

## **METODOLOGIA STANDARDIZZATA PER LO STUDIO DELLA PERICOLOSITA' PER DEBRIS-FLOW E MITIGAZIONE DEL RISCHIO NEI BACINI ALPINI**

### **STANDARD METHODOLOGY TO STUDY DEBRIS FLOW HAZARD AND RISK MITIGATION IN ALPINE BASINS**

Raffaele Rocco<sup>1</sup>, Nathalie Bétemps<sup>2</sup>, Evelyne Navillod<sup>3</sup>, Ester Buonaiuto<sup>4</sup>, Giuliana Rezzaro<sup>5</sup> and  
**Paolo Ropele<sup>6</sup>**

#### **RIASSUNTO**

Nel 2005, la Regione Autonoma della Valle d'Aosta, facendo riferimento ad uno specifico programma di previsione e prevenzione del rischio idraulico e idrogeologico, ha sviluppato una strategia per la mappatura del rischio sui conoidi al fine di individuare la necessità di eventuali interventi strutturali per la riduzione del rischio potenziale da debris flow.

A seguito di una analisi delle aree urbanizzate su conoide che ricadono nelle aree a medio o elevato rischio per inondazione e frana è stata definita una lista delle conoidi da studiare in via prioritaria, ricomprensive anche i conoidi in cui in passato sono stati registrati eventi di debris flow.

I 155 conoidi individuati come prioritari sono stati studiati da 34 raggruppamenti di professionisti composti da ingegneri, agronomi-forestali e geologi. Le attività di studio sono state coordinate da un gruppo di supervisione tecnico-scientifica mediante la definizione di una specifica metodologia finalizzata al raggiungimento di un livello omogeneo di analisi.

**Parole chiave:** debris-flow, mappatura della pericolosità, conoide, metodologia standardizzata

#### **ABSTRACT**

In 2005, the public administration of “Regione Autonoma Valle d'Aosta” (Italy), according to a specific program of hydraulic and geological risk prevention and prediction, developed a strategy to evaluate the debris flow hazard mapping in 155 cone areas, in order to define new measures, in addition to the existing ones, to reduce the potential risk of debris flow.

The analysis of the urban areas exposed to high or medium levels of flood and landslide hazard defined the list of the most dangerous fans to investigate. The list of fans to be studied includes also those in which were recorded historical events of debris flow.

The 155 fans have been studied by 34 different groups of professionals consisting of an engineer, an agronomist and a geologist. A technical scientific supervisor group coordinated the study activities, according to a specific methodology in order to get a homogeneous level of analysis.

**Keywords:** debris-flow, hazard mapping, alluvium fan, standard methodology

---

<sup>1</sup> Dr. Raffaele Rocco. Regione Autonoma Valle d'Aosta Dipartimento difesa del suolo e risorse idriche, Italy

<sup>2</sup> Dr. Nathalie Bétemps. Regione Autonoma Valle d'Aosta Dipartimento difesa del suolo e risorse idriche, Via Promis 2, 11100 Aosta, Italy

<sup>3</sup> Dr. Evelyne Navillod. Regione Autonoma Valle d'Aosta Dipartimento difesa del suolo e risorse idriche, Italy

<sup>4</sup> Dr. Ester Buonaiuto. Regione Autonoma Valle d'Aosta Dipartimento difesa del suolo e risorse idriche, Italy

<sup>5</sup> Dr. Giuliana Rezzaro. Regione Autonoma Valle d'Aosta Dipartimento difesa del suolo e risorse idriche, Italy

<sup>6</sup> Dr. Paolo Ropele. Regione Autonoma Valle d'Aosta Dipartimento difesa del suolo e risorse idriche, Italy (e-mail: p.ropele@regione.vda.it)

## INTRODUZIONE

Gli studi dei 155 bacini effettuati sui conoidi classificati a rischio medio o elevato della Regione Autonoma Valle d'Aosta mirano al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- mappatura del pericolo da colata detritica;
- valutazione dell'efficacia ed efficienza delle opere di difesa esistenti;
- evidenziazione delle criticità e degli squilibri;
- individuazione dei possibili interventi di sistemazione idraulica finalizzati alla mitigazione del pericolo.

Le attività svolte, che sono state coordinate dalla società BETA STUDIO Srl di Padova, con il supporto scientifico del professor Vincenzo D'Agostino dell'Università di Padova, sono state strutturate in tre differenti fasi, così come di seguito dettagliato.

FASE I – Definizione dettagliata delle specifiche tecniche per lo sviluppo degli studi di bacino affidate ai professionisti finalizzati alla mappatura del pericolo; verifica e monitoraggio della rispondenza sotto l'aspetto tecnico delle azioni progettuali dei professionisti incaricati.

FASE II - Definizione dettagliata delle specifiche per lo sviluppo tecnico delle progettazioni affidate ai professionisti.

FASE III – Definizione dei criteri per l'individuazione delle priorità degli interventi e sintesi dei risultati degli studi effettuati.

