

## **Creazione di un database per l'applicazione di modelli empirici di analisi di dissesto idrogeologico da precipitazione nel territorio Siciliano**

Elisa Arnone, Luigi Lo Bianco, Antonio Francipane, Francesco Lo Conti, Leonardo V. Noto, Goffredo La Loggia

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aeronautico, dei Materiali, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, Ed. 8, 90128 Palermo, tel. 091-23896544, e-mail: elisa.arnone@unipa.it

### **Riassunto**

La previsione di fenomeni di dissesto idrogeologico è uno strumento essenziale di supporto alle decisioni per una corretta pianificazione del territorio. Tra tali fenomeni quelli franosi possono assumere dimensioni particolarmente rilevanti. Il fattore scatenante più ricorrente nella gran parte dei casi di frane documentate è costituito dalle precipitazioni. La letteratura scientifica propone diverse metodologie di analisi volte a fornire strumenti di pre-allarme in vista di un evento meteorico critico o di derivazione di mappe tematiche delle aree a maggiore suscettibilità franosa. I modelli empirici per la derivazione di soglie pluviometriche critiche di innesco risultano tra i più utilizzati, identificando il valore minimo o massimo di precipitazione necessaria per innescare il processo franoso ad una fissata durata. La soglia è generalmente descritta da una relazione funzionale di potenza sul piano Intensità-Durata della pioggia i cui parametri vengono stimati empiricamente dall'analisi degli eventi meteorici storici che hanno innescato eventi franosi. Per poter condurre una simile analisi è dunque fondamentale la creazione di un opportuno database di eventi storici franosi e dei corrispondenti eventi di pioggia scatenanti.

Il presente studio descrive la creazione di un accurato dataset per il territorio Siciliano a partire da un database di frane storiche e da uno dei dati pluviometrici, che permette di associare ad ogni frana i dati di pioggia che presumibilmente hanno innescato la frana stessa. Il dataset delle frane è stato derivato dall'archivio on line del Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche (SICI) ideato nell'ambito del progetto AVI (Aree Vulnerabili Italiane). I dati pluviometrici sono stati ricavati dalla rete di monitoraggio della regione Sicilia, gestita dall'Osservatorio delle Acque-Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (OA-ARRA). La creazione di un simile dataset richiede un'accurata analisi delle informazioni temporali e spaziali dei due database, non sempre facilmente reperibili.

### **Abstract**

*Landslides are particularly relevant phenomena which deeply affect the proper territory management. Among the landslide triggering factors, precipitation is surely the most common in many documented landslides. The scientific literature proposes different analysis methods aimed to provide early warning tools for critical rainfall events or thematic maps of the highest landslide susceptible areas. The empirical models for the derivation of critical rainfall thresholds are the most used in literature and identify the minimum or maximum value of precipitation needed to trigger the landslide process, at a fixed duration. The threshold is generally described by a power relationship Intensity-Duration, whose parameters are empirically estimated from the analysis of the historical rainfall events that triggered past landslides. In order to conduct such an analysis is therefore essential to create a suitable database of historical events, of both rainfall and landslides. The present study describes the procedure carried out to create and test an accurate dataset for Sicily region, starting from a database of past landslides and one of the rainfall data, by assigning*

*to each landslide the rainfall event that likely triggered the movement. The landslide dataset was derived from the on-line archive Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche (SICI), developed under the AVI (Aree Vulnerabili Italiane) project. The rainfall data were obtained from the raingauges network of Sicily, run by Osservatorio delle Acque–Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (OA-ARRA). The creation of a similar dataset requires an accurate analysis of the temporal and spatial information of the two databases, not always easily available.*

