

PREVISIONE DELLE CARATTERISTICHE DINAMICHE DI UNA COLATA DI PROGETTO

Anna Maria Pellegrino¹ & Leonardo Schippa¹

(1) Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara

ASPETTI CHIAVE

- Esecuzione di analisi previsionali su due siti ad elevato rischio di colata rapida della regione Campania mediante due codici di calcolo, il 2D DAN-W ed il RASH3D, con il modello reologico Voellmy.
- Buona corrispondenza tra le due metodologie e pertinenza del modello reologico Voellmy alla simulazione di colate rapide nell'Appennino campano.
- La previsione delle dinamiche di potenziali eventi franosi è attendibile a patto di impiegare un'adeguata legge reologica per la modellazione della massa franante.

1 PREMESSA

Le coltri piroclastiche dei rilievi dell'Appennino campano sono frequentemente interessate da molteplici e catastrofici eventi di colata rapida, il cui verificarsi è conseguenza di una combinazione occasionale e particolarmente sfavorevole di diverse cause scatenanti (contesto strutturalmente predisposto all'instabilità, oscillazioni climatiche ed attività del substrato vegetale). La valutazione delle caratteristiche dinamiche degli eventi occorsi diventa un aspetto chiave per la definizione di modelli reologici della massa in frana che consentano sia l'interpretazione dei casi storici sia la previsione di quelli potenziali nonché la pianificazione di efficaci misure cautelative (Pellegrino et al., 2015). Scotto di Santolo & Evangelista (2009) hanno condotto analisi a ritroso di 57 casi storici ben documentati di colata rapida avvenuti sui rilievi dell'Appennino campano (Budetta & De Riso, 2004; Di Crescenzo & Santo, 2004), dimostrando che il modello reologico che meglio approssima il comportamento delle colate rapide campane è quello di Voellmy, ed inoltre gli autori hanno calibrato i parametri caratteristici del modello in funzione del percorso di propagazione seguito dalla massa in frana (colate su versante aperto, colate incanalate e colate di tipo misto). Considerando che siti non geograficamente lontani tra di loro e simili in quanto a caratteristiche topografiche e geomorfologiche possano avere simili comportamenti di propagazione, nel presente lavoro i modelli proposti dalla letteratura (Scotto di Santolo & Evangelista, 2009) sono stati adottati per svolgere diverse analisi previsionali su due siti a potenziale rischio di colata rapida della regione Campania. Avendo a disposizione non solo la topografia del sito in esame ma anche il DEM (Digital Elevation Model), sono stati impiegati due codici di calcolo: il DAN-W 2D (Hungry, 1995) ed il RASH^{3D} (Pirulli, 2005), basati entrambi sulla meccanica del continuo e sul concetto di assimilazione della massa franante ad un "corpo equivalente".

2 PREVISIONE ATTRAVERSO L'UTILIZZO DEL CODICE DI CALCOLO 2D DAN-W

Il codice numerico 2D DAN-W (Hungry, 1995) è stato utilizzato con riferimento ad un sito ad alto rischio della regione Campania, sede in passato di fenomeni di colata rapida (Figura 1a)), ubicato nel comune di Castellammare di Stabia (Napoli). Per definire le colate di progetto, si è fatto riferimento alla Carta dei Volumi Potenziali del territorio, redatta presso il Dipartimento di Geologia Applicata dell'Università di Napoli "Federico II" (Figura 1b)), che indica i siti ad elevato rischio di colata rapida e riporta le possibili zone di innesco e l'entità dei volumi mobilitabili. Nel presente lavoro sono state indagate le aree A2 e B2 (Figura 1b). Considerato l'andamento topografico e i volumi mobilitabili, si è ipotizzato che nell'area A2 le tipologie più probabili di colata potessero essere sia quella incanalata sia quella di tipo misto, quest'ultima con angolo apicale di circa 28° mentre nell'area B2 si è deciso di indagare la possibilità di colata su versante aperto, anche in questo caso con apertura areale di 28° (Di Crescenzo & Santo, 2004). Sono stati analizzati quattro possibili scenari, tre per il sito A2 ed uno per il sito B2, per ognuno dei quali si è ipotizzato il percorso di propagazione (Figura 2a, b, c, d)), il volume mobilitato V, la quota del distacco Q, la distanza percorsa L e lo spessore del manto piroclastico S sulla base delle caratteristiche medie delle colate avvenute nel passato (Budetta & De Riso, 2004; Di Crescenzo & Santo, 2004), così come riportato in Tabella 1.

