

# Previsione di frane superficiali dovute a precipitazioni intense : un modello regionale

Autor(en): **Salvadè, Giorgio / Graf, Andrea / Thüring, Manfred**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bollettino della Società ticinese di scienze naturali**

Band (Jahr): **95 (2007)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-1003188>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

---

# Previsione di frane superficiali dovute a precipitazioni intense – un modello regionale

Giorgio Salvadè, Andrea Graf e Manfred Thüring

Istituto Scienze della Terra, Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana  
Via Trevano, CH-6952 Canobbio ([manfred.thuering@sups.ch](mailto:manfred.thuering@sups.ch))

---

**Riassunto:** Piogge di grande intensità o durata possono innescare instabilità di pendio, come frane superficiali e flussi di detrito, che comportano la mobilitazione dello strato superficiale del suolo. Presentiamo un modello regionale, applicato al Canton Ticino, per studiare l'interazione tra le precipitazioni e l'innescò di dissesti superficiali. Il modello può essere usato per l'analisi di eventi storici, per la stesura di carte di piogge critiche con diversa durata oppure, in tempo reale, per l'identificazione della fase critica durante eventi alluvionali. Il modello segue un approccio empirico e si basa sulla conoscenza delle soglie d'innescò di dissesti, rilevate da eventi storici con condizioni meteorologiche documentate. L'integrazione delle precipitazioni attuali, ricavate da una rete di pluviometri e della previsione delle piogge permette l'utilizzo del modello in tempo reale per l'analisi della pericolosità di un evento meteorologico e la previsione della sua evoluzione.

## Forecasting of landslides triggered by heavy rainfall – a regional model

**Abstract:** Heavy precipitations can trigger slope instabilities, such as superficial landslides, soil slips and debris flows, thus removing the top part of the soil cover. We present a regional model, applied to the Canton of Ticino, which can be used to study the interaction between rainfall and the triggering of superficial slope instabilities. The model can be used to analyze historical events, to elaborate maps of critical rainfall of different duration, or as a real-time tool to identify the critical phase during evolving events of heavy rainfall. The model uses an empirical approach and is based on the knowledge of the triggering rainfall intensities derived from historical landslide events with documented meteorological conditions. The integration of the current precipitations, collected from a network of rain gauges and the rainfall forecast enables this model to be used as a real-time tool to analyze the hazardness of events of heavy rainfall and to forecast its evolution.

**Keywords:** superficial landslides, debris flows, forecasting, regional model, Ticino

---

## INTRODUZIONE

Eventi di forti precipitazioni possono innescare instabilità di pendio superficiali, quando la soglia critica di intensità o durata delle precipitazioni viene superata. I fenomeni, come frane superficiali o flussi di detrito, coinvolgono solo gli strati superficiali della copertura del suolo (fig. 1). Le piogge si infiltrano nel suolo ed esercitano una pressione, l'instabilità è dovuta allo sviluppo di sovrappressioni e alla forza di percolazione del flusso d'acqua all'interno del suolo. La conseguente rottura dello scheletro del suolo porta alla perdita della resistenza al taglio.

Il suolo indebolito viene facilmente mobilitato a causa della pendenza topografica locale, e soprattutto, alla presenza d'acqua. Il materiale può quindi rimanere sul posto oppure essere trasportato per decine di metri e sviluppare un'energia cinetica notevole e un potenziale di danno elevato, se incontra oggetti vulnerabili lungo il suo percorso. Incanalati in corsi d'acqua, questi fenomeni posso-

no evolvere in flussi di detrito.

DE VITA & REICHENBACH (1998) presentano una bibliografia esaustiva su frane superficiali dovute a forti precipitazioni.

SCHMID *et al.* (2004) hanno analizzato i danni diretti dovuti a pericoli naturali in Svizzera nel periodo 1972–2002. I dati rispecchiano le diverse situazioni topografiche, geologiche e meteo-idrologiche e soprattutto la distribuzione del potenziale di danno nelle diverse regioni. Circa 10% degli eventi con conseguenti danni sono flussi di detrito. Gli scivolamenti, che comprendono anche fenomeni superficiali, ammontano a 5–35% degli eventi. In questo periodo in Svizzera i danni diretti dovuti a tutti i pericoli naturali ammontano a circa 8.6 miliardi di franchi. 88 persone hanno perso la vita, di cui 32 a causa di scivolamenti e 20 a flussi di detrito. Soprattutto l'elevata percentuale di vittime dovuta a flussi di detrito evidenzia l'alta pericolosità del fenomeno. Il Ticino è il cantone con il danno più alto in Svizzera (SCHMID *et al.*



Fig. 1 – Frane superficiali a Campo Blenio dovute all'evento alluvionale del 1993.

2004). Il cambiamento del clima con l'aumento della temperatura porta a un incremento generale dell'energia nell'atmosfera e alla conseguente intensificazione delle precipitazioni (OCCC 2003). È quindi probabile che nel futuro si vedrà più spesso questo tipo di fenomeno.

