

Carlo Gregoretti, Alessandro Bagato, Martino Bernard, Mauro Boreggio,
Giacomo Crucil, Massimo Degetto, Mario Furlan, Ezio Pilotto, Alessandro Pimazzoni*

LE COLATE DETRITICHE NELLA VALLE DEL BOITE:
GENERALITÀ, GENERAZIONE, SITI, MONITORAGGIO
E PERICOLOSITÀ DEL FENOMENO

Abstract - Debris flows are rapid, gravity-induced mass movements consisting of a mixture of water, sediment, wood and anthropogenic debris that propagate along channels incised on mountain slopes and onto debris fans. These phenomena are very common along the Boite valley and in the neighbouring areas. In particular, the small town of Cortina d'Ampezzo is surrounded by mountain groups where these phenomena frequently occur. Aim of this work is the introduction of the phenomenon and its characteristics with the associated physical processes. The sites along Boite Valley where debris flows more frequently occur are shown together the history, fan evolution and protection works. Finally the scientific studies on the phenomenon carried out on the Boite Valley and the existing associate hazard are briefly described.

Key words: debris flow, runoff, head water rocky basins, extreme precipitations

Riassunto - Le colate detritiche sono flussi solido-liquidi che si propagano con velocità elevate sui versanti che partono alla base delle pareti rocciose. Questo tipo di fenomeno è molto comune nella Valle del Boite. In particolare, il territorio del comune di Cortina d'Ampezzo, composto da gruppi montuosi circondanti una conca all'interno della quale è situato il paese, risulta frequentemente soggetto a questo tipo di fenomeni. Questo lavoro ha lo scopo di introdurre il fenomeno, i processi fisici relativi e le sue caratteristiche insieme ai siti lungo la valle del Boite in cui accade più frequentemente. Infine a completamento, si riportano gli studi scientifici sulle colate condotti nella valle del Boite e si accenna al pericolo ad esse associato.

Parole Chiave: colate detritiche, deflusso superficiale, bacini rocciosi di testata, precipitazioni estreme

*Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali - Università degli Studi di Padova
Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)

Introduzione

Obiettivo di questo lavoro è spiegare, in termini generali, il fenomeno delle colate detritiche, la sua diffusione nella valle del Boite, il suo svilupparsi e la pericolosità associata. Nel primo paragrafo si riassumerà in termini generali il fenomeno e le sue caratteristiche salienti, nel secondo paragrafo si presenterà la valle del Boite e la relativa ricorrenza di tale fenomeno. Nel terzo paragrafo si presenteranno i siti della valle del Boite interessati da eventi di colata ricorrenti e/o di maggior pericolosità. Nel quarto paragrafo, gli studi scientifici relativi alla zona ed infine la pericolosità del fenomeno. Si introduce ora un cenno alla terminologia utilizzata nel seguito per favorire la comprensione del testo a chi non ha competenze tecniche specifiche.

Per portata si intende il volume che defluisce nell'unità di tempo attraverso la sezione di un canale. Per idrogramma si intende l'andamento o delle portate o delle profondità di un flusso nel tempo in una sezione di un canale. Per modello si intende una procedura matematica che permette di descrivere in termini quantitativi un processo fisico, ad esempio l'idrogramma delle portate nel caso di formazione del deflusso superficiale in seguito ad una precipitazione o la mappa delle profondità e velocità per diversi istanti di tempo nel caso della propagazione di una corrente (liquida o solido-liquida).

1. Colata detritica: fenomenologia

In questo capitolo si cerca di rappresentare l'insieme dei processi fisici che danno luogo al fenomeno di una colata detritica. La colata di detrito si genera o per un deflusso superficiale abbondante capace di mobilitare il materiale detritico presente sui versanti che dipartono dal piede delle pareti rocciose (BERTI AND SIMONI, 2005; IMAIZUMI ET AL., 2006; CANNON ET AL., 2008; COE ET AL., 2008; GREGORETTI AND DALLA FONTANA, 2008; KEAN ET AL., 2011; MCCOY ET AL., 2012; THEULE ET AL. 2012; KEAN ET AL., 2013; NAVRATIL ET AL., 2013; HUR-

LIMANN ET AL., 2014; HU ET AL., 2016) o per evoluzione di un fenomeno franoso (IVERSON, 1997). Deflusso superficiale abbondante si ha, in genere, in seguito a precipitazioni di elevata intensità per cui la parte che non si infiltra risulta consistente e scorre in superficie. Nell'ambiente dolomitico, come nelle Alpi ed in molti altri contesti, prevalgono le colate generate da deflusso superficiale. L'inglobamento di elevate quantità di detrito nel deflusso superficiale porta alla formazione di una corrente solido-liquida che si propaga verso valle. Il fenomeno della colata detritica può essere inquadrato a metà tra una piena in un corso d'acqua ed una frana. Per essere più chiari, nei corsi d'acqua sia torrentizi che di pianura, caratterizzati da angoli di inclinazione del fondo inferiori a 10° (pendenza 18 %), durante i fenomeni di piena la corrente liquida erode e mobilita i sedimenti presenti sul fondo che vengono trasportati parte a contatto del fondo (quelli di dimensioni maggiori) e parte in sospensione (quelli di dimensioni minori). In una frana un intero strato/volume di materiale solido soggetto a deflusso sottosuperficiale diviene instabile e scende verso valle arrestandosi quando l'attrito tra il materiale in movimento e la superficie del terreno su cui si muove diviene superiore alla componente della forza peso nella direzione di movimento.

Nel primo caso (onda di piena) si ha una corrente liquida che ingloba un volume di sedimenti inferiore in genere al 10% del volume liquido, mentre nel secondo (frana) si ha una corrente solida contenente una modesta quantità d'acqua. Nella colata detritica invece i volumi solido e liquido hanno entità comparabili, ed il loro rapporto varia orientativamente tra 0.5 e 1.5 con il materiale detritico che risulta disperso lungo tutta la profondità della corrente per cui si può parlare di corrente solido-liquida.

L'elevata pendenza comporta sia un'elevata componente della forza peso parallela al fondo ed alla direzione del moto che una diminuzione della componente della stessa

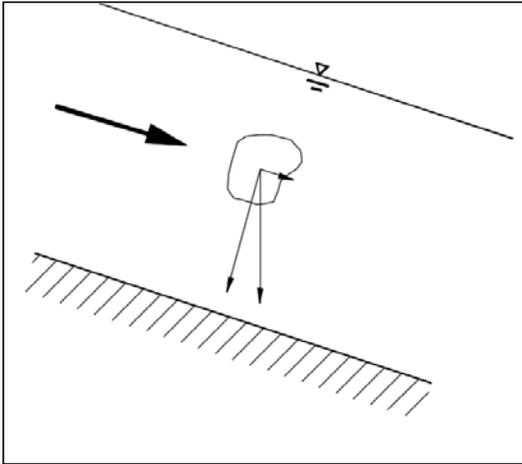


Fig. 1. Forza peso agente su di una particella e le sue componenti in direzione parallela e perpendicolare al moto.

in direzione normale al fondo, che è quella che tende a far depositare il materiale solido (Fig. 1).

Il moto della fase solida risulta infatti favorito dalla componente della forza peso paral-

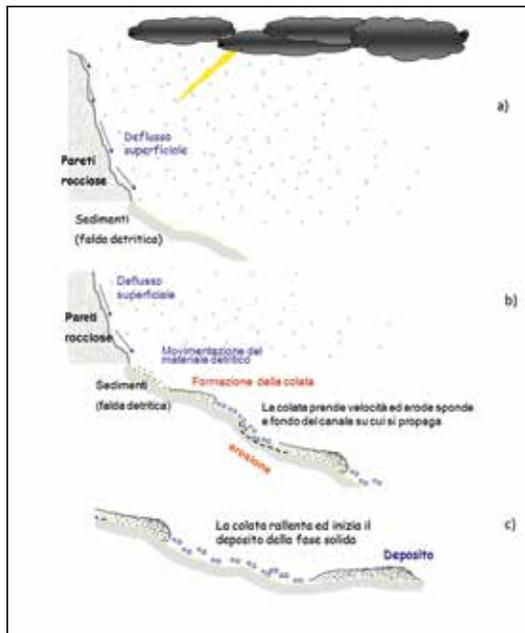


Fig. 2. Visualizzazione schematica dei processi fisici che danno luogo ad una colata detritica: a) precipitazione e formazione del deflusso superficiale; b) movimentazione dei detriti e formazione di una colata; c) propagazione ed arresto.

lela al fondo, che è una delle tre cause che determinano il valore della velocità della corrente solido-liquida.

Le altre due sono la portata liquida che innesca il fenomeno ed il diametro medio dei sedimenti mobilizzati: la velocità aumenta con la prima e diminuisce con il secondo. Alla velocità è anche legata l'azione di "galleggiamento" sui sedimenti, che è il risultato dei contatti/urti tra le particelle solide ed all'interazione delle particelle solide con la fase fluida.

