

ESEMPIO DI MODELLAZIONE DI COLATE DETRITICHE MEDIANTE IL PROGRAMMA BOSS DAMBRK.

Ing. P. Bertolo
Prof. G. Bottino
Prof. M. Rosso

Dipartimento Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino

Dipartimento Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino

Dipartimento Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili, Politecnico di Torino

Nus, 29 maggio 2003.

Introduzione

Il notevole sviluppo, nelle vallate alpine, di centri abitati ed attività antropiche costruite su conoidi, ha frequentemente comportato la necessità di costringere i corsi d'acqua che attraversano queste aree a scorrere in un alveo fisso, che ne impedisca le naturali divagazioni. In tali circostanze, eventi quali le piene torrentizie e le colate detritiche vengono a costituire un elevato rischio per le strutture antropiche presenti in conoide. L'estrema rapidità con cui si evolvono, l'alta capacità erosiva e gli effetti distruttivi indotti dall'elevata energia del materiale trasportato caratterizzano, infatti, questi fenomeni, creando situazioni di rischio anche in aree lontane dall'alveo attivo. Lo studio (recentemente iniziato ed ancora in corso), di cui qui si presentano alcuni significativi risultati, è stato condotto su alcuni bacini dell'arco alpino occidentale ritenuti tipici per i fenomeni che vi si sono sviluppati nei recenti eventi alluvionali. La finalità è stata quella di individuare una metodologia idonea per una modellazione quanto più realistica possibile dei fenomeni caratteristici dello specifico ambiente delle Alpi occidentali. Questa modellazione costituisce a sua volta un elemento indispensabile per la realizzazione di reti di monitoraggio ed interventi strutturali atti a mitigare gli effetti distruttivi delle stesse colate detritiche.

Il metodo di indagine adottato mira alla sintesi fra i dati direttamente rilevati sul terreno (geologico-tecnici, idrogeologici, geodinamici e pluviometrici), con quelli dedotti dalle serie storiche e dalla modellazione (cinematismo, condizioni di innesco e sviluppo, massimi volumi mobilizzabili), sintesi che dovrà essere supportata da verifiche dirette in situ ed analisi a ritroso dei recenti eventi pregressi, secondo lo schema di figura 1.

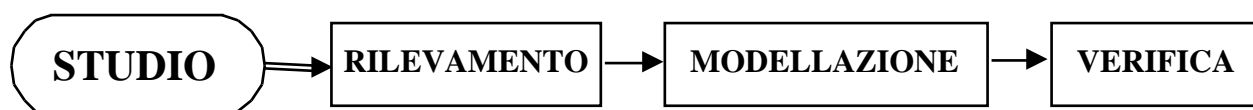


Figura 1. Fasi secondo cui è articolata la ricerca in corso.

In particolare, l'applicazione e l'implementazione di un modello di calcolo deve nascere da una interazione fra i dati rilevati e la attenta valutazione dei risultati ottenuti dall'analisi di casi reali, condotta tramite diversi programmi disponibili, ciò al fine di poter ben definire le reali potenzialità dei singoli codici di calcolo ed il loro campo ottimale di applicazione. Al momento attuale, infatti, non esiste, vista anche l'estrema complessità del fenomeno, un modello di calcolo onnicomprensivo, ma esistono buoni modelli che basandosi su principi diversi (meccanici, geotecnici, idraulici) riescono a cogliere solo una parte degli aspetti fisici delle colate detritiche.

Per questo motivo una parte importante della ricerca sarà indirizzata alla valutazione di come questi differenti modelli possano integrarsi in maniera organica fra loro al fine di permettere una più completa descrizione dei fenomeni.

La scelta del codice di calcolo e la reologia dei fluidi

Nell'ottica di descrivere tramite modelli i fenomeni di cui si conosce la ripetitività storica, occorre innanzitutto verificare le potenzialità e l'affidabilità dei codici disponibili per la descrizione di casi specifici.

Per tutti i software è infatti necessario individuare la corretta parametrizzazione che permette al metodo di modellare nel modo più idoneo il fenomeno in esame; avendo a disposizione un software è inoltre importante valutarne la flessibilità rispetto alla rappresentazione di fenomeni diversi.

Nel caso specifico della ricerca in oggetto, sulla base della fenomenologia osservata nei recenti eventi, sono state individuate tre tipologie di evoluzione delle colate detritiche, differenti sia per le condizioni morfologiche in cui si verificano, che per la stessa modalità di sviluppo, in termini di concentrazioni, velocità ed energia che le caratterizzano.

