

MODELLAZIONE NUMERICA DELL'EVOLUZIONE DELLE COLATE RAPIDE CAMPANE

Anna Scotto di Santolo

Dipartimento di Ingegneria Geotecnica Università degli Studi di Napoli Federico II
anscotto@unina.it

Aldo Evangelista

Dipartimento di Ingegneria Geotecnica Università degli Studi di Napoli Federico II
evangel@unina.it

Sommario

La previsione della evoluzione di una frana, a partire dall'innesco fino all'arresto, è molto complessa dipendendo da numerosi fattori estremamente variabili ed aleatori. Per la valutazione ed eventualmente mitigazione del rischio, per le frane veloci ($v > 1 \text{ m/s}$), è indispensabile la stima delle grandezze cinematiche (spessore h , e velocità del fronte v) durante il suo percorso. I metodi attualmente disponibili non consentono la valutazione delle caratteristiche cinematiche della colata e quindi una valutazione quantitativa del rischio. Nella nota sono stati utilizzati i dati di letteratura riguardanti le colate rapide nelle coltri piroclastiche dei rilievi dell'Appennino Campano ($N=53$, Scotto di Santolo, 2000). E' stato definito un modello reologico, attraverso analisi numeriche con il codice di calcolo DAN-W (Hung, 2002) 2D, che interpreta gli eventi accaduti con i parametri più adeguati.

Introduzione

I metodi attualmente disponibili, per la previsione dell'evoluzione di una frana di tipo colata rapida, si dividono in empirici ed analitici. I primi sono basati su correlazioni tra le grandezze geometriche in gioco, generalmente il dislivello tra il coronamento e l'unghia del cumulo (H), il volume in frana (V), la distanza percorsa (L) e l'angolo di estensione ($\alpha = \arctan(H/L)$) (Heim, 1932; Scheidegger, 1972; Corominas, 1996). I secondi schematizzano la massa in frana come un blocco materiale (Goodman et al., 1968) o come un fluido equivalente utilizzando le leggi della meccanica del continuo (Savage e Hutter, 1989). Sebbene i primi sono i criteri più applicati per la valutazione del rischio potenziale in quasi tutto il mondo, essi non consentono la valutazione delle caratteristiche cinematiche (h , v) e quindi consentono una valutazione delle sole zone di invasione. Con il presente lavoro è stato tarato, attraverso il codice di calcolo DAN, un modello reologico della massa in frana che consente di valutare, per il contesto campano, le caratteristiche cinematiche delle frane censite. Il modello così tarato è stato utilizzato per la previsione delle caratteristiche cinematiche di eventi futuri nelle aree in esame. E' stato condotto uno studio parametrico attraverso il quale è possibile valutare le caratteristiche di possibili colate a partire dall'altezza di rilievo H e dall'andamento del profilo topografico del pendio (Evangelista e Scotto di Santolo, 2007).

Casi storici analizzati

Sono state analizzate 53 colate rapide avvenute fra il 1973 ed il 1998 ben documentate in letteratura (Scotto di Santolo, 2000; Di Crescenzo e Santo, 1999; Guadagno et al., 1998). Gli eventi ricadono nelle seguenti zone:

- la zona orientale della Piana Campana comprendente la Penisola Sorrentina (Monti

Lattari) ;

- la zona occidentale della Piana Campana di cui fa parte la città di Napoli;
- l'area dei monti di Sarno-Quindici.

I rilievi di cui sopra, come è noto, per la loro storia geomorfologica, costituiscono un contesto particolarmente favorevole all'attivazione di fenomeni franosi, dissesti che, a causa delle proprietà dei materiali e della geometria dei versanti si manifestano con il carattere di colate rapide. Nell'ultimo secolo, infatti, una sequenza sempre più ravvicinata di colate detritiche rapide si è verificata in queste zone con effetti spesso catastrofici e luttuosi; essi hanno investito molte località, privilegiando le aree situate allo sbocco di valloni e canali artificiali e mostrando mobilità e distruttività elevate. L'innesco è legato al verificarsi di precipitazioni meteoriche. Queste determinano il distacco delle coperture piroclastiche: infiltrandosi nelle stesse aumentano il grado di saturazione dei terreni e quindi fanno diminuire la suzione presente, inoltre dilavano ed erodono il profilo dei versanti, alterando le condizioni al contorno che regolano la stabilità superficiale.

