



# L'ACQUA

*ESTRATTO*

Silvano F. Dal Sasso, Salvatore Manfreda, Giovanna Capparelli, Pasquale Versace, Caterina Samela, Giuseppe Spilotro, Mauro Fiorentino

LA PERICOLOSITÀ IDRAULICA E GEOLOGICA DELLA REGIONE BASILICATA



**Direttore Responsabile**

Armando Brath

direttore@idrotecnicaitaliana.it

**Comitato di redazione**

Paolo Carta

Maria Cristina Collivignarelli

Renato Drusiani

Francesco Federico

Gabriele Freni

Maurizio Giugni

Ruggiero Jappelli

Michele Mossa

Giuseppe Rossi Paradiso

Giovanni Ruggeri

**Comitato tecnico-scientifico**

Renata Archetti

Baldassare Bacchi

Lorenzo Bardelli

Marcello Benedini

Giuseppe Bortone

Bruno Brunone

Carlo Ciaponi

Pierluigi Claps

Bernardo De Bernardinis

Paolo De Girolamo

Roberto Deidda

Vittorio Di Federico

Giorgio Federici

Marco Franchini

Andrea Goltara

Salvatore Grimaldi

Goffredo La Loggia

Francesco Macchione

Beatrice Majone

Antonio Massarutto

Mario Rosario Mazzola

Giovanni Menduni

Alberto Montanari

Francesco Napolitano

Francesco Puma

Roberto Ranzi

Enrico Rolle

Paolo Salandin

Maria Giovanna Tanda

Attilio Toscano

Lucio Ubertini

Massimo Veltri

Pasquale Versace

**Responsabile di redazione**

Olimpia Arcella

328 1205467

arcella.acqua@idrotecnicaitaliana.it

**Segretaria di redazione**

Caterina Porfidia

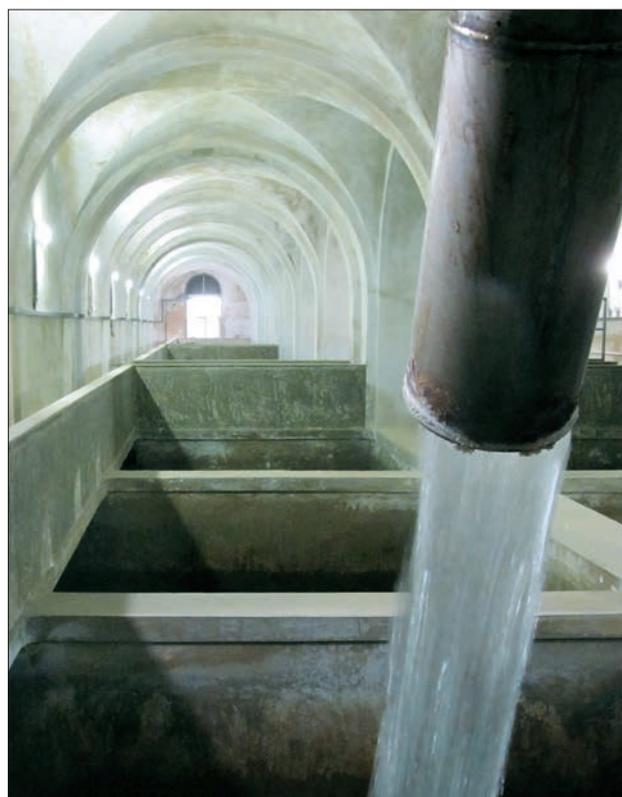
320 7872904

caterina@idrotecnicaitaliana.it

**Impaginazione e grafica**

PixelStudio di Michele Massara

pixelstudio@fastwebnet.it



**In copertina:** Serbatoio di Orzignano nel comune di San Giuliano Terme (PI). Foto di Moreno Toti. Per gentile concessione di Acque S.p.A., Pisa.

**Editore****Associazione Idrotecnica Italiana**

Via di Santa Teresa, 23 - 00198 ROMA

www.idrotecnicaitaliana.it

e-mail: acqua@idrotecnicaitaliana.it

Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 15595 del 21 agosto 1974  
Iscrizione al ROC n. 4201 del 29 agosto 2002  
Spedizione in abbonamento postale 70% - ROMA

Le opinioni e i contenuti espressi dagli Autori non impegnano la Direzione  
La riproduzione delle illustrazioni e degli articoli pubblicati dalla rivista è riservata e non può avvenire senza l'autorizzazione della Casa Editrice.

