

SOGLIE PLUVIOMETRICHE PER L'INNESCO DEI MOVIMENTI FRANSI: APPLICAZIONE AL TERRITORIO DI ENNA

Valentina Lentini
Università di Catania
vleni@dica.unict.it

Francesco Castelli
Università di Enna Kore
francesco.castelli@unikore.it

Eusebio Castellano
Università di Enna Kore
eusebio.castellano@unikore.it

Sommario

Gli eventi pluviometrici rivestono un ruolo di primaria importanza nei problemi di stabilità dei pendii. Le condizioni climatiche ed in particolare la pioggia, rappresentano una delle principali cause di attivazione delle frane. In letteratura esistono molti casi di movimenti franosi generati da piogge intense di durata variabile da pochi minuti a diverse ore. Tra i diversi modelli proposti per studiare le frane innescate da piogge, nella memoria viene presentata un'applicazione al caso del territorio di Enna dei modelli idrologici, che si limitano ad individuare in maniera empirica le relazioni frane - piogge. Il modello utilizzato si basa sulla disponibilità di informazioni storiche relative ai fenomeni franosi, ed in particolare, alla individuazione temporale della loro mobilitazione, nonché sulla conoscenza delle precipitazioni che hanno preceduto il movimento franoso.

Schema generale dei modelli idrologici

Nonostante i modelli idrologici differiscono l'uno dall'altro è possibile individuare un unico schema generale nel quale inquadrarli (Cascini e Versace, 1986; 1988). Le informazioni necessarie per l'applicazione di un modello idrologico ai movimenti franosi innescati da piogge sono sostanzialmente due: il tempo di inizio del movimento franoso e l'andamento $X(t)$ delle intensità di pioggia, espresse ad esempio in mm/ora per un tempo sufficientemente lungo prima dell'inizio del movimento franoso. L'ipotesi di base è che esista una funzione di $X(t)$ tale che:

$$Y(t) = f[X(t), \tau \leq t] \quad [1]$$

legata all'evento franoso E_t al tempo t , in modo che la probabilità $P[E_t]$ che si verifichi l'evento E_t risulti una funzione di $Y(t)$. Il legame più semplice e largamente usato è quello a soglia, per cui definito con Y_{CR} il valore soglia di $Y(t)$, si ha:

$$P[E_t / Y(t) \leq Y_{CR}] = 0 \quad \text{e} \quad P[E_t / Y(t) \geq Y_{CR}] = 1 \quad [2]$$

In questo caso ovviamente:

$$P[E_t] = P[Y(t) \geq Y_{CR}] \quad [3]$$

Legami più complessi tra E_t ed $Y(t)$ sono tuttavia possibili (Sirangelo e Versace, 1992; 2002; Sirangelo e Braca, 2004) associando i valori di $P[E_t]$ a diversi valori di $Y(t)$.

Il problema fondamentale dei modelli idrologici consiste nella identificazione della funzione $Y(t)$ che dovrebbe esprimere l'accumulo di acqua nel versante. La struttura di tale funzione in ogni caso deve essere semplice e contenere un numero molto limitato di parametri, i quali possono essere identificati solo attraverso l'analisi dei dati storici. Il modello proposto nella memoria prende in esame la pioggia cumulata in un intervallo θ :

$$Y(t; \theta) = \int_{t-\theta}^t X(\tau) d\tau \quad [4]$$

Per la determinazione dei parametri si può utilizzare un modello probabilistico capace di descrivere la variabile $Y(t)$ o una variabile ad essa collegata, quale ad esempio il suo massimo annuale Y_M (Sirangelo e Versace, 2002).

In alternativa, la stima può essere effettuata, in modo più semplice, individuando i valori di $Y(t)$ relativi agli istanti t_i^* di inizio dei movimenti franosi. Tale procedura si fonda quindi sull'analisi dei casi critici dei valori di $Y(t)$, confrontando le date in cui tali casi critici si sono verificati con le date delle mobilitazioni.