In particolare si intende approfondire all'interno del presente documento l'impostazione metodologica dell'attività riguardante gli aspetti relativi alla fase I.

## SCHEMA DELLE ATTIVITA' E INFORMAZIONI DI BASE

Le attività legate alla realizzazione dello Studio di bacino, finalizzato alla valutazione della pericolosità da colata detritica, vengono suddivise in due fasi: conoscitiva e valutativa (Figura 1).

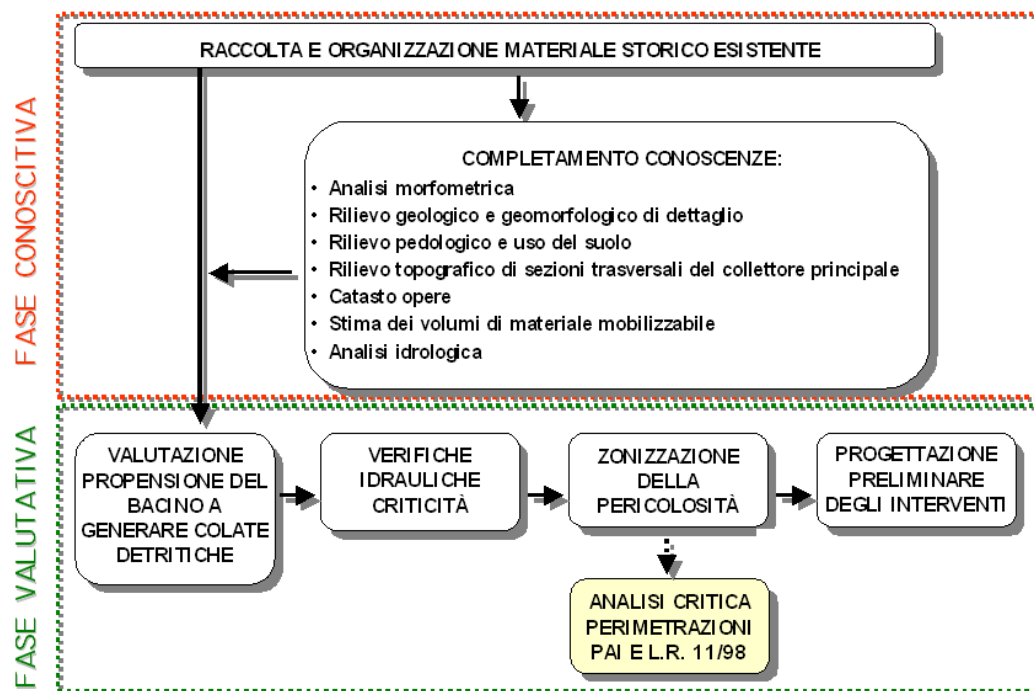


Fig. 1 Schema logico delle attività finalizzate alla redazione dello Studio di Bacino

Fig. 1 Logical pattern of the activities to study debris flow

La fase conoscitiva è finalizzata all'individuazione delle informazioni storiche esistenti ed al successivo completamento delle conoscenze da realizzarsi attraverso una serie di attività che si articolano nelle modalità descritte nei paragrafi successivi. La fase valutativa rappresenta l'insieme delle elaborazioni da effettuarsi per il raggiungimento di una dettagliata mappatura del pericolo da colata detritica e per l'individuazione delle criticità e degli squilibri presenti nelle aree indagate.

### **FASE CONOSCITIVA – RACCOLTA DEL MATERIALE STORICO ESISTENTE**

Nello sviluppo della ricerca storica la metodologia prevede che siano svolti specifici studi volti ad acquisire il patrimonio conoscitivo sui processi di instabilità pregressi, mediante accurate ricerche da compiere presso gli archivi locali, ove possibile integrate da testimonianze dirette (almeno per gli eventi più significativi).

La raccolta e l'analisi delle notizie storiche inerenti i dissesti hanno lo scopo di consentire per l'area in esame il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- la ricostruzione cronologica degli eventi e degli effetti da essi prodotti;
- la descrizione delle principali tipologie di dissesto;
- la localizzazione delle zone particolarmente colpite;
- la ricostruzione delle modificazioni morfologiche e fisiografiche subite dai conoidi.

L'esame storico deve abbracciare un arco di tempo sufficientemente ampio e relativo, per lo meno, all'ultimo secolo, senza tralasciare notizie precedenti, quando di rilevante importanza.

### **FASE CONOSCITIVA – ANALISI MORFOMETRICA**

Sulla base delle cartografie disponibili e attraverso l'utilizzo di applicazioni GIS la metodologia prevede l'individuazione e il calcolo di tutti quei parametri che caratterizzano il bacino di alimentazione, il conoide ed il reticolo idrografico da distinguere in asta principale, aste tributarie e collettore principale in conoide, così come meglio specificato nella tabella n. 1.

Ulteriori dati necessari per l'indagine prevedono la redazione del profilo longitudinale dell'asta principale, della curva ipsografica e della carta dell'acclività del bacino e del conoide.

