

ANALISI CINEMATICA DI FENOMENI FRANOSI ATTIVI IN TERRENI ARGILLOSI: UN CASO DI STUDIO

Leonardo Cascini, Michele Calvello, Giuseppe Maria Grimaldi
Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile
l.cascini@unisa.it, mcalvello@unisa.it, ggrimaldi@unisa.it

Sommario

Il cinematismo di fenomeni franosi attivi in terreni argillosi è spesso controllato da variazioni di pressioni neutre all'interno del corpo di frana. La modellazione degli spostamenti di un fenomeno franoso di questo tipo necessita, quindi, di dati di pressioni neutre derivanti dal monitoraggio del pendio e/o dai risultati di una modellazione numerica del regime delle acque sotterranee. In questo lavoro, attraverso l'applicazione ad un caso di letteratura, viene presentata una metodologia di calcolo degli spostamenti che combina un modello fisicamente basato, per l'analisi in regime transitorio delle pressioni neutre nel pendio, con una relazione fenomenologica tra la velocità del movimento e l'inverso del coefficiente di sicurezza calcolato in un punto della superficie di scorrimento.

Introduzione

Il cinematismo di fenomeni franosi attivi in terreni argillosi è spesso correlabile alle variazioni di pressioni neutre all'interno del corpo di frana. Tra i modelli proposti in letteratura per l'analisi degli spostamenti, Angeli et al. (1996) e Corominas et al. (2005) propongono di utilizzare i dati di pressioni neutre derivanti dal monitoraggio del pendio come variabile temporale di relazioni fenomenologiche che considerano il comportamento viscoso del materiale lungo la superficie di scorrimento. Tra i limiti di questo approccio, peraltro estremamente interessante, c'è l'impossibilità di simulare l'evoluzione del pendio in zone prive di dati sperimentali sulle pressioni neutre. Per ovviare a questo limite, in questo lavoro viene presentata una procedura di calcolo degli spostamenti che combina un modello fisicamente basato per l'analisi, in regime transitorio, delle pressioni neutre a scala di pendio con una relazione fenomenologica fra la velocità del movimento e l'inverso del coefficiente di sicurezza locale in un punto della superficie di scorrimento. Tale metodologia è validata con riferimento ad un fenomeno franoso ben monitorato dell'Italia centrale: la frana di Porta Cassia ubicata sul versante Nord della Rupe di Orvieto.

Caso di studio

Il pendio sottostante la Rupe tufacea sulla quale sorge la città di Orvieto è sede di fenomeni franosi che hanno subito, nel tempo, numerose riattivazioni (Tommasi et al. 1986). Fra gli eventi recenti il più importante, per volumi coinvolti, superficie interessata ed effetti prodotti è il fenomeno avvenuto nel Novembre 1900 sul versante Nord del Colle, noto come Frana di Porta Cassia. Al fine di determinare quantitativamente i meccanismi che hanno governato l'evoluzione di questo versante, un'estesa campagna di indagini e di monitoraggio è stata avviata agli inizi degli anni '80. I dati disponibili in letteratura (e.g. Tommasi et al. 2006) si riferiscono a 4 inclinometri OM, OV, OR ed O4 e quattro piezometri installati, lungo le medesime verticali, rispettivamente a 4,5 m, 6 m, 31 m e 6 m di profondità dal p. c.. In figura 1 sono mostrati l'estensione in pianta della frana di Porta Cassia e la localizzazione delle verticali strumentate.

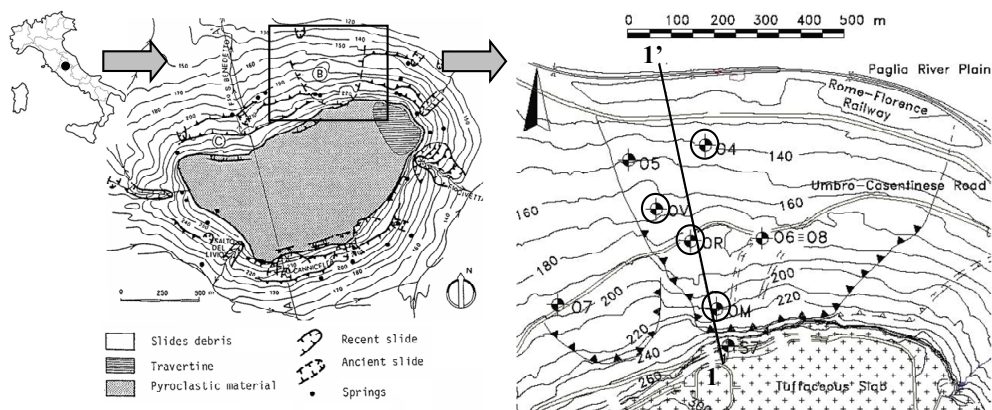


Figura 1. Pianta del colle di Orvieto e localizzazione delle verticali strumentate e della sezione di riferimento 1-1' (modificato da Tommasi et al. 2006)

