

CONTRIBUTI SPECIFICI

Il presente capitolo raccoglie alcuni contributi inquadrabili nel tema generale oggetto del volume, ma dedicati a taluni aspetti di indubbio interesse, la cui trattazione a parte ha permesso di sviluppare in modo specifico l'argomento trattato.

PROCESSI TORRENTIZI LUNGO IL RETICOLO IDROGRAFICO SECONDARIO DELLA MEDIA VALLE CHISONE

Si è posta particolare attenzione alla violenta attività torrentizia (del reticolo idrografico secondario) che ha colpito con particolare intensità e densità il tratto in sinistra idrografica della medio-bassa Val Chisone, più precisamente tra i comuni di Pinasca e Roure, all'interno di un ambito di forma semicircolare che circonda i tributari laterali di sinistra del T. Chisone.

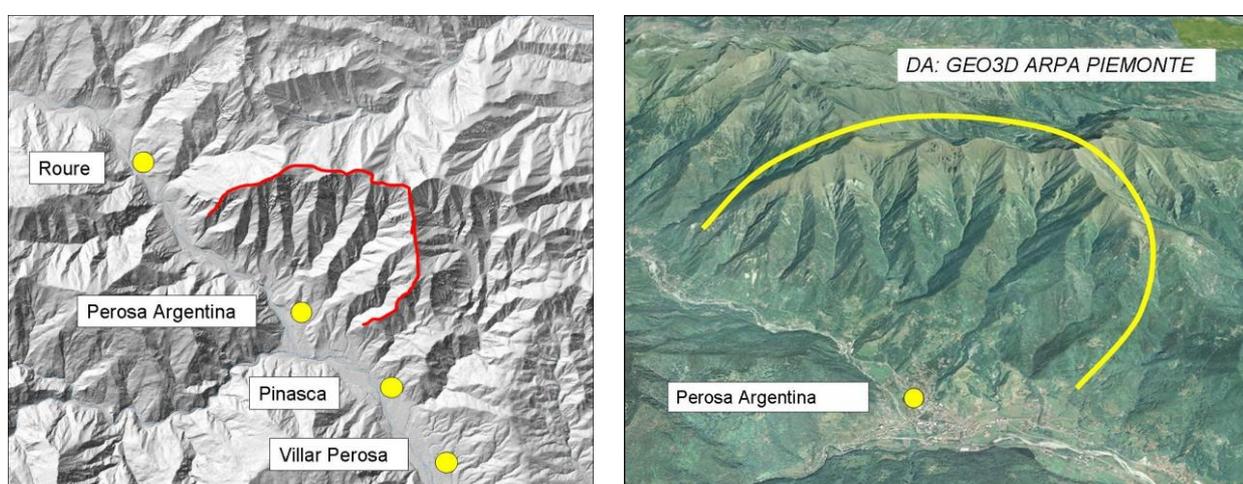


Figura 1. I bacini coinvolti dai processi torrentizi del novembre 2016, a sinistra DEM visualizzato con ombreggiatura e scala di grigio da DTM 10 metri di Arpa Piemonte, a destra sistema GIS 3D di Arpa Piemonte

I corsi d'acqua in questione, interferiscono con gli abitati sviluppati lungo il fondo valle (figura 1) e la strada regionale n. 23 e sono contraddistinti da andamenti sub-paralleli, modesto sviluppo longitudinale ed areale, con caratteristiche che possono essere così sintetizzate:

<u>Esposizione</u> SW	<u>Altitudine</u> 600m – 2000m	<u>Bacini</u> S= 1kmq – 7kmq
<u>Corsi d'acqua:</u> L= 2km – 5km i= 10°- 20	<u>Versanti</u> i= 35°	

Il tratto di valle in questione è geologicamente caratterizzato dalla presenza del basamento pretriassico dell'unità tettonometamorfica del Dora Maira. I litotipi prevalenti sono quelli relativi all'unità Ortogneiss tipo M.Freidour (metagraniti e gneiss occhiadini) con livelli del Complesso grafítico del Pinerolese (micascisti a granato e cloritoide e micascisti grafítici) e filoni a composizione diorítica.

I processi accaduti sono ascrivibili alla tipologia denominata "colata detritica torrentizia" (nota anche con il nome di Debris Flow), intendendo con questo termine fenomeni gravitativi incanalati lungo aste torrentizie, diversificati quindi dai processi che si sviluppano lungo i versanti genericamente denominati "frane".

Tra i processi torrentizi, viene quindi effettuata una classificazione sulla base di alcuni parametri quali la litologia, la concentrazione di sedimento della colata, il peso dell'unità di volume, la resistenza al taglio i quali condizionano fortemente la reologia della colata. Ne consegue che tali processi, genericamente definiti "colate", sono caratterizzate da comportamenti specifici correlati alla tipologia di flusso che le caratterizzano (viscoso, frizionale o collisionale).

L'elevata concentrazione della componente solida, unitamente a valori elevati di peso specifico e resistenza al taglio definiscono un tipo di flusso viscoplastico o collisionale-frizionale tipico dei debris flow (Aulitzky, 1982; Pierson & Costa, 1987; Hungr et al, 1984, Cruden, D. M. & Varnes, D. J. 1996).

