

Suscettibilità alle frane superficiali e veloci in terreni di alterazione: un possibile contributo della modellazione della propagazione

LUIGI BORRELLI (°), DOMENICO GIOFFRÈ (*), GIOVANNI GULLÀ (°) & NICOLA MORACI (*)

Key words: *frane superficiali, modello numerico, terreni di alterazione.*

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Le frane superficiali caratterizzate da evoluzione rapida, notoriamente di notevole pericolosità, sono molto diffuse dove sono presenti in affioramento di rocce cristalline profondamente alterate (DEERE & PATTON, 1971; WONG *et alii*, 1998; LACERDA, 2004). In particolare, i fenomeni di frana evidenziati, che generalmente si verificano nell'ambito di "eventi di franosità" (GULLÀ *et alii*, 2009), interessano i terreni di alterazione diffusamente presenti nel territorio della Calabria, suscettibile alle frane superficiali (GULLÀ *et alii*, 2008), figura 1.

Un contesto geo-ambientale di interesse per lo studio della problematica evidenziata è localizzato in un'area, tra Bagnara Calabria e Scilla (RC) (di seguito area di Favazzina), dove nell'ultimo decennio si sono verificate numerosi eventi di frane superficiali evoluti in colate di fango e detrito (fig. 1). L'area di Favazzina, che ospita importanti strutture e infrastrutture (ferrovia, autostrada, SS18, abitati, ecc.), è stata dunque scelta per approfondire gli studi di dettaglio in corso sugli eventi di frane superficiali (ANTRONICO *et alii*, 2004; GULLÀ *et alii*, 2008).

I rilevamenti geomorfologici, geologici e del grado di alterazione condotti nel marzo 2010 sul tratto di versante a monte dell'abitato di Favazzina (fig. 1), hanno permesso di rilevare le tracce dei fenomeni franosi superficiali del 2001 e 2005 (BONAVINA *et alii*, 2005) e di quelli relativi agli inverni 2008-2009 e 2009-2010.

Dal punto di vista morfologico il versante di Favazzina è delimitato a monte, a partire dai 600 m s.l.m., da una superficie di spianamento di origine marina (piano delle Aquile) e a valle da una stretta e discontinua fascia, pressoché sub-pianeggiante, intensamente antropizzata (località costiera di Favazzina). Il

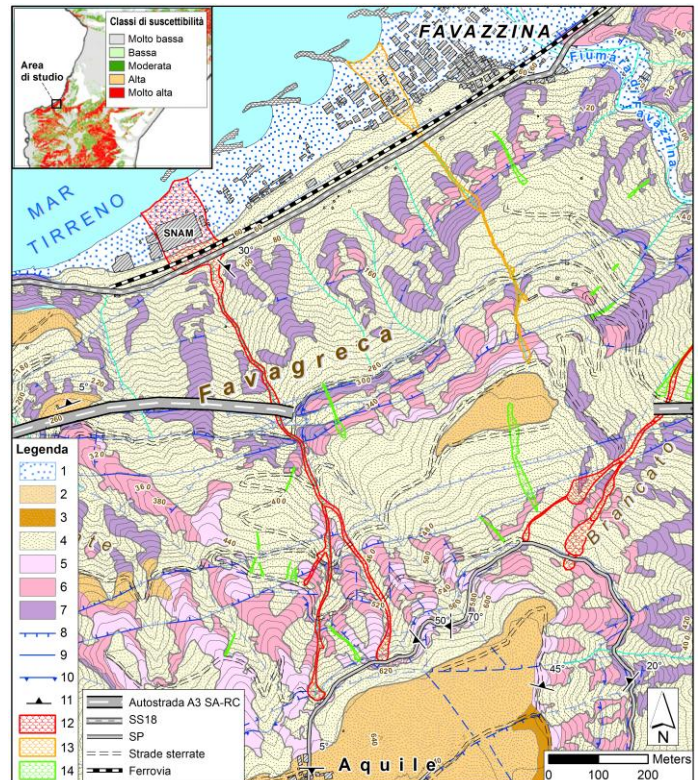


Fig. 1- Carta del grado di alterazione degli gneiss affioranti nell'area di studio. Legenda: 1) ghiaie e sabbie (Olocene); 2) ghiaie grossolane in matrice sabbiosa (Pleistocene med.-sup.); 3) sabbie grossolane ed arenarie (Pliocene sup. - Pleistocene inf.); 4) terreni detritico-colluviali di classe VI; 5) gneiss di classe V; 6) gneiss di classe IV; 7) gneiss di classe III; 8) faglia diretta; 9) faglia con cinematismo non determinato; 10) thrust; 11) misura di foliazione; 12) fenomeni franosi del 12 maggio del 2001; 13) fenomeno del 31 marzo del 2005; 14) fenomeni dell'inverno 2008-09 e 2009-2010. In alto uno stralcio della mappa di suscettibilità a scala regionale (per terreni a grana grossa), da GULLÀ *et alii* (2008).