### **Introduzione**

Le precipitazioni costituiscono il fattore scatenante più ricorrente nella gran parte dei casi di frane documentate, note in letteratura come *rainfall-triggered landslides* (Arnone et al., 2011). Esse determinano direttamente ed indirettamente lo stato di saturazione del suolo, ovvero il regime delle pressioni interstiziali nella massa rocciosa o detritica, che influenzano negativamente l'equilibrio naturale. Per tal ragione, l'analisi delle precipitazioni e delle sue interazioni con il terreno assume un ruolo fondamentale nell'analisi delle frane attivate da precipitazione. La letteratura scientifica propone diverse metodologie di analisi volte a fornire strumenti di pre-allarme, in vista di un evento meteorico critico, o mappe tematiche delle aree a maggiore suscettibilità franosa (La Loggia et al., 2012). Per la semplicità di approccio, i modelli basati su metodologie empiriche sono tra i più utilizzati. Essi fanno uso delle relazioni tra intensità, durata, altezza di pioggia giornaliera e pioggia cumulata per definire valori soglia di precipitazione a partire da un database di frane avvenute in passato (Caine, 1980; Campbell, 1975; Starkel, 1979). L'osservazione dei fenomeni franosi del passato, infatti, testimonia che esiste un legame diretto tra questi e le precipitazioni. Fermo restando che ogni fenomeno franoso risponde singolarmente e in modo peculiare alle precipitazioni, è noto che a periodi di eccezionale piovosità corrispondono periodi di eccezionale franosità e che le variazioni mensili nella frequenza delle frane ben si accordano con le variazioni mensili nella quantità di pioggia.

Le soglie identificano il valore minimo o massimo di precipitazione necessaria per innescare un processo o un cambiamento a fissata durata (White et al. 1996). La soglia minima definisce il valore sotto il quale il processo non si verifica mai; la soglia massima, invece, definisce il valore sopra il quale il processo si verifica sempre (Crozier, 1996; Guzzetti et al., 2007). La precipitazione viene generalmente espressa in termini di intensità (soglie di tipo *I-D*) e dunque la soglia viene descritta da una relazione funzionale di potenza sul piano *I-D* i cui parametri vengono stimati empiricamente dall'analisi degli eventi meteorici storici che hanno innescato eventi franosi. Per poter condurre una simile analisi è dunque fondamentale la creazione di un opportuno database di eventi storici franosi e dei corrispondenti eventi di pioggia scatenanti. La qualità e l'affidabilità dei dati storici sono determinanti per una buona performance del modello, così come per i modelli statistici o data-driven (Arnone et al., 2013).

Il presente lavoro descrive le analisi condotte per la creazione di un accurato dataset ai fini della realizzazione di soglie pluviometriche di innesco frane per il territorio Siciliano, a partire da un database di frane storiche e da uno di dati pluviometrici. Fase cruciale della procedura è l'individuazione degli eventi meteorici che verosimilmente hanno innescato le frane selezionate. Il dataset delle frane è stato derivato dall'archivio on line del Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche (SICI) ideato nell'ambito del progetto AVI (Aree Vulnerabili Italiane) commissionato per il censimento delle aree del paese colpite da frane e da inondazione. In particolare, sono state selezionate le frane innescate da precipitazione di cui si conoscono la data di innesco e le coordinate, informazioni necessarie per tale analisi. I dati pluviometrici sono stati ricavati dalla rete di monitoraggio della regione Sicilia, gestita dall'Osservatorio delle Acque–Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (OA-ARRA).

### **Analisi dell'archivio delle frane**

La ricerca dei dati per la creazione dell'archivio frane, è stata effettuata presso gli archivi on line di diversi enti e progetti relativi all'analisi del rischio idrogeologico. In particolare, sono stati

consultati i siti web della regione Sicilia con i Piani Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (<http://www.sitr.regione.sicilia.it>), quello dell' Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) nell'ambito del progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) (<http://www.isprambiente.it>) e quello del Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche (SICI) ideato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) nell'ambito del progetto AVI (Aree Vulnerabili Italiane) commissionato dalla protezione civile per il censimento delle aree del paese colpite da frane e da inondazione (<http://sici.irpi.cnr.it/>). L'archivio AVI è risultato essere il più completo, includendo non solo le informazioni circa le caratteristiche e la localizzazione dell'evento franoso, ma anche le informazioni sulla data di accadimento dell'evento, informazione cruciale per individuare il relativo evento meteorico di innesco. Lo stesso database è stato utilizzato in altri lavori della letteratura scientifica Siciliana (Basile, 2007; Peres e Calcelliere, 2012), tuttavia, il presente studio differisce per i criteri di selezione degli eventi.

Il Progetto AVI fornisce il censimento delle aree storicamente vulnerate da calamità geologiche (frane) ed idrauliche (piene) dal 1838 al 2001 in Italia. Ad ogni evento è allegata una scheda di censimento che riporta informazioni amministrative, cartografiche, cause innescanti, informazioni morfologiche, geologiche e geotecniche, tipo di cinematismo, informazioni sui danni, la documentazione disponibile e le informazioni censuarie.