Nella mappa in figura 2 si sono distinti i bacini dove è avvenuta una colata detritica da quelli ove si è verificata una semplice piena torrentizia; la distinzione tra questi due processi è legata al contenuto solido preponderante delle colate detritiche nonché alla tipologia di regime, generalmente macro-viscosi nelle colate detritiche e turbolento nella piena torrentizia (Takashi, 1991).

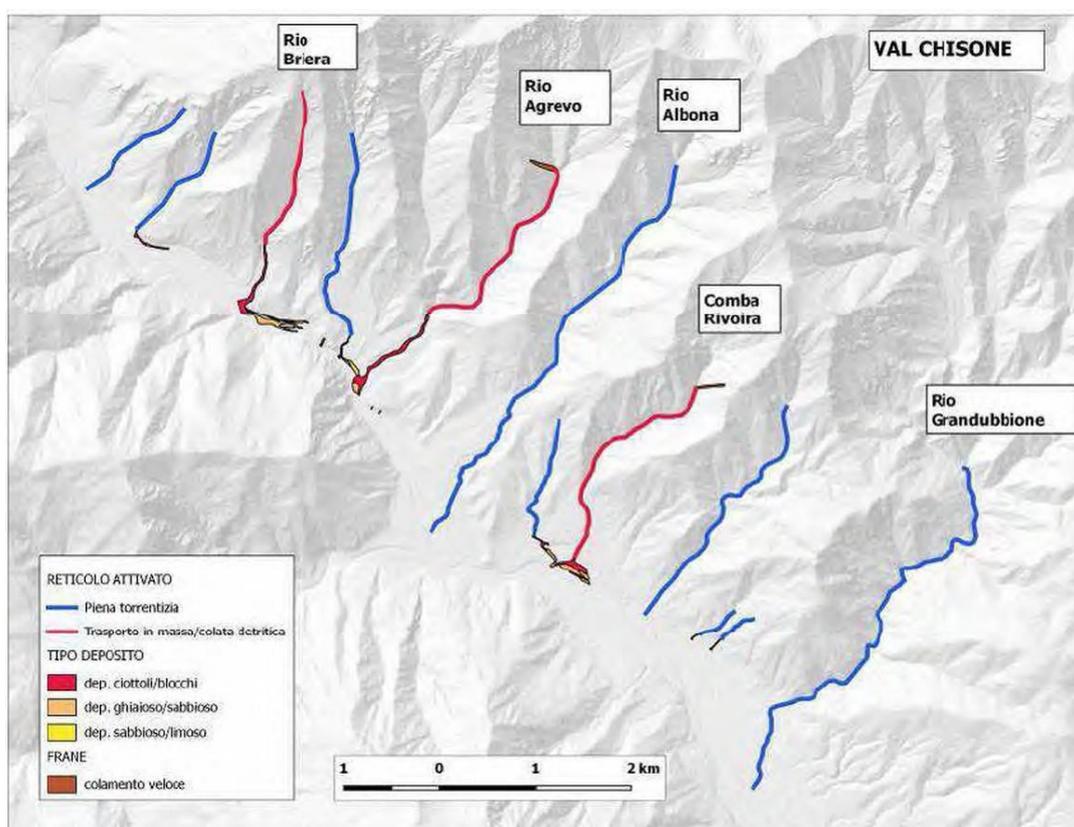


Figura 2. Attività torrentizia in media Val Chisone

Analizzando nell'insieme gli effetti, si riscontra che la maggior concentrazione dei fenomeni torrentizi e di colata detritica ha riguardato il Comune di Perosa Argentina (figura 3), che verrà analizzato nel dettaglio.

In base alle testimonianze raccolte, risulta che fasi più intense dei fenomeni torrentizi si sono manifestate generalmente nel corso delle prime ore della mattinata di venerdì 25 novembre, come confermato dalle informazioni raccolte sia per i corsi d'acqua del tratto inferiore (ore 7-7,30 per la Comba Rivoira, in Comune di Pinasca) sia per quelli del tratto superiore (ore 6,30 per il Rio di Brieria, in Comune di Perosa Argentina).