Finito di stampare nel mese di Giugno 2017 da Romana Editrice srl - Via dell'Enopolio, 37 - 00030 San Cesareo (RM)

**QUOTE SOCIALI E ABBONAMENTI 2017****QUOTE DI ISCRIZIONE ORDINARIE 2017**

SOCIO SOSTENITORE	€ 1000,00 (a partire da)
SOCIO COLLETTIVO	€ 310,00
SOCIO INDIVIDUALE	€ 100,00 / 140,00 se intende ricevere il cartaceo de L'Acqua
SOCIO GIOVANE (Laureando)	€ 35,00
ABBONAMENTO	€ 150,00

**MODALITÀ DI PAGAMENTO**

Il pagamento va effettuato all'ordine di: Associazione Idrotecnica Italiana, Via di Santa Teresa, 23 - 00198 Roma

- Versamento su c/c postale n. 27066000
- Bonifico Bancario c/c n. 000004894978 presso la UNICREDIT BANCA, Ag. Roma Nomentana "A"  
IBAN: IT17V0200805109000004894978; codice BIC SWIFT: UNCRITMMXXX
- Paypal dal sito www.idrotecnicaitaliana.it

**Si invitano i Soci e gli Abbonati, qualora non l'avessero già fatto, ad inviare l'indirizzo e-mail a: [segreteria@idrotecnicaitaliana.it](mailto:segreteria@idrotecnicaitaliana.it).**

Silvano F. Dal Sasso, Salvatore Manfreda, Giovanna Capparelli, Pasquale Versace, Caterina Samela, Giuseppe Spilotro, Mauro Fiorentino\*

## LA PERICOLOSITÀ IDRAULICA E GEOLOGICA DELLA REGIONE BASILICATA

## HYDROLOGICAL AND GEOLOGICAL HAZARDS IN BASILICATA

*La Basilicata è una delle regioni con la più alta frequenza di fenomeni di dissesto idraulico e geologico. Le caratteristiche fisiche del territorio e la dinamica delle precipitazioni sono all'origine di frane ed esondazioni che hanno prodotto ingenti danni sia ai centri urbani che alle infrastrutture regionali. Il presente lavoro propone un quadro riepilogativo di questi fenomeni con lo scopo di caratterizzarne le dinamiche temporali e spaziali. Gli eventi considerati sono quelli compresi nel periodo tra il 1925 e il 2015. Le informazioni raccolte hanno consentito di identificare i periodi di maggiore criticità e le zone più frequentemente colpite da eventi che hanno prodotto danni sul territorio.*

**Parole chiave:** Eventi storici, Frane, Alluvioni, Precipitazioni.

*Basilicata is known for the highest frequency of extreme hydrological and geological events. Several landslides and floods have extensively affected the region because of its geological characteristics and dynamics of precipitation producing extensive damage to regional urban areas and infrastructures. In this work, an analysis of extreme events occurred from 1925 to 2015 in Basilicata region is carried out in order to characterize their spatial and temporal evolution. This allowed us to identify the most critical periods and the areas most frequently affected by events that have caused damage on territory.*

**Keywords:** Historical Events, Landslide, Flood, Rainfall.

### 1. INTRODUZIONE

Considerando l'insieme di frane e alluvioni che hanno colpito il territorio della regione Basilicata emerge che tutti i comuni sono interessati da una qualche forma di dissesto (ISPRA, 2015). Le testimonianze in tal senso sono numerose, con alcuni eventi particolarmente gravosi per le conseguenze prodotte in termini di vittime e danni economici (e.g., Caloiero e Mercuri, 1982; Manfreda et al., 2015).

Le prime documentazioni e notizie storiche sul dissesto geologico e idraulico della regione sono legate alla visita di Carlo III di Borbone nel 1735 che incaricò l'avv. Rodrigo Maria Gaudio di eseguire un'inchiesta socio/economica e tecnica sulle condizioni della Basilicata. Da questa scaturì la nota Relazione Gaudio (1736) che evidenziava già le caratteristiche del territorio e la necessità di avviare azioni di salvaguardia per far fronte alle numerose situazioni di dissesto. A titolo di esempio, è possibile menzionare le condizioni d'instabilità del centro abitato di Stigliano e la memorabile frana della notte di Santa Apollonia che interessò un intero quartiere di Pisticci nel febbraio del 1688 causando centinaia di vittime e case distrutte (Boenzi, 1974). Di particolare rilievo è l'evento alluvionale del 1827, documentato nel libro "Il Regno delle Due Sicilie" dedicato a sua maestà Ferdinando II a cura dell'Avvocato Pietrantonio Riva, che investì il Torrente Gravina affluente in sinistra del fiume Bradano danneggiando severamente le già povere vie di comunicazione della regione a ridosso della città di Matera.

