

LA PREVISIONE DELLE AREE DI INNESCO DI FRANE RAPIDE SU AREA VASTA: UN CASO DI STUDIO

Carlo Sica e Giuseppe Sorbino

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno

e-mail: casica@unisa.it

Sommario

La presente comunicazione illustra un'applicazione dei modelli fisicamente basati per la previsione, su area vasta, dei fenomeni di innesco di frane rapide. In particolare, si prendono a riferimento due modelli presenti nella letteratura scientifica per l'analisi a ritroso di tipici meccanismi di innesco di colate rapide in terreni piroclastici che hanno avuto sede in un'area campione della Regione Campania. I risultati conseguiti mediante un'opportuna taratura dei parametri che in tali modelli presiedono alla simulazione del regime delle acque sotterranee, evidenziano l'influenza delle condizioni di parziale saturazione dei terreni, nonché le potenzialità ed i limiti dei modelli adottati nella previsione delle aree di innesco.

Introduzione

I movimenti franosi che coinvolgono terreni a grana medio-grossa sono spesso caratterizzati dall'assenza di segnali premonitori e, laddove evolvono in flussi, possono assumere elevate velocità, causando vittime ed ingenti danni al patrimonio strutturale ed infrastrutturale. Non di rado, quando l'innesco di tali frane è indotto da eventi meteorici intensi, i fenomeni di primo distacco possono interessare simultaneamente numerosi bacini montani, coinvolgendo, pertanto, vaste aree (Baum et al., 2005; Crozier e Glade, 2005). Un esempio significativo, al riguardo, è rappresentato dai fenomeni di colata rapida che sistematicamente hanno sede nelle coperture piroclastiche all'interno di un'area di circa 3,000 km² della Regione Campania. Il più recente e catastrofico evento in tali materiali si è manifestato il 5-6 maggio 1998 quando, a seguito di piogge intense, si mobilitarono quasi simultaneamente oltre cento colate rapide di fango lungo i versanti del massiccio carbonatico del Pizzo d'Alvano, causando numerose vittime ed ingenti danni ai centri abitati situati a valle.

In presenza di fenomeni con tali caratteristiche, appaiono particolarmente utili metodologie in grado di prevedere la distribuzione areale delle zone maggiormente predisposte allo sviluppo di fenomeni di innesco dei movimenti. A tale riguardo, un approccio molto promettente è rappresentato dai cosiddetti modelli fisicamente basati. In tali modelli, all'indubbio vantaggio di analizzare aree di rilevante estensione, fa in genere riscontro l'adozione di drastiche ipotesi sulla modellazione dei processi fisici che presiedono all'innesco. Per il conseguimento di risultati significativi, l'applicazione di tali modelli richiede, pertanto, accurate conoscenze sugli aspetti geotecnici che caratterizzano il particolare caso di studio. Nella presente comunicazione, si illustra l'applicazione di due modelli su area vasta per l'analisi a ritroso dei fenomeni di innesco delle colate rapide di fango che hanno avuto sede, nel Maggio 1998, in alcuni bacini del massiccio del Pizzo d'Alvano. Si discutono, quindi, i risultati conseguiti, evidenziando l'influenza delle condizioni di parziale saturazione nelle analisi svolte.

Area campione e modelli utilizzati.

L'area campione è costituita da due bacini situati lungo il versante E-SE del massiccio carbonatico del Pizzo d'Alvano interessato nel Maggio 1998 da numerose colate rapide di fango (Figura 1). Sulla base dell'ampio data-set che raccoglie le risultanze delle analisi e degli studi condotti per l'intero massiccio del Pizzo d'Alvano (Cascini et al., 2006), i bacini in questione si caratterizzano per la presenza di una coltre piroclastica omogenea con spessori, nelle aree di innesco, compresi tra i 2 e 5m. In accordo con la classifica proposta da Cascini et al. (2005), nella Figura 1 sono, altresì, riportati i tre meccanismi di innesco riconosciuti nei medesimi bacini. Per l'analisi a ritroso dei suddetti meccanismi, si sono presi a riferimento due modelli fisicamente basati: TRIGRS (Baum et al., 2002) e TRIGRS-unsaturated (Savage et al., 2004). Entrambi i modelli accoppiano lo schema di pendio indefinito per la valutazione delle condizioni di stabilità ad un semplice modello idrologico, di tipo transitorio, per l'analisi del regime delle pressioni neutre. In particolare, TRIGRS adotta la soluzione diffusiva dell'equazione di Richards in condizioni di totale saturazione dei terreni proposta da Iverson (2000) ed estesa al caso di precipitazioni con intensità variabile nel tempo. Il modello TRIGRS-unsaturated, invece, associa alla soluzione diffusiva del modello TRIGRS per la zona satura, la soluzione analitica dell'equazione di Richards proposta da Srivastava e Yeh (1991), per l'analisi dei moti filtranti nella zona parzialmente satura. Tale soluzione contempla il modello esponenziale di Gardner per le curve di contenuto d'acqua e permeabilità rispetto alla suzione.

