



Internationales Symposion INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

I FENOMENI FRANOSI CONNESSI ALLE PRECIPITAZIONI DEL NOVEMBRE 2002 IN VALTELLINA

SOIL SLIPS AND DEBRIS FLOWS TRIGGERED BY THE NOVEMBER 2002 STORMS IN VALTELLINA, ITALIAN CENTRAL ALPS

Pietro Aleotti¹, Massimo Ceriani², Dario Fossati³, Giovanni Polloni⁴ e Francesco Pozza⁵

RIASSUNTO

Le precipitazioni che hanno interessato tutta l'area alpina della Lombardia nel novembre 2002 hanno avuto carattere di eccezionalità, per intensità, durata e pioggia cumulata. Esse hanno causato l'attivazione in tutta la regione di molti fenomeni di versante cinematicamente anche molto differenti tra loro. In Valtellina, in particolare, si sono innescate soprattutto frane di colamento rapido che hanno coinvolto la coltre superficiale evolvendosi, talvolta, in veri e propri debris flow. Localmente si sono verificati fenomeni a carico della rete idrica secondaria con l'accadimento di processi tipo debris torrent e la formazione di nuovi apparati sospesi di modeste dimensioni. L'articolo si focalizza sulle frane superficiali, descrivendone la distribuzione areale e le principali caratteristiche geometriche e soffermandosi, soprattutto, sulle condizioni pluviometriche che hanno portato al loro innesco. Esse, infatti, si sono attivate prevalentemente in concomitanza ad un primo picco di precipitazione tra il 14 e 16 novembre (Valle di Albaredo) e, in misura minore, nel corso di un secondo picco, meno intenso del precedente, tra il 24 e il 26 novembre. Questo secondo evento pluviometrico ha dato origine all'innesco di un numero più esiguo di processi (bassa Valtellina).

Parole-chiave: frane di colamento rapido, Valtellina, soglie pluviometriche

ABSTRACT

On November 2002 North Italy was affected by a prolonged intense rainfall: in the alpine and prealpine sector of Lombardy more than 700 mm of rainfall fell triggering many geomorphic

1 Aquatec S.p.A. – Engineering Geology and Geotechnical Dept., via Tosstoj 86, 20098 San Giuliano Milanese, Italy (Tel.: +39.0252052600; Fax: +39.02.52052586; email: pietro.aleotti@aquater.eni.it)

2 Regione Lombardia – Direzione Territorio – Struttura Rischi Idrogeologici e Sismici, Via Sassetti 32/2, Milano, Italy (Tel.: +39.0267655209; Fax: +39.0267657251; email: massimo_ceriani@regione.lombardia.it)

3 Regione Lombardia – Direzione Territorio – Struttura Rischi Idrogeologici e Sismici, Via Sassetti 32/2, Milano, Italy (Tel.: +39.0267655209; Fax: +39.0267657251; email: dario_fossati@regione.lombardia.it)

4 Aquatec S.p.A. – Engineering Geology and Geotechnical Dept., via Miralbello 53, 61047 San Lorenzo in Campo, Italy (Tel.: +39.0721731272; Fax: +39.0721731507; email: giovanni.polloni@aquater.eni.it)

5 Regione Lombardia – Direzione Territorio – Struttura Rischi Idrogeologici e Sismici, Via Sassetti 32/2, Milano, Italy (Tel.: +39.0267655209; Fax: +39.0267657251; email: francesco_pozza@regione.lombardia.it)

processes connected both to fluvial dynamics and to slopes dynamics. Such event caused 2 casualties and extensive damages to structures and economic activities, evaluated in 500 millions of Euro. The recorded landslides were mainly soil slips and debris flows but also large debris slides and deep seated instabilities occurred. In particular in the Valtellina area (Italian Central Alps) more than 70 soil slips and soil slip - debris flows were inventoried, mainly in the Albaredo Valley, left tributary of the Valtellina Valley, and in the middle and lower part of the Valtellina (from Tirano to Mantello).

In the paper the main morphological features of landslides that affected the Valtellina Valley are described. Moreover the critical rainfall characteristics are analyzed aimed to defining the critical pluviometric thresholds in graphs most commonly used in literature.