tratto di versante oggetto di studio, con pendenze medie di 35° che localmente raggiungono circa 60°, è talora terrazzato in più ordini ed è solcato longitudinalmente da numerosi fossi e valloni, profondamente incisi, con lunghezze da circa 300 m a circa 1000 m e dislivelli massimi dell'ordine dei 600 m. I rispettivi bacini di alimentazione presentano nel complesso limitata estensione.

Dal punto di vista geologico, l'area di studio ricade all'interno del settore costiero tirrenico della Calabria meridionale, in corrispondenza dall'alto strutturale Scilla-Palmi, facente parte del contesto geologico del bordo orientale dello Stretto di Messina (FERRANTI *et alii*, 2008). Il basamento geologico nell'area di

(°) CNR-IRPI – UOS di Cosenza, Via Cavour n. 4 - 87036 Rende (CS)

(*) Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria

Lavoro eseguito nell'ambito della Commessa CNR-TA.P05.012 (Responsabile G. Gullà) e del POR Calabria 2000-2006 - Asse 1 - Misura 1.4 - Azione 1.4. c

studio è composto da metamorfiti acide paleozoiche (paragneiss di vario tipo ed ortogneiss), di medio-alto grado, sormontate in discordanza da una copertura sedimentaria plio-pleistocenica (fig. 1). Per la diffusa presenza in affioramento di rocce cristalline variamente alterate, è stato eseguito un rilevamento speditivo del grado di alterazione degli gneiss (fig. 1) e un accurato rilievo delle relative coperture di alterazione. Sono state in tal modo delimitate aree identificabili con quattro classi di alterazione: classe VI (terreni residuali, colluviali e detritico-colluviali), classe V (roccia completamente alterata), classe IV (roccia altamente alterata), classe III (roccia moderatamente alterata), (GULLÀ & MATANO, 1997).

Per trarre indicazioni circa le modalità di propagazione delle colate, che si generano a seguito dell'innesco delle frane superficiali, e per individuare gli aspetti sui quali è più opportuno concentrare gli approfondimenti di studio per conseguire avanzamenti conoscitivi significativi, si è ritenuto di sviluppare una serie di simulazioni numeriche delle colate. In particolare, è stato considerato l'evento di frana del 12 maggio 2001 che ha dato luogo a due colate, la prima, su cui si focalizzerà l'attenzione per la modellazione numerica, si è incanalata nel vallone Favagreca, danneggiando la stazione SNAM del metanodotto, la ferrovia e la strada statale, causando il deragliamento dell'ICN Torino-Reggio Calabria, la seconda, sviluppatasi da un vallone adiacente, ha investito l'autostrada presso la Galleria.

METODOLOGIA E RISULTATI

Le frane superficiali, dal cui innesco si possono generare le colate, sono fenomeni di scorrimento traslazionale che interessano generalmente le coltri di copertura costituite da terreni residuali, colluviali e detritico-colluviali (classe VI). Gli spessori dei terreni di alterazione, rilevati in affioramento, variano da circa 1 m a circa 10 m, con i valori maggiori in corrispondenza dei ripiani morfologici localizzati lungo il versante ed alla base dello stesso, nella zona di raccordo con la fascia costiera. Spessori variabili da circa 1 m a circa 5 m si rilevano delle zone di concavità morfologica. I rilevamenti, condotti nel febbraio 2010 sul versante a monte dell'abitato di Favazzina (fig. 1), hanno evidenziato che le zone di innesco dei fenomeni franosi del 2001 e del 2005 si presentano quasi completamente svuotate, mentre i canali di flusso, nella porzione medio-alta del versante, sono pure svuotati e parzialmente rivegetati.

La modellazione della propagazione del materiale coinvolto nella prima colata del 2001 è di seguito illustrata (fig. 1). Per la modellazione del fenomeno di interesse una soluzione approssimata può essere ottenuta, in generale, ricorrendo ad un approccio numerico. Nel presente lavoro le simulazioni sono state condotte con un modello sviluppato di recente da PASTOR *et alii* (2008), basato appunto sull'approccio SPH (Smoothed

Particle Hydrodynamics), diffuso in molti campi della fisica e dell'ingegneria.

