

UNO SCHEMA OPERATIVO PER LA DEFINIZIONE DEL PERICOLO DI LAVE TORRENTIZIE

V. Anselmo^{*}, *E. Guiot*^{**}, *D. Spada*^{***}

SOMMARIO

A seguito delle accresciute necessità di approfondimento delle verifiche di compatibilità idrogeologica ed idraulica per la definizione della pericolosità in conoide nei confronti di fenomeni come le colate detritiche, si è pensato di definire e proporre uno schema operativo. Tale schema fa riferimento a codici di calcolo commerciali di larga diffusione nel settore, in modo tale da costituire un riferimento oggettivo e riconoscibile. Lo schema proposto prende in considerazione 3 fasi: (1) definizione dell'idrogramma liquido di progetto a partire dalle precipitazioni di riferimento che si verificano alla testata del bacino; (2) formazione della lava torrentizia a partire dall'idrogramma liquido e convogliamento lungo l'asta torrentizia e (3) definizione delle aree interessate dalla deposizione dei materiali in conoide.

SUMMARY

An operative scheme to assess the debris flow hazard on alluvial fans is proposed. The procedure employs numerical tools widely diffused and it is divided in three phases: (1) definition of clear water hydrograph with a rainfall-runoff model; (2) estimation of debris flow hydrograph and its routing through the channel; (3) debris flow spreading on alluvial fan.

* Associato di Sistemazioni Idraulico – Forestali, DEIAFA – Sez. Idraulica Agraria, Università di Torino; e-mail virgilio.anselmo@unito.it

** Dottoranda presso il DEIAFA – Sez. Idraulica Agraria, Università di Torino; e-mail elisa.guiot@unito.it

*** Dottore in Scienze Forestali; e-mail davidespada@interfree.it

1. Premessa

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) richiede la verifica di compatibilità idraulica ed idrogeologica degli strumenti urbanistici comunali con le effettive condizioni del dissesto del territorio (Autorità di bacino del Fiume Po, 2001).

La Regione Piemonte ha recepito le indicazioni del PAI con la Deliberazione della Giunta Regionale del 15 luglio 2002 "*Indirizzi per l'attuazione del PAI nel settore urbanistico*" (Regione Piemonte, 2002). La Delibera contiene i criteri per la valutazione della pericolosità e del rischio lungo il reticolo idrografico ed individua le colate detritiche tra i fenomeni possibili lungo la rete idrografica in ambiente montano e collinare, fenomeni per i quali è richiesta la suddetta verifica di compatibilità idraulica ed idrogeologica.

Si intende per colata detritica (debris flow) canalizzata in un alveo torrentizio una corrente dal forte contenuto energetico caratterizzata da una rilevante quantità di materiale solido, distribuito su tutta la profondità della corrente, in un fluido composto da acqua e piccole particelle solide. Esse, quindi, si distinguono dalle correnti con trasporto solido al fondo e dalle correnti iperconcentrate sia per la maggiore quantità di materiale coinvolta nel deflusso sia per le differenti caratteristiche dinamiche (da Bianco et al, 1999).

L'insacco di una colata detritica può essere attribuito ai seguenti meccanismi (Takahashi, 1981):

- a. Una frana, se si verificano le condizioni, può evolvere in una colata;
- b. Una diga naturale che si sia provvisoriamente formata in alveo può collassare e dare origine ad una colata;

- c. Un accumulo di materiale, che venga interessato dal passaggio di una corrente a seguito di un evento meteorologico intenso, può diventare instabile e generare una colata.

Le colate di detriti sono fenomeni di grande potenza distruttiva, che si manifesta in modo particolare sui conoidi dei piccoli bacini alpini: diventa quindi di fondamentale importanza definire il grado di pericolosità in conoide, non solo ai fini delle suddette valutazioni di compatibilità idraulica, ma anche allo scopo di predisporre idonee misure di difesa preventive.

Le colate detritiche sono fenomeni complessi, di studio relativamente recente (circa 20 anni) e sono descritte da parametri di difficile valutazione sperimentale e per i quali sono carenti le misurazioni dirette. Il presente lavoro indica un possibile approccio, dal punto di vista operativo, per simulare la formazione di una colata e la sua propagazione lungo l'asta torrentizia, sino alla deposizione e all'arresto in conoide.

Lo schema operativo proposto ha il duplice scopo di (1) definire un idrogramma "di progetto" di una colata a partire dalle precipitazioni di riferimento e (2) definire le aree in conoide interessate dalla deposizione del materiale trasportato da una colata.

Lo schema operativo si riferisce ai meccanismi di innesco precedentemente descritti ai punti (b) e (c).

Le fasi in cui è articolato lo schema sono tre e possono essere schematizzate facendo riferimento ad un bacino - tipo suddiviso in una zona di testata, una zona di transito (asta torrentizia) ed una zona di deposizione (conoide). L'approccio proposto è il seguente (Fig. 1 e Fig. 2):

1. **Trasformazione afflussi - deflussi** alla testata del bacino (Par.2), o comunque dove si genera la colata, con la produzione di un idrogramma liquido a partire dalle precipitazioni di riferimento;
2. **Formazione della colata detritica** a partire dall'idrogramma liquido (Par. 3.1) e **convogliamento** lungo l'asta torrentizia (Par. 3.2);

3. Definizione delle aree interessate dalla **deposizione dei materiali in conoide** (Par. 4).

Dal punto di vista operativo la procedura si avvale di alcuni codici di calcolo commerciali largamente diffusi, ma non unici nel loro genere, con cui si può giungere alla delimitazione delle aree a rischio.