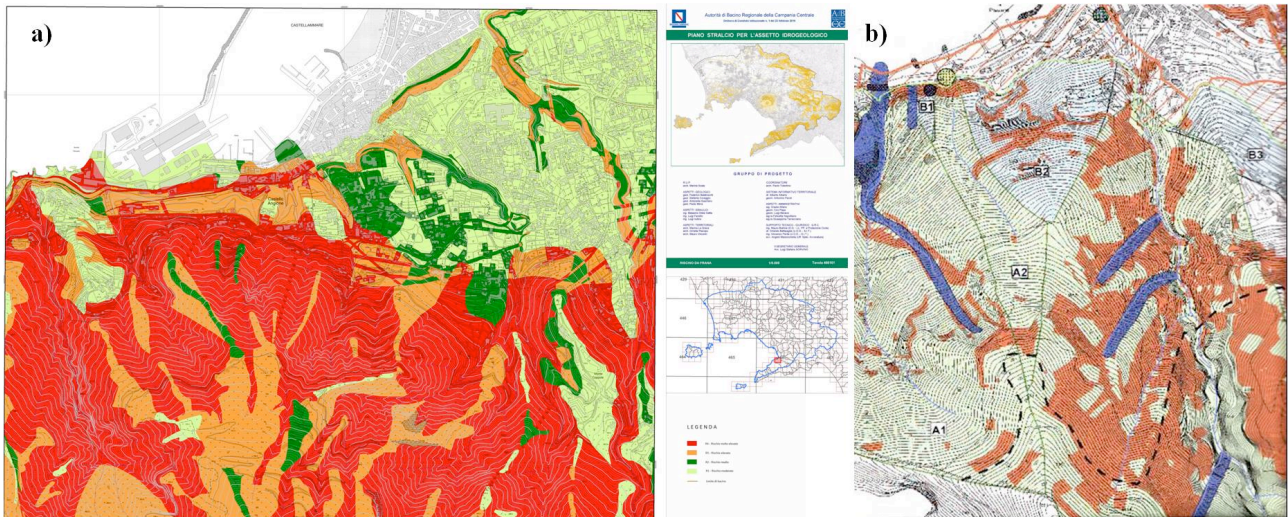


Figura 1. a) Estratto topografico delle zone di rischio frana del comune di Castellamare di Stabia dal Piano stralcio per l’assetto idrogeologico della regione Campania. b) Stralcio topografico del comune di Castellamare di Stabia dalla Carta dei Volumi Potenziali: le zone in colore rosso rappresentano le aree di probabile distacco, quelle in blu i percorsi seguiti dagli eventi di colata rapida verificatisi nel passato sul territorio e la linea rossa rappresenta la zona di massima invasione e di probabile transito delle potenziali colate rapide.

Colata	Percorso	V (m3)	Q (m)	L (m)	S (m)
A2min	Incanalata	850	300	530	2
A2max	Incanalata	7000	500	830	2
A2max	Mista	7000	500	830	2
B2	Versante aperto	850	180	366	2

Tabella 1. Ipotesi di progetto per i differenti scenari di colata rapida analizzati con il codice 2D DAN-W.

