, laddove cioè si vanno ad accumulare i massi che si distaccano dalla parete. Infatti in queste condizioni la vegetazione, soprattutto se è ad alto fusto, ha la funzione di rallentare la velocità dei blocchi arrivando in alcuni casi (massi di dimensioni ridotte) ad arrestarli completamente.



La vegetazione aggrava l'instabilità del versante



Le radici delle piante si insinuano nelle fenditure della roccia allargandole sensibilmente

- **vibrazioni:** se sopra il versante è localizzata una strada o una linea ferroviaria, le vibrazioni indotte dal passaggio di mezzi (soprattutto quelli pesanti) possono destabilizzare un versante già fortemente fratturato.

- **accumulo di materiale alla base del versante:** è importante durante i sopralluoghi valutare l'esistenza, alla base della parete, di materiale accumulato. Questo accumulo infatti sta ad indicare che la parete in passato ha dato già origine a dei crolli e che pertanto potrebbe riattivarsi in ogni momento a meno che non si sia in qualche modo intervenuti a stabilizzare la parete. Se tale accumulo è recente occorre prestare ulteriore attenzione perché il distacco di blocchi può avvenire senza preavvisi e non necessariamente in concomitanza di eventi meteorologici intensi.



Accumulo di materiale alla base di un versante soggetto a frane di crollo



Esteso accumulo di materiale alla base di una parete rocciosa instabile

Dopo questa breve panoramica circa i segnali premonitori che devono essere analizzati sul terreno per valutare la predisposizione del versante al franamento, occorre precisare che il rilevamento di un solo fattore tra quelli elencati non è di norma sufficiente a far affermare che il versante è sicuramente instabile, occorre generalmente una combinazione di due più o fattori affinché il versante venga ritenuto effettivamente pericoloso. In ogni caso e' impossibile affermare con certezza se e quando si staccheranno dei massi, l'unica considerazione fattibile è che esistono delle condizioni che potrebbero favorire il distaccarsi di blocchi. Soprattutto se si è già verificato un crollo di blocchi, per valutare la possibilità che altri massi si stacchino occorre analizzare i fattori sopra elencati per stimare l'effettiva pericolosità del versante e le possibili cause scatenanti. Questo perché si possa procedere con la messa in sicurezza sia di eventuali infrastrutture coinvolte sia di abitazioni, cittadini e soprattutto dei soccorritori chiamati ad intervenire in emergenza.

2.1. 4 Metodi da utilizzare per lo studio in dettaglio dei versanti soggetti a frane di crollo

La normativa connessa allo studio in dettaglio di pareti rocciose soggette a frane di crollo prevede che vengano adottate delle procedure standardizzate che vengono riconosciute come rigorose ed attendibili. In particolare la Regione Lombardia nel D.G.R. n. 7/11074 (Novembre 2002) "Approfondimenti e aggiornamenti inerenti le condizioni di pericolosità dei versanti" riconosce nel Metodo RHAP (Rock Hazard Assesment Procedure, 2000) la metodologia più idonea per la valutazione e la zonazione della pericolosità per frane di crollo.

La Metodologia RHAP è valida per crolli di singoli blocchi o per crolli di massi fino ad una volumetria massima complessiva di 1000 mc. Sebbene le procedure di seguito descritte siano state concepite per risolvere i problemi specifici del territorio lombardo, esse hanno cercato di contemplare le situazioni di caduta massi più frequenti e possono quindi essere applicate a

qualunque parete rocciosa origine di crolli in quanto non indirizzate a particolari condizioni litologiche, strutturali o morfologiche.

La metodologia RHAP è rivolta ad aree limitate e circoscritte ed è applicabile ad una scala di dettaglio. La zonazione della pericolosità da crollo risultante dall'applicazione della metodologia è relativa al sito indagato e non è confrontabile con altri siti studiati separatamente, in quanto ciascun sito risulterà sempre suddiviso in aree a pericolosità da bassa ad elevata, indipendentemente dal valore assoluto della pericolosità. Nei casi in cui la probabilità di accadimento sia molto bassa, la metodologia prevede un valore di soglia al di sotto del quale la zonazione della pericolosità non è più significativa.

In generale la metodologia valuta la pericolosità in due fasi. Nella prima si determinano le traiettorie e le aree di possibile espansione delle frane e viene effettuata una zonazione della pericolosità preliminare. Nella seconda fase si valuta la probabilità di accadimento dei fenomeni risultante da una zonazione della pericolosità delle aree di distacco. In termini rigorosamente probabilistici, la probabilità di accadimento andrebbe valutata in base a serie storiche da cui ricavare periodi di ritorno. Le due zonazioni di pericolosità vengono quindi messe in relazione per ottenere la pericolosità totale.

Ovviamente per una descrizione dettagliata della metodologia, si rimanda a testi specifici.

Un metodo alternativo all'RHAP per la valutazione della pericolosità a scala locale di versanti soggetti a frane di crollo è il RES.

Il Rock Engineering System è stato sviluppato da J.A. Hudson e dal gruppo di meccanica delle rocce dell'Imperial College di Londra nel 1989 e successivamente ripreso da numerosi autori tra i quali Crosta G. e Cancelli A. (1993).

La metodologia RES può essere applicato sia per differenziare porzioni di versante con diverso grado di instabilità (Mazzocola & Hudson, 1996) sia per definire un differente livello di pericolosità da crollo (Cancelli & Crosta, 1993).

In pratica si tratta di una procedura che consente di valutare l'intensità (magnitudo) di fenomeni di "rockfall", la pericolosità, il rischio specifico ed infine il rischio residuo.

Anche per questa metodologia e per le singole fasi che devono essere seguite per una sua applicazione si rimanda a testi specifici.

2.1.5 Opere di mitigazione

La scelta della tipologia di opera di mitigazione di un versante instabile dipende oltre che dal tipo di frana che interessa il versante medesimo anche da tutta un'altra serie di fattori tra i quali domina la tipologia di elemento a rischio che potrebbe essere coinvolto nel movimento franoso (infrastruttura viaria, ferroviaria, abitazioni, ecc.). Pertanto non è possibile descrivere a priori l'intervento ottimale che può essere impiegato per la messa in sicurezza definitiva di un versante soggetto a questa tipologia di frana.

E' solo possibile fare una panoramica generale delle opere che normalmente vengono impiegate per le frane di crollo, fermo restando che un intervento di questa natura non può

che essere valutato di volta in volta e progettato ad hoc in funzione di una complessità di fattori che riguardano il versante e il contesto in cui questo è inserito.

Qui di seguito pertanto verrà fatto un elenco di possibili opere di mitigazione impiegate per queste frane, senza peraltro entrare nel dettaglio delle caratteristiche progettuali di ciascuna di esse.

Le tecniche di norma utilizzate per mitigare il rischio di crolli di blocchi di roccia sono:

- *Ripulitura della parete rocciosa* attraverso la rimozione di blocchi in equilibrio instabile (disgaggio). Ciò può avvenire con l'ausilio di macchinari autoelevatori o manualmente impiegando personale specializzato (guide alpine) (fig. 2.3)

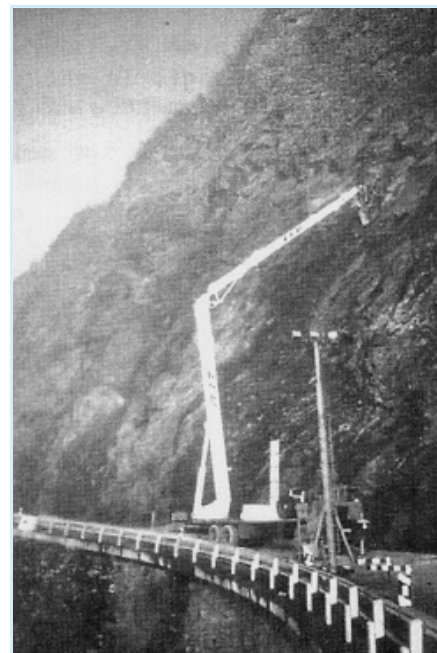


Figura 2.3: Disgaggio effettuato da guide alpine (a sinistra) e da una macchina autoelevatrice (a destra)

- *Pilastri, contrafforti, muri in cemento e sottomurazioni*. Queste opere di sostegno (fig.2.4) normalmente vengono impiegate quando i blocchi instabili sono maggiori di 1 m³.

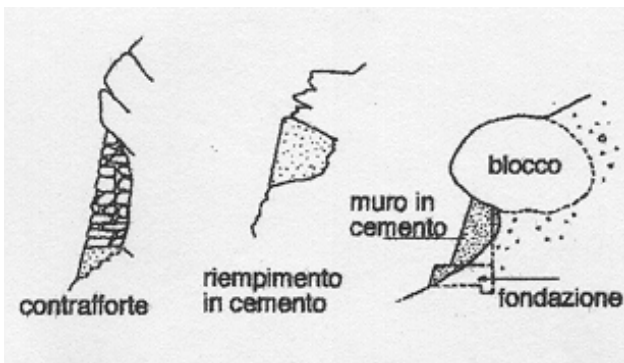
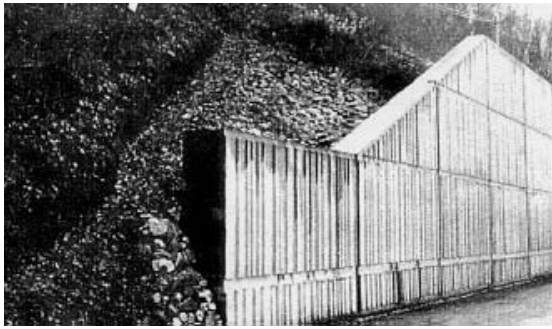


Figura 2.4: Muro, contrafforte e riempimento in cemento

- *Tiranti, chiodi, bulloni*: hanno la funzione di fissare blocchi instabili (di dimensioni mediamente maggiori di 1 m^3) alla parete rocciosa (fig.2.5). I tiranti sono interventi attivi utilizzati nella stabilizzazione di versanti rocciosi soggetti a fenomeni di ribaltamento e di crollo o in abbinamento a muri e paratie. I tiranti di ancoraggio sono elementi strutturali operanti in trazione e capaci di trasmettere forze al materiale. I bulloni e i chiodi vengono utilizzati, in ammassi rocciosi, per stabilizzare, vincolando a porzioni di roccia intatta, blocchi di materiale isolati da fratture.

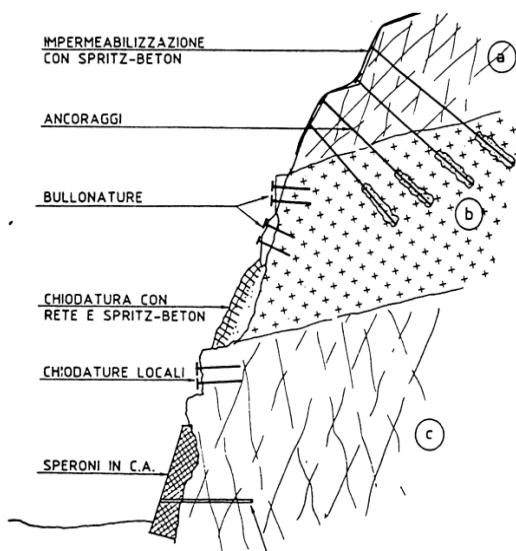


Figura 2.5: Tiranti, chiodi e bulloni

- *Reti e barriere paramassi*: sono strutture elastiche ad elevato assorbimento di energia, dimensionate ed ubicate in modo tale da arrestare il moto di rimbalzo/rotolamento dei blocchi rocciosi (fig.2.6).



Figura 2.6: Rete paramassi

- *Schermi e dispositivi di arresto*: si tratta di mettere in opera strutture paramassi quali schermi flessibili, rigidi o in terra; dispositivi di arresto e frenatura di pietre e blocchi) (figura 2.7)

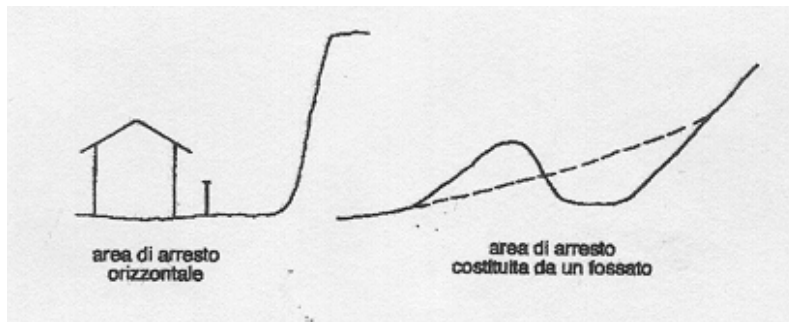


Figura 2.7: Dispositivi di arresto

- *Reti in aderenza*: si tratta di reti costituite da fili di acciaio zincato intrecciati in maglie poligonali. Tali strutture aderiscono corticalmente ai versanti e sono ad essi vincolati per mezzo di un sistema di ancoraggi meccanici (figura 2.8).