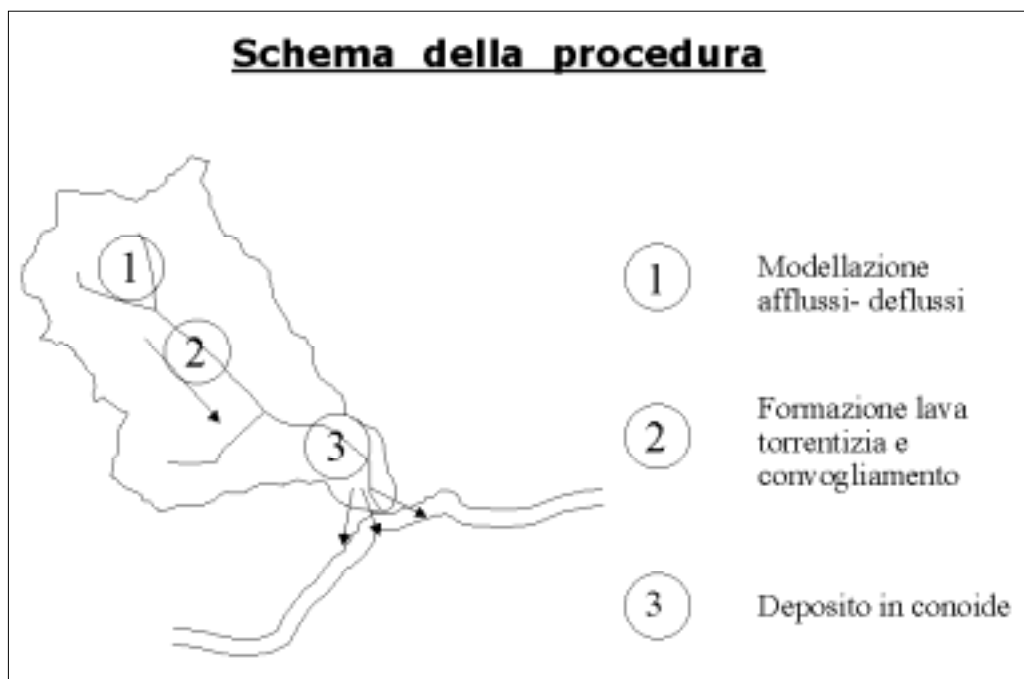


Fig. 1: Schema operativo della procedura per la definizione della pericolosità delle colate detritiche.

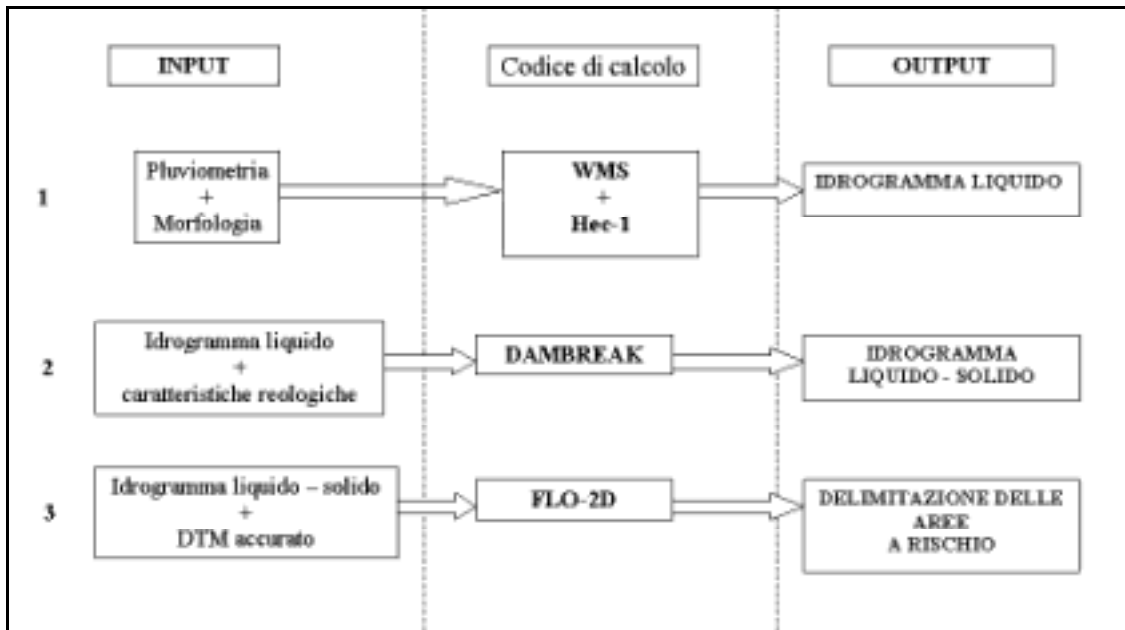


Fig. 2: Schematizzazione dei dati necessari per l'attivazione della procedura proposta e dei risultati ottenibili.

2. Trasformazione afflussi-deflussi

La necessità di commisurare il valore della portata di riferimento ad una probabilità di superamento, rende necessario il ricorso a modelli afflussi-deflussi per la trasformazione in portate delle osservazioni pluviometriche, laddove la mancanza di dati provenienti da osservazioni di portata rende impossibile la regionalizzazione del dato idrometrico (Direttiva 2 del PAI, Autorità di Bacino del Fiume Po, 2001). La trasformazione afflussi – deflussi viene effettuata mediante il codice Hec-1, alimentato con uno idrogramma di durata crescente fino a trovare la condizione che produce il valore massimo della portata al colmo.