Distribuzione generale dei fenomeni rilevati

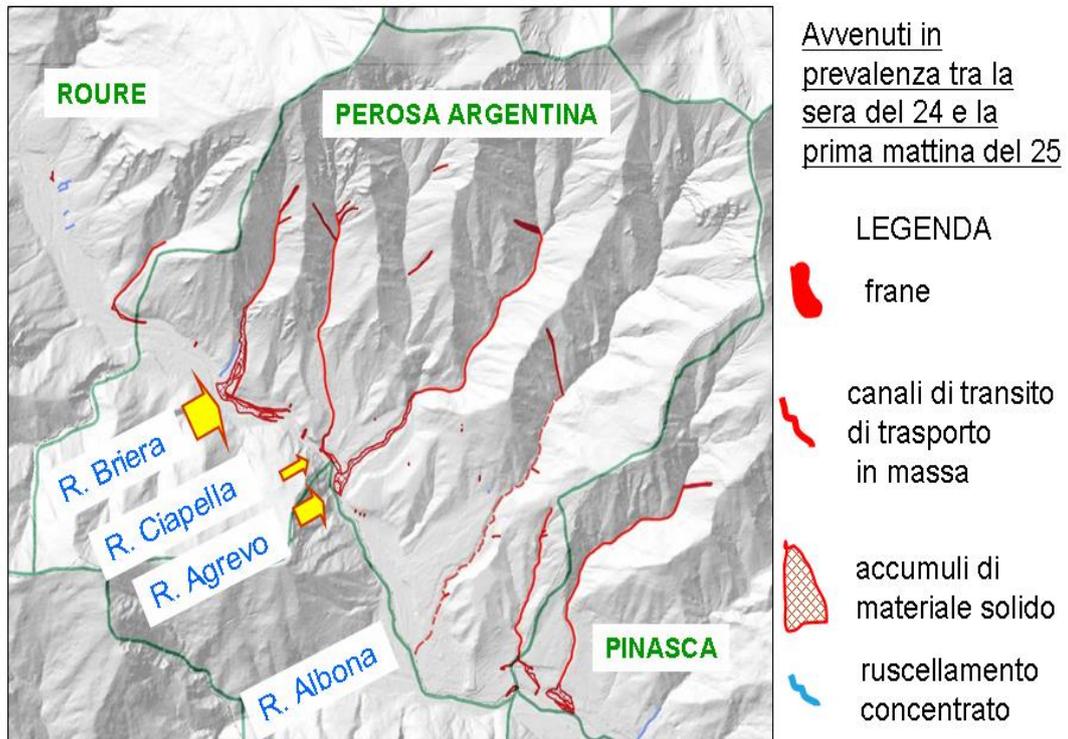


Figura 3. Distribuzione delle diverse tipologie di processi rilevati nel comune di Perosa Argentina

Lungo i tributari si sono attivati intensi fenomeni erosivi innescati da localizzati fenomeni di frana, per lo più originatisi in corrispondenza ad una fascia altimetrica media, generalmente compresa tra i 1200 e i 1500 m ed hanno interessato materiali detritico-colluviali di spessore dell'ordine di pochi metri estesi su superfici dell'ordine di 6000/10000 m² (figura 4).

I fenomeni sono evoluti, secondo ogni evidenza, come colamenti rapidi che hanno dato luogo ad una miscela ad elevata densità capace di mobilitare e prendere in carico il materiale accumulato lungo il canale di deflusso e determinare depositi in conoide che hanno raggiunto in più casi volumi stimabili in diverse decine di migliaia di metri cubi (figura 5).

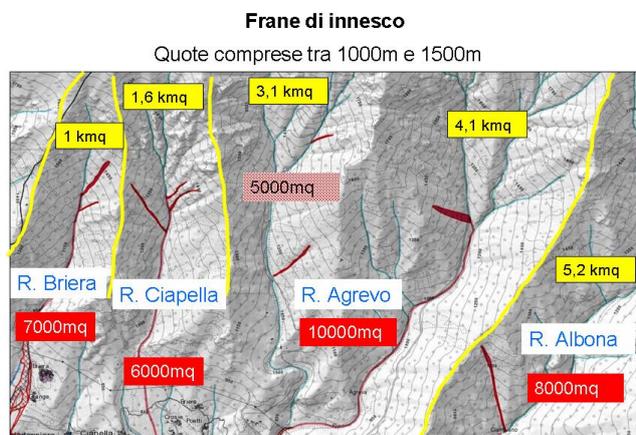


Figura 4. Frane di innesco nel settore mediano dei bacini (in rosso)

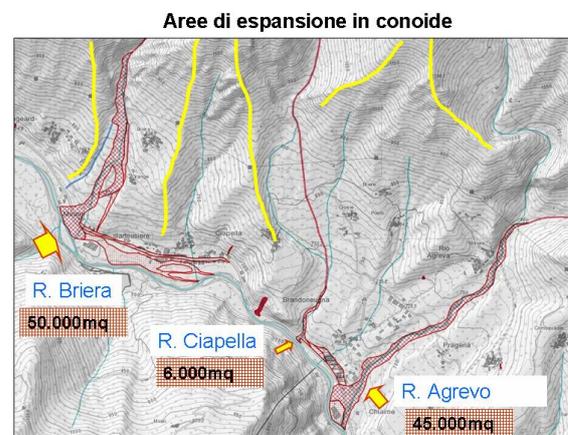


Figura 5. Aree di espansione delle colate detritiche in conoide (retinato rosso)

Caso studio della colata detritica del Rio Briera (comune di Perosa Argentina)

Al fine di un corretto studio dei bacini soggetti a fenomeni di colata detritica e delle conseguenti azioni di difesa della zona di conoide è importante effettuare un'attenta ed accurata raccolta di dati a seguito degli eventi parossistici.

L'indagine ha avuto come obiettivi l'individuazione dei fattori di innesco della colata detritica del Rio Briera e la quantificazione dei volumi di detrito mobilizzato nel bacino e poi depositato in conoide dalla colata del novembre 2016. I processi osservati nel bacino del Rio Briera sono un esempio rappresentativo dei numerosi fenomeni di trasporto in massa avvenuti nei bacini limitrofi della media val Chisone.