Le tre tipologie individuate sono:

- colate detritiche incanalate con sbocco in conoide e totale deposito del materiale sul conoide stesso;
- colate detritiche che trovano la loro origine in rami torrentizi secondari e in cui il materiale mobilizzato dall'evento viene in prima istanza depositato alla confluenza con il collettore principale, per poi essere, almeno in parte, preso in carico dal corso d'acqua principale e ridepositato sul conoide di quest'ultimo o lungo l'asta fluviale;
- dam break, ossia la rottura di uno sbarramento naturale provocato da un movimento franoso che determina l'ostruzione temporanea di un corso d'acqua e la conseguente formazione di un'onda impulsiva che spesso costituisce il più pericoloso fra i meccanismi di formazione delle colate di detrito.

Fra i diversi codici disponibili si è scelto di utilizzare il programma DAMBRK, di uso consolidato nel campo dell'idraulica, verificandone l'applicabilità ai fenomeni di *debris flow*. Caratteristica interessante del codice DAMBRK è quella di offrire la possibilità di simulare la propagazione di fluidi Newtoniani o non-Newtoniani.

Questo programma è distribuito dalla *Boss International* ed è nato per la simulazione del collasso di una diga e la successiva propagazione dell'onda impulsiva in uscita calcolata lungo l'alveo a valle dello sbarramento (Boss DAMBRK - User's manual, 1995); esso è pertanto utile per tracciare mappe di potenziali inondazioni e stabilire il tempo di propagazione dell'onda di piena verso valle. Un recente lavoro di GATTINONI (2001) presenta una simulazione di un evento reale eseguita tramite questo programma.

In generale il programma può essere utilizzato per la propagazione di qualsiasi idrogramma attraverso serbatoi, canali ed estuari, attraverso le equazioni di moto vario; il flusso può essere subcritico o supercritico, o una combinazione dei due lungo l'ascissa curvilinea dell'asta.

A proposito delle differenti caratteristiche reologiche delle correnti iperconcentrate si può evidenziare come, al variare delle correnti che si generano in ambiti geografici e geologici diversi, in letteratura siano stati proposti modelli di fluido diversi, da pseudo-plastici a Bingham-dilatanti.

In accordo con FRANZI (2000), l'apparente contraddittorietà degli approcci seguiti diventa comprensibile se si considera che:

- fenomenologie differenti richiedono effettivamente modelli reologici diversi, ed è pertanto arduo tentare di estendere una modellistica unica al complesso insieme dei casi reali;
- il comportamento reologico del miscuglio è dipendente sia dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente sia dalle caratteristiche mineralogiche del sedimento (in particolare è influenzato dal contenuto di materiale coesivo);
- molti modelli sono stati studiati e tarati per casi particolari, quindi mancano intrinsecamente di generalità.

Malgrado la complessità del tema, occorre comunque sottolineare come la corretta definizione della tipologia di fenomeno sia indispensabile ai fini di una adeguata progettazione di strumenti di difesa passivi ed attivi.

Il problema della parametrizzazione

Il codice DAMBRK richiede in input:

- le caratteristiche geometriche delle sezioni;
- un idrogramma in ingresso alla sezione di monte;
- il peso di volume del fluido;
- i parametri reologici del fluido in termini di viscosità dinamica (μ) e tensione di soglia (τ_0).

I parametri reologici rientrano nella definizione del termine che, all'interno dell'equazione del moto, è associato alla dissipazione di energia dovuta alla viscosità del fluido non-Newtoniano. Il modello reologico utilizzato è quello alla Bingham, rappresentato dalla seguente legge costitutiva:

$$\tau_s = \tau_0 + \mu \left| \frac{dv}{dy} \right|^m.$$

In letteratura esistono poche indicazioni relativamente ai valori da assegnare alle grandezze viscosità dinamica (μ) e tensione di soglia (τ_0) per le colate detritiche; tali valori, inoltre, sono poco omogenei, viste le diverse caratteristiche del sedimento coinvolto nei fenomeni. Alcuni di questi valori (MING JIN & FREAD, 1997) sono riportati in tabella 1, nel loro insieme essi evidenziano quanto scarse siano, allo stato attuale, le conoscenze sulle reali caratteristiche reologiche del miscuglio.

Caso	Anno	Peso di volume γ [N/m ³]	Viscosità dinamica μ [N·s/m ²]	Tensione di soglia τ_0 [N/m ²]
Jinshan debris reservoir, Anhui, China	1980	15700	2.1	38
Albertfan coal waste dump failure, Wales	1965	17640	958	4794
Rudd Creek landslide-induced mudflow, Davis County, Utah	1983	15750	958	956

Tabella 1. Valori forniti in letteratura per i parametri μ e τ_0 .

La variabilità dei parametri μ e τ_0 è funzione non solo della composizione mineralogica (WAN & WANG, 1994), ma anche della concentrazione del miscuglio (O'BRIEN & JULIEN, 1985); in particolare sia la tensione di soglia che la viscosità possono variare anche di tre ordini di grandezza al variare della concentrazione dal 10% al 40% e, qualora all'interno del miscuglio vi sia un'abbondante presenza di particelle limose, essi risultano anche funzione, secondo LOCAT (1997), del Ph, della salinità, della storia dello stato tensionale e, in misura minore, della temperatura.

