

SUSCETTIBILITÀ DA FRANE SUPERFICIALI NEI DEPOSITI PIROCLASTICI DEL CRATERE DEGLI ASTRONI (POZZUOLI – NAPOLI)

A. Scotto di Santolo, F. de Luca Tupperi Schinosa, S. Ruopolo, D. Calcaterra, A. Evangelista
Dipartimento di Ingegneria Geotecnica, Università di Napoli Federico II
e-mail: anscotto@unina.it

Sommario

L'analisi della suscettibilità da frane superficiali indotte da precipitazioni nei depositi piroclastici del Cratere degli Astroni (Pozzuoli – Napoli) è stata valutata attraverso il modello fisicamente basato TRIGRS (Baum et al., 2002). Osservazioni di campo integrate dall'analisi di foto aeree, hanno consentito l'elaborazione di una Carta-Inventario dei principali fenomeni franosi presenti nel cratere (scorrimenti traslativi, scorrimenti-colate, crolli) e del relativo archivio. Le caratteristiche meccaniche ed idrauliche dei depositi piroclastici sono state oggetto di una specifica indagine di laboratorio. Il modello numerico è stato tarato sulla base dei numerosi dissesti verificatisi nel cratere il 4 marzo 2005, a seguito degli eventi pluviometrici verificatisi.

Introduzione

Dal 1996, i versanti interni del Cratere degli Astroni (Pozzuoli-Napoli) sono stati più volte colpiti da varie tipologie di dissesti, principalmente da scorrimento-colata, che hanno coinvolto lo spessore superficiale dei depositi piroclastici frutto della più recente epoca di attività dei Campi Flegrei 4.8-3.8 ka (Isaia et al., 2003). Particolare rilievo hanno assunto gli eventi franosi verificatisi negli ultimi anni (2004, 2005) nel settore meridionale del cratere, in quanto hanno reso impraticabile l'unica strada presente che conduce al fondo del cratere. L'innescò di tali fenomeni d'instabilità è connesso ad eventi meteorologici le cui caratteristiche, come noto, non sono sempre ben definibili. La previsione delle aree potenziali di innescò è valutata generalmente attraverso molteplici approcci quali modelli empirici (e.g. Caine, 1980; Calcaterra et al., 2000) o modelli su base fisica (e.g. Montgomery & Dietrich, 1994). Questi ultimi, come noto, accoppiano un modello idrologico, per la valutazione dell'infiltrazione delle acque meteoriche e dunque delle variazioni delle pressioni interstiziali, ed uno geotecnico, per la determinazione delle condizioni di stabilità. In questa sede si presentano i risultati conseguiti dall'applicazione del modello su base fisica TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability Model; Baum et al., 2002) al Cratere degli Astroni (Pozzuoli-Napoli) proseguendo un filone di ricerca dedicato alla valutazione della suscettibilità all'innescò di frane da scorrimento-colata nei depositi piroclastici di alcuni contesti campani (Calcaterra et al., 2004a, 2005; Sorbino et al., 2006; Scotto di Santolo et al., 2007). La scelta di tale modello fisico è da ricondurre, in primo luogo, alla possibilità di considerare, seppure in modo semplificato, la condizione di parziale saturazione dei depositi coinvolti; in secondo luogo, la limitata estensione dell'area di studio (ca. 3 km²) e la sostanziale omogeneità litologica (successione piroclastica costituita da alternanze di livelli cineritici e pomicei di spessore variabile, da sciolto a moderatamente addensato, talvolta parzialmente cementato) consentono l'adozione di parametri geotecnici ed idrologici caratterizzati da una limitata variabilità. Infine, la frequenza di eventi franosi accertati (datati e censiti) nel cratere negli ultimi anni ha consentito la realizzazione di un

archivio dei dissesti avvenuti, nonché l'elaborazione di una Carta-Inventario dei fenomeni franosi (Ruopolo, 2006). Tali informazioni, assieme alla disponibilità dei dati pluviometrici, hanno consentito di confrontare i risultati del modello e verificarne l'affidabilità.