**Tab. 1** Parametri morfometrici

**Tab. 1** Morphometric parameters

Bacino di alimentazione	Conoide	Reticolo Idrografico
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	Superficie (km <sup>2</sup> )	Lunghezza collettore principale (km)
Superficie forestale (km <sup>2</sup> )	Quota minima (m s.l.m.)	Lunghezza collettori secondari (km)
Superficie glaciale (km <sup>2</sup> )	Quota massima (m s.l.m.)	Lunghezza collettore sino all'apice del conoide (km)
Superficie lacuale (km <sup>2</sup> )	Lunghezza massima (m)	Pendenza dell'asta torrentizia (%)
Perimetro (km)	Larghezza massima (m)	Pendenza del collettore sul conoide (%)
Quota minima (m s.l.m.)	Pendenza media (%)	Pendenza media del corso d'acqua (%)
Quota massima (m s.l.m.)	Pendenza media alveo (%)	Densità di drenaggio (km <sup>-3</sup> )
Fattore di forma F (Gravelius)	Pendenza media conoide (%)	Ordine del bacino (-)
Altezza media (m s.l.m.)	Numero di Melton (-)	Rapporto di biforcazione medio (-)
Pendenza media dei versanti (%)		

### **FASE CONOSCITIVA – RILIEVO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO**

A partire dalle informazioni ricavate dalla carta tecnica regionale in scala 1:5.000 e 1:10.000, dalle orto immagini e dalla carta geologica allegata ai piani regolatori comunale lo studio prevede lo sviluppo di successive indagini geologiche e geomorfologiche di dettaglio per consentire, attraverso un accurato lavoro in campo, di accertare:

- il potenziale detritico rimobilizzabile nel bacino (individuazione delle coperture quaternarie non solo di origine gravitativa e stima dello spessore), con la valutazione della capacità del sedimento di essere convogliato verso zone di accumulo analizzando anche il grado di connessione con il reticolo idrografico;
- la disponibilità in alveo di materiali detritici ed alluvionali asportabili (con valutazione dello spessore medio, del diametro medio e massimo degli elementi), con attenzione al tratto di canale terminale a monte dell'apice oltre che alla valutazione del grado di incisione del canale principale;
- la propensione al dissesto dei versanti, fattori questi ultimi che comportano dirette implicazioni sui processi che avvengono negli alvei, presenza di paleofrane, frane profonde, presenza di forme di erosione e/o accumulo legate ad antichi fenomeni di trasporto in massa, (es.:cordoni, paleoalvei, ecc.);
- l'eventuale presenza di fattori che, nelle parti superiori dei bacini, possono comportare improvvisi rilasci d'acqua (bacini lacustri naturali permanenti o temporanei di sbarramento o invasi artificiali) o anomali incrementi dei deflussi in concomitanza a piogge (masse nivali o glaciali suscettibili di rapida fusione), compresi i settori soggetti a caduta di valanghe;
- le caratteristiche geolitologiche del bacino prestando particolare attenzione a quelle aree dove gli elementi tettonici (faglie, zone milonitiche, fratture,...) contribuiscono a rendere le rocce in grado di produrre sedimento;
- le principali caratteristiche idrogeologiche (presenza di sorgenti, ecc.).

## FASE CONOSCITIVA – RILIEVO PEDOLOGICO E USO DEL SUOLO

Il rilievo pedologico è finalizzato alla caratterizzazione dei suoli in termini di permeabilità ed erodibilità, con particolare riferimento all'inquadrimento vegetazionale e alla definizione della destinazione di uso del suolo sul bacino e sul conoide. Il rilievo evidenzia inoltre eventuali cambiamenti nell'uso del suolo, causati ad esempio da incendi, sistemazioni agrarie, ecc. La carta di uso del suolo è redatta a partire dall'analisi delle ortoimmagini disponibili, avendo cura di verificare in campo la corrispondenza con quanto rilevato e quanto realmente attualmente presente.

Sotto l'aspetto idrologico la permeabilità del suolo riveste un ruolo primario e va analizzata con grande attenzione. La realizzazione di una carta della permeabilità dei suoli richiede normalmente una mole di rilievi in campo che non è quasi mai compatibile con le risorse disponibili e con le dimensioni del territorio di studio. La soluzione più ragionevole pare essere quella di derivare tale carta, in modo semplificato, da una riclassificazione della carta geolitologica nei quattro gruppi idrologici di riferimento nella metodologia del Curve Number (CN) del Soil Conservation Service:

A - permeabilità alta, bassa capacità di deflusso, suoli con elevata infiltrabilità anche se completamente saturi, sabbie o ghiaie profonde ben drenate, notevole conducibilità idrica;

B - permeabilità medio-alta, suoli con moderata infiltrabilità se saturi, discretamente drenati e profondi, tessitura medio-grossolana, conducibilità idrica media;

C - permeabilità medio-bassa, suoli con bassa infiltrabilità se saturi, uno strato impedisce la percolazione verticale, suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità, conducibilità idrica bassa;

D - permeabilità bassa, capacità di deflusso elevata, suoli con infiltrabilità ridottissima in condizioni di saturazione, suoli ricchi di argilla rigonfianti, suoli con strato argilloso superficiale, suoli poco profondi su substrato impermeabile, conducibilità idrica estremamente bassa.