Dai contatti/urti tra particelle e dalle interazioni solido-fluido si generano delle forze agenti lungo la perpendicolare alla direzione del moto e dirette verso l'alto che contrastano la componente della forza peso impedendo il deposito delle particelle e favorendone la dispersione lungo tutta la profondità della corrente. Tali forze trasversali alla direzione del moto aumentano con la velocità.

La presenza inoltre di considerevoli quantità d'acqua agisce da agente fluidificante che riduce l'attrito tra i sedimenti e tra questi col fondo e permette il raggiungimento di velocità superiori a 5 m/s che vengono mantenute per distanze tali che la colata risulta in grado di raggiungere il fondo valle in pochi minuti.

In Fig. 2 si presentano i diversi processi fisici che portano alla formazione di una colata detritica. Le precipitazioni di elevata intensità danno luogo ad un deflusso superficiale discendente dalle pareti rocciose (Fig. 2a) come testimoniato dalla Fig. 3 (quadranti A e C) dove risulta inquadrato il deflusso superficiale discendente dalla parete rocciosa del campanile Dimai a Fiames (Cortina d'Ampezzo, BL).

In Fig. 3 (quadranti B e D) il deflusso superficiale arriva nei canali incisi sui versanti e risulta in grado di movimentare il materiale solido presente sul fondo (Fig. 4) creando una colata detritica che si propaga verso valle.

Durante la propagazione il materiale di maggior dimensioni (masso cerchiato in rosso di Fig. 5) raggiunge la testa della colata che vie-

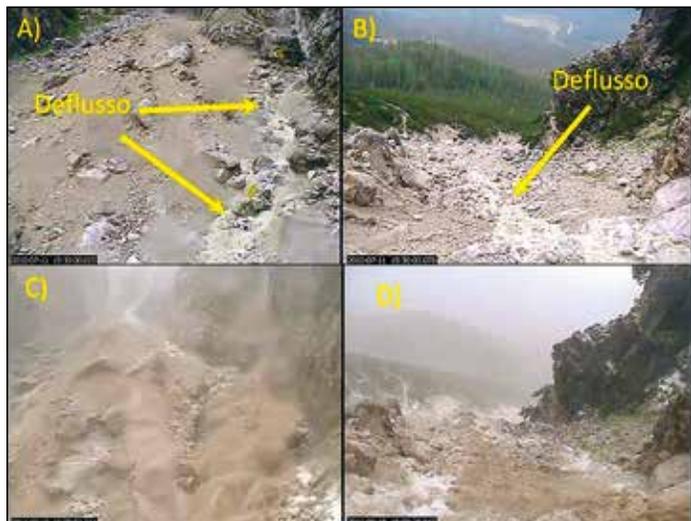


Fig. 3. Deflusso superficiale discendente dalle pareti rocciose del Campanile Dimai a Fiames (Cortina d'Ampezzo, km 107 SS 51) (A e C) e nel canale sottostante (B e D) registrato dalla stazione di monitoraggio del Dipartimento Tesaf dell'Università di Padova i giorni 11/07/2010 (sopra) e 18/8/2011 (sotto).

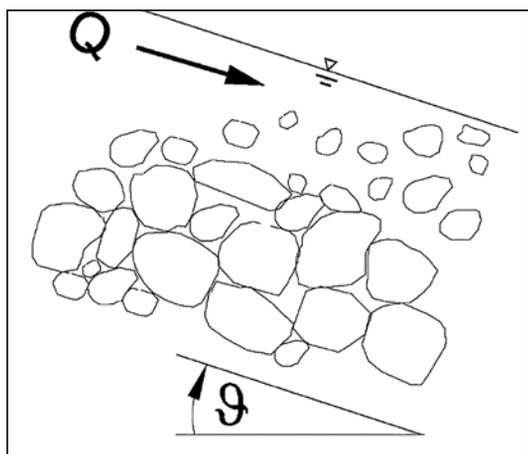


Fig. 4. Disegno schematico dell'erosione ed inglobamento di materiale detritico in una corrente liquida di portata Q che scorre su di un letto con angolo di inclinazione al fondo θ .



Fig. 5. Immagini da riprese video delle colate detritiche avvenute il 12/6/1997 sul Rio Acquabona (Cortina d'Ampezzo, km 98 SS51) da BERTI E SIMONI (1997) a sinistra ed in Afghanistan (Badakshan) nel 2007 a destra.

ne chiamata fronte della colata e risulta quindi costituito dal materiale di maggiori dimensioni ed è caratterizzato dalle profondità più elevate (Fig. 6). La colata si presenta quindi con un fronte carico di sedimenti ed un corpo caratterizzato da profondità e concentrazione di sedimenti decrescenti.

Di conseguenza l'idrogramma delle profondità di una colata, ovvero l'andamento in funzione del tempo delle profondità di una colata in un punto definito del canale su cui si propaga, ha un andamento triangolare con un lato ascendente molto ripido ed uno discendente meno ripido.

In Fig. 7 è riportato l'idrogramma delle profondità registrato alla stazione di Illgraben (Svizzera) nel Giugno 2001.

In Fig. 2c quando le pendenze diminuiscono il materiale solido progressivamente si deposita e la colata si arresta.

Una colata si può anche presentare con più impulsi. In Fig. 8 gli idrogrammi di colata registrati alla stazione di monitoraggio del Rio Acquabona (Cortina d'Ampezzo, km 98 SS51) il giorno 17/8/1998. Si riescono infatti a contare ben 8 impulsi in 15 minuti (per i tempi tra 800 e 1600 secondi).

Riassumendo, i processi fisici relativi ad un fenomeno di colata detritica generato da deflusso superficiale sono molteplici e riguardano la trasformazione della precipita-

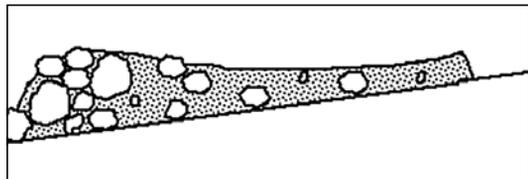


Fig. 6. Schematizzazione di una colata che si propaga verso valle.

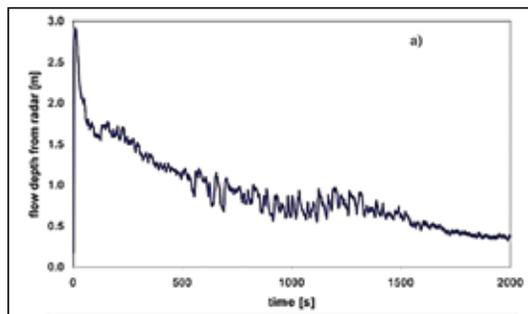


Fig. 7. Idrogramma delle profondità di una colata registrato alla stazione di Ilgraben (Svizzera) il 28/06/2001 (ZANUTTIGH E LAMBERTI, 2007).

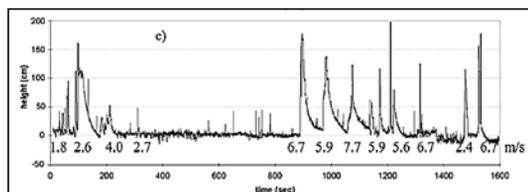


Fig. 8. Idrogramma delle profondità di una colata registrato alla stazione di monitoraggio di Acquabona (Cortina d'Ampezzo, km 98 SS51) il 17/08/1998 (BERTI ET AL., 2000).

zione in deflusso superficiale, l'erosione dei sedimenti e la formazione di una corrente solido-liquida, la sua propagazione verso il fondovalle ed infine l'arresto per deposito della fase solida quando le pendenze diminuiscono drasticamente.

Per poter quindi simulare un fenomeno di colata detritica occorre un modello idrologico che trasformi la precipitazione in deflusso superficiale, un criterio che quantifichi, in termini di portata, il deflusso superficiale necessario a mobilitare i sedimenti sufficienti per formare una colata detritica, un modello che simuli la formazione della colata ed uno per la propagazione e l'arresto della stessa (GREGORETTI ET AL., 2016A).

2. Le colate di detrito nella valle del Boite

In Fig. 9 ci sono due immagini di canali di colata detritica incisi sui ghiaioni alla base delle pareti rocciose in due punti diversi della valle del Boite. Le incisioni, scoli e canali presenti sulle pareti rocciose convogliano e concentrano i deflussi superficiali in punti localizzati del ghiaione dove, l'azione del deflusso superficiale incide con l'andar del tempo un canale. In Fig. 10 un particolare di un canale roccioso al cui sbocco sul ghiaione corrisponde un altro canale di colata detritica. Il fondo del canale inciso sul ghiaione risulta ingombro da materiale detritico proveniente per la maggior parte da crolli di roccia della parete sovrastante e per la minor parte da crolli spondali. Come si può osservare, i canali incisi sui ghiaioni su cui si sviluppano le colate detritiche sono in numero elevato (nel comune di Cortina d'Ampezzo il Prof. Genevois ed il suo gruppo di ricerca mediante fotointerpretazione e sopralluoghi ne hanno individuati 135). D'altra parte i canali su cui hanno luogo frequenti fenomeni di colate sono però, e per fortuna, in numero molto minore. Ad esempio colate frequenti e molto frequenti si hanno rispettivamente a partire da sinistra sui due canali in bella vista del riquadro b di Fig. 9, al cui piede si osservano lavori di sistemazione.

