

# Breve nota sulle variabili meteorologiche e territoriali da considerare per studiare i *muddy-debris flows* ed i *soil slip*

**G. Nigrelli**

CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, sede di Torino  
[guido.nigrelli@irpi.cnr.it](mailto:guido.nigrelli@irpi.cnr.it)

**F. Luino**

CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, sede di Torino  
[fabio.luino@irpi.cnr.it](mailto:fabio.luino@irpi.cnr.it)

Parole chiave: Meteorologia; Territorio; *Muddy-debris flows*; *Soil slip*.

## INTRODUZIONE

Numerosi studi scientifici hanno messo in evidenza come non ci si debba limitare a considerare solo le precipitazioni quale unico elemento da analizzare per lo studio dei *muddy-debris flows* e dei *soil slip*.

Certamente gli eventi pluviometrici, ed in particolar modo quelli brevi ed intensi, svolgono il ruolo di “fattore innescante” per le colate fangoso-detritiche torrentizie, comunemente definiti *muddy-debris flows* (MDF) e le frane superficiali per saturazione e fluidificazione della coltre eluvio-colluviale, definiti *soil slip* (SS). Questo ruolo è però in stretta relazione con quelle che sono le caratteristiche territoriali-ambientali presenti nel luogo dell’innescò, lungo l’asta torrentizia coinvolta e, più in generale, nell’intero bacino montano.

Per l’individuazione delle soglie pluviometriche di innescò, è indispensabile considerare due aspetti propri dei bacini alpini, molto importanti anche perché spesso correlati fra loro: la “risposta del bacino” e il “tempo di ricarica dell’asta torrentizia”. In questa breve nota analizzeremo questi due aspetti.

## LA RISPOSTA DEL BACINO

La risposta del bacino, può definirsi come lo stato complessivo che il bacino stesso assume, quando viene interessato da un evento pluviometrico. La risposta di un bacino alle piogge non è sempre la stessa, dipendendo da un elevato numero di variabili, che di volta in volta si manifestano ed interagiscono in modo diverso. Queste variabili sono sostanzialmente riconducibili a due distinti ambiti, quello meteorologico e quello territoriale-ambientale.

Per l’ambito meteorologico consideriamo:

- La tipologia dell’evento pluviometrico
- La dinamica dell’evento pluviometrico
- I valori quantitativi dell’evento pluviometrico

Come variabili per l’ambito territoriale-ambientale consideriamo invece:

- La morfologia dei versanti, delle aste torrentizie e del bacino
- L’uso del suolo
- Il tipo di suolo
- Le caratteristiche geologiche e litologiche
- L’antropizzazione

La tipologia e la dinamica dell'evento pluviometrico sono in funzione del tipo di perturbazione che l'ha determinato. I due tipi di eventi pluviometrici predominanti in ambiente alpino e responsabili dell'innescò di colate detritiche sono gli eventi pluviometrici di più giorni consecutivi e gli eventi brevi ed intensi. Gli eventi pluviometrici di più giorni consecutivi sono legati a depressioni che si muovono generalmente in direzione ovest-est e che si formano dal contrasto di masse d'aria calda di origine tropicale con masse di aria fredda provenienti dalle alte latitudini. Queste piogge cicloniche investono normalmente le nostre regioni durante il periodo primaverile ed autunnale. Gli eventi che traggono origine da queste configurazioni interessano solitamente più bacini montani e con buona probabilità, la quantità di acqua da questi ricevuta è relativamente uniforme per ogni bacino (BARRY *et al.*, 1998; GREPPI, 2005; PINNA, 1977).

Gli eventi pluviometrici brevi ed intensi per le nostre latitudini sono fenomeni tipici della stagione estiva. Queste piogge, definite normalmente temporali locali o di calore, sono da ricondursi spesso allo scorrimento di strati di aria fredda sopra strati di aria calda che, soprattutto durante le ore tardo-pomeridiane grazie al riscaldamento diurno, si trova a contatto con la superficie terrestre. Questa situazione anomala, si capovolge ben presto perché l'aria fredda, pesante, tende a scendere, raggiungendo il suolo e costringendo quella calda a salire, a volte anche in modo violento, originando perturbazioni che in alcuni casi si presentano sottoforma di grandine (PINNA, 1977; WMO, 2003). Queste perturbazioni intense, hanno di norma effetto su aree limitate, a volte soltanto alcune centinaia di metri quadrati e vengono favorite spesso da situazioni locali (orografia, contrasto tra pendii soleggiati e pendii in ombra, disposizione delle valli nel senso dei paralleli).