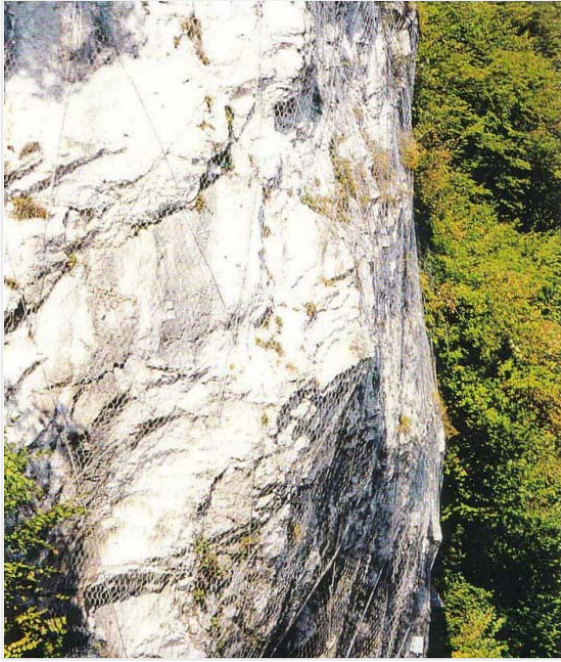


Figura 2.8: Rete in aderenza

Esistono anche altri interventi che possono essere utilizzati su pareti di roccia instabili, purché i blocchi non abbiano dimensioni rilevanti: ad esempio si può usare del calcestruzzo proiettato (per blocchi di volume mediamente minori di 1 m^3); si possono effettuare dei trattamenti sulle superfici esposte (copertura a griglia, figura 2.9) eventualmente anche con un terrazzamento di cui si garantisca la stabilità; infine, si può procedere ad una rivegetazione della parete con opportune essenze ed opere per la riduzione del ruscellamento superficiale.

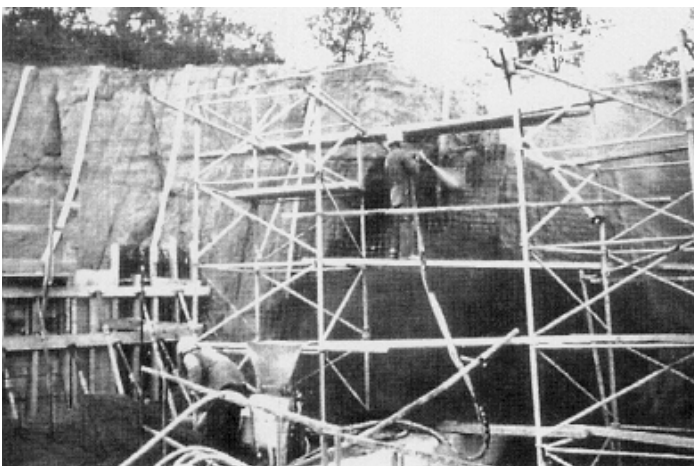


Figura 2.9: Copertura a griglia

2.2 Le Frane di scivolamento

2.2.1 Generalità

Si tratta di blocchi di roccia o di porzioni di terreno che slittano lungo una superficie (piana o curvilinea) (fig.2.10). Questa superficie coincide sempre con un orizzonte di debolezza cioè ad esempio coincide con una frattura, con il contatto terreno/roccia oppure con orizzonti argillosi contenuti internamente a terreni più grossolani.

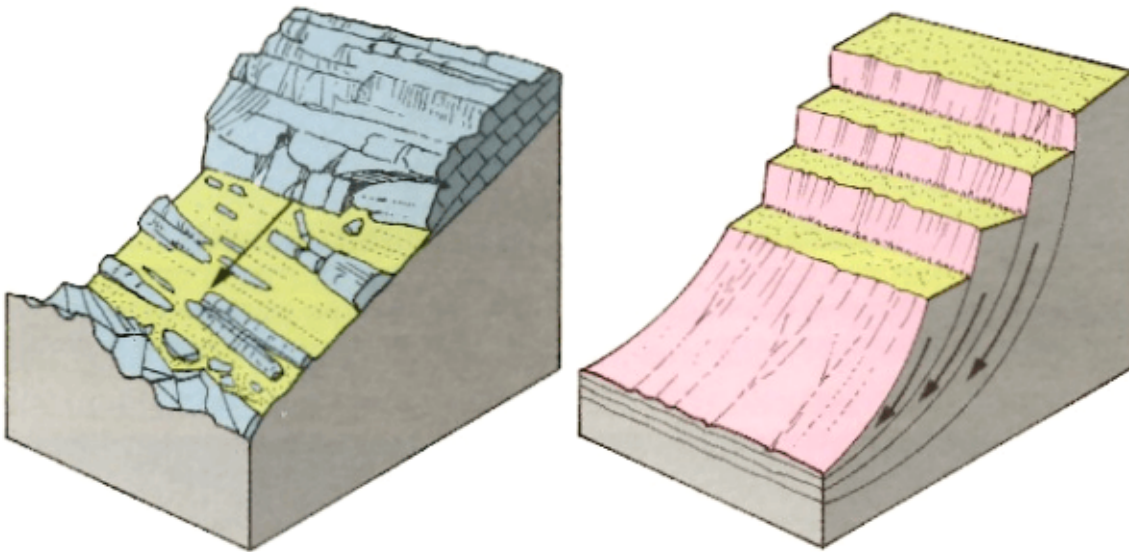
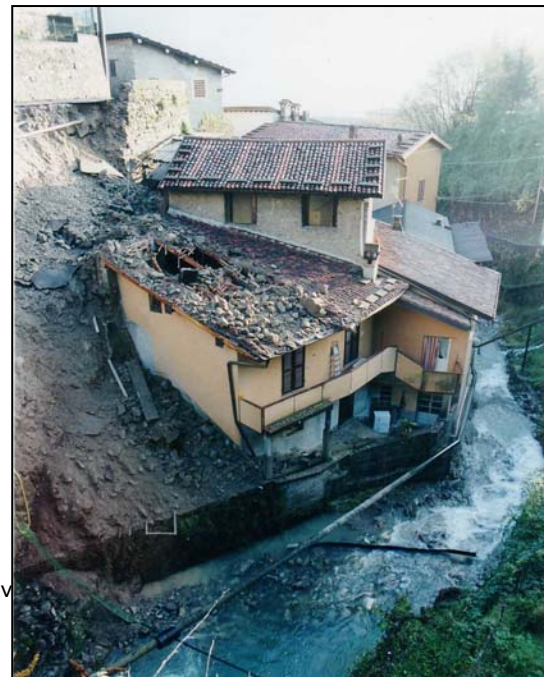


Figura 2.10: Scivolamento planare (a sinistra) e rotazionale (a destra)



Frana di scivolamento (La Conchita, primavera del 1995)



nto alluv



Scivolamento planare di lastroni di calcari marnosi. Al piede del versante rimane il corpo di frana costituito da detriti ancora oggi accumulati lungo il pendio

2.2.2 Cause predisponenti e scatenanti

Analogamente ad altre frane, anche le frane di scivolamento si sviluppano in versanti molto acclivi e possono coinvolgere sia le rocce che, più frequentemente, i terreni.

Queste frane spesso si verificano in versanti che molti anni addietro sono stati già interessati da frane (paleofrane) - si tratta cioè della riattivazione di movimenti già avvenuti - causate ad esempio dal rapido scioglimento dei ghiacciai (avvenuto tra 15.000 e 10000 anni fa) e della venuta a meno di un contrasto laterale che questi ghiacciai hanno esercitato per quasi 10000 anni (si pensi che tra 20000 e 15000 anni fa il territorio montano della Lombardia era quasi interamente sepolto da una coltre glaciale che poteva raggiungere anche 2000 metri di spessore, fig.2.11).

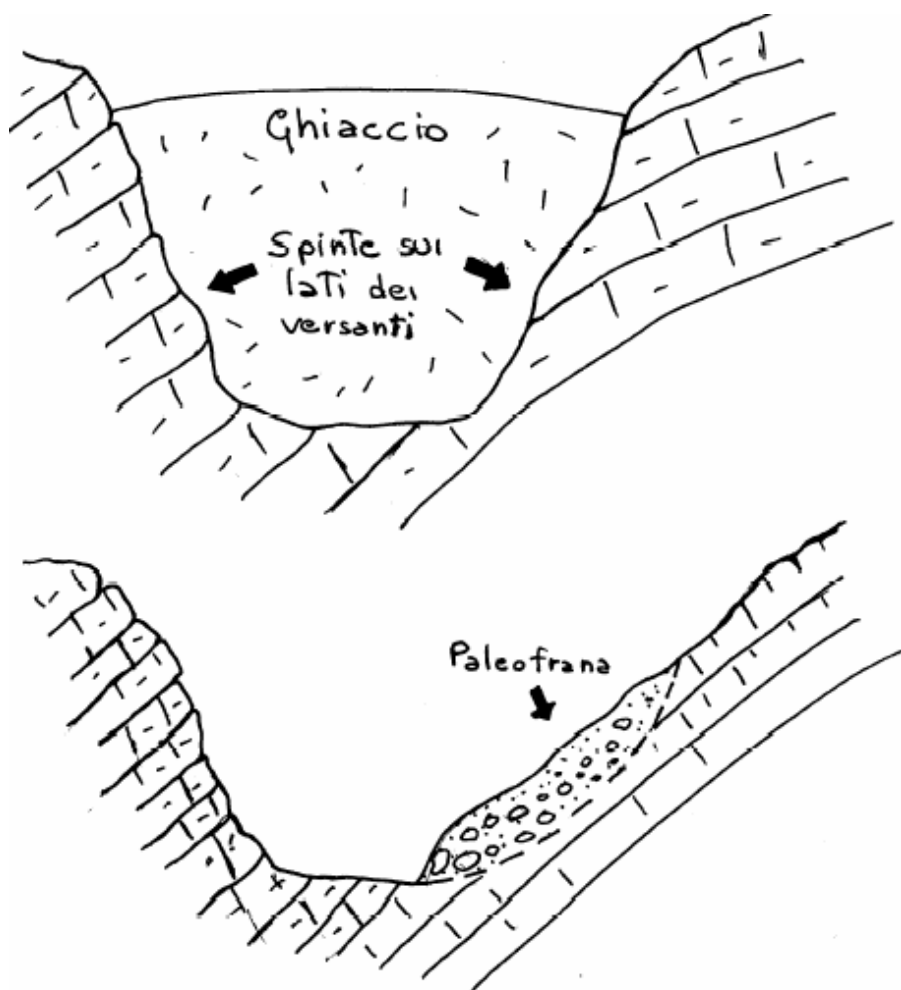


Figura 2.11: Paleofrana indotta dal detensionamento di un ghiacciaio

Tali paleofrane, a seguito di precipitazioni intense e prolungate nel tempo, tendono rapidamente a saturarsi d'acqua e non riescono più a stare in equilibrio sul versante precipitando a valle sotto forma di frane di scivolamento. La localizzazione di queste paleofrane è per lo più nota: esistono infatti documenti redatti dalla Regione Lombardia che riportano le principali paleofrane del territorio.

I fattori che innescano queste frane sono per lo più da ricondursi ad eventi meteorici intensi (piogge intense più o meno prolungate) o all'attività erosiva dei corsi d'acqua che scorrono alla base del versante.

2.2.3 Segnali premonitori

La valutazione della predisposizione di un versante a sviluppare frane di scivolamento avviene durante sopralluoghi mirati, durante i quali occorre rilevare alcune caratteristiche geometriche e geologiche dell'ammasso roccioso. In particolare, gli aspetti principali che dovranno essere valutati in sito sono i seguenti:

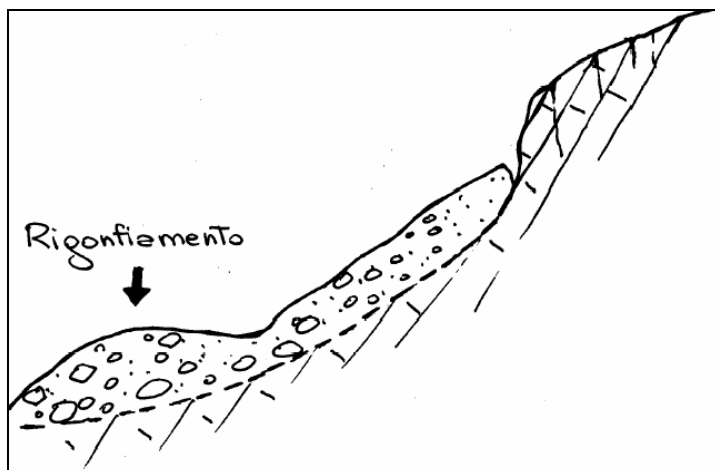
- **pendenza del versante:** l'instabilità di un versante è ovviamente tanto più elevata quanto maggiore è la sua pendenza, fermo restando che di per sé l'acclività non è sufficiente a determinare un franamento;
- **situazione meteorologica:** dal momento che una delle cause scatenanti di una frana di scivolamento è la pioggia, è importante prendere atto degli stati di allerta e preallerta che vengono emanati dalla Regione (Servizio Meteo Regionale) così da valutare, in occasione di eventi meteorologici intensi, quali sono i quantitativi di pioggia in grado di provocare instabilità. In generale sono le piogge intense e concentrate quelle che innescano movimenti franosi: i maggiori danni si registrano infatti proprio in queste condizioni. Le soglie di innesco delle frane non sono fissate a priori nel senso che dipendono da una serie di fattori quali le condizioni geologiche, l'altitudine, la morfologia dei versanti, ecc. In generale comunque si può affermare, con ragionevole certezza, che piogge di circa 120 mm che cadono in 24ore sono piogge critiche che generano condizioni di instabilità. Inoltre se questi quantitativi si ripetono a distanza di pochi giorni si ha una maggiore probabilità di franamento di quei versanti già geologicamente predisposti.
- **presenza di fratture** più o meno continue nella parte alta del versante. La presenza di una frattura (in genere dall'aspetto arcuato, curvilineo) nella parte alta del versante con o senza spostamento verticale è un segnale decisamente preoccupante per diverse ragioni. In primo luogo, la presenza di una frattura indica che c'è già stata una rottura all'interno del versante.