Tra i modelli disponibili in commercio è annoverato il codice di calcolo di HEC-1 che, nato negli anni '70, ha come obiettivo la simulazione dei processi idrologici che avvengono durante le precipitazioni. Il programma è stato creato dall'*U.S. Army Corps*

of Engineers e prevede diversi metodi di generazione dell'idrogramma. La procedura Hec-1 è attivata nell'ambito di un pacchetto commerciale denominato WMS® (Watershed Modeling System) messo a punto dalla Boss International di Madison per specifiche applicazioni GIS.

La metodologia di calcolo utilizzata è quella proposta dal Soil Conservation Service, indicata nella Direttiva 2 del PAI tra quelle adottabili. Il metodo SCS sintetizza le caratteristiche idrologiche di un bacino attraverso un unico parametro, definito *CN* (*Curve Number*) che definisce la relazione precipitazione - volume di deflusso. Il CN rappresenta dunque l'attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso, e può essere calcolato in modo indiretto sulla base delle caratteristiche geopedologiche e vegetazionali del bacino stesso: il CN può variare tra zero e 100 e sarà proporzionale alla capacità del suolo di produrre deflusso (per esempio i laghi hanno sempre CN uguale a 100 perché tutta la precipitazione caduta su un lago si trasforma in deflusso, mentre valori tipici di CN per i boschi sono compresi tra 36 e 79). In Tab. 1 sono riassunti i valori di CN adottabili per la modellazione afflussi e deflussi, ricavati da tabelle e adattamenti in letteratura (Hoggan, 1996; Ranzi e Rosso, 1994) per i quattro tipi idrologici di suolo (A, B, C e D).

USO DEL SUOLO	CN			
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D
"Aree non classificate"	60	60	60	60
"Faggeti"	36	60	73	79
"Castagneti"	36	60	73	79
"Querceti"	36	60	73	79
"Conifere+Latifoglie"	36	60	73	79
"Conifere"	36	60	73	79
"Rimboschimenti affermati"	36	60	73	79
"Rimboschimenti recenti"	43	65	76	82
"Latifoglie miste"	36	60	73	79

"Pioppeti"	43	65	76	82
"Arbusteti"	35	56	70	77
"Pascoli"	49	69	79	84
"Seminativi e prati avvicendati"	64	75	83	85
"Seminativi con prevalenza di mais/grano"	62	75	82	85
"Risaie"	90	90	90	90
"Prati permanenti"	30	58	71	78
"Vigneti, Frutteti e Nocciolati"	70	79	84	88
"Incolti"	68	79	86	89
"Rupi e pascoli rupestri, letto dei fiumi, calanchi, frane etc."	68	79	86	89
"Misto Prati permanenti + Seminativi mais/grano"	64	75	83	85
"Misto Seminativi e prati avvicendati+Vigneti, Frutteti e Nocciolati"	64	75	83	85
"Misto Seminativi e prati avvicendati+Prati permanenti"	64	75	83	85
"Misto Prati permanenti + Vigneti, Frutteti e Nocciolati"	64	75	83	85
"Laghi"	100	100	100	100
"Aree urbanizzate"	77	85	90	92

Tab. 1: Valori di CN attribuiti in funzione del tipo idrologico di suolo, per gli usi del suolo con cui la Regione Piemonte classifica il territorio regionale.

I requisiti minimi richiesti per la modellazione afflussi – deflussi tramite WMS sono essenzialmente quattro:

1. La topografia del bacino per la generazione del DEM (Digital Elevation Model);
2. La carta dell'uso del suolo (per il calcolo del CN);
3. I parametri idrologici del suolo (per il calcolo del CN);
4. I dati pluviometrici (ietogramma in ingresso).

La **topografia del bacino** viene dedotta da informazioni altimetriche. La Regione Piemonte, attualmente, mette a disposizione 2 prodotti cartografici, su supporto informatico, in grado di adempiere a tale scopo: il DTM (Digital Terrain Model)

formato da punti quotati disposti secondo una maglia quadrata di 50 m di lato ed espressi in coordinate Gauss- Boaga, e la Carta Tecnica Regionale (CTR), entrambi derivanti dai rilievi compiuti per la redazione della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000.

I dati altimetrici sono elaborati in ambiente WMS[®] per ottenere i parametri morfometrici dei bacini e, mediante il codice Topaz, le direzioni di flusso, le linee di drenaggio ed i sottobacini (i limiti di incertezza geometrici sono connessi alla tolleranza con cui è stato acquisito il dato cartografico).

Il parametro CN dipende da due fattori: l'uso del suolo e il tipo idrologico di suolo.

L'**uso del suolo** è stato acquisito mediante l'elaborazione dei dati distribuiti dalla Regione Piemonte, forniti sotto forma di files in formato .E00 o come shapefile.

Il **comportamento idrologico del suolo** è stato dedotto dall'analisi delle caratteristiche geopedologiche, ma tale analisi risulta difficoltosa a causa della mancanza di indicazioni in merito ai suoli. Pertanto, attualmente, quest'ultimo viene dedotto dall'incrocio di informazioni derivanti da carte geologiche, litologiche, pedologiche e approfondimenti locali a varie scale. Si ottiene la suddivisione del bacino in base a quattro tipi di suolo (A, B, C, D) a permeabilità decrescente. Le elaborazioni delle informazioni, per i nostri bacini alpini, identificano prevalentemente il suolo come tipo A (elevata infiltrabilità se saturo) e tipo B (moderata infiltrabilità se saturo).

Si assume anche che il valore iniziale di CN possa variare in relazione alle condizioni di imbibizione del suolo al momento dell'evento pluviometrico, parametro noto come AMC (Antecedent Moisture Condition). L'imbibizione viene espressa in funzione delle precipitazioni dei 5 giorni antecedenti (API₅), a seconda del quale si individuano tre classi AMC I, II e III le quali rappresentano rispettivamente un terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e terreno fortemente imbibito (Tab.2).