La stima dei volumi risulta necessaria per definire con un buon grado di attendibilità l'idrogramma solido-liquido necessario alla modellizzazione numerica della colata lungo l'alveo fino al conoide. Inoltre consente di effettuare una prima calibrazione dei modelli predittivi con la back-analysis di eventi reali nonché di effettuare un confronto con le stime della magnitudo, ovvero della quantità di materiale solido movimentabile nel bacino, effettuate applicando differenti metodologie empiriche. I rilievi di terreno hanno permesso di definire i diversi parametri per la stima della reologia delle colate detritiche, al fine di individuare le proprietà del fluido equivalente con cui viene schematizzata la colata. L'attività si inserisce nell'ambito delle funzioni di Arpa concernenti la raccolta di dati di evento da inserire nella Banca Dati Geologica e a supporto dell'attività di pianificazione operata da diversi soggetti coinvolti a partire dalla Regione Piemonte. Sono stati effettuati alcuni rilievi di terreno unitamente all'analisi di fotografie aeree, voli in elicottero e voli di droni (rispettivamente CNR-IRPI Torino, Regione Piemonte e Città Metropolitana di Torino).

Il bacino del Rio Briera (1,25 Km² circa) è ubicato sul versante in sinistra idrografica della media Val Chisone alle pendici del gruppo montuoso Curbasiri-Bocciarda (2214 m s.l.m.), esposizione sud, dislivello complessivo di 1350 metri (2050-700 m).

Le principali aree di innesco di frane superficiali su versante (sorgenti di sedimento della colata), confluite direttamente sul canale principale, sono state individuate nel settore mediano dei bacini ad una quota compresa tra 1600 e 1100 m. s.l.m, aree con forte presenza di detrito disponibile rimobilizzabile (figura 6). La parte superiore del bacino non presenta aree di innesco, o tracce di passaggio di colate detritiche.



Figura 6. Aree di innesco sul bacino del Rio Agrevo, in primo piano nell'immagine a sinistra (Foto CNR-IRPI Torino)

Alcune frane rapide della coltre detritica superficiale (figura 7), oltre a contribuire all'apporto di materiale alla colata, hanno probabilmente causato ostruzioni temporanee al corso d'acqua principale, contribuendo al carattere impulsivo della colata stessa. Ciò ha di conseguenza originato diverse ondate di piena con portata molto significative, caratterizzate da una forte componente erosiva nei tratti a forte e media pendenza del canale (figura 8).



Figura 7. Frane superficiali che hanno alimentato le colate detritiche sui bacini della Comba della Rivoira (a sinistra) e del Rio Agrevo (a destra). Foto Regione Piemonte (V.Giraud)



Figura 8. Azione erosiva della colata in aree a forte disponibilità di detrito (Rio Briera)

Le analisi condotte hanno permesso di stabilire una prima stima dei volumi di materiale rimobilizzato delle aree sorgenti, suddividendo tra il contributo dai versanti (con l'ausilio della banca dati SIFRAP, Sistema Informativo Frane in Piemonte di Arpa) e quello lungo le aste torrentizie (correlato allo stato di ricarica del collettore), relativamente alla componente erosiva in alveo (figura 9).

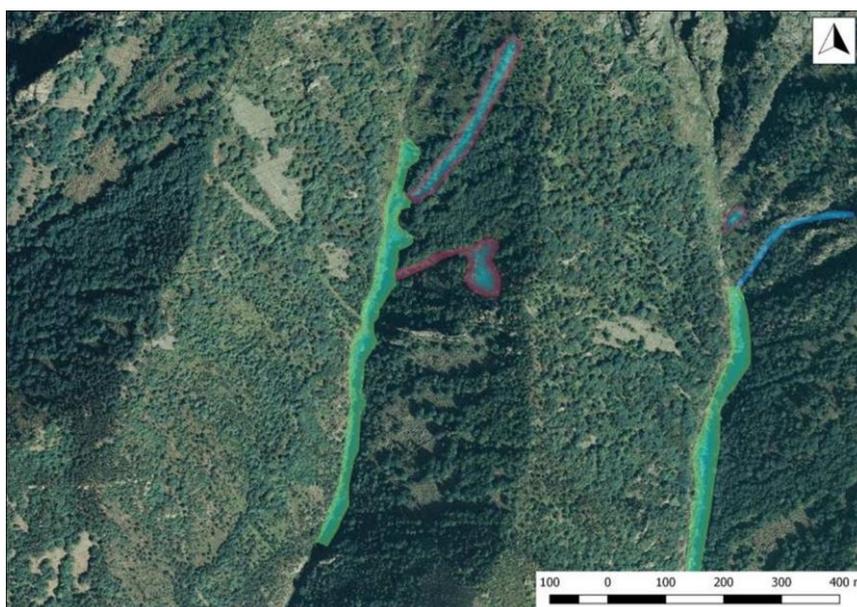


Figura 9. Stima dei volumi rimobilizzati nei bacini di alimentazione dove si sono innescate le colate detritiche. Distinzione tra il contributo generato dai versanti (in blu) e quello già disponibile in alveo (verde). Estratto di una parte del bacino del Rio Briera