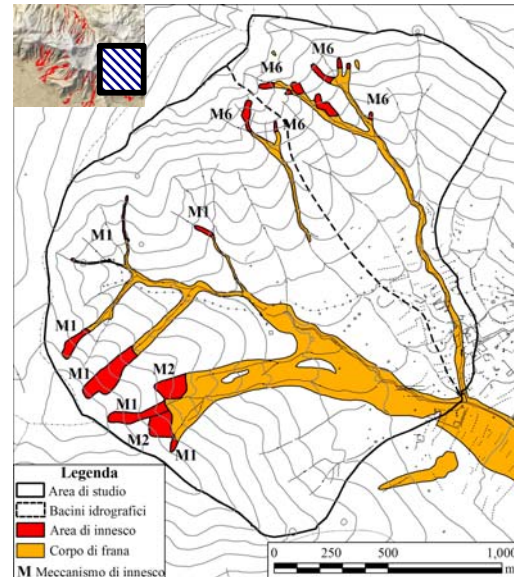


Figura 1. Area campione e meccanismi di innesco.

Analisi e risultati.

L'applicazione dei modelli innanzi descritti ai bacini di Figura 1 si è avvalsa dei dati derivanti dalla banca dati disponibile sulle coltri piroclastiche e dalle conoscenze geologiche e geotecniche acquisite a seguito degli studi condotti sia a scala di massiccio che di versante (Cascini et al., 2006). In particolare, i caratteri topografici dei bacini sono stati desunti da un modello digitale del terreno, con maglia quadrata di lato 3 m, ottenuto dalla restituzione cartografica alla scala 1:5,000. La coltre piroclastica è stata assunta di spessore variabile in accordo con le risultanze delle indagini in sito; i valori dei parametri di resistenza al taglio ad essa attribuiti sono stati, invece, desunti dalle indagini di laboratorio (Figura 2).

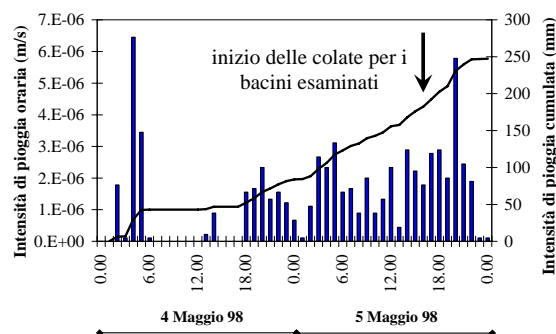


Figura 2. Intensità di pioggia e parametri meccanici adottati nelle analisi.

	TRIGRS	TRIGRS unsaturated
c'	0 - 5 kPa	0 - 5 kPa
ϕ'	35°-38°	35°-38°
γ_s	15 kN/m ³	15 kN/m ³
D_0	4.5×10^{-5} m ² /s	5×10^{-4} m ² /s
k_{sat}	6×10^{-6} m/s	1×10^{-5} m/s
α	/	7 m ⁻¹
θ_s	/	0.53
θ_r	/	0.2-0.35

Per quanto concerne la modellazione delle pressioni neutre, si sono adottate, quali condizioni al contorno, intensità di pioggia oraria coincidenti con quelle registrate durante gli eventi di colata rapida, caratterizzate da un valore cumulato, per i giorni 4 e 5 maggio 1998, pari a 240 mm (Figura 2). Per le condizioni iniziali, si è assunto per l'intera area di Figura 1 una distribuzione delle pressioni neutre con valore medio pari a 5 kPa, in accordo con i rilievi in sito. Infine, per la scelta dei valori da attribuire alle grandezze idrauliche che presiedono ai moti filtranti, si sono svolte analisi di taratura, in accordo con la procedura proposta da Sorbino et al. (2007). In particolare, si sono confrontati i risultati conseguiti con entrambi i modelli TRIGRS e TRIGRS-unsaturated al variare dei parametri idraulici, con quelli forniti dal codice agli elementi finiti SEEP/W per un semplice schema di pendio indefinito (Figura 3), rappresentativo delle condizioni stratigrafiche dei bacini analizzati.