Pertanto, al fine di fornire al codice DAMBRK dei valori rappresentativi attribuibili alle colate detritiche simili a quelle che si possono manifestare lungo l'arco alpino, si è effettuata una *back analysis* sui dati riportati in letteratura, relativi alle misurazioni effettuate in due bacini attrezzati, scelti per la frequenza dei fenomeni ed il conseguente numero di misure disponibili: il Torrente Kamikamihori, che forma il conoide di Yakedake (Giappone), ed il Torrente Moscardo (Alpi Carniche).

Back analysis

Per il Torrente Kamikamihori è stata eseguita la modellazione di un tratto di lungo circa 800 m a monte della diga n.6, sezione a cui sono riferite le misure dei fenomeni di *debris flow*; i dati relativi al torrente sono reperibili in SEMINARA & TUBINO (1993).

La tabella 2 riporta i dati misurati e quelli ottenuti imponendo al codice DAMBRK i valori di peso di volume, viscosità dinamica e tensione di soglia indicati nelle rispettive colonne: la buona corrispondenza fra i valori misurati e quelli ottenuti ha permesso di giudicare come rappresentativi dei valori di viscosità dinamica compresi tra 600 e 1100 N·s/m², e dei valori di tensione di soglia di 200 - 300 N/m².

Evento	Peso di volume γ [N/m ³]	Viscosità μ [N·s/m ²]	Tensione di soglia τ_0 [N/m ²]	Portata Q_{max} [m ³ /s]	DATI MISURATI		VALORI DA SIMULAZIONE	
					Velocità fronte v_{max} [m/s]	Altezza fronte h [m]	Velocità fronte v_{max} [m/s]	Altezza fronte h [m]
19/07/76	18000	1100	300	124	3.4	3.4	3.7	3.4
03/08/76	22000	1000	200	103	3.8	3.2	3.8	3.2
17/08/78	22500	1100	200	98	5.1	3.8	4.8	3.75
04/09/78	22000	600	200	24	1.9	1.5	2	1.8
21/09/79	22000	1200	200	98	3.3	3.4	3.35	3.4

Tabella 2. Torrente Kamikamihori, dati misurati e valori calcolati tramite codice DAMBRK.

Analogamente per il Torrente Moscardo, i cui dati sono reperibili in ARATTANO et alii (1996).

Evento	Peso di volume γ [N/m ³]	Viscosità μ [N·s/m ²]	Tensione di soglia τ_0 [N/m ²]	Portata Q_{max} [m ³ /s]	Volume totale materiale trasportato V [m ³]	DATI MISURATI		VALORI DA SIMULAZIONE	
						Velocità fronte v_{max} [m/s]	Altezza fronte h [m]	Velocità fronte v_{max} [m/s]	Altezza fronte h [m]
13/08/91	17700	290	100	88	19000	5	2.13	5.5	2.1
30/09/91	18500	600	180	24	3250	1.9	1.67	1.8	1.9
01/09/92	17800	450	80	46	5800	2.5	2.24	2.2	2.3

Tabella 3. Torrente Moscardo, dati misurati e valori calcolati tramite codice DAMBRK.

Anche in questo caso la buona corrispondenza fra i dati rilevati e quelli calcolati ha permesso di adottare come valori significativi dei parametri di viscosità compresi fra 290 e 600 N·s/m² e di tensione di soglia compresi fra 80 e 180 N/m². In questo secondo caso si tratta di valori minori rispetto al precedente sia a causa della diversa natura dei materiali che per la diversa concentrazione delle colate.

Utilizzando per i parametri di viscosità dinamica e tensione di soglia dei valori analoghi a quelli ottenuti con la *back analysis*, si è effettuata la modellazione di due eventi avvenuti durante l'alluvione del 2000 in Piemonte: il caso del Torrente Frangerello, in Valle di Susa, e quello del Torrente Praghetta-Piantonetto, in Valle Orco.

Modellazione del debris flow del 15 ottobre 2000 nel Torrente Frangerello

Con il software DAMBRK è stata simulata la propagazione della colata detritica lungo l'alveo del Torrente Frangerello, che converge sul centro abitato di Villar Focchiardo (media Valle Susa).