In tabella n. 2 vengono riportate le relazioni intercorrenti tra le classi di permeabilità individuate e la litologia.

**Tab. 2** Relazione tra litologia e classi di permeabilità (Cazorzi et al., 2005)

**Tab. 2** Relation between lithology and permeability classes (Cazorzi et al., 2005)

<i>Classi di permeabilità</i>	<i>Litologia</i>
GRUPPO A	Tufi incoerenti, pozzolane, ceneri, scorie, lapilli (si presentano in strati e banchi, dune, depositi sabbiosi di origine eolica a ridosso di spiagge)
	Rocce calcaree (calcari dolomitici, calcari marnosi, travertini, calcareniti, breccie calcaree, calcari organogeni) fossilifere, organogene, molto fratturate, gessi salgemma

	Limi, sabbie, ghiaie, ciottoli, (formano depositi alluvionali di origine fluviale o lacustre, tali materiali formano le pianure alluvionali, i coni di deiezione, i terrazzi fluviali)
	Falde e coni di detrito, macerati, composti da cumuli di frammenti rocciosi, di solito angolosi, talora più o meno cementati (brecce di pendio), si trovano ai piedi dei versanti montuosi ripidi e presentano tracce più o meno evidenti di stratificazione
GRUPPO B	Morene ed in generale depositi glaciali
	Coltri eluviali e colluviali - costituite prevalentemente da sabbie e limi con minori quantità di ghiaie, variamente mescolati fra loro
	Conglomerati, brecce, sabbioni e sabbie cementate (ciottoli, ghiaie, sabbie e limo a vari gradi di cementazione)
	Rocce tipo molto fratturate
GRUPPO C	Rocce sedimentarie compatte - dolomie, marme, arenarie, tufi cementati, pomici, alternanza di argille e arenarie, di argille e calcari
	Rocce dolomitiche compatte
	Rocce calcaree compatte
	Rocce tipo fratturate
GRUPPO D	Rocce eruttive (o magmatiche) intrusive - graniti, sieniti dioriti, gabbri
	Rocce eruttive (o magmatiche) effusive - porfidi trachiti, lipariti, fonoliti, porfiriti, andesiti, basalti, tefriti, leucititi
	Rocce argillose - argilloscisti, argille varie, depositi argillosi di origine lacustre, banchi argillosi di origine fluviale intercalati spesso nei sedimenti alluvionali, depositi eluviali (ferretto, terra rossa) e colluviali argillosi che possono coprire sottostanti rocce permeabili rendendo così impermeabile il terreno
	Rocce metamorfiche - gneiss, micascisti, quarziti, filladi, scisti anfibolici, talcoscisti, e scisti di natura silicea

## FASE CONOSCITIVA – RILIEVO TOPOGRAFICO E CATASTO OPERE

L'attività riguarda il rilievo di sezioni trasversali del collettore principale nel tratto in cui scorre in conoide, delle opere idrauliche e degli attraversamenti con il fine di costruire un modello geometrico della potenziale piana di alluvionamento/inondazione e di costituire elemento di impianto del sistema di monitoraggio morfologico e idraulico del corso d'acqua.

Il rilievo delle sezioni topografiche pone particolare attenzione alle caratteristiche geometriche degli attraversamenti e degli eventuali tratti tombinati e in corrispondenza alle sezioni che presentano una marcata sofferenza di tipo idraulico, valutabile sulla base di indagini di campo (zone in cui l'alveo si restringe, sezioni non ben confinate, sponde depresse, ecc.), con interasse di rilievo fra le sezioni non superiore a 25 m.

La metodologia prevede il censimento delle opere di sistemazione idraulico-forestale già realizzate, presenti nel bacino e sul conoide, finalizzato alla valutazione della loro efficienza ed efficacia e all'individuazione di tutti quegli elementi che influiscono direttamente o indirettamente sulla dinamica torrentizia, in particolare sul deflusso in conoide della colata detritica, quali:

- angoli di immissione o di confluenza elevati;
  - sezioni critiche e/o ridotte;
  - tratti intubati;
  - restringimenti d'alveo, anse relativamente strette, tratti di canale pensile, punti di curvatura del canale;
  - tendenza del corso d'acqua ad erodere e/o a depositare;
  - cambi di pendenza;
  - presenza di paleoalvei potenzialmente riattivabili;
  - interferenza con la viabilità.
- L'approccio da seguire ripercorre i seguenti punti:
  - identificazione delle opere idrauliche tramite analisi delle ortoimmagini e riconoscimento della traccia planimetrica delle stesse;
  - sopralluoghi a terra di verifica e integrazione (tipologia e caratteristiche dimensionali e funzionali) delle informazioni relative alle opere individuate e di rilevazione delle

caratteristiche complete (planimetriche, tipologiche, dimensionali e funzionale) per le opere non individuate tramite la lettura delle fotografie aeree;

- georeferenziazione delle opere sulla base delle ortoimmagini che costituiscono il supporto cartografico, mediante digitalizzazione della traccia planimetrica dell'opera idraulica e caricamento dei dati alfanumerici necessari per il loro collegamento con la banca dati predisposta secondo gli standard dell'amministrazione regionale.