Frattura aperta nella parte alta di un versante

In secondo luogo, ma non meno importante, queste fratture costituiscono vie preferenziali di infiltrazione delle acque che ulteriormente vanno ad aggravare una situazione già fortemente compromessa. Inoltre se la frattura si presenta continua e con sensibili rigetti verticali (metrici) la situazione diviene preoccupante. Basti pensare che nella frana del Vajont il primo segnale premonitore dell'instabilità a cui tutto il Monte Toc era sottoposto è stata proprio la formazione di una fenditura a forma di M continua per ben 2500 metri! E' importante anche, una volta individuata la frattura, seguirne la sua evoluzione nel tempo. Chiaramente se la frattura continua ad aprirsi e/o approfondirsi significa che il versante è in rapido movimento. A questo punto occorre mettere in posto un adeguato monitoraggio in grado di misurare gli spostamenti e la loro evoluzione nel tempo (distometri, estensimetri, ecc). Analogamente a quanto affermato per le soglie di innesco delle piogge, non è possibile dire a priori quale sia l'apertura critica che fa evolvere il versante ad una situazione irreversibile di instabilità, anche se ragionevolmente fratture che si aprono di una ventina di centimetri in pochi giorni, magari accompagnati anche da rigetti di parecchi cm, sono preoccupanti per l'instabilità. Inoltre se non si assiste ad una diminuzione o ad una interruzione di questi movimenti, è opportuno avvisare immediatamente le autorità preposte (Sindaci, Prefetti, Vigili del Fuoco, ecc.) affinché vengano messe in atto tutte le procedure necessarie per far fronte ad eventuali situazioni di una vera e propria instabilità che potrebbe minacciare centri abitati, infrastrutture, ecc.. Tali procedure sono contenute all'interno dei Piani di Emergenza.

- **fenditure laterali sul versante** : quando un versante è in condizioni di instabilità non si genera solo una fenditura nella parte alta del versante, ma si aprono fratture più piccole disposte lateralmente alla massa che si sta muovendo. E' importante che anche queste fratture vengano segnalate e correttamente cartografate così da capire quali possono essere i volumi di materiale che potrebbero mettersi in movimento. Tutte le considerazioni effettuate per le fenditure nella parte alta del versante possono essere estese anche a quelle laterali.
- **rigonfiamenti alla base del versante**: l'instabilità di un versante è percepibile non solo da segnali ubicati nella parte alta del versante, bensì anche da particolari aspetti che riguardano il piede del versante stesso. Uno degli indicatori più caratteristici di instabilità che si possono rilevare nella parte bassa del pendio è un rigonfiamento che può risultare appena accennato o molto pronunciato. In entrambi i casi si tratta di un fattore che fa presagire una situazione di imminente pericolo. Inoltre se il rigonfiamento è anche accompagnato da venute d'acqua anomale, mai segnalate prima, si può pensare che la situazione sia vicina al collasso vero e proprio. Infatti le variazioni della circolazione idrica sotterranea devono essere sempre interpretate come segnali di instabilità.



- **ruscellamento d'acqua sul versante** : se dopo alcuni giorni di precipitazioni intense si formano dei veri e propri ruscellamenti d'acqua che scorrono in modo selvaggio sul versante, il terreno potrebbe essere completamente saturo d'acqua. In queste condizioni la stabilità del versante si riduce sensibilmente e un franamento si può verificare. L'attenzione va riposta anche ad eventuali ristagni d'acqua sul versante. Non è raro che in passato alcune frane di scivolamento siano state precedute da questi fenomeni: una loro corretta interpretazione ha consentito una preventiva evacuazione di centri abitati, riducendo così sensibilmente i danni alle persone.



Ruscellamento su un versante il giorno prima dell'evento franoso (Cortemina-LC)

- **lesioni di edifici, infrastrutture, ecc.:** altri elementi che non vanno sottovalutati qualora si rilevino su versanti che già presentano segnali di instabilità sono le lesioni

riscontrabili su strade, caselli di raccolta delle acque, abitazioni, muri, ecc. Infatti anche ridotti spostamenti del terreno, non sempre percettibili visivamente, si manifestano inizialmente con lesioni sulle costruzioni o sull'asfalto delle strade. Occorre controllare attentamente questi segnali che, unitamente ad altri, danno indicazioni di instabilità.



Deformazione del solido stradale



Lesione su un muro causato da movimenti del terreno

- **vegetazione:** analogamente a quanto visto per le frane di crollo, è importante osservare la vegetazione e l'inclinazione dei tronchi degli alberi situati su versanti. Se si

notano inclinazioni anomali nei tronchi, il versante, almeno nella sua porzione superficiale, potrebbe essere in movimento.

I segnali premonitori elencati sopra hanno lo scopo di individuare con un certo anticipo la predisposizione di un versante al franamento. E' chiaro che il rilevamento di un solo fattore non è di norma sufficiente a far affermare con certezza che il versante evolverà in una frana; occorre generalmente la combinazione di due più o fattori affinché il versante venga ritenuto effettivamente pericoloso. Se però tutti i fattori sono presenti, la situazione sicuramente è grave e fa pensare ad un pericolo imminente. Peraltro occorre ricordare che in alcuni casi, nonostante fossero presenti molti indizii instabilità, la frana non si è verificata. Questo probabilmente perché sono intervenute delle condizioni che hanno stabilizzato almeno temporaneamente il versante. Ad esempio un deciso e rapido miglioramento delle condizioni meteorologiche può rallentare il movimento in atto lasciando il tempo di mettere in atto interventi di sistemazione del versante (drenaggi, muri, ecc.) prima che nuove piogge possano scatenare in modo inarrestabile il fenomeno franoso.

Comunque se molti fattori sono presenti è meglio intervenire con opportuni provvedimenti (evacuazione, interruzione stradale, ecc.) per mettere in sicurezza i cittadini e poi valutare con adeguate indagini geognostiche la gravità del problema.

In ogni caso e' impossibile affermare con certezza se e quando la frana avverrà, l'unica considerazione fattibile è che esistono delle condizioni che potrebbero favorire lo scivolamento di materiale.

2.2. 4 Metodi da utilizzare per lo studio in dettaglio dei versanti soggetti a frane di scivolamento

Analogamente a quanto accade per le frane di crollo, anche per lo studio in dettaglio di versanti soggetti a frane di scivolamento esiste una normativa che prevede che vengano adottate delle procedure standardizzate riconosciute come rigorose ed attendibili.

In particolare la Regione Lombardia nel testo "Valutazione della pericolosità e del rischio da frana" stabilisce due differenti approcci per la valutazione della pericolosità delle frane di scivolamento a seconda che tali frane siano già avvenute e quindi conosciute, oppure non siano note.

Per le prime si ricorre ad una valutazione del loro stato di attività distinguendole in attive, quiescenti, inattive o relitte. Per l'attribuzione della pericolosità ci si basa su questa classificazione dell'attività attribuendo pericolosità 5 se la frana è attiva, pericolosità 4 se quiescente con movimenti registrati negli ultimi 10 anni, pericolosità 3 se quiescente con assenza di movimenti negli ultimi 10 anni, pericolosità 2 se inattiva e 1 se la frana è relitta.

Per quelle aree invece nelle quali la frana non si è mai manifestata, occorre innanzitutto suddividere il territorio in zone omogenee in funzione della litologia e della pendenza. Per

ciascuna area si procede poi al calcolo del Fattore di Sicurezza con i tradizionali metodi di stabilità che verranno scelti in funzione delle caratteristiche del versante.

A ciascuna area viene quindi associato un valore di pericolosità a seconda del valore del Fattore di sicurezza e del ruolo che l'acqua può avere sul versante.

2.2. 5 Opere di mitigazione

Anche per le frane di scivolamento, così come per quelle di crollo, esistono delle opere di mitigazione atte a ridurre il rischio indotto da questa tipologia di frana.

La scelta definitiva del tipo di intervento da adottare per mettere in sicurezza un versante non può prescindere da una conoscenza approfondita del versante stesso e delle sue caratteristiche geometriche, idrogeologiche e geotecniche. Pertanto non si può segnalare a priori l'intervento ottimale che garantisca la sicurezza del versante e la sua stabilità, è possibile solo fare una panoramica generale delle opere che normalmente vengono impiegate per questa tipologia di frana.

Occorre pertanto affermare che un intervento di questa natura non può che essere valutato di volta in volta e progettato ad hoc in funzione di una complessità di fattori che riguardano il versante e il contesto in cui questo è inserito.

Qui di seguito verrà quindi fatto un elenco di possibili opere di mitigazione impiegate per queste frane, senza peraltro entrare nel dettaglio delle caratteristiche progettuali di ciascuna di esse.

- *Interventi sulle strutture interessate dal dissesto.* Tali interventi riguardano sia il rinforzo delle strutture rigide o l'esecuzione di protezioni profonde (fig.2.12).

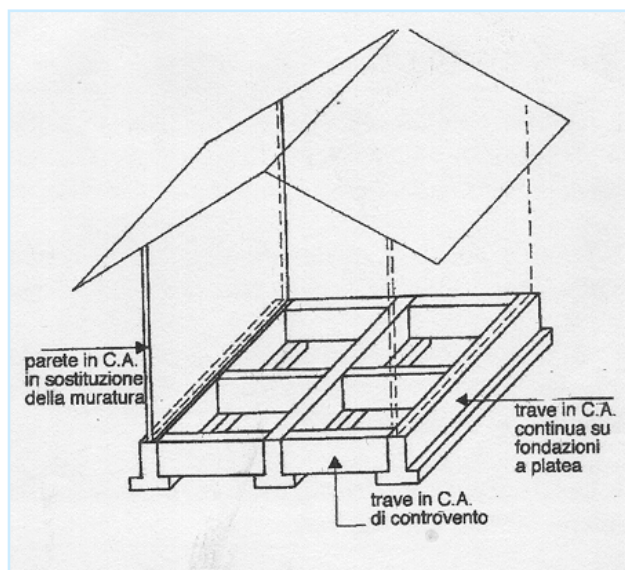


Figura 2.12: Possibili interventi su abitazioni

- *Rimodellamento del terreno*: può avvenire attraverso la realizzazione di gradonature che diminuiscono la pendenza del versante in terra. Tali gradoni possono essere rinforzati con berma (fig.2.13).

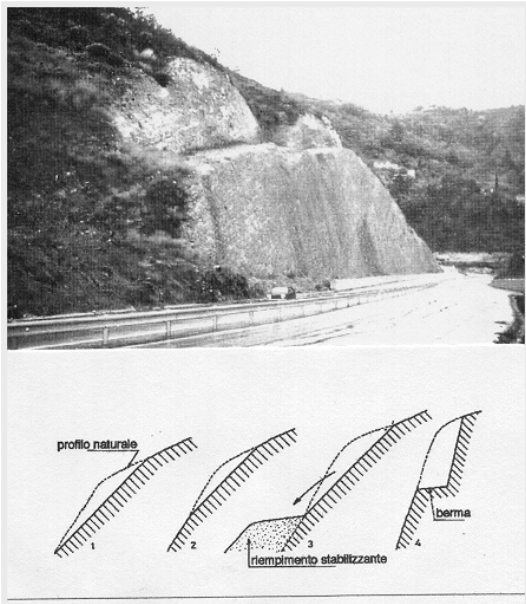


Figura 2.13: Rimodellamento del terreno con berma

- *Drenaggio dell'acqua*. L'acqua, causa scatenante delle frane in terra, rappresenta certamente l'elemento che deve essere ridotto o addirittura eliminato per la messa in sicurezza di un versante instabile. Pertanto il drenaggio è sicuramente l'intervento più utilizzato per la stabilizzazione di uno scivolamento sia esso in terra che in roccia. Si riconoscono opere di drenaggio superficiali e opere di drenaggio profonde. Al primo gruppo appartengono: le canalette superficiali, i fossi di guardia, i dreni intercettori, la sigillatura delle crepe nel terreno e i teli impermeabili.

Le *canalette* sono dei piccoli canali a sezione trapezoidale realizzati normalmente lungo la linea di massima pendenza. Possono essere rivestite con cemento, materiale naturale, o con geotessili. Hanno la funzione di incanalare le acque evitando che queste cadano selvaggiamente sul versante (fig.2.14).



