

LA STIMA QUANTITATIVA DEL RISCHIO DA FRANA (QRA): IL CASO DI STUDIO DI MONTE ALBINO (NOCERA INFERIORE)

Leonardo Cascini, Settimio Ferlisi, Giovanna De Chiara, Sabrina Mastroianni
Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno

l.cascini@unisa.it; sferlisi@unisa.it; giovannadechiara@hotmail.it; smastroianni@unisa.it

Sommario

La presente comunicazione illustra una metodologia utilizzata per la stima quantitativa del rischio (QRA) di perdita di vita umana per flussi iperconcentrati. L'area di studio considerata è il versante del Monte Albino (Nocera Inferiore, SA) che può essere sede di molteplici fenomenologie di flusso rapido, tra cui i flussi iperconcentrati. Sulla base dell'approccio metodologico proposto da Fell et al. (2005), l'analisi del rischio è articolata nelle tre fasi canoniche che contemplano, nell'ordine, l'analisi della pericolosità, l'analisi delle conseguenze e la stima del rischio.

Introduzione

Negli ultimi anni, anche a seguito del progressivo incremento nel tempo delle catastrofi connesse al verificarsi di fenomeni franosi, si è assistito ad un crescente interesse della Comunità Tecnica e di quella Scientifica verso la messa a punto di criteri di analisi e di zonazione del rischio da frana. A tal riguardo, per gli studi da condurre a scala di dettaglio (>1:5.000), le recenti Linee Guida sulla Zonazione della Suscettibilità, della Pericolosità e del Rischio da frana ai fini di pianificazione territoriale (Fell et al., 2008) raccomandano l'adozione di metodi avanzati per la Stima Quantitativa del Rischio (QRA).

Per la significativa mole di dati di input necessari e per la intrinseca complessità delle procedure da utilizzare, nel panorama internazionale esistono pochi esempi applicativi al riguardo (Hardingham et al., 1998; Corominas et al., 2005).

Nella presente comunicazione, con riferimento al versante di Monte Albino (Nocera Inferiore, SA) e a fenomeni di flusso iperconcentrato, si illustrano le procedure adottate e i risultati preliminari ottenuti relativamente alla stima quantitativa del rischio di perdita di vita umana che compete agli individui maggiormente esposti, residenti ai piedi del versante.

L'area di studio

Il versante di Monte Albino (Fig. 1) si sviluppa su una superficie complessiva di circa 400 ha; al suo interno si distinguono 10 bacini idrografici e 10 versanti aperti. Dal punto di vista geologico, Monte Albino è costituito da un substrato carbonatico (calcareo-dolomitico) ricoperto da depositi piroclastici, derivanti dalla deposizione dei materiali prodotti dall'attività vulcanica del Somma-Vesuvio e dei Campi Flegrei. Per la complessità del sistema geo-ambientale che lo caratterizza, il versante di Monte Albino può essere sede di molteplici fenomenologie quali i flussi iperconcentrati, le colate rapide di fango e le frane su versanti aperti (a tal riguardo, si ricorda l'evento del marzo 2005 che ha causato la perdita di 3 vite umane e danni rilevanti ad alcuni edifici).

Con riferimento ai flussi iperconcentrati, dalla curva cumulata (Fig. 2) dei dati relativi ad eventi occorsi nel passato e acquisiti attraverso documenti storici, si osserva che questi si ripetono con una certa continuità nel periodo per il quale vi è disponibilità di dati (dal 1707 al

1846). La stessa Figura mette, altresì, in luce come la occorrenza dei fenomeni censiti possa essere correlata con le eruzioni del Vesuvio e sia, in particolare, da legare all'azione dilavante esercitata da piogge di breve durata e di elevata intensità sul materiale piroclastico depositatosi per caduta sulla superficie topografica del versante. In considerazione della bassa probabilità annuale che si associa al verificarsi di significativi depositi piroclastici da caduta che si originano dal Vesuvio (De Natale et al., 2006), ai flussi iperconcentrati futuri potrà attribuirsi, in virtù della loro natura essenzialmente legata a fenomeni di tipo erosivo e non più di dilavamento, un periodo di ritorno pari a quello delle piogge che ne determinano l'innesco.