Il rilievo ha preso in considerazione la larghezza dell'alveo, lo spessore stimato dei sedimenti, le pendenze e le caratteristiche geologiche, attraverso il quale si è suddivisa la rete idrografica del bacino in tratti aventi caratteristiche omogenee. Si è quindi determinato il volume con la sommatoria dei prodotti tra la lunghezza di ciascun tratto $L(i)$ per un valore medio di apporto di sedimento unitario $A(i)$ (Hungri et al., 1984).

$$Vaste = \sum L(i) \cdot A(i)$$

A questo volume è stato sommato il volume totale di materiale mobilizzato proveniente dalle aree sorgenti lungo il versante (V_{versante}). Il volume totale è determinato dalla somma dei due contributi. Il valore complessivo di materiale trasportato dalle zone sorgenti verso valle è stimato intorno ai 30.000 metri cubi, sebbene sia di difficile quantificazione il duplice effetto erosivo/deposizionale in alcuni tratti del canale, connesso al carattere impulsivo della colata.

L'approccio geomorfologico, ovvero la determinazione dei volumi delle colate detritiche basata su osservazioni dirette di campagna e integrate dall'interpretazione di foto aeree, presenta spesso maggiore affidabilità rispetto all'applicazione di formule empiriche e semi-empiriche.

In corrispondenza dell'area di conoide il torrente è esondato in tutta la sua estensione, dalla parte apicale fino alla confluenza con il Torrente Chisone, riattivando in parte diversi tratti di paleoalvei abbandonati e provocando una colata di detrito che ha investito diversi edifici e danneggiato infrastrutture e strade (figura 10 e 11).

Le colate detritiche hanno apportato ingentissime quantità di materiali litoidi con blocchi eterometrici anche di grandi dimensioni (fino a 8-10 metri cubi) in matrice prevalentemente sabbiosa. Tale materiale unitamente alla straordinaria energia del flusso della colata hanno determinato un forte impatto sulle strutture antropiche (diversi ponti e tratti di viabilità asportati) e sui boschi limitrofi. La sezione di deflusso del canale principale si è decisamente ampliata, con trasporto e deposizione sui fianchi di materiale grossolano, tronchi e quant'altro presente in alveo. Successivamente nella parte mediana del conoide, dove le pendenze si riducono e il paleoalveo tende ad aprirsi, la colata si è divisa in diversi rami secondari, pur concentrando la maggior parte della portata sul canale principale.



Figura 10. Rio Briera. Forte deposizione di detrito, in apice di conoide in corrispondenza della variazione di pendenza e lungo il tratto mediano (a destra foto estratta da volo Drone Città Metropolitana di Torino)

L'ingente accumulo di sedimento in corrispondenza del fondovalle ha ostruito completamente la SR23 con oltre 3 metri di spessore di deposito, con grave interruzione della viabilità della Val Chisone, gravi danni ad alcuni edifici (fig. 11) e operando una rilevante modifica della geomorfologia del fondovalle.



Figura 11. Rio Briera. Forte accumulo di detriti sul fondovalle con danni a infrastrutture e opere antropiche (Foto CNR-IRPI Torino, Regione Piemonte)

Un dettagliato rilievo geomorfologico di terreno ha permesso di stimare i volumi di materiale accumulati in conoide e in fondovalle.

Il rilievo ha preso in considerazione:

- la mappatura del canale di deflusso principale più ulteriori canali secondari riattivatisi in corso d'evento, che viste le caratteristiche di pendenza e di litologia del settore medio-superiore del conoide hanno avuto episodi alternati di erosione e deposito;
- l'analisi di diverse sezioni sul canale principale;
- la stima dello spessore dei depositi su una settantina di punti di indagine.

I valori di spessore sono stati quindi interpolati nello spazio con una semplice analisi spaziale (kriging) al fine di ottenere mappa di classi di spessore complessivo depositato dall'evento di colata, suddividendo per area di conoide e fondovalle (figura 12). Il volume totale di materiale stimato in conoide e fondovalle risulta compreso tra i 60.000 e 70.000 metri cubi, mentre limitatamente all'area di fondovalle, nel tratto terminale poco a monte della SP23 e fino al t. Chisone sono stati calcolati 27.500 metri cubi circa.



Figura 12. Stima del volume di detrito depositatosi sul fondovalle. Analisi e confronto con DTM LiDAR, risoluzione a terra 1 metro - Regione Piemonte (a) rilievi da terreno di canali riattivati di deflusso, sezioni e spessore dei depositi (b), mappa della stima dei volumi (c)

Dati storici sulle colate detritiche raccolti in diverse parti delle Alpi Italiane (Govi et al., 1992; Arattano et al., 1996) hanno fornito indicazioni sull'entità dei fenomeni e sulla loro frequenza. Tali dati non consentono in generale un'analisi quantitativa delle relazioni fra volumi depositati e frequenza dei fenomeni nei singoli torrenti.

Tuttavia appare evidente che la colata del Rio Briera ricada tra i fenomeni a bassa frequenza (a memoria d'uomo non si ricorda un evento simile) ed elevati volumi. Tali bacini necessitano di tempi relativamente lunghi perché avvenga una "ricarica" delle aree sorgenti di sedimento. La raccolta di dati storici rivela solitamente una scarsa frequenza degli eventi: ciò rende problematica o impossibile l'analisi probabilistica delle relazioni fra volumi e frequenze e le misure di difesa verranno concepite con riferimento ad un evento di elevata intensità ed associato ad una bassa frequenza, pur nell'impossibilità di definire più esattamente quest'ultima (Bianco et al., 1999).