## MATERIALI E METODI

### Appunti di meteorologia

La figura 2 riassume la situazione delle precipitazioni in Ticino. Le precipitazioni annuali totali si situano intorno ai 2000 mm, con minimi sotto i 1400 mm nella parte nord-est del Cantone e massimi oltre i 2200 mm nella zona occidentale. Si osserva una generale diminuzione delle precipitazioni da ovest verso est, espressione della situazione generale a sud delle Alpi, dove spesso aria marittima ricca di umidità, proveniente da sud-ovest, si muove verso le Alpi e perde l'umidità sui rilievi delle Prealpi. Le precipitazioni massime giornaliere, più importanti per l'innesco di dissesti superficiali, mostrano un'immagine più radicale della stessa situazione. Mentre intensità massime che superano i 400 mm al giorno caratterizzano la zona delle Centovalli, tutto il resto del Cantone è interessato da intensità massime intorno ai 150-300 mm al giorno.

Perturbazioni che provocano forti precipitazioni possono essere fenomeni puntuali oppure più estesi. Gli eventi alluvionali sono dovuti al sollevamento di masse d'aria calda con alto contenuto d'acqua, provenienti spesso dal golfo di Genova (GREBNER 1997). Questo processo d'innalzamento può avvenire in modo convettivo oppure advettivo. Precipitazioni convettive sono dovute allo spostamento verticale delle masse d'aria, le conse-

guenze sono temporali con effetto piuttosto locale. Le precipitazioni advettive sono più estese e sono dovute all'innalzamento orografico delle masse d'aria nelle prealpi dove possono rimanere bloccate per lunghi periodi (PFISTER 1999).

### Eventi franosi

Il modello sul superamento delle soglie d'innesco di fenomeni franosi parte dal presupposto che il paesaggio attuale è il risultato dell'equilibrio tra morfologia del terreno e le condizioni meteorologiche normali e che solo gli eventi estremi lo possono modificare. L'analisi storica di eventi accaduti in passato permette di identificare quale concomitanza di fattori è stata all'origine di dissesti. L'analisi

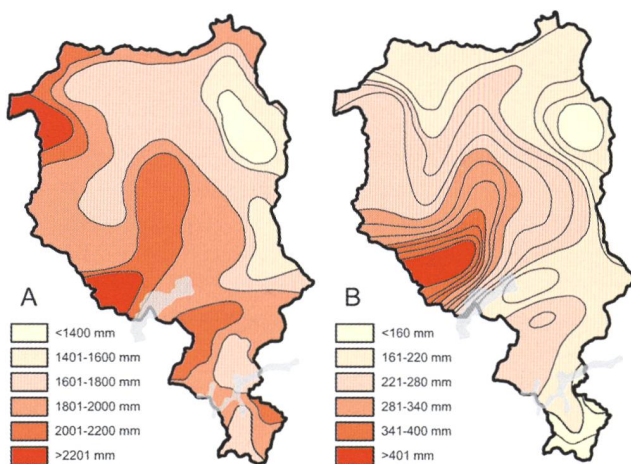


Fig. 2 – In Ticino le precipitazioni annuali totali si situano in generale tra 1400 e 2200 mm (A), le precipitazioni giornaliere massime possono superare i 400 mm con un valore più alto nella zona delle Centovalli (B). Da COTTI *et al.* (1990).



del regime delle precipitazioni può quindi essere utilizzata per studiare le correlazioni esistenti fra eventi meteorologici ed eventi franosi. Questi criteri statistici tendono perciò a stabilire le caratteristiche delle precipitazioni critiche per l'innescò di un dissesto a partire dall'analisi di eventi pregressi.

Di seguito vengono presentate le diverse componenti e il modello per l'analisi e la previsione di dissesti superficiali. Questo modello è stato applicato al territorio del Ticino, ma può essere applicato ad altre situazioni, se sono disponibili i dati d'entrata necessari.

### Soglie d'innescò

Eventi di forti precipitazioni possono essere descritti con grafici bilogaritmici che rappresentano i principali parametri pluviometrici: l'intensità e la durata dell'evento. In ascissa è riportata la durata dell'evento ed in ordinata l'intensità media dall'inizio dell'evento, normalizzata con la pioggia media annua espresso in percento. La figura 3 mostra l'evoluzione dell'evento alluvionale di novembre 2002 che nella zona di Quinto (alta Valle Leventina) ha innescato circa 100 dissesti superficiali (THÜRING & MONTI 2005).

I primi lavori che studiano in modo quantitativo l'effetto di forti precipitazioni ed eventi di instabilità di pendio superficiali risalgono agli anni 80 (CAINE 1980). Esistono numerosi studi sulle soglie d'innescò, che cercano di stabilire quale è l'intensità di pioggia necessaria per provocare dei dissesti. Nella letteratura si trovano lavori e soglie d'innescò ad esempio a livello mondiale (CAINE 1980), per gli Stati Uniti (California: WIECZOREK 1987, CANNON 1988, Wilson & Wiczorek 1995; Washington: CHLEBORAD 2000), per le Alpi (ZIMMERMANN *et al.* 1997), per il Nord-Italia (CERIANI *et al.* 1994, CROSTA 1998) e il Ticino (AGUSTONI 1996, PEDROZZI 2004). Tutti questi studi si basano su un'analisi storica di disse-

sti e le rispettive condizioni meteorologiche che hanno portato al dissesto.

Le soglie critiche vengono descritte con una relazione che collega la durata dell'evento e l'intensità media delle precipitazioni (CAINE 1980), spesso normalizzata con la pioggia media annua. La relazione è del tipo  $\ln\% = p \cdot D^{-q}$ , dove  $\ln\%$  è l'intensità normalizzata, D è la durata dell'evento meteorologico, e p e q sono i due parametri di correlazione.