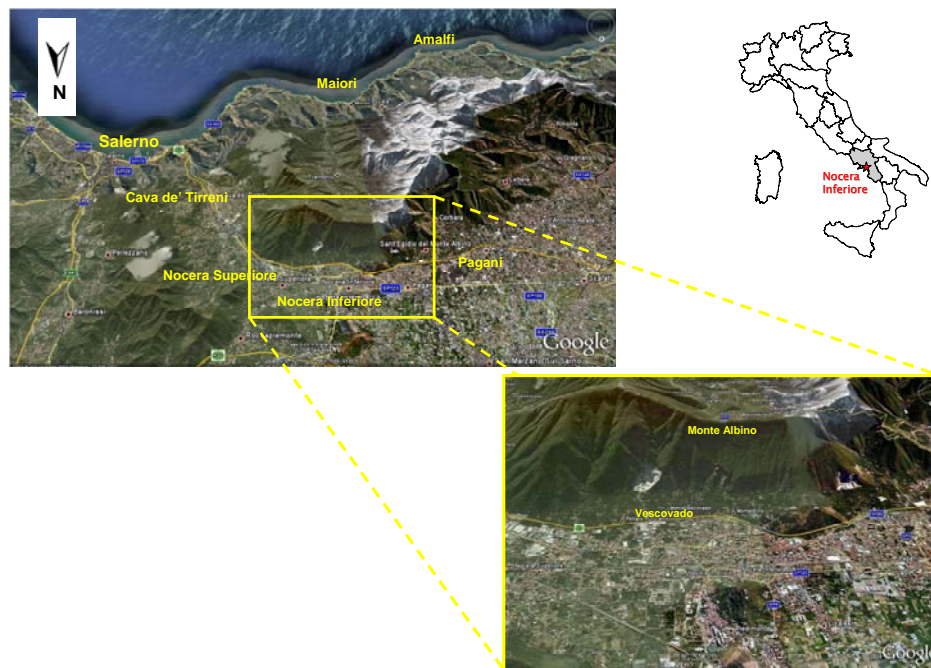


Figura 1. Comune di Nocera Inferiore e versante del Monte Albino oggetto dello studio.

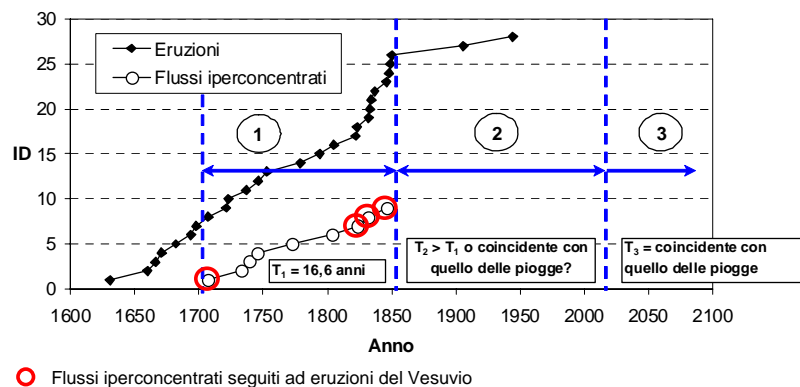


Figura 2. Curve cumulate nel tempo dei fenomeni di flusso iperconcentrato e delle eruzioni stromboliane del Vesuvio dal 1631 ad oggi.

La procedura adottata

La procedura adottata per la stima quantitativa del rischio per l'individuo maggiormente esposto si basa sull'approccio metodologico proposto da Fell et al. (2005) che contempla le fasi di analisi della pericolosità, analisi delle conseguenze e stima del rischio.

L'analisi della pericolosità consiste nella identificazione e caratterizzazione delle frane esistenti e/o potenziali, unitamente alla stima della loro frequenza di accadimento. L'analisi

delle conseguenze prevede, invece: l'identificazione e quantificazione degli elementi a rischio (persone, proprietà, beni ambientali e attività economiche); la stima della probabilità spaziale e temporale degli elementi a rischio; la stima della vulnerabilità degli elementi a rischio in termini di morte e/o ferimento di persone, di danno alle proprietà e/o ai beni ambientali, di interruzione di attività economiche.