La frequenza è essenzialmente legata ai seguenti fattori: alla precipitazione, ovvero alla piovosità locale (frequenza, distribuzione sul bacino e provenienza), alla forma e morfologia del bacino e del sito di innescò ed alla disponibilità e composizione del materiale detritico che viene mobilitato dal deflusso superficiale. Per avere picchi e volumi di deflusso liquidi consistenti in grado di mobilitare il materiale detritico sono in genere necessarie precipitazioni intense caratterizzate da brevi durate, 15-45 minuti secondo GREGORETTI & DALLA FONTANA (2007). La morfologia (pendenza e densità del reticolo di drenaggio) e la forma di un bacino a parità di area e di tipologia di terreno condiziona-

no fortemente il deflusso superficiale. Più è pendente e maggiore è la densità del reticolo di drenaggio, più velocemente il deflusso superficiale arriva alla sezione di chiusura del bacino. Di conseguenza, a parità di altre condizioni, l'idrogramma (andamento della portata del deflusso superficiale nel tempo) risulta maggiormente concentrato nel tempo con un valore di picco superiore. Lo stesso vale per la forma del bacino: più è compatta e racchiusa intorno alla sezione di chiusura più velocemente ed in un intervallo di tempo ristretto, il deflusso superficiale arriva alla sezione di chiusura. Quindi l'idrogramma tende ad essere concentrato con un valore di picco superiore come nel caso precedente. Un idrogramma liquido con picco elevato e di forma concentrata significa che un'elevata quantità d'acqua arriva alla sezione di chiusura in breve tempo. Tale volume liquido risulta quindi dotato di una maggiore capacità erosiva e di inglobamento di materiale detritico rispetto ad uno stesso volume che arrivi dilungato nel tempo. Per quanto riguarda la morfologia della zona di innesco, più è pendente e più è stretta, più elevata risulta la velocità del deflusso liquido e maggiore il suo potere erosivo e per quanto riguarda il materiale detritico, questi risulta più facilmente movimentabile per l'aumento e diminuzione delle componenti della forza peso agenti su di essi, rispettivamente nella direzione parallela e perpendicolare alla direzione di deflusso. Per quanto riguarda la composizione del materiale detritico, minore è il suo diametro medio maggiore è la capacità erosiva di una stessa corrente liquida. Nel caso di Piées de ra Mognes posta sotto la Punta Nera, la zona attuale di innesco

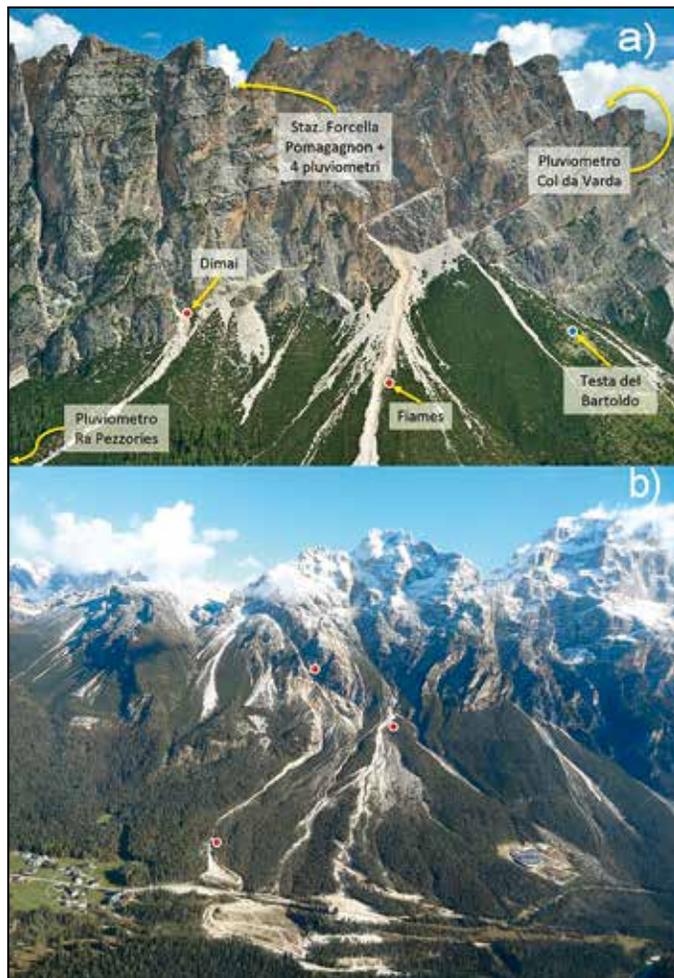


Fig. 9. I canali di colata che si originano alla base delle pareti rocciose nelle aree di Fiamés (sopra) e dell'Acquabona (sotto; foto dell'ing. O. Carniel) in comune di Cortina d'Ampezzo (BL).

I cerchi rossi indicano le posizioni delle stazioni di monitoraggio, quelli blu le posizioni dei singoli pluviometri.

della colata risulta lo stesso canale roccioso inciso sulle pareti poiché è ingombro di detriti dovuti al crollo di parete del maggio 2016, che vengono movimentati dai deflussi superficiali. Come spiegato prima, l'elevata pendenza del canale fa sì che per movimentare il detrito sia necessario un deflusso con una portata inferiore a quello che movimentava le colate in altri siti. Le precipitazioni che innescano tali fenomeni risultano quindi pari a circa la metà od un terzo di quelle che innescano le colate in altri siti e, per questo, sono maggiormente frequenti e di



Fig. 10. Vista generale (sinistra) e particolare (destra) dell'interfaccia tra il canale presente sulle parete ed il canale inciso sul ghiaione alla base della parete del Monte Cristallo in destra idrografica rispetto al Passo del Cristallo (colata detritica del Rudavoi).

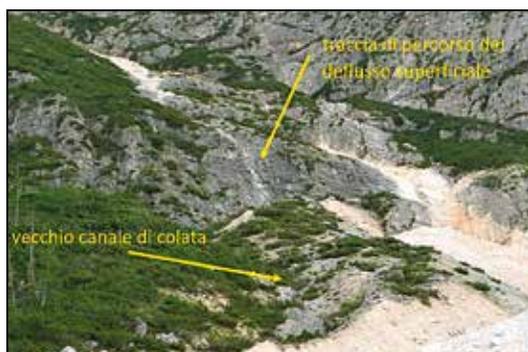


Fig. 11. Tracce di deflusso superficiale su di una parete sovrastante il ghiaione alla base di Punta Nera con il vecchio canale di colata. Sulla destra l'attuale canale della colata di Piées de ra Mognes.

conseguenza maggiormente frequenti sono le colate che si formano in questo sito (più di dieci eventi nell'estate 2016). Può anche succedere che un crollo di parete modifichi i percorsi di deflusso superficiale per cui il deflusso superficiale nell'area di innesco diminuisce e non risulta più in grado di movimentare il materiale detritico presente sul fondo. È questo il caso rappresentato in Fig. 11, dove il colore chiaro sulla parete indicato dalla freccia è la traccia di percorso superficiale, sottostante il quale, vi è un vecchio canale di colata ingombro di vegetazione. A destra si vede il canale centrale del riquadro b di Fig. 9 al passaggio da parete a ghiaione. I canali di colata rappresentati al riquadro a di Fig. 9, si attivano invece con una fre-

quenza annuale molto più bassa. Ad esempio, fenomeni di colata nel canale centrale si sono avuti il 1/8/1992, 5/9/1997, 2/7/1998, il 19/7/2004 ed il 5/7/2006. Può succedere che una precipitazione localizzata investa tutto un gruppo montuoso per cui i canali si attivano tutti insieme come per l'evento del 5/7/2006 avvenuto sul massiccio montuoso sovrastante Fiames dove si sono avuti dodici fenomeni di colata detritica e per l'evento del 4/8/2015 sul massiccio montuoso del Monte Antelao dove si sono avuti fenomeni di colata detritica sui ghiaioni sottostanti Punta Dina e Cima Scotter, sul Ru Secco, a Rovina di Cancia e sul Rio Rudan. Infine la disponibilità di materiale detritico condiziona la formazione e la magnitudo della colata. Ad esempio, la colata avvenuta a Rovina di Cancia il 4/8/2015 si è formata più a valle della precedente del 23/7/2015 perché que-

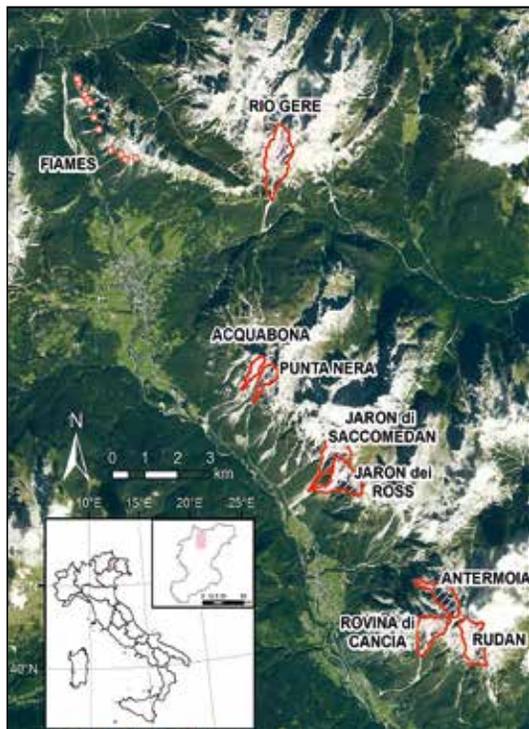


Fig. 12. Vista generale della Valle del Boite con indicati i bacini in cui si formano le colate di detrito più frequenti e/o di maggior pericolosità. I cerchi rossi indicano le zone di formazione delle colate a Fiames (Cortina d'Ampezzo, BL).