CERIANI *et al.* (1994) definiscono i seguenti livelli d'innescò con le relative densità di dissesti, (fig. 3): soglia 1 ( $\ln\% = 2.01 \cdot D^{-0.55}$ , accadimento delle prime instabilità), soglia 2 ( $\ln\% = 2.8 \cdot D^{-0.48}$ , 10 flussi di detrito/km<sup>2</sup>) e soglia 3 ( $\ln\% = 2.23 \cdot D^{-0.50}$ , 20 flussi di detrito/km<sup>2</sup>). AGUSTONI (1996) definisce una singola soglia bimodale con  $\ln\% = 2.23 \cdot D^{-0.56}$  per eventi di durata <24 ore e  $\ln\% = 0.78 \cdot D^{-0.41}$  per gli altri eventi. Nel confronto diretto di questi due ultimi lavori, che si prestano entrambi all'applicazione in Ticino, si può dire che la soglia 1 di CERIANI *et al.* (1994) corrisponde all'incirca alla soglia di AGUSTONI (1996). Per eventi inferiore a 24 ore la soglia 1 di CERIANI *et al.* (1994) è più bassa, mentre per eventi di più lunga durata l'immagine si inverte (fig. 3).

Il modello presentato si basa sulle soglie d'innescò di CERIANI *et al.* (1994), che sono state sviluppate per la zona subalpina confinante con il Ticino, e danno la possibilità di sviluppare una zonazione del pericolo assegnando diverse magnitudo all'evento.

### Modello regionale

Il modello presentato segue un approccio empirico. La scelta dei fattori che portano alla rottura del terreno in seguito a forti precipitazioni si concentra sui due aspetti più importanti: il momento del loro accadimento e le rispettive condizioni meteorologiche. La sua base è quindi costituita da una serie di dissesti storici dovuti ad eventi alluvionali di diversa durata, da cui si lasciano dedurre

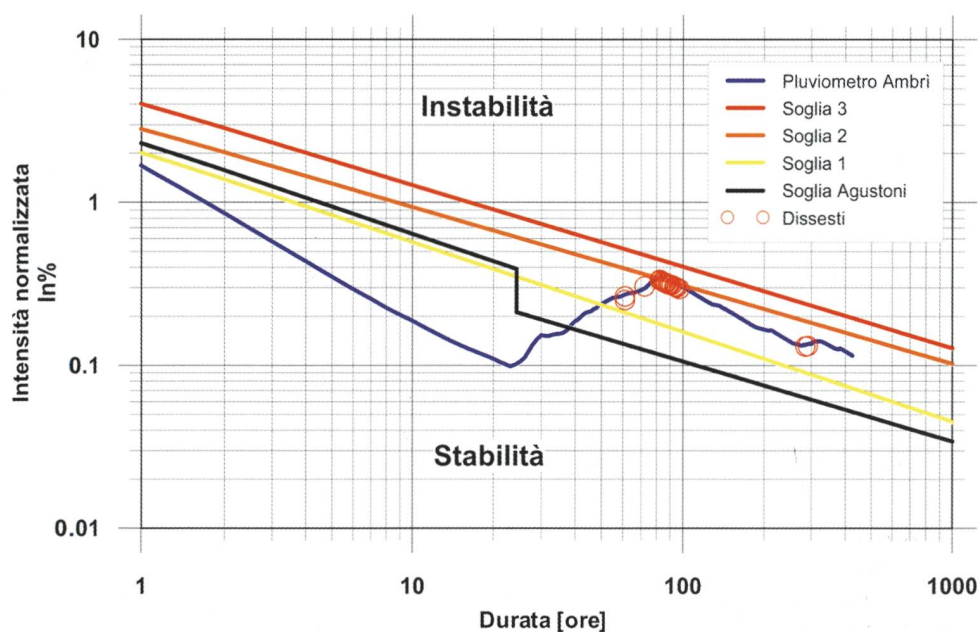


Fig. 3 – Evento alluvionale di novembre 2002 a Quinto (Valle Leventina), registrato al pluviometro di Ambri-Piotta. Sono indicati i dissesti e le soglie d'innescò secondo CERIANI *et al.* (1994) e AGUSTONI (1996). La maggior parte dei dissesti si è verificata intorno al massimo dell'evento alluvionale.