Il rischio di perdita di vita umana dell'individuo maggiormente esposto può essere, infine, stimato in termini probabilistici attraverso l'espressione:

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(D:T)} \quad (1)$$

dove

$P_{(LOL)}$ è la probabilità annuale che l'elemento a rischio possa perdere la propria vita;

$P_{(L)}$ è la frequenza di accadimento del fenomeno franoso;

$P_{(T:L)}$ è la probabilità che la frana raggiunga l'elemento a rischio;

$P_{(S:T)}$ è la probabilità spaziale e temporale dell'elemento a rischio;

$V_{(D:T)}$ è la vulnerabilità dell'elemento a rischio.

I termini $P_{(L)}$ e $P_{(T:L)}$ rientrano nella fase di analisi della pericolosità mentre i termini $P_{(S:T)}$ e $V_{(D:T)}$ nella fase di analisi delle conseguenze.

Analisi della pericolosità

Nel versante di Monte Albino, i flussi iperconcentrati si verificano all'interno di incisioni o fossi a seguito del dilavamento o della asportazione per erosione di materiale solido operati dalle acque meteoriche. Per caratterizzare i fenomeni di flusso iperconcentrato è, pertanto, necessario, stimare i volumi di acqua mista a sedimenti che possono confluire a valle in concomitanza di eventi pluviometrici di assegnato periodo di ritorno (T). A tal fine, nell'ambito del presente lavoro, i volumi di acqua sono stati calcolati sulla base della procedura VAPI (Rossi e Villani, 1995) con riferimento a piogge aventi $T = 200$ anni. I volumi di materiale solido sono stati, invece, stimati adottando il modello di erosione proposto da Hungr (1995). Nella Tabella 1 sono riportati i valori, in termini di volumi di acqua (V_{acqua}) e di sedimenti (V_{sed}), calcolati per ciascuno dei 10 bacini e utilizzati come dati di input per l'analisi della fase di propagazione dei flussi iperconcentrati.

Quest'ultima è stata condotta utilizzando il codice di calcolo FLO-2D (O'Brien et al., 1993) che consente di integrare le equazioni del moto vario, mediate sulla verticale, su griglia ortogonale non strutturata, tenendo conto della eventuale presenza di ostacoli. A tal riguardo, i calcoli sono stati svolti utilizzando un accurato modello digitale del terreno derivante da un rilievo LIDAR con maglia 5 m x 5 m.

Bacino	$V_{sed} (m^3)$	$V_{acqua} (m^3)$	$V_{tot} (m^3)$	V_{sed}/V_{tot}
1	2069,5	3953	6023	0,34
2	2982,5	7052	10035	0,30
3	3119,5	6890	10010	0,31
4	1689,0	3038	4727	0,36
5	705,5	1778	2484	0,28
6	4068,0	7405	11473	0,35
7	2016,0	4918	6934	0,29
8	2964,0	8237	11201	0,26
9	799,0	4586	5385	0,15
10	679,0	2775	3454	0,20

Tabella 1. Dati di input utilizzati nelle analisi riguardanti la fase di propagazione dei flussi iperconcentrati.

Al fine di tener conto delle incertezze riguardanti la reologia dei materiali coinvolti, si sono ipotizzate tre diverse combinazioni dei valori dei parametri τ (resistenza al taglio alla base del flusso) e η (viscosità dinamica) da utilizzare nella modellazione della propagazione dei fenomeni. I risultati ottenuti per i tre scenari ipotizzati sono mostrati in Figura 3.