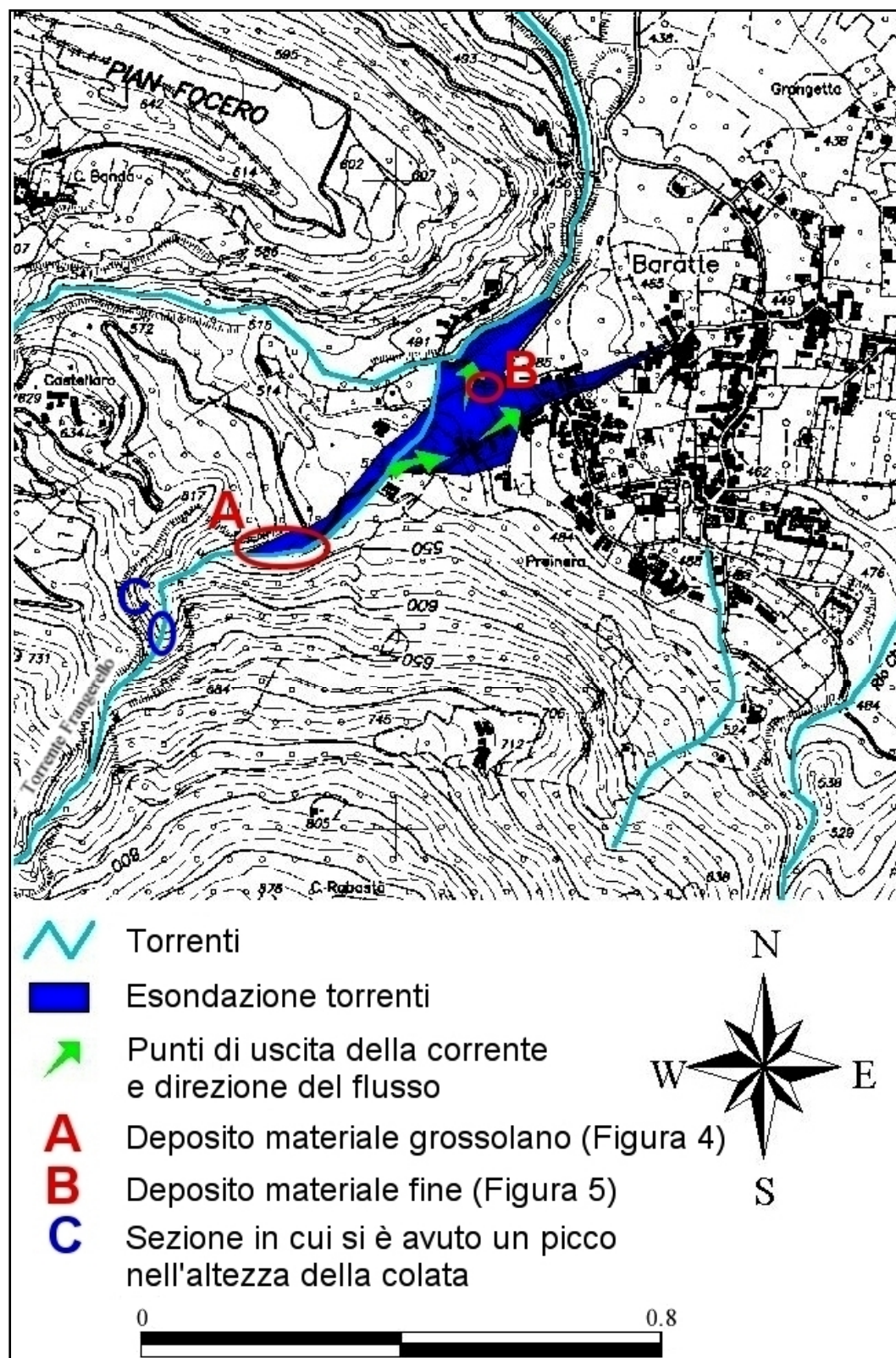


Figura 2. Planimetria del tratto terminale del Torrente Frangerello e indicazione dell'area di conoide invasa dalla colata detritica del 15 ottobre 2000.

Il fenomeno, studiato nella Tesi di Laurea di BERTOLO (2002), ha mobilitato essenzialmente depositi detritici di versante di origine morenica. Sono stati utilizzati i seguenti valori dei parametri: $\gamma = 22000 \text{ N/m}^3$, $\mu = 1500 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$, $\tau_0 = 400 \text{ N/m}^2$, $Q_{max} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$. L'elevata massa volumica, rispetto a quella adottata per il Moscardo, è giustificata dall'aver assunto una elevata concentrazione in volume ($C = 0.8$) del miscuglio, dedotta dalla notevole quantità di materiale detritico giunto in conoide ed attribuibile al *debris flow* ($V \cong 24000 \text{ m}^3$). L'incremento dei parametri di viscosità dinamica e tensione di soglia, più alti rispetto a quelli del Torrente Kamikamihori (a parità di massa volumica), è dovuto sia alla maggiore concentrazione che anche alla diversa litologia coinvolta nei due fenomeni.

Il software DAMBRK fornisce gli idrogrammi di piena nelle sezioni desiderate: il grafico in figura 3, mostra gli idrogrammi in 5 sezioni successive del Torrente.