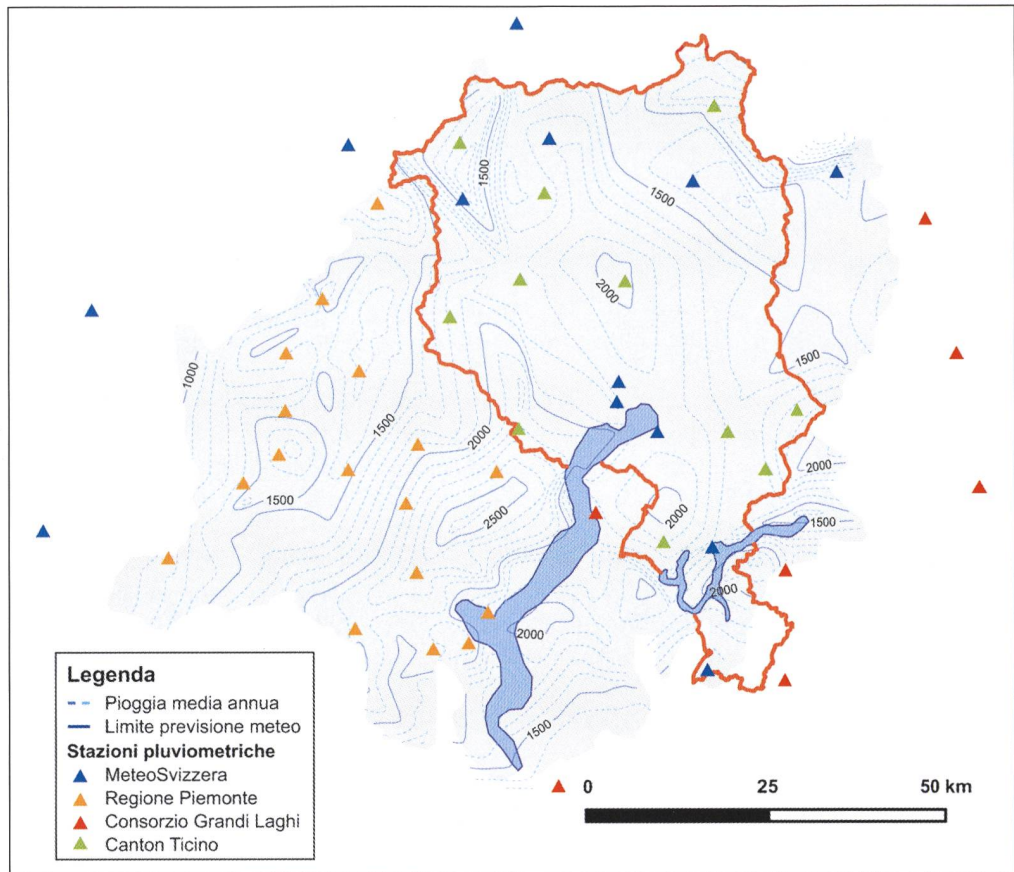


Fig. 4 – Il modello si estende su tutto il bacino del Lago Maggiore. Sono indicati il limite spaziale della previsione meteorologica, la rete pluviometrica e le isolinee della pioggia media annua.

una o più soglie d’innescio. Per l’analisi storica è sufficiente conoscere le piogge misurate; per lo studio in tempo reale è necessario disporre di una rete di pluviometri interrogabili online. Mentre l’utilizzo come modello previsionale necessita anche della previsione delle precipitazioni.

Il modello (fig. 4) utilizza la rete pluviometrica del bacino del Lago Maggiore, composta di circa 50 pluviometri di diversi Enti (MeteoSvizzera, Regione Piemonte, Consorzio Grandi Laghi e Cantone Ticino). La componente previsionale si basa sulla previsione della precipitazione del modello aLMO di MeteoSvizzera (DE MORSIER 2002), elaborata ogni 12 ore (inizializzazione del modello a mezzanotte e mezzogiorno) per le successive 72 ore, che fornisce le precipitazioni orarie attese su una griglia di 7 km. Le piogge medie annue sono dedotte dalla carta delle potenzialità pluviometriche edita dall’ISTITUTO ITALIANO DI IDROBIOLOGIA (1981). Come soglie d’innescio vengono usate quelle di CERIANI *et al.* (1994). Il

modello si estende su tutto il bacino del Lago Maggiore con una griglia di calcolo con celle di 1 km. Su questa griglia vengono interpolate, tramite Kriging (ISAACS & SRIVASTAVA 1989), per la parte storica, le piogge rilevate dai pluviometri, e per la parte previsionale, le precipitazioni previste dalla corsa del modello meteo.

Nel suo uso previsionale, il modello inizia il calcolo con le piogge misurate dalla rete pluviometrica fino all’istante attuale e prosegue usando le piogge previste dal modello di previsione meteo. Per ogni punto della griglia viene calcolata  $\ln\%$ , a passi temporali di un’ora, e confrontata con le soglie d’innescio. Il superamento delle soglie in ogni cella è rappresentato in termini di pericolosità e nella cartografia vengono usati i colori corrispondenti ai seguenti livelli (fig. 5): zona 1 (verde, vicinanza alla soglia 1), zona 2 (giallo, <10 flussi di detrito/km<sup>2</sup>), zona 3 (blu, 10–20 flussi di detrito/km<sup>2</sup>) e zona 4 (rosso, >20 flussi di detrito/km<sup>2</sup>). Il modello crea delle animazioni che sovrappongono l’evoluzione temporale del grado di pericolo alla cartografia di base del Ticino.

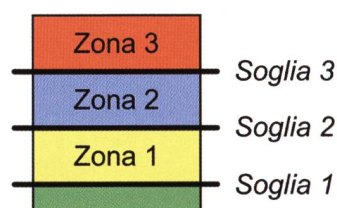


Fig. 5 – Sulle carte vengono usati i colori verde, giallo, blu e rosso per esprimere i diversi livelli di pericolo.