La Figura 3 mostra il confronto tra gli andamenti delle pressioni neutre con la profondità ottenuti, rispettivamente, dal codice SEEP/W e dai due modelli TRIGRS quando per questi ultimi si adottano i valori dei parametri idraulici di Figura 2 conseguiti mediante l'analisi di taratura. Il confronto evidenzia come il modello TRIGRS-unsaturated consenta di pervenire, rispetto al modello TRIGRS, ad una più soddisfacente simulazione delle suzioni e, quindi, ad una modellazione più adeguata delle pressioni neutre per l'intera altezza della coltre.

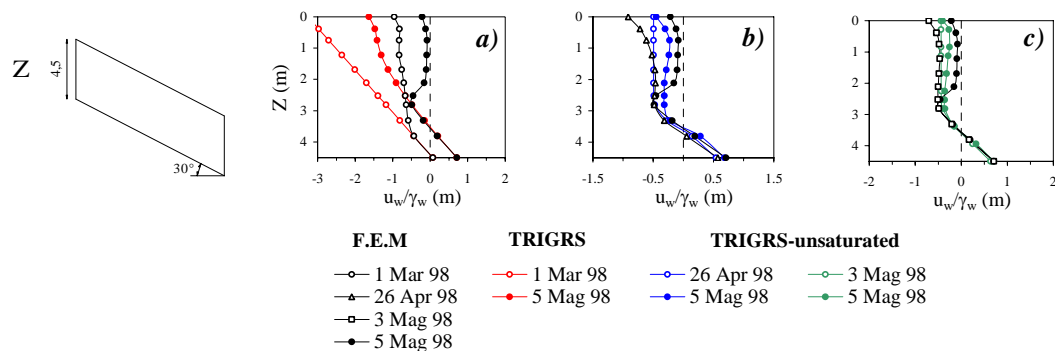


Figura 3. Confronto delle distribuzioni di pressioni neutre fornite dal codice SEEP/W con: a) TRIGRS (Sorbino et al., 2007) e b-c) TRIGRS-unsaturated.

Per la valutazione quantitativa dei risultati conseguiti dai due modelli nell'analisi a ritroso dei meccanismi di innesco, sono stati definiti due indici percentuali (Sorbino et al., 2007), rispettivamente denominati "indice di successo" ed "indice di errore" (Figura 4).

In Figura 5 sono compendiate i risultati conseguiti con l'applicazione dei due modelli ai due bacini dell'area di studio. In particolare, la Figura 5a mostra l'andamento nel tempo dei valori assunti dagli indici di successo ed errore, indipendentemente dai differenti meccanismi di innesco che hanno sede nell'area. I risultati evidenziano che entrambi i modelli non consentono di simulare, in maniera adeguata, i tempi corrispondenti all'innesco dei fenomeni, anche se le migliori stime si ottengono per il modello TRIGRS-unsaturated. Lo stesso modello è, inoltre, in grado di fornire, dall'istante di inizio dei fenomeni di innesco sino al termine dell'evento meteorico, valori dell'indice di successo maggiori associati ad indici di errore leggermente inferiori rispetto a quelli conseguiti con il modello TRIGRS. La Figura 5b mostra i valori degli indici di successo che competono ai singoli meccanismi di innesco al termine dell'evento meteorico. Come può notarsi, i valori degli indici di successo conse-

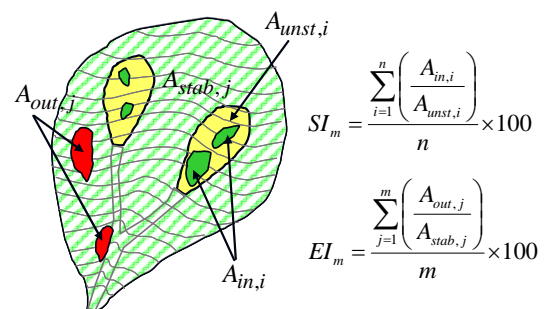


Figura 4. Definizione degli indici di "successo" e di "errore" (Sorbino et al., 2007)