Tra tutte le frane che costituiscono la banca dati, gli eventi innescati da precipitazione per cui è noto il giorno, il mese, l'anno di innesco e le coordinate (UTM) sono quelli di interesse ai fini dell'applicazione dei metodi empirici. Questi costituiscono il 35% delle frane (762 eventi); di queste, il 71% è localizzabile tramite coordinate UTM (Figura 1b), per un numero complessivo di eventi selezionati pari a 540.

La Figura 1a riporta le percentuali in funzione del tipo di cinematismo associato a ciascuno dei 540 eventi: il 13% sono crolli, il 5% sono scorrimenti, il 5% sono complesse e il restante 2% sono colate. Per il 75% delle frane non è stato individuato un particolare cinematismo. Tuttavia, dal momento che la causa scatenante (la precipitazione) è una componente comune, questi sono stati comunque selezionati ai fini dell'analisi. La Figura 1b mostra la distribuzione in frequenza degli eventi nelle provincie Siciliane; il maggior numero di frane verificatesi è nella provincia di Messina.

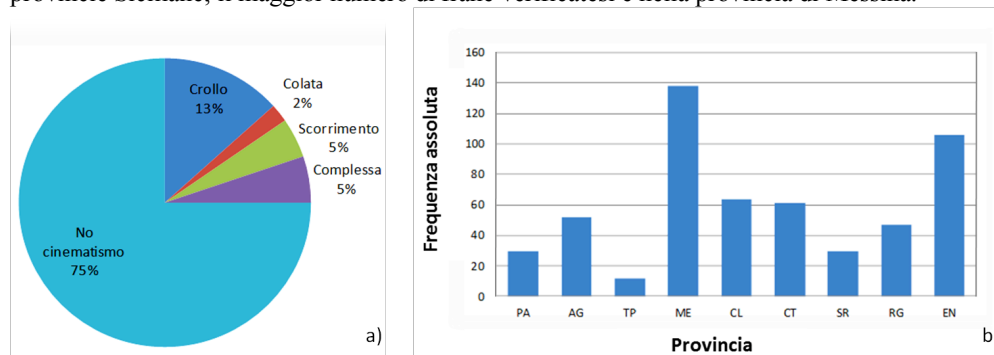


Figura 1. Tra tutte le 540 frane selezionate, il 75% non ha informazioni sul cinematismo, il 13% sono crolli, il 5% sono scorrimenti, il 5% sono complesse e il restante 2% sono colate (a). Numero di frane per provincia dal 1838 al 2001 (b).

La distribuzione spaziale delle frane è riportata in Figura 2, e mostra come la costa ionica sia la parte del territorio messinese più colpita. La mappa consente di assegnare ad ogni frana la o le stazioni pluviometriche vicine, per individuare gli eventi meteorici relativi a ciascuna frana. E' utile verificare, inoltre, che la stazione pluviometrica ricada all'interno dello stesso bacino idrografico in cui è avvenuta la frana: la distribuzione delle precipitazioni, infatti, può assumere caratteristiche marcatamente diverse in bacini limitrofi (versanti destro e sinistro oppure zona di testata e fondovalle).

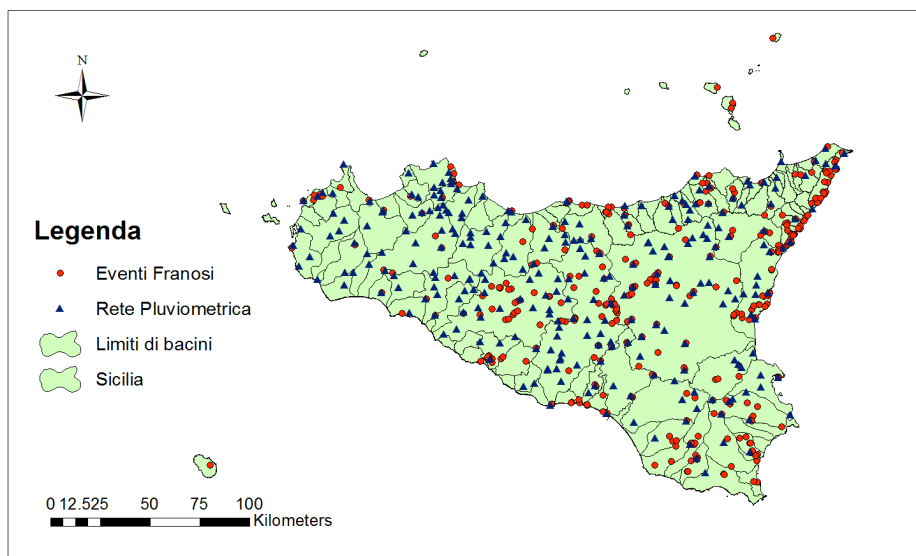


Figura 2. Distribuzione spaziale degli eventi franosi selezionati dall'Archivio AVI e della rete pluviometrica (OA-ARRA).

