

LE COLATE DETRITICHE DELLA VAL TRELA (ALTA VALTELLINA, ITALIA) DEBRIS FLOWS IN VAL TRELA (VALTELLINA, ITALY)

ALBERTO CLERICI(*) & COSTANZA MASSARO(**)

* Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente - Università degli Studi di Brescia

** Geologo, Bergamo - Italia

RIASSUNTO

Da molti anni le colate detritiche sono oggetto di ricerca e sono stati sviluppati diversi approcci interpretativi del fenomeno che prevedono l'applicazione di modelli empirici o matematici.

Oggetto di questo lavoro è lo studio di quattro colate di detrito che interessano il versante meridionale di Cima Doscopà (Valle Trela, Alta Valtellina, Italia) con l'obiettivo di verificare la capacità predittiva di alcune relazioni di letteratura. Lo studio si è articolato in diverse fasi: alla attività di terreno, consistita nella descrizione della morfologia dei dissesti e nel campionamento del materiale, sono seguite le prove di laboratorio e, successivamente, l'applicazione di alcune relazioni empiriche che hanno permesso di mettere in evidenza le grandezze caratteristiche di ogni colata; infine, dove possibile, si sono paragonati i risultati ottenuti dalle formule empiriche con le misure di terreno.

Si è così osservato che gli esiti delle diverse procedure sono, per alcuni parametri, sostanzialmente discordanti tra loro, e ciò a causa innanzi tutto della particolarità delle colate studiate, che si manifestano su un pendio regolare e non lungo un alveo torrentizio od una linea di impluvio. Probabilmente questa tipologia di colata necessita di un approccio differente rispetto ad altre tipologie meglio studiate.

TERMINI CHIAVE: colate detritiche, pioggia critica, metodo empirico

INTRODUZIONE

Le colate detritiche sono oggetto di ricerca da molti anni ma la comprensione del loro comportamento meccanico ed idraulico non è ancora completamente soddisfacente, a causa dell'ampia variabilità dei parametri che caratterizzano ogni singolo evento. Modalità di innesco, trasporto ed arresto sono peculiari di ciascuna manifestazione e risulta di conseguenza difficile individuare un unico modello interpretativo. Si sono tuttavia sviluppati diversi approcci e, in questo studio, sono stati considerati alcuni modelli empirici tra quelli proposti in letteratura.

Come noto, affinché una colata detritica possa verificarsi occorrono, essenzialmente, tre elementi: disponibilità di materiale, adeguata pendenza del versante ed eventi pluviometrici che portino alla saturazione del terreno.

Il volume di sedimento disponibile (magnitudo) per la mobiliz-

ABSTRACT

Debris flows have been the object of research for many years and a number of assessment methodologies involving empirical methods or mathematical models have been developed to address the phenomenon.

This study examines four debris flows on the southern slope of Cima Doscopà (Val Trela, Upper Valtellina, Italy) with the objective of assessing the predictive capacity of a number of methods in the literature. The study was divided into phases: measurements and sampling of the debris flows; laboratory tests on the samples; application of empirical formulas to the measurements to determine magnitude and impact area of each flow; and, where possible, comparison of the results obtained from the empirical formulas the results of direct field measurements.

It was observed that the various methods at times produce contrasting results. This is attributed principally to the particular characteristics of the studied debris flows, which lie on an open slope and not within a stream bed or valley. It is likely that this type of debris flow requires a different approach from that used with other, better studied types.

KEY WORDS: debris flow, geomorphology, slope.

INTRODUCTION

Debris flows have been the object of research for many years but our understanding of their mechanical and hydraulic behaviour is still incomplete due to the wide range of variability of the factors characterizing each event. The trigger, transport, and arrest modes are peculiar to each slide and it is thus difficult to develop a single interpretive model that can be applied in all cases. Nevertheless, a number of different approaches have been developed and in this paper we examine several of the empirical methods proposed in the literature.

As is known, three essential factors are necessary so that a debris flow may occur: presence of material; sufficient slope; and rainfall that causes the soil to become saturated.