Figura 2.14: Canaletta superficiale

I *fossi di guardia* sono ancora delle canalette che hanno un rivestimento rigido in calcestruzzo e sono situati a monte della nicchia di distacco in modo da raccogliere le acque superficiali provenienti da monte (fig. 2.15).

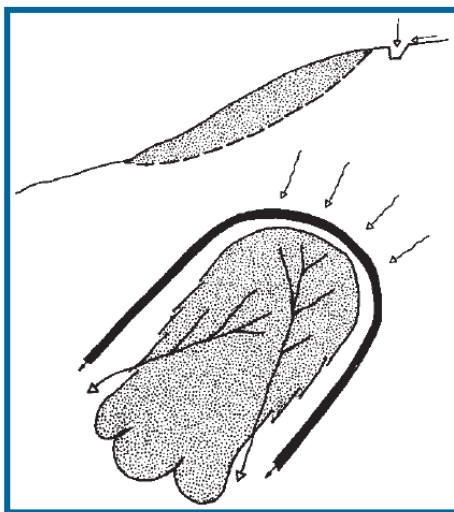


Figura 2.15: Fosso di guardia

I *dreni intercettori* sono sempre dei piccolo canali che vengono realizzati a monte della nicchia di distacco e a valle del fosso di guardia; hanno la funzione di raccogliere le acque che si infiltrano nel terreno di copertura.

Un altro intervento che può essere effettuato e che impedisce all'acqua di infiltrarsi nelle fenditure apertesesi nel terreno a seguito di instabilità, è quello della *sigillatura* con argilla compattata. Per evitare che l'acqua meteorica vada ad infiltrarsi in un terreno già instabile soprattutto laddove la vegetazione è assente, si possono utilizzare *teli*

impermeabilizzanti. Ovviamente si tratta di un intervento provvisorio in attesa che un altro intervento di stabilizzazione venga adottato.

Alle opere di drenaggio profonde appartengono: le trincee drenanti, i tubi drenanti suborizzontali, le gallerie e i pozzi drenanti, gli speroni drenanti e portanti.

Le *trincee drenanti* sono strutture allungate, con profondità massime dell'ordine di 5-6 m e larghezze di poco inferiori al metro, disposte parallelamente alla direzione di massima pendenza del versante (fig. 2.16). La costruzione di un sistema di trincee drenanti consente, a breve termine, l'immediato abbattimento della quota piezometrica della falda. L'azione drenante della trincea è svolta da un filtro in terreno naturale oppure, alternativamente da un geotessile. Il fondo della trincea drenante è dotato di una canaletta in calcestruzzo che può essere sostituita da fogli di polietilene se la superficie di appoggio ha bassa inclinazione. Sulla canaletta in calcestruzzo è appoggiato un tubo in cemento a elementi accostati oppure un tubo metallico forato per la raccolta delle acque drenate.

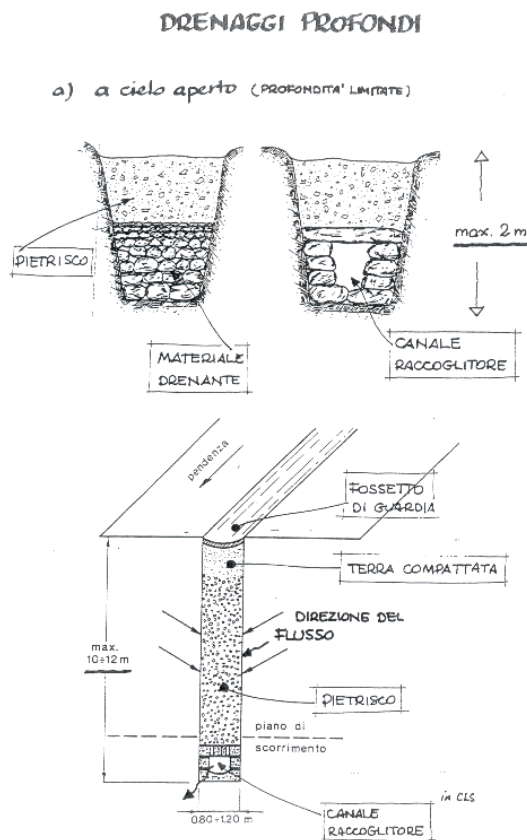


Figura 2.16: Trincea drenante

I *tubi drenanti* sono tubi suborizzontali o leggermente inclinati verso l'alto di 5-15° (figura 2.17). Entro dei fori preventivamente realizzati vengono inseriti

dei tubi, generalmente in PVC, forati o fenestrati, con diametri variabili tra 40 mm e 80 mm e spessori di 3-6 mm, rivestiti con geotessili; le profondità massime, cui possono lavorare i tubi drenanti sono dell'ordine di 50-60 m. I tubi drenanti possono rappresentare l'unico sistema profondo di drenaggio oppure, più frequentemente, essere collegati a gallerie o a pozzi drenanti in modo tale da allargarne il raggio di influenza. I tubi possono essere paralleli fra loro o disposti a raggiera.

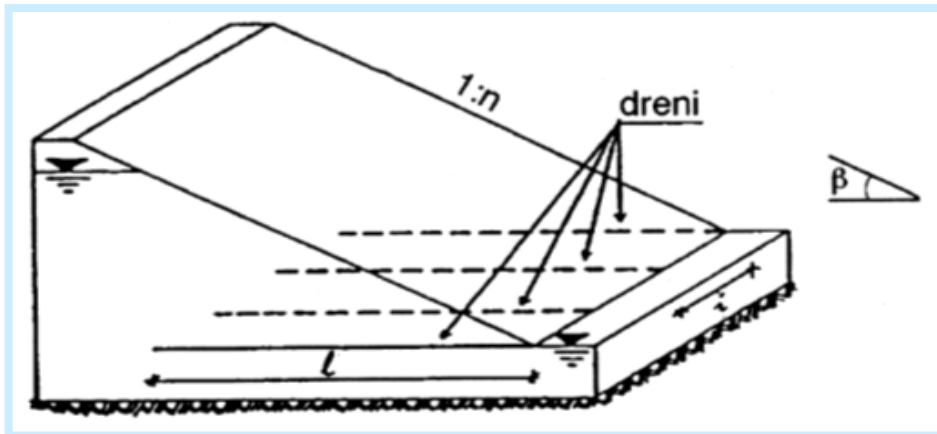


Figura 2.17: tubi drenanti suborizzontali

Altre opere di drenaggio profonde sono le *gallerie drenanti* (figura 2.18) le quali, essendo opere molto complesse e onerose, vengono realizzate solo in condizioni geologiche molto particolari (ad esempio frane profonde).

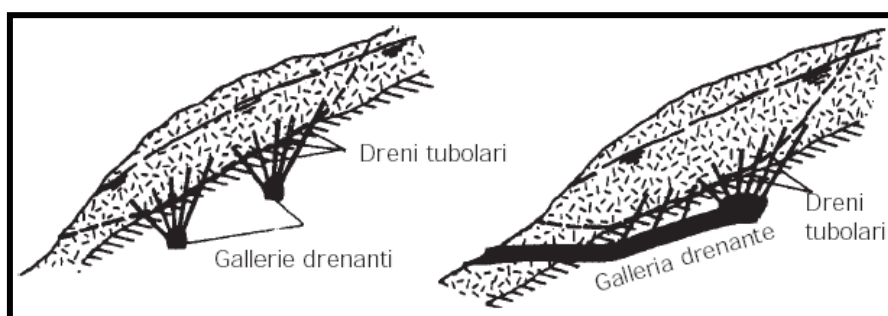


Figura 2.18: Gallerie drenanti

Gli *speroni drenanti e portanti*, oltre alla funzione propriamente drenante, svolgono una funzione di sostegno, sfruttando l'effetto arco del terreno in movimento (figura 2.19). Devono essere disposti secondo la direzione di massima pendenza.

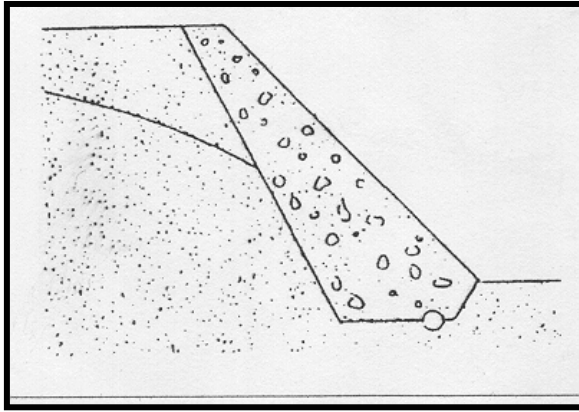


Figura 2.19: Speroni drenanti

- *Opere di sostegno*: sono strutture che devono essere fondate e appoggiate su porzioni stabili del versante (per esempio a profondità maggiori della superficie di scivolamento). È indispensabile, inoltre, che a tergo delle opere di sostegno venga predisposto un efficace sistema di drenaggio.

Le opere di sostegno possono essere rigide o flessibili. Le prime comprendono i muri (di controripa, di sottoscarpa, di sostegno) che possono essere: a gravità, a semigravità (in muratura, in calcestruzzo), in cemento armato gettato in opera, a elementi prefabbricati, a mensola, ecc.(figura 2.20). Le seconde comprendono le palancolate (metalliche, in cemento armato) (figura 2.21), i diaframmi (figura 2.22), i muri in gabbioni (figura 2.23); le cortine di pali in terra (figura 2.24).

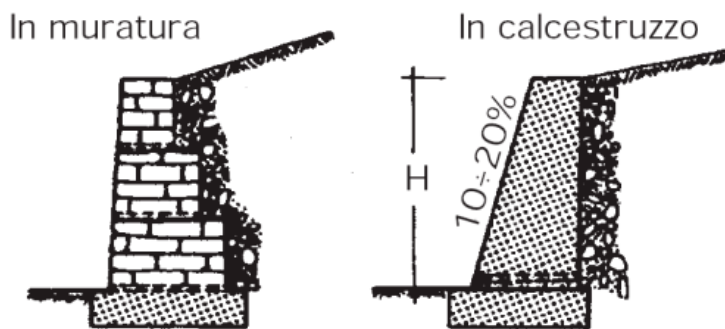


Figura 2.20: Muri



Figura 2.21: Palancole



Figura 2.22: Diaframmi



Figura 2.23: Muri in gabbioni



Figura 2.24: Pali in terra

- *Terra armata e rinforzata*: si tratta di creare dei rilevati in terra che vengono "armate" con geotessili, lamine di metallo, strutture in legno, ecc.(Figura 2.25). L'effetto sull'ambiente è abbastanza gradevole in quanto vengono vegetate con idrosemina.

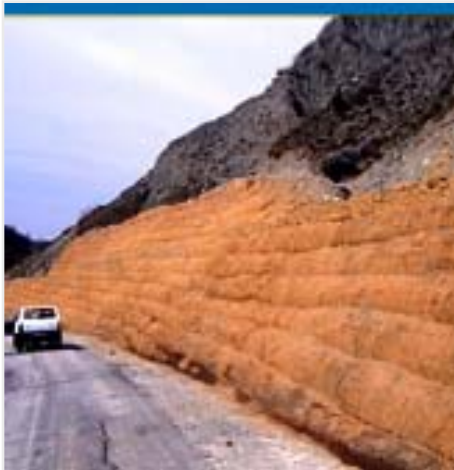


Figura 2.25: terra armata

- *Sistemazioni idraulico-forestali*: si tratta di opere di sostegno utilizzate per ridurre l'erosione superficiale dei versanti ad opera delle acque non incanalate e per impedire movimenti molto superficiali del versante stesso (figura 2.26).Comprendono: **muretti a secco** (costituiti da blocchi di roccia decimetrici); **muretti di gabbioni** (costituiti da una rete di filo di ferro zincato con maglie esagonali riempita da pietrame); **graticciate o viminate** (costituite da paletti di legno, lunghi circa 1 m, infissi nel terreno con una

inclinazione di 45° e intrecciati con rami di salice o con specie che non rinverdiscono); ***fascinate*** (formate da fascine appoggiate a paletti infissi nel terreno e a questi fissate); ***staccionate*** (simili alle fascinate, si distinguono da queste ultime per il fatto che le traverse sono costituite da tavole)



Figura 2.26: Principali sistemazioni idraulico-forestali

Altri interventi che possono essere effettuati per la messa in sicurezza di frane di scivolamento riguardano opere che riducono l'erosione al piede di corsi d'acqua quali opere longitudinali (pennelli, gabbioni, ecc.). Dal momento che tali interventi vengono per lo più realizzati per la regimazione di corsi d'acqua nel caso di colate di detrito, di fango o elevato trasporto solido, questi verranno descritti nel paragrafo dedicato alle opere relative a questa tipologia di dissesto.

2.3 Le colate

2.3.1. Generalità

Queste frane hanno caratteristiche molto diverse tra loro a seconda che interessino rocce o terreni.

Le colate in roccia sono piuttosto rare anche se ne esiste una tipologia molto pericolosa e piuttosto diffusa nelle nostre zone: le deformazioni gravitative profonde di versante. Si tratta di frane che si sono generate a causa del rilascio tensionale che hanno subito molti versanti dopo che i ghiacciai si sono ritirati (circa 15000-10000 anni addietro). Si tratta di movimenti lenti che si manifestano con la formazione di trincee, contropendenze, sdoppiamenti di creste e che possono poi evolvere in frane di scivolamento. Pertanto per la loro caratterizzazione si rimanda alle frane di scivolamento in s.s.