Per una maggiore comprensione dei processi osservati, l'analisi dei depositi della colata ha permesso di applicare, al bacino del Rio Briera, la classificazione sulla base della litologia prevalente del substrato (Tiranti et al., 2008).

Il bacino ricade nell'unità tettonometamorfica del Dora Maira, con litotipi prevalenti relativi all'unità Ortogneiss tipo M.Freidour (metagraniti e gneiss occhiadini). I depositi della colata hanno un aspetto caotico, sono caratterizzati da materiale eterogeneo, grossi blocchi poco alterati, dalla forma angolare o tabulare. La matrice è prevalentemente sabbiosa, con bassima percentuale limosa (figura 13). La tipologia di trasporto ha generato cordoni e argini inclinati. Si sono riscontrate più deposizioni successive nella medesima aree e in zone limitrofe, formando corpi sovrapposti e coalescenti.

Tale contesto evidenzia quindi una bassa percentuale di argilla/minerali argillosimili e quindi un comportamento non-coesivo del debris flow (reologia collisionale-frizionale). Il bacino del Rio Briera è quindi classificato nella classe Bad Clay Maker (BCM): l'assenza di fini argillosimili conferisce una viscosità del flusso nulla. Il materiale molto grossolano che si muove ad alta energia si deposita pochissimo lungo il canale (mediamente il 15%) (Tiranti et al., 2014). Per i valori soglia di precipitazione responsabile di questi fenomeni (valori maggiori o uguali a 52 mm/h) il tempo di ritorno stimato nel bacino considerato è pari a 100 anni (Atlante Piogge Intense in Piemonte – GUM, Geoportale Arpa Piemonte).

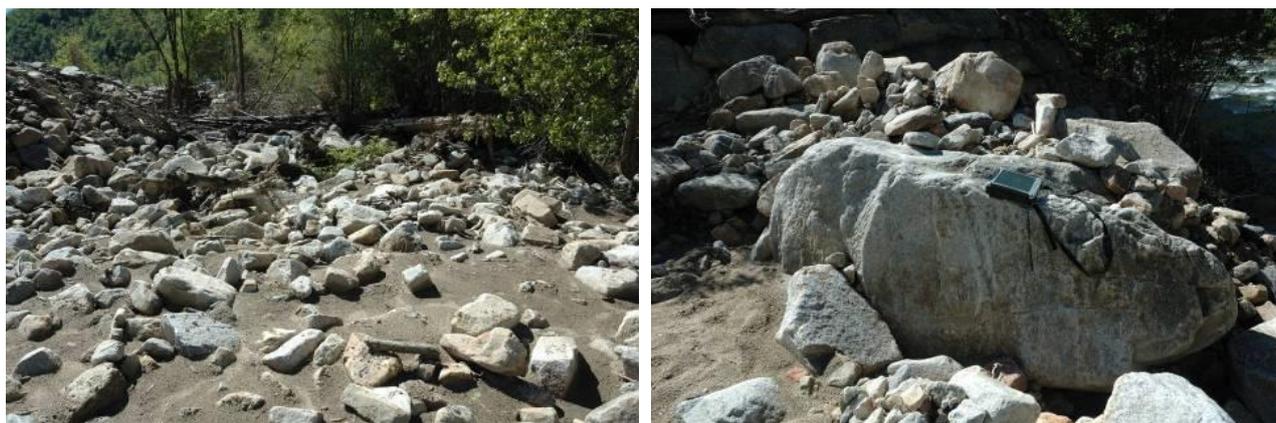


Figura 13. Tipologia dei depositi della colata del R. Briera, con blocchi tabulari e matrice sabbiosa, nei pressi della confluenza con il torrente Chisone

A riprova dei volumi stimati dai rilievi sul campo, è stata effettuata una valutazione dei volumi sulla base della portata di picco in seguito messa a confronto con la durata dell'evento, dedotta da alcune testimonianze dirette.

La stima della portata di picco, effettuata a posteriori su alcune sezioni immediatamente a monte del conoide in base all'analisi delle evidenze morfologiche e delle tracce del passaggio della colata (figura 14), è stata condotta attraverso l'applicazione di equazioni del moto specifiche per il tipo di processo torrentizio considerato. Si è fatto riferimento al rilievo topografico del sovrizzo che si verifica in presenza di una curva per effetto della forza centrifuga (Johnson & Rodine, 1984). Occorre, tuttavia, una certa cautela nel suo utilizzo e soprattutto nella scelta delle sezioni ove effettuare le misure (Arattano e Marchi, 2001), ragion per cui sono state selezionate diverse sezioni.