Il modello numerico utilizzato, per i cui dettagli si rimanda a PASTOR *et alii* (2002), non considera l'analisi dell'innesco ed assume, sulla base di valutazioni successive agli eventi considerati, che i volumi instabilizzati alle testate siano dell'ordine dei 1100 m³ (BONAVINA *et alii*, 2005). Le percentuali di solido e liquido della massa di frana risultano di circa 60% per cui secondo COUSSOT & MEUNIER (1996), considerando le caratteristiche granulometriche del terreno, il flusso di materiale può essere classificato come un *mudflow*. Per le simulazioni condotte il distacco della massa instabile è stato localizzato, sempre sulla base dei rilievi di dettaglio successivi agli eventi di frana considerati, all'altezza di una strada sterrata che costeggia il versante (fig. 1). Il modello reologico utilizzato è stato definito, sulla base di analisi con viscosimetro del materiale coinvolto dal colamento, con una legge viscosa di tipo *Bingham*, i cui parametri sono riportati in tabella 1. In via preliminare, si è inoltre considerato che la propagazione della colata avvenga su una base non erodibile. Sul rilievo digitale è stata realizzata una griglia regolare con 62880 nodi, in corrispondenza dei quali si interpolano le (x, y, z) che riproducono la base topografica della zona di interesse per la modellazione. L'area su cui insiste il volume della frana superficiale considerata, valutato in circa 1100 m³, è suddivisa in 30760 particelle, con una griglia di lati $\Delta x = \Delta y = 1$ m. All'interno dell'area in frana, in ogni punto di coordinate (x, y), lo spessore h del relativo volume è ottenuto per

| Parametri-reologici | |
|--|-----|
| Viscosità- μ_b (Pa·s) | 40 |
| Rigidità- τ_c (Pa) | 190 |
| Parametri-di-integrazione | |
| Passo-spaziale- Δx (m) | 0.5 |
| Passo-temporale- Δt (s) | 0.1 |
| Tempo-di-simulazione-t (s) | 60 |
| Fattore-K | 2 |
| Raggio-di-influenza- $=k \cdot \Delta x$ (m) | 1 |

Tab. 1- Valori assegnati ai parametri utilizzati dal codice di calcolo per eseguire la simulazione.

differenza tra le coordinate z prima e dopo l'evento franoso. Nella tabella 1 sono mostrati i valori assegnati ai parametri richiesti dal codice di calcolo per la simulazione (GIOFFRÈ, 2005).

Una sintesi dei risultati della modellazione, proposta nella figura 2, mostra una soddisfacente simulazione della traiettoria e delle distanze percorse dalla colata, con una velocità media di propagazione di circa 5-6 m/s. Pur non avendo dati puntuali sulle reali altezze dei volumi di frana nella zona di arresto, dal confronto tra il volume effettivamente coinvolto nella colata, valutato dalle foto disponibili per la zona di valle, e quello valutato dalle simulazioni numeriche svolte, si evince che durante la propagazione si è verificato un notevole apporto al

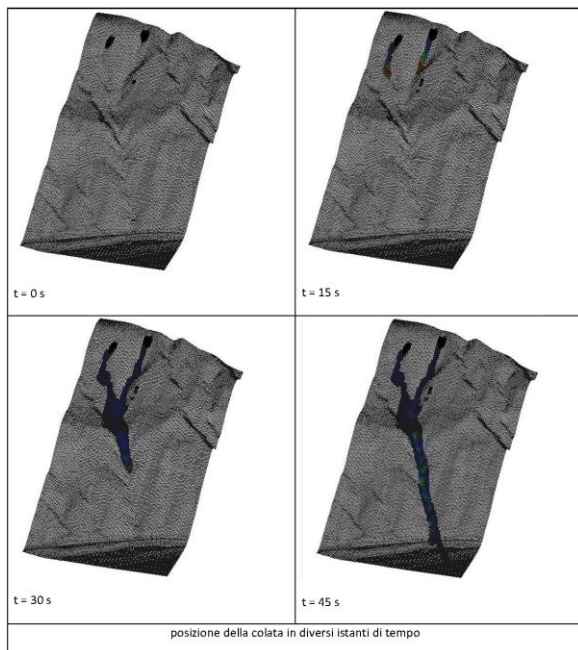


Fig. 2 – Risultati della modellazione con posizione della colata in diversi istanti di tempo.

volume in frana dovuto a fenomeni di erosione del fondo, non considerati nelle simulazioni numeriche condotte (fig. 2).