Le colate analizzate (N=53; Scotto di Santolo 2000, 2002) sono state catalogate specificando la località, il Comune di appartenenza, la data di attivazione, il percorso seguito (incanalate, su versante aperto o miste) le grandezze geometriche (H dislivello tra la quota del coronamento e del cumulo della frana; L= proiezione orizzontale della distanza percorsa; pendenza della zona di innesco, di flusso e di arresto/deposito); la formazione interessata (coltri piroclastiche su substrato calcareo, PC o su serie piroclastica P). Si è osservato che il 66% dei fenomeni considerati è del tipo incanalato e solo il 34% è avvenuto su versanti aperti. Di tali fenomeni sono stati ricavati i profili longitudinali e trasversali posti poi alla base delle analisi numeriche con il programma di calcolo DAN-W (Hung, 2002).

Modellazione numerica

Introduzione

Il codice di calcolo adoperato DAN (Hung, 1995) consente la soluzione lagrangiana in forma esplicita delle equazioni del flusso, non uniforme e non stazionario in un canale a sezione variabile, di un fluido omogeneo equivalente (figura 1). Al programma è assegnato il volume iniziale del corpo di frana e l'andamento topografico del pendio. Il programma restituisce l'altezza e la velocità in ogni sezione della frana tenendo conto di una possibile erosione, assunta di intensità costante. Il codice di calcolo prevede otto modelli reologici. Nel presente lavoro sono stati utilizzati solo due: quello puramente attritivo, in cui la resistenza al moto dipende solo dagli sforzi normali effettivi; e quello di Voellmy che considera la resistenza funzione anche della velocità attraverso un parametro di turbolenza ξ (m/s²) (Hung, 1995).

Le espressioni della resistenza tangenziale alla base del corpo di frana sono:

$$\tau = \gamma H_i \left(\cos \alpha_i + \frac{a_c}{g} \right) \cdot (1 - r_u) \cdot \tan \varphi \quad (1 \text{ per il modello attritivo})$$

$$\tau = \gamma H_i \left(\cos \alpha_i + \frac{a_c}{g} \right) \mu + \gamma \frac{v^2}{\xi} \quad (2 \text{ per il modello Voellmy})$$

in cui γ è il peso di volume del mezzo

$a_c = v_i^2/R$ è l'accelerazione centrifuga, che dipende dal raggio di curvatura del profilo,

r_u è il coefficiente di pressione interstiziale,

φ è l'angolo d'attrito che può essere posto in funzione dello spostamento al fine di simulare la diminuzione della resistenza dal valore di picco a quello residuo.

μ è la tangente dell'angolo di attrito in 2)

ξ [m/s²] parametro di turbolenza.