In Figura 2 sono riportati gli spostamenti cumulati ed i livelli di falda registrati nel periodo 1996-2000. La figura evidenzia l'esistenza di due distinti regimi delle acque sotterranee: uno nella formazione di base con andamento di tipo stazionario (piezometro OR) ed un altro nella formazione superficiale (piezometri OV, OM, O4), nella quale ha sede una falda sospesa a carattere marcatamente transitorio alimentata a monte da immissioni provenienti dallo strato detritico interposto fra il blocco tufaceo ed il pendio in argilla (formazione dell'Albornoz). Esistono, inoltre, due differenti velocità di spostamento: uno nella parte medio-bassa del pendio (inclinometri OV ed O4) ed un altro nella porzione medio-alta del versante (inclinometro OR).

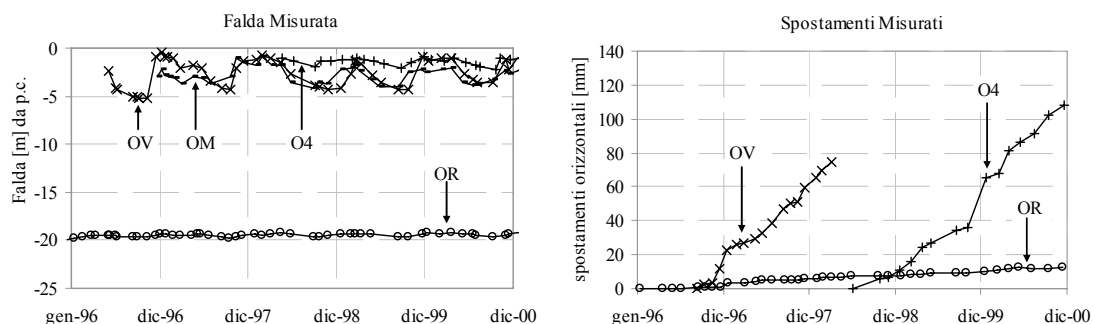


Figura 2. Dati del monitoraggio relativi al periodo 1996-2000: livelli di falda e spostamenti cumulati

Modellazione delle pressioni neutre

La sezione geotecnica assunta a riferimento, sulla base dei dati disponibili in letteratura, è costituita da una successione di tre strati: un primo livello superficiale di detrito argilloso, un livello intermedio di argilla degradata ed un basamento di argilla intatta. Dall'analisi dei dati relativi alle pressioni neutre si osserva che la falda superficiale, localizzata nei primi due strati, appare sconnessa rispetto alla circolazione idrica profonda. Inoltre, la permeabilità dello strato profondo è di almeno un ordine di grandezza inferiore rispetto a quello superficiale. Su tali basi, nell'analisi del regime transitorio delle pressioni neutre nei primi due strati si è fatto riferimento alla sezione semplificata di Figura 3. La modellazione è stata eseguita utilizzando il codice di calcolo agli elementi finiti SEEP/W. Le condizioni al contorno imposte a monte, nella formazione dell'Albornoz, ed a valle, in corrispondenza del Fiume Paglia, sono state schematizzate con carichi idrostatici; inoltre, sul piano campagna si è imposto un flusso variabile nel tempo, ottenuto sottraendo alla pioggia totale l'aliquota di evapotraspirazione calcolata mediante la formula di Thorthwaite (Cascini et al. 2008).