Key words: soil slip, debris flow, Valtellina, Italy, rainfall thresholds

INTRODUZIONE

Le frane di scivolamento rapido della coltre superficiale (soil slip e soil slip-debris flow) sono un fenomeno assai ricorrente in tutta la Valtellina in concomitanza ad eventi meteorici particolarmente intensi e/o prolungati. Alla naturale predisposizione del territorio all'accadimento di tali processi, connessa soprattutto all'elevata acclività generale dei pendii e alle condizioni litologico - stratigrafiche dei terreni che costituiscono la copertura superficiale (sovrapposizione di livelli a differente permeabilità), si uniscono infatti fattori di origine antropica quali la presenza di versanti estesamente terrazzati e di strade collocate a mezzacosta con drenaggi talvolta inadeguati o scarsamente mantenuti. Tra gli episodi più significativi, per estensione di territorio interessato e per numero di frane indotte, si possono ricordare quello del maggio 1983 e del luglio 1987 (Cancelli e Nova, 1985; Crosta, 1990; Polloni et al., 1992, 1998) e, più recentemente quello del novembre 2000 (Crosta et al., 2003). La frequenza con cui questi fenomeni si innescano e la grande densità areale con i quali solitamente si manifestano rendono ragione del considerevole significato socio-economico che essi rivestono in tutta la valle, sia in termini di rischio per le persone che di danni alle strutture e alle attività produttive presenti.

In questo articolo vengono analizzate le frane superficiali che hanno interessato la Valtellina a seguito delle precipitazioni verificatesi nel novembre 2002. In particolare tali fenomeni si sono verificati in corrispondenza di due distinti picchi di pioggia, il primo avvenuto tra i giorni 14-16 novembre, il secondo, meno intenso, tra i giorni 24-26 novembre. Scopo principale del lavoro è stato quello di descrivere le caratteristiche delle precipitazioni che hanno indotto i suddetti fenomeni al fine di meglio definire e verificare le soglie pluviometriche di innesco presenti per l'area (Ceriani et al., 1994).

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La Valtellina è una valle di origine glaciale, lunga circa 100 km, ubicata nelle Alpi centrali italiane. Il fondovalle, solcato dal fiume Adda, è impostato per buona parte lungo la Linea Insubrica, la quale divide le Unità delle Alpi meridionali a sud da quelle delle Austridi e Pennidi a nord. Le rocce, spesso altamente fratturate per la presenza di molte linee tettoniche, sono principalmente di natura metamorfica con locali intrusioni granitiche. Lungo i versanti, terreni di origine eluvio-colluviale ricoprono, in genere con spessori di pochi metri, le rocce del substrato, mentre depositi morenici anche di maggiore potenza sono presenti sui terrazzi

glaciali e saltuariamente lungo i fianchi della valle. L'assetto morfologico del territorio deriva dai processi principalmente glaciale e fluviale che hanno modellato la valle nel Quaternario. Lungo la Valtellina numerosi torrenti (108) confluiscono dalle valli laterali nel fiume Adda, formando allo sbocco della gola montana una serie di conoidi alluvionali più o meno estese, talvolta coalescenti, che occupano buona parte del fondovalle. Le valli di tali torrenti laterali sono state modellate nelle parti più elevate dai processi glaciali (con sezioni più larghe e dolci con forma a U) e nei tratti più bassi dall'erosione fluviale (con sezioni più strette e forma a V). I bacini si estendono spesso fino ad altezze superiori ai 3000 m e sono fittamente ricoperti da vegetazione prevalentemente a latifoglie nelle fasce altimetriche inferiori e a conifere fino al limite superiore della vegetazione posto a 2200-2400 m.

L'EVENTO METEORICO DEL NOVEMBRE 2002

Le condizioni meteorologiche

Le condizioni meteorologiche che sono alla base dell'evento alluvionale che ha interessato la Lombardia nel novembre 2002 si sono delineate a partire dal giorno 12 con il formarsi di un'ampia depressione atlantica in rapido spostamento verso est con il conseguente richiamo, già dal giorno 13 e soprattutto dal 14, 15 e 16, di aria calda dal Mediterraneo. Quest'ultima, associata all'avvenzione di aria molto fredda in quota, ha determinato l'instaurarsi di condizioni di elevata instabilità e il conseguente innesco di precipitazioni molto intense.