Per quanto riguarda le colate di terreno, si tratta di movimenti che si innescano quando si hanno precipitazioni intense e prolungate (Fig. 2.27). In genere l'acqua e il terreno si muovono rapidamente seguendo di preferenza impluvi naturali molto ripidi ed incisi.

Nei colamenti in presenza di grandi quantitativi di acqua, le distanze percorse possono essere anche molto grandi e la velocità del movimento può essere condizionata anche dalle dimensioni della massa che alimenta la frana. Nell'ambito dei colamenti rapidi si tende a distinguere la colata di detrito (debris flow) da quella di terra (earth flow).

La prima consiste di una miscela di materiali fini e materiali grossolani con una variabile quantità di acqua che forma una fanghiglia la quale si sposta a valle per gravità. Di solito un debris flow segue un percorso costituito da un fondovalle alquanto stretto e ripido. La colata di terra invece consiste essenzialmente di materiali fini e per tale motivo il suo spostamento è generalmente molto rapido; anche essa tende a muoversi lungo una vallecola stretta e ripida.

Le colate presentano una forma tipica stretta con una zona di svuotamento prevalente a monte e un pronunciato lobo nella zona terminale.

La zona intermedia è invece caratterizzata da fenomeni di trasporto in settori relativamente incanalati.

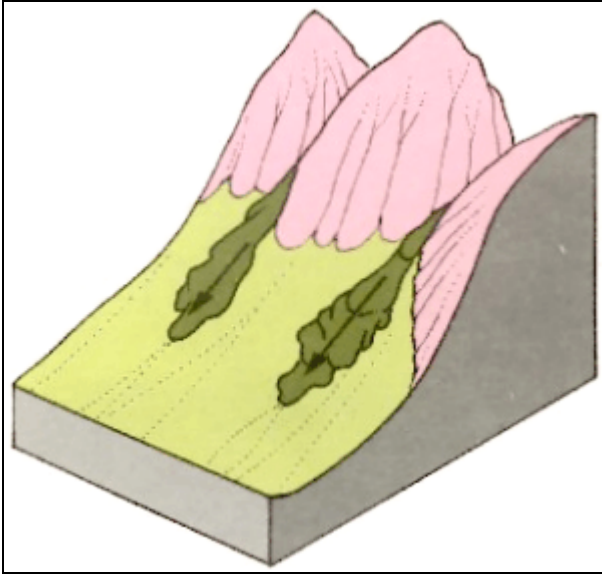
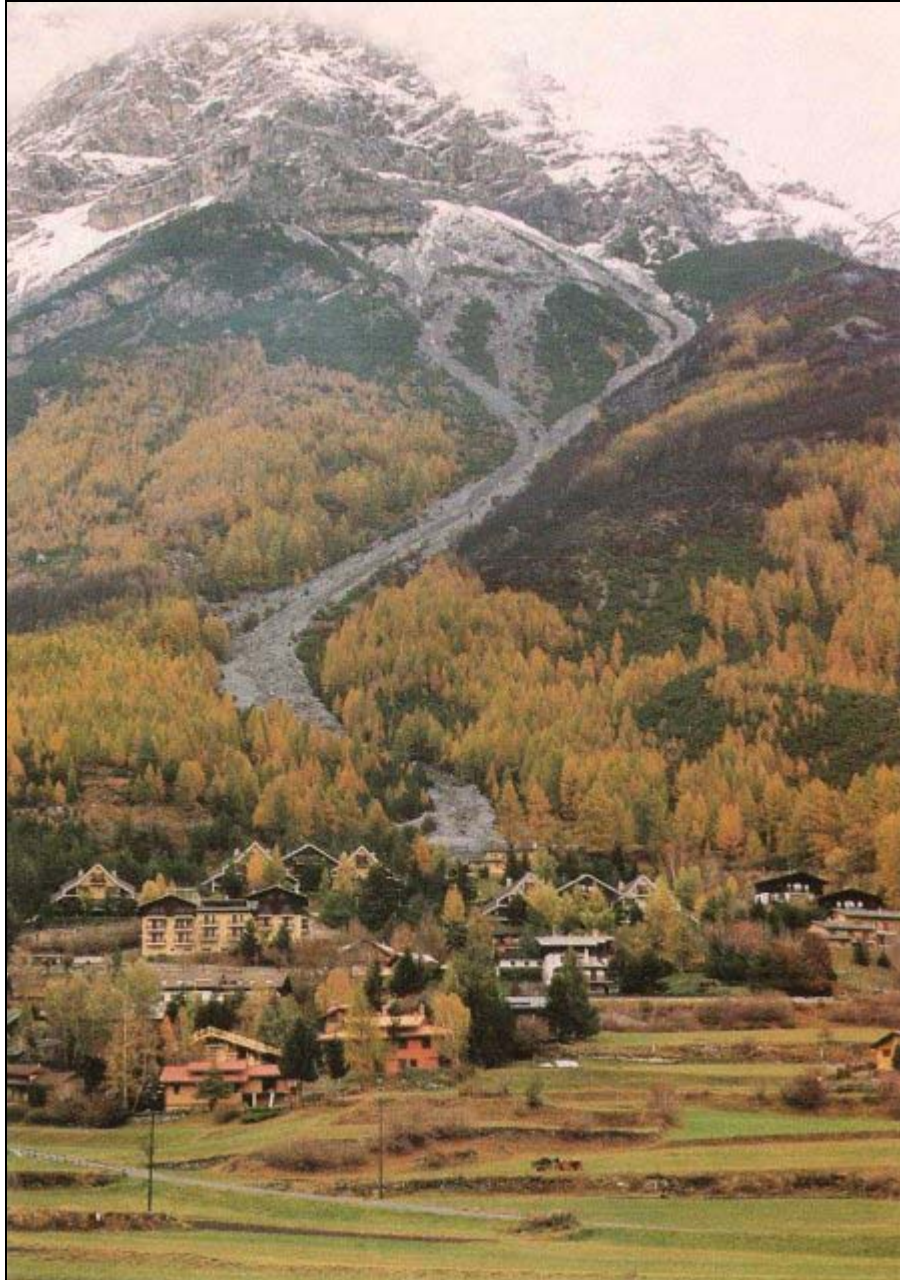


Fig. 2.27: Colate in terra



Il 22 luglio 1992 l'Alta Valtellina fu investita da un breve ma violento nubifragio (74 mm in 2 h) che determinò l'innesco di numerose colate detritiche sul versante sudoccidentale della Cresta di Reit. L'innesco del fenomeno si localizza in corrispondenza dello sbocco dei canali che incidono le pareti rocciose e che costituiscono vie preferenziali per il deflusso. Le colate percorsero poi distanze superiori al chilometro, intercettando in più punti la S.S. dello Stelvio e quella del Foscagno, nonché varie abitazioni.

2.3.2 Cause predisponenti e scatenanti

Le cause predisponenti di questa tipologia di frane risiedono nell'elevata pendenza dei versanti, nella abbondante presenza di materiale mobilizzabile e nella scarsa vegetazione la quale, quando è scarsa o assente tende a favorire i fenomeni di erosione superficiale.

Per quanto concerne il materiale mobilizzabile si tratta generalmente di materiale accumulato nei torrenti a causa dell'erosione sulle rocce oppure di materiale di origine glaciale o, ancora, di materiale di una vecchia frana che ostruisce un torrente.

La causa che per eccellenza scatena questi eventi è la precipitazione meteorica. Infatti in concomitanza di eventi piovosi di particolare intensità che magari si verificano durante piogge di lunga durata (es. 7-8 giorni) sovente si sono verificate queste tipologie di frane.

Occorre pertanto dire che sono abbastanza prevedibili quando si raggiungono certe soglie di precipitazioni. Ad esempio piogge di 40 mm in due ore oppure 130 mm in 24 ore sono piogge critiche che innescano con molta probabilità tali frane.

Ciò che invece risulta piuttosto difficile è la localizzazione delle zone sorgenti, il percorso che queste seguono, nonché la distanza di arresto di queste colate. Infatti un parametro di difficile valutazione relativo alle colate è la volumetria del materiale coinvolto da cui dipendono poi tutte le caratteristiche cinematiche di queste frane.

2.3.3 Segnali premonitori

Per le colate non si può parlare di veri e propri segnali premonitori localizzati in corrispondenza della zona di distacco o della zona di accumulo della frana, in quanto tali eventi sono da mettere in relazione all'intero bacino idrografico a cui i versanti appartengono.

Pertanto sarà possibile solo una valutazione di alcune condizioni generali che possono predisporre un versante o un intero bacino a questa tipologia di frana.

- situazione meteorologica: alla luce di quanto detto sopra e cioè che le colate sono innescate da eventi meteorologici intensi, occorre prendere atto degli stati di allerta o preallerta che derivano dai bollettini emanati dal Servizio Meteo Regionale. Se si hanno giorni continui di pioggia con punte di precipitazioni intense, ci sono le condizioni perché alcuni versanti possono dar luogo a queste frane. Ad esempio la situazione meteorologica del novembre 2002 era quella tipica che può innescare queste frane. Importante anche lo scioglimento repentino, a seguito di brusche variazioni di temperatura, di ghiacciai o di nevai. Ciò comporta un notevole afflusso idrico sia ai versanti che ai corsi d'acqua, i quali aumentano il loro potere erosivo.
- situazione degli alvei dei corsi d'acqua. Dal momento che le colate di detrito hanno origine da fenomeni di erosione dei versanti o da frane che ostruiscono i corsi d'acqua e che il materiale così generato va a incanalarsi negli alvei, è indispensabile andare ad analizzare lo stato di questi torrenti. Infatti se si riscontrano molti blocchi di roccia, di detriti, di tronchi di alberi, ecc. che vanno ad ostruire parzialmente o completamente il

letto dei torrenti, è probabile che in concomitanza di un evento di piena si possa anche scatenare una colata. Inoltre è importante censire le opere di restringimento del corso d'acqua (ponti, tombotti, ecc) e andare a valutare lo stato in cui essi si trovano in quanto solo un' attenta manutenzione di tali opere può ridurre sensibilmente i danni provocati da questi fenomeni.



Colata detritica in Val Tartano a seguito dell'evento alluvionale dl 1987



Zona di trasporto della colata detritica che nel 1990 ha interessato l'abitato di Civate (Lecco). Si osservi il notevole sviluppo longitudinale del fenomeno, che originandosi in zona prealpina, si propaga molto rapidamente lungo l'impluvio, andando poi al colpire il centro abitato situato sulla conoide

- ostruzione dei torrenti per frane già cadute. Come detto precedentemente, può accadere che, a causa di frane precedenti, un corso d'acqua può essere parzialmente o completamente ostruito. Ciò risulta particolarmente pericoloso in quanto la massa franata può cedere sotto la spinta dell'acqua che si raccoglie a monte della stessa e rapidamente mettersi in movimento originando una colata. Pertanto è importante una manutenzione continua e sistematica degli alvei e un monitoraggio dei versanti instabili per evitare questi movimenti che possono evolvere in modo rapido e pericoloso. L'elevato potere distruttivo che caratterizza le colate costituisce uno degli aspetti più temibili. Gli effetti più disastrosi normalmente non si hanno lungo il tragitto della colata, bensì laddove il torrente sbocca nella pianura (vedi evento Sarno 1998);
- materiale che si muove su fondo di un torrente: se dopo delle piogge intense si comincia ad osservare un cospicuo aumento del trasporto solido lungo i corsi d'acqua, è

opportuno andare a monitorare la situazione perché, qualora le condizioni meteorologiche non migliorino rapidamente, è probabile che si scateni una colata.





Alveo del Rio Toscio occupato da vegetazione: situazione estremamente pericolosa per un'eventuale colata detritica a seguito di un evento meteorologico intenso.



Alveo del Rio Toscio

2.3.4 Metodi da utilizzare per lo studio in dettaglio dei versanti soggetti a colate

Analogamente alle altre tipologie di frane contemplate in questo documento, la valutazione della pericolosità di versanti soggetti a colate o a scivolamenti che evolvono in colate avviene applicando una procedura standardizzata proposta dalla Regione Lombardia ("Valutazione della pericolosità e del rischio da frana" , 2001).

Innanzitutto è importante individuare quelle che sono le aree sorgenti di questi fenomeni e precisamente cartografare quelle aree coperte da depositi superficiali che in caso di forti piogge potrebbero rimobilizzarsi.

Una volta individuate, tali aree vengono suddivise in funzione di pendenza e resistenza al taglio (coesione ed attrito) omogenee; per ciascuna area omogenea verrà utilizzato il metodo del pendio indefinito che consentirà di definire un fattore di sicurezza al quale è associato un valore di pericolosità preliminare.

Il valore definitivo di pericolosità prevede la considerazione di altri due parametri quali le concentrazioni di acqua e la tipologia di vegetazione.