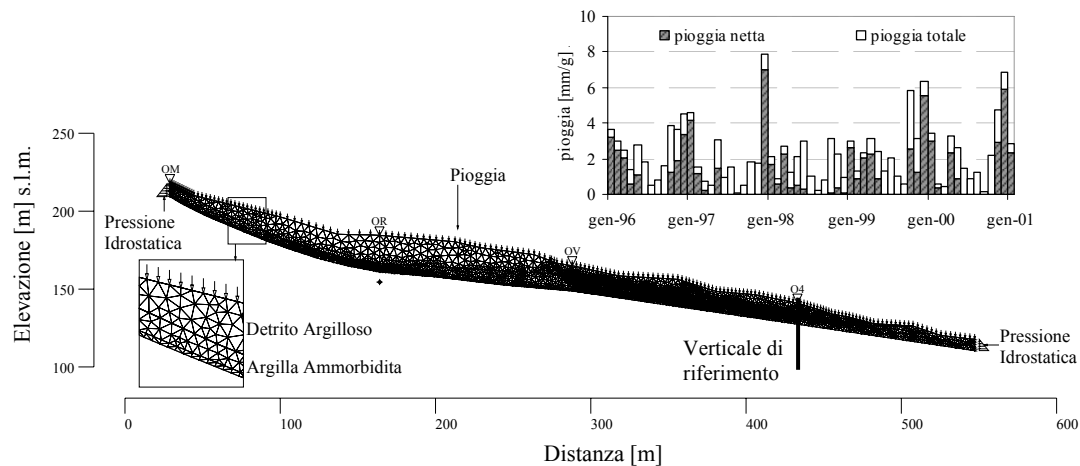


Figura 3. Sezione di calcolo per l'analisi delle pressioni neutre, piogge utilizzate e verticale di riferimento per il confronto fra valori misurati e simulati di pressioni neutre e spostamenti.

In figura 4 è presentato il confronto, per il periodo 1996-2000, fra il livello di falda misurato dal piezometro O4 e quello simulato mediante l'analisi numerica. Come si osserva, l'analisi svolta consente di cogliere sia l'escursione e sia i valori assoluti del livello della falda superficiale e può, pertanto, considerarsi di utilità ai fini della successiva stima delle relazioni esistenti tra pressioni neutre e spostamenti del pendio.

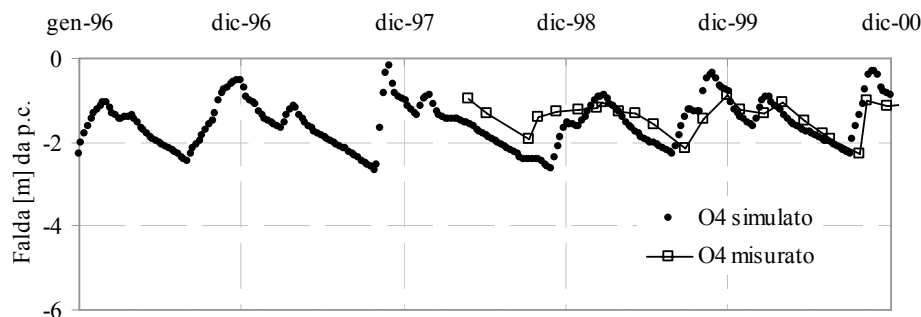


Figura 4. Confronto fra livelli di falda misurati e simulati in corrispondenza del piezometro O4.

Modellazione degli spostamenti

Il modello cinematico usato per simulare nel tempo gli spostamenti della frana di Porta Cassia si basa sull'ipotesi che questi siano associati allo scorrimento lungo una superficie di spessore infinitesimo, come indicato in Figura 5a. Lungo tale superficie gli spostamenti sono stati simulati definendo una soglia per i fenomeni di creep, rappresentata dalla resistenza residua dei terreni (Yen 1969), come indicato in Figura 5b.

Il modello utilizzato adotta una relazione empirica, originariamente proposta da Vulliet & Hutter (1988), fra la velocità $v_p(t)$ di un singolo punto della superficie di scorrimento e l'inverso del coefficiente di sicurezza locale, $F(t)$:

$$v_p = B \cdot \left(\frac{1}{F(t)} \right)^n \quad \text{con } B \text{ ed } n \text{ costanti del modello.}$$

Nell'analisi proposta, il punto considerato è localizzato a 7 metri dal piano campagna lungo la verticale di riferimento di Figura 3, in corrispondenza della profondità della superficie di scorrimento indicata dall'inclinometro O4.