La definizione del valore soglia Y_{CR} tiene conto del fatto che esso rappresenta l'elemento di separazione tra i periodi in cui può sussistere il movimento franoso ($Y > Y_{CR}$) ed i periodi in cui è da escludere qualsiasi movimento ($Y \leq Y_{CR}$). Il valore soglia Y_{CR} deve essere scelto con il duplice obiettivo di rendere minime le situazioni di falso allarme e parimente di evitare che in concomitanza di un movimento franoso ci si trovi in stato di non allarme. Si può assumere come valore soglia Y_{CR} :

$$Y_{CR} = \alpha * \min_{i=1,n} [Y(t_i^*)] \quad [5]$$

essendo α un coefficiente inferiore all'unità. Più è piccolo α minore sarà la vulnerabilità dell'area a rischio ma più lungo sarà il periodo di allarme (Filice e Versace, 1990).

Inquadramento dell'area

L'area oggetto di studio è rappresentata dal territorio di Enna. La città sorge sui Monti Erei da una quota di 650 m fino ad una quota di 1000 m s.l.m. con acclività superiore al 35%.

Geologia, morfologia e idrogeologia

La geologia del territorio è caratterizzata da formazioni geologiche riconducibili ad un intervallo di tempo che va dal Cretaceo superiore al Pleistocene. In particolare, sono presenti la formazione delle argille scagliose del Cretaceo, i terreni argillo - sabbiosi tortoniani, i termini della serie gessoso - solfifera, ed i depositi pliocenici e pleistocenici trasgressivi. Si osservano, infine, vaste coperture recenti costituite da depositi detritici, da terreni alluvionali ed infine da discariche di origine antropica (Figura 1).

I lineamenti morfologici risentono degli effetti delle azioni tettoniche e delle forti azioni erosive che si sono succedute nel territorio. Nello specifico, le azioni erosive hanno determinato un'attiva dinamica geomorfologia in corrispondenza delle formazioni argillose - marnose, dove le acque esercitano una continua e diffusa azione erosiva, disegnando una morfologia calanchiva a versanti acclivi. L'area oggetto di studio è infatti caratterizzata dalla presenza di impluvi e displuvi di natura erosiva.

L'idrografia del territorio è determinata dal torrente *Torcicoda*, il quale si estende per una vasta area, collegandosi al fiume *Salso*. Per quanto riguarda la circolazione di acque sotterranee, piccole sorgenti si riscontrano al limite geologico tra le formazioni permeabili, quali calcareniti, che costituiscono il principale acquifero della zona, ed il substrato impermeabile, costituito dalle marne e dalle argille.

La prevalenza dei terreni impermeabili rispetto a quelli permeabili influisce direttamente sul

deflusso superficiale, determinando una maggiore azione erosiva operata dalle acque di precipitazione meteorica, soprattutto dove non è presente copertura vegetale.