## FASE CONOSCITIVA – STIMA DEI VOLUMI DI MATERIALE MOBILIZZABILE

All'interno delle attività previste nella fase conoscitiva di particolare interesse risulta quella relativa alla stima dei volumi di materiale mobilizzabile.

La stima dei volumi di materiale potenzialmente mobilizzabile viene condotta attraverso l'applicazione del metodo geomorfologico di terreno. Si indica come metodo geomorfologico di terreno la procedura che perviene alla determinazione dei volumi delle colate detritiche sulla base di rilievi delle aree sorgenti di sedimento. La valutazione dei potenziali apporti di detrito riguarda gli alvei torrentizi, le sponde instabili o in erosione, nonché le frane connesse alla rete idrografica.

L'approccio geomorfologico per la stima della magnitudo di un debris flow è basato essenzialmente sull'individuazione lungo la rete idrografica di aree in grado di fornire materiale detritico movimentabile. Le analisi condotte in campo servono per mettere in evidenza:

- lo stato di ricarica del collettore;
- le aree sorgenti di sedimento e le frane.

Per quanto riguarda la valutazione dello stato di ricarica del collettore il metodo da utilizzarsi può essere quello proposto da Hungr et al. (1984) che presenta il vantaggio di prevedere una certa standardizzazione delle procedure. Tale metodo si basa su due ipotesi cautelative: la prima è che, in occasione del verificarsi di una colata detritica, tutte le aree sorgenti vengono attivate, la seconda che non si abbia ridistribuzione del materiale all'interno del bacino.

Il metodo consiste nel suddividere la rete idrografica del bacino in tratti omogenei per quanto riguarda le caratteristiche di erodibilità. Una volta riconosciuti i tratti di canale omogenei, determinata la loro lunghezza ( $L_i$ ) e assegnato un valore dell'apporto di sedimento unitario ( $e_i$ ), ovvero il volume erodibile per unità di lunghezza del collettore, sulla base della classificazione riportata da Hungr. et al, 1984, è possibile applicare l'Eq. 1 che permette di ricavare il volume totale di materiale mobilizzabile.

$$V = \sum_{i=1}^n L_i \cdot e_i \quad (\text{Eq. 1})$$

dove:

V = volume totale ( $m^3$ );

$L_i$  = lunghezza dei tratti di torrenti di caratteristiche uniformi (m);

$e_i$  = apporto detritico per unità di lunghezza ( $m^3/m$ ).

Per quanto riguarda invece i contributi volumetrici ascrivibili alle aree sorgenti di sedimento e alle frane la metodologia da adottare si riallaccia a quanto proposto da Spreafico et al. (1999). Essi partono da un approccio simile a quello proposto da Hungr et al. (1984) ma prevedono una quantificazione separata per l'alveo e per le sponde.

L'Eq. 2 rappresenta la formula per il calcolo del volume erodibile ( $V_{alveo}$ , espresso in  $m^3$ ) per un tratto d'alveo torrentizio

$$V_{alveo} = k \cdot L_a \cdot b_a \cdot d_a \quad (\text{Eq. 2})$$

dove:

$L_a$  = lunghezza del tratto d'alveo (m);

$b_a$  = larghezza media dell'alveo (m);

$d_a$  = profondità media di erosione (m);

k = fattore di riduzione.

che può essere utilizzata, quando ritenuto conveniente, in alternativa alla Eq.1 e alla classificazione proposta da Hungr et al. (1984).

La stima dei volumi potenziali è soggetta a riduzione, tenendo conto:

- della possibilità di parziale rideposizione lungo i tratti del collettore a minor pendenza;
- della presenza di opere di trattenuta e di controllo del trasporto esistenti;#
- della verosimile non contemporaneità dei contributi per i diversi settori del bacino o per i suoi sottobacini.

## **FASE CONOSCITIVA – ANALISI IDROLOGICA**

L'analisi idrologica è volta alla definizione dei valori massimi di intensità di pioggia ed alla stima della portata massima con metodi analitici (afflussi-deflussi).

In particolare, per la valutazione degli idrogrammi di piena per eventi pluviometrici con tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni è proposta mediante l'impiego di metodologie afflussi-deflussi a parametri concentrati basate sul concetto dell'idrogramma unitario (Chow et al.,1988) o su approcci assimilabili (ad es. metodo della corrivazione applicato mediante la curva ipsografica od attraverso la curva tempi - aree contribuenti, dedotta mediante GIS).

La metodologia prevede l'applicazione dell'analisi idrologica da effettuarsi sia ai fini della pericolosità per esondazione sul conoide che ai fini della pericolosità da colata detritica.