Classe di AMC	Pioggia totale nei 5 giorni antecedenti l'evento	
	Riposo vegetativo	Stagione di crescita
I	< 13 mm	< 36 mm
II	13 ÷ 28 mm	36 ÷ 53 mm
III	> 28 mm	> 53 mm

Tab. 2: Definizione dello stato di imbibizione del suolo.

I **dati pluviometrici** di riferimento derivano dalla determinazione della curva di probabilità pluviometrica, cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno. La curva di probabilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a(t)^n \quad (1)$$

in cui h è l'altezza di pioggia, t il tempo di pioggia, i parametri a e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

Il tempo medio di ritorno viene ipotizzato in funzione dei beni da proteggere, in genere si adotta 200 anni (probabilità annua di superamento $F' = 1/Tr = 0.005$). La decisione deriva dalle considerazioni svolte nell'ambito della Direttiva 4 delle Norme di Attuazione del PAI, in cui si indica che la portata di riferimento da assumere per le valutazioni idrauliche è quella per cui è stata condotta la delimitazione della fascia B.

I parametri della curva di probabilità pluviometrica possono essere determinati mediante elaborazioni statistiche di dati registrati in stazioni pluviometriche presenti all'interno del bacino oggetto di studio, oppure, se mancano tali informazioni, adottando le indicazioni fornite dalla Direttiva 2 del PAI (Autorità di bacino del Fiume Po, 2001) che fornisce, sulla base di elaborazioni puntuali, una interpretazione della

variabilità spaziale dei parametri pluviometrici con il metodo del kriging dei parametri a ed n delle linee segnalatrici, discretizzate in base ad un reticolo di 2 Km di lato.

L'impiego del modello afflussi - deflussi richiede, a differenza del metodo razionale che riconduce in modo univoco la portata al colmo al tempo di corrivazione del bacino, il calcolo della portata per diverse durate di precipitazione, fino a trovare la durata di pioggia responsabile del massimo di portata. La portata al colmo infatti dipende, nella sezione assegnata, da processi di sommatoria di idrogrammi e di laminazione per invaso nella rete. Pertanto, per la determinazione dello ietogramma di riferimento, si procede con la costruzione della relazione tempo di pioggia - portata al colmo e si individua la durata critica di pioggia, ossia quella che conduce alla maggiore portata al colmo.

La Fig. 3 mostra, in sintesi, la procedura seguita per la trasformazione afflussi - deflussi. A partire dalla base morfologica il WMS, mediante il codice TOPAZ, ricava il DEM del bacino, determina le direzioni di flusso, individua la rete di drenaggio, delimita i sottobacini e ne computa i parametri morfometrici. Una volta resi disponibili la delimitazione dei sottobacini, le carte del tipo idrologico, dell'uso del suolo e la tabella che associa il valore numerico attribuito a ciascun tipo di copertura al relativo valore di CN (Tab. 1), il WMS attribuisce il valore del CN a ciascun sottobacino: il valore è ponderato in funzione dell'area occupata dai vari tipi di copertura e dal tipo idrologico del suolo. Il CN figura nel calcolo del "tempo di ritardo" (Time lag), corrispondente all'intervallo tra il baricentro del pluviogramma ed il picco dell'idrogramma. In base alla formula di Mockus il Time Lag (ore) è dato da:

$$TL = 0.342 \cdot Y^{-0.5} \cdot L^{0.8} \cdot (1000/CN - 9)^{0.7} \quad (2)$$

dove Y è la pendenza media del bacino espressa in % e L la lunghezza del collettore principale prolungato fino allo spartiacque, espressa in km.

Noti tali parametri e assegnate le precipitazioni, si ha la generazione dell'idrogramma di riferimento che può essere esplicitato per tutte le singole componenti in cui è stato schematizzato il bacino.