The volume of debris available (magnitude) for a landslide has been studied by a number of authors. This geomorphological

zazione di una colata detritica è stato considerato da diversi Autori. L'approccio geomorfologico prevede di individuare le aree sorgenti di sedimento collegate alla rete idrografica, stimando il volume di materiale disponibile per unità di lunghezza del canale (SCHEURINGER, 1988). Sebbene tale approccio contenga necessariamente un certo grado di soggettività, esso costituisce un punto di riferimento con cui confrontare i risultati degli approcci empirici (COUSSOUT *et alii*, 1988; D'AGOSTINO & MARCHI, 2001).

Legato alla magnitudo è lo scarico di vetta, definibile come la quantità di materiale disponibile per erosione (e quindi potenzialmente mobilitabile), la cui stima approssimativa può essere ricavata da formule empiriche che lo legano alla magnitudo (TAKAHASHI, 1991).

Strettamente dipendente dalla pendenza del versante è la velocità di spostamento della massa in frana; diversi studi sono stati indirizzati alla raccolta dei dati medi di velocità con differenti tecniche, come sensori ultrasonici, fotografie di intervalli temporali, geofoni e videoregistrazioni (GENEVOIS *et alii*, 2000), sperimentazione su terreno (JOHNSON & RODINE, 1984), e prove in canali artificiali (DI SILVIO & GREGORETTI, 2000).

Il ruolo dell'acqua come fattore scatenante è evidente e la relazione tra l'ammontare delle piogge e la frequenza dei dissesti è oggetto di studio di numerosi Autori da molti anni.

In sintesi, gli studi hanno consentito di stabilire che le colate detritiche si innescano al superamento di una soglia di pioggia critica e che ogni relazione tra dati di pioggia e frane indotte deve essere considerata in riferimento ad una determinata area considerata con le proprie caratteristiche climatiche, microclimatiche stagionali, morfologiche, pedologiche. In più, per un determinato intervallo di pioggia, i processi che si verificano in uno stesso bacino (e, a maggior ragione, in bacini differenti), possono essere estremamente diversi.

Lo scopo del lavoro consiste innanzi tutto nel fornire un contributo alla possibilità di prevedere l'area eventualmente coinvolta da una colata detritica ai piedi di un versante.

AREA DI STUDIO E CONTESTO GEOLOGICO

Oggetto di questo lavoro è lo studio di quattro colate di detrito che interessano il versante meridionale di Cima Doscopà, in Val Trela, una valle secondaria in Alta Valtellina, sulle Alpi Retiche, nel Parco Nazionale dello Stelvio (Fig. 1), in comune di Valdidentro (Provincia di Sondrio, Italia).

L'area è compresa nel Dominio Austroalpino, tra la Falda Campo a sud, costituita da rocce cristalline, e la falda dell'Ortles a nord, costituita da rocce sedimentarie. La valle è attraversata in tutta la sua estensione da una linea tettonica di importanza regionale con direzione est ovest, la linea dello Zebrù, che segna qui il contatto, a circa 2600 m sul livello del mare, tra le formazioni sedimentarie e quelle metamorfiche.

Dal punto di vista geomorfologico, la Val Trela è una valle modellata dalla esarazione glaciale, con un fondovalle ampio e fianchi nel complesso modestamente inclinati.

approach involves the identification of debris source areas associated with the hydrographic network, estimating the volume of available material per unit length of the [flow] channel (SCHEURINGER, 1988). While this approach necessarily involves a certain degree of subjectivity, it constitutes a point of reference with which to compare the results of empirical approaches (COUSSOUT *et alii*, 1998; D'AGOSTINO & MARCHI, 2001).

The magnitude is associated with the upgradient discharge, which may be defined as the amount of material accumulated as a result of erosion (which thus can be potentially mobilized). Upgradient discharge may be estimated by means of empirical formulas which associate it with the magnitude (TAKAHASHI, 1991).

The speed of material in a landslide is strictly linked to the slope angle. A number of studies have focused on the collection of average velocity data using different techniques, such as ultrasonic sensors, time-lapse photography, geophones and video (GENEVOIS *et alii*, 2000), soil experiments (JOHNSON & RODINE, 1984), and artificial channel tests (DI SILVIO & GREGORETTI, 2000).