Per quanto riguarda la pericolosità da colata di detrito l'idrogramma di piena entrante in conoide è quello riferito ad un tempo di ritorno pari a 200 anni, tenendo in opportuna considerazione ai fini della sua caratterizzazione dei principali aspetti, quali permeabilità e uso del suolo del bacino, tempi di risposta che lo caratterizzano, durata della precipitazione che risulti associabile all'innescò e al passaggio in conoide di una colata detritica.

La valutazione del sedimentogramma da colata viene condotta adottando il metodo volumetrico proposto da Takahashi, con le modifiche proposte da D'Agostino et al. (2003).

E' possibile quindi trasformare l'idrogramma di riferimento in una corrispondente onda solido-liquida che rappresenti la colata detritica. Questa procedura (metodo volumetrico) tiene conto:

- della concentrazione di massimo impaccamento dei grani;
- della concentrazione solida di equilibrio della colata nel corso dell'evento;
- della pendenza media del corso d'acqua a monte del conoide.

Nella modifica proposta da D'Agostino et al. (2003), una volta stabilito il valore della concentrazione di equilibrio della colata in corrispondenza al picco dell'idrogramma, i rimanenti valori (fasce ascendente e discendente dell'idrogramma) si possono fare variare in funzione lineare del tempo (concentrazioni crescenti nella fase ascendente e decrescenti nella fase discendente). In questa determinazione possono essere utilizzati, quando disponibili, informazioni su eventi locali verificatisi in passato (se significativi in termini di tempo di ritorno) od equazioni di tipo sperimentale che legano la pendenza del torrente alla concentrazione di equilibrio al picco. Nella trasformazione dell'idrogramma liquido in un debris-gramma è opportuno tener conto delle seguenti condizioni:

- si applica il metodo volumetrico solo per volumi della portata liquida superiori a 2.5 – 3 volte la portata di inizio del trasporto solido di fondo;
- la durata del debris-gramma è comunque compresa tra i 5-10 e i 30-35 minuti;
- le colate granulari presentano carattere più impulsivo e di durata più breve rispetto alle colate fangose.

Da questa valutazione è possibile ottenere, come parametri più significativi:

- il volume complessivo della componente solida della colata detritica;

- il valore al colmo della portata solido-liquida della colata detritica.

### **FASE VALUTATIVA – PERICOLOSITA' DA ESONDAZIONE**

Prima di procedere con le valutazioni legate alla definizione della pericolosità per colata detritica, la metodologia prevede di procedere con le verifiche idrauliche e la perimetrazione legate a fenomeni di esondazione secondo quanto stabilito dall'art. 36 della legge regionale 11/98 (disciplina regionale in materia di urbanistica) ed alle disposizioni attuative ad essa riferite con le quali si stabilisce che per il calcolo del profilo di piena si assume come piena di riferimento un tempo di ritorno pari a:

- 20 anni per la fascia di esondazione A;
- 100 anni per la fascia di esondazione B;
- 200 anni per la fascia di esondazione C.

Per quanto riguarda la capacità di deflusso nel collettore sul conoide, oltre alla verifica del livello idraulico raggiunto, con riferimento alla portata della miscela ( $Q$  liquida +  $Q$  solida), occorre verificare la capacità del canale di trasferire a valle l'apporto solido, capacità che viene ad essere drasticamente ridotta nel caso di forti diminuzioni della pendenza o per effetto di brusche curvature o restringimenti. In particolare nel caso in cui l'entità della concentrazione solida nella corrente non è tale da aumentare la viscosità della miscela acqua-detrito fino a imporre un campo di moto di tipo laminare, la valutazione delle caratteristiche del moto fa riferimento alle formulazioni relative al moto turbolento, ovvero ricorrendo all'equazione di Manning.

### **FASE VALUTATIVA – PERICOLOSITA' DA COLATA DETRITICA**

Attraverso il confronto delle stime dei volumi determinati mediante l'approccio idrologico e quelli determinati mediante il metodo geomorfologico è possibile determinare il volume della colata di riferimento da adottarsi nella successiva mappatura delle aree di pericolo.

I risultati ottenuti con i diversi metodi sono soggetti ad un'analisi critica, giustificando la scelta finale con particolare considerazione per le condizioni di alimentazione solida del bacino. La distinzione fra bacini a disponibilità di sedimento limitata ed illimitata (Bovis et al., 1999), indubbiamente importante per la comprensione dei processi che regolano l'apporto detritico dai versanti alla rete idrografica e la formazione delle colate detritiche, merita di essere considerata in modo dinamico, tenendo conto del possibile passaggio nel tempo da una classe all'altra, e della possibilità di un diverso comportamento in relazione al tipo di evento meteorico.

In particolare nei bacini dove vi è una disponibilità illimitata di sedimento, la valutazione del volume potenzialmente movimentabile effettuata su base geomorfologica è debolmente dipendente dal momento temporale in cui viene effettuata l'indagine di campo. In questo caso la stima dei volumi effettuata su base idrologica è utile per avvalorare le valutazioni di campagna e per fornire, in aggiunta, un tempo di ritorno (anche approssimativo) associabile ad un evento di colata.