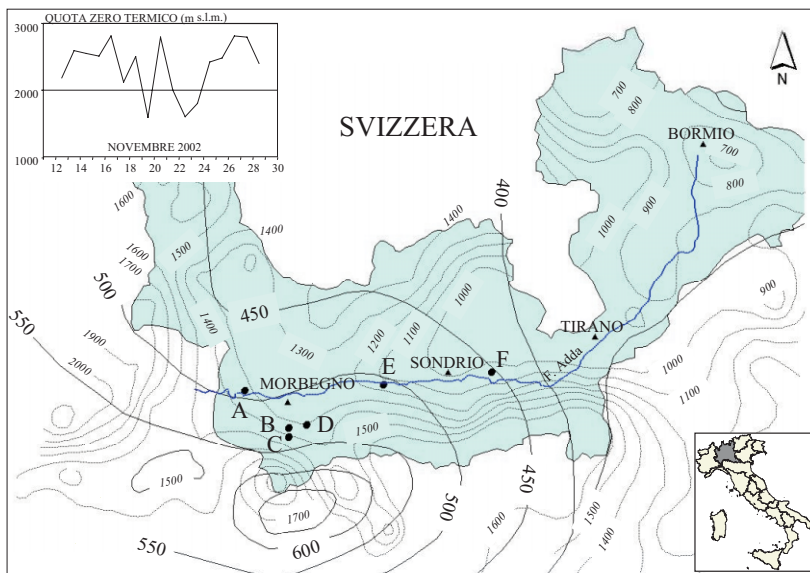


Fig1: Area di studio con indicazione dei poli di innesco delle frane superficiali (A: Mantello – Rogolo; B: Rasura; C: Pedesina; D: Albaredo – Bema; E: Colorina - Talamona; F: Ponte Valtellina). Le linee sottili rappresentano le precipitazioni medie annue calcolate da Ceriani e Carelli (2003), le linee spesse le precipitazioni del Novembre 2002. In alto a sinistra è riportato l'andamento dello zero termico nel Novembre 2002.

Fig1: Location of the studied area. Capital letters indicate the main location of shallow failures (A: Mantello – Rogolo; B: Rasura; C: Pedesina; D: Albaredo – Bema; E: Colorina - Talamona; F: Ponte Valtellina). Thin lines are the Mean Annual Precipitation (Ceriani and Carelli, 2003), while thick lines are the November 2002 rainfall.

Nelle giornate successive dopo l'esaurimento della prima depressione si forma, già a partire dal giorno 24, una nuova depressione atlantica, rallentata nel suo passaggio sull'Italia settentrionale dalla presenza di un ampio anticiclone presente sull'Europa orientale, che determina l'instaurarsi di condizioni del tutto simili a quelle verificatesi a metà mese e l'accadimento di nuove precipitazioni diffuse ed intense.

Le precipitazioni

Le precipitazioni del novembre 2002 sono state particolarmente intense in gran parte della Lombardia, sia per numero consecutivo di giorni piovosi che per intensità. Un contributo determinante è stato apportato anche dalla quota anomalmente alta dello zero termico, mantenutasi ben al di sopra dei 2000 m s.l.m. per buona parte del mese (Fig. 1).

In Valtellina le precipitazioni più abbondanti si sono verificate nella media – bassa valle, e soprattutto, nelle valli secondarie che confluiscono nel F. Adda nell'intorno del centro abitato di Morbegno (Val Gerola, versante orobico). Qui nel periodo compreso tra il 12 ed il 28 novembre sono state registrati tra i 500 mm e i 600 mm di pioggia, corrispondenti in certi settori a più del 30% della precipitazione media annua (Fig. 1).

Dall'analisi delle precipitazioni giornaliere è possibile osservare che, in risposta ai fenomeni depressionari appena descritti, le piogge sono concentrate perlopiù in corrispondenza di due picchi ben distinti, il primo tra il 14-16 novembre e il secondo tra il 24-26 novembre (Fig. 2). Nel primo dei 2 episodi è stata misurata una precipitazione cumulata compresa tra 200-310 mm con un picco massimo giornaliero di 160 mm, mentre nel secondo la pioggia cumulata è di 120-180 mm con un picco giornaliero di 105 mm (stazione di Diga di Panigai).

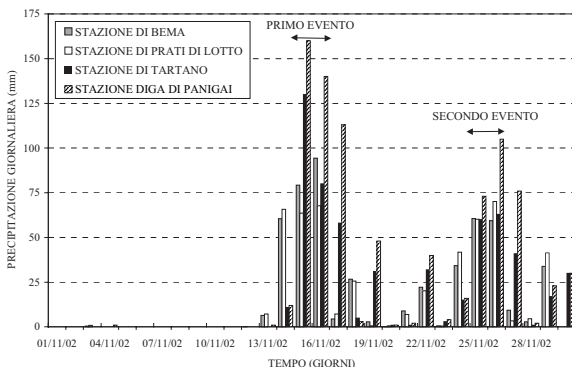


Fig2: Precipitazioni giornaliere.
Fig2: Daily rainfalls.

I processi di versante

I processi di versante hanno avuto la massima diffusione nei pressi del centro abitato di Albaredo, ove in un intorno di circa 1 km² sono stati osservati quasi 50 distacchi (Aleotti, 2003) che rappresentano circa i 2/3 di tutte le frane censite a seguito degli eventi meteorici in esame (Fig. 3a).