Alla luce di quanto esposto, si è ritenuto utile sistematizzare e ricostruire un archivio storico degli eventi catastrofici e delle precipitazioni estreme registrate negli ultimi anni in Basilicata. A tale scopo sono stati utilizzati i dati contenuti in diverse fonti per fornire un quadro completo delle pericolosità insistenti sul territorio regionale.

\* S. F. Dal Sasso, [silvano.dalsasso@cinid.it](mailto:silvano.dalsasso@cinid.it), S. Manfreda, [salvatore.manfreda@unibas.it](mailto:salvatore.manfreda@unibas.it), C. Samela, M. Fiorentino Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia (CINID) e Università degli Studi della Basilicata, Via dell'Ateneo Lucano 10 - Potenza; G. Capparelli, [giovanna.capparelli@unicat.it](mailto:giovanna.capparelli@unicat.it) e P. Versace, Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia (CINID) - via dell'Ateneo Lucano 10, Potenza - e Dip. di Ingegneria Informatica, Modellistica, Elettronica e Sistemistica (DIMES), Università della Calabria, Arcavacata di Rende (CS); G. Spilotro, [giuseppe.spilotro@unibas.it](mailto:giuseppe.spilotro@unibas.it), Università degli studi della Basilicata, via dell'Ateneo Lucano 10 - Potenza.

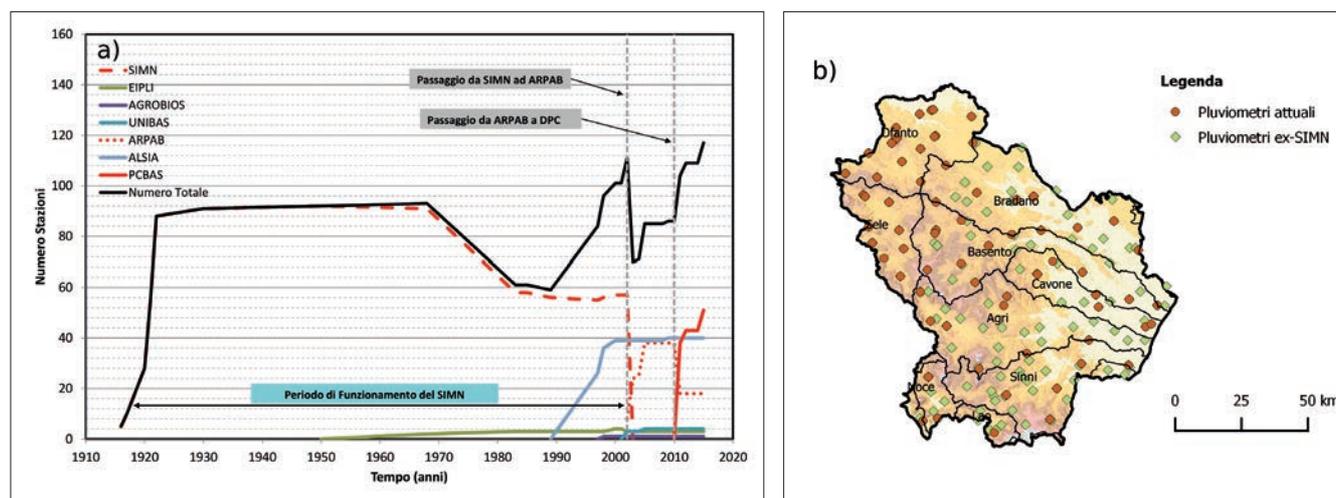
Un'importante testimonianza storica degli eventi accaduti sul territorio italiano nel periodo 1918-2000 è rappresentata dal database del Progetto Aree Vulnerate Italiane (AVI) realizzato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (CNR-GNDICI). Questi dati sono stati integrati con altre fonti bibliografiche quali i lavori svolti dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (I.R.P.I.) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) (Caloiero, 1976, Caloiero e Mercuri, 1982, Lazzari et al., 1991) ed il webgis EvAlMet (Eventi Alluvionali e precipitazioni meteoriche eccezionali del Metapontino) curato dal Dott. Emanuele Tataranni che ha la finalità di raccogliere e classificare in un unico archivio digitale gli eventi calamitosi che hanno colpito il metapontino dal 1959 in poi. Tali fonti sono state integrate con la consultazione di pubblicazioni e rapporti tecnici coprendo una finestra tra il 1925 fino al 2015.