Nei bacini, invece, a disponibilità di sedimento limitata la valutazione del volume potenzialmente movimentabile effettuata su base geomorfologica è strettamente legata al momento in cui viene effettuata l'indagine di campo. Se, infatti, la valutazione del volume mobilizzabile su base geomorfologica è condotta subito dopo un evento di colata detritica, è ragionevole pensare, che il volume sia sottostimato rispetto alla disponibilità dello stesso proiettata in un periodo futuro (ad esempio tra 50 anni).

A partire da questa classificazione nel caso in cui il volume derivante dalla stima geomorfologica risulti molto discordante dalla valutazione del volume solido condotta su base idrologica è necessario effettuare una serie di valutazioni critiche al fine di determinare il volume di riferimento da adottare nella analisi di pericolosità. In particolare quando il volume idrologico supera in misura notevole il volume morfologico, è opportuno procedere:

- considerando se, per i processi erosivi in atto, il volume morfologico valutato attualmente può, nel periodo dei prossimi 30-50 anni, accrescersi ulteriormente;
- effettuando una nuova simulazione idrologica dopo aver ridotto parzialmente la durata del pluviogramma generatore dell'idrogramma da colata (il volume idrologico non deve



forzatamente coincidere con il volume morfologico ma non può differire da questo di un ordine di grandezza).

Nell'ambito delle verifiche idrauliche da effettuare sul conoide relative al flusso solido-liquido, una volta individuate le sezioni che presentano criticità, ovvero le sezioni di fuoriuscita della colata, sulla base della stima della distanza di arresto e delle caratteristiche morfologiche del conoide è possibile procedere con la delimitazione delle aree potenzialmente raggiungibili da una colata detritica nell'ipotesi che tutto o in parte il materiale fuoriesca dalle sezioni critiche, delineando due o più scenari che potrebbero verificarsi in caso di passaggio di colata detritica.

### **FASE VALUTATIVA – ZONIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITA' PER COLATA DETRITICA**

Una volta stimato, sulla base della capacità di convogliamento di una sezione critica, il volume di sedimento che potenzialmente fuoriesce in corrispondenza di quella sezione, è possibile determinare, mediante osservazioni di campo ed informazioni topografiche, i percorsi preferenziali di movimento della colata sulla conoide, valutando sia eventuali ostacoli incontrati dalla colata, sia superfici con maggiore attitudine a far muovere il flusso (ad esempio le strade). Spostandosi in cartografia lungo le linee di percorso preferenziale della colata il metodo proposto prevede di calcolare le distanze di arresto (LRUN-OUT, m). Una delle relazioni da utilizzare potrebbe essere quella empirica (Eq. 3) proposta da Ikeya, 1981 (in Bathurst et al., 1997):

$$L_{RUN-OUT} = 8.6 (V \tan \vartheta)^{0.42} \quad (\text{Eq. 3})$$

dove  $\vartheta$  è l'angolo che esprime l'inclinazione media del canale subito a monte del tratto dove la colata subisce il rallentamento e  $V(\text{m}^3)$  il volume dei sedimenti fuoriusciti.

Nella definizione dell'area di conoide interessata dalla zona di deposizione della colata si deve tenere in considerazione, nella definizione del perimetro dell'area stessa, la presenza di zone altimetricamente più elevate e la carta delle pendenze locali del conoide costruita attraverso il modello altimetrico del conoide. Unitamente all'osservazione di campo, quest'ultima carta è risultata di notevole utilità, poiché, in funzione della tipologia della colata attesa, si sono distinte per il moto non confinato del debris flow i seguenti campi di pendenza:

- $\vartheta > 10^\circ$  la colata subisce un rallentamento trascurabile;
- $6^\circ \leq \vartheta \leq 10^\circ$  la colata subisce un sensibile rallentamento;
- $0 < \vartheta < 6^\circ$  la colata si arresta entro un breve spazio.
- $\vartheta < 3^\circ$  la colata si arresta.

Tracciata una zona di deposizione della colata è necessario eseguire un controllo relativo alla congruenza sul valore ottenuto in termini di spessore dei sedimenti spazialmente mediato sull'area invasa dalla colata. La letteratura scientifica (Hungry et al., 1984) indica come spessori medi ragionevoli del deposito valori compresi fra 1.0 ed 1.5 m per volumi della colata compresi fra i 10.000 e i 50.000  $\text{m}^3$ . Un'applicazione di questo criterio porta quindi a concludere che, valori dello spessore medio inferiori ad 0.5 m sono da considerarsi comunque prudenziali, nel senso che conducono generalmente ad una sovrastima dell'estensione dell'area occupata dal deposito.