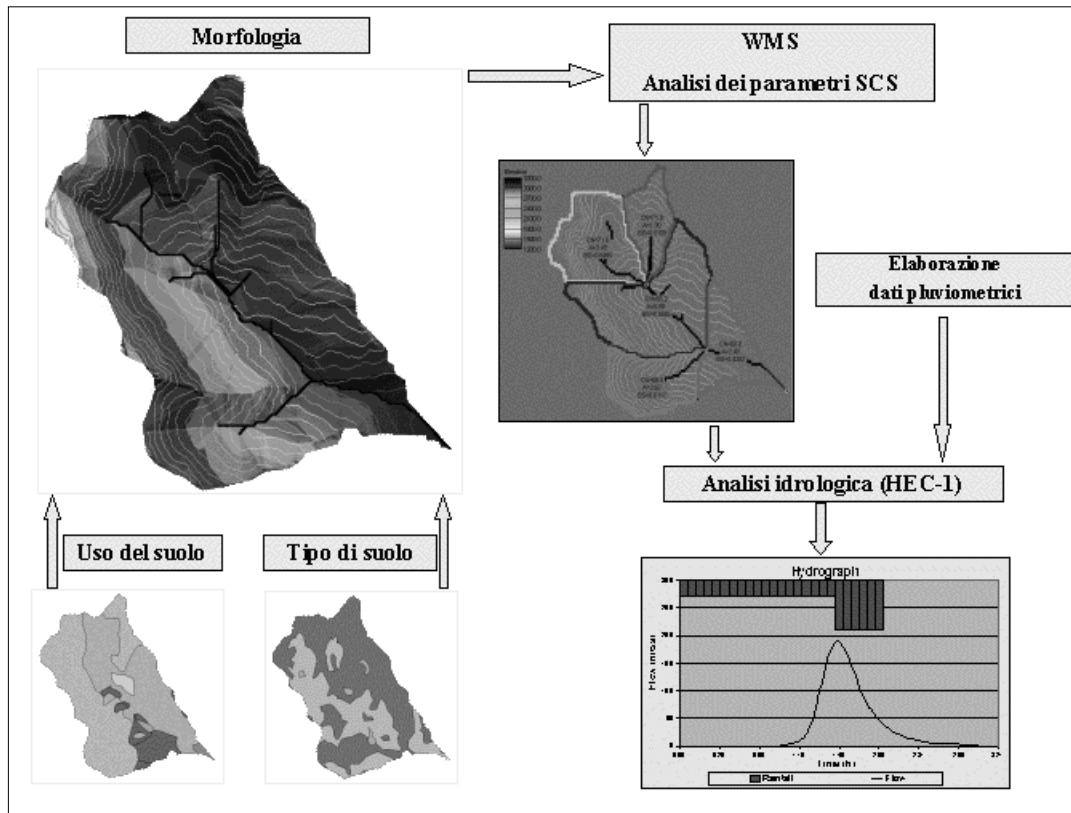


Fig. 3: Schema della trasformazione afflussi – deflussi.

3. Colata detritica

3.1 Formazione della colata a partire dall'idrogramma liquido

La previsione dei possibili volumi solidi che le colate detritiche possono depositare in conoide è di grande importanza per la scelta delle misure da adottare per la gestione del rischio in area conoide. I modelli fisici o empirici di deflusso di colate detritiche hanno bisogno di conoscere le condizioni al contorno a monte (contributo dei versanti, ruscellamento) sotto forma di un idrogramma di ingresso solido – liquido (Bianco et al., 1999).

Tale idrogramma è tutt'altro che di facile acquisizione e, in mancanza di osservazioni dirette di eventi simili a quello che si vuole simulare, occorre ricavarlo facendo ricorso a relazioni teoriche. Il rapporto tra la portata della colata e la portata liquida in arrivo, nell'ipotesi che il materiale in alveo sia completamente saturo, risulta dalla seguente relazione (Armanini, 1999):

$$U_f h = U_0 h_0 \frac{C^*}{C^* - C + \frac{h_0}{a} C \frac{U_0}{U_f}} \quad (3)$$

dove U_f è la velocità del fronte della lava, h è l'altezza del fronte, U_0 è la velocità dell'acqua, h_0 è il tirante idrico, C è la concentrazione in volume della fase solida, C^* è la concentrazione solida di massimo impaccamento e a è un coefficiente pari a 0.042 secondo Bagnold o a 0.35 secondo Takahashi (per colate detritiche che scorrono su fondo erodibile).

Se si suppone che la velocità di avanzamento del fronte U_f sia praticamente uguale alla velocità dell'acqua in arrivo U_0 , la relazione (3) si riduce alla seguente (Armanini, 1999):

$$Q_{df} = Q_0 \frac{C^*}{C^* - C} \quad (4)$$

Tale relazione si riferisce alla portata al colmo della lava Q_{df} , ottenuta a partire dalla portata liquida al colmo Q_0 .

L'idrogramma liquido può essere trasformato in idrogramma della lava torrentizia tramite la (4), estesa per semplicità all'intero idrogramma. Data la mancanza di dati misurati riguardo alla concentrazione solida di massimo impaccamento, si deduce dalla letteratura un valore di 0.7 (Armanini, 1999; Johnson e Rodine, 1984; Costa, 1984), indicato per materiale lapideo non coesivo. La concentrazione in volume C della fase solida può essere ricavata moltiplicando C^* per un coefficiente pari a 0.8. la relazione (4), sostituendo i valori, diventa quindi:

$$Q_{df} = 5Q_0 \quad (5)$$

Applicando la (5) all'idrogramma liquido si ottiene l'idrogramma della colata.

3.2 Convogliamento della colata lungo l'asta torrentizia

La simulazione dell'avanzamento del fronte della colata, secondo lo schema proposto, viene effettuata per il tronco d'alveo compreso tra la sezione di chiusura considerata per la generazione dell'idrogramma e la sezione all'apice del conoide. La modellazione del convogliamento nel tronco di trasferimento viene effettuata mediante il sistema di modellazione di mud e debris flow incorporato nel BOSS DAMBRK® (Boss International, 2000) per i fluidi non newtoniani. Il codice di calcolo è stato sviluppato a

partire da iniziali indagini sulla modellazione della rottura di invasi in materiali sciolti (Fread & Harbaugh, 1973) e sulla propagazione delle onde di piena (Fread, 1974). Una prima versione allestita da Fread (1977) per il National Weather Service (NWS, USA) è stata migliorata con successivi allestimenti fino al 1984. Il codice viene utilizzato per sviluppare l'idrogramma prodotto dalla rottura di uno sbarramento e per modellarne la propagazione a valle. Il sistema è governato dalle equazioni di Saint-Venant in moto vario accoppiate con un paio di condizioni al contorno interne rappresentanti il convogliamento in corrispondenza di stramazzi a larga soglia e di luci di ponti. Ulteriori estensioni permettono di tenere conto dell'effetto di espansioni e contrazioni di sezione, della sinuosità del corso d'acqua e della presenza di fluidi non-newtoniani (da cui la possibilità di impiego per la simulazione di lave torrentizie).