Δh = differenza elevazione sponda dx/sx

R = Raggio Curvatura della linea che individua il centro alveo

b = larghezza superficie del flusso

k = coefficiente di correzione (2,5 per calcolo velocità, 5 per progetto)

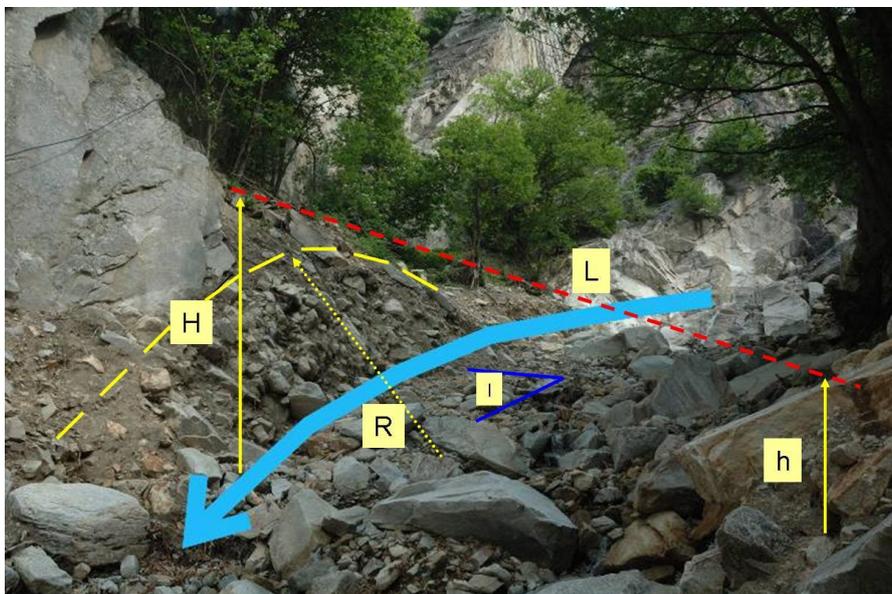


Figura 14. Esempio di sezione sulla quale è stata effettuata la stima della velocità della colata (la freccia blu indica direzione di passaggio della colata, secondo Hungr & Morgan (1984))

I valori di velocità calcolati, per le sezioni prese in considerazione, sono compresi tra i 4 e i 5,5 m/s, per una portata di picco complessiva compresa tra 240 e 330 m³/s.

La portata dedotta da osservazioni di campo è stata messa a confronto con quella ottenuta da alcune relazioni empiriche generalmente utilizzate in ambito pianificatorio, per questi contesti alpini (ovvero riferiti a "granular debris flow") quali Mizuyama et al., (1992) e Rickenmann (1997).

$$Q_{max} = 0.135 V^{0.78}$$

In base alla relazione di Mizuyama, ad un volume di 30.000 metri cubi corrisponderebbe un valore di Q_{max} di poco superiore ai 420 m³/s. Ancora a titolo di confronto, VanDine (1996) pubblica un grafico che stima la portata di picco di debris flow in funzione del volume: ad una colata intorno ai 30.000 metri cubi corrisponderebbe, in base a tale grafico, una $Q_c = 400$ m³/s. Valori quindi di poco superiori a quelli calcolati con la formula del sovrizzo.

Secondo VanDine (1985), in questi contesti litologici e in bacini di dimensioni ridotte, la portata solida può arrivare a 40 volte quella liquida e anche Mizuyama et al. (1992) indicano un elevato rapporto tra portate di picco delle colate detritiche e relative portate liquide: tale rapporto può a loro

avviso arrivare fino a circa 35 volte la portata liquida. Ciò a dimostrazione della forte prevalenza della componente solida rispetto a quella liquida, come anche riferito da diversi testimoni.

Per quanto riguarda la stima della durata della colata non si hanno informazioni certe eccetto alcune testimonianze da parte di locali i quali riferiscono di una ondata di piena costituita per lo più di materiale detritico rispetto alla componente liquida, preceduta da un forte boato e una durata stimabile in pochi minuti (di gran lunga inferiore alla durata dell'evento pluviometrico). Prendendo come riferimento quindi un tempo di 3-4 minuti per le portate precedentemente stimate si ottengono dei volumi comparabili, come ordine di grandezza, a quelli osservati dai rilievi di terreno.

Le ricadute in termini di pianificazione

Il confronto fra la schematizzazione degli effetti dell'evento alluvionale lungo il Rio Briera e le carte di idoneità all'utilizzazione urbanistica al momento vigenti sono esemplificative della frequente sottostima dei fenomeni che comprendono trasporto solido in conoide, per i quali la modellazione è spesso complessa, onerosa e con significativi margini d'incertezza.

Nello specifico caso appare evidente che le Classi di sintesi utilizzate localmente non risultano sufficientemente cautelative, e dovranno pertanto essere ridefinite, e che contestualmente dovranno essere aggiornati i crono-programmi degli interventi di riassetto territoriale previsti per gli ambiti edificati.

Più in generale, il caso analizzato dimostra l'importanza che a seguito di eventi alluvionali le Amministrazioni comunali provvedano alla verifica locale del dissesto al fine dell'eventuale adozione di misure cautelari o di procedimenti per la revisione dell'utilizzabilità urbanistica del territorio.