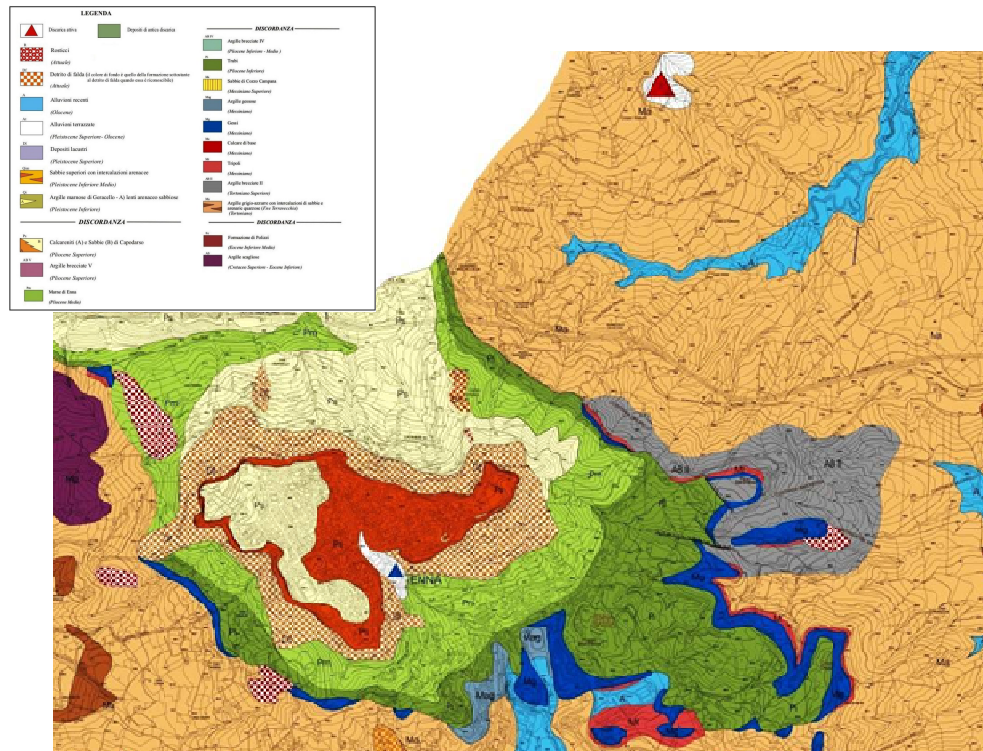


Figura 1. Carta geologica dell'area di Enna.

Caratteristiche geotecniche dei terreni

In generale, è possibile individuare quattro unità litologiche principali: marne argillose, formazioni argillose, marne argillose plioceniche e sabbie. In Tabella 1 sono riportati i valori medi dei principali parametri geotecnici in funzione delle unità litologiche sopracitate.


Tabella 1. Parametri geotecnici per l'area di Enna.

Unità litologica	Peso dell'unità di volume γ [kN/m ³]	Angolo di attrito ϕ' [°]	Coesione c' [kN/m ²]
Marne argillose	18.6 - 19.0	21 - 22	10 - 15
Formazioni argillose	19.0 - 19.4	20	10
Marne argillose pleistoceniche	18.8 - 19.6	22 - 23	10 - 25
Sabbie	18.0 - 18.2	28 - 29	0


Inventario delle frane censite nel territorio di Enna

Al fine di applicare il modello idrologico all'area di studio sono stati reperiti una serie di dati e di informazioni disponibili sullo stato di attività dei fenomeni franosi relativi al territorio ennese. L'area è caratterizzata da fenomeni di scivolamento, smottamento, colamento e movimenti complessi.


In particolare, sono state censite una serie di frane verificatesi nell'arco temporale 1990-2005 e per ciascuna di esse sono state compilate delle apposite schede (Figura 2), contraddistinte con un numero identificativo, riportanti la data dell'evento franoso, il tipo di movimento, la geologia e l'acclività dell'area.

Evento n°		Movimento	Geologia	Pendenza	Copertura vegetale
1		Scivolamento	Argille grigio azzurre con intercalazione di sabbie e arenarie quarzose	30° - 35°	Prato per pascolo
13/10/1991					


(a)

Evento n°		Movimento	Geologia	Pendenza	Copertura vegetale
10		Smottamento	Argille grigio azzurre con intercalazione di sabbie e arenarie quarzose	25° - 30°	Prato per pascolo
16/10/2003					

(b)

Evento n°		Movimento	Geologia	Pendenza	Copertura vegetale
11		Ribaltamento e Movimento Complesso	Marne di Enna	45° - 50°	Macchia cespugli
30/11/2003					

(c)

Evento n°		Movimento	Geologia	Pendenza	Copertura vegetale
15''		Smottamento	Argille grigio azzurre con intercalazione di sabbie e arenarie quarzose	25° - 30°	Prato per pascolo
06/03/2005					

(d)

Figura 2. Frane indotte dalle precipitazioni meteoriche nel territorio ennese.

Applicazione del modello idrologico al territorio di Enna

Ai fini dell'applicazione all'area oggetto di studio del modello idrologico appena descritto si è fatto riferimento ai dati di precipitazione giornaliera registrati dalla stazione pluviometrica di Enna. In Figura 3 sono riportati i totali annui di precipitazione misurati dal 1989 al 2005.