Nel resto della valle sono stati rilevati altri franamenti a Bema, Colorina, Mantello (che con 7 frane in meno di 0,5 km² rappresenta il secondo polo per densità di frane), Pedesina, Ponte Valtellina, Rasura, Rogolo, Sondrio e Talamona (Fig. 1). Nella maggior parte dei casi si tratta di frane di colamento rapido che coinvolgono esclusivamente la coltre superficiale.

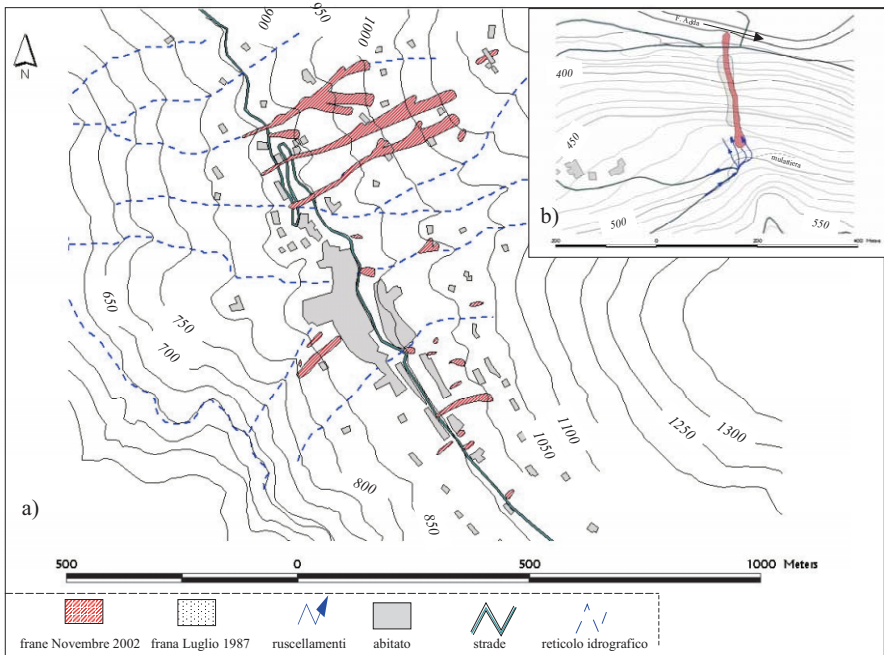


Fig3: Carta frane dell'area di Albaredo San Marco (a) e Ponte Valtellina (b).

Fig3: Landslide map in the Albaredo area (a) and Ponte Valtellina (b).

Localmente tali frane si sono incanalate all'interno di depressioni topografiche più o meno marcate evolvendosi in veri e propri debris flow e, in taluni casi, esse hanno raggiunto la rete idrografica secondaria dando origine a fenomeni tipo debris torrent. Il caso più eclatante, in questo senso, è quello del T. Ranciga (Talamona) la cui asta è stata interessata da un debris torrent che ha portato alla creazione di una conoide sospesa di circa 10,000 m³. Con riferimento alle frane superficiali s.s. (soil slip e soil slip – debris flow) si osserva una marcata differenziazione tra quanto verificatosi ad Albaredo San Marco e quanto riscontrato nella maggior parte delle altre località della valle. Mentre nell'area di Albaredo, infatti, i soil slip si sono impostati perlopiù in corrispondenza di versanti aperti e privi di rotture di pendenza nelle aree di nicchia e, soprattutto, quasi sempre senza un'influenza di tipo antropico (70%), nelle altre località l'innescò ha avuto una concausa "artificiale", il più delle volte determinante. In particolare, la presenza di terrazzamenti e dei relativi muri di sostegno è una delle più comuni e può essere addotta quale elemento di instabilizzazione in alcuni dei fenomeni verificatisi, come quelli avvenuti a Mantello, Rasura e Sondrio. Qui, ad esempio, lungo il pendio terrazzato a monte della centrale Enel si sono attivate 2 grosse colate, ognuna di circa 1000 m³. L'effetto negativo di questo tipo di situazione non è legato esclusivamente allo scarso livello di manutenzione dei muretti di sostegno e alla perdita di permeabilità dovuta alla loro vetustà ma anche al particolare assetto geometrico che i terrazzamenti inducono sui pendii con l'alternanza di tratti subverticali e di settori quasi pianeggianti in cui, nel caso di precipitazioni particolarmente intense e prolungate, i fenomeni di infiltrazione risultano

agevolati e possono portare alla formazione di veri e propri fronti di saturazione in progressivo approfondimento. In tale contesto in presenza di una coltre con forti anisotropie fisico-meccaniche verticali, dovute alla sovrapposizione di un livello superficiale fortemente rimaneggiato e dunque molto permeabile e di un orizzonte più compatto (fluvio-glaciale e/o colluviale) a bassa conducibilità idraulica, si possono formare pressioni neutre positive che possono indurre il collasso e l'innesco del franamento (Crosta et al., 2003).