I requisiti minimi per impostare la simulazione di una colata con il DAMBRK sono:

1. Il **profilo longitudinale** e le **sezioni** schematiche dell'alveo per il tronco di interesse;
2. L'assunzione di valori di **viscosità** per la colata;
3. L'assunzione di valori di **scabrezza** per la colata;
4. L'assunzione di valori di **resistenza al taglio** iniziale.

La metodologia che prevede l'uso del DAMBRK per la simulazione delle colate, è stata applicata al bacino del Torrente Rhô (Ruzza, 2002), un affluente dell'alta Dora Riparia (Piemonte), e al bacino del Rio Sasseggio (VB), scelti per la loro rappresentatività in fatto di sistemazione del conoide e di fenomeni di trasporto di massa verificatisi in tempi passati e recenti.

Per quanto riguarda i parametri di viscosità μ e di resistenza al taglio K si può fare riferimento ai range di valori classificati nella letteratura americana (Johnson e Rodine, 1984; Costa, 1984), considerando per esempio un range di $50 \div 2000 \text{ Ns/m}^2$ per la viscosità e di $5 \div 40 \text{ N/m}^2$ per la resistenza al taglio. In realtà, da analisi di sensitività

condotte sui bacini di esempio (T. Rho, TO, e Rio Sasseggio, VB) la resistenza al taglio iniziale sembra essere scarsamente influente sui risultati (Comune di Druogno, 2003).

Per la **valutazione della scabrezza** nei fenomeni relativi alle colate detritiche si è fatto riferimento alla teoria delle pressioni dispersive di Bagnold per il regime granulo – inerziale (Armanini, 1999; Takahashi, 1981), secondo la quale è possibile ottenere una relazione tra la velocità media della corrente e la pendenza della colata in moto uniforme, esprimibile anche sotto la forma della formula del moto uniforme di Chezy:

$$U = \frac{2}{5} \frac{h}{\lambda d} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_s} \frac{(C\Delta + 1)}{\sin\phi a} g h \sin\alpha} = \chi_{df} \sqrt{h \sin\alpha}$$

(6)

dove: h è l'altezza del fronte della lava; d il diametro medio del materiale; ρ la densità dell'acqua; ρ_s la densità del materiale; C la concentrazione in volume della fase solida; ϕ l'angolo di attrito del materiale; a è pari a 0.042 o a 0.35; g l'accelerazione di gravità; α l'angolo di inclinazione dell'ammasso; $\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$ la densità relativa del materiale immerso; λ è la concentrazione lineare, legata alla concentrazione in volume C e alla massima concentrazione C^* dalla seguente relazione:

$$\lambda = \frac{C^{1/3}}{(C^*)^{1/3} - C^{1/3}}$$

(7)

Nel caso del T. Rho, ponendo:

$$a = 0.035; \lambda = 12.95; d = 0.068 \text{ m}; \Delta = 1.65$$

$$C = 0.56; C^* = 0.70; \phi = 35^\circ; h = 3.7 \text{ m}$$

si perviene ad un valore medio di $0.08 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ in termini di n di Manning.

I risultati delle simulazioni condotte con il DAMBRK sono compendiate nella Fig. 4 e nella Fig. 5: la prima mostra il profilo longitudinale del Rio Sasseggio fra quota 1600 e 800 m, ossia nel tratto interessato dal movimento della eventuale lava torrentizia; la seconda mostra gli idrogrammi della colata in corrispondenza del punto di formazione (quota 1550 m s.l.m.) e nella sezione più a valle (quota 850 m s.l.m.). Si osservi la riduzione del colmo da circa 65 m³/s a circa 34 m³/s.

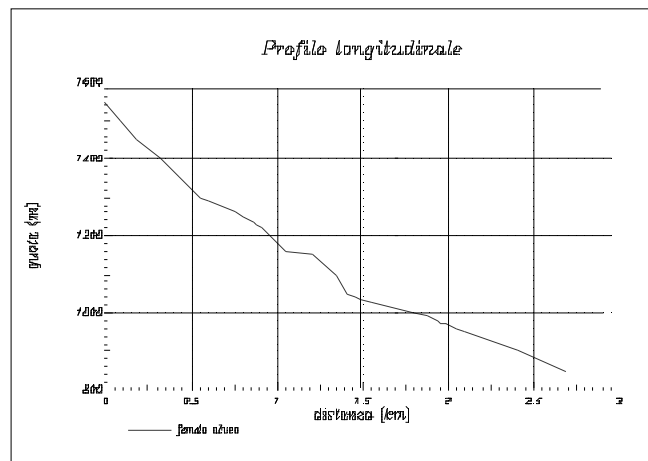


Fig. 4: Profilo longitudinale del Rio Sasseggio (VB) nel tratto di interesse per lo studio del movimento della lava torrentizia. Si osservi la presenza di salti di roccia.

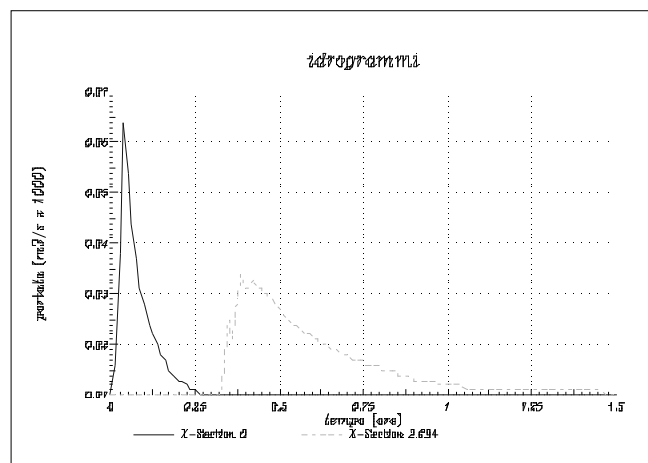


Fig. 5: Idrogrammi generati nella sezione iniziale e nella sezione finale del tronco considerato. Si osservi la riduzione del colmo da circa $65 \text{ m}^3/\text{s}$ a circa $34 \text{ m}^3/\text{s}$.