guiti dal modello TRIGRS-unsaturated risultano leggermente più elevati rispetto a quelli forniti dal modello TRIGRS per i meccanismi M1 e M6 (con differenze non superiori al 5%). Per il meccanismo M2, il modello TRIGRS-unsaturated sottostima, invece, di circa il 10% l'estensione delle aree coinvolte. Tale risultato trova una giustificazione nel fatto che i meccanismi M1 e M6 sono indubbiamente influenzati da condizioni iniziali di suzione più gravose nei riguardi delle condizioni di stabilità, essendo questi ultimi collocati in zone per le quali si osserva la convergenza topografica dei flussi sub-superficiali. Un ulteriore, interessante aspetto è legato al minor successo conseguito per il meccanismo M2 che è principalmente connesso a condizioni al contorno non contemplate da entrambi i modelli. Sulla base dei risultati globalmente conseguiti, può dirsi, in conclusione, che entrambi i modelli riescono a fornire scenari di suscettibilità in accordo con i fenomeni osservati, soprattutto quando questi ultimi sono connessi a condizioni al contorno adeguatamente riproducibili dalle ipotesi alla base dei modelli analizzati. Per quanto attiene l'estensione areale dei fenomeni osservati, i modelli utilizzati ne forniscono una sistematica sottostima, con risultati leggermente più soddisfacenti per il modello TRIGRS-unsaturated, in grado di portare in conto lo stato di parziale saturazione delle coltri nei processi di infiltrazione degli apporti meteorici.

Bibliografia

- Baum, R.L., Coe, J.A., Godt, J.W., Harp, E.L., Reid, M.E., Savage, W.Z., Schulz, W.H., Brien, D.L., Chleborad, A.F., McKenna, J.P., Michael, J.A. (2005). *Regional Landslide-Hazard Assessment for Seattle, Washington, USA*. Landslides 2, pp 266 – 279.
- Baum, R.L., Savage, W.Z., Godt, J.W. (2002). *TRIGRS - a FORTRAN program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis*. U. S. Geological Survey Open-File Report 02-0424.
- Cascini, L., Cuomo, S., Sorbino, G. (2005). *Flow-like mass movements in pyroclastic soils: remarks on the modelling of triggering mechanisms*. Rivista Italiana di Geotecnica 4, pp 11-31.
- Cascini, L., Guida, D., Sorbino, G. (2006). *Il Presidio Territoriale: una esperienza sul campo*. Rubbettino Editore.
- Crozier, M.J., Glade, T. (2005). *Landslide hazard and risk: Issues, Concepts and Approach*. In "Landslide hazard and risk", Glade, T., Anderson, M., Crozier M. (Eds.), Wiley, Chichester, pp 1-40.
- Iverson, R.M., (2000). *Landslide triggering by rain infiltration*. Water Res. Res. 36, pp 1897-1910.
- Savage, W.Z., Godt, J.W., Baum, R.L. (2004). *Modeling time-dependent areal slope stability*. Atti della Conferenza su "Landslides – Evaluation and Stabilization", Lacerda, W.A., Erlich, M., Fontoura, S.A.B. and Sayao, A.S.F., (Eds.), Balkema, Vol. 1, pp 23-36.
- Sorbino G., Sica C., Cascini L., Cuomo S. (2007). *On the forecasting of flowslides triggering areas using physically based models*. Atti della "1st North American Landslides Conference", AEG Special Publication 23, Vol. 1, pp 305-315.
- Srivastava, R., Yeh, T.C.J. (1991). *Analytical solutions for one-dimensional, transient infiltration towards the water table in homogeneous and layered soils*. Water Resources Research 27, pp 753-762.

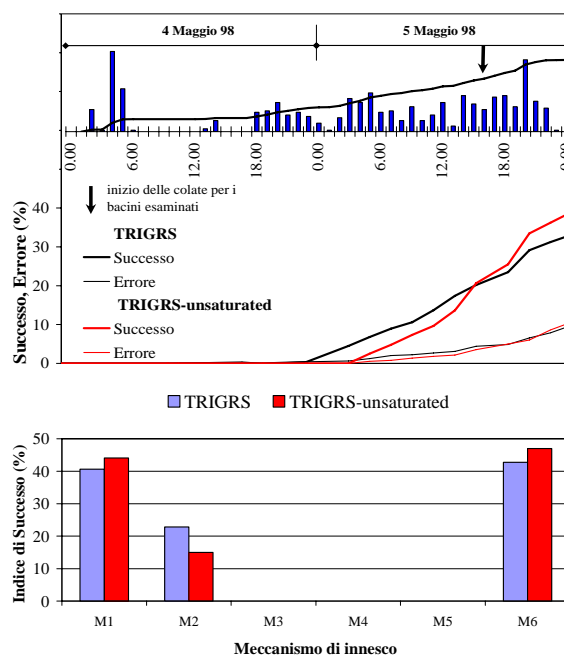


Figura 5. Confronto dei risultati conseguiti con TRIGRS e TRIGRS-unsaturated: indici di successo a) per l'intera area di studio e b) per i tipici meccanismi di innescio.