Per quanto riguarda i valori quantitativi di un evento pluviometrico che più di altri influenzano la risposta del bacino, sono da

considerarsi la quantità di pioggia totale, la sua distribuzione spazio-temporale e l'intensità massima (rilevata con intervalli orari o ancora più ridotti, meglio ogni 10 minuti). Piogge di più giorni consecutivi e d'intensità non elevate vengono più facilmente assorbite dal terreno, mentre l'acqua caduta durante un temporale, anziché infiltrarsi, proprio per l'elevata intensità con cui cade, può in larga misura essere destinata a scorrere superficialmente (MAIONE *et al.*, 2003; WMO, 2003). In questi casi, lo scorrimento superficiale sui versanti può provocare erosione idrica laminare che, una volta incanalata negli impluvi, può dare inizio a movimenti superficiali di vario tipo (CHOW, 1956; CHOW, *et al.*, 1988).

Le variabili relative all'ambito territoriale-ambientale, che interagiscono nella risposta del bacino quando questo viene interessato da un evento pluviometrico, sono molte ed il loro grado di interazione si presenta alquanto complesso.

La morfologia dei versanti e dell'asta torrentizia, unitamente alle caratteristiche fisico-geografiche del bacino montano, costituiscono il primo elemento di conoscenza da acquisire. I parametri quantitativi a cui si deve prestare particolare attenzione sono l'area del bacino, la curva di durata delle pendenze locali, la lunghezza e la pendenza delle aste, la forma della curva ipsografica, il gradiente di pendio, il tempo di corrivazione ed il tempo di concentrazione. I parametri sopra elencati sono, fra tutti quelli esposti in questo paragrafo, i più facilmente acquisibili ed i meno variabili nel tempo: per questi motivi sono anche fra i più utilizzati nella modellistica parametrica di settore.

L'uso del suolo riveste notevole importanza ai fini della risposta del bacino, soprattutto nei casi in cui MDF traggano la loro origine dalla mobilizzazione di materiale proveniente dal versante, cioè da apporti di SS. Essi si attivano sui versanti coperti da vegetazione, interessando il suolo in misura

variabile, soprattutto in relazione alle caratteristiche degli orizzonti pedologici e del substrato litologico, ma anche in relazione al tipo di vegetazione presente (USDA, 2007; MIPAF, 2006). La capacità di trattenuta del terreno esercitata da apparati radicali diversi (piante erbacee, arbustive ed arboree) è direttamente proporzionale al loro sviluppo ipogeo, ma il movimento gravitativo di una porzione del versante può essere indotto anche dal peso che la massa vegetale esercita e che lo stesso non riesce più a sostenere a causa delle abbondanti piogge infiltratesi. Se da un lato, la situazione appena descritta può favorire la mobilitazione di più o meno vaste porzioni di versante, dall'altro non bisogna dimenticare l'azione protettiva che viene esercitata dalle chiome degli alberi, dagli arbusti e dalla vegetazione erbacea sul terreno, azione che si esplica dissipando l'energia che le gocce di pioggia in caduta libera posseggono e che, in assenza di vegetazione, verrebbe interamente trasferita all'orizzonte superficiale del suolo, asportandolo (erosione da impatto o pluviale).

La risposta di un bacino idrografico alle piogge è anche in funzione del tipo, o meglio, dei tipi di suolo presenti (MIPAF, 2006; WEINGARTNER *et al.*, 2003). In particolare il suolo, attraverso le sue forme più o meno evolute, svolge un ruolo molto importante nel trattenere e condurre in profondità l'acqua meteorica che cade sui versanti. La conoscenza dei più importanti parametri idrologici che caratterizzano la zona non satura, abbinata a quelle che sono le caratteristiche chimico-fisiche di un suolo, è utile in ambiente alpino soprattutto al fine di quantificare il deflusso superficiale, determinare il livello di erodibilità del suolo e stimare l'entità dell'erosione sui versanti (USDA, 2007). I parametri idrologici da prendere in considerazione in questi casi sono in principal modo lo stato di umidità del suolo, l'infiltrazione cumulata, la velocità media, istantanea e permanente d'infiltrazione, la conducibilità idraulica in ambiente saturo. Per ciò che concerne, invece, i parametri chimico-fisici sono da

considerare soprattutto la sostanza organica, la granulometria, il grado di compattezza, la porosità, le densità apparente e reale, la stabilità degli aggregati. E' importante ricordare a questo punto, come sia rilevante ai fini dello stato di umidità del suolo, conoscere anche le cosiddette piogge pregresse, cioè la quantità di pioggia caduta nel bacino prima del verificarsi di un evento pluviometrico. Queste piogge influenzano sicuramente la risposta del bacino, ma il loro grado di rilevanza per le problematiche qui trattate non è ancora ben definito e l'argomento delle piogge pregresse è tuttora oggetto di numerosi studi da parte della comunità scientifica e dell'IRPI di Torino.