### Analisi dei dati pluviometrici

La rete di monitoraggio della regione Sicilia, gestita dall'Osservatorio delle Acque – Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (OA-ARRA), consta di 376 pluviometri/pluviografi distribuiti sull'intero territorio regionale. I pluviometri/pluviografi, manuali ed elettronici, registrano le altezze di precipitazioni in mm a scala oraria e giornaliera dal 1916 ad oggi. L'analisi è stata condotta sui dati giornalieri, in quanto gli unici disponibili su supporto informatico.

Le stazioni pluviografiche nelle quali ricercare gli eventi che hanno innescato ciascuna frana sono state individuate attraverso un'analisi spaziale effettuata su software GIS, selezionando le stazioni ricadenti nello stesso bacino idrografico ed in una zona di rispetto di 10 km di raggio a partire dal dato frana puntuale. Un'ulteriore analisi è stata condotta per garantire la corretta sovrapposizione temporale tra i dati di pioggia e le frane. A tal scopo, sono stati eliminati dall'archivio le frane innescate prima del 1916, anno di inizio di registrazione dei dati pluviometrici, e quelle corrispondenti a records di dati mancanti (*Not a Number, NaN*) nella matrice della pioggia. Tale procedura ha permesso di determinare il database degli eventi significativi, per un numero complessivo di 482. Per ogni evento franoso è stata quindi creata una matrice di dati di pioggia che riporta, per ciascun stazione pluviometrica associata all'evento, il codice identificativo della stazione pluviometrica o ID stazione, l'anno di registrazione della stessa, il mese di registrazione, i giorni di registrazione dal primo all'ultimo del mese e, infine, la distanza tra la stazione considerata e la frana in esame. La Tabella 1 mostra un esempio relativo alla frana verificatasi il 21/2/1994 a Cefalù (PA), per la quale risultano due stazioni operative ( $ID_{stazione}=430$  e  $ID_{stazione}=470$ ). Vengono quindi riportati l'anno, il mese di occorrenza, la pioggia giornaliera (in mm) e la distanza tra la località della frana e la stazione (in m).

Ai fini di una corretta analisi della relazione precipitazione-innesco, descritta di seguito, è utile specificare che il volume totale di precipitazione a scala giornaliera viene registrato dagli strumenti alle ore 8:00 di ogni giorno, relativamente alle 24 ore precedenti. Questo comporta che solo parte della precipitazione di un determinato giorno, ovvero quella caduta dalle 00:00 alle 8:00, viene attribuita al giorno considerato, mentre i 2/3 vengono attribuiti al giorno successivo.

ID <sub>stazione</sub>	Anno	Mese	Giorno 1	Giorno 2	..	Giorno 21	Giorno 22	Giorno 23	Giorno 24	Giorno 25	Giorno 26	Giorno 27	Giorno 28	Giorno 29	Giorno 30	Giorno 31	Distanza
430	1994	1	0.00	16.80	..	10.40	8.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	1.00	0.40	0.00	9671
430	1994	2	0.00	0.00	..	29.00	18.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NaN	NaN	NaN	9671
430	1994	3	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9671
430	1994	4	0.00	0.00	..	1.80	9.80	2.00	0.00	0.00	8.40	19.60	0.40	0.00	0.00	NaN	9671
430	1994	5	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9671
430	1994	6	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NaN	9671
430	1994	7	0.00	0.00	..	0.00	0.60	2.40	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	9671
430	1994	8	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9671
430	1994	9	0.00	0.00	..	3.60	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NaN	9671
430	1994	10	0.00	0.00	..	6.60	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00	9671
430	1994	11	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.60	4.40	1.80	0.00	NaN	9671
430	1994	12	2.40	0.00	..	9.20	2.60	6.80	4.60	1.60	2.60	37.40	1.40	0.00	0.00	0.00	9671
470	1994	1	1.20	1.20	..	4.80	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	7436
470	1994	2	0.00	0.00	..	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NaN	NaN	NaN	7436
470	1994	3	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7436
470	1994	4	0.00	0.00	..	2.60	3.60	0.00	0.00	2.20	24.00	1.80	0.00	0.00	0.00	NaN	7436
470	1994	5	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7436
470	1994	6	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00	NaN	7436
470	1994	7	0.00	0.00	..	0.00	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7436
470	1994	8	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7436
470	1994	9	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NaN	7436
470	1994	10	0.00	0.00	..	10.60	1.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	7436
470	1994	11	0.00	0.00	..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	1.60	0.40	0.00	1.80	NaN	7436
470	1994	12	0.00	0.00	..	6.80	15.00	1.20	4.40	10.60	10.40	13.60	0.00	0.00	0.00	0.00	7436