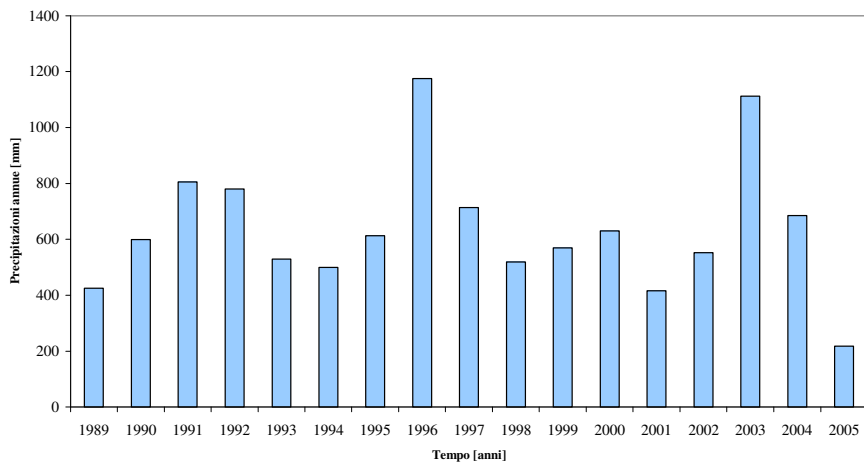


Figura 3. Precipitazioni annue registrate dal 1989-2005 nella zona di Enna.

Il modello idrologico si basa sulle informazioni storiche relative ai fenomeni franosi ed in particolare alle date degli eventi ed alle precipitazioni meteoriche che li hanno preceduti. A titolo di esempio, viene riportato uno dei casi studiati (Evento n°1 del 13/10/1991).

In Figura 4a è mostrato l'andamento delle piogge giornaliere nei mesi immediatamente precedenti e seguenti la mobilitazione del 13/10/1991, con un picco pari a 197,4 mm in concomitanza della data dell'evento franoso. Poiché non sempre si ha la corrispondenza tra evento di pioggia eccezionale e movimento franoso, il modello tiene conto della pioggia cumulata in un intervallo di tempo θ .

Sono state elencate le date di precipitazione e la pioggia cumulata $Y(t)$, evidenziando i primi cinque casi critici del periodo di osservazione (7 mesi) ovvero del giorno in cui si registrano i valori massimi delle piogge cumulate nell'intervallo di tempo θ . La procedura utilizzata consiste nel confrontare le date in cui i casi critici si sono verificati con le date delle frane. Tale confronto viene ripetuto per diversi valori di θ fino a quando il valore del primo caso critico è prossimo alla data di mobilitazione della frana.

Per l'evento del 13/10/1991, in Figura 4b è riportata la serie temporale delle piogge cumulate per $\theta=40$ giorni con un picco $Y(t) = 255.4$ mm. Infine, è stata calcolata la soglia critica $Y_{CR} = 229.9$ mm avendo posto $\alpha = 0.9$ e la durata del periodo di allarme pari a $W_p = 7$ giorni con riferimento al periodo di osservazione. In Tabella 2 sono riportati i risultati ottenuti per tutti i casi analizzati.