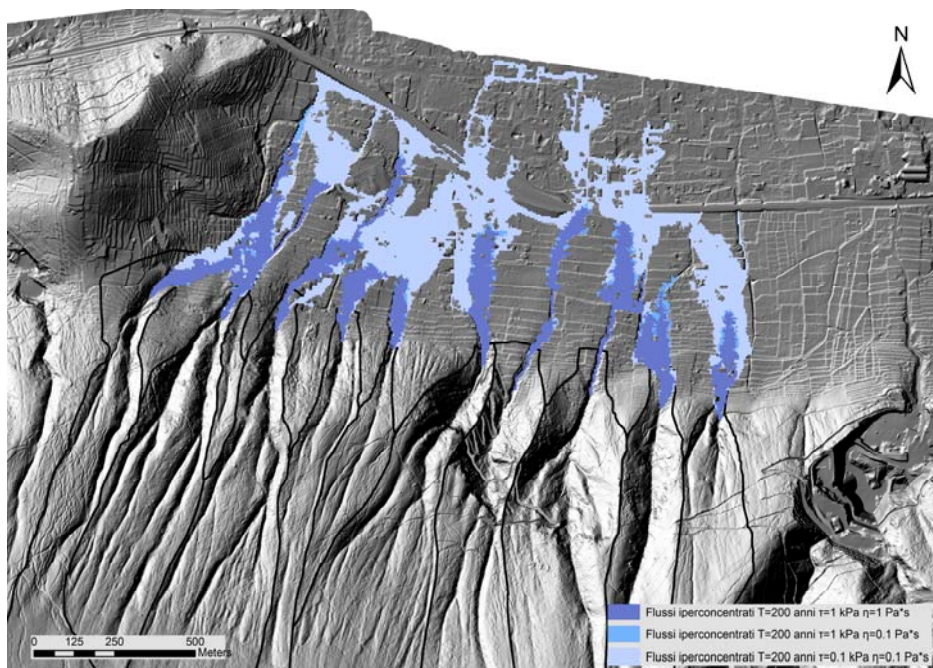


Figura 3. Risultati derivanti dall'applicazione del codice di calcolo numerico FLO-2D con riferimento alle aree invase dalla propagazione dei flussi iperconcentrati nei tre scenari ipotizzati.

Per ciò che concerne l'analisi di frequenza, laddove si adotti la distribuzione binomiale, si ha (Corominas e Moya, 2008):

$$P_{(L)} = 1/T$$

essendo $P_{(L)}$, più specificatamente, la probabilità annuale di un fenomeno di assegnata intensità che si verifica in media una volta ogni T anni.

Per il problema in esame, in cui 10 bacini possono essere potenzialmente interessati da fenomeni di flusso iperconcentrato il cui periodo di ritorno si assume coincidente con quello della pioggia che ne determina l'innesco ($T = 200$ anni), la frequenza è data da:

$$P_{(L)} = 1/200 \cdot 0,5 = 0,0025 \text{ eventi/anno}$$

avendo ulteriormente ipotizzato che, a seguito del predetto evento di pioggia, risultino contestualmente coinvolti da flussi iperconcentrati la metà dei bacini.

La simulazione della propagazione dei fenomeni ha consentito di individuare gli edifici interessati dall'impatto con i flussi per ciascuno degli scenari considerati. Sulla base di tali risultati, la probabilità $P_{(T,L)}$ che i fenomeni di flusso iperconcentrato raggiungano un dato edificio è stata assunta pari a: 1 qualora la casa risulti impattata dal flusso in tutti e tre gli scenari; 0,66 nel caso in cui la casa sia investita dal flusso in due scenari su tre; 0,33 se la casa è interessata dall'interazione col flusso soltanto in uno scenario.

Analisi delle Conseguenze

L'individuo maggiormente esposto al rischio corrisponde alla persona, facente parte di un nucleo familiare, cui compete la più alta probabilità spaziale e temporale $P_{(S,T)}$. Quest'ultima è stata computata in funzione del tempo di permanenza in casa dell'individuo, a sua volta dipendente dalla corrispondente età anagrafica; i valori adottati sono riportati nella Tabella 2.

Età (anni)	$P_{(S:T)}$
0 ÷ 5	1
6 ÷ 18	0,75
19 ÷ 65	0,5
66 ÷ 75	0,75
> 75	1

Tabella 2. Valori di probabilità spaziale e temporale adottati in dipendenza dell'età anagrafica dei residenti negli edifici impattabili da flussi iperconcentrati.