Tabella 1. Esempio di tabella dei dati di pioggia per la frana ID4 del 21/2/1994 a Cefalù(PA). Vengono riportati (da sinistra): il codice identificativo della stazione pluviometrica (ID<sub>stazione</sub>), l'anno ed il mese di occorrenza, la precipitazione giornaliera nei giorni del mese (in mm) e la distanza tra la stazione considerata e la frana (in m).

### Analisi degli eventi e relazione precipitazione-innesco

L'analisi del legame precipitazione-innesco frana fornisce, indirettamente, una verifica sulla bontà del database ricostruito. A tal scopo, per ciascun evento franoso è stato utile individuare le seguenti quantità: precipitazione nel giorno di occorrenza della frana ( $P_0$ ); precipitazione nel giorno prima ( $P_{-1}$ ); precipitazione nel giorno dopo ( $P_{+1}$ ); precipitazione cumulata nei 15 giorni precedenti ( $C_{15gg}$ ); precipitazione cumulata nei 30 giorni precedenti ( $C_{30gg}$ ).  $P_0$ ,  $P_{-1}$  e  $P_{+1}$  sono necessari per caratterizzare la precipitazione nel giorno della frana.  $C_{15gg}$  e  $C_{30gg}$  sono utili, invece, per valutare le condizioni di imbibimento antecedenti l'innesco della frana.

La Figura 3 mostra i valori delle precipitazioni  $P_0$ ,  $P_{-1}$ , e  $P_{+1}$  in corrispondenza di ognuno degli eventi franosi individuati nel database (identificate con il proprio ID). Si osserva che per gran parte degli eventi la precipitazione massima per ogni ID frana è la  $P_0$ . Tuttavia, si verificano anche casi in cui le precipitazioni  $P_{-1}$  e  $P_{+1}$  sono maggiori della  $P_0$ , qualche volta in maniera significativa (es. ID6, ID160, ID331), per cui il timing innesco frana - precipitazione in alcuni casi può risultare non veritiero. Tale comportamento trova diverse giustificazioni: (1) non sempre si può stabilire con esattezza la data di innesco frana, soprattutto se si verificano su versanti naturali non facilmente accessibili, per cui è possibile che vengano rilevate qualche giorno dopo, o che venga riportata la data di pubblicazione dei quotidiani da cui sono state rilevate le informazioni; (2) la discrepanza tra giorno solare e la convenzione di registrazione delle altezze di precipitazione dei pluviometri, come discusso nel precedente paragrafo, comporta che i 2/3 della  $P_{+1}$  sia in effetti precipitata il giorno della frana; (3) ogni fenomeno franoso dipende da svariati fattori e circostanze concomitanti.

La Figura 4a mostra la distribuzione degli eventi nei mesi dell'anno (angolo del diagramma polare) in funzione della precipitazione (raggio del diagramma), ed in particolare alla somma  $P_0 + P_{+1}$  (per tenere conto del punto (2) prima discusso). Gran parte degli eventi si distribuisce nel periodo Ottobre-Marzo, ovvero la stagione delle piogge nel regime mediterraneo, confermando come questi eventi siano in qualche maniera legati agli eventi meteorici. Nei casi in cui la precipitazione analizzata è molto bassa, le condizioni antecedenti potrebbero aver influenzato l'innesco, come mostrato dalla Figura 4b, in cui si riporta il diagramma polare per la precipitazione cumulata nei 30 giorni precedenti l'evento franoso.