Altre situazioni critiche sono legate al cattivo drenaggio delle acque superficiali o al mancato o parziale funzionamento delle canalette stradali di raccolta delle acque di ruscellamento. Il caso più drammatico è quello relativo alla colata (soil slip - debris flow) di Ponte Valtellina che ha mobilitato 400-500 m³ di materiale detritico e che nel suo tragitto ha invaso la sottostante strada comunale travolgendo 2 persone a bordo della loro auto (Fig. 3b). In questo caso, in corrispondenza del tornante stradale posto a 500 m s.l.m. (Fig. 4a), parte delle acque drenate dalla strada si è incanalata lungo una mulattiera per circa 50 m (Fig. 4b) e da qui si è riversata sul versante sottostante (Fig. 4c) favorendo la saturazione dei terreni della coltre e il loro successivo collasso (Fig. 4d). E' interessante notare come, nel luglio 1987, nel medesimo punto si fosse verificato un processo cinematicamente simile, probabilmente con un meccanismo di innesco del tutto analogo.

In termini generali le caratteristiche cinematiche e geometriche delle frane si pongono in sostanziale accordo con quelle osservate per altri eventi in Valtellina (Crosta, 1990; Polloni et al., 1992). L'innesco avviene nella maggior parte dei casi lungo superfici planari e con pendenze, nell'area di distacco, superiori ai 40°.



Fig4: Frana di Ponte Valtellina: il ruscellamento delle acque non incanalate come causa scatenante (vedi testo)
Fig4: Ponte Valtellina landslide: in corrispondenza di a sharp turn of the road part of the water flowing on the concrete paving (a) is diverted, because of the presence of an obstruction in the culvert, along a dirt pathway (b) and finally in the slope below (c). This water gave a crucial contribution in the saturation of the soil cover, inducing the slope collapse (d).

Lo spessore delle frane è solitamente modesto, spesso inferiore al metro, senza che vi sia un coinvolgimento diretto del substrato roccioso. Le frane sono di piccole dimensioni con una larghezza inferiore ai 10 m e una lunghezza che nella maggior parte dei casi è minore di 100 m (Aleotti, 2003). I terreni coinvolti possono essere classificati come sabbie limoso-argillose (debolmente) ghiaiose con basso indice di plasticità (inferiore al 10%) e valori di angolo di resistenza al taglio residuo compresi tra 17° -31° e di coesione tra 5-43 kN/m² (Aleotti, 2003).

Analisi delle precipitazioni in relazione ai processi di versante

L'esistenza di una relazione diretta tra le caratteristiche delle precipitazioni (essenzialmente intensità e durata) e movimenti di versante quali quelli in oggetto è ampiamente riconosciuta per molte aree alpine e prealpine (Aleotti, in stampa; Caine, 1980; Crosta, 1998; Moser e Hohensinn, 1983) e anche per l'area di studio. Per l'analisi delle precipitazioni relative agli eventi pluviometrici del Novembre 2002 sono stati utilizzati i dati orari relativi a 4 stazioni meteoriche: Bema, Prati di Lotto, Sondrio e Trona.

Tali stazioni sono state ritenute, tra quelle per le quali erano disponibili rilevazioni orarie, le più idonee a descrivere l'episodio in oggetto sia per la loro vicinanza alle località ove si sono innescate le frane superficiali sia per la loro collocazione nei confronti di versanti coinvolti dai franamenti (quota e, quando possibile, bacino idrografico). L'associazione stazione pluviometrica – area di innesco è schematizzata nella tabella 1. L'andamento delle precipitazioni critiche (piogge orarie e piogge cumulate) è riportato in figura 5a-d unitamente all'indicazione del momento in cui si sono innescati i primi franamenti.

Per quanto riguarda il primo evento critico (14-16 novembre) i primi franamenti si sono attivati, pressoché simultaneamente, nel primo pomeriggio del giorno 16 e più precisamente tra le h.15 (Albaredo, Bema, , Pedesina e Rasura) e le h.17 (Ponte Valtellina). L'innesco è avvenuto quasi ovunque in concomitanza alla massima intensità oraria e con precipitazioni critiche cumulate comprese tra 180 mm e 448 mm corrispondenti ad una pioggia normalizzata (rispetto alla precipitazione media annua) compresa tra il 17.4% (Bema) e il 22.3% (Trona) (Fig. 5a-c). La pioggia antecedente è molto modesta essendo compresa, nel periodo 1-13 novembre, tra 1 mm e 18 mm.