4. Deposizione della colata in conoide

La previsione dei possibili volumi solidi che le colate detritiche possono depositare in conoide è di grande importanza per la scelta delle misure da adottare per la gestione della pericolosità in conoide. Nel caso in cui si verifichi esondazione all'apice del conoide, l'area interessata dalla deposizione può essere definita mediante l'impiego del codice di calcolo Flo-2D®.

Il codice di calcolo FLO-2D®, distribuito da FLO-2D Software Inc., è un modello bidimensionale sviluppato sia per la simulazione di eventi di piena che per specifiche applicazioni nell'ambito della modellazione delle colate detritiche (*mud flow* e *debris flow*). Flo-2D fa parte dei modelli idraulici approvati dalla FEMA (Federal Emergency Management Agency) per questo tipo di studi. Questo codice di calcolo permette di simulare, in moto vario, la propagazione e la deposizione dell'idrogramma liquido-solido (che deve essere fornito come input ed è ricavabile mediante la procedura descritta nei paragrafi precedenti). Il codice numerico, di tipo bidimensionale, è stato concepito per simulare la propagazione di fluidi viscosi con concentrazione dei sedimenti variabile nel tempo. La progressione dell'idrogramma liquido-solido avviene su un sistema di elementi quadrati (griglia) a maglia fissa; l'integrazione delle equazioni in moto vario è attuata conservando il volume, mentre il controllo numerico dell'equazione di quantità di moto può essere effettuato mediante *Full dynamic wave* o

Diffusive wave. Il modello ha inoltre una serie di opzioni e di componenti che, se attivate, possono aumentare il dettaglio di una simulazione (es. perdite dovute ad immagazzinamento, ostruzioni del flusso, presenza di infrastrutture viarie, ecc.).

I requisiti minimi per impostare la simulazione di una colata detritica con Flo-2D sono:

1. **Idrogramma d'ingresso** della colata;
2. **Topografia di dettaglio**;
3. **Caratteristiche reologiche** della colata;

Per la valutazione dell'**idrogramma d'ingresso** si fa affidamento sui codici di calcolo e sulle metodologie descritte in precedenza.

L'assunzione delle **caratteristiche reologiche** della colata fa riferimento alle ipotesi effettuate per l'attivazione del DAMBREAK. In questa fase è però possibile assegnare ai materiali una viscosità dinamica variabile con il variare della concentrazione dei sedimenti durante lo svolgersi dell'evento, in base alla seguente relazione:

$$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$$

in cui:

η = viscosità dinamica

α, β = coefficienti reologici

C_v = concentrazione dei sedimenti

La condizione di concentrazione dei sedimenti variabile nel tempo è posta nella convinzione che fronte, corpo e coda della colata abbiano caratteristiche diverse.

La **topografia** va acquisita ad una scala adeguata al grado di approfondimento che si vuole raggiungere. Per esempio il DTM e la CTR della Regione Piemonte a scala 1:10000 hanno una tolleranza di circa ± 1.5 m sul singolo punto quotato; poiché la creazione della griglia avviene in seguito ad interpolazioni, ciò contribuisce ad aumentare l'incertezza della quota della cella rappresentata. Conseguenza di ciò è una

tolleranza, nell'interpretazione dei risultati forniti dal modello, maggiore rispetto a quella della cartografia di riferimento.

Un esempio di quanto si può ottenere applicando questo codice di calcolo è descritto nella

Fig. 6.