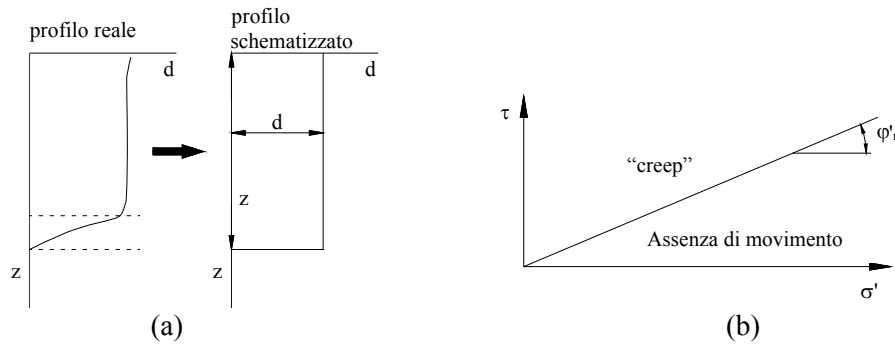


Figura 5. Schematizzazione del cinematismo e soglia di creep

L'analisi dello stato tensionale efficace del punto assunto a riferimento è stata condotta partendo dai valori simulati delle pressione neutre nell'ipotesi di pendio indefinito e falda parallela al piano campagna. Un confronto tra gli spostamenti misurati e quelli simulati, Figura 6, mette in luce le grandi potenzialità del modello utilizzato che si basa, comunque, su una modellazione avanzata del regime transitorio delle acque sotterranee, il cui andamento è strettamente correlato al regime pluviometrico dell'area di interesse (Calvello et al. 2007).

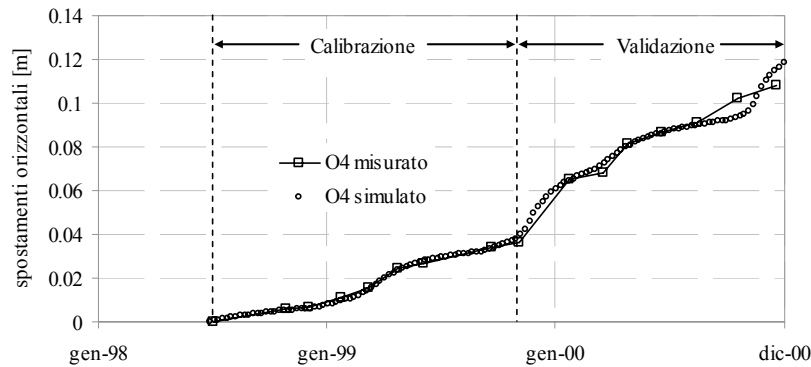


Figura 6. Risultati del modello cinematico locale: spostamenti misurati e simulati

Bibliografia

- Angeli, M.G., Gasparetto, P., Menotti, R.M., Pasuto, A., Silvano, S. (1996). A visco-plastic model for slope analysis applied to a mudslide in Cortina d'Ampezzo, Italy. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 29, pp. 233-240
- Calvello, M., Cascini, L., Grimaldi, G.M. (2007). Displacement scenarios at site scale of rainfall-controlled slow moving active slides in stiff clays. *Proc. ISGSR, Shanghai, China*, submitted
- Cascini, L., Calvello, M., Grimaldi, G.M. (2008). Modelling the transient groundwater regime for the displacement analysis of active landslides. *Proc. X Int. Symp. on Landslides, Xi'an, China*, submitted.
- Corominas, J., Moya, J., Ledesma, A., Lloret, A., Gili, J.A. (2005). Prediction of ground displacements and velocities from groundwater level changes at the Vallcebre landslide (Eastern Pyrenees, Spain). *Landslides*, 2, pp. 83-96.
- Tommasi, P., Ribacchi, R., Sciotti, M. (1986). Analisi storica dei dissesti e degli interventi sulla rupe di Orvieto: un ausilio allo studio dell'evoluzione della stabilità del centro abitato. *Geologia Applicata ed Idrogeologia*, Vol. XXI, pp. 99-153.
- Tommasi, P., Pellegrini, P., Boldini, D., Ribacchi, R. (2006). Influence of rainfall regime on hydraulic conditions and movement rates in the overconsolidated clayey slope of the Orvieto hill (central Italy). *Canadian Geotechnical Journal*, 43, pp. 70-86.
- Vulliet, L., Hutter, K. (1988). Viscous-type sliding laws for landslides. *Canadian Geotechnical Journal*, 25, pp 467-477.
- Yen, B. C. (1969). Stability of Slopes Undergoing Creep Deformation. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers*, 95, SM 4, pp. 1075-1093.