Il modello TRIGRS

Il modello TRIGRS (figura1) adotta un modello idrologico non stazionario per la simulazione dei caratteri transitori dei processi di infiltrazione delle piogge nei terreni non saturi (Iverson, 2000) e un modello geotecnico, il pendio indefinito, per la valutazione delle condizioni di stabilità, secondo la relazione:

$$Fs(Z,t) = \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} + \frac{c' - \psi(Z,t) \gamma_w \tan \phi'}{\gamma_s Z \sin \alpha \cos \alpha} \quad (1)$$

dove ϕ' [°], c' [Pa], α [°], γ_s [N/m³] sono i rispettivamente l'angolo di attrito, la coesione, l'acclività, il peso dell'unità di volume del terreno, $Z = z / \cos \alpha$ la profondità in direzione verticale e $\psi(Z,t)$ [m] l'altezza piezometrica dell'acqua di porosità nel terreno. Per la determinazione di $\psi(Z,t)$ sono necessarie le caratteristiche idrauliche (peso specifico dell'acqua γ_w , conducibilità idraulica K_{sat} , diffusività idraulica D_0), le condizioni al contorno, inferiore e superiore (profondità del substrato (finita o infinita) ed intensità e durata di pioggia I , T rispettivamente) la profondità della falda in condizioni stazionarie da p.c. e le condizioni iniziali.

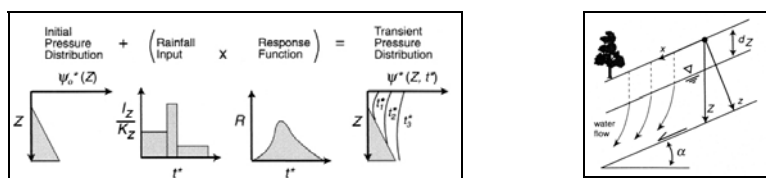


Figura 1. Modello idrologico e geotecnico adoperato in TRIGRS.

Il coefficiente di sicurezza è dunque calcolato per ogni cella attraverso la (1) durante l'evento meteorico simulato (tramite la variazione di ψ) per diverse profondità: la profondità Z in corrispondenza della quale Fs raggiunge il valore 1 per la prima volta sarà la profondità di innesco della frana.

Applicazione del modello

Il primo passo effettuato per l'applicazione di TRIGRS è consistito nella costruzione del modello geometrico tridimensionale del terreno: dalla cartografia digitale disponibile in scala 1:5000 (Carta Tecnica Provinciale) si è generato il TIN (con l'ausilio di procedure contenute nel programma ArcGis[®] 9.x) e poi il DEM costituito da celle di ampiezza di 5m x 5m (Figura 2). Dal DEM, utilizzando la funzionalità standard di ArcGis Spatial Analyst[®], è stata ricavata la Carta delle Acclività e la Carta della Direzione dei Flussi, necessarie per l'implementazione del modello. Sulla base della Carta delle Coperture e di quella Geolitologica redatte dall'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania (scala 1:10.000, 2002) e dei rilievi in sito effettuati, si è constatato che i materiali costituenti la coltre di copertura presente sui versanti del cratere possono essere considerati appartenenti ad un'unica tipologia (depositi piroclastici incoerenti), ad eccezione del duomo lavico della Caprara localizzato nel settore orientale del cratere costituito da lave trachitiche. Alla luce delle caratteristiche lito-stratigrafiche dei versanti del cratere si è ipotizzato, inoltre, che le proprietà idrauliche, in particolar modo la conducibilità idraulica, siano uniformi con la profondità: ciò consente di utilizzare il modello e di considerare come condizione ai limiti,

per il substrato una profondità infinita. I parametri geotecnici ed idrogeologici richiesti dal modello sono stati ottenuti attraverso prove di laboratorio effettuate sui campioni di materiale prelevati nel cratere (Ruopolo, 2006). I valori adottati sono riportati in Tabella 1.

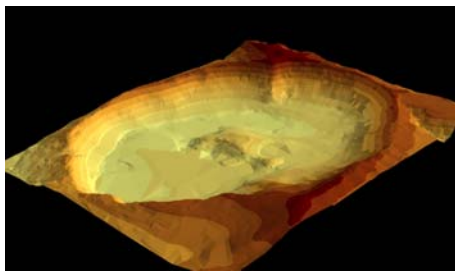


Figura 2. DEM del Cratere degli Astroni.