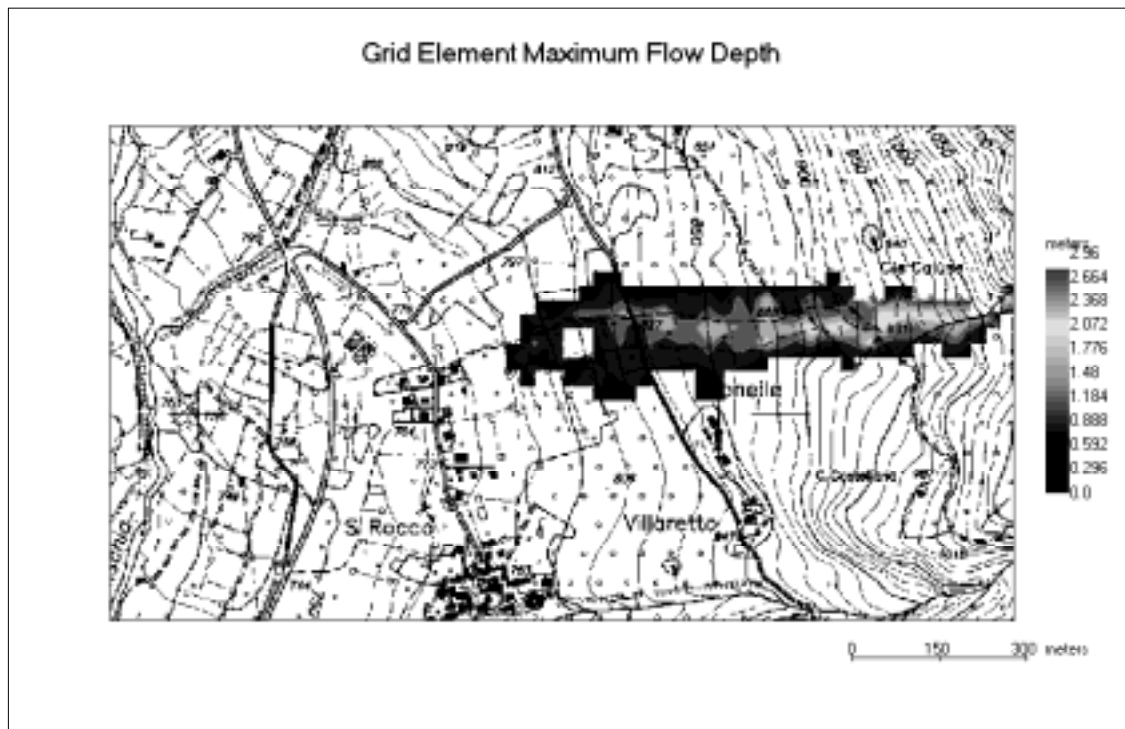


Fig. 6. Esempio dei risultati ottenibili mediante l'impiego di Flo-2D, riferiti ad un'ipotetica colata detritica simulata su versante sinistro del T. Cenischia (Novalesa, Loc. Ronelle, TO), per cui è ipotizzata una colata di 25000 m³ con viscosità dei materiali variabile tra 15 e 1600 N s/m².

5. Conclusioni

A seguito delle accresciute necessità di approfondimento delle verifiche di compatibilità idrogeologica ed idraulica per la definizione della pericolosità in conoide nei confronti di fenomeni come le colate detritiche, si è pensato di definire e proporre uno schema operativo. Tale schema fa volutamente riferimento a codici di calcolo commerciali di larga diffusione nel settore, in modo tale da costituire un riferimento oggettivo e riconoscibile.

Lo schema proposto prende in considerazione 3 fasi:

- 1) definizione dell'idrogramma liquido di progetto a partire dalle precipitazioni di riferimento che si verificano alla testata del bacino;
- 2) formazione della lava torrentizia a partire dall'idrogramma liquido e convogliamento lungo l'asta torrentizia;
- 3) definizione delle aree interessate dalla deposizione dei materiali in conoide;

L'attendibilità dei risultati ottenuti è fortemente legata all'accuratezza con cui vengono rilevati i dati che devono fungere da input per i codici di calcolo (dati pluviometrici ed idrometrici, topografia, osservazione di eventi simili a quelli da simulare, ecc.). Pertanto, soprattutto se sono carenti i dati con cui poter fare un'analisi di sensitività e calibrazione dei modelli, i risultati devono essere interpretati in base all'esperienza diretta.

BIBLIOGRAFIA

1. Armanini A. (1999): *Previsione e prevenzione del rischio da colata di detriti*. In: Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo, Accademia Nazionale dei Lincei, Atti dei Convegni Lincei, n. 154, 13-44.
2. Autorità di Bacino del Fiume Po (2001): *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*. Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica.
3. Autorità di Bacino del Fiume Po (2001): *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*. Direttiva di attuazione dell'art.15 delle Norme: "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B".

4. Autorità di Bacino del Fiume Po (2001): *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*. Deliberazione del Comitato Istituzionale in data 26 aprile 2001, approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 24 maggio 2001.
5. Bianco G., Ruberto G., Brochot S., Laigle D. : *Progetto Interreg II Italia-Francia 1994-1999; Azione 5: Condivisione di metodi e conoscenze sui processi di lave torrentizie per la difesa dei centri abitati*.
6. Boss International (2000): *Boss Dambrk Hydrodynamic Flood Routing, User's Manual*.
7. Comune di Druogno (2003): *Studio di fattibilità, progetto preliminare, definitivo ed esecutivo, nonché la direzione dei lavori e la contabilità dei lavori di consolidamento e/o monitoraggio del fenomeno franoso del M.te Mater (Rio Sasseglio)*,(inedito).
8. Costa J.E. (1984): *Physical Geomorphology of Debris Flows*. In: Costa J.E., Fleisher P.J., *Developments and Applications of Geomorphology*, Springer – Verlag 1984, 268-317.
9. Fread D.L., Harbaugh T.E. (1973): *Transient Hydraulic Simulation of Breached Earth Dams*, Journal of Hydraulics Division, ASCE 99, 139-154
10. Fread D.L. (1977): *The development and testing of a Dam-Break Flood Forecasting Model*, Proceedings Dam-Break Flood Modeling Workshop, U.S. Water Council. Washington, 1977, 164-197
11. Hoggan D.H. (1996): *Computer Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics*, McGraw-Hill, New York.
12. Johnson A.M., Rodine J.R. (1984): *Debris flow*, in *Slope Instability*, ed. D. Brunsten and D.B. Prior, 1984, John Wiley & Sons Ltd., 257-361.
13. O'Brien S.J. (2002): *USERS' MANUAL*, version 2001.06, Flo-2D Software Inc.
14. Ranzi R, Rosso R. (1994): *FLEA – Manuale d'uso*, Milano.

15. Regione Piemonte (2002): *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Indirizzi per l'attuazione del PAI nel settore urbanistico*, Deliberazione della Giunta Regionale 15 luglio 2002 n. 45-6656.
16. Ruzza R. (2002): *Il torrente Rhô: 100 anni di sistemazioni idraulico-forestali* – Tesi di laurea – Corso di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali – Università di Torino, (inedito).
17. Takahashi T. (1980): *Debris Flow on Prismatic Open Channel*, Journal of the Hydraulics Division, March 1980, HY3, 381-396.
18. Takahashi T. (1981): *Debris Flow*, Annual Review of Fluid Mechanics, Vol.13, 57-77.