The role of water as a trigger mechanism is clearly established and the relationship between the amount of rainfall and the frequency of slides has been the object of studies for many years.

In summary, various studies have established that debris flows are triggered by the exceedence of a critical rainfall threshold and that any relation between rainfall and landslides has to be considered in relation to a specific area accounting for its particular climatic, seasonal microclimatic, morphological, and pedological characteristics. Furthermore, for a given rainfall interval, the processes occurring in the same watershed (and even more so in different watersheds) may differ greatly.

The objective of this study is to contribute above all to the possibility of estimating the area at the foot of a slope where there is a risk of impact from a debris flow. This information is crucial in any territorial study.

STUDY AREA AND GEOLOGICAL SETTING

In this paper we examine four debris flows on the southern slope of Cima Doscopà, in Val Trela, a secondary valley in Upper Valtellina in the Retian Alps within the Parco Nazionale dello Stelvio (Fig. 1) and within the municipal limits of the municipality of Valdidentro (Province of Sondrio, Italy).

The area is located within the Austro-alpine domain, between the Campo nappe to the south, composed of crystalline rock, and the Ortles nappe to the north, composed of sedimentary rock. A regional-scale east-west tectonic line, known as the Zebrù line, passes through the entire valley and marks the contact line, at approximately 2,600 meters above sea level, between sedimentary and metamorphic rock formations.

Geomorphologically, the Val Trela is a glacially carved valley with a broad valley floor and moderately sloping sides.

The different lithological characteristics of the two sides of the



Fig. 1 - L'area di studio
- Studied area

I diversi litotipi presenti sui due lati della valle hanno risposto in maniera diversa alla azione erosiva dei ghiacciai: il versante meridionale, costituito da rocce metamorfiche (filladi, micascisti e gneiss costituenti la "Formazione delle Filladi di Bormio") mostra forme dolci, acclività limitata, e presenta un suolo continuo e di limitata spessore.

Il versante settentrionale (Fig. 2) è impostato invece su rocce sedimentarie del complesso Norico (calcarei dolomitici e dolomie appartenenti alla "Formazione di Plàtor-Cristallo") che hanno resistenza maggiore, ma minore duttilità. Queste rocce hanno dato origine ad una scarpata rocciosa, sulla quale l'azione del gelo-disgelo, delle precipitazioni, dello scioglimento delle nevi e della gravità hanno potuto agire intensamente tanto da formare una continua coltre di detrito di versante sul quale solo localmente si è potuto formare un suolo, di spessore ridottissimo.

Lo studio è stato diviso in tre fasi: osservazioni geomorfologiche e misurazioni geometriche in sito, analisi di laboratorio, applicazione dei modelli proposti dagli Autori per comprendere il comportamento dinamico di questi eventi (Fig. 3).

ATTIVITÀ IN SITO

L'attività di campo è consistita soprattutto nella descrizione accurata della morfologia delle quattro colate maggiori presenti sul versante settentrionale della valle, concentrando l'attenzione sulle grandezze richieste per l'applicazione dei modelli (lunghezza, larghezza, pendenza delle sponde del canale, profondità del canale, spessore dei sedimenti, dei raggi di curvatura delle colate e degli angoli creati dal deposito rispetto all'orizzontale - Fig. 4); inoltre, una serie di rilievi topografici ha permesso di misurare le aree dei bacini, le pendenze dei versanti e l'estensione delle aree inondate dai debris flows più recenti.

Durante queste attività si è inoltre proceduto al campionamento del materiale costituente ognuna delle colate. Il campionamento è avvenuto per infissione di fustelle cilindriche di acciaio di altezza 14 cm e diametro 10 cm, che hanno fornito campioni semidisturbati (classe Q4).

Le misurazioni eseguite su terreno sono sintetizzate in Tab. 1.

La magnitudo delle quattro colate è stata calcolata con la formula di Scheuringer $M = A \times h$ (SCHEURINGER, 1988) sulla base delle misurazioni eseguite sul terreno e si è rilevata l'estensione delle aree inondabili, ottenendo i valori riportati in Tab.2.