La distanza L è stata assunta pari a quella indicata dai geologi come massima zona di invasione (linea rossa in Figura 1a)), indagando circa la corrispondenza del modello proposto dalla Carta. Sulla base di quanto riportato da *Scotto di Santolo & Evangelista (2009)*, le simulazioni sono state condotte adottando differenti valori dei parametri caratteristici per il modello Voellmy in funzione della tipologia di percorso ipotizzata (coefficiente di turbolenza ξ (m/s²) ed il coefficiente d’attrito μ (-), *Hungr (1995)*) come mostrato in Tabella 2. In Figura 2 vengono riportate le ricostruzioni dei profili delle colate di progetto (profilo topografico e larghezza del canale di percorrenza; Figura 2 a), b), c), d)) ed i risultati delle analisi condotte in termini di profili di velocità (velocità del fronte e del retro della massa in frana; Figura 2 e), f), g), h)). Le misurazioni computate con il codice 2D DAN-W sono ulteriormente riassunte in Tabella 2, dove vengono riportati i valori della distanza percorsa ipotizzata (L) e calcolata (L_{DAN}), la velocità massima del fronte di colata e lo spessore dello strato che si deposita nella zona di presunto arresto della massa. Le simulazioni svolte con il codice di calcolo 2D DAN-W adottando i criteri sopraccitati hanno, innanzitutto, confermato la validità del modello Voellmy a rappresentare gli eventi di colata rapida accaduti sui rilievi campani ed hanno fornito risultati che ben si accordano con le conclusioni derivate dalle analisi a ritroso eseguite da *Scotto di Santolo & Evangelista (2009)* se confrontati con i valori medi registrati per le colate già avvenute nella zona oggetto di studio, sia in termini di distanza percorsa che di velocità massime raggiunte.

Colata	Percorso	ξ (m/s ²)	μ (-)	L (m)	L_{DAN} (m)	v_{MAX} (m/s)	S_{DEP} (m)
A2min	Incanalata	100	0.06	530	477	8.71	0.50
A2max	Incanalata	100	0.06	830	850.23	10	0.50-1.50
A2max	Mista	100	0.03	830	835.15	8.74	0.50-1.50
B2	Versante aperto	100	0.18	366	224	4.86	0.25

Tabella 2. Risultati delle analisi previsionali condotte con il codice 2D DAN-W per le colate di progetto considerate.

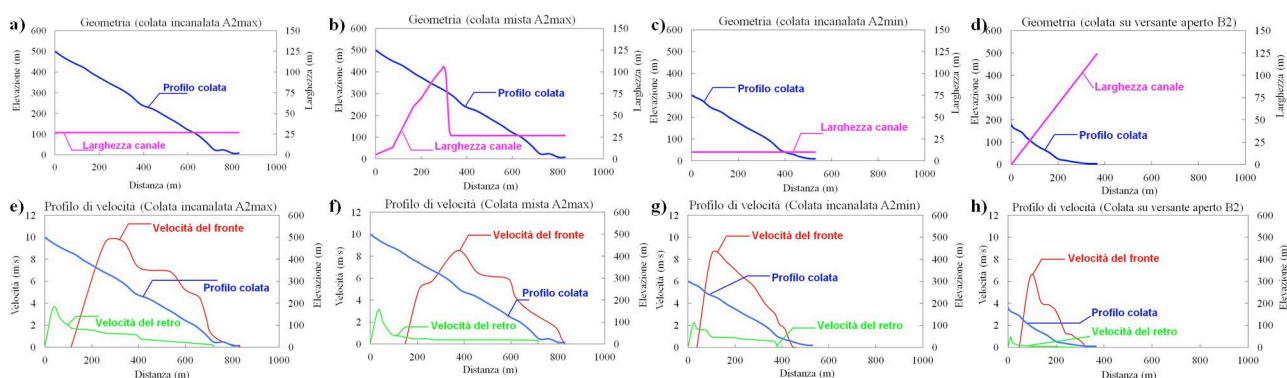


Figura 2 Profilo geometrico e larghezza del canale adottati per la colata a) A2max incanalata b) A2max mista; c) A2min incanalata; d) B2 su versante aperto. Profilo di velocità calcolato con il codice numerico 2D DAN-W per la colata e) A2max incanalata; f) A2max mista; g) A2min incanalata; h) B2 su versante aperto.