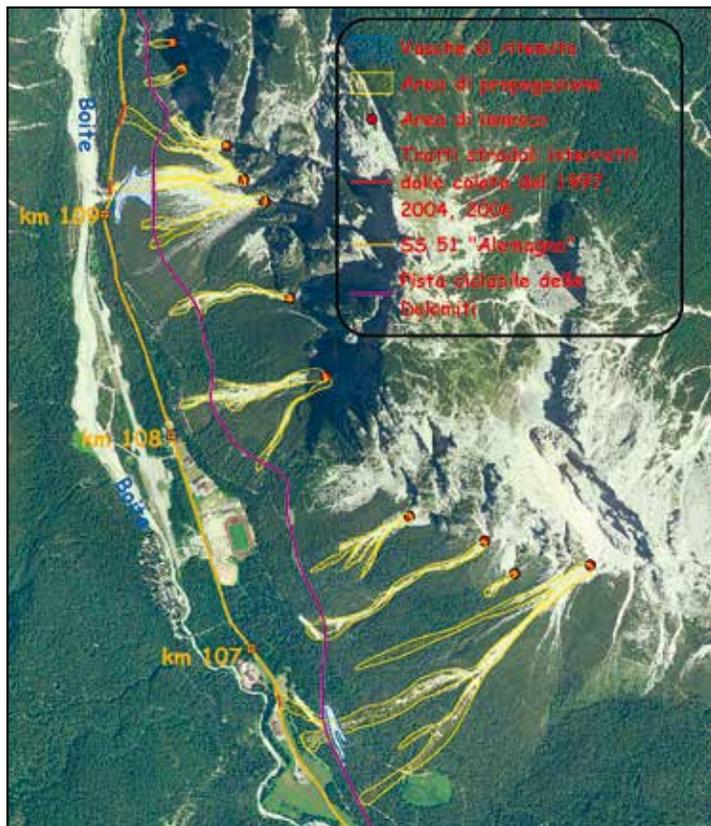


Fig. 13. Vista area della zona di Fiammes con le zone interessate da fenomeni di colata.

sta ha trasportato via il materiale detritico disponibile nella zona di innesco, e, pur essendo innescata da un volume di deflusso superficiale maggiore ha mobilizzato un volume di materiale solido minore.

3. I siti con fenomeni di colata maggiormente ricorrenti nella Valle del Boite

Nella valle del Boite i siti con fenomeni di colata maggiormente ricorrenti e che minacciano il fondovalle (insediamenti e strade) sono, a partire da Nord quelli di Acquabona (Cortina d'Ampezzo), Piées de ra Mognes (Cortina d'Ampezzo), Rovina di Cancia (Borca di Cadore) e Rudan (Vodo di Cadore) illustrati in Fig. 12. A questi si aggiunge il Rio Gere (Cortina d'Ampezzo), situato nella valle del Rio Bigontina che sbocca nel

Boite. Altri siti con fenomeni di colata meno ricorrenti, ma non per questo potenzialmente meno pericolosi, sono i dodici canali di colata a Fiammes (Cortina d'Ampezzo), i canali di colata provenienti dai Jaron di Saccomedan e dei Ross che minacciano l'abitato di Chiapuzza (San Vito di Cadore, BL), i canali di colata alle falde di Punta Dina, Cima Scotter, e del Vallon d'Antrimoia che minacciano San Vito di Cadore.

3.1 Sito di Fiammes

La località di Fiammes è immediatamente a Nord di Cortina d'Ampezzo e si sviluppa lungo la SS 51 (Fig. 12 e 13). In sinistra idraulica della valle del Boite, nelle falde generate dalle pareti rocciose relative alla cresta che parte dalla Forcella Pomagagnon e termina a Pezories, esistono dodici canali da colata che minacciano gli edi-

fici, le attività e la SS 51 di fondovalle. Le colate in questo sito non avvengono con frequenza annuale per cui possono passare anche diversi anni tra un evento e l'altro, e non sempre avvengono in tutti i siti. Ad esempio per la colata corrispondente al canale che discende dalla Forcella del Pomagagnon si sono avuti eventi il 1/8/1992, 5/7/1997, 2/7/1998, il 19/7/2004 ed il 5/7/2006. Per il canale di colata che discende dal Ra Pezories si sono avuti eventi il 19/7/2004, il 5/7/2006, il 5/7/2011, il 4/7/2011 ed il 18/8/2011. L'evento del 5/7/2006 ha invece interessato tutti e dodici i siti.

In quest'ultimo evento le colate non sono state sincrone, ed è successo che alcune automobili che hanno trovato la strada sbarrata da una colata non abbiano potuto tornare indietro perché un'altra colata scesa poco dopo aveva bloccato la strada nella direzio-

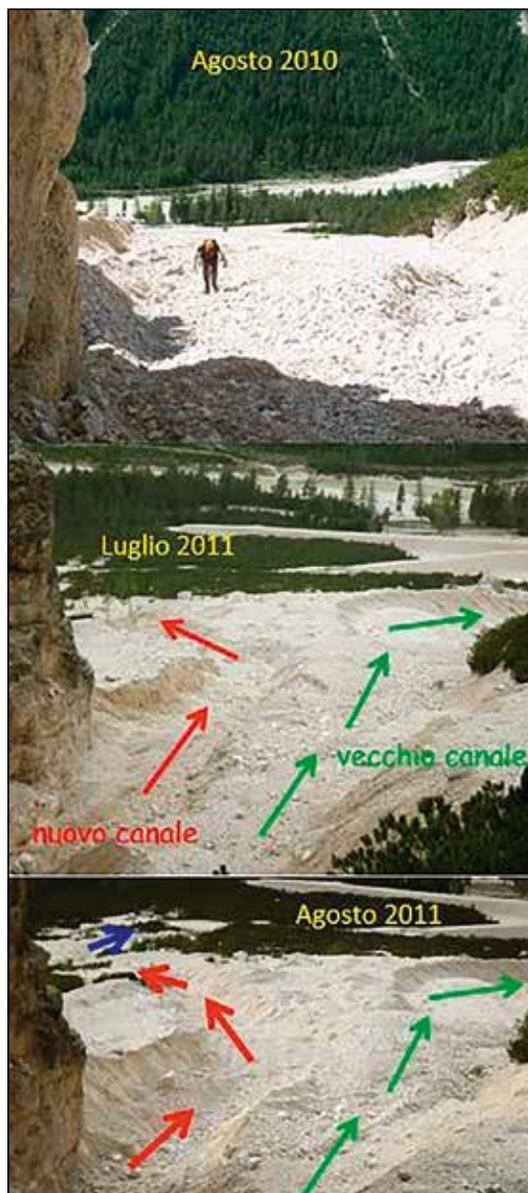


Fig. 14. Cambiamenti di direzione del canale di colata discendente da Ra Pezories all'uscita della forra rocciosa prima e dopo i due eventi del Luglio ed Agosto 2011.

ne di provenienza. A Fimes tutti i canali sono incisi sul ghiaione e possono cambiare percorso a causa per esempio dell'arresto dei massi ciclopici trasportati dalla colata, del deposito di materiale solido trasportato dalla colata e di crolli spondali. Tutti questi fenomeni ostruiscono parzial-

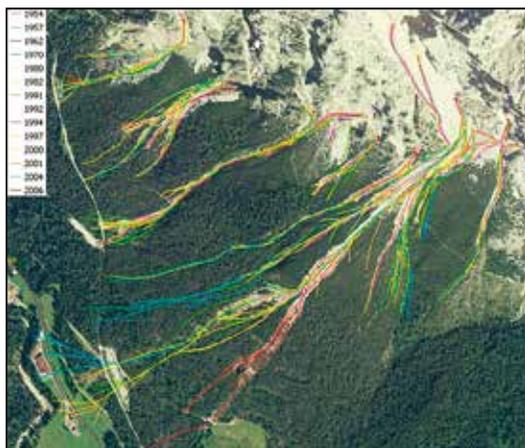


Fig. 15. Variazione di percorso dei canali di colata di Fimes dal 1954 al 2006.

mente o totalmente la sezione di deflusso che può venire esondata localmente, determinando un nuovo percorso della colata sul ghiaione.