$\phi' [^\circ]$	35
$c' [\text{kPa}]$	$0 \div 8$
$\gamma_s [\text{N/m}^3]$	$1.5 \cdot 10^4$
$k_{\text{sat}} [\text{m/s}]$	$5.64 \cdot 10^{-6}$
$D_0 [\text{m}^2/\text{s}]$	$4.0 \cdot 10^{-4}$
$I_0 [\text{m/s}]$	10^{-7}

Tabella 1. Parametri attribuiti alla coltre.

Per quanto riguarda le condizioni idrauliche iniziali, si è fatto riferimento ai dati ottenuti da misure di suzione in sito condotte in contesti analoghi (Scotto di Santolo et al., 2005). Per le condizioni ai limiti per il bordo superiore sono stati assegnati i dati di pioggia relativi agli eventi franosi del 4 marzo 2005 caratterizzati da un'intensità di pioggia media oraria pari a 5.3 mm/h durata 24 ore. Il coefficiente di sicurezza minimo F_s per ogni cella e la relativa profondità è visualizzato sottoforma di carte d'instabilità. I risultati sono stati confrontati con le aree instabili censite nel cratere, anch'esse ubicate sul modello digitale del terreno. Le condizioni di stabilità iniziali della coltre ($t=0$ s) insieme ai risultati del modello dopo 12 ore ($t=43200$ s) e dopo 24 ore ($t=86400$ s) sono riportate in Figura 3 in termini di coefficiente di sicurezza minimo.

Discussione e conclusioni

I risultati ottenuti dall'applicazione del modello TRIGRS per la valutazione della stabilità dei versanti del cratere degli Astroni hanno evidenziato che, nell'ipotesi di intensità di pioggia pari a 5.3 mm/h (intensità di pioggia media oraria coincidente con quella registrata il 4 marzo 2005) e durata di 24 ore, già dopo 12 ore di pioggia il 2.9% dei versanti presenta un coefficiente di sicurezza minore di 1.0, il 30.5% compreso tra 1.0 e 1.2; dopo 24 ore di pioggia il 20.0% dei versanti presenta un coefficiente di sicurezza minore di 1.0, il 54.8% compreso tra 1.0 e 1.2 (Figura 4).

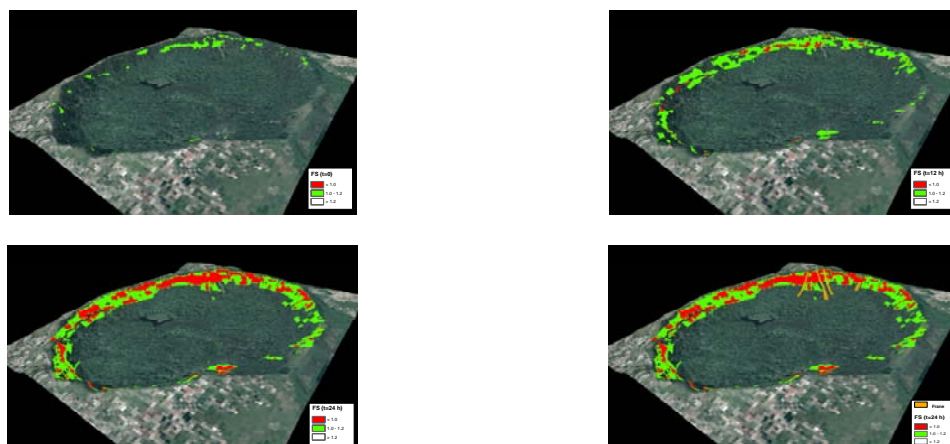


Figura. 3 -Coefficiente di sicurezza al tempo $t=0$, $t=12$ h, $t=24$ h.

In questo scenario, i risultati ottenuti dall'applicazione di TRIGRS dimostrano una certa concordanza con gli eventi franosi registrati nel cratere il 4 marzo 2005: infatti, tale evento