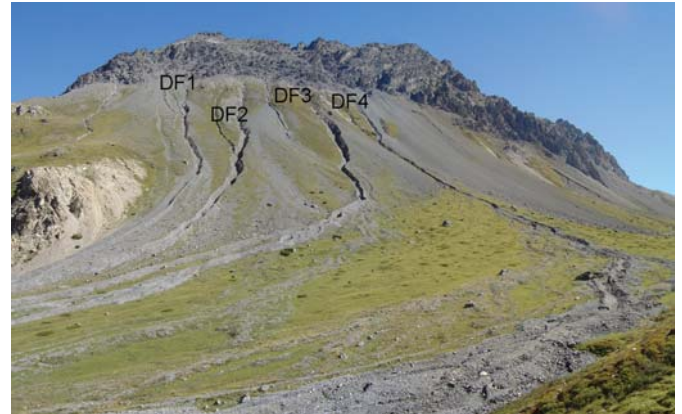


Fig. 2 - Panoramica delle colate detritiche nel luglio 2003
- Panoramic view of the debris flows (from NW to SE: DF1, DF2, DF3, and DF4) in July 2003

valley were affected differently by the erosive action of the glaciers. The southern side, comprising metamorphic rock (phyllites, micascist, and gneiss constituting the "Bormio Phyllite Formation") shows gentle slopes, limited slope angle, and a continuous soil layer of limited thickness.

The northern slope (Fig. 2) is composed of sedimentary rocks of the Norian complex (dolomitic limestone and dolomites belonging to the "Plàtor-Cristallo Formation") which have greater strength but lower ductility. The freeze-thaw cycle, precipitation, snow melt, and gravity have acted on this rocky slope to create a continuous surface layer of debris only locally marked by thin soil layers.

This study was divided into three phases: field geomorphological observations and geometric measurements; laboratory analyses; application of the models proposed in the literature to predict the dynamic behavior of these events (Fig. 3).

SITE ACTIVITIES

Site activities mainly comprised the careful description of the morphology of the four principal debris flows on the northern side of the valley, concentrating attention on the measurements needed in order to apply the models (length, width, channel side slope angle, channel depth, thickness of sediments, radius of curvature of the debris flows, and angle of the debris deposits from the horizontal - Fig. 4). Additionally, topographic measurements were taken to determine the areas of the basins, the inclination of the slopes, and the area covered by the most recent landslides.

Samples were collected of the material in each of the debris flows. Semi-disturbed (Class Q4) samples were collected using cylindrical steel samplers 14 cm high and 10 cm in diameter.

Table 1 reports the results of the field measurements.

The magnitude of the four debris flows was calculated using the Scheuringer formula $M = A \times h$ (SCHEURINGER, 1988) using field data, and the impact area was estimated (Table 2).



Fig. 3 - Dettaglio della colata DF1
- Detail of the debris flow DF1

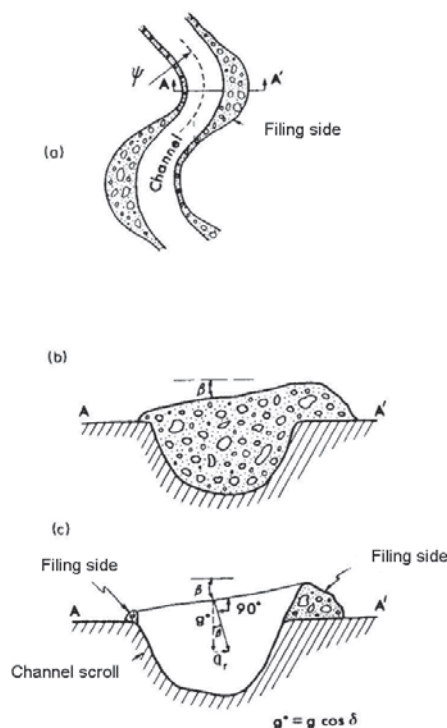


Fig. 4 - Rappresentazione schematica dell'angolo formato dal deposito lasciato da una colata detritica in corrispondenza di una curva (angolo β)
- Angle of the debris deposits on the horizontal (angle β)