La procedura consente anche di calcolare la pericolosità nelle zone di accumulo delle frane così analizzate. Se il materiale che si muove non è incanalato, lo spostamento è in genere limitato ed il volume dell'accumulo non è molto superiore al volume della massa staccatasi. Pertanto per questi fenomeni, applicando opportune formule (es. Govi et Al, 1985), è sufficiente calcolare la massima distanza raggiungibile dalla frana. Invece per le colate incanalate, si dovrà studiare il singolo impluvio e, attraverso la stima di una serie di parametri e di considerazioni geomorfologiche da effettuare in sito, si potrà valutare la pericolosità dell'area di accumulo ad esempio applicando il metodo di Takahashi & Yoshida (1979), Liu (1996).

Per una descrizione dettagliata di queste metodologie e dei parametri che occorre valutare per una loro applicazione, si rimanda alla letteratura specializzata.

2.3.5 Opere di mitigazione

Le considerazioni effettuate per le frane di crollo e di scivolamento possono essere facilmente estese anche per questa tipologia di frana. Infatti in questa sede è possibile solo fare una panoramica generale delle opere di mitigazione normalmente adottate per la sistemazione di queste frane, senza peraltro entrare nei contenuti progettuali che necessitano di analisi dettagliate e specifiche.

Nell'ambito delle colate di terra e di detrito i sistemi di protezione normalmente impiegati si dividono in due grandi gruppi: i sistemi passivi e i sistemi attivi.

Caratteristica essenziale dei sistemi passivi è che questi non prevedono interventi di tipo strutturale che tendono a modificare la colata stessa. Tra queste rientrano la mappatura delle aree soggette al pericolo di colata e i sistemi di allertamento ed evacuazione. Per sistemi attivi si intendono invece tutte quelle misure che intervengono direttamente sulle colate cercando di modificarne il percorso o di ridurre l'impatto sulle strutture .

Qui di seguito verrà data una breve descrizione dei sistemi attivi in quanto quelli passivi rientrano nei metodi di monitoraggio che in questa sede non vengono trattati.

Dal momento che le colate spesso si muovono all'interno dei corsi d'acqua, per ridurre i danni ad esse connessi si ricorre ad interventi che riguardano la regimazione dei corsi d'acqua e precisamente:

- *opere longitudinali*: si tratta di realizzare un rinforzo degli argini dei corsi d'acqua utilizzando accumuli di massi lapidei o artificiali posizionati presso l'area instabile o facilmente erodibile (fig. 2.28).

TIPOLOGIE DEI RIVESTIMENTI

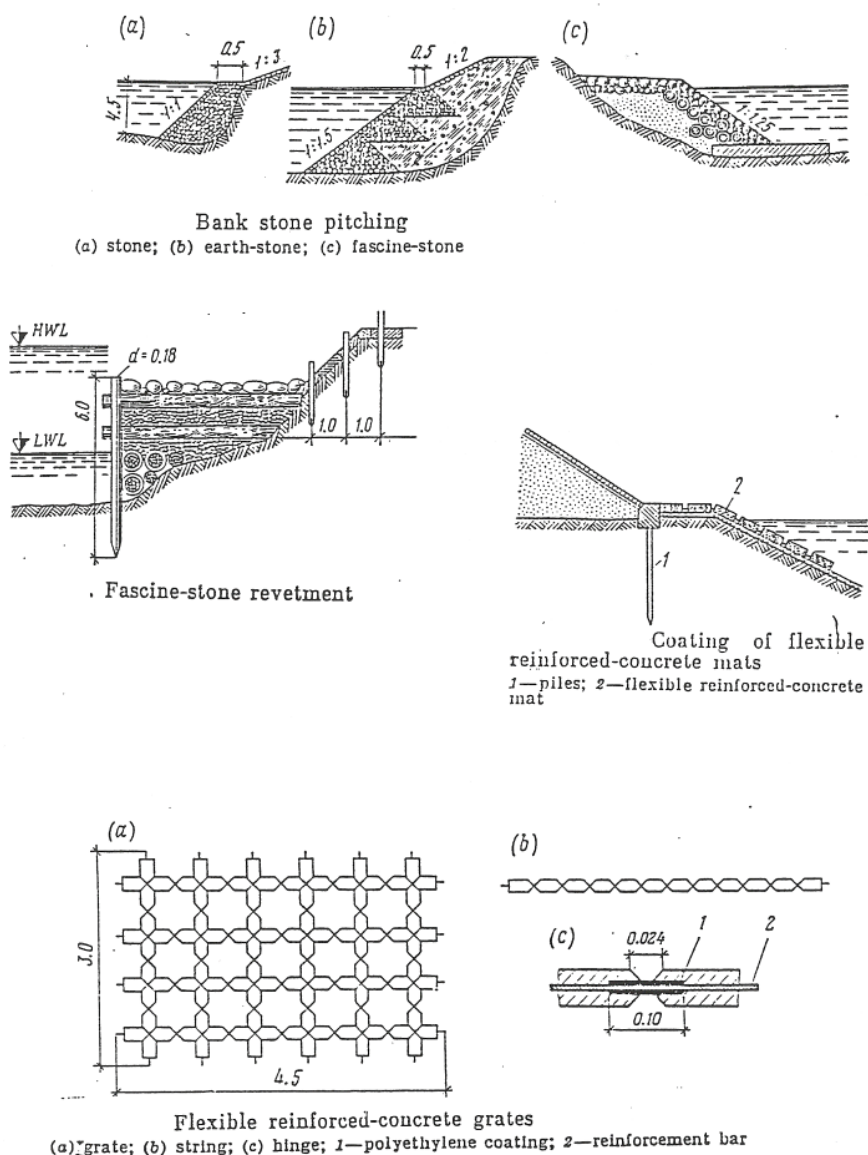


Figura 2.28: Opere longitudinali

- **Briglie**: sono opere di sbarramento del corso d'acqua, di altezza limitata (4-5 m), costruite in muratura (a secco, in cemento, in calcestruzzo), in terra, in legno, in gabbioni, in elementi prefabbricati ecc. Possono essere: **di consolidamento** (permettono di diminuire la velocità e, quindi, la capacità erosiva del corso d'acqua, figura 2.29), **di trattenuta** (hanno la funzione di arrestare, immediatamente a monte delle briglie stesse, il materiale trasportato sul fondo dal torrente, figura 2.30), **filtranti o selettive** (rappresentano un particolare tipo

di briglie di trattenuta; consentono di fermare temporaneamente il materiale solido trascinato dalla piena e di rilasciarlo, lentamente nel tempo, figura 2.31).

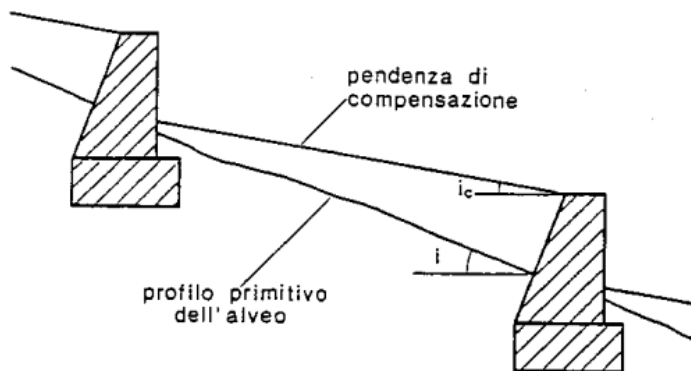


Figura 2.29: Briglia di consolidamento



Figura 2.30: Briglia di trattenuta



Figura 2.31: Briglia selettiva

- *Soglie*: Sono opere trasversali di sbarramento, simili alle briglie di consolidamento (figura 2.32). Hanno la funzione di ridurre la velocità della corrente, tramite la diminuzione dell'inclinazione del fondo del corso d'acqua (profilo di compensazione).



Figura 2.32: Soglie

- *Opere di contenimento di masse detritiche*: si tratta di opere che hanno la funzione di contenere la colata detritica o di terra qualora questa si generi. Comprendono le vasche di sedimentazione (allargamenti dei corsi d'acqua o veri propri bacini le cui dimensioni vengono calcolate in funzione dei volumi di materiale attesi, figura 2.33), e opere di deviazione quali ad esempio i cunei deviatori (figure 2.34 e 2.35).



Figura 2.33: Vasca di sedimentazione



Figura 2.34: Parte laterale di un cuneo deviatore



Figura 2.35: Cuneo deviatore

3. PRINCIPI E LINEE GUIDA PER LA REDAZIONE DI STUDI DI DETTAGLIO INERENTI UN CASO PARTICOLARE DI DISSESTO IDROGEOLOGICO: I BACINI IDROGRAFICI E I CONOIDI

3.1 Generalità

Un discorso a parte merita il rischio idrogeologico nei bacini idrografici e sui conoidi alluvionali di fondovalle. L'obiettivo principale di queste linee guida è quello di fornire dei criteri per lo studio di questa tipologia di dissesto idrogeologico, che richiede un approccio differente rispetto a quelle appena analizzate.

Il primo obiettivo che ci si pone è quello di creare una metodologia condivisa per la definizione degli scenari di rischio idrogeologico nei bacini idrografici in area montana e sui conoidi alluvionali.

Lo studio dei bacini idrografici e dei conoidi alluvionali richiede un'analisi dettagliata di vari dissesti che si possono attivare a domino o in tempi diversi i quali collaborano ad aggravare la situazione di rischio idrogeologico per conoidi e bacini idrografici. In teoria potremmo parlare di bacini idrografici, intendendo con questi anche i conoidi. Dunque per la valutazione del rischio di queste particolari strutture idrogeologiche verranno ripresi le seguenti tipologie di dissesto idrogeologico: fenomeni di esondazione, di trasporto solido, crolli in roccia, scivolamenti profondi e superficiali, come ad esempio i debris flow e le colate. A questi si aggiungono altre problematiche come per esempio la carenza idrica e l'esaurimento degli acquiferi. Questo mostra la complessità delle valutazioni geologiche in questo campo. Pertanto i conoidi devono essere trattati a parte con dei metodi ad hoc; per quanto riguarda invece i bacini idrografici, questi devono essere valutati nella loro interezza, senza prescindere da nessuna fenomenologia elencata.

Una valutazione dettagliata dei problemi di esondazione, di dinamica dei versanti e di interazione tra versanti e corso d'acqua può portare alla valutazione finale del rischio idrogeologico per i bacini idrografici e conseguentemente dei conoidi alluvionali.

L'obiettivo finale è quello di dare delle linee guida da fornire alla Provincia e agli Enti che operano in questo ambito per lo studio di queste aree.

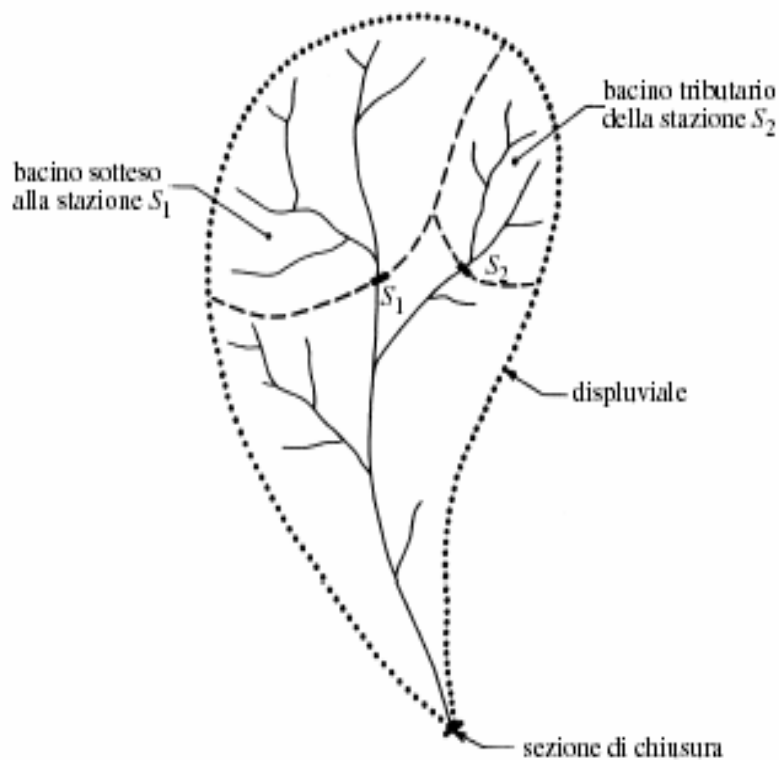
Tali linee guida vogliono affrontare il complesso problema del dissesto idrogeologico sui conoidi e per i bacini idrografici tramite un approccio multidisciplinare (geologia, idraulica, ing. naturalistica) per la corretta definizione del rischio causato dai dissesti.

In questa sede non verranno riprese in dettaglio tutte le tipologie di dissesto che possono interessare le pendici di un bacino idrografico o che possono andare ad alimentare il trasporto solido che giunge fino al conoide, per tale scopo si rimanda ai paragrafi precedenti.

3.2 Descrizione generale di un bacino idrografico

Vi sono vari modi per definire un bacino idrografico.