L'insieme di queste informazioni è stato sistematizzato per fornire una caratterizzazione del territorio sull'esposizione al rischio idraulico e da frana della regione al fine di coadiuvare agli organi tecnici e di gestione dei bacini idrografici nella pianificazione di adeguate azioni e strategie di protezione civile.

## 2. I DATI STORICI DI PRECIPITAZIONE

L'informazione pluviometrica nella regione Basilicata è utile al monitoraggio idrologico di un territorio di circa 10000 Km<sup>2</sup> in cui ricadono i bacini idrografici del Bradano, Basento, Cavone, Agri, Sinni, Noce, Sele e Ofanto.

L'attuale rete pluviometrica consta di 76 stazioni di monitoraggio, con una densità media di un pluviometro ogni 130 Km<sup>2</sup>. La densità di monitoraggio presenta valori più bassi per i bacini del Bradano, Agri e Sinni (Figura 1b). I primi pluviografi installati in Basilicata risalgono ai primi anni '20 ed in passato erano gestiti, per la maggior parte, dalla Sezione di Potenza dell'Ufficio Compartimentale di Catanzaro del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), mentre un numero minore di stazioni ricadenti nei bacini del Sele e dell'Ofanto, dai rispettivi Uffici Compartimentali di Napoli e Bari. Nel corso degli anni numerosi Enti hanno contribuito alla crescita della rete di monitoraggio permettendo di ottenere una buona copertura spaziale del dato pluviometrico nella regione (Figura 1a). A partire dagli anni '70, quando i pluviografi a lettura manuale sono stati gradualmente sostituiti dai pluviometri in registrazione e/o in telemisura, la mancanza di copertura radio e l'assenza di finanziamenti per la manutenzione portò alla dismissione di molti pluviografi dimezzando quasi la densità di monitoraggio negli anni compresi tra il 1980-2000. Nell'aprile 2003 la Sezione di Potenza dell'Ufficio Compartimentale di Catanzaro del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) è stata trasferita all'ARPA Basilicata e successivamente nel 2011 al Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Basilicata (CFD) che è l'attuale Ente gestore della rete.



**Figura 1 - a) Evoluzione storica del numero di stazioni pluviometriche identificate per ente gestore; b) Distribuzione spaziale della rete pluviometrica in Basilicata.**

I dati raccolti nel presente lavoro sono stati estratti dai database degli enti Protezione Civile Basilicata, Puglia e Campania, dagli Annali Idrologici e dal database del Progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia, Versace, 1994). Per migliorare la caratterizzazione idrologica regionale è stata utilizzata una procedura di interpolazione spaziale (kriging) per ripopolare le serie pluviometriche di tutte le stazioni pluviometriche funzionanti e non. Il database conta un totale di 99 stazioni pluviometriche, di cui: 43 della Protezione Civile Basilicata (la cui rete è stata ampliata mediante l'installazione nel 2015 di 7 nuove stazioni), 4 della Protezione Civile Campania, 13 della Protezione Civile Puglia, 1 stazione Total ed infine 38 stazioni SIMN non più attive dal 1998 perché dismesse oppure dislocate.

La distribuzione dei massimi storici di precipitazione giornaliera riportata in Figura 2 fornisce un primo quadro

descrittivo delle caratteristiche pluviometriche dell'area. La figura evidenzia che nella maggior parte del territorio regionale si registrano valori compresi tra i 100 e i 150 mm (aree di colore giallo), mentre le zone in cui si riscontrano valori di precipitazioni particolarmente elevati sono lungo la costa ionica (150-200 mm) e nel bacino del fiume Noce (200-250 mm).