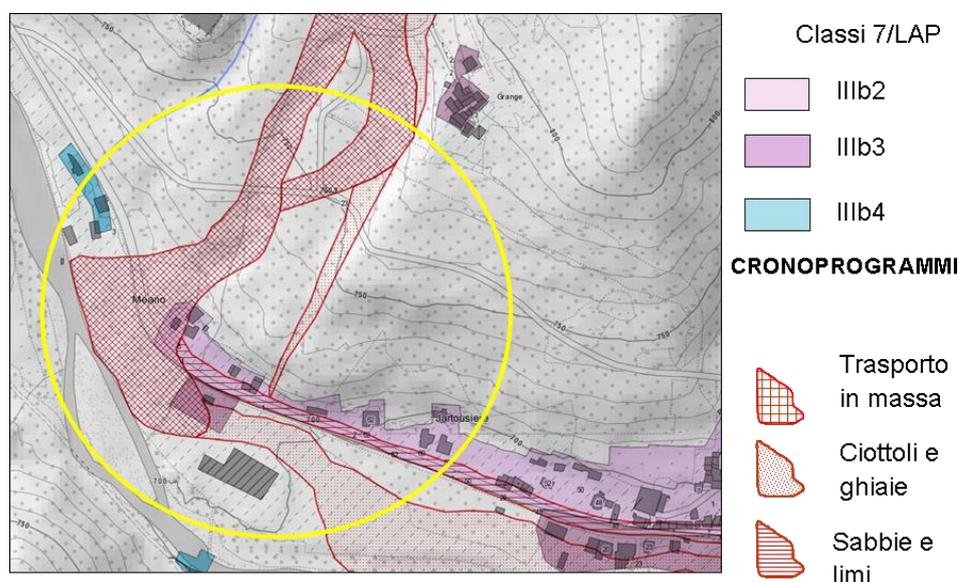


Figura 151. Confronto tra gli effetti dell'evento alluvionale del novembre 2016 sul conoide del Rio Briera e le carte di idoneità all'utilizzazione urbanistica

BIBLIOGRAFIA

ARATTANO M. & MARCHI L., (2001) – Relazione Finale Progetto INTERREG II 1994/1999 Italia – Confederazione Elvetica. Collegamento delle reti di rilevamento e condivisione delle esperienze e conoscenze per la gestione del rischio idrogeologico. Azione 4: condivisione di metodi e conoscenze sui processi di lave torrentizie per la difesa dei centri abitati.

ARATTANO M., CHIARLE M., FIORASO G., MARCHI L., MORTARA G., TURITTO O. & TETAMO G., (1996) – Analysis of recent and past debris flow events in the Italian Alpine Region. European Programme in the field of Environment 1990-94. CE Contract EV5V CT94 0453. Final Report: 31 pp.

AULITZKY H. (1982) – Preliminary two-fold classification of torrents. *Mitteil. Der Forst. Bundesversuchsanstalt, Wien, Heft 144*, pp. 243-256.

BIANCO G., RUBERTO G., BROCHOT S. & LAIGLE D. (1999) – 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.

CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. 1996 – Landslide types and processes. In: Special report 247: Landslides: Investigation and Mitigation (Eds: Turner, A. K. & Schuster, R. L.), 36- 75. Transportation and Road Research Board, Washington, D. C.: National Academy of Science.

GOVI M., MARCHI L., MORTARA G. & TURITTO O., (1992) – Ricerche sulle colate detritiche torrentizie (debris flow) in ambiente alpino. 405-420. GNDCl, Rapporto 1990/91 dell'U.O. 1.29.

PIERSON, T. C. & COSTA, J. E. 1987 – A rheological classification of subaerial sediment-water flows. In: Debris Flow/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation (Eds: Costa, J. E. & Wieczorek, G. F.). Reviews in Engineering Geology Volume VII, 1-12. Boulder, CO: Geological Society of America.

HUNGR, O., MORGAN, G. C. & KELLERHALS, R. 1984 – Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. *Canadian Geotechnical Journal*, 21, 663-676.

MIZUYAMA, T., S. KOBASHI, OU G. 1992 – Prediction of debris flow peak discharge, *Interpraevent 1992, Bern*, vol. 4, pp. 99–108.

MOSCARIELLO A., MARCHI L., MARAGA F., MORTARA G. (2002) – Alluvial fans in the Alps: sedimentary facies and processes. *Spec. Publs int. Ass. Sediment.* 32, 141-166.

T. TAKAHASHI, DEBRIS FLOW, IAHR MONOGRAPH, BALKEMA, 1991.

TIRANTI D., BONETTO S., MANDRONE G. (2008) – Quantitative basin characterization to refine debris-flow triggering criteria and processes: an example from the Italian Western Alps. *Landslides*, Volume 5, Number 1/February 2008 “Debris Flow Hazards”, Pages 45-57; Springer-Verlag. DOI: 10.1007/s10346-007-0101-4

TIRANTI D., CREMONINI R., MARCO F., GAETA A.R., BARBERO S. (2014) – The DEFENSE (Debris Flows triggered by storms – Nowcasting System): an early warning system for torrential processes by radar storm tracking using a Geographic Information System (GIS). *Computers & Geosciences* 70: 96-109; Elsevier. DOI: 10.1016/j.cageo.2014.05.004

VANDINE D.F., (1985) – Debris flow and debris torrents in the Southern Canadian Cordillera. *Canadian Geotechnical Journal* 22: 44-68.

VANDINE D.F., (1996) – Debris flows control structures for forest engineering: 68 pp. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work Paop. 22/1996.