GRANDEZZE		COLATA DF1	COLATA DF2	COLATA DF3	COLATA DF4
Angolo β (°)	(β)	18	15	21	10
Area (m ²)	(A)	32000	57000	87000	144000
Larghezza (m)	(I)	4,30	3,50	4,00	3,80
Lunghezza (m)	(L)	761	1143	1277	1430
Pendenza alveo (°)	(α)	47	47	50	38
Pendenza alveo (%)	(S)	52,22	52,22	55,55	42,22
Pendenza versante (°)	(α')	44	43	42	38
Pendenza versante (%)	(S')	48,88	47,77	46,66	42,22
Profondità media alveo (m)	(P)	1,80	3,10	3,80	1,50
Quota massima bacino (m s.l.m.)	(H _{max})	2600	2570	2650	2650
Quota media bacino (m s.l.m.)	(H _m)	2400	2370	2410	2410
Quota sezione di chiusura (m s.l.m.)	(H ₀)	2200	2170	2170	2170
Raggio di curvatura (m)	(R)	21,4	22,6	39,7	37,9
Spessore medio deposito (m)	(h)	1,30	1,5	1,10	0,50

Tab.1 - Misure relative alle quattro colate detritiche
- Measurements of the four debris flows

	DF1	DF2	DF3	DF4
Magnitudo [m ³]	2400	7200	10320	9550
Estensione delle aree inondabili [m ²]	13484	28105	32638	67128

Tab.2 - Magnitudo ed estensione delle aree inondabili rilevate in sito
- Magnitude and impact areas derived from field measurements

ATTIVITÀ DI LABORATORIO

Sul materiale prelevato (16 campioni) sono state condotte alcune prove di laboratorio (distribuzione granulometrica, umidità naturale, limiti di consistenza, densità apparente, capacità di campo, permeabilità satura).

I risultati ottenuti sono schematizzati in Tab. 3:

LABORATORY ANALYSIS

Laboratory tests (grain size analysis, natural moisture content, consistency limits performed on the portion of the soil finer than the No. 40 sieve, i.e. 0,425 mm, apparent density, field capacity, saturated permeability) were carried out on the 16 samples of debris collected.

The results are reported in Table 3:

APPLICAZIONE DEI MODELLI ALLE COLATE DELLA VAL TRELA

Applicando alcuni dei metodi empirici proposti da diversi Autori è stato quindi possibile determinare, per ogni colata, caratteristiche come la magnitudo, lo scarico di vetta, i tempi di corrivazione e le piogge critiche, la velocità del flusso, l'estensione delle aree inondabili; questi risultati sono stati successivamente paragonati con le misure ottenute dalle osservazioni di terreno.

Per quanto concerne la determinazione della magnitudo e dell'estensione delle aree inondabili, si sono confrontati i risultati ottenuti da tali procedure con le misurazioni eseguite sul terreno (metodo di Scheuringer per la stima della magnitudo e rilievi topografici per quella delle aree inondate). Paragonando i risultati ottenuti è stato possibile determinare quali metodi risultino più attendibili nel caso in questione (Figg. 5 e 6).

In diversi casi i valori stimati si discostano in maniera significativa da quelli calcolati per mezzo di formule; tuttavia, risulta una buona corrispondenza tra le misure di campo e quanto si ottiene con

APPLICATION OF MODELS TO VAL TRELA DEBRIS FLOWS

By applying methods proposed in the literature it was possible to calculate for each debris flow the magnitude, upgradient discharge, runoff time, critical rainfall thresholds, flow velocity, and impact area. These results were then compared to the results of field measurements.

Regarding calculation of the magnitude and impact area, the results obtained from the methods proposed in the literature were compared with the results of field measurements (Scheuringer method for estimating the magnitude, and topographical surveys for estimating the impact area). By comparing the results it was possible to determine which method was most reliable in the case in question (Figs. 5 and 6).