Di rilevante importanza nell'analisi della risposta del bacino sono le caratteristiche geologiche e litologiche. Diversi autori (AULITZKY, 1980; VAN STEIN, 1993; GOVI *et al.*, 1994; TROPEANO & TURCONI, 1999) hanno sottolineato l'importante ruolo giocato dalla natura del substrato roccioso e delle formazioni superficiali sulle modalità di risposta di un bacino in termini di deflusso idrico e di trasporto solido.

Gli affioramenti rocciosi sono un mezzo non continuo in cui proprio le superfici di stratificazione e di scistosità, le fratture e le faglie condizionano il comportamento meccanico, predisponendo o meno gli affioramenti al periodico rilascio di clasti e blocchi (FIORASO, 2000).

Importante risulterebbe analizzare bacini con superfici ridotte: ciò consentirebbe di considerare ciascun bacino come area geologicamente omogenea, con un assetto litostrutturale del substrato relativamente semplice. La produzione di detrito è maggiore se le rocce risultano ricche di discontinuità: la fratturazione degli ammassi rocciosi aumenta la naturale capacità di ricostituzione delle riserve di detrito distribuite sui versanti e lungo il reticolo idrografico.

Determinante è la presenza delle formazioni superficiali che, sia pure diversificata in

termini di facies, localizzazione e spessore, può essere rilevata in tutti i bacini montani, soprattutto sui versanti medio-bassi dei bacini. Le falde detritiche sono le più comuni, modellate in forma di cunei posti alla base dei versanti o in forma di coni allo sbocco dei canali. Le dimensioni e la distribuzione dei clasti riflettono la natura litologica delle aree sorgenti e, soprattutto, il loro grado di fratturazione e alterazione: detrito con clasti di dimensioni centimetriche è tipico di settori contraddistinti da ammassi rocciosi carbonatici pervasi da un fitto intreccio di fratture o da litotipi ad inarcata scistosità (es. T. Campello, Bormio, Valtellina); detrito a blocchi di dimensioni decimetriche o metriche è distribuito in bacini impostati in rocce gneissiche o intrusive con fratturazione a larghe maglie (es. T. Materlo, Sondrio, Val Masino). Alcuni bacini conservano invece evidenti tracce del modellamento glaciale, testimoniate dalle potenti sequenze di depositi glaciali e fluvioglaciali profondamente incise dai torrenti. In altri casi ancora predominano le coperture detritico-colluviali (FIORASO, 2000). I dati esposti evidenziano in modo chiaro come la suscettibilità di un bacino a generare colate detritiche sia correlata alla disponibilità di sedimenti e alla loro localizzazione in aree strategicamente rilevanti nei confronti dei fenomeni di trasporto solido: queste sono individuabili il più delle volte nel reticolato idrografico o nei settori a questo più prossimi. Ciò è confermato dalla presenza, soprattutto nei tratti più vicini allo sbocco in conoide, di ingenti quantitativi di detrito provenienti dallo smantellamento di affioramenti rocciosi oppure di sedimenti ridistribuiti lungo le sponde dei torrenti da precedenti episodi di colata.

L'antropizzazione risulta un fattore importante non tanto nel bacino montano, quanto allo sbocco sul fondovalle, vale a dire sull'apparato di conoide. Quest'ultimo storicamente costituisce un'area privilegiata, scelta già millenni fa dall'uomo per i suoi primi insediamenti, lontani dalle zone mefitiche dei fondivalle principali, per

l'acqua corrente e per la splendida esposizione al sole.

Se confrontassimo le cartografie IGM della fine del XIX secolo o degli anni '30 del secolo scorso, con le attuali, potremmo constatare un costante aumento delle aree urbanizzate sul conoide, dal 50% sino al 300% della superficie degli originali nuclei urbani, ampliamento realizzatosi il più delle volte in settori di conoide contraddistinti da un'elevata pericolosità (CHIARLE & LUINO, 1998). Contemporaneamente all'incremento delle aree abitative, industriali e ricreative, si è determinato un'infittirsi della rete stradale ed una maggiore interferenza della stessa con le direttrici di deflusso.

Un ruolo particolare è svolto dalle opere di attraversamento che risultano spesso sottodimensionate e quindi motivo di ostacolo alla traslazione dei MDF: sovente tale sottodimensionamento causa lo sbarramento temporaneo dell'alveo e pericolose diversioni della miscela solido-liquida.