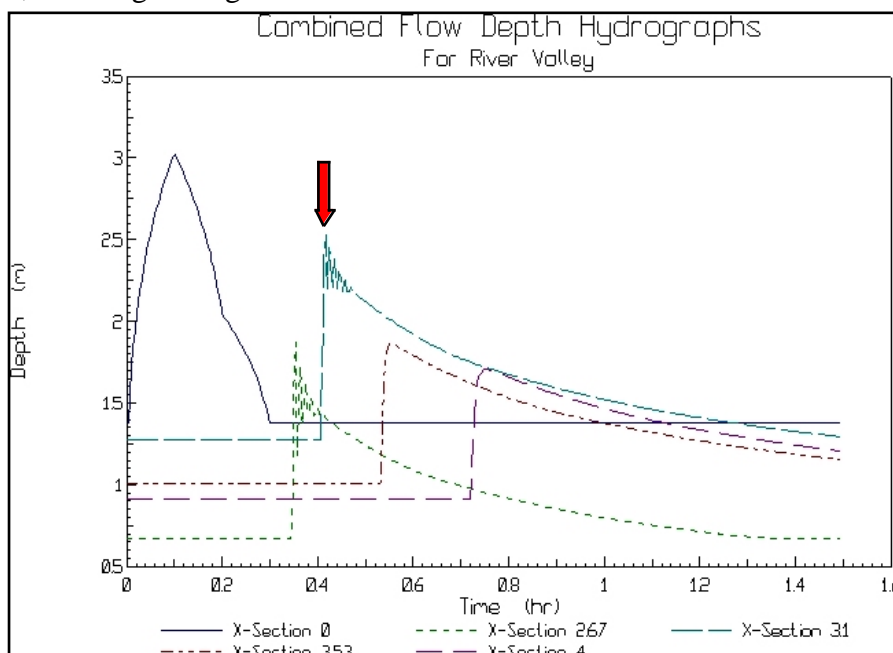


Figura 3. Idrogrammi elaborati in 5 sezioni tramite DAMBRK.

da una parete rocciosa di almeno 10 m di altezza). A valle, in corrispondenza dell'ostacolo offerto dal ponticello a quota 513 m s.l.m., il fronte della colata ha raggiunto un'altezza di quasi 4 m e, superando il muraglione appena costruito che avrebbe dovuto fungere da sponda (massi ciclopici intasati di cemento), è fuoriuscito dall'alveo anche in destra, raggiungendo poi il limite del centro abitato.



Figura 4. Depositi di materiale grossolano in apice di conoide.

La freccia rappresenta l'apice del conoide (zona A in figura 2), ossia il punto dove la pendenza diminuisce bruscamente e la colata inizia a depositare materiale. L'elaborazione del programma di calcolo fornisce un'altezza del fronte della colata in questo tratto di oltre 2.5 m, questo dato conferma quanto successo la mattina del 15 ottobre 2000 in cui il *debris flow* è uscito in sinistra, poco a valle dell'apice del conoide (a quota 530 m s.l.m.), dove la sponda era alta poco più di 2 m (in destra la sponda è costituita

L'accumulo lasciato lungo il conoide riflette caratteristiche granulometriche ben differenziate; in particolare nel tratto più elevato, corrispondente all'apice del conoide e nel tratto immediatamente a monte dello stesso, esso ha raggiunto localmente spessori di 3 – 4 m, con massi a pezzatura eterogenea (figura 4) per lo più grossolana, dell'ordine di diversi metri cubi, che si sono arrestati su distanze anche di alcune centinaia di metri. Una seconda

tipologia di deposito è costituita dalla frazione più fine che è defluita sugli accumuli precedentemente descritti, debordando ed accelerando la sua corsa su di un prato (figura 5), posto in sponda destra e retrostante alcune abitazioni, rimasto in parte decorticato; tale massa, a componente più fluida, si è deposta, al di fuori dell'alveo, su un'area pari a circa 11000 m^2 .

Complessivamente il deposito in conoide dovuto al *debris flow* è stato stimato in circa 24000 m^3 .



Figura 5. Depositi a granulometria prevalentemente fine.

Una analoga simulazione è stata anche effettuata con il software DEBRIS della Geosoft s.a.s. (Milano), che si basa sulla teoria cinematica di Takahashi, ottenendo il grafico in figura 6, in cui è rappresentato il valore massimo delle altezze raggiunte dal fronte della colata lungo lo sviluppo dell'asta.