In Fig. 14 si osserva il cambio del percorso del canale di colata di Ra Pezories dopo l'uscita dalla forra rocciosa in seguito a due eventi successivi di colata. In Fig. 15, si mostrano tutti i cambi di direzione dei canali a Fimes, determinati dalla comparazione di foto aeree acquisite in epoche successive.

3.2 Sito di Acquabona

La località di Acquabona, si trova a Sud di Cortina d'Ampezzo, immediatamente a valle della sua zona industriale. Su di essa grava un canale di colata al cui termine è stata costruita una vasca di deposito (canale centrale di sinistra nel riquadro b della Fig. 9). Al termine della parete rocciosa di Punta Nera c'è uno scivolo in roccia dove si ha la concentrazione dei deflussi superficiali provenienti da monte.

Questi percorrono il canale mobilizzando il materiale presente sul fondo, prevalentemente originato da crollo spondale (Fig. 16), e formando un'onda solido-liquida. In questo canale si sono avuti parecchi fenomeni di colata, anche più di una volta all'anno. Negli ultimi anni, causa il deposito formato-

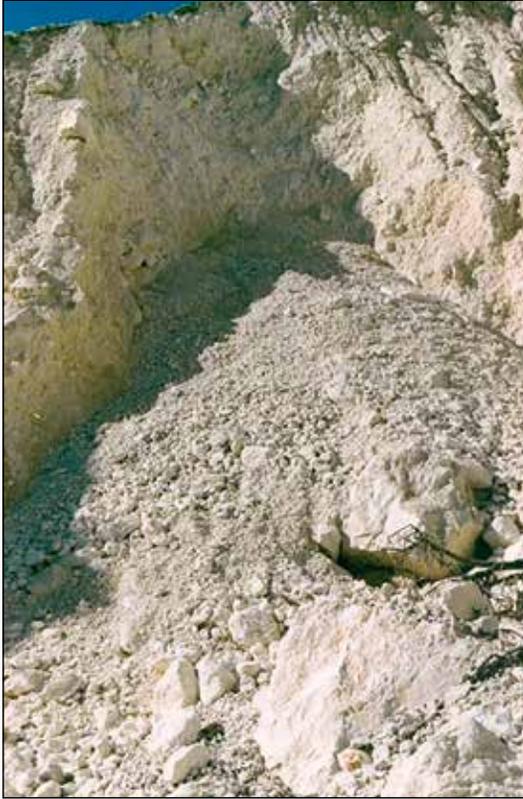


Fig. 16. Crollo di sponda nella zona di innesco delle colate ad Acquabona.

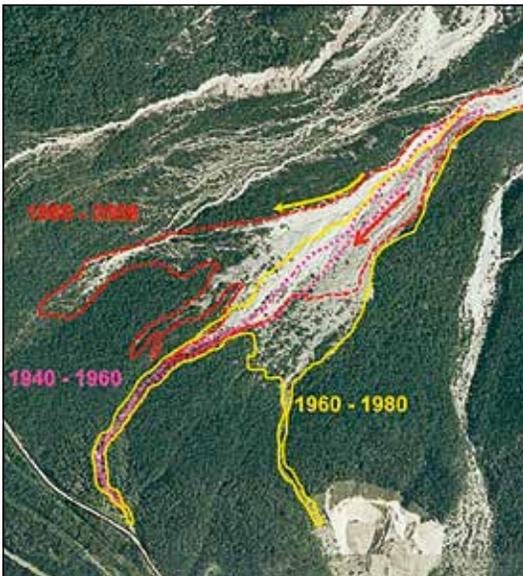


Fig. 17. Variazione di percorso dei canali di colata ad Piées de ra Mognes negli anni 1940-2000.

si allo sbocco nella vasca, la colata è esondata sia in destra che sinistra idraulica ed in alcuni casi ha raggiunto la strada statale SS 51 bloccandola.

3.3 Sito di Piées de ra Mognes

La zona di Piées de ra Mognes, si trova immediatamente a valle di Acquabona e su di essa grava un conoide percorso da vari canali di colata (Fig. 17).

Negli anni passati le colate non hanno quasi mai minacciato la strada statale SS 51 perché il canale cambiava continuamente direzione. Alla base della parete discendente da Punta Nera, anche in questo caso, c'è uno scivolo in roccia alla cui uscita il deflusso superficiale inizia a movimentare il materiale detritico. Prima e durante l'estate 2015 ci sono stati dei crolli di parete ed il materiale si è ammassato a valle dello scivolo in roc-



Fig. 18. Il canale di colata immediatamente a valle dello scivolo in roccia Piées de ra Mognes (Agosto 2015).



Fig. 19. Una delle interruzioni stradali provocate dalla colata di Piées de ra Mognes nell'estate 2015.

cia (Fig. 18). La disponibilità di abbondante materiale lapideo su pendenze elevate ha prodotto in seguito alle precipitazioni inten-



Fig. 20. Vista panoramica dell'abitato di Chiapuzza sovrastato dal Jaron dei Ross.

se dell'estate 2015 numerosi eventi di colata propagatesi, anche contemporaneamente su percorsi differenti che hanno interrotto più volte la strada statale SS 51 (km 97.500 circa) in punti diversi (Fig. 19). La autorità preposte hanno deciso di canalizzare il percorso della colata (canale centrale di destra nel riquadro b della Fig. 9). A fine maggio 2016 un ulteriore crollo di parete ha causato grossi depositi sulla parete a monte dello scivolo in roccia di Fig. 18. Come spiegato precedentemente, la quantità di deflusso superficiale necessaria per creare l'onda solido-liquida è diminuita e si sono avuti numerosi eventi (più di dieci) in seguito a precipitazioni anche di modesta entità (nel 2016 non si sono avuti fenomeni di colata significativi negli altri siti della valle del Boite), ed in alcuni casi la strada statale è stata interrotta di nuovo. Si sono eseguiti quindi nuovi lavori per allargare i vasconi terminali e si è installato un sistema d'allarme.

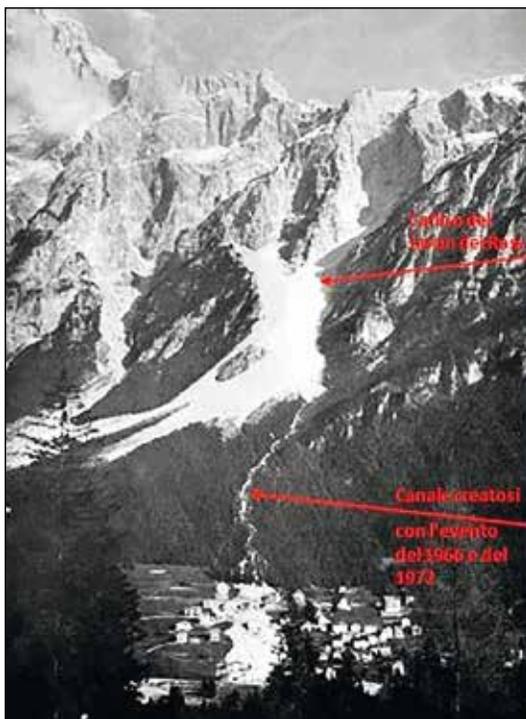


Fig. 21. La colata che nel 1972 ha raggiunto l'abitato di Chiapuzza.

3.4 Sito di Chiapuzza

L'abitato di Chiapuzza in comune di San Vito di Cadore (BL) è minacciato dalle colate che si originano nel Jaron dei Ross e nel Jaron di Saccomedan (Fig. 20). Le pareti della cresta dei Ross sono molto fratturate ed alimentano continuamente il ghiaione sottostante. Negli anni 1960-1961 ci sono stati eventi di crollo che hanno coinvolto un volume di detrito superiore a 2 milioni di m³. Altri crolli che hanno coinvolto volumi di detrito considerevoli sono quelli del 1998, 2011 e 2014. Nel 1966 e nel 1972 ci sono stati due eventi di colata che hanno raggiunto l'abitato di Chiapuzza inondandolo rispettivamente con 40.000 e 30.000 m³ di detrito (Fig. 21). Altri eventi di colata sono avvenuti nel periodo 1973-

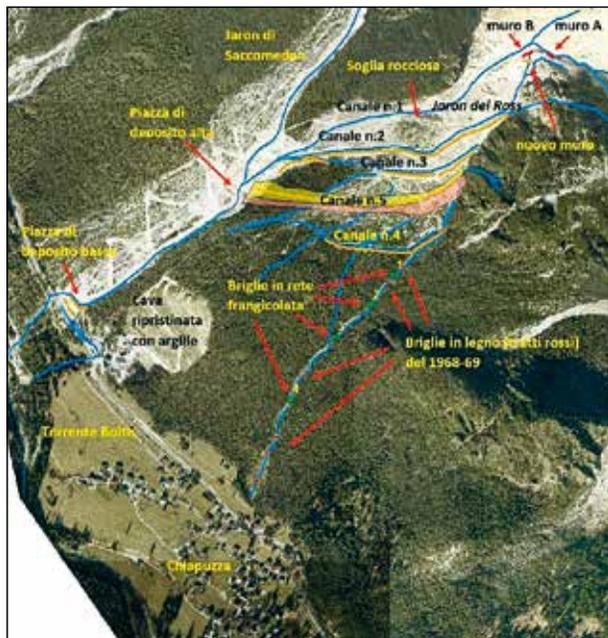


Fig. 22. Gli interventi di difesa a Chiapuzza.