CONCLUSIONI

I rilevamenti geologici e geomorfologici di dettaglio condotti nell'area di Favazzina hanno evidenziato la presenza di diversi elementi di predisposizione per il verificarsi di frane superficiali e veloci: elevata acclività del versante, presenza di terreni di alterazione, presenza di elementi antropici (strade, sentieri e tagli) disposti ortogonalmente alla direzione di massima pendenza. La modellazione della colata del 12 maggio 2001 fornisce soddisfacenti indicazioni circa le modalità di propagazione (traiettorie, distanze e velocità) e indica fra gli approfondimenti di studio: la circostanziata delimitazione delle possibili zone sorgenti; la valutazione degli spessori dei terreni di alterazione e la loro caratterizzazione geotecnica; le possibili condizioni e meccanismi di innesco delle frane superficiali e la loro evoluzione cinematica da scorrimento in colata; una modellazione della propagazione delle colate idonea per una valutazione adeguata dei volumi totali coinvolti.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ANTRONICO L., GULLÀ G. & BORRELLI L. (2004) - *Shallow instabilities for sliding flow: regional influence and area affects*. Proceedings of the IX International Symposium on Landslides, 28 June-7 July 2004, Rio de Janeiro, Brasil. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 1381-1387.

- BONAVINA M., BOZZANO F., MARTINO S., PELLEGRINO A., PRESTININZI A. & SCANDURRA R. (2005) - *Le colate di fango e detrito lungo il versante costiero tra Bagnara Calabria e Scilla (Reggio Calabria): valutazioni di suscettibilità*. *Giornale di Geologia Applicata*, **2**, 65-74.
- COUSSOT P. & MEUNIER M. (1996) - *The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity*. *Earth Surface Landforms and Processes*, **24**, 1039-1054.
- FERRANTI L., MONACO C., MORELLI D., ANTONIOLI F. & MASCHIO L. (2008) - *Holocene activity of the Scilla Fault, Southern Calabria: Insights from coastal morphological and structural investigations*. *Tectonophysics*, **453**, 74-93.
- GIOFFRÉ D. (2005) - *Modellazione numerica dei fenomeni di frane di colata*. Tesi di dottorato, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria.
- GULLÀ G., ANTRONICO L., BORRELLI L., CALOIERO T., COSCARELLI R., IOVINE G., NICOLETTI P.G., PASQUA A.A., PETRUCCI O. & TERRANOVA O. (2009) - *Indicazioni conoscitive e metodologiche connesse all'evento di dissesto idrogeologico dell'autunno-inverno 2008-2009 in Calabria*. *Geologi Calabria*, Anno 10, **1**, 4-21.
- GULLÀ G., ANTRONICO L., IAQUINTA P. & TERRANOVA O. (2008) - *Susceptibility and triggering scenarios at a regional scale for shallow landslides*. *Geomorphology*, **99**, 39-58.
- GULLÀ G. & MATANO F. (1994) - *Proposta di una procedura per il rilievo del grado di alterazione di gneiss su fronti rocciosi*. *Geologica Romana*, **30**, 227-238.
- LACERDA W.A., (2004) - *The behavior of colluvial slopes in a tropical environment*. Proc. 9th Intern. Symp. on Landslides. Rio de Janeiro, Brazil, pp. 1315-1342.
- DEERE D. U. & PATTON F.D. (1971) - *Slope stability in residual soils*. Proceedings of the 4th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan, Puerto Rico, 87-170.
- PASTOR M., HADDAD B., SORBINO G., CUOMO S. & DREMPETIC V. (2008) - *A depth integrated, coupled SPH model for flow-like landslides and related phenomena*. *International for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, **33**, 143-172.
- PASTOR M., QUECEDO J.A., MERODO F., HERREROS M.I., GONZÁLEZ E. & MIRA P. (2002) - *Modelling of debris flow and flow slides*. *Numerical modelling in Geomechanics*, **6**, 1213-1232.
- WONG H.N., HO K.K.S., PUN W.K. & PANG P.L.R. (1998) - *Observations from some landslide studies in Hong Kong*. *Slope Engineering in Hong Kong*, Balkema, Rotterdam, pp. 277-285.