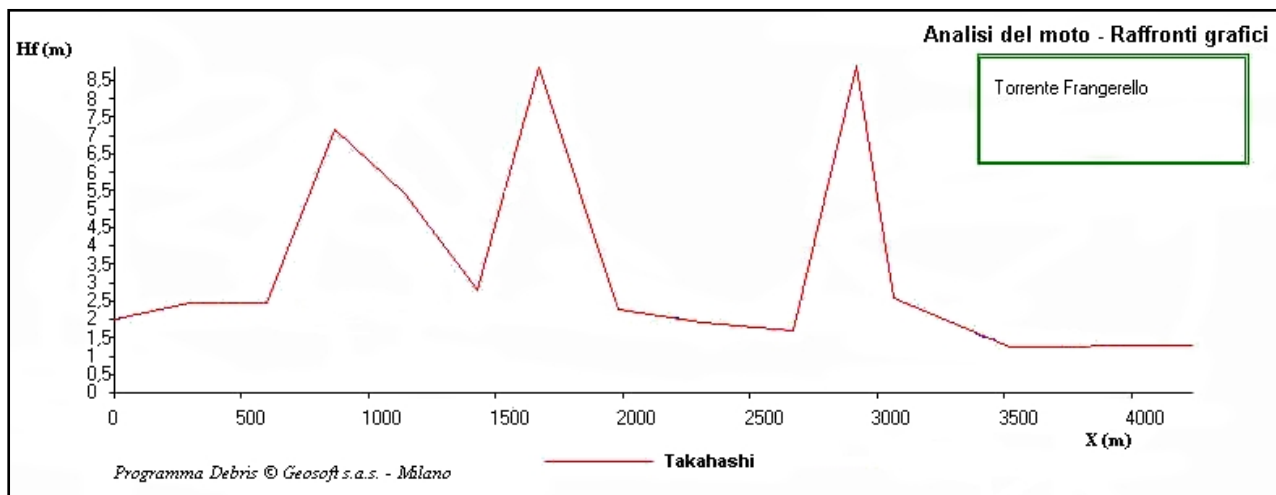


Figura 6. Altezze raggiunte dalla colata lungo l'asta secondo la teoria di Takahashi.

Per quanto riguarda il calcolo delle velocità, sono risultate più attendibili quelle fornite dal software DAMBRK; in questo caso si ottengono infatti velocità medie nei diversi tratti che variano dai 10 m/s ai 2.5 m/s. In particolare la velocità calcolata in apice di conoide (sezione importante ai fini della progettazione di interventi di protezione) è di 7 m/s, mentre nel tratto di conoide modellato la velocità è risultata di 1.4 m/s, tale da permettere la sedimentazione di buona parte del materiale trasportato.

La sostanziale congruenza fra i risultati di queste due differenti simulazioni, nonché la positiva verifica tramite osservazioni in situ, forniscono una validazione dei risultati ottenuti con i due diversi metodi, rendendo ipotizzabile e la possibilità di integrare fra loro questi modelli, al fine di superarne i rispettivi limiti.

Modellazione del debris flow del 14 ottobre 2000 nel Torrente Praghetta - Piantonetto

Il Torrente Piantonetto, tributario in sinistra del Torrente Orco, ha un bacino di complessivi 50.3 km² suddiviso in numerosi sottobacini, uno dei quali è il bacino del Torrente Praghetta (superficie 1.63 km²); esso è stato studiato nell'ambito della Tesi di Laurea di RAVERA (2002).



Figura 7. Conoide del Torrente Praghetta.

L'evento parossistico manifestatosi durante l'alluvione del 2000 nel Torrente Praghetta rientra nella seconda delle tipologie individuate all'inizio di questo lavoro, infatti parte del materiale giunto sul conoide del Praghetta è stato poi rimobilizzato dalla corrente del Torrente Piantonetto e, percorrendo un tratto di alveo piuttosto inciso e a forte pendenza, è giunto fino all'abitato di Rosone, posto alla confluenza con il Torrente Orco.

La figura 7 mostra la propagazione della colata di detrito sul conoide del Praghetta all'innesto con il Piantonetto, a valle dell'abitato di S.Lorenzo, con la distruzione di due tronchi di strada.



Figura 8. Danni subiti nell'abitato di Rosone.

Le figure 8 e 9 rappresentano invece, rispettivamente, la confluenza del Piantonetto nel Torrente Orco e la parte nuova dell'abitato di Rosone, che ha subito numerosi danni, ed un'immagine della piena a Rosone (alle ore 14 del 14 ottobre 2000).



Figura 9. Altezza raggiunta dalle acque fouriuscite dall'alveo del Piantonetto a Rosone.

Per tenere conto della notevole portata a componente prevalentemente liquida che ha investito il *debris flow* del Torrente Praghetta in conoide, quindi per rappresentare il mutamento delle caratteristiche reologiche del miscuglio dovute all'effetto di diluizione, sono state effettuate con il software DAMBRK due simulazioni distinte: la prima per il Torrente Praghetta fino allo sbocco nel Piantonetto per il *debris flow* vero e proprio, e la seconda per il tratto del Torrente Piantonetto fino alla confluenza in Orco, in cui si è venuta a creare una corrente solido-liquida iperconcentrata.