L'evento di riferimento, da utilizzare per la mappatura, deve essere:

1. quello associabile ad un idrogramma di piena avente un tempo di ritorno di 200 anni per bacini ad alimentazione solida da considerarsi quasi illimitata: debrisgramma idrologico.
2. quello associabile al rilascio del volume geomorfico stimato in campo (allo stato attuale del bacino) e tenendo conto dell'eventuale ricarica solida in un periodo di almeno 50 anni per bacini ad alimentazione solida molto limitata: debrisgramma morfometrico.
3. quello associabile ad un evento avente un volume intermedio fra quello ottenibile mediante le due procedure precedenti per bacini con un'apprezzabile disponibilità solida, ma di entità comunque

inferiore di quella determinata con la metodologia esposta al punto 1: la portata al colmo può discendere dal debrisgramma idrologico, mentre il volume complessivo del debrisgramma si ottiene mediando i volumi geomorfici e idrologici.

La mappatura deve avere come obiettivo la delimitazione delle aree alluvionabili dalle colate detritiche e la loro suddivisione, secondo tre diversi gradi di intensità del fenomeno:

- aree di tipo DF1 – alta pericolosità;
- aree di tipo DF2 – media pericolosità;
- aree di tipo DF3 – bassa pericolosità.

In questo caso, i riferimenti normativi a cui fare riferimento sono il comma 2, art. 35, della legge regionale 11/98.

Una volta completata la perimetrazione delle aree a diversa pericolosità la metodologia proposta prevede di confrontare attraverso un'analisi critica i risultati ottenuti con quanto emerso durante la redazione delle carte degli ambiti inedificabili riferiti ai terreni sedi di frane e a rischio di inondazioni vigenti (di cui agli art. 35 e 36 della legge regionale 11/98) e della cartografia PAI, mettendo in evidenza il maggior dettaglio ottenuto lo studio di bacino.

## **ASPETTI CRITICI E CONSIDERAZIONI FINALI**

Nell'ambito delle attività di studio condotte seguendo la metodologia descritta è possibile fare un'analisi delle principali criticità riscontrate, emerse principalmente nelle fasi meno standardizzate del processo valutativo.

Un primo aspetto critico riguarda l'attività condotta per l'analisi della propensione del bacino alla formazione di una colata di detrito. Infatti, sebbene molti bacini studiati abbiano una grande quantità di materiale disponibile, non è detto che tale materiale possa essere trasportato con le modalità di debris flow.

Un altro importante aspetto da valutare nell'ambito degli studi commissionati riguarda la definizione della reologia della colata detritica che rappresenta un parametro determinante per la dinamica del fenomeno e la scelta delle formulazioni numeriche da utilizzare nell'ambito delle verifiche idrauliche finalizzate alla definizione degli scenari di pericolosità.

Di analoga difficoltà di valutazione risulta la scelta dell'idrogramma di riferimento per quanto riguarda la distribuzione della precipitazione e la durata dell'evento.

Infine, un aspetto decisamente delicato riguarda la redazione della carta della pericolosità della colata di detrito: infatti, non solo è necessario calibrare i risultati che derivano dall'applicazione delle formulazioni riferite all'arresto e alla dispersione laterale del fenomeno con le caratteristiche geomorfologiche del conoide ma occorre anche valutare la possibile interferenza con fabbricati, infrastrutture urbane e viabilità.

L'adozione di una metodologia standardizzata ed univoca ha permesso inoltre di legare direttamente la progettazione degli interventi di messa in sicurezza sui conoidi coerentemente con la carta della pericolosità, facendo riferimento alla stessa tipologia di fenomeno e permettendo altresì di redigere le carte di pericolosità residua post intervento.

## **REFERENCES**

- Bathurst J.C., Burton A., Ward T.J. (1997). Debris flow run-out and landslide sediment delivery model tests. *Journal of hydraulic engineering*, 123(5).
- Bovis M., Jakob M., (1999). The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity. *Earth Surface Processes and Landforms* 24 (11), pp. 1039-1054.
- Cazorzi F., Bincoletto L. (2005). Modellazione dei processi idrologici. La prevenzione del rischio idrogeologico nei piccoli bacini montani della regione: esperienze e conoscenze acquisite con il progetto Catchrisk. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna. Servizio territorio montano e manutenzioni, pp. 45-93.

- Chob V.T., Maidment D.R., Mays L.W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.
- D'Agostino V., Marchi L. (2003). Geomorphological estimation of debris flow volume in alpine basins. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Rickenmann & Chen (eds). Millpress, Rotterdam, ISBN 9077017 78X, pp. 1097-1106. (Vedi CD Allegato - file pdf contenuti nella cartella "Articolo D'Agostino-Marchi 2003").
- Hungar O., Morgan G.C., Kellerhals R. (1984). Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures, Canadian Geotechnical Journal, 21, pp. 663-677.
- Schoklitsch A. (1962). Handbuch des Wasserbaues. Wien, Springer, 3a.
- SMART G.M., JAEGGI M.N.R. (1983). Sediment transport on steep slopes. Mitt. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zürig, Switzerland, 64.
- Spreafico M., Lehmann Ch., Naef O. (1999). Recommendations concernant l'estimation de la charge sédimentaire dans les torrents. Berne: Groupe de travail pour l'hydrologie opérationnelle.
- Susmel L. (1988). Principi di Ecologia. CLEUP editore, Padova.