### 3. GLI EVENTI DI DISSESTO

La ricostruzione degli eventi di esondazione e franamento avvenuti in Basilicata copre un arco temporale di quasi un secolo, dal 1925 al 2015. Il lavoro risente inevitabilmente delle trasformazioni a cui è andata incontro la regione nel corso degli anni sia in riferimento al monitoraggio sia rispetto al livello di antropizzazione. Se nel passato è ipotizzabile che alcuni eventi non siano stati registrati in nessuna cronaca (si pensi, a titolo di esempio, al periodo della II guerra mondiale), gli eventi più recenti sono dettagliatamente documentati nelle registrazioni pluviometriche e come effetti al suolo. L'incremento della numerosità di eventi che potrebbe imputarsi almeno in parte ad un più semplice accesso all'informazione (e.g., Peduzzi, 2005). Inoltre, le aree antropizzate sono notevolmente aumentate rispetto al passato, specie nell'area del metapontino, incrementando il livello di rischio idraulico dell'area.

Complessivamente, dalle fonti documentali consultate sono stati individuati circa 100 eventi alluvionali e 1030 fenomeni franosi. Tali eventi si sono verificati con maggiore frequenza durante la stagione invernale ed, in particolare, nei mesi di novembre e gennaio, (Figura 3). È interessante notare che gli eventi di frana presentano una numerosità maggiore nel periodo gennaio-aprile, evidenziando un ritardo temporale nella dinamica del processo se messa a confronto con gli eventi di piena.

Analizzando poi la distribuzione spaziale di questi eventi è possibile asserire che gli eventi di piena hanno interessato più frequentemente le aree medio-vallive dei bacini di Basento, Bradano e Cavone (sulla costa ionica), mentre il bacino del Noce ha subito un numero decisamente inferiore di esondazioni (Figura 4a). Con riferimento agli eventi di frana, questi eventi hanno una densità spaziale maggiormente significativa nella zona sud occidentale della regione (Figura 4b), mentre i movimenti franosi superficiali innescati da precipitazione, considerati ai fini della presente indagine, sono circa il 20% e risultano in misura proporzionale maggiormente localizzati sui versanti collinari dei bacini di Bradano, Basento e Cavone (Figura 4a).

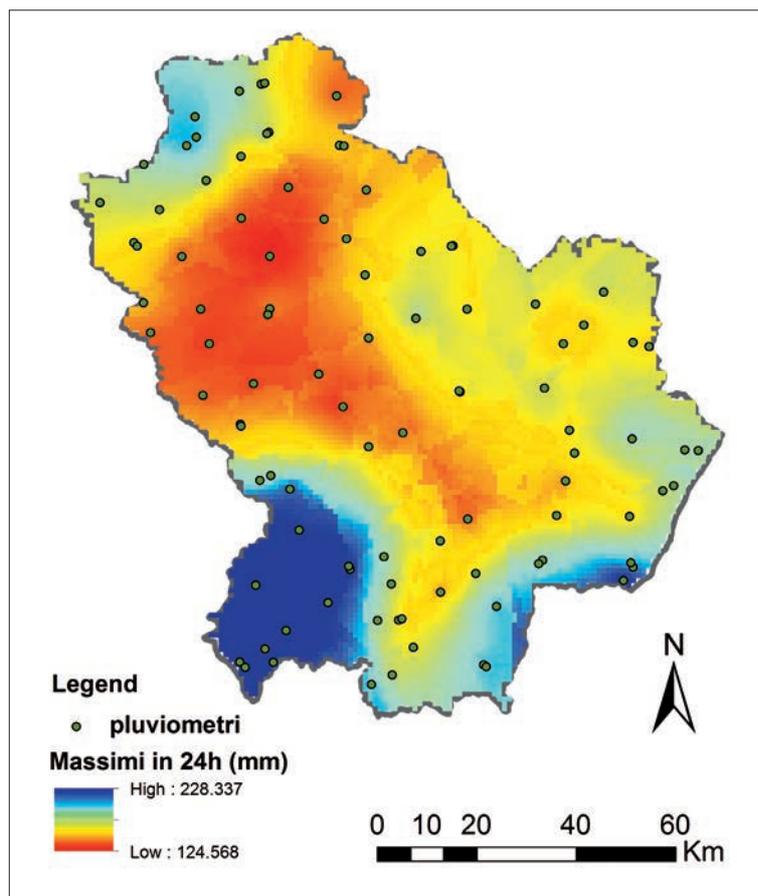


Figura 2 - Distribuzione spaziale dei massimi di precipitazione di durata 24 ore registrate tra il 1925 ed il 2015.