La vulnerabilità $V_{(D:T)}$ dell'elemento maggiormente esposto al rischio all'interno di ogni casa impattabile (ovvero con $P_{(T:L)}$ diverso da zero) è stata stimata attraverso un "approccio diretto" (Wong et al., 1997); i valori considerati sono riportati nella Tabella 3 in funzione dei dati di output del codice di calcolo numerico FLO-2D (altezza h e velocità v massime raggiunte dal flusso in corrispondenza di ogni cella del DTM). Questi ultimi, più precisamente, si sono fatti corrispondere ai massimi dei valori di velocità e di altezza del flusso ottenuti dal calcolo con riferimento alle celle adiacenti la casa, se questa è interessata dall'interazione col flusso soltanto in uno scenario di propagazione; se, invece, la casa risulta investita dal flusso in due scenari su tre o in tutti e tre gli scenari, per la stima dei valori di h e v da utilizzare in Tabella 3 si è proceduto al calcolo della media dei valori massimi di velocità e di altezza del flusso ottenuti dal calcolo, sempre con riferimento alle celle adiacenti la casa, nei due ovvero nei tre scenari considerati.

Scenario	Altezza h (m) / velocità v (m/s)	Valori di $V_{(D:T)}$
1. L'edificio colpito è inondato dal flusso al suo interno e le persone che in esso risiedono hanno un'alta probabilità di essere sepolte.	$h \geq 1$ e $v \geq 5$	0,15
	$h \geq 1$ e $1 \leq v < 5$	0,1
	$0,5 \leq h < 1$ e $v \geq 5$	0,1
2. L'edificio colpito è inondato dal flusso al suo interno e le persone che in esso risiedono hanno una bassa probabilità di essere sepolte.	$h \geq 1$ e $v < 1$	0,08
	$0,5 \leq h < 1$ e $1 \leq v < 5$	0,08
	$h < 0,5$ e $v \geq 5$	0,08
	$0,5 \leq h < 1$ e $v < 1$	0,05
	$h < 0,5$ e $1 \leq v < 5$	0,05
3. Il flusso impatta l'edificio senza inondarne l'interno.	$h < 0,5$ e $v < 1$	0,02

Tabella 3. Valori adottati con riferimento alla vulnerabilità $V_{(D:T)}$ dell'individuo maggiormente esposto al rischio da flussi iperconcentrati.

Stima quantitativa del rischio

I valori del rischio, ottenuti mediante l'equazione (1) sulla base di quanto determinato nelle precedenti analisi della pericolosità e delle conseguenze, sono stati utilizzati per la redazione di una carta (Fig. 4) nella quale, per ogni edificio impattato dal flusso iperconcentrato, si è rappresentata la probabilità annuale che la persona in esso residente e maggiormente esposta al rischio possa perdere la propria vita. Occorre rilevare che alcuni degli individui maggiormente esposti sono soggetti ad un rischio superiore a 10^{-4} /anno, valore corrispondente alla soglia di tollerabilità del rischio per l'individuo – da frane che possono originarsi da versanti naturali – stabilita dal Geotechnical Engineering Office (1998) di Hong Kong.

I risultati preliminari ottenuti, se da un lato consentono di fornire alcune indicazioni utili

all'individuazione dei più idonei interventi di mitigazione del rischio da flussi iperconcentrati, dall'altro pongono le basi per ulteriori applicazioni che dovranno anche riguardare le altre tipologie di fenomeni franosi che possono innescarsi sul versante.