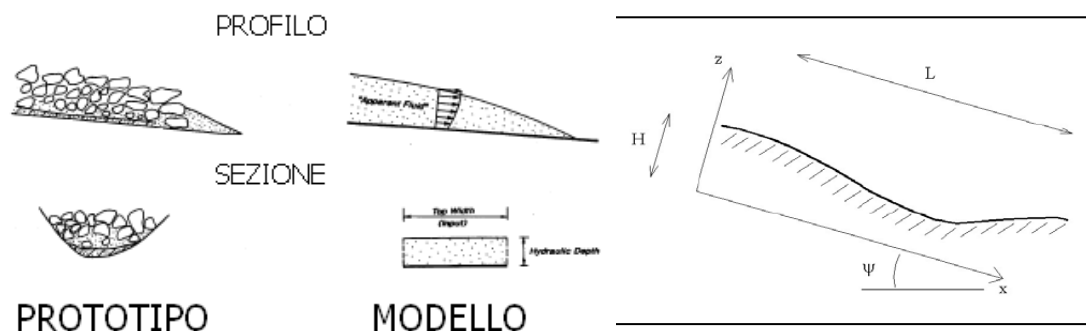


Figura 1. Modello utilizzato

Taratura dei parametri del modello

Tra i modelli reologici disponibili nel codice di calcolo adoperato sono stati utilizzati come detto il modello attrittivo e quello Voellmy. La taratura del modello è stata effettuata con riferimento alla distanza L , valutata in orizzontale fra l'unghia del cumulo e il coronamento, ed alla velocità massima del fronte v_f che si verifica generalmente pochi metri a valle della zona di innesco e solo in alcuni casi rispetto all'altezza del deposito. Si ricorda che, per quanto riguarda la velocità, non si dispone di dati in sito, ma di stime ottenute dai danni provocati dalle colate avvenute nelle zone di Sarno-Quindici (Faella e Nigro, 2001) o da espressioni semiempiriche (Zanchetta et al., 2004). Nelle analisi eseguite il modello è stato considerato valido quando la distanza calcolata L_{DAN} è prossima a quella misurata L . Il secondo parametro di valutazione è la velocità massima del fronte che è stata imposta non maggiore di 12 m/s.

I risultati ottenuti sono stati analizzati nel complesso e successivamente sono stati separati in funzione della tipologia del percorso (incanalata o su versante aperto). Si è ritenuto indispensabile dividere le colate in base al percorso seguito, a causa del fatto che nel presente lavoro è stato utilizzato un modello numerico bidimensionale (DAN) che riesce, però a tener conto della variabilità dell'ampiezza del canale, che deve essere imposta a priori.

Risultati - Modello Voellmy

Dei due modelli analizzati (quello attrittivo e quello di Voellmy) è stato ritenuto non idoneo il primo. Infatti l'impiego di un modello reologico tipo Voellmy, che considera gli effetti dissipativi, connessi alle interazioni e collisioni tra i granuli e/o alla viscosità del fango, è necessario per tenere conto di un comportamento più adeguato del miscuglio multifase; si è osservato inoltre che con il modello attrittivo le velocità vengono fortemente sovrastimate (Hungr, 1995). Inoltre il modello Voellmy è stato ampiamente convalidato in contesti analoghi (Hungr & Evans, 1996; Fiorillo et al., 2001; Revellino et al., 2004; Mc Dougall & Hungr, 2005) anche con modelli tridimensionali che hanno già evidenziato come l'utilizzo del coefficiente di turbolenza ξ fornisca risultati che si accordano in maniera ottimale con le evidenze osservate sul territorio sia in termini di distanze percorse sia in termini di velocità massime dei volumi mobilitati (Pirulli e Sorbino, 2006). Dalla ricerca bibliografica è stato acquisito l'intervallo di variazione dei parametri ξ e μ già adottato da altri ricercatori per le frane campane. Pertanto le analisi sono state eseguite facendo variare μ in un intervallo di valori compreso tra 0.01 e 0.1 e ξ fra 100 e 200 m/s². In figura 2 è riportato il confronto fra le distanze reali e quelle calcolate con il modello prescelto con μ pari a 0.03 e ξ pari a 100 m/s² (per le colate incanalate e per quelle su versante aperto). Si è osservato che per L fino a 1500 si ha una perfetta coincidenza fra i risultati misurati e calcolati. Per lunghezze maggiori il modello tende leggermente a sovrastimare i percorsi teorici. Solo 8 casi su 56 risultano

ricadere al di fuori del limite di confidenza al 99%.

In conclusione il modello Voellmy restituisce cammini di propagazione delle masse coerenti con quelle rilevate sul territorio adottando un coefficiente di turbolenza ξ di 100 m/s² e con μ pari a 0.03. Per quanto attiene le velocità massime anch'esse risultano ammissibili in quanto comprese negli intervalli valutati e riportati in letteratura (Faella e Nigro, 2001; Zanchetta et al., 2002).