Nel corso del secondo picco di precipitazione, complessivamente meno intenso del precedente sia per intensità (massimo 7 mm/h nella stazione di Prati di Lotto) che per precipitazione cumulata, si sono innescate delle frane solo a Mantello e a Colorina. Quest'ultima località, non disponendo di dati di precipitazione oraria, non è stata considerata nell'analisi. Le frane di Mantello sono avvenute nella notte tra il giorno 26 e 27 novembre. Dall'andamento della pioggia cumulata (Fig. 5d) si osserva che esse si sono innescate nel corso della coda dell'evento pluviometrico, in un momento di precipitazione molto scarsa (intensità 1 mm/h).

Tab. 1: Lista delle stazioni pluviometriche utilizzate e delle località di riferimento (vedi anche Figura 1)

Tab. 1: List of the rain stations and the relevant landslide area (see also Figure 1)

Stazione	Località associata	Giorno innesco dei primi franamenti	Numero di frane	Antecedente (mm)(*)	Cumulata critica (%)
Bema (α)	Bema, Albaredo [D]	16 novembre, h.15	> 50	7	17.4
Prati L. (δ)	Mantello [A]	26 novembre, h.04	7	267	18.1
Sondrio (β)	Ponte Valtellina [F]	16 novembre, h.17	1	1	18.6
Trona (γ)	Pedesina, Rasura [B, C]	16 novembre, h. 15	< 10	18	22.3

(*) periodo 1-13 novembre per Bema, Sondrio, Trona; 1-22 novembre per Prati Lotto

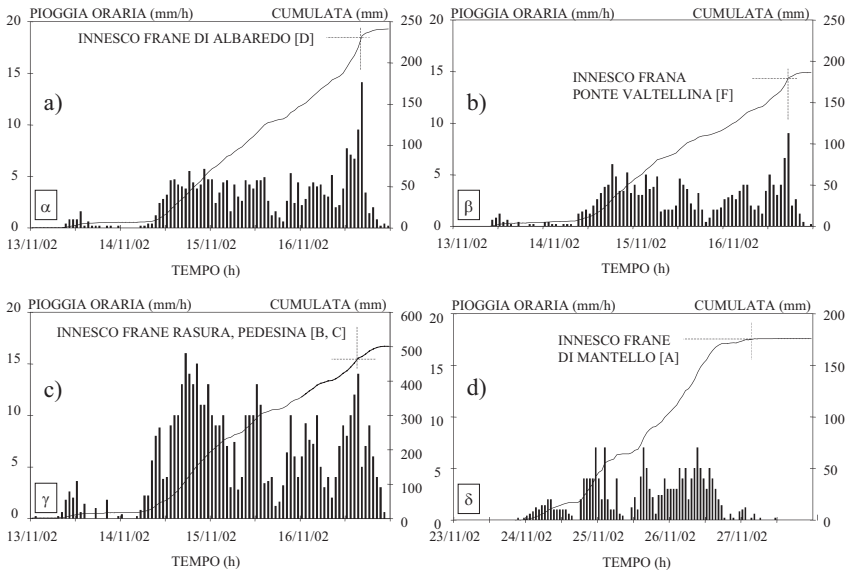


Fig5a-d: Piogge orarie e cumulate nelle stazioni pluviometriche: a) Bema [α]; b) Sondrio [β]; c) Trona [γ]; d) Prati di Lotto [δ]. E' data indicazione dell'orario dei primi inneschi associati alle diverse stazioni (cfr. tab.1).

Fig5a-d: Hourly and cumulated rainfall in the selected rain gauges: a) Bema [α]; b) Sondrio [β]; c) Trona [γ]; d) Prati di Lotto [δ]. Dashed lines point out the landslide occurrences (see also table 1).