**Applicazioni del modello**  
**Carte di precipitazioni critiche**

Il modello è stato usato per determinare le piogge critiche di diversa durata che sono necessarie per innescare dei dissesti in Ticino (fig. 6), utilizzando la prima soglia di CERIANI *et al.* (1994). Si riconosce la similitudine con l’immagine della figura 2: una distribuzione con un massimo nella zona delle Centovalli che diminuisce più o

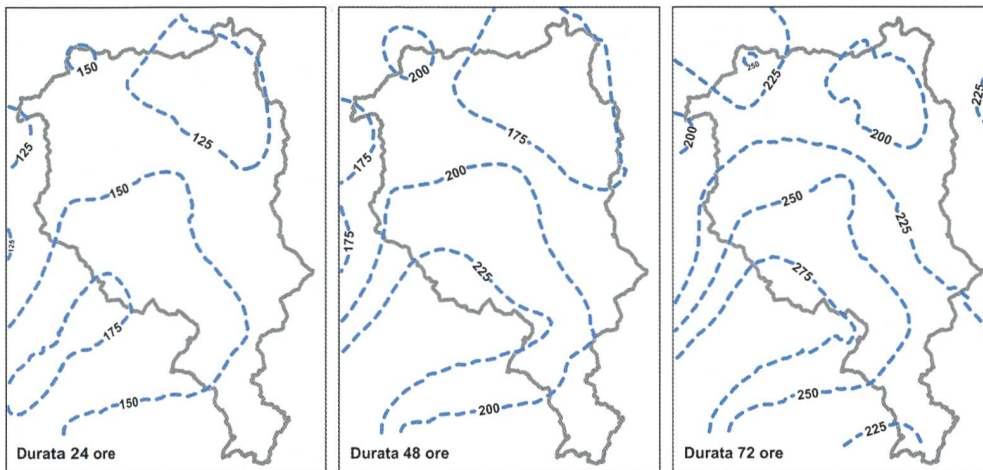


Fig. 6 – Piogge critiche in mm per superare la soglia 1 di CERIANI *et al.* (1994) con piogge di diversa durata: 24 ore (sinistra), 48 ore (centro) e 72 ore (destra).

meno regolarmente verso le zone periferiche. Riassumendo brevemente, in Ticino, per innescare dei dissesti superficiali, sono necessarie precipitazioni intorno ai 125–150 mm in un giorno, 175–200 mm in 2 giorni e 200–250 mm in tre giorni. La zona delle Centovalli sopporta quantitativi di pioggia di circa 25–50 mm più alti.

**Utilizzo previsionale**

Di seguito vengono presentate le situazioni che sono state previste dal modello in occasione di due eventi di forti precipitazioni avvenuti alla fine di agosto 2003 e all’inizio di ottobre 2006.

**Evento del 29 agosto 2003**

L’evento del 29 agosto 2003 in mattinata era costituito da un forte temporale, di particolare importanza nella Valle di Blenio, che ha creato un flusso di detrito verso le ore 10 nella zona di Malvaglia.

La figura 7 fa riferimento al pluviometro di Comprovasco (Valle di Blenio), punto di misura della pioggia più

vicino alla zona del dissesto. Sono rappresentate, oltre alle varie soglie d’innescò, due previsioni dell’evoluzione temporale dell’intensità normalizzata  $In\%$ , elaborate in base alle previsioni di pioggia del modello aLMo: la previsione 1 è stata elaborata alle ore 16 con le previsioni di pioggia di aLMo del 28 agosto, mentre la previsione 2 è stata elaborata con tutte le previsioni di pioggia di aLMo del giorno seguente.

La previsione 1 arriva appena a sfiorare la soglia d’innescò 1, mentre la previsione 2 supera addirittura la soglia 2 esattamente nell’istante in cui si è verificato il flusso di detrito. Per confronto tra previsioni e misure a posteriori, nella figura 7 è anche disegnata l’intensità normalizzata, calcolata con le piogge misurate: questa curva si sovrappone alla previsione 2 e taglia la soglia 2 nel medesimo istante.

Nella figura 8A e B sono rappresentate le mappe di pericolo previste in due istanti diversi (sulla base delle due previsioni di pioggia del modello aLMo indicate sopra) e, per confronto, quanto è stato calcolato dal modello

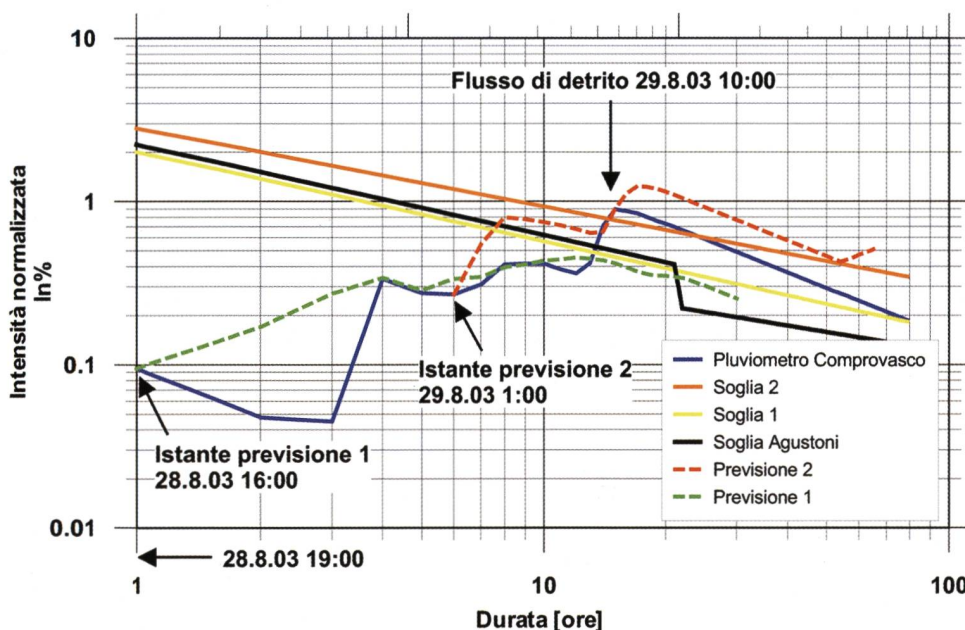


Fig. 7 – Evento del 29 agosto 2003 registrato al pluviometro di Comprovasco (Valle di Blenio).