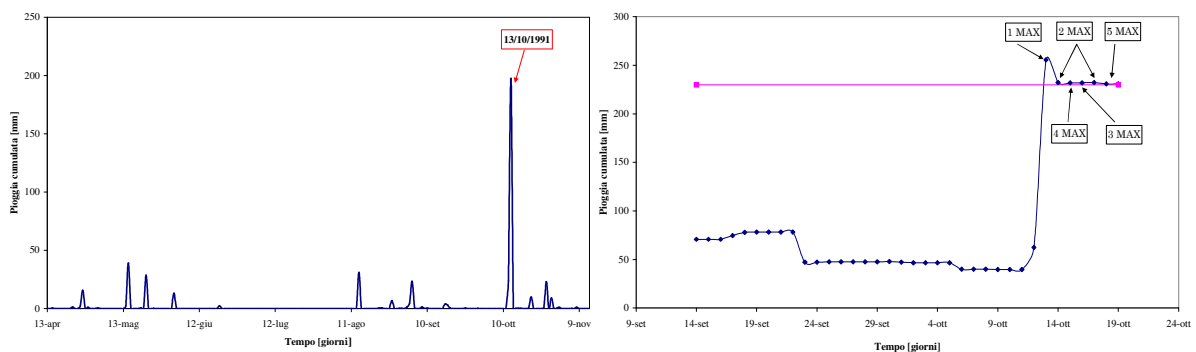


Figura 4. (a) Pioggia giornaliera dal 12 Aprile 1991 al 13 Novembre 1991; (b) pioggia cumulata per 40 giorni.

Tabella 2. Pioggia cumulata, valore critico e periodo di allerta per le frane censite.

Evento n°	Data	Pioggia Cumulata		Valore soglia	Periodo allarme
		θ [giorni]	$Y(t)$ [mm]	Y_{cr} [mm]	W_p [giorni]
1	13/10/1991	40	255,4	229,9	7
2	19/01/1996	130	397,2	357,5	12
3	02/04/1996	120	582,4	524,2	29
4 - 5 - 6 - 7	08/09/1999	110	76,2	68,5	7
8	30/11/1999	84	270,0	243,0	7
9 - 10	16/10/2003	120	256,4	230,8	7
11	30/11/2003	47	347,2	312,5	7
12 - 13	12/12/2003	30	245,0	220,5	7
14 - 15' - 15'' - 15''' - 16 - 17	06/03/2005	8	41,6	37,4	7
18 - 19	12/04/2005	8	40,2	36,2	1

Conclusioni

Nella valutazione del rischio da frana, oltre alle indagini geologiche, geotecniche ed idrauliche, riveste un ruolo di primaria importanza lo studio idrologico dell'area. Nel presente studio l'attenzione è stata rivolta, in particolare, ai modelli idrologici basati sulla individuazione dei legami empirici tra piogge e frane, sulla base dei dati disponibili con particolare riferimento al territorio della città di Enna.

Uno dei limiti di tali modelli è rappresentato dal fatto che essi possono essere utilizzati solo in quei casi in cui il versante è stato già interessato da piogge. Tuttavia, l'approccio consente di schematizzare il problema dei movimenti franosi innescati da piogge intense, determinando il valore di soglia ed il periodo di allarme corrispondente. E' possibile pertanto disporre di uno strumento adatto alla valutazione della pericolosità di un'area soggetta a rischio di frana e poter predisporre appositi sistemi di allerta.

Bibliografia

- Cascini L. e Versace P., (1986). Eventi pluviometrici e movimenti franosi. Atti del XVI Convegno Nazionale di Geotecnica, Bologna.
- Cascini L. e Versace P., (1988). Relationship between rainfall and landslides in gneissic cover. Fifth International Symposium on Landslides, Losanna 1988.
- Filice E. e Versace P., (1990). Identificazione delle piogge capaci di innescare movimenti franosi. Proceedings of the XXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Cosenza, 4-7 Ottobre pp. 343 - 369.
- Sirangelo B. e Braca G., (2004). Identification of hazard conditions for mudflow occurrence by hydrological model Application of FLAIR model to Sarno warning system. Engineering Geology Journal n.73 (2004), pp.267 - 276.
- Sirangelo B. e Versace P., (1992). Modelli stocastici di precipitazione e soglie pluviometriche di innesco dei movimenti franosi. Atti XXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 31 Agosto-4 Settembre 1992. Florence, pp. D361- D373.
- Sirangelo B. e Versace P., (2002). Un modello probabilistico per la predizione in tempo reale delle altezze di precipitazione a scala oraria. Atti XXVIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 16-19 Settembre 2002. Potenza, pp. 395 - 414.