Una progettazione che tenga nella dovuta considerazione il potenziale carico solido consentirebbe di limitare gli effetti connessi all'interruzione dei deflussi e al sormonto o demolizione della struttura.

Le variabili che interagiscono nella risposta di un bacino quando questo viene interessato da un evento pluviometrico sono quindi molte ed il loro grado d'interazione è, come comprensibile, variabile nel tempo. L'elenco riportato non vuole assumere certo un carattere esaustivo. La diversità nella risposta del bacino all'evento pluviometrico, deve però intendersi non tanto nelle tipologie dei fenomeni - che sembrano assumere caratteristiche definite e ripetibili nel tempo per ogni bacino montano, proprio in virtù delle caratteristiche di quest'ultimo - quanto sulla probabilità che l'evento pluviometrico possa causarli.

Inoltre, nel caso in cui si volessero effettuare studi di tipo comparativo fra bacini montani, geograficamente distanti tra loro e caratterizzati da precipitazioni totali annue molto diverse, è necessario ricordare che

questi bacini si sono modellati nel corso del tempo in maniera diversa anche a seguito della differente quantità di acqua che hanno ricevuto. Lo stato fisico assunto da questi, a seguito di un evento pluviometrico di pari entità, risulta essere molto diverso. Ad esempio, un evento pluviometrico di due giorni consecutivi che abbia fatto cadere 200 mm di pioggia, esercita una diversa azione su un bacino montano caratterizzato da precipitazioni totali annue di circa 2000 mm (1/10), rispetto ad un altro bacino il cui regime pluviometrico è di circa 1000 mm/anno (1/5).

Le metodologie ed i modelli messi a punto per studiare le relazioni fra piogge e MDF da impiegare per scopi preventivo-previsionali sono molti e spesso sono stati sviluppati per poter essere utilizzati con un numero di parametri non elevato. Se per certi aspetti questo potrebbe risultare un vantaggio, perché rende i modelli facilmente applicabili, dall'altro ne riduce il livello di attendibilità. Per le tematiche qui trattate, sviluppare metodologie e modelli che contengano un elevato numero di parametri in entrata è piuttosto difficile poiché è necessaria una lunga ed approfondita fase sperimentale, da effettuarsi su bacini appositamente strumentati. Inoltre, la difficoltà nell'ottenere risultati concreti in questo senso è molte volte accompagnata dai costi eccessivi che la fase sperimentale presenta.

Questi ostacoli, non dovrebbero orientare la scelta verso soluzioni a basso costo, bensì stimolare gli Enti di governo del territorio ad intensificare gli sforzi, creando progetti di ricerca *ad hoc* di lunga durata.

#### IL TEMPO DI RICARICA

Per ciò che concerne il tempo di ricarica dell'asta torrentizia, purtroppo non molto ancora si conosce sull'importanza che esso può avere nel contesto generale, in quanto è solo dall'inizio degli anni '80 del secolo scorso che si è considerato tale fattore come valore aggiunto (HAMPEL, 1980;

FIEBIGER, 1984 e 1997; JAKOB *et al.*, 1997, MARCHI & TECCA, 1996; TROPEANO & TURCONI, 1999). Il tempo di ricarica può essere definito come il tempo necessario affinché si riformino le riserve di materiale lapideo e di sedimento più fine necessari ad alimentare una nuova colata. La scarsità di dati è finora dipesa molto dal fatto che i volumi traslati ed accumulati in conoide durante i fenomeni di MDF siano assai difficili da valutare e di conseguenza si abbiano pochi dati al riguardo.

E' indubbio che tutti i fattori precedentemente elencati svolgano un ruolo importante nella predisposizione al fenomeno torrentizio di una bacino rispetto ad un altro, ma le caratteristiche geologiche-geomorfologiche appaiono come le più importanti.

Fra i numerosi bacini presenti nell'arco alpino ve ne sono alcuni nei quali la frequenza di MDF è molto bassa (talora un solo evento negli ultimi 200 anni). In altri, invece, gli eventi sono molto più frequenti: diversi presentano MDF regolarmente spaziate nel tempo, sia pure con periodi di quiescenza caratteristici per ciascun bacino; in altri ancora sono state individuate sequenze ravvicinate di fenomeni alternate a lunghi periodi di inattività. In quest'ultimo caso parrebbe importante il ruolo giocato dai movimenti gravitativi che, prima di divenire quiescenti, si muovono gradualmente per diversi anni consecutivi e sono quindi in grado di creare nuovo materiale detritico sul fondovalle.

Si hanno quindi indicazioni abbastanza contrastanti sulle modalità di ricorrenza degli eventi, a loro volta indirettamente legate al concetto di "tempo di ricarica".