Il bacino idrografico è un'entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa dalla suddetta sezione. Più semplicemente il bacino idrografico è il luogo dei punti da cui le acque superficiali di provenienza meteorica ruscellano verso il medesimo collettore. Quindi ogni corso d'acqua definisce un particolare bacino idrografico. Per studiare la complessità dei fenomeni che avvengono in alveo e che spesso, in ambito montano, causano molti problemi bisogna in primo luogo analizzare l'intero bacino sotteso dalla sezione finale del corso stesso.



La prima operazione da fare è quindi quella di individuare su una carta topografica la delimitazione areale del bacino. Per fare questo bisogna innanzi tutto definire la sezione terminale o di chiusura.

A questo proposito, a seconda di come viene scelta la sezione di chiusura vi sono due definizioni di bacino:

- BACINO IDROGRAFICO PRINCIPALE: la sezione di chiusura coincide con la foce del corso d'acqua;
- BACINO SECONDARIO o SOTTOBACINO: la sezione di chiusura considerata è una qualunque sezione fluviale posta a monte della foce.

Quando si esamina il bacino idrografico principale si considera il bacino nella sua interezza; a volte invece serve studiare solo parte del bacino, in tal caso si analizza un suo sottobacino.

La complessità dei dissesti idrogeologici in atto in un bacino idrografico montano è data dall'interazione che esiste tra la rete idrografia e i versanti.

Infatti dalla definizione stessa di bacino idrografico si vede che entrano in campo questi due differenti aspetti che però continuano ad interagire e a rendere ancora più complessa la valutazione del rischio di queste aree.

I versanti sono infatti definiti come superfici laterali ai rami della rete sulle quali si abbattono le precipitazioni che trovano recapito nella rete idrografica stessa.

I processi che interessano i versanti sono differenti da quelli che riguardano i corsi d'acqua e pertanto, seppure concatenati, devono essere valutati in modo differente. Tra le due unità rimane infatti una forte connessione fisica dato che i fenomeni che avvengono a scala di pendice determinano degli effetti anche sul reticolo idrografico. Ad esempio i fenomeni di erosione idrometrica che interessano i versanti danno luogo alla formazione di flussi torbidi che, trovando recapito nella rete idrica, determinano alterazioni nel regime del trasporto solido fluviale.

La distinzione tra reti e pendici ha una sua logica anche per gli interventi di sistemazione. Per i due processi dovranno adottarsi delle differenti soluzioni progettuali e specifici manufatti. Gli interventi di sistemazione idraulica devono riguardare però l'intero bacino e vengono solitamente realizzati procedendo da monte verso valle dato che i dissesti nelle zone a monte provocano degli effetti a valle.

Per uno studio di un bacino idrografico è importante valutare gli aspetti morfologici del bacino stesso, ovvero le caratteristiche geometriche del rilievo. La morfometria è lo studio dei caratteri morfometrici che permette di relazionare i suddetti parametri con i processi ideologici a scala di bacino. E' infatti possibile costruire la risposta idrologica di un bacino (formazione di deflussi) sulla base di questi caratteri geomorfologici del bacino.

Gli elementi di forma si possono analizzare in questo modo:

-*Proprietà lineari*: riguardano il drenaggio e ci si riferisce a parametri quali lunghezza, numero di nodi ecc...

-*Proprietà areali*: utilizzate per definire le superfici di alimentazione (versanti), come per esempio la permeabilità;

- *Proprietà di rilievo*: caratterizzano il bacino dal punto di vista altimetrico.

In questa sede non si entra nel dettaglio sulla valutazione di questi parametri morfometrici, che però risulta necessaria per lo studio di un bacino idrografico. Ad esempio in base alla caratterizzazione del bacino da un punto di vista altimetrico si riesce a costruire la curva ipsometrica. Dall'andamento della curva ipsometrica si deduce il grado di evoluzione del

bacino: stadio giovanile (in fase di erosione), stadio di maturità (condizioni di equilibrio) e stadio di senilità (fase di deposizione).

Dalla definizione di questi stadi di evoluzione dei bacini idrografici si evince che vi sono differenti azioni dell'acqua:

-EROSIONE: solitamente si manifesta a monte dove la velocità dell'acqua è notevole

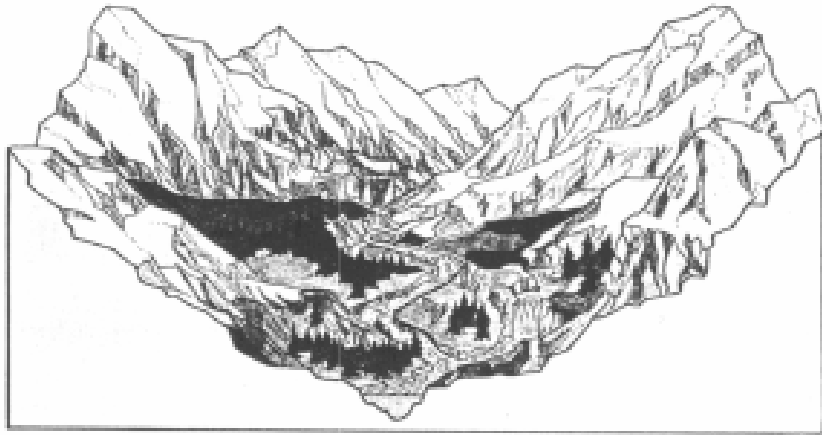
-TRASPORTO: in queste zone il corso d'acqua è interessato sia da trasporto in sospensione sia da trasporto sul fondo.

-SEDIMENTAZIONE: questa fase solitamente la si ritrova dove le pendenze diventano più dolci, quindi verso la sezione di chiusura del bacino. Può avvenire in tre modi: delta, estuari e conoidi. Quelli che considereremo nel prossimo paragrafo sono i conoidi.

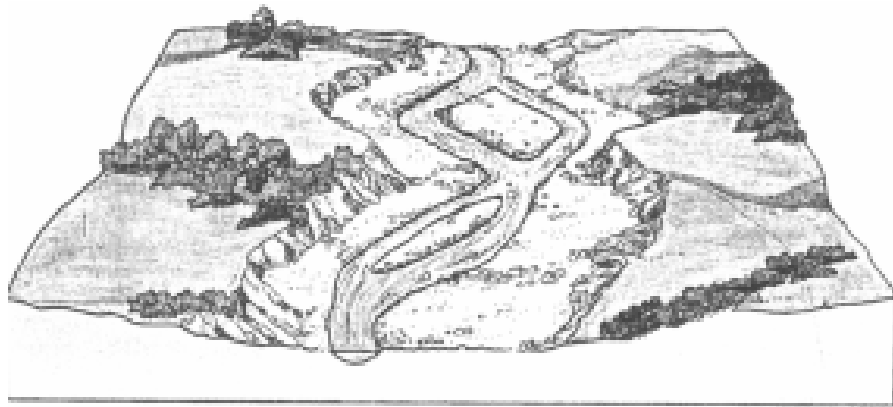


Un bacino idrografico in territorio montano può essere suddiviso in tre parti: tratto montano, tratto medio-vallivo e infine tratto vallivo. Questa suddivisione è data da differenti caratteristiche geomorfologiche e idrauliche a cui corrispondono differenti problemi dal punto di vista idrogeologico.

Tratto montano: Questa parte è caratterizzata da pendenze più elevate. In esso si formano, a seguito di processi di erosione e di trasporto di materiale solido, i primi solchi della nascente rete idrografica. La sezione fluviale è generalmente stretta e profonda e il materiale solido ha dimensioni rilevanti. In questa parte del bacino idrografico il corso d'acqua ha caratteri spiccatamente torrentizi.



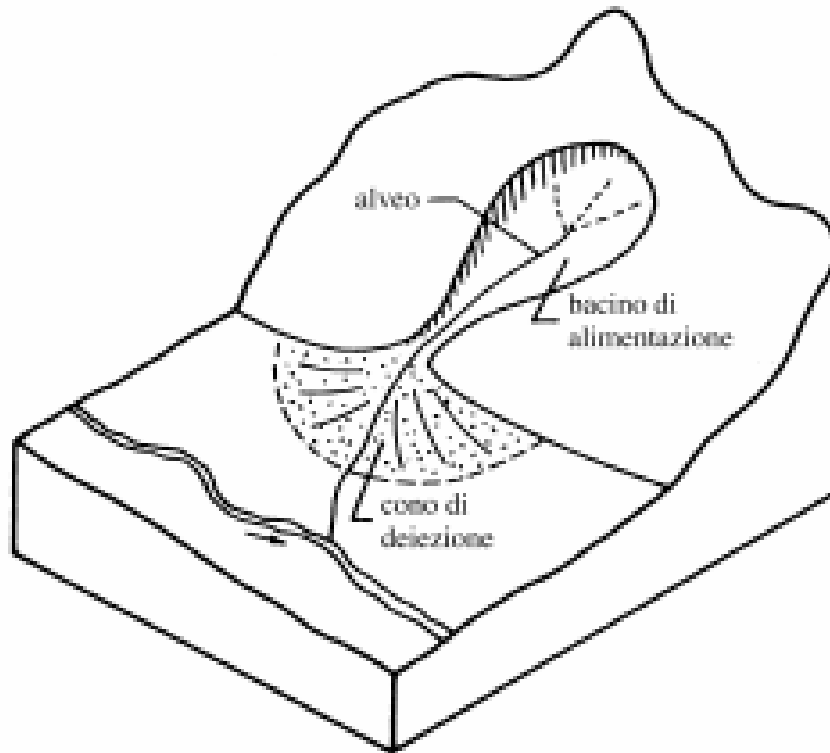
Tratto medio-vallivo: Questa parte del bacino idrografico è caratterizzata da un alveo poco inciso, piuttosto ampio, spesso ramificato e con un andamento planimetrico variabile nel tempo. Il materiale solido proveniente da monte ha subito un affinamento, legato al trasporto, nelle dimensioni.



Tratto vallivo: Questo tratto risulta molto tortuoso, spesso con un tipico andamento meandriforme, ed è caratterizzato da valori contenuti della pendenza del fondo dell'alveo. La corrente determina spesso il deposito di parte del materiale solido, di dimensioni contenute, trasportato che tende a colmare la sezione fluviale, in genere molto larga e poco profonda.



Il torrente attraversa diversi stadi evolutivi in cui modificandosi comporta dei cambiamenti non solo al corso stesso ma a tutto il bacino. Esaurita la fase giovanile, in cui il corso d'acqua cerca di prendere la sua forma naturale facendo prevalere il gradiente erosivo, il bacino si compone di tre parti: bacino di alimentazione, alveo principale e cono di deiezione.



Il *bacino di alimentazione* è una zona di produzione dei materiali solidi, soggetta ad erosione idrica di tipo sia laminare sia incanalata.

Nell'*alveo principale* i materiali erosi provenienti dai versanti sono trasportati verso valle dalla corrente e vanno a sommarsi a quelli prelevati dalla corrente stessa per escavazione del fondo e per erosione delle sponde dell'alveo.

Infine, nel tratto vallivo, i prodotti dell'erosione vengono in parte depositati lungo l'alveo a causa di rallentamenti della corrente e la frazione che raggiunge la zona di accumulo può essere trattenuta o allontanata verso il recapito finale. In questo modo si forma il *cono di deiezione* (conoide).

3.3 Generalità sui conoidi

In questo paragrafo si vuole focalizzare l'attenzione sulle problematiche relative ai conoidi di deiezione di fondovalle. Tali aree risultano particolarmente vulnerabili dal punto di vista idrogeologico proprio per la loro genesi in quanto si tratta di depositi di materiali dovuti al cambio di pendenza che si verifica allo sbocco dei corsi d'acqua minori nei ricettori di

fondovalle. Queste deposizioni possono avvenire gradualmente nel corso del tempo o in seguito a vere e proprie colate di detriti.

Nelle vallate i conoidi alluvionali sono stati fin dall'antichità siti privilegiati per l'insediamento e lo sviluppo dei centri urbani; però fenomeni di trasporto solido responsabili della loro edificazione rappresentano una continua fonte di pericolo per le comunità presenti. Ciò soprattutto per la difficoltà di prevedere questi fenomeni sia in termini di quantitativi di materiale trasportati che in termini di durata e frequenza.

Per quanto riguarda la situazione nel nostro territorio, si deve dire che una frazione rilevante del territorio regionale risulta esposta ai fenomeni di dissesto idrogeologico nelle aree di conoide. Queste aree si trovano allo sbocco di valli solitamente piccole ma profondamente incise che, con il lento apporto di materiale, ne hanno modellato la morfologia e ridotto la pendenza: nel territorio alpino lombardo circa il 25% delle zone urbanizzate giace su aree di conoide. Infatti, la notevole fertilità dei terreni e la particolare conformazione morfologica spiegano l'alta densità di urbanizzazione di tali aree. Il grado di pericolosità dei conoidi – ambienti particolarmente attivi dal punto di vista geomorfologico – si trasferisce così a una parte significativa degli insediamenti residenziali e produttivi.

Quando si studia un conoide bisogna saper valutare le modalità con cui si è formato e come potrebbe evolvere nel tempo. Per far questo si deve valutare il trasporto solido nel corso d'acqua. La definizione di questo aspetto così importante per i conoidi non può prescindere da una dettagliata analisi delle aree sorgenti di sedimento che si trovano nel bacino idrografico in questione.