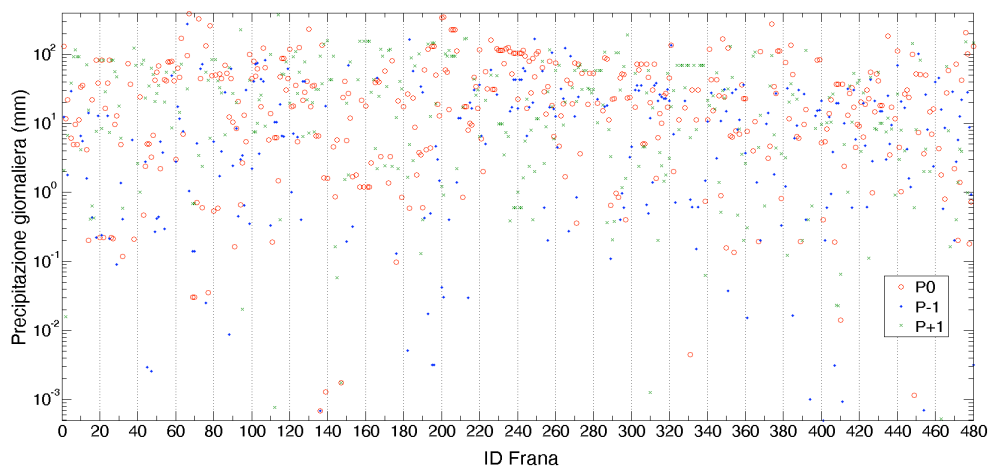


Figura 3. Valori delle  $P_0$ ,  $P_{+1}$  e  $P_{-1}$  per ogni evento franoso.

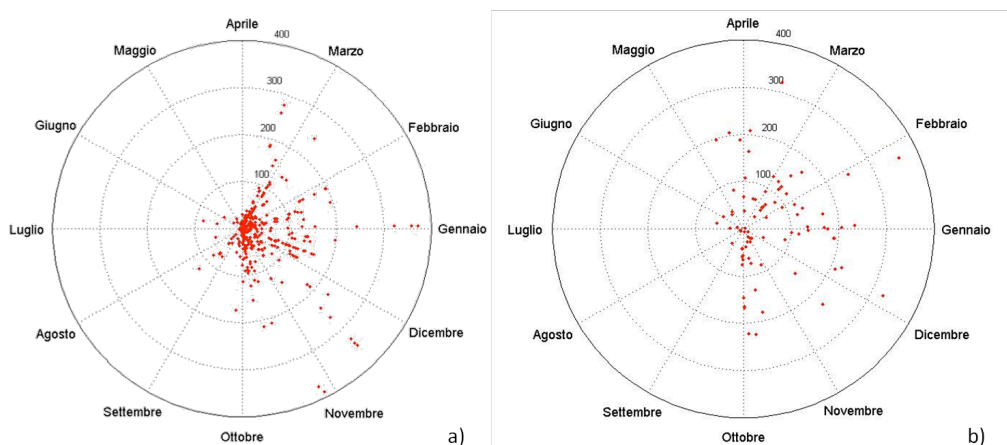


Figura 4. Distribuzione degli eventi in funzione della precipitazione  $P_0 + P_{+1}$  (a) e alla  $C_{30gg}$  (b).

La correlazione tra i dati pluviometrici e l'innesco della frana è stata investigata nel dettaglio analizzando alcuni degli eventi franosi per i quali è stata ricostruita la serie storica giornaliera della precipitazione registrata dai pluviografi. Nel caso di più stazioni prossime alla località colpita dalla frana, è stata scelta quella che forniva una precipitazione più gravosa. Inoltre, si sono analizzati diversi casi per ciascun tipo di cinematiso (colata, scorrimento, crollo e cinematiso non definito), di cui si riportano alcuni esempi in Figura 5.

La Figura 5a riporta il caso della colata verificatasi a Messina il 12/10/1955: viene rappresentata la serie di precipitazione giornaliera registrata dalla stazione pluviometrica Tagliavia per una finestra temporale di circa 60 giorni. Il picco di precipitazione si registra i primi giorni del mese di ottobre, mentre in corrispondenza della frana si registra una precipitazione giornaliera di circa 20 mm e una precipitazione cumulata di circa 475 mm. Dal grafico si evince che, sebbene la  $P_0$  non sia significativa, le piogge abbondanti che hanno preceduto l'evento hanno sicuramente contribuito a determinare l'innesco della frana. La Figura 5b riporta il caso di uno scorrimento verificatosi a Piazza Armerina (EN) il 17/01/1985 (stazione pluviometrica Mirabella Imbaccari). In questo caso, il picco di precipitazione si registra lo stesso giorno della frana ed è pari a circa 125 mm lasciando