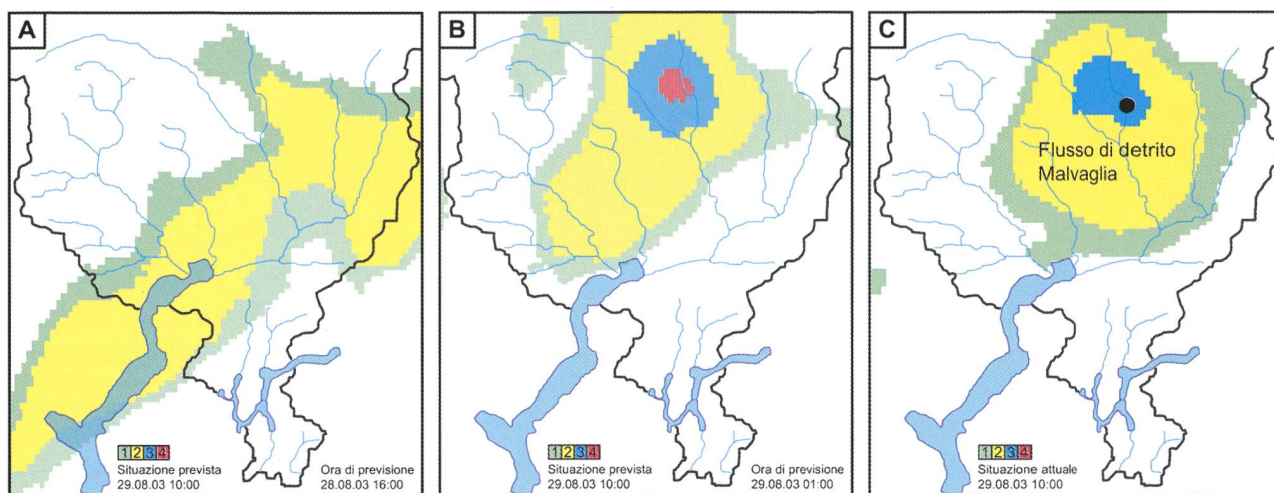


Fig. 8 – Evento del 29 agosto 2003. Mappe di pericolo previste e mappa effettiva calcolata a posteriori. A: previsione meteorologica del 27-28 agosto a mezzanotte. B: previsione meteorologica del 28 agosto. C: situazione effettiva calcolata con le precipitazioni misurate.

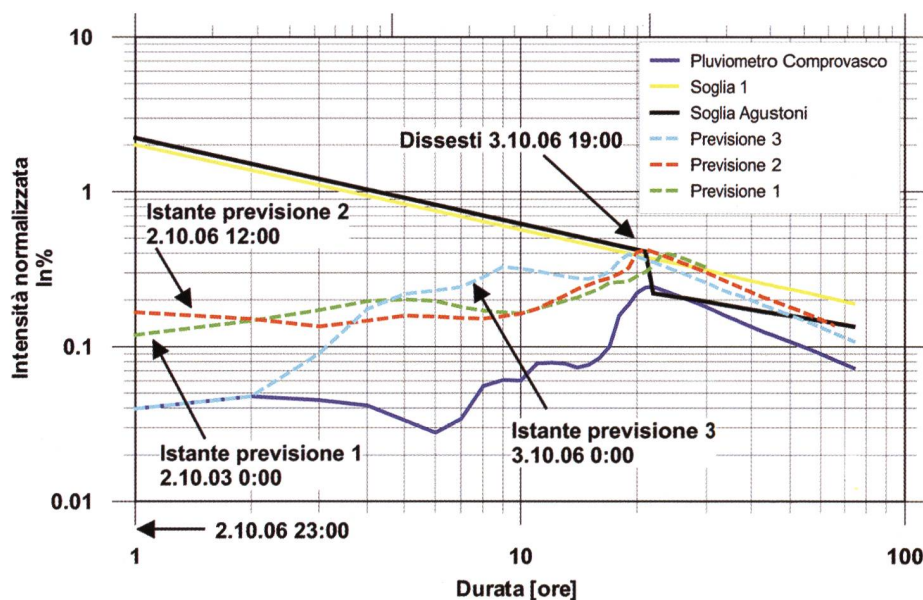


Fig. 9 – Evento del 3 ottobre 2006 registrato al pluviometro di Comprovasco (Valle di Blenio).