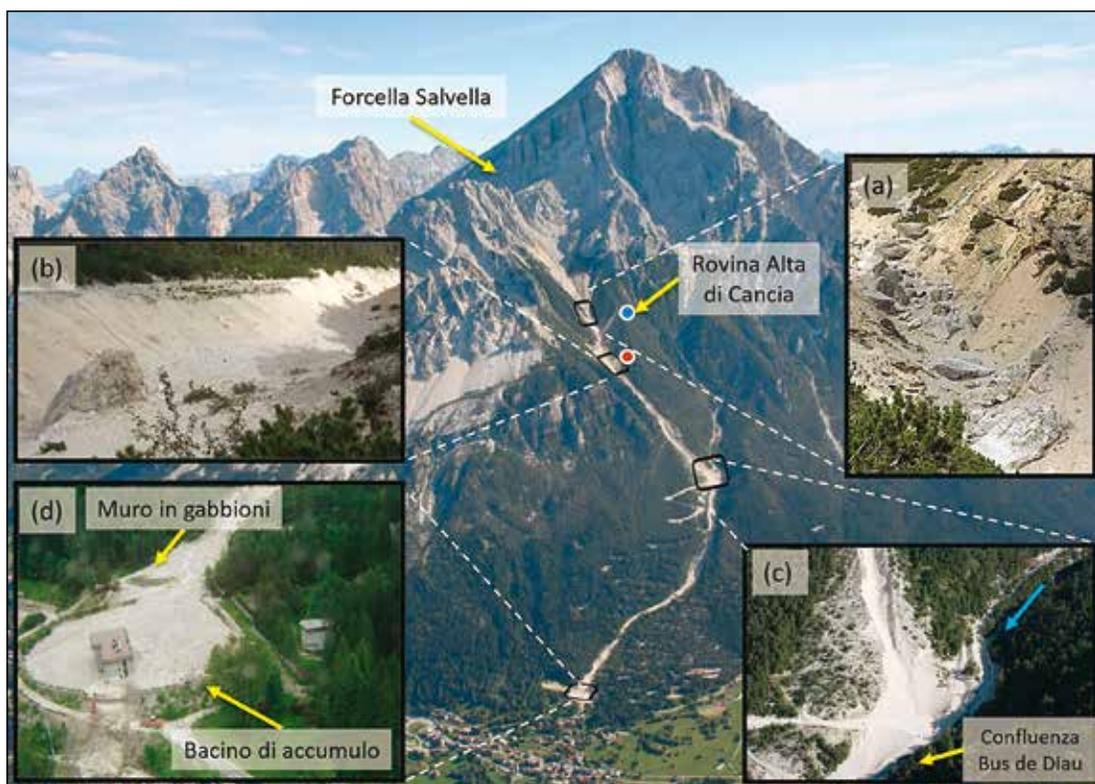


Fig. 23. Vista frontale di Rovina di Cancia. Il simbolo rosso indica la posizione della stazione di monitoraggio. La freccia blu indica la direzione finale del Bus de Diau.

2012, ma non hanno raggiunto il centro abitato arrestandosi ben prima. Nel corso degli anni sono stati eseguiti numerosi lavori di sistemazione. Allo stato attuale tre canali nella parte alta convogliano tutti i deflussi su di una piazza di deposito, di cui due originano a valle di muro parzialmente sifonato che sbarrà il deflusso dal Cadin dei Ross sull'abitato (Fig. 22). Un altro canale terminato nel Novembre 2017 è posto a valle dei precedenti e parte dalle parete che delimita a Sud il Jaron dei Ross e termina nella piazza di deposito. Questo canale, ad elevata efficienza idraulica, entra in funzione in caso di ostruzione od inefficienza dei tre canali di monte. A difesa provvisoria dell'abitato di Chiapuzza sono state nel frattempo realizzate quattro briglie a rete frangicolata, immediatamente a monte dello stesso.

3.5 Sito di Rovina di Cancia

Il canale di Rovina di Cancia (Fig. 23) allo stato attuale sovrasta e termina nell'abitato di Borca di Cadore (BL) ed è il risultato sia della evoluzione naturale che dell'intervento antropico. Ad una quota di 1300 m s.l.m. vi confluisce in sinistra idraulica il Rio del Bus de Diau che contribuisce con apporto prevalentemente liquido. Il primo evento di colata registrato è quello del 21 Aprile del 1814 in cui perirono ben 269 persone (CENTELEGHE, 2000). In quel periodo la parte medio-bassa del conoide, sulle cui propaggini è costruito l'abitato di Borca di Cadore, non era attraversato dal canale attuale, bensì risultavano presenti tracce di canali per cui i fenomeni di colata risultavano soggetti a notevole dispersione e non si hanno segnalazioni al riguardo (Fig. 24). Solo per gli eventi del 1814 e 1868 che hanno causato devastazione e morte si è avuta una documentazione storica (CENTELEGHE, 2000). Con la costruzione del villaggio ENI si è resa necessaria la sistemazione del canale di Rovina di Cancia da valle della confluenza del Bus de Diau fino all'abitato di Borca di Cadore e dal 1957 hanno iniziato ad essere documentati feno-

meni di colata (MANTOVANI ET AL, 2002; BACCHINI & ZANNONI, 2003). Dopo l'evento del 2 Luglio 1994 che ha investito l'abitato con circa 3.0000 m³, si è costruito un muro in gabbioni al termine del canale, il quale tuttavia non è risultato sufficiente a contenere eventi di colata di magnitudo superiore come quello del 7 Agosto 1996 per cui parte del volume di materiale detritico ha investito l'abitato (volume complessivo stimato in circa 45.000-60.000 m³, MANTOVANI ET AL. 2002; GASPARI 1996).

Per diminuire l'apporto solido in arrivo al paese, si è realizzata una piazza di deposito a monte della confluenza del Bus de Diau ed a valle del muro terminale di gabbioni una vasca provvisoria anch'essa in gabbioni in attesa di una sistemazione definitiva. Nel 2009, un evento di colata innescato da una precipitazione caratterizzata da due scrosci separati da un intervallo di 20 minuti ha sfondato in sinistra idraulica il muro terminale ed ha riempito la vasca provvisoria sottostante. La coda per lo più "liquida" della colata ha divelto sempre in sinistra idraulica i gabbioni superiori e si è avuta un'esonazione per lo più liquido-fangosa che ha



Fig. 24. Vista frontale del conoide di Cancia prima della sua urbanizzazione; nel bosco si possono osservare le tracce di eventi di colata.

investito le abitazioni sottostanti causando lutti e distruzione (CASAGLI & LANZONI, 2016). Dopo questo evento si è allargata la piazza alta e si è rinforzata la vasca provvisoria. Successivamente si sono avuti due eventi consistenti nel 2013 che si sono arrestati alla piazza di deposito.

Questa è stata nuovamente oggetto di allargamento nel 2014 verso monte con la contemporanea deviazione dell'imbocco del canale verso monte che risulta quindi non in asse al canale a valle della piazza alta. Inoltre, l'argine che separa la piazza di deposito dal Bus de Diau è stato innalzato e rinforzato, ed il primo tratto di canale a valle di esso è stato regolarizzato per poter procedere agli interventi strutturali in progetto.

Nell'estate del 2015 si sono avuti due eventi consistenti che hanno entrambi raggiunto e riempito il muro terminale in gabbioni che durante il primo evento è stato anche aggirato in sinistra idraulica. Le volumetrie mobilitate durante i due eventi variano in un intervallo di 25.000-30.000 m³.

La volumetria del secondo evento è risultata inferiore del 10% alla prima nonostante i deflussi superficiali siano stati superiori (GREGORETTI ET AL., 2016b) in quanto il primo evento ha diminuito sensibilmente il materiale movimentabile presente nel canale.

Le colate si innescano in prossimità di un masso ciclopico (riquadro b di Fig. 23), poiché a monte il canale è ostruito da massi erratici (riquadro a di Fig. 23) che impediscono la formazione di onde solido-liquide consistenti.

A valle del masso ciclopico del riquadro b di Fig. 23 il canale risulta soggetto a riempimento di sedimenti provenienti per lo più da crolli spondali.

In questo tratto, il canale risulta ciclicamente soggetto a periodi di ricarica per apporto solido dalle sponde o per deposito di piccoli eventi, interrotti da fenomeni di svuotamento in seguito ad eventi di colata. Si osserva in Fig. 25 lo stesso tratto di canale in condizioni pre e post-evento. Ad una quota di 1500 m s.l.m. esiste un salto di roccia.