presupporre che l'evento meteorico sia stato la causa scatenante della frana. La Figura 5c mostra il caso di un crollo verificatosi a Enna il 17/12/1995, stazione pluviometrica Diga Nicoletti. Il picco di precipitazione si presenta circa 20 giorni prima la data di innesco, mentre nel giorno della frana si registra una precipitazione di circa 30 mm. Tuttavia, la precipitazione cumulata al giorno della frana è di circa 250 mm, denotando nuovamente come la precipitazione sia stata la causa dell'innesco. Infine, la Figura 5d mostra il caso di un evento franoso verificatosi a Ficarra il 12/11/1987 di cui però non viene specificato il cinematismo (stazione pluviometrica Due Fiumare). Il picco di precipitazione si registra esattamente il giorno della frana, con 65 mm di pioggia che hanno dunque contribuito all'innesco del crollo.

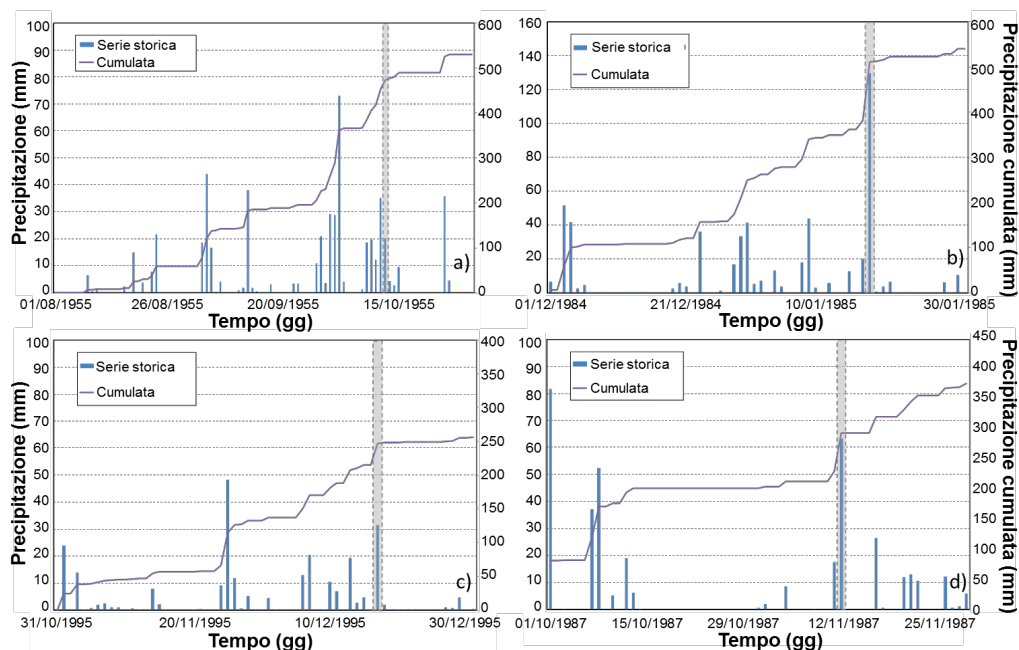


Figura 5. Serie storica giornaliera della precipitazione, relativa cumulata su una finestra temporale di 60 giorni precedenti l'evento franoso (rettangolo grigio) per i casi selezionati di colata (a), scorrimento (b), crollo (c) e cinematismo non definito (d).

Le analisi condotte hanno permesso di concludere che, su un totale di 482 frane: circa l'80% delle frane ha un dato di pioggia che si presuppone sia causa di innesco; per il 10% la precipitazione di innesco è bassa ma esistono condizioni di saturazione alte; al restante 10% di frane non è associabile una serie storica di precipitazione che ne possa spiegare l'attivazione a causa di una eccessiva distanza dalla stazione pluviometrica o di una inattendibilità della fonte relativa alle frane.

## Conclusioni

I metodi empirici per la derivazione di soglie pluviometriche per innesco frana sono tra i metodi concettualmente più semplici ed utilizzati in letteratura per fornire strumenti di pre-allarme in vista di un evento meteorico critico. L'applicazione di tale metodologia si fonda sull'utilizzo di un robusto dataset che racchiude sia gli eventi franosi osservati che i corrispondenti eventi meteorici di innesco. In questo studio è stata condotta un'attenta analisi dei dati disponibili per la Regione Sicilia ai fini della creazione di un opportuno database.