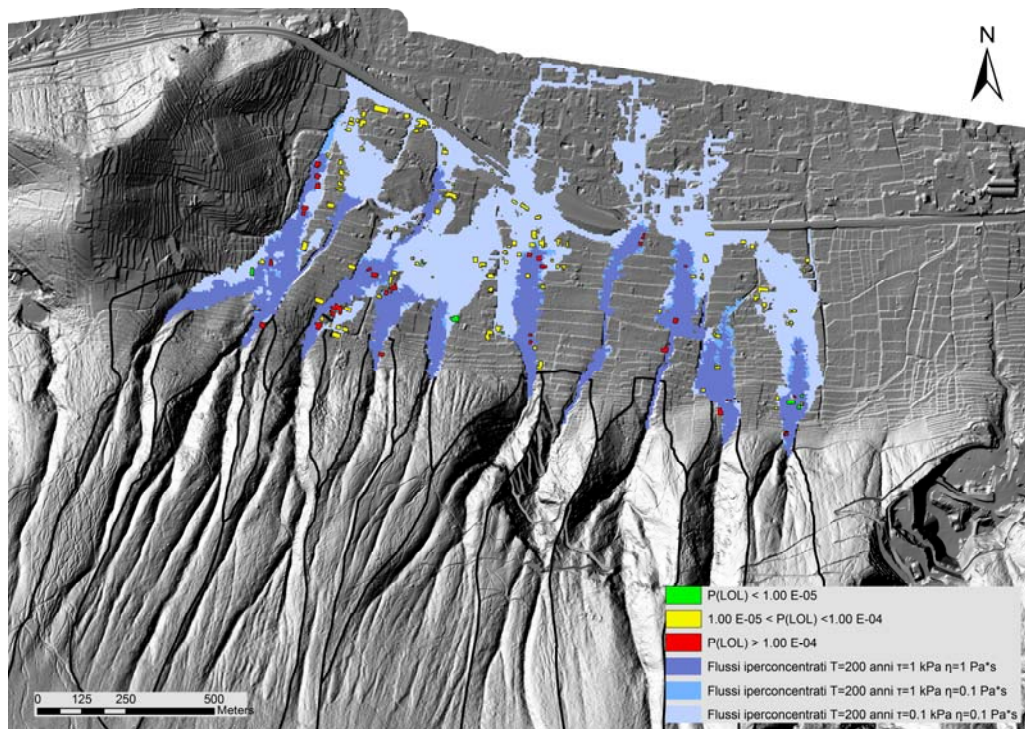


Figura 4. Carta del rischio di perdita di vita umana per flussi iperconcentrati.

Bibliografia

- Corominas, J., Copons, R., Moya, J., Vilaplana, J.M., Altimir, J., Amigó, J. (2005). Quantitative assessment of the residual risk in a rockfall protected area. *Landslides*, 2: 343-357.
- Corominas, J., Moya, J. (2008). A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. *Engineering Geology*, 102:193-213.
- De Natale, G., Troise, C., Pingue, F., Mastrolorenzo, G., Pappalardo, L. (2006). The Somma-Vesuvius volcano (Southern Italy): Structure, dynamics and hazard evaluation. *Earth-Science Reviews*, 74: 73-111.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, Ch., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z. on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102: 85-98.
- Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S., Leroi, E. (2005) A framework for landslide risk assessment and management. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhardt E. (eds.) *Landslide Risk Management*. Taylor and Francis, London, pp. 3-26.
- Geotechnical Engineering Office (1998). Landslides and Boulder Falls from Natural Terrain: Interim Risk Guidelines. *GEO Report No. 75*. Geotechnical Engineering Office, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region.
- Hardingham, A.D., Ho, K.K.S., Smallwood, A.R.H., Ditchfield, C.S. (1998). Quantitative risk assessment of landslides – a case history from Hong Kong. *Proc. of the Seminar on Geotechnical Risk Management*, Geotechnical Division, Hong Kong Institution of Engineers, pp. 145-152.
- Hungr, O. (1995). A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows and avalanches. *Canadian Geotechnical Journal*, 32: 610-623.
- O'Brien, J.S., Julien, P.Y., Fullerton, W.T. (1993). Two-dimensional water flood and mudflow simulation. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 119(2): 244-261.
- Rossi, F., Villani, P. (1995). Valutazione delle piene in Campania. *Pubbl. n. 1470 del GNDICI-CNR*.
- Wong, H.N., Ho, K.K.S., Chan, Y.C. 1997. Assessment of consequence of landslides. *Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment*, Honolulu, Hawaii, USA, pp. 111-149.