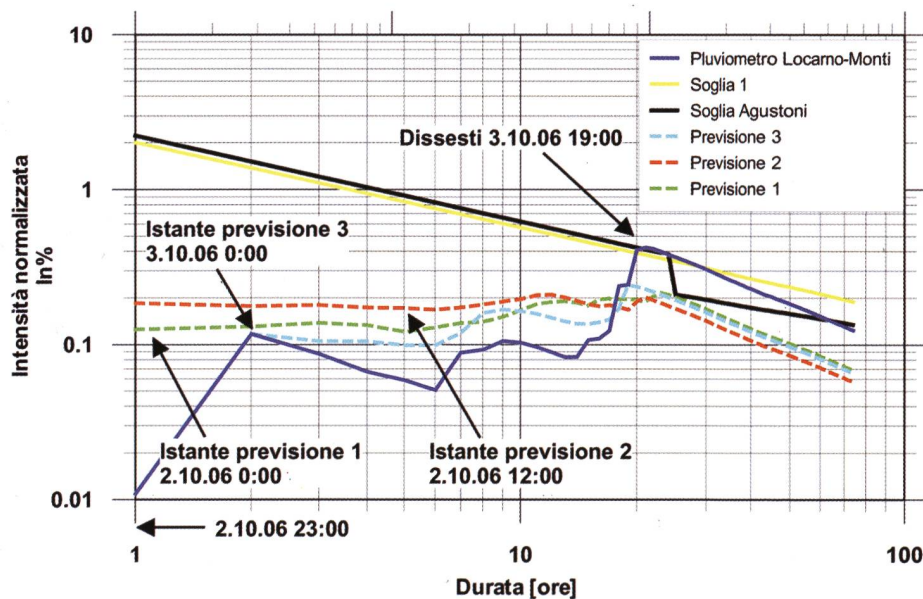


Fig. 10 – Evento del 3 ottobre 2006 registrato al pluviometro di Locarno-Monti.



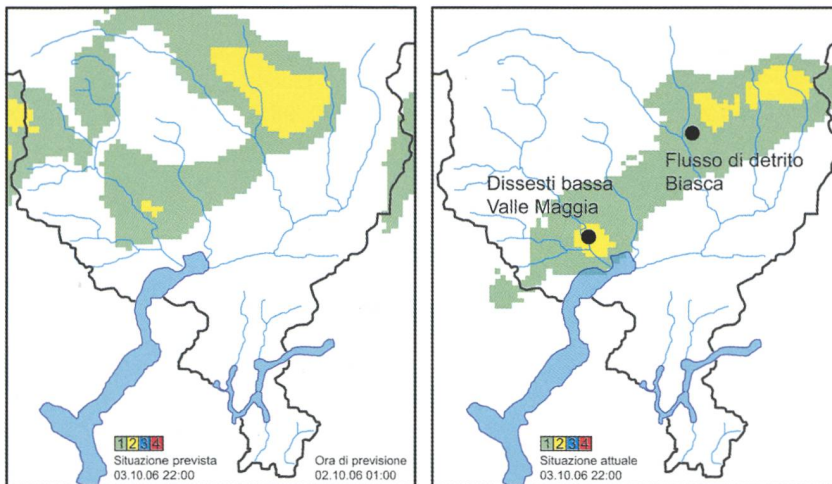


Fig. 11 – Evento del 3 ottobre 2006. Mappa di pericolo prevista (a sinistra) e effettiva calcolata a posteriori (a destra). Previsione meteorologica del 1-2 ottobre a mezzanotte.

usando le piogge misurate a posteriori (fig. 8C).

La figura 8A è un fotogramma prodotto dal modello, eseguito il 28 agosto alle ore 16, usando le previsioni del modello meteorologico aLMo del 27-28 agosto a mezzanotte e indicava un superamento della soglia 1 lungo una fascia trasversale attraverso il Ticino ma leggermente spostata più a sud rispetto a quanto è poi avvenuto. La figura 8B è un fotogramma prodotto dal modello eseguito con le previsioni meteorologiche del giorno dopo: la previsione ha centrato sia il luogo che l'istante dell'evento, come indicato nella figura 8C.

#### Evento del 3 ottobre 2006

Nella serata del 3 ottobre 2006 si è verificato un evento con piogge intense che ha provocato un flusso di detrito in zona Vallone a Biasca e degli scoscendimenti nella bassa Valle Maggia.

Nelle figure 9 e 10 sono rappresentate le previsioni dell'evoluzione dell'intensità media normalizzata elaborate con tre successive previsioni di pioggia del modello aLMo, relative ai pluviometri di Comprovasco (Valle Blenio) e di Locarno-Monti. Tutte le curve  $In\%$  previste superano la soglia 1 a Comprovasco verso le ore 20 del 3 ottobre e solo si avvicinano alla soglia a Locarno-Monti. La curva calcolata con le piogge misurate ha invece un comportamento opposto: non supera la soglia d'innescò a Comprovasco, indicando quindi che le previsioni erano più pessimiste rispetto alle misure, mentre taglia la linea di soglia a Locarno-Monti, luogo in cui la precipitazione è stata maggiore di quanto previsto.

La figura 11 mostra, a sinistra, la mappa di pericolo prevista con le previsioni di pioggia del 1-2 ottobre a mezzanotte e, a destra, per confronto la mappa calcolata dal modello con le piogge misurate a posteriori. Con quasi due giorni d'anticipo il modello indicava un superamento delle soglie nella Valle di Blenio e nella bassa Valle Maggia e che l'intensità normalizzata si sarebbe avvicinata alle soglie lungo una striscia coprente parte della Val Verzasca e la Riviera.

## CONCLUSIONI

Il modello presentato è puramente empirico e considera solo i due aspetti centrali dell'innescò di dissesti superficiali dovuti a forti precipitazioni: il momento dell'innescò durante un evento alluvionale e le condizioni pluviometriche che hanno condotto alla rottura del terreno. L'integrazione delle soglie d'innescò di CERIANI *et al.* (1994) insieme con le piogge effettivamente misurate da una rete di pluviometri e della previsione della precipitazione risulta in un modello capace di evidenziare in forma di carte per una regione estesa le diverse zone di pericolosità rispetto all'innescò di dissesti superficiali.