L'analisi della correlazione tra gli eventi franosi ed i relativi dati pluviometrici ha fatto emergere che per la quasi totalità dei casi analizzati, la precipitazione è stata verosimilmente la causa di innesco della frana, mostrando una media-elevata precipitazione il giorno della frana. Spesso il



fattore determinante per l'inscendio della frana è la condizione iniziale di imbibimento che, parallelamente alle proprietà idrologiche del suolo, comporta il variare dell'intensità di pioggia necessaria ad innescare l'evento. Le analisi sui dati di pioggia ricavati per ogni evento, però, hanno fatto emergere molteplici discrepanze: non sempre il database fornisce con esattezza la data di inscendio della frana; inoltre, la convenzione di registrazione delle altezze di precipitazione dei pluviografi diverge dalla tradizionale convenzione del giorno solare, non potendo individuare direttamente dai dati di pioggia ricavati l'effettiva precipitazione caduta nel giorno della frana. La distanza tra la stazione e la frana, spesso, è rilevante ed in seguito ad eventi meteorici molto localizzati nello spazio (specie le precipitazioni convettive e orografiche), è probabile che le altezze non siano state misurate correttamente. Altre analisi hanno mostrato che a periodi di eccezionale piovosità corrispondono periodi di eccezionale franosità e che le variazioni mensili nella frequenza delle frane ben si accordano con le variazioni mensili nella quantità di pioggia.

L'analisi condotta ha mostrato la complessità e le problematiche connesse alla creazione di un simile database a posteriori, e che è comunque bene ribadire che ogni fenomeno franoso risponde singolarmente e in modo peculiare ad ogni evento meteorico.

### **Ringraziamenti**

Il lavoro è stato parzialmente finanziato con i fondi del Progetto SESAMO (*SistEma informativo integrato per l'acquisizione, gestione e condivisione di dati ambientali per il supporto alle decisioni*, PO FESR 2007-2013, CUP: G23F11000790004).

### **Riferimenti bibliografici**

- Arnone E, Francipane A, Noto LV, Scarbaci A, La Loggia G. (2013), "Strategies investigation in using artificial neural network for landslide susceptibility mapping: application to a Sicilian catchment", *Journal of Hydroinformatics*, In Press, doi:10.2166/hydro.2013.191
- Arnone E, Noto LV, Lepore C, Bras RL. (2011), "Physically-based and distributed approach to analyze rainfall-triggered landslides at watershed scale", *Geomorphology*, 133: 121-131.
- Basile G. (2007) "La determinazione delle soglie critiche di pioggia dei fenomeni franosi per la finalità di protezione civile, lo stato dell'arte in Sicilia", *Bollettino dell'ordine dei geologi di Sicilia*, 1: 9-19.
- Caine N. (1980) "The rainfall intensity: duration control of shallow landslides and debris flows". *Geografiska Annaler*, 62A: 23-27.
- Campbell RH (1975) "Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, Southern California", *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 851: 51 p.
- Crozier JM. (1996), *Hi-tech pinpoints landslide threat*. The Dominion, Wellington, New Zealand, 3.
- Guzzetti F, Peruccacci S, Rossi M, Stark C.P. (2007) "Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe", *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98: 239-267.
- Jibson RW. (1989) "Debris flows in southern Puerto Rico", in A. P. Schultz, R. W. Jibson, eds., *Landslides processes of the eastern United States and Puerto Rico. Geological Society of America Special Paper*, 236: 29-55.
- La Loggia G, Arnone E, Ciruolo G, Maltese A, Noto LV, Pernice U. (2012), "An integrated information system for the acquisition, management and sharing of environmental data aimed to decision making", *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, Edinburgh; United Kingdom; 8531, 24-26 September 2012
- Peres DJ and Cancelliere A. (2012) "Utilizzo dei dati di precipitazione di massima intensità per la determinazione di soglie pluviometriche per il preannuncio di frana, applicazioni in Sicilia". *XXXIII Convegno nazionale di idraulica e costruzioni idrauliche*, Brescia, Settembre 10-15.
- Starkel L. (1987) "The role of extreme meteorological events in the shaping of mountain relief", *Geographica Polonica*, 41: 13-20.
- White I.D, Mottershead DN, Harrison JJ. (1996) *Environment system*, 2nd edn. London: Champon & Hall, 616 pp.