I fattori che entrano in gioco nella determinazione della dinamica del trasporto negli alvei torrentizi sono: l'energia della corrente, che ne condiziona la capacità di trasporto, l'assetto geometrico e morfologico dell'alveo, l'erodibilità dei materiali, riconducibile alla natura geologica dei litotipi e la disponibilità di sedimenti. La degradazione dei versanti costituisce, nel medio-lungo periodo, la principale fonte dei sedimenti veicolati dalla corrente lungo il reticolo idrografico. Un cenno particolare in questo ambito meritano quindi i fenomeni di erosione a scala di bacino. Vi sono vari metodi che permettono di valutare il materiale eroso; una delle principali formule utilizzate è USLE, ovvero la formula universale per la valutazione della perdita di suolo. Vi sono anche altri metodi per valutare l'erosione a scala di bacino, come ad esempio: RUSLE, MUSLE, Modelli matematici (Shalstab) ecc... Spesso però non si riescono a valutare correttamente questi fenomeni in quanto non si tiene conto dell'erosione localizzata dovuta per esempio a frane, eventi meteorici eccezionali oppure a cause antropiche come ad esempio disboscamenti, infrastrutture viarie, turistiche, movimenti terra ecc... Queste aree, specie quando vengono a trovarsi in prossimità degli alvei, costituiscono superfici ad elevato indice di convogliamento, veri e propri depositi di materiale che viene mobilitato dall'erosione idrica nel corso degli eventi di piena. Ne risulta dunque che l'entità e l'ubicazione di queste aree in dissesto ha una diretta influenza sull'entità del materiale trasportato. In questa sede non si tratterà in dettaglio circa le metodologie per poter valutare le aree soggette a questi

fenomeni, è importante ad ogni modo sapere che l'identificazione e la classificazione delle aree sorgenti di sedimento può essere effettuata mediante tecniche di fotointerpretazione o tramite rilievi direttamente sul campo.

3.4 Metodi da utilizzare per lo studio della pericolosità dei conoidi

Vi sono vari metodi per studiare in dettaglio queste particolari strutture idrogeologiche; attualmente si sta lavorando al loro affinamento, in quanto richiedono uno studio molto dettagliato di tutto l'intero bacino idrografico che si trova a monte del conoide e spesso i metodi tradizionali risultano troppo approssimativi o viceversa troppo dettagliati e quindi onerosi in termini economici e di tempo.

Visto che le colate di detrito e di fango sui conoidi, fenomeni che spesso interessano queste aree, hanno una pericolosità alta la Regione Lombardia propone dei metodi con i quali studiare i conoidi.

Le colate su conoidi provocano varie vittime in quanto il fenomeno si esplica con una certa velocità.

In base alla d.g.r. 7/7582 del 21 dicembre 2001 viene asserito da parte della Regione Lombardia che per ogni conoide è necessario effettuare uno studio singolo, in quanto le situazioni dei conoidi sono troppo differenti tra loro. Si ritiene che una valutazione di pericolosità debba avvenire a livello euristico- deterministico, conoide per conoide, con livello di dettaglio adeguato (1:5.000 – 1:2.000).

Valutazioni più complessive a livello di aree vaste o omogenee, possono essere fatte in fase preliminare con lo scopo di poter gerarchizzare i conoidi e definire quali siano le aree più critiche che necessitano interventi di somma urgenza. Per la Provincia di Varese è già stato realizzato uno studio a scala provinciale, come riportato nei paragrafi precedenti, in cui è già stata effettuata una sorta di gerarchizzazione dei conoidi in base alla loro magnitudo.

Di seguito si riporta invece la metodologia da utilizzare a scala di dettaglio per la valutazione della pericolosità e del rischio per i conoidi.

3.4.1. Studi di dettaglio della pericolosità su conoidi

La valutazione in dettaglio della pericolosità su conoide generata da fenomeni di trasporto solido e/o in massa tipo debris flow o debris torrent deve essere condotta in primo luogo attraverso una ricognizione storica che permetta di chiarire un quadro spaziale e temporale dei principali fenomeni generatori di rischio avvenuti sulla conoide. Le informazioni da raccogliere riguardano il numero e l'entità degli eventi occorsi per individuare le aree o i manufatti danneggiati. Un altro elemento da valutare è la divagazione in epoca storica dell'alveo all'interno della conoide. Questo permette innanzitutto di comprendere l'intensità dei fenomeni

occorsi in quanto la deviazione dell'alveo si manifesta principalmente a seguito di grossi eventi che modificano sensibilmente la morfologia locale dei luoghi creando vie preferenziali di fuga che vengono mantenute anche all'esaurimento dell'evento parossistico. Lo studio di fotografie aeree multitemporali è un metodo molto utile per raggiungere questo scopo.

Una volta recuperati i dati storici disponibili con le relative cartografie, l'attenzione deve essere posta alla comprensione delle reali condizioni del bacino e della conoide sottesa attraverso rilievi diretti sul territorio. Le informazioni da raccogliere riguardano sia la geologia, la geomorfologia e l'idrologia del bacino sia l'idraulica del corso d'acqua che lo attraversa; l'obiettivo da raggiungere è la comprensione da un lato delle volumetrie del materiale rimobilizzabile nel bacino (magnitudo) e dall'altro delle portate idriche necessarie al suo trasporto. Il calcolo della magnitudo può essere fatto sia attraverso valutazioni dirette investigando le aste e i versanti del bacino e stimando i volumi di materiale presente o attraverso alcuni metodi empirici presenti in letteratura. Allo stesso modo sono presenti metodi diretti ed indiretti per calcolare le sezioni di deflusso, la superficie inondata e le portate di una colata. Per quanto riguarda l'idrologia del bacino è necessario fare riferimento a serie pluviometriche storiche derivanti da stazioni meteorologiche presenti nel bacino stesso o in bacini limitrofi aventi medesime caratteristiche. Una volta comprese le dinamiche del bacino nel suo complesso l'attenzione verrà posta alla conoide vera e propria individuando nel dettaglio le opere idrauliche esistenti, il loro grado di efficienza e manutenzione ed il ruolo che possono avere sulla pericolosità. Si dovranno rilevare ad esempio:

- i punti critici sulla conoide come sezioni d'alveo ristrette, attraversamenti ecc
- settori di alveo con diversa influenza sul deflusso delle portate solido-liquide,
- gli argini e le scogliere realizzate nella zona di pertinenza fluviale
- opere idrauliche (briglie o soglie) o ponti realizzati in prossimità dell'apice della conoide in grado di determinare una deviazione del corso d'acqua
- briglie poste a valle di attraversamenti che presentano un forte innalzamento del fondo dell'alveo (sovralluvionamento)

I dati raccolti attraverso i punti menzionati precedentemente concorrono alla definizione di porzioni di territorio con pericolosità diversa che nel complesso costituiranno la carta della pericolosità.

3.5 Opere di sistemazione per i conoidi e per i bacini idrografici

Sui conoidi si possono riconoscere diverse tipologie di opere di mitigazione del rischio idrogeologico. La costruzione di opere di sistemazione è finalizzata al controllo dei livelli idrici, al contenimento dei flussi di detrito ed al mantenimento o al raggiungimento dello stato di equilibrio morfologico dell'alveo.

In generale per i conoidi si possono realizzare le seguenti opere:

1. cunettoni e/o muri argine

Molti alvei, in corrispondenza dei centri abitati sulle conoidi, hanno subito un processo di canalizzazione ed impermeabilizzazione con costruzione di un cunettone generalmente in calcestruzzo o in blocchi naturali annegati in cls o attraverso la realizzazione di muri argine e soglie di fondo per evitare l'erosione delle fondazioni dei muri stessi.

In generale i punti critici di questi interventi si individuano in corrispondenza delle opere di attraversamento, le quali risultano sufficientemente dimensionate per portate liquide con tempi di ritorno elevati (alta velocità nella corrente) ma presentano luce insufficiente nel caso di notevole trasporto di materiale solido e/o fluitante e in caso di deflussi di detrito.

2. briglie e soglie

Lungo il conoide, in relazione alla bassa pendenza che lo caratterizza, la realizzazione di briglie o soglie di consolidamento può rendersi necessaria solo nei casi in cui l'erosione operata da un torrente di scavo, metta in pericolo la stabilità delle fondazioni di opere longitudinali (argini, scogliere, muri-argine) e trasversali (repellenti) o nei casi di erosione delle fondazioni delle spalle o delle pile dei ponti; in generale la realizzazione di briglie sui conoidi è da evitare ed è anche sconsigliata la realizzazione di attraversamenti poco a monte di una briglia.

In assenza di opere di trattenuta del materiale a monte del conoide, la tendenza evolutiva degli alvei caratterizzati da trasporto di materiale è quella di un progressivo innalzamento del fondo con diminuzione della pendenza, tendenza evolutiva che la realizzazione di briglie o soglie può accentuare.

3. briglie aperte o selettive

Le briglie aperte sono opere di trattenuta il cui corpo presenta delle aperture che possono essere costituite da fessure, griglie, pettini o finestre il cui scopo è quello di operare una selezione del materiale solido che transita lungo l'alveo in modo che il materiale fine o che presenti granulometrie inferiori a quelle delle aperture stesse possa transitare ed alimentare l'alveo nel settore a valle dell'opera.

I corpi di maggiori dimensioni, presenti in eventi tipo stony debris flow, il cui potere distruttivo è la causa principale del danneggiamento sui manufatti, vengono trattenuti nell'area a monte dell'opera.

L'ubicazione di queste opere si deve accompagnare alla individuazione di siti favorevoli alla raccolta del materiale trattenuto dall'opera (aree ampie e a bassa pendenza);

questi siti spesso corrispondono a zone in prossimità dell'apice dei conoidi dove l'improvvisa diminuzione del gradiente favorisce l'arresto e la deposizione di materiale.

4. vasche di accumulo

Queste opere vengono solitamente realizzate a monte di una struttura di trattenuta (briglia, briglia selettiva) e funzionano da zone di deposizione del materiale durante fenomeni con ingente trasporto solido; in generale queste opere sono posizionate a monte o in prossimità dell'apice in modo da sfruttare allargamenti del bacino in presenza di significative riduzioni di pendenza oppure realizzando l'opera sul conoide a monte di eventuali centri abitati.

In alcune situazioni queste opere sono posizionate nella zona distale della conoide a poca distanza dal punto di immissione del torrente nel fiume ricettore e collegato a questo tramite un cunettone in modo da favorire il deflusso idrico.

La manutenzione dell'opera, con continui svassi del materiale accumulato è un fattore fondamentale al fine di una sua perfetta funzionalità durante i fenomeni parossistici.

5. opere arginali

Le tipologie di argini individuate varia da muri in calcestruzzo a muri a secco o annegati nel cemento di notevoli dimensioni (h 6-10 m; l=10-15m); in generale si può osservare come argini meno recenti sono stati realizzati in corrispondenza delle sponde naturali delle aree di pertinenza fluviale a differenza delle opere più recenti le quali, dovendo difendere manufatti posti in prossimità dell'alveo, hanno provocato una riduzione notevole delle sezioni di deflusso.

Per quanto riguarda i bacini idrografici non si possono definire a priori delle opere di difesa del territorio idonee, queste dipendono dalla tipologia del dissesto idrogeologico che interessa l'area.

Per quanto riguarda invece interventi che interessano tutto il bacino, ad esempio per arginare il fenomeno dell'erosione diffusa, si opera tramite l'ingegneria naturalistica.

L'ingegneria naturalistica è quella disciplina che, attraverso metodologie basate su criteri botanici, geobotanici ed ecologico-vegetazionali, utilizza come materiale da costruzione piante vive o parti di esse in abbinamento con altri materiali quali pietrame, legno, terra, biostuoia, geotessili ecc.. I campi di applicazione sono vari: la sistemazione delle aree a rischio idrogeologico, le erosioni dei versanti, le frane, le sistemazioni idraulico forestali delle sponde e dei corsi d'acqua.

Le finalità degli interventi sono principalmente quattro:

- *tecnico-funzionali*, per esempio antierosive e di consolidamento di una scarpata stradale o di una sponda;

- *naturalistiche*, in quanto non semplice copertura a verde ma ricostruzione o innesco di ecosistemi paranaturali mediante impiego di specie autoctone;
- *estetiche e paesaggistiche*, di "ricucitura" al paesaggio naturale circostante;
- *economiche*, in quanto strutture competitive e alternative ad opere tradizionali.

Gli interventi base su cui si fonda l'ingegneria naturalistica sono i seguenti:

- ❖ interventi di rivestimento: proteggono rapidamente il terreno dall'erosione superficiale migliorando il bilancio termico e idrico promuovendo l'attività biologica del terreno.
- ❖ Interventi stabilizzanti: servono a diminuire le forze meccaniche, stabilizzando e consolidando le sponde e le loro scarpate. Si utilizzano arbusti ed alberi muniti di forte capacità di propagazione vegetativa;
- ❖ Interventi combinati: sostengono scarpate e versanti instabili con materiali vivi e per avere maggiore durata e sostegno si combinano con materiali inerti;
- ❖ Interventi complementari: comprendono le semine e le piantagioni in maniera del tutto completa per avere la certezza di una sistemazione dell'opera giunta allo stadio finale.