Il modello si estende su tutto il bacino imbrifero del Lago Maggiore; nelle figure viene rappresentata solo la parte relativa al Cantone Ticino. Esso è stato usato per determinare le piogge critiche per eventi pluviometrici di diversa durata, per analizzare eventi storici e per seguire, in tempo reale, degli eventi alluvionali identificandone la fase critica per l'innescò di dissesti superficiali.

I risultati del modello vengono rappresentati in forma di filmato che mostra l'evoluzione del grado di pericolo sulla cartografia ed è quindi di immediata interpretazione e di facile utilizzo per l'utente.

Sono state presentate due applicazioni, dove il modello è stato confrontato con degli eventi di dissesti superficiali. In questi eventi il modello ha rivelato una buona validità. I due casi presentati sono dovuti a perturbazioni piuttosto puntuali con una traccia pluviometrica piuttosto ben definita. Per eventi alluvionali estesi, l'innescò di frane è più diffuso e la previsione della localizzazione più difficile. In ogni caso è un utile strumento per enti, come la protezione civile, per aiutare a giudicare il pericolo d'innescò di dissesti superficiali durante eventi alluvionali. L'utilizzo previsionale del modello dipende chiaramente dalla qualità della previsione delle precipitazioni. Il modello è stato sviluppato per il territorio del Cantone



Ticino, ma grazie alla semplicità del suo approccio, può essere applicato anche ad altre situazioni, se i dati di base necessari sono disponibili.

Il modello può essere migliorato integrando continuamente nuovi eventi per raffinare le soglie d'innescio adattandole specificatamente al territorio ticinese.

## BIBLIOGRAFIA

- AGUSTONI S., 1996: Precipitazioni in grado di innescare frane e flussi di detrito nella regione del Cantone Ticino. Rapporto interno. Istituto Scienze della Terra.
- CAINE N., 1980: The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, Vol. 62, No. 1/2 (1980), pp. 23–27.
- CANNON S. H., 1988: Regional rainfall-threshold condition for abundant debris-flow activity. In: ELLEN S. D. & WIECZOREK G. F., eds., *Landslides, floods, and marine effects of the storm of January 3–5, 1982, in the San Francisco Bay region, California*: U.S. Geological Survey Professional Paper 1434, pp. 27–33.
- CERIANI M., LAUZI S. & PADOVAN N., 1994: Rainfall thresholds triggering debris flows in the alpine area of Lombardia Region. Rapporto di studio del Primo Convegno Internazionale per la Protezione e lo Sviluppo dell'Ambiente Montano, Ponte di Legno (Italia), 1994.
- CHLEBORAD A. F., 2000: Preliminary method for anticipating the occurrence of precipitation-induced landslides in Seattle, Washington, U.S. Geological Survey Open-File Report 00-469, pp. 29.
- COTTI G., FELBER M., FOSSATI A., LUCCHINI G., STEIGER E. & ZANON P. L., 1990: Introduzione al paesaggio naturale del Cantone Ticino. *Le componenti naturali*, Vol. 1. Museo cantonale di Storia naturale, Lugano, Svizzera.
- CROSTA G., 1998: Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation. *Environmental Geology* 35 (2–3). pp. 131–145.
- DE MORSIER G., 2002: The Alpine Model (aLMo) in Switzerland. Workshop Report of 23rd EWGLAM / 8th SRNWP meeting, Cracow, Poland.
- DE VITA P., REICHENBACH P., 1998: Rainfall-triggered landslides: a reference list. *Environmental Geology*. Vol. 35, No. 2–3. pp. 219–233.
- GREBNER D., 1997: Meteorologische Verhältnisse und Starkniederschläge im Alpenraum. In: *Recherche dans le domaine des barrages. Crues extrêmes*. EPFL Lausanne. Laboratoire des constructions hydrauliques. Communication 5: 1–8.
- ISAACS E. H. & SRIVASTAVA R. M., 1989: *Applied Geostatistics*. Oxford University Press.
- ISTITUTO ITALIANO DI IDROBIOLOGIA, 1981: Carta delle potenzialità pluviometriche di 12 mesi. Periodo di osservazione 1921–1970.
- OCCC, 2003: *Extremereignisse und Klimaänderung*. Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung. [www.proclim.ch](http://www.proclim.ch).
- PFISTER C., 1999: *Wetternachhersage, 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. Haupt.
- SCHMID F., FRAEFEL M. & HEGG C., 2004: Unwetterschäden in der Schweiz 1972–2002: Verteilung, Ursachen, Entwicklung. *Wasser, Energie, Luft*, Heft 1/2: S. 21–28.
- THÜRING M. & MONTI G., 2005: Computer modeling of rainfall triggered landslides (Quinto, Switzerland, November 2002). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 07344, European Geosciences Union.
- WIECZOREK G. F., 1987: Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. In: COSTA J. E., WIECZOREK G. F. (eds.): *Debris flow/avalanches: process, recognition and mitigation*. *Reviews in Engineering Geology*, Vol 7, Geological Society of America, Boulder, Colorado, pp. 93–104.
- WILSON R. C. & WIECZOREK G. F., 1995: Rainfall thresholds for the initiation of debris flows at La Honda, California. *Environmental and Engineering Geoscience*, 1, pp. 11–27.
- ZIMMERMANN M., MANI P. & GAMMA P., 1997: *Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz*. vdf Hochschulverlag ETH Zürich. Switzerland.