3 PREVISIONE ATTRAVERSO L'UTILIZZO DEL CODICE DI CALCOLO RASH^{3D}

Al fine di verificare i risultati ottenuti con il codice 2D DAN-W, si è deciso di analizzare il sito A2 con il codice RASH^{3D} (Pirulli, 2005), il quale permette di indagare la propagazione delle colate sulla reale topografia, senza dover ipotizzare a priori il profilo, la tipologia di cammino seguito dalla colata e quindi la larghezza del canale. In tal modo è possibile simulare i movimenti franosi su reali topografie tridimensionali permettendo, in questo modo, il superamento dei limiti connessi ai modelli bidimensionali. Il sito A2 (Figura 1b)) è stato considerato potenzialmente interessato da due colate come illustrato in Tabella 3. Le simulazioni sono state condotte impiegando il modello reologico di Voellmy, ai cui parametri caratteristici sono stati assegnati i seguenti valori, ossia coefficiente di turbolenza $\xi = 100 \text{ m/s}^2$ e coefficiente di attrito $\mu = 0.1$, secondo quanto riportato in *Scotto di Santolo & Evangelista (2009)*.

Lo svolgimento delle analisi eseguite con il codice RASH^{3D} ha convalidato non solo il percorso ipotizzato di tipo incanalato supposto per l'evento A2min ma anche la distanza percorsa. Infatti la colata A2min si incanala sin dall'inizio mantenendo tale la sua tipologia di cammino e non completa la distanza di probabile transito supposta dai geologi, propagando per circa 446 m con una velocità massima del fronte di 6 m/s e con spessori dello strato che si deposita dell'ordine dei 0.20 m. La colata A2max inizialmente propaga su versante aperto e poi si incanala alla quota di 300 m s.l.m., lungo due direzioni differenti, raggiungendo sia la strada sia il mare. Una esigua parte della massa si dirama sulla destra, verso il sito di Pozzano Bivio, dove già in passato si sono verificati eventi di colata rapida, per arrestarsi dopo poco con spessori dello strato che si deposita dell'ordine di 0.20 cm. La maggior parte della massa, invece, si incanala lungo la direzione seguita dalla colata A2min giungendo sino al litorale con spessori del deposito dell'ordine di 0.50 -1.50 m. La distanza percorsa dalla colata è di poco maggiore di 840 m ed è compatibile con il limite di invasione rappresentato dalla linea rossa della Carta redatta dai geologi, mentre la velocità massima raggiunta dal fronte è di 8 m/s. Tali risultati, se confrontati con quelli relativi alle analisi svolte con il DAN-W per il medesimo evento, sottolineano una leggera sovrastima del codice bidimensionale sia riguardo la distanza percorsa e sia riguardo i valori pertinenti la velocità. In generale, però, tale sovrastima risulta accettabile se relazionata al fatto che in entrambi i modelli la massa non propaga sino al limite designato dai geologi. Gli esiti delle analisi condotte con il codice RASH^{3D} ed il confronto con quelle condotte con il codice 2D DAN-W sono rappresentati in Figura 3 dove è possibile osservare il cammino seguito dalla colata, la distanza percorsa e lo spessore del deposito in ogni fase della propagazione.

Colata	V (m3)	Q (m)	S (m)
A2min	850	300	2
A2max	7000	500	2

Tabella 3. Ipotesi di progetto per i differenti scenari di colata rapida analizzati con il codice RASH^{3D}.