In a number of cases the estimated values differ significantly from those calculated on the basis of formulas. However, close correspondence was found between field measurements and the results calculated using the approach of BOTTINO *et alii* (1996) for magni-

CAMPIONE	DF1	DF2	DF3	DF4
Granulometria A.G.I.	Ghiaia limosa e sabbiosa	Ghiaia sabbioso-limosa	Ghiaia sabbioso-limosa	Ghiaia sabbioso-limosa
Umidità naturale (%)	5,2	4,8	6,0	5,9
Capacità di campo (%)	12,0	10,6	13,0	15,1
Limite liquido (%) sulla porzione fine	18	20	21	20
Limite plastico (%) sulla porzione fine	non determinabile	non determinabile	non determinabile	non determinabile
Permeabilità satura (m/s)	$3,2 \times 10^{-7}$	$3,4 \times 10^{-7}$	$3,5 \times 10^{-7}$	$3,2 \times 10^{-7}$
Densità apparente (g/cm ³)	1,52	1,54	1,81	1,61

Tab.3 - Sintesi dei dati ottenuti dalle prove di laboratorio
- Laboratory test results

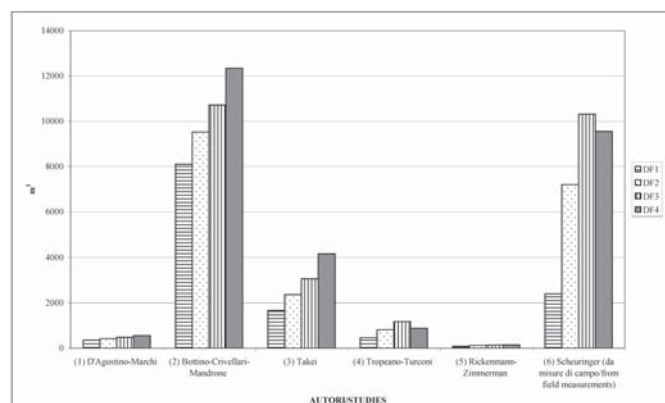


Fig. 5 - Valori della magnitudo ottenuti tramite l'applicazione di formule empiriche
- Magnitudes obtained via empirical formulas

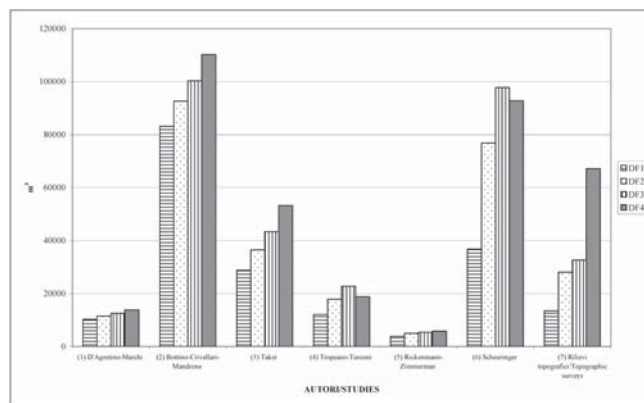


Fig. 6 - Estensione delle aree inondabili secondo il criterio di SCHILLING & IVERSON (1997) applicato ai diversi approcci empirici indicati nella tabella 4 (1, 2, 3, 4, 5, 6) confrontati con i dati del rilievo topografico (7)
- Impact areas derived from the SCHILLING & IVERSON criterion (1997) applied to the different empirical approaches indicated in Table 4 (1, 2, 3, 4, 5, 6) compared to topographical survey data (7)

	DF1	DF2	DF3	DF4
MAGNITUDO (m ³)	2400	7200	10320	9500
AREA INONDABILE (m ²)	13500	28000	32500	67000
SCARICO DI VETTA (m ³)	3800	4300	4800	5400
TEMPO DI CORRIVAZIONE (minuti)	5,5	7,6	9,8	9,8
VELOCITA' (m/s)	7,0	6,6	10,5	7,2
(km/h)	25,2	23,7	37,8	26,0

Tab. 4 - Valori relativi ai parametri caratterizzanti le colate detritiche della Val Trela
 - Values representing the debris flows in Val Trela



Fig. 7 - L'area in esame nel luglio del 1990
 - The area under examination in July 1990

l'approccio di BOTTINO *et alii* (1996) per ciò che riguarda i valori di magnitudo, e tra le misure dei rilievi topografici e le stime di TAKEI (1984) per ciò che concerne l'estensione delle aree inondabili.