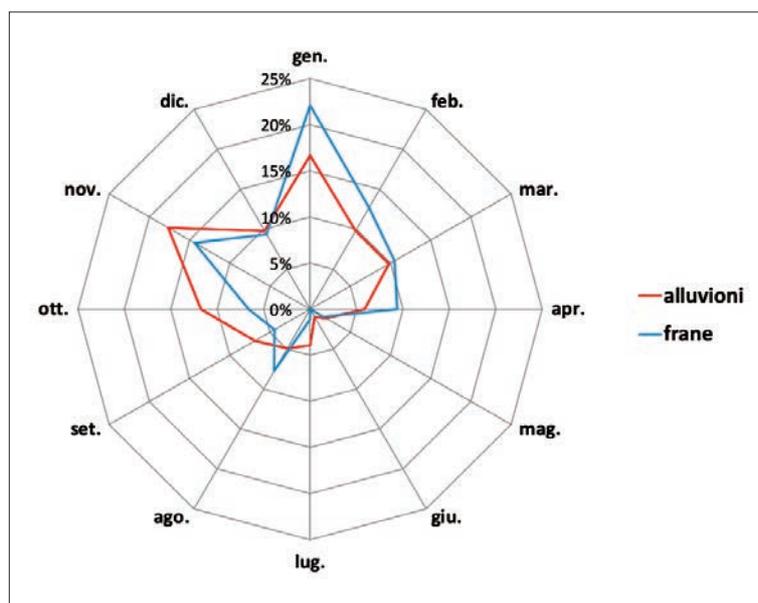


Figura 3 - Distribuzione temporale delle alluvioni e delle frane in Basilicata dal 1925 al 2015.

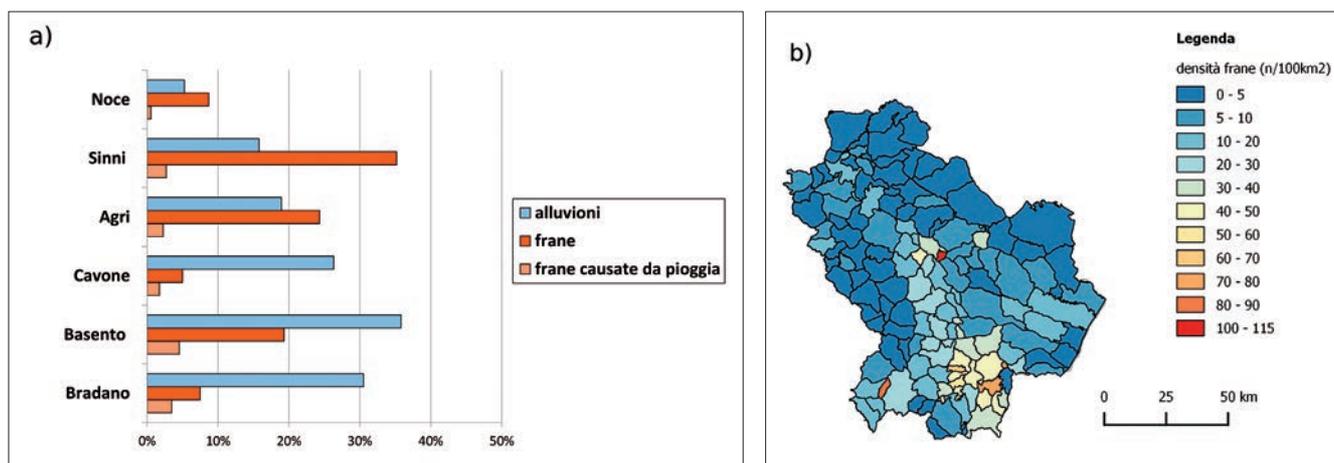


Figura 4 - (a) Distribuzione spaziale delle alluvioni e delle frane in Basilicata dal 1925 al 2015. (b) Densità di frane per comune.

#### 4. LE PRECIPITAZIONI ASSOCIATE AGLI EVENTI DI ALLUVIONE E FRANA

L'analisi degli eventi di pioggia che hanno prodotto alluvioni o frane può fornire utili indicazioni sulle caratteristiche idrologiche e geologiche del territorio studiato. Per tale ragione, sono stati associati ai singoli eventi di alluvione le registrazioni massime giornaliere delle stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino di interesse e funzionanti durante l'evento. Questo fornisce una indicazione, seppur non esaustiva, riguardo alla modalità di risposta dei singoli bacini idrografici.