3.6 Sito del Rudan

Il Rio Rudan nasce a valle di una forra rocciosa posta a valle del ghiaione sottostante la parete Sud del Monte Antelao, e sbocca nel Boite dopo aver attraversato l'abitato di Vodo di Cadore (Fig. 26). In questo torrente si propagano le colate che originano nei canali incisi sul ghiaione esistente tra la parete e la forra. Fenomeni di colata si sono avuti negli anni tra il 1994 ed il 2001, per cui è stata costruita una briglia filtrante immediatamente a monte della zona abitata. Questa briglia si è intasata bloccando la gran parte del materiale trasportato in occasione dei due eventi di Agosto e Settembre 2015.

4. Installazioni scientifiche nella valle del Boite

Lo studio delle colate detritiche necessita di stazioni di monitoraggio per comprendere i diversi processi fisici coinvolti nel fenomeno (precipitazione, deflusso, mobilitazione di depositi detritici e propagazione di un'onda solido-liquida verso valle). Non risulta sempre possibile predisporre in un solo canale di colata le stazioni necessarie per monitorare tutti i processi coinvolti. Nella Valle del Boite sono attualmente presenti stazioni di monitoraggio a Fiames, Acquabona, Piées de ra Mognes e Rovina di Cancia. Le stazioni di Fiames, Piées de ra Mognes e Rovina di Cancia sono frutto di una collaborazione dipartimenti Tesaf, Icea e Bigea delle Università di Padova e Bologna. La stazione dell'Acquabona è gestita dal Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova.

A Fiames sono presenti tre stazioni di monitoraggio, ognuna dotata di un pluviometro, e 6 pluviometri (riquadro a di Fig. 9 e Fig. 27).

Sulla Forcella del Pomagagnon (2200 m s.l.m., riquadro c di Fig. 27) è posta una stazione di monitoraggio dotata di due strumenti che misurano l'intensità del campo elettrico che, prima di precipitazioni brevi

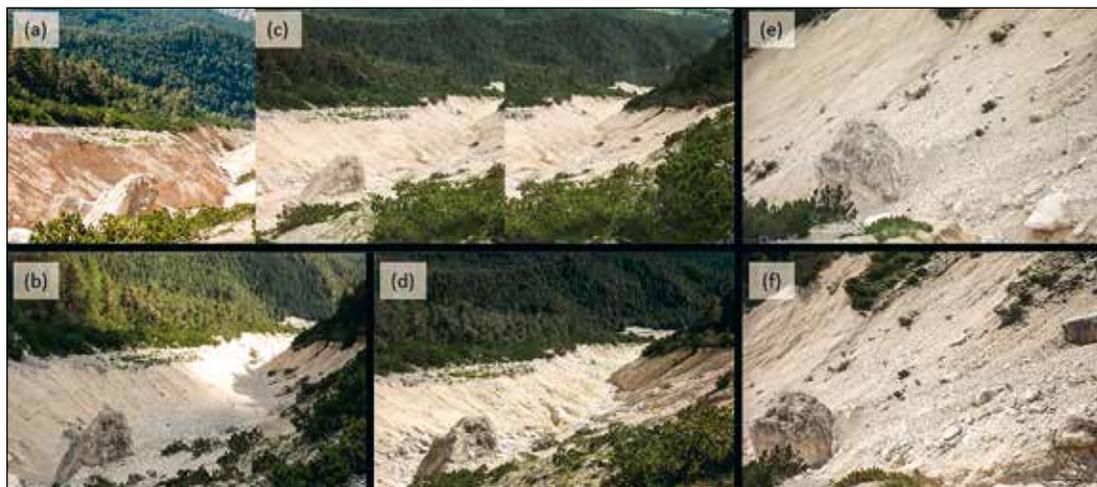


Fig. 25. Vista da monte dell'area di innesco (1666 m a.s.l.). I riquadri (a, c e d) sono relativi a situazioni post-evento (18 Luglio 2009, 26 Luglio e 19 Agosto 2013) mentre il riquadro b a situazione di ricarica (26 Luglio 2012).

ed intense, aumenta. Questi dati servono per individuare la correlazione tra le intensità del campo elettrico e di precipitazione. Questa correlazione potrebbe servire per conoscere in anticipo l'intensità della precipitazione in procinto di investire una determinata zona e quindi essere utilizzata per procedure di allerta. Intorno alla stazione sono posti ulteriori 4 pluviometri ad una distanza dalla stessa di circa 100 m ognuno.

Ai piedi del canale roccioso inciso sulla parete del Campanile Dimai, è stato realizzato un dispositivo di misura dei deflussi superficiali costituito da una vasca aperta verso monte e sbarrata da una lastra in acciaio verso valle. Il deflusso che arriva da monte riempie la vasca e quindi stramazza sopra la lastra (riquadro a di Fig. 27). La variazione di livello nella vasca permette di determinare la portata in arrivo alla vasca. Queste misure, allo stato attuale uniche al mondo, permettono di identificare gli idrogrammi di portata di deflusso superficiale utili sia alla comprensione della risposta idrologica di una parete rocciosa sia per la calibrazione/verifica di modelli afflussi-deflussi (i.e. modelli che dato un input di precipitazione provvedono il corrispondente idrogramma di portata). Si è potuto quindi appurare che gli attuali modelli in uso in ambito scien-

tifico e professionale sottostimano il valore di picco della portata, per cui si è proposto un modello ad hoc (GREGORETTI ET AL, 2016 B). Sul canale discendente dalla Forcella del Pomagagnon risulta installata una stazione per il monitoraggio del deflusso di un'onda solido-liquida, relativamente alla profondità, velocità della corrente ed alla pressione esercitata da questa sul fondo (riquadro b di Fig. 27). Questi risultati sono necessari per studiare le caratteristiche dinamiche dell'onda e per la verifica dei modelli di propagazione di una corrente solido-liquida. I rimanenti due pluviometri sono posti, uno sul ghiaione sottostante Ra Pezories e l'altro sotto la Testa del Bartoldo. Un ulteriore pluviometro è posto sul Col da Varda ad una quota di 2200 m s.l.m., sopra il passo Tre Croci. Ad Acquabona (riquadro b di Fig. 9) sono presenti due stazioni di monitoraggio: una meteorologica sotto parete e l'altra per monitorare il deflusso di un'onda solido-liquida, relativamente alla profondità, velocità della corrente ed alla pressione esercitata da questa sul fondo, posta vicino al termine del canale (riquadro a di Fig. 28). Ad Piées de ra Mognes è presente una stazione di monitoraggio installata immediatamente a valle dello scivolo in roccia (riquadro b di Figura 9 e riquadro b di Fig. 28). Lo scopo di que-

sta stazione è il monitoraggio del deflusso di una colata appena sviluppatasi relativamente alla profondità, velocità della corrente ed alla pressione esercitata da questa sul fondo. A Rovina di Cancia è stata installata una stazione di monitoraggio nell'area di innesco della colata per lo studio della formazione della colata (Figg. 23 e 29).

Questa stazione permette la misura di profondità e velocità della corrente liquida o solido-liquida oltre alla pressione esercitata da questa sul fondo.

A Rovina di Cancia, esiste inoltre un sistema di monitoraggio ed allarme gestito dalla Provincia di Belluno con il supporto della Regione Veneto.

Gli studi scientifici condotti nella Valle del Boite sono quelli corrispondenti al monitoraggio dei processi fisici del fenomeno appe-



Fig. 26. Il tracciato del Rio Rudan a valle della forra rocciosa (foto del Dr. F. Bettella).

na introdotti, ai rilievi topografici pre e post evento a Fiames e Rovina di Cancia per determinare le volumetrie coinvolte e provvedere le mappe di erosione e deposito dovuti alle colate avvenute. I dati di monitoraggio e le elaborazioni dei rilievi topografici sono necessari per la messa a punto dei modelli per la simulazione dei deflussi superficiali, della formazione di una colata e della sua propagazione verso valle.

5. Pericolosità del fenomeno

I fenomeni di colata detritica avvengono con sempre maggior frequenza, a causa dell'aumento degli eventi di precipitazione estremi dovuto al cambiamento climatico.

Gli eventi estremi sono quelli caratterizzati da un'elevata altezza di precipitazione in un limitato intervallo di tempo.

Essi si riferiscono al tipo di fenomeno cui danno luogo.

L'evento estremo che genera una colata di alta magnitudo nella valle del Boite è differente da quello che genera un fenomeno di piena nello stesso, come da quello che genera un evento di piena in zona prealpina od in pianura.

La colata per essere generata ha bisogno di un'altezza di precipitazione cospicua in decine di minuti, mentre la piena nel Boite di alcune ore.

A livello di precipitazione totale, la pioggia che genera la piena nel Boite ha un'altezza di precipitazione complessiva maggiore ri-



Fig. 27. Stazioni di monitoraggio del Campanile Dimai (a), Fiames-Pomagagnon (b) e Forcella del Pomagagnon (c).



Fig. 28. Stazioni di monitoraggio di Acquabona (a; foto del Prof. P. Scotton) e Piées de ra Mognes (b).

petto a quella che genera la colata ma una intensità minore (altezza di precipitazione nell'unità di tempo). Per intendersi la precipitazione che ha generato la colata di Rovina di Cancia del 23/7/2015 che ha movimentato circa 29.000 m³ di materiale detritico è stata generata da una precipitazione di 35.7 mm in 30 minuti (dati registrati dal pluviometro sotto parete del sistema di monitoraggio ed allarme della Provincia di Belluno).