In sintesi, per le colate di detrito della Valle Trela, sulla base di quanto osservato, i valori riportati in Tab. 4 appaiono come i più significativi.

Infine sono stati analizzati i dati pluviometrici relativi al periodo 1993-2003 (dati AEM S.p.A. di Milano), dai quali sono stati riconosciuti i probabili periodi di riattivazione delle colate detritiche della Val Trela (Tab. 5).

Per quanto concerne i dati pluviometrici considerando che l'intervallo di valori in grado di generare un fenomeno di colata nei bacini alpini è normalmente compreso tra 10 e 40 mm/h a seconda delle caratteristiche del bacino, si è dedotto che, in Alpe Trela, su un totale di 4017 giorni di misura e 1640 di precipitazioni, negli 11 anni considerati si sono avute condizioni per il riattivarsi delle colate detritiche in un numero compreso tra 30 e 279. Ciò da ragione delle significative differenze che si sono osservate negli anni lungo il fianco della valle la cui entità è sintetizzata dalla immagine ripresa nel 1990 riportata in Fig. 7 ed è in accordo con quanto direttamente osservato da uno degli autori (Clerici) nel giugno 2005 in occasione di un forte temporale estivo, durante il quale in 30' sono caduti circa 15 mm di pioggia e si è avuto il riattivarsi di una delle colate minori presenti sul versante in studio.

CONCLUSIONI

Lo studio condotto sulle quattro colate detritiche della Val Trela ha

ANNO	MESE	GIORNO	mm/giorno	GIORNI CON PRECIPITAZIONI	GIORNI CON PRECIPITAZIONI > 10 mm			
1993	Settembre	10	30,8	18	7			
		14	38,8					
	Ottobre	3	59,4					
		9	57,8					
1994	Settembre	2	32,6	13	8			
		9	32,2					
		15	48,2					
		27	32,2					
		27	32,2					
1996	Giugno	22	51,0	10	3			
	Agosto	28	50,8	19	5			
23		33,6						
1997	Giugno	27	38,4	23	6			
		28	51,4					
		28	51,4					
1999	Settembre	21	74,0	13	4			
		11	50,0					
2000	Luglio	25	51,8	19	5			
		4	30,4					
	Agosto	5	40,2	12	3			
		12	50,8					
	Ottobre	13	48,8	16	7			
		4	36,6					
		Novembre	13			37,4	25	8
			15			44,4		
			17			57,2		
		2001	Giugno			11	43,8	13
17	36,0							
Luglio	16		39,8	19	4			
2002	Maggio	3	55,8	14	7			
		4	48,0					
	Giugno	6	34,4			16	4	
		15	102,0					
	Novembre	16	109,0			20	10	
		25	41,0					
		26	47,4					
29		60,4						

Tab. 5 - Periodi di probabile riattivazione delle colate detritiche nel periodo 1993-2002
 - Periods of probable reactivation of debris flows 1993-2002

tude, and between the topographic survey results and the estimates obtained by the TAKEI (1984) method for the impact area.

Summarizing, the values reported in Table 4 are the most significant for Val Trela on the basis of our observations.

Lastly, rainfall data were analyzed for the eleven year period 1993-2003 (data source: AEM S.p.A. of Milan) to determine the probable reactivation periods of the debris flows in Val Trela (Tab. 5).

Given that the rainfall rate capable of triggering a landslide in alpine areas is normally within the range of 10-40 mm/h depending on the characteristics of the watershed, it has been deduced that in Val Trela, over a total of 4,017 days of measurements in the 11-year period during which rainfall was recorded on 1,640 days, debris flow reactivation conditions occurred between 30 and 279 times. This explains the significant changes observed on the side of the valley over the years, which can be seen in the image taken in 1990 (Fig. 7). This also agrees with direct observations by one of the authors (Clerici) in June 2005 during a strong summer thunderstorm where some 15 mm of rain fall was registered in 30 minutes and one of the minor debris flows on the slopes in question was reactivated.