In *Figura 5* sono riportati, a titolo di esempio, i valori di precipitazione massima giornaliera registrati durante l'evento alluvionale che ha colpito il versante ionico della regione nel marzo del 2011. L'evento ha provocato l'evacuazione di numerose famiglie nel comune di Marina di Ginosa, la distruzione di migliaia di ettari di colture nella piana del metapontino, la chiusura di aziende agricole e zootecniche anche in collina e montagna, la morte di centinaia di capi di bestiame nonché criticità sulle principali arterie stradali.

Bacino	Stazione	P <sub>max</sub> 24h (mm/h)
Bradano	San Giuliano	160
Basento	Ferrandina SP	139
Cavone	Craco Peschiera	155
Agri	Stigliano	140
Sinni	Tursi	107



a)

b)

Figura 5 - (a) Precipitazioni massime giornaliere registrate alle stazioni pluviometriche ricadenti nei bacini del versante ionico in occasione dell'evento alluvionale del marzo 2011; (b) Foto degli allagamenti nelle aree rurali in agro di Metaponto in provincia di Matera.

I box-plot relativi alle precipitazioni associate agli eventi alluvionali identificati dal 1925 al 2015 mostrano che le precipitazioni producono effetti al suolo diversi in ciascuno dei bacini considerati. Nei bacini del Bradano, Basento e Cavone circa la metà degli eventi è avvenuta per precipitazioni giornaliere comprese tra i 60 e i 120 mm. Nei bacini dell'Agri e del Sinni, invece, le precipitazioni massime giornaliere che hanno generato esondazioni risultano mediamente più elevate (circa il 75% degli eventi meteorici rientra in una classe superiore ai 100 mm *Figura 6*). Questa condizione è ulteriormente esaltata nel bacino del Noce in cui le precipitazioni che hanno generato piene significative sono solo quelle superiori alla soglia di 100 mm. Tale circostanza trova spiegazione nelle caratteristiche geologiche di quest'area, dove le formazioni a medio-alta permeabilità appartenenti ad unità carbonatiche, silicio-marnose e fliscioide, hanno una capacità di assorbimento più elevata rispetto ai restanti bacini idrografici.

Con riferimento agli eventi di frana, la correlazione tra piogge e innesco di fenomeni franosi rappresenta un aspetto di maggiore complessità per un effetto di scala che risente della limitata densità della rete pluviometrica e delle dimensioni spaziali del fenomeno. Partendo dal database delle frane innescate da pioggia, sono stati selezionati circa 100 eventi di frana superficiale per i quali si è identificata la stazione pluviometrica di riferimento sulla base della distanza geografica e della disponibilità di dati relativi al periodo di attivazione (Figura 7).

E' stata così individuata la pioggia d'evento ovvero la sequenza di eventi di pioggia nell'intervallo di tempo che intercorre tra il giorno di inizio e quello di fine, coincidente con il giorno di innesco del fenomeno franoso. La pioggia d'evento è stata definita calcolando le differenze di intensità di pioggia cumulata in due giorni consecutivi utilizzando una soglia  $\Delta I_{cum} = 0.2 \text{ mm/h}$  e assumendo, per la definizione del giorno di inizio, una durata di 4 giorni senza piogge per il periodo tra ottobre e aprile e di 2 giorni per il periodo da maggio a settembre (Vennari et al., 2014). In questa analisi sono stati inclusi anche gli eventi franosi per i quali la data di innesco è in ritardo rispetto al manifestarsi delle precipitazioni. Infine, per ciascun evento di pioggia è stato calcolato il tempo di ritorno utilizzando come modello probabilistico la distribuzione dei valori estremi a doppia componente (TCEV). Nella Figura 8 si riporta, a titolo di esempio, la ricostruzione dell'evento meteorico registrato alla stazione pluviometrica di Matera in occasione della frana che ha colpito il versante SO dell'abitato di Montescaglioso il 3 dicembre 2013 (Mancini et al., 2014; Pellicani et al., 2016). La frana si è innescata dopo 56 ore di pioggia continuativa, dal 30 novembre fino al 2 dicembre, con una pioggia cumulata per l'intero evento di 157 mm (stazione pluviometrica di Matera, situata a circa 12 km da Montescaglioso), con una intensità media di 2.8 mm/ora. Il movimento franoso ha interessato la strada a scorrimento veloce che collega il centro abitato alla SP 175 e ha coinvolto alcuni capannoni, delle attività commerciali e diverse case private. L'evoluzione spazio-temporale del fenomeno è stata fortunatamente compatibile con l'interdizione dell'area e l'evacuazione in sicurezza degli abitanti.