La precipitazione registrata dal pluviometro dell'Università di Padova alla Testa del Bartoldo (riquadro a di Fig. 9) del giorno 11 novembre 2012 di 110 mm in 24 ore non ha causato alcuna colata bensì il crollo di una parete del massiccio del Pomagagnon tra la cima dello stesso e la Testa del Bartoldo.

La precipitazione di tipo estremo che innescava una colata, può avere carattere esclusivamente locale come per la colata del 23/7/2015 a Rovina di Cancia che ha investito esclusivamente la parte alta del bacino (1 km² circa) o generale come quelle del 18/7/2009 e 4/8/2015 che hanno investito un'area più molto estesa generando colate in punti diversi della Valle del Boite e zone limitrofe.

Le precipitazioni estreme che hanno generato le colate negli ultimi anni sono state caratterizzate da tempi di ritorno non elevati, ovvero non al di sopra di 50 anni, eccetto

quella del 5/7/2006 a Fiames caratterizzata da un tempo di ritorno superiore a 100 anni. Per quanto riguarda le precipitazioni corrispondenti alle colate di magnitudo maggiore avvenute a Rovina di Cancia il 2/7/1994, 7/8/1996, e 18/7/2009, il tempo di ritorno risulta inferiore a 50 anni.

Guardando invece gli eventi pluviometrici accaduti nelle estati scorse in ambito prealpino, che hanno generato alluvioni, si sono avute altezze di precipitazione orarie tra 100 e 200 mm (Pederobba, 2 Luglio 2008; Cividale del Friuli, 10 Settembre 2013; Refrontolo, 2 Agosto 2014) con tempi di ritorno superiori a 200 anni come anche per l'evento avvenuto in Sardegna del novembre 2013 caratterizzato da un'altezza di precipitazione di circa 500 mm in 24 ore.

Se un evento pluviometrico di tale entità colpisse la valle del Boite avrebbe un impatto devastante.

Al riguardo l'area che potrebbe risultare maggiormente danneggiata è quella del comune di Cortina d'Ampezzo.

Fenomeni di colata, come spiegato in precedenza avvengono sia sulla SS 51 a monte (Fiames) e valle (Acquabona) che sulla SR 48 sia in direzione Auronzo (colate del Rio Gere, Passo Tre Croci e Rudavoi) che del Passo Falzarego (colate del Rio Bianco e Lagazuoi).

L'abitato di Cortina d'Ampezzo, a differen-



Fig. 29. Stazione di monitoraggio di Rovina di Cancia.

za delle altre località della valle del Boite è situato in una conca e risulta circondato da un territorio altamente suscettibile alla for-

mazione di fenomeni di colata detritica. Gravi danni risulterebbero quindi dall'innescarsi di fenomeni generalizzati nel suo comune, a parità di altre condizioni, rispetto a quelli di altri comuni della Valle del Boite, che posti lungo la valle potrebbero servirsi delle strade presenti sulla sponda destra del Boite.

Inoltre per la diminuzione delle precipitazioni nevose e l'innalzamento della temperatura che hanno "mediamente" ridotto l'altezza del manto nevoso, potrebbe non escludersi l'avvenimento di fenomeni di colata al di fuori del classico periodo Giugno-Settembre. La presenza del manto nevoso, infatti, impedisce la formazione di deflusso superficiale perché assorbe inizialmente la precipitazione.

Bibliografia

- BACCHINI M., ZANNONI A., 2003. *Relations between rainfall and triggering of debris-flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy)*. Nat. Hazard Earth Sci., 3(1/2), 71-79. doi:10.5194/nhess-3-71-2003
- BERTI M., SIMONI A., 2005. *Experimental evidences and numerical modelling of debris flow initiated by channel runoff*, Landslide, 2, 171--182.
- CANNON S., GARTNER J. E., WILSON R. C., BOWERS J. C., LABER J. L., 2008. *Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in Southwestern Colorado and Southern California*. Geomorphology, 96, 250-269.
- CASAGLI N., LANZONI S., 2016. *Perizia relative al procedimento penale N.1341/2010 RGNR*.
- CENTELEGHE L., 2000. *Il fenomeno delle colate detritiche in località Cancia (BL): elaborazione di un modello idrologico*. Tesi di Laurea. Università degli Studi di Trento.
- COE J. A., KINNER D. A., GODT J. W., 2008. *Initiation conditions for debris flows generated by runoff at Chalk Cliffs, central Colorado*. Geomorphology, 96, 270-297.
- GREGORETTI C., DALLA FONTANA G., 2007. *Rainfall threshold for the initiation of debris flows by channel bed failure of the Dolomites*. In Proceedings of the Fourth International Conference on Debris Flow Hazards Mitigation Chengdu, August, Chen and Major (eds): 11--21.

- GREGORETTI C., DALLA FONTANA G., 2008. *The triggering of debris flow due to channel-bed failure debris flow in some alpine headwater basins of the Dolomites: analyses of critical runoff*. Hydrol. Processes. 22, 2248-2263.
- GREGORETTI C., DEGETTO M., BERNARD M., CRUCIL, G., PIMAZZONI A., DE VIDO G., BERTI M., SIMONI A., LANZONI S., 2016b. *Runoff of small rocky headwater catchments: Field observations and hydrological modeling*. Water Resour. Res. 52(8) doi: 10.1002/2016WR018675.
- GREGORETTI C., DEGETTO M., BOREGGIO M., 2016a. *GIS-based cell model for simulating debris flow runout on a fan*. J. Hydrol., 534, 326-340; doi:10.1016/j.jhydrol.2015.12.054.
- HU W., DONG, X. J., WANG, G. H., VAN ASCH T. W. J., HICHER P. Y., 2016. *Initiation processes for run-off generated debris flows in the Wenchuan earthquake area of China*, *Geomorphology*. 253, 468-477. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.024>.
- HURLIMANN M., ABANCÒ C., MOYA, J., VILAJOSANA I., 2014. *Results and experiences gathered at the Rebaixader debris-flow monitoring site, Central Pyrenees, Spain*. Landslides. doi:10.1007/s10346-013-0452-y 161-175.
- IMAZUMI F., SIDLE R. C., TSUCHIYA S., OHSAKA O., 2006. *Hydrogeomorphic processes in a steep debris flow initiation zone*, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L10404, doi:10.1029/2006GL026250.
- IVERSON R. M., 1997. *The physics of debris flow*. Review of Geophysics, 35, 3, 245-296.
- KEAN J. W., STALEY D. M., CANNON S. E., 2011. *In situ measurements of post-fire debris flows in Southern California: comparison of the timing and magnitude of 24 debris flows events with rainfall and soil moisture conditions*, *J. Geophys. Res.* 116, F04019, doi:10.1029/2011JF002005.
- KEAN J. W., MCCOY S. W., TUCKER G. E., STALEY D. M., COE J. A., 2013. *Runoff-generated debris flows: observations and modeling of surge initiation, magnitude and frequency*. *J. Geophys. Res.* 118, 2190-2207, doi:10.1029/jgrf20148.
- MANTOVANI F., PASUTO A., SILVANO S., 2002. *Definition of the elements at risk and mitigation measures of the Cancia debris flow (Dolomites, Northeastern Italy)*. In J. L. van Rooy and C. A. Jermy (Ed.), *Engineering Geology for Developing Countries - 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment* (pp. 1201-1209). Durban, South Africa.
- MCCOY S. W., KEAN J. W., COE J. A., TUCKER G. E., STALEY D. M. AND WASKLEWICZ W. A., 2012. *Sediment entrainment by debris flows: In situ measurements from the headwaters of a steep catchment*. *J. Geophys. Res.* 117, F03016, doi:10.1029/2011JF002278.
- NAVRAIL O., LIEBAULT F., BELLOT H., THEULE J., CHAMBON G. AND LAIGLE D. 2013. *High-frequency monitoring of debris flows propagation along the Real torrent, Southern French Alps*. *Geomorphology*, 201, 30, 157-171, 10.1002/hyp.6821.
- RENGERS F. K., L. A. MCGUIRE, KEAN J. W., HOBLEY D. E., 2016. *Model simulations of flood and debris flow timing in steep catchments after wildfire*, *Water Resources Research*, 52, doi:10.1029/2015WR018176.
- THEULE J. I., LIEBAULT F., LOYE A., LAIGLE D., JABOYEDOFF M., 2012. *Sediment budget monitoring of debris flow and bedload transport in the Manival Torrent, SE France*. *Nat. Hazard Earth Sci.*, 12, 731-749.
- TOGNACCA C., BEZZOLA G. R., MINOR H. E., 2000. *Threshold criterion for debris flow initiation due to channel bed failure*. In *Proceedings of the Second International Conference on Debris Flow Hazards Mitigation*, Taipei, August, Wieczorek, Naeser (eds), 89-97.
- ZANUTTIGH B., LAMBERTI A., 2007. *Instability and surge developments in debris flows*. *Rev. Geophys.*, 45.