Una svolta in questo campo si potrà avere in un prossimo futuro mediante rilievi accurati sui bacini con la tecnica del *laser-scanner*, in grado di scandire un bacino con un margine di errore in altezza di qualche centimetro e di conseguenza di poter verificare con buona approssimazione, ad evento avvenuto, quanto materiale "manchi" lungo l'asta torrentizia e quanto se ne sia deposita-

to in conoide. A tutt'oggi questo difficile calcolo si basa sulle considerazioni effettuate da RICKENMANN & ZIMMERMANN (1993) che sostengono che i volumi rilasciati sul conoide corrispondano a circa l'80-90% del volume totale mobilizzato nel bacino.

#### BIBLIOGRAFIA

Aulitzky H. (1980). *Preliminary two-fold classification of torrents*. In Int. Symp. INTERPRAEVENT 1980, Bad Ischl, vol. 4, p. 285-309.

Barry R.G. & Chorley R.J. (1998). *Atmosphere and Weather Climate*. Routledge, London and New York, 409 pp.

Chiarle M. & Luino F. (1998). *Colate detritiche torrentizie innescate dal nubifragio dell'8 luglio 1996 sul M. Mottarone (VB-Piemonte)*. In Luino (Ed) "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba, 5-7 novembre 1996. Volume II, p. 231-245.

Chow V. T., Maidment D. R. & Mays L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill, Book Company, New York.

Chow V.T. (1956). *Hydrologic studies of floods in the United States*. International Association of Hydrological Sciences, 42, p. 134-170.

Fiebiger G. (1984). *Funktionelle bautypen der Wildbach – und Lawinenverbauung als Grundlage der Geschiebewirtschaftung*. In: Proceedings Int. Symp. INTERPRAEVENT 1984, Villach, 1, p. 123-133.

Fioraso G. (2000). *Indagini geologico-morfologiche su aste torrentizie della Valtellina e della Valle di Susa ricorrentemente soggette a colate detritiche torrentizie (debris flow)*. Suppl. a GEAM, XXXVII, n.1. Quaderni di Studi e di Documentazione n. 23, 59 pp.

Govi M., Marchi L., Mortara G. & Turitto O. (1994). *Ricerche sulle colate detritiche torrentizie (debris flow) in ambiente alpino*.

In: CNR-GRUPPO NAZIONALE DIFESA CATASTROFI IDROGEOLOGICHE "Rapporto 1990-91. Linea 1 Previsione e prevenzione degli eventi idrogeologici estremi e loro controllo", p. 405-420.

Greppi M. (2005). *Idrologia*. Hoepli, 371 pp.

Hampel R. (1980). *Geschiebewirtschaft in Wildbächen*. In Wildbäch und Lawinenverbau, 41(1), p. 3-34.

Jakob M, Hungr O. & Thomson B (1997). *Two debris-flows with anomalously high magnitude*. In Cheng-Lung Chen (Ed.) "Debris-flows hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, ASCE, p. 382-394.

Maione U. & Moisello U. (2003). *Elementi di statistica per l'idrologia*. La Goliardica Pavese, Pavia, 300 pp.

Marchi L. & Tecca P.R. (1996). *Magnitudo delle colate detritiche nelle Alpi Orientali italiane*. GEAM, 33 (2-3), p. 79-86.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale (2006). *Metodi di Valutazione dei Suoli e delle Terre*. Coordinatore E. A. C. Costantini, Edizioni Cantagalli, Siena, 922 pp. + CD

Pinna M. (1977). *Climatologia*. UTET, Torino, 442 pp.

Rickemann D. & Zimmermann M. (1993). *The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis*. In Geomorphology, 8, p. 175-189.

Tropeano D. & Turconi L. (1999). *Valutazione del potenziale detritico in piccoli bacini delle Alpi Occidentali e Centrali*. Pubbl. n. 2058 del GNDICI, 151 pp.

U.S.D.A., Soil Survey Staff (2007). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey*. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, dalla rete: [www.usda.gov](http://www.usda.gov).

Van Stein H. (1993). *Frequency of hillslope debris flows in the Bachelard Valley (French Alps)*. In: Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community, Final Report, vol.2, p. 942-948.

Weingartner R., Barben M. & Spreafico M. (2003). *Floods in mountain areas – an overview based on example from Switzerland*. Journal of Hydrology, 282, p. 10-24.

World Meteorological Organization (2003). *Guidelines on climate observation networks and systems*. WMO-TD No. 1185.

Sito internet: [www.irpi.to.cnr.it](http://www.irpi.to.cnr.it)

Torino, 16 maggio 2008