CONCLUSIONI

The study investigating the four debris flows in Val Trela has

fornito indicazioni contrastanti. La stima preventiva di due dei parametri più significativi nella valutazione della pericolosità di questa tipologia di dissesto risulta attendibile con due differenti approcci (BOTTINO *et alii* (1996) per la magnitudo e TAKEI (1984) per l'estensione delle aree inondabili). Per altri metodi empirici impiegati ed altri parametri considerati, le stime non appaiono viceversa soddisfacenti.

Una possibile spiegazione che giustifichi gli insuccessi può essere trovata nella considerazione che le colate detritiche studiate hanno luogo lungo un versante morfologicamente continuo ed uniforme mentre la gran parte delle esperienze di letteratura si riferisce a colate detritiche che si verificano lungo impluvi.

Appare quindi opportuno procedere ad una netta distinzione delle due fenomenologie ad allo sviluppo di un sistema predittivo dedicato alle colate lungo versante. Una attività in tal senso è in corso in alcune valli limitrofe alla Val Trela con l'obiettivo di individuare le caratteristiche geologiche s.l. che possono maggiormente influire sul fenomeno franoso.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare l'Azienda energetica milanese (Aem S.p.A.), nella persona del Dr. Michele De Censi, che ha fornito i dati pluviometrici.

OPERE CITATE / REFERENCES

- BOTTINO G., CRIVELLARI R. & MANDRONE G. (1996) - *Precipitazioni critiche per l'insacco di debris flow nella collina morenica di Ivrea*. Atti Cov. Int. La prevenzione delle catastrofi naturali: il contributo della ricerca scientifica. Luino ed., Alba (CN), 201-210.
- COUSSOT P., LAIGLE D., ARATTANO M., DEGANUTTI A. & MARCHI L. (1998) - *Direct determination of rheological characteristics of debris flow*. Journal of Hydraulic Engineering: 865-868.
- DI SILVIO G. & GREGORETTI C. (2000) - *Gradually varied debris flow along a slope*. Debris Flow Hazard Mitigation, 767-776.
- D'AGOSTINO V. & MARCHI L. (2001) - *Debris flow magnitude in the Eastern Italian Alps: data collection and analysis*. Phys. Chem. Earth (C), 26 (9) 657-663.
- GENEVOIS R., TECCA P.R., BERTI M. & SIMONI A. (2000) - *Debris flows in the Dolomites: Experimental data from a monitoring system*. Debris Flow Hazard Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, 283-291. Balkema, Rotterdam.
- JOHNSON A.M. & RODINE J.R. (1984) - *Debris Flow, Slope Instability*, Brunsden, D. and Prior D. B. Ed., 257, 361. John Wiley & Sons.
- SCHEURINGER E. (1988) - *La determinazione del trasporto solido che può essere movimentato nei bacini dei torrenti*.
- TAKAHASHI T. (1991) - *Debris flow*, Balkema, Rotterdam.
- TAKEI A. (1984) - *Interdependence of sediment budget between individual torrents and a river-system*. International Symposium Interpraevent, 2: 35-48, Villach, Austria.

Received March 2006 - Accepted January 2008

produced contrasting results. Two different approaches appear to give reliable estimates of two of the most significant risk factors for this type of slide: BOTTINO *et alii* (1996) for the magnitude and TAKEI (1984) the impact area. The other empirical methods and the results for the other factors taken into consideration do not appear satisfying.

One possible explanation for the discrepancies may be that the debris flows are found on a morphologically continuous and uniform slope while much of the experience cited in the literature refers to debris flows in valleys.

It thus appears necessary to make a clear distinction between the two types of debris flows and to develop a predictive system dedicated to debris flows on open slopes. This type of research is now underway in a number of valleys adjacent to Val Trela with the objective of identifying the geological characteristics that may most strongly affect landslide phenomena.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Michele De Censi of AEM of Milan, who provided rainfall data.