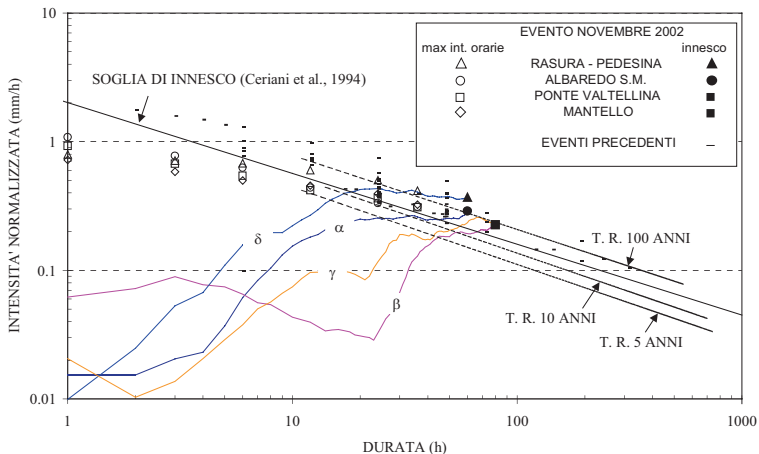


Fig6: Andamento delle precipitazioni critiche nel piano durata – intensità normalizzata rispetto alla pioggia media annua (α: Bema, β: Sondrio, γ: Trona, δ: Prati di Lotto). Sono riportate inoltre la soglia critica di innesco (Ceriani et al., 1994) e le soglie calcolate per diversi tempi di ritorno (5, 10, 100 anni) per la stazione pluviometrica di Albaredo. I simboli indicano il momento di innesco delle frane nelle varie aree.

Fig6: Rain paths in the duration – normalized intensity plot (with respect to the MAP) (α: Bema, β: Sondrio, γ: Trona, δ: Prati di Lotto). The critical triggering threshold is also reported (Ceriani et al., 1994) together with rainfall lines calculated for different R.T. (5, 10, 100 years) for the Albaredo rain gauge. Different symbols (square, circle, triangle) indicate the landslide occurrence in the various areas. Open square are previous events.

Tuttavia la precipitazione critica cumulata normalizzata rispetto alla pioggia media annua è in linea con quanto osservato negli altri casi, essendo pari al 18.1%. In più, nel caso specifico, deve essere tenuta in considerazione la grande quantità di pioggia già caduta nei giorni precedenti che, pur non avendo causato l'innescò di alcun franamento, aveva portato i terreni superficiali in condizioni molto prossime alla saturazione.

Analizzando l'andamento delle precipitazioni critiche nel piano durata intensità normalizzata (rispetto alla pioggia media annua) si osserva che tutte le frane si sono attivate oltre la soglia critica di innesco definita per l'area valtellinese (Ceriani et al., 1994) (Fig. 6). Nel medesimo grafico sono state riportate le linee calcolate per piogge con diverso tempo di ritorno (5, 10, 100 anni) per l'area di Albaredo. Si osserva, così, che per l'area in questione l'innescò delle frane è avvenuto per precipitazioni aventi un tempo di ritorno superiore ai 100 anni.

SOMMARIO E CONCLUSIONI

Le precipitazioni che hanno interessato la Lombardia nel Novembre 2002 hanno innescato un'importante serie di processi geomorfici, sia a carico della rete idrografica che dei pendii. Per quanto riguarda i fiumi si sono avute estese esondazioni soprattutto nelle aree della pianura milanese (Lambro, Seveso, Olona) e nel lodigiano (Adda) mentre, con riferimento ai versanti, si sono attivate molte frane, con dimensioni e cinematiche anche molto dissimili, in tutte le provincie della fascia alpina e pre-alpina. Nel complesso sono stati colpiti oltre 400 comuni, distribuiti in tutte le provincie lombarde; si sono contate 2 vittime e stimati danni per circa 500 milioni di Euro (Regione Lombardia, 2002).

Nell'articolo sono state descritte e analizzate le frane di colamento rapido (soil slip e soil slip debris flow) che hanno coinvolto la Valtellina nel corso dei 2 picchi principali di precipitazione, il primo il 14-16 novembre, il secondo il 24-26 novembre. Tali frane, complessivamente circa 70, hanno coinvolto soprattutto la Valle Albaredo e la Valtellina tra Ponte Valtellina e Mantello. Le caratteristiche geometriche e cinematiche delle frane sono assimilabili a quelle già descritte per altri episodi, come quelli del 1983, del 1987 e del 2000. Dall'analisi delle caratteristiche delle precipitazioni è stato possibile identificare l'evento pluviometrico come episodio avente, nel range delle durate critiche e per l'area di Albaredo, un tempo di ritorno di 100 anni.