I parametri utilizzati per le due modellazioni sono i seguenti:

Torrente Praghetta: $C = 0.8$, $\gamma = 22000 \text{ N/m}^3$, $\mu = 1600 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$, $\tau_0 = 400 \text{ N/m}^2$, $Q_{max} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$.

Torrente Piantonetto: $C = 0.5$, $\gamma = 18000 \text{ N/m}^3$, $\mu = 320 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$, $\tau_0 = 40 \text{ N/m}^2$, $Q_{max} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per quanto riguarda il *debris flow* nel Praghetta si è ottenuto il grafico riportato in figura 10 che rappresenta le altezze della colata in alcune sezioni: come si può notare in conoide il picco ha raggiunto i 2.5 m (idrogramma della sezione di progressiva 1.99, in rosso).

La velocità media calcolata in conoide è di 1.4 m/s, e coincide con quella calcolata per l'evento nel Torrente Frangerello; il valore di 1.4 m/s potrebbe pertanto essere una velocità tipica delle colate nelle aree di conoide (naturalmente questo dato è stato ricavato da un numero troppo limitato di casi, e andrà quindi verificato sulla base di ulteriori studi).

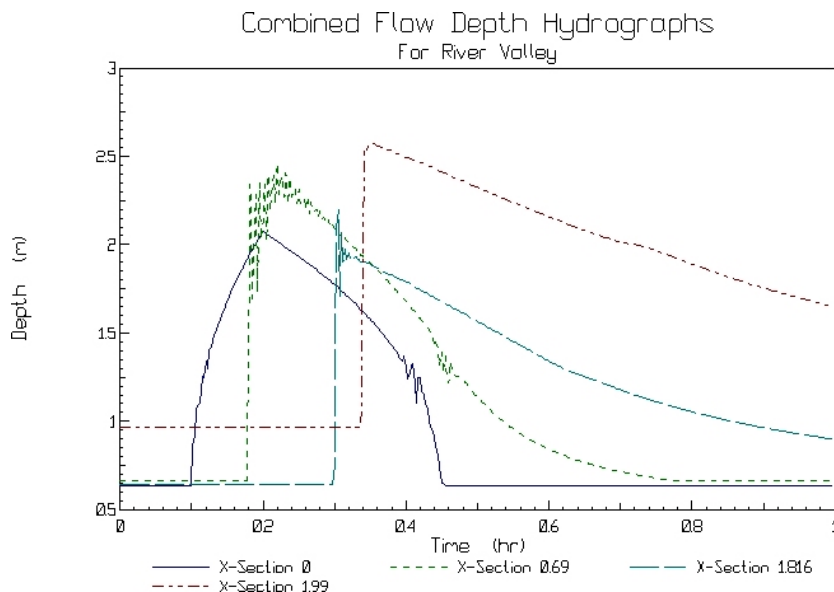


Figura 10. Idrogrammi elaborati in 4 sezioni tramite DAMBRK.

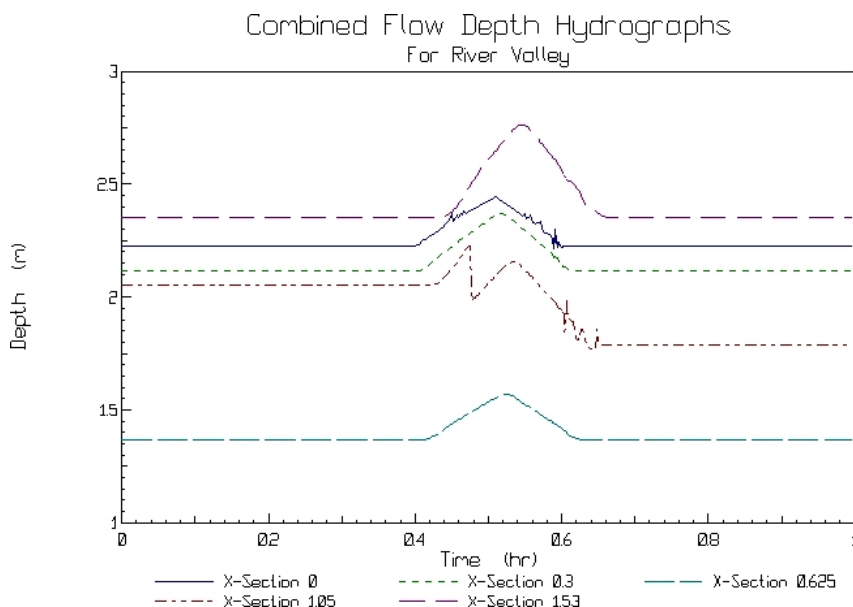


Figura 11. Idrogrammi elaborati in 5 sezioni tramite DAMBRK.

l'abitato di Rosone, la cui altezza superava di poco i 2 m.