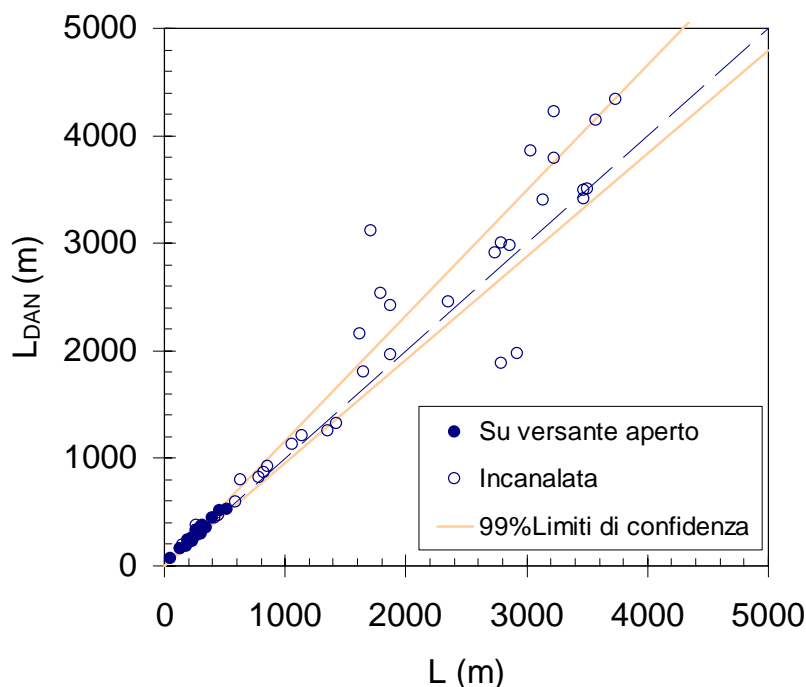


Figura 2. Modello Voellmy ($\mu = 0.03$; $\xi = 100 \text{ m/s}^2$): confronto distanza calcolata L_{DAN} distanza reale L

Bibliografia essenziale

- Di Crescenzo G., Santo A., 1999. Analisi geomorfologica delle frane da scorrimento-colata rapida in depositi piroclastici della Penisola Sorrentina (Campania). Estratto da Geografia Fisica e Quaternaria, vol. 22, pp. 57-72.
- Faella C., Nigro E., 2001. Effetti delle colate rapide sulle costruzioni. Parte seconda: valutazione delle velocità di impatto. Forum per il Rischio Idrogeologico "Fenomeni di colata rapida di fango nel maggio '98", Napoli, 22 giugno 2001, pp. 105-112.
- Hungr, O. 1995. A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows, and avalanches. Canadian Geotechnical Journal, 32: 610-623.
- McDougall, S.D. and Hungr, O., 2005. Dynamic modelling of entrainment in rapid Landslides. Can. Geotech. J. 42: 1437-1448.
- Pirulli M., Sorbino G., 2006. Effetto della reologia sull'analisi della propagazione di flussi di detrito. Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2006, 26-28 giugno Pisa.
- Revellino, P., Hungr, O., Guadagno, F.M. and Evans, S.G. 2004. Velocity and runout prediction of destructive debris flows and debris avalanches in pyroclastic deposits, Campania region, Italy. Environmental Geology, 45: 295-311.
- Scotto di Santolo A., 2000. Analisi geotecnica dei fenomeni franosi nelle coltri piroclastiche della provincia di Napoli, Tesi di dottorato XII ciclo Consorzio Università di Napoli e Roma, 1/2000.
- Scotto di Santolo A. e Fenelli G.B., 2001. Analisi della distanza percorsa da una colata rapida sui versanti della Campania. IARG 2001, Milano 10-11 maggio 2001.
- Scotto di Santolo A., 2002. Le colate rapide. Hevelius Ed. srl, Benevento 2002, ISBN 88-86977-42-5.
- Zanchetta G., Sulpizio R., Pareschi M.T., Leoni F.M., Santacroce R. 2004. Characteristic of May 5-6 1998 volcanoclastic debris flow in the Sarno Area (Campania Southern Italy): relationship to structural damage and hazard zonation. J. of Volcanology and Geothermal R. 133, pp. 377-393.