pluviometrico (con tempi di ritorno compresi tra 10 e 20 anni) indurrebbe fenomeni di instabilità coerenti con gli eventi registrati, anche se in aree maggiori di quelle censite. Da rilevare, inoltre, che tutti gli eventi franosi del marzo 2005 ricadono nelle aree classificate come instabili ($F_s < 1.0$) dall'applicazione del modello. Vi sono, come detto, tuttavia, anche importanti differenze tra gli eventi rilevati sul terreno e i risultati ottenuti dal calcolo: tale evento pluviometrico, infatti, secondo l'applicazione indurrebbe fenomeni di instabilità anche in aree diverse da quelle censite: emerge, infatti, la tendenza del modello a sovrastimare le zone in frana anche in quelle zone in cui esse non sono presenti, sovrastimando cioè le aree di maggiore instabilità, in una percentuale tuttavia inferiore rispetto ad altri modelli "stazionari" (Calcaterra et al., 2005). I risultati permettono in ogni modo di riconoscere i settori di versante potenzialmente instabili, individuando eventi pluviometrici "critici". Queste differenze sono da attribuire alla precisione dei valori di calcolo, alla loro dispersione spaziale, alle semplificazioni inevitabili adottate dal modello. La valutazione della suscettibilità da frana è, infatti, materia che, oltre ad essere influenzata dall'impostazione concettuale trova il suo presupposto nella qualità dei dati di base sul territorio: pertanto, un forte vincolo alla capacità di analisi della valutazione è imposto dalla scala di rilevamento e dall'accuratezza dei modelli altimetrici, oltre che alla qualità dei dati in ingresso, aspetti fondamentali per la buona riuscita dell'applicazione. Il vantaggio di tale approccio rispetto agli altri modelli su base fisica è la possibilità di valutare le condizioni di stabilità della coltre a differenti profondità in condizioni non stazionarie. Questo ultimo aspetto rappresenta quello più rilevante, ma contestualmente richiede la conoscenza di altri parametri non sempre noti alla scala di bacino.

BIBLIOGRAFIA

- 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, 27 p., 2 appendices.
- Calcaterra D., Parise M., Palma B., Pelella L., [2000] - The influence of meteoric events in triggering shallow landslides in pyroclastic deposits of Campania, Italy. Proc. 8th Int. Symp. on Landslides, Cardiff, vol 1, pp.209-214, Thomas Thelford Ed., London.
- Calcaterra D., de Riso R., Di Martire D., [2004] - Assessing shallow debris slide hazard in the Agnano Plain (Naples, Italy) using SINMAP, a physically based slope-stability model. Proc. 9th Intern. Symp. on Landslides, Rio de Janeiro, 177-183, Taylor & Francis Group, London.
- Calcaterra D., de Luca Tuppiti Schinosa F., de Riso R., Di Martire D., [2005] - Analisi comparata di modelli su base fisica per la previsione di frane superficiali in terreni piroclastici della Campania. Atti Conv. Naz. "La mitigazione del rischio da colate di fango a Sarno e negli altri Comuni colpiti dagli eventi del maggio 1998". Napoli, 2-3 maggio 2005.
- Isaia R., D'Antonio M., Dell'Erba F., Di Vito M., Orsi F., [2003] - The Astroni volcano: the only example of closely spaced eruptions in the same vent area during the recent history of the Campi Flegrei caldera (Italy), Journal of Volcanology and Geothermal Research 133 (2004) 171 - 192.
- Iverson R.M., [2000] - Landslide triggering by rain infiltration. Water Resources Research.
- Montgomery D.R., Dietrich W.E., [1994] - A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. Water Resour. Res., 30, 1153-1171.
- Ruopolo S. [2006] - Analisi dei fenomeni franosi nella coltre piroclastica non satura del cratere degli Astroni. Tesi di Laurea Dipartimento di Ingegneria Geotecnica Federico II.
- Savage W.Z., Godt J.W., Baum R.L., [2004] - Modeling time-dependent areal slope stability Landslides: Evaluation and Stabilization, Lacerda, Ehrlich, Fontoura & Sayão (eds).
- Scotto di Santolo A., [2002] - Le colate rapide, 118p. Benevento: Hevelius Ed.
- Scotto di Santolo A., [2000a] - Analisi geotecnica dei fenomeni franosi nelle coltri piroclastiche della Provincia di Napoli. Tesi di Dottorato Università di Napoli e Roma.
- Scotto di Santolo A., Nicotera M.V., Evangelista A., [2005]. Monitoring matric suction profiles in Partially Saturated Pyroclastic Topsoil Slope. Proc. Int. Symposium Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechanics, Trento, giugno 2005, pp. 533-539.
- Sorbino G., Sica C., Cascini L., Cuomo S., [2006] - Un'applicazione dei modelli di innesco su area vasta sede di frane rapide in terreni piroclastici. Pisa, 26-28 Giugno, IARG 2006.