L'analogo grafico (figura 11) ottenuto per il flusso iperconcentrato verificatosi nel Piantonetto, ben evidenzia il picco di portata dovuto alla presa in carico, da parte della corrente, di parte del materiale affluito sul conoide del Praghetta. Alla sezione 1.53 (in viola), in particolare, l'idrogramma calcolato raggiunge un'altezza massima di 2.75 m; questo valore trova conferma con l'osservazione diretta che ha evidenziato che il punto in cui si è avuta l'esondazione, coincide con un tratto delle sponde del canale in cui è costretto il Piantonetto presso

Conclusioni.

Nonostante gli incoraggianti risultati ottenuti con l'applicazione del software DAMBRK e la buona rispondenza dei valori calcolati con quelli misurati in casi realmente avvenuti, lo studio relativo alla possibilità di individuare idonei strumenti di calcolo per la modellazione delle diverse tipologie di colate detritiche che interessano le vallate alpine piemontesi è ancora in fase iniziale e ampiamente sperimentale. I modelli attualmente disponibili pur essendo ormai affidabili per quanto riguarda il codice di calcolo, sono tuttavia fortemente condizionati dalla scelta dei parametri rappresentativi dei diversi eventi, parametri che devono necessariamente essere definiti partendo dai rilevamenti diretti sul campo. Questi parametri, inoltre, una volta individuati, non sono universalmente applicabili, ma valgono per ambiti omogenei e casi analoghi; acquista pertanto una fondamentale importanza la regionalizzazione dei valori assunti, in quanto le metodologie possono sicuramente essere esportate, ma i parametri in ingresso no, perché dipendenti da condizioni geologiche, climatologiche e morfologiche.

A causa della notevole difficoltà nel condurre una affidabile sperimentazione che preveda la misurazione diretta dei parametri fisici caratterizzanti le colate detritiche, l'uso di codici di calcolo rivestirà comunque una sempre maggiore importanza - in particolare in fase previsionale e di definizione dei parametri di pericolosità e rischio nelle aree di conoide - soprattutto per la stima di grandezze fisiche, quali velocità, altezze della colata ed energia, che a loro volta entrano come input per altri codici finalizzati alla ubicazione o al dimensionamento nella progettazione di opere di difesa, ovvero per la determinazione dell'estensione delle aree potenzialmente inondabili.

Bibliografia.

- ARATTAMO M., MORTARA G., DEGANUTTI A.M., MARCHI L. (1996): "Esperienze di monitoraggio delle colate detritiche nel Torrente Moscardo (Alpi Carniche)", Studi sui debris flow, Quaderni di studi e documentazione, GEAM, anno 33, n. 2-3, giugno-settembre 1996.
- BERTOLO P. (2002): "Studio di colate detritiche in bassa Valle di Susa: approccio metodologico ed analisi dell'evento 2000", Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Torino.
- BOSS CORPORATION (1989): "Boss DAMBRK - User's manual", Boss International, Inc.
- COUSSOT P., LAIGLE D., ARATTAMO M., DEGANUTTI A.M., MARCHI L. (1996): "Determinazione delle caratteristiche reologiche di un debris flow", XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 16-18 settembre 1996, Vol I, p. 124-135
- FRANZI L. (2000): "Correnti iperconcentrate in ambiente montano: aspetti modellistici", Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Idraulica - Politecnico di Milano - Politecnico di Torino.
- GATTINONI P. (2001): "Formazione e rottura di uno sbarramento naturale: dalla modellazione di un caso storico alla previsione di un evento futuro", GEAM, anno 38, n. 1, marzo 2001.
- LOCAT J. (1997): "Normalized rheological behaviour of fine muds and their flow properties in a pseudoplastic regime", Proceedings, First International Conference on debris-flow hazards mitigation: mechanics, prediction and assessment, ASCE, New York
- MING JIN, FREAD D.L. (1997): "One-dimensional routing of mud/debris flows using NWS FLDWAV model", First International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, USGS, San Francisco, California.
- O'BRIEN J.S., JULIEN P.Y. (1985): "Physical properties and mechanics of hyperconcentrated sediment flows", Conference on delineation of landslides, flash flood and debris flow hazards in Utah, Utah Water Research Laboratory.
- RAVERA E. (2002): "Analisi dei fenomeni di dissesto idraulico-geologico in Valle Piantonetto connessi con l'evento ottobre 2000", Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Torino.
- SEMINARA G., TUBINO M. (1993): "Debris flow: meccanica controllo e previsione", C.N.R. - G.N.D.C.I., monografia.
- WAN Z., WANG Z. (1994): "Hyperconcentrated flow", Balkema, Rotterdam.