Pur essendo stata riconosciuta in molti casi un concausa di natura antropica nell'attivazione dei franamenti (terrazzamenti, inadeguato drenaggio delle acque di ruscellamento superficiale) non è stato possibile individuare alcuna differenza significativa nell'andamento dei "rain path" tra aree in cui tale l'influenza è stata importante (Ponte Valtellina e Mantello) e aree in cui essa è risultata trascurabile. Tutti gli inneschi, infatti, si sono verificati al superamento della soglia critica in un intorno molto prossimo. Occorre notare, tuttavia, che le intensità massime calcolate per precipitazioni di durata inferiore alle 12 ore si pongono ben al di sotto della suddetta soglia di innesco (Fig. 6) e che in tale ambito i valori minori sono stati riconosciuti proprio per quelle situazioni in cui è stato accertato un influsso connesso all'artificializzazione dei versanti (terrazzamenti). Detta osservazione, per la quale sono tuttavia necessarie ulteriori verifiche, potrebbe contribuire a ridefinire i limiti critici di attivazione, quanto meno nel campo delle precipitazioni di breve durata, nel caso di pendii fortemente antropizzati. Rimane altresì poco chiaro, alla luce dei dati disponibili, il motivo per cui nell'area di Albaredo si sia attivato un numero di frane considerevolmente superiore, e con densità molto maggiore, rispetto a quelle avvenute nelle altre zone interessate. Tale fatto è reso ancora più difficilmente spiegabile osservando che: (i) vi è una sostanziale assenza di precipitazioni antecedenti (stazione di Bema), quanto meno nei 15 giorni precedenti l'inizio dell'episodio critico; (ii) solo in pochi casi è stato possibile riconoscere una componente non

naturale come causa di innesco. E' possibile, pertanto, che altri fattori abbiano giocato un ruolo importante nel determinare questa peculiarità, quali ad esempio una particolare predisposizione dei terreni presenti (elevata permeabilità dello strato di copertura più superficiale, forti contrasti nella conducibilità idraulica non solo verticale ma anche orizzontale) o anche fattori meteorici locali (intensità di precipitazione maggiore, direzione e velocità del vento) (Aleotti, 2003) o, ancora, una combinazione di tali aspetti (Aleotti et al., 2004).

RINGRAZIAMENTI

Un grazie sincero va a Marino Suardi per lo scambio di idee avuto nel corso della preparazione di questo lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- Aleotti P. (2003): "Prime osservazioni sulle frane superficiali indotte dall'evento meteorico del 14-16 novembre 2002 ad Albaredo (SO)" *Geologia Tecnica e Ambientale*, 2: 11-20.
- Aleotti P., Casagli N., Dapporto S., Polloni G. (2004): "Shallow failures triggered by the November 2002 meteoric event in the Albaredo Valley, Italian Central Alps: mechanics and stability analyses" *IX Int. Symposium on Landslides*, Rio de Janeiro, June 2004.
- Aleotti P., in stampa: "A warning system for rainfall induced landslides" *Eng. Geology*.
- Caine N. (1980): "The rainfall intensity duration control of shallow landslides and debris flows" *Geogr. Annaler*, 62 (1-2): 23-27.
- Cancelli A., Nova R. (1985): "Landslides in soil debris cover triggered by rainstorm in Valtellina (Central Alps, Italy)" *Proc. IV International Conference on Landslides*, Tokyo, 1: 267-272.
- Ceriani M., Lauzi S., Padovan N. (1994): "Rainfall thresholds triggering debris flows in the alpine area of Lombardia Region Central Alps – Italy" *I Convegno internazionale per la protezione e lo sviluppo dell'ambiente montano*, 123-139.
- Ceriani M., Carelli M. (2003): "Carta delle precipitazioni medie, massime e minime annue del territorio alpino della Regione Lombardia (registrate nel periodo 1891-1990)" *Pubblicazione Regione Lombardia*.
- Crosta G. (1990): "A study of slope movements caused by heavy rainfall in Valtellina (Italy – July 1987)" *Proc. 6th International Conference and Field Workshop on Landslides ALPS 90*, Milan, September 1990, 247-258
- Crosta G. (1998): Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation. *Env. Geology*, 35 (2-3): 131-145.
- Crosta G.B., Dal Negro P., Frattini P. (2003): "Soil Slip and debris flows on terraced slopes" *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 3: 41-42.
- Moser M., Hohensinn, F. (1983). Geotechnical aspect of soil slips in Alpine regions. *Eng. Geol.*, 19: 185-211.
- Polloni G., Ceriani M., Lauzi S., Padovan N., Crosta G. (1992): "Rainfall and soil slipping events in Valtellina" *Proc. of the VI International Symposium on the Landslides*, Christchurch, New Zealand, 1: 183-188.
- Polloni G., Aleotti P., Presbitero M. (1998): "Terraced slopes in mountain areas: sliding risk and protective measures in Valtellina (Italy)" *Proc. 8^o Congress of the International Association of Engineering Geology*, Vancouver 3: 1947-1952.
- Regione Lombardia (2002): "Eventi idrologici Novembre 2002: rapporto finale" *Dir. Gen. Opere Pubbliche, Politiche per la casa e Protezione Civile – U. O. Prot. Civile*, 8 pp.