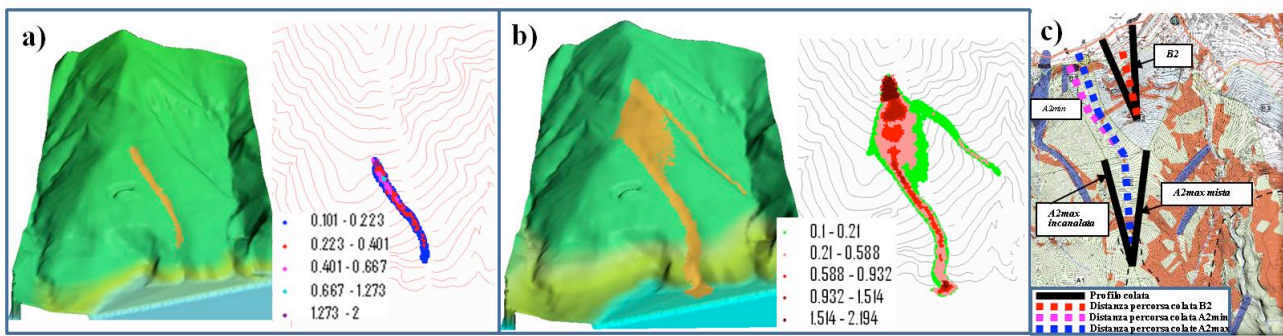


Figura 3 Risultati analisi previsionali con il codice RASH^{3D}: a) vista 3D del percorso seguito dalla colata e planimetria con dettaglio degli spessori depositati per il caso A2min; b) vista 3D del percorso seguito dalla colata e planimetria con dettaglio degli spessori depositati per il caso A2max. Risultati analisi previsionali con il codice 2D DAN-W: c) Profilo geometrico e distanza percorsa calcolata delle colate di progetto A2max incanalata, A2max mista, A2min incanalata e B2 su versante aperto.

4 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono state condotte analisi previsionali con riguardo al possibile verificarsi di eventi di colata rapida su un sito ad alto rischio frana della regione Campania mediante due codici di calcolo: il codice 2D DAN-W e il codice RASH^{3D}. I risultati di previsione ottenuti sono stati confrontanti riguardo la tipologia di propagazione (colate su versante aperto, miste ed incanalate); la distanza di massima invasione (L); la velocità massima (v_{MAX}) e l'entità degli spessori dello strato che si deposita (S). Si è riscontrata una buona corrispondenza tra le due metodologie e la pertinenza del modello reologico Voellmy alla simulazione di tali eventi (Scotto di Santolo & Evangelista, 2009). L'unica incertezza, è legata alla fase ultima di propagazione in presenza dello sbocco a mare: per quanto attiene la simulazione tridimensionale tale circostanza non permette di stabilire con assoluta certezza dove il flusso si arresti, poiché la massa sembra continuare la sua propagazione dopo l'ingresso in acqua, ma assume comunque scarsa rilevanza se riferita alle condizioni geografiche a cui si ascrive. Si ritiene, dunque, che, qualora si possano formulare ipotesi verosimili circa la tipologia di percorso, la sezione trasversale e la zona di innesco di un potenziale evento di colata rapida, i caratteri dinamici di possibili eventi franosi siano analizzabili anche mediante una modellazione bidimensionale a patto che venga utilizzato un adeguato modello reologico per la massa in frana (Pellegrino et al., 2015).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Budetta, P. & De Riso, R. The mobility of some debris flows in pyroclastic deposits of the northwestern Campanian region (southern Italy). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2004, 63, 293-302.
- Di Crescenzo, G. & Santo, A. Debris slides-rapid earth flows in the carbonate massifs of the Campania region (southern Italy): morphometric data for evaluating triggering susceptibility, *Geomorphology*, 2004, 66, 255-276.
- Hungr, O. A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows and avalanches, *Canadian Geotechnical Journal*, 1995, 32, 610-623.
- Pirulli, M. Numerical modelling of landslide runout A continuum mechanics approach, Ph.D. dissertation, The University of Torino, Italy, 2005.
- Pellegrino, A. M., Scotto di Santolo, A. & Schippa, L. An integrated procedure to evaluate rheological parameters to model debris flows, *Engineering Geology*, 2015, 196, 88-98.
- Scotto di Santolo, A. & Evangelista, A. Some observations on the prediction of the dynamic parameters of debris flows in pyroclastic deposits in the Campania region of Italy, *Natural Hazards*, 2009, 50, 605-622.