Dalle analisi svolte è emerso che circa l'80% degli eventi considerati avviene dopo una precipitazione con durata da 1 a 6 giorni dei quali circa il 60% è compreso tra i 2-3 giorni, con un range di intensità media di precipitazione compreso tra 0.5 mm/h e 3.5 mm/h; il restante 20% riguarda eventi di durata fino a 15 giorni. Inoltre, circa il 60% delle frane si sono innescate a seguito di eventi di pioggia con tempi di ritorno inferiori a 5 anni (dei quali oltre il 30% ha tempi di ritorno inferiori a 2 anni); gli eventi con tempo di ritorno maggiore di 20 anni rappresentano circa il 25%.

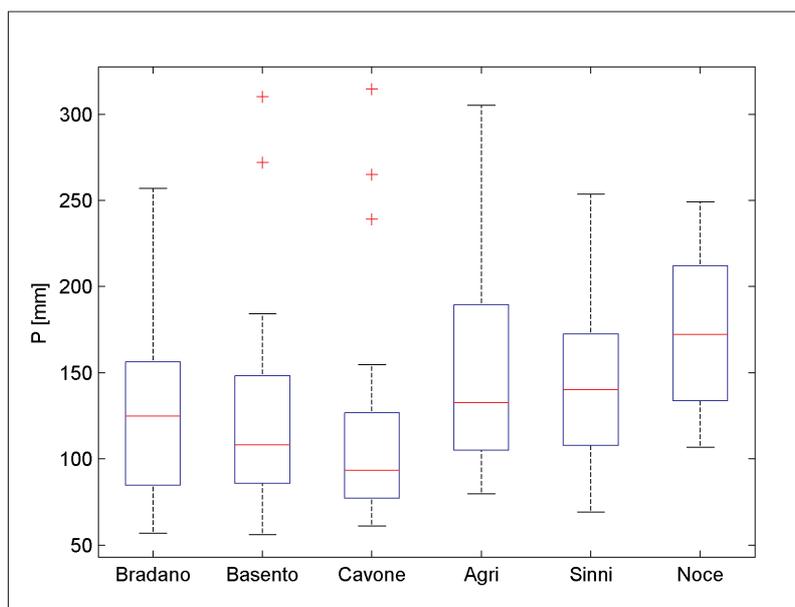


Figura 6 - Box-plot delle precipitazioni massime giornaliere registrate durante gli eventi alluvionali tra il 1925 e il 2015 in Basilicata.

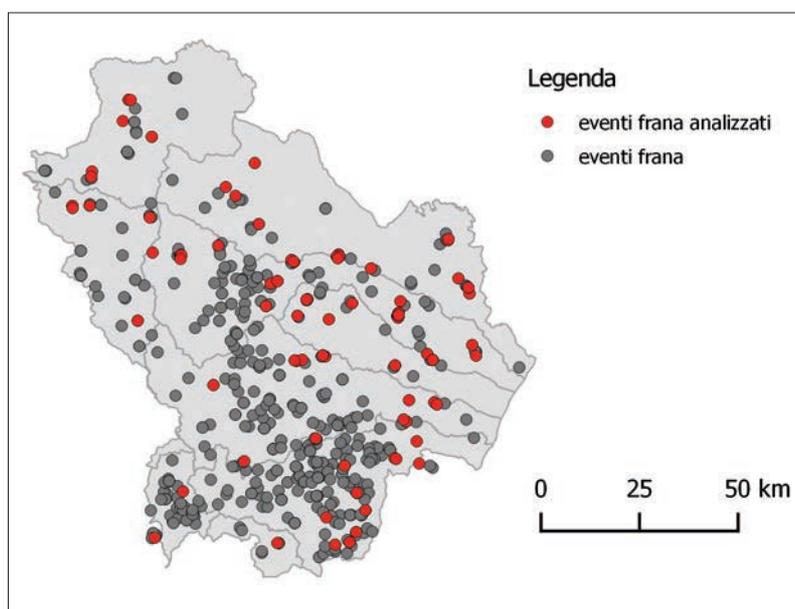


Figura 7 - Distribuzione spaziale delle frane sul territorio regionale e dei movimenti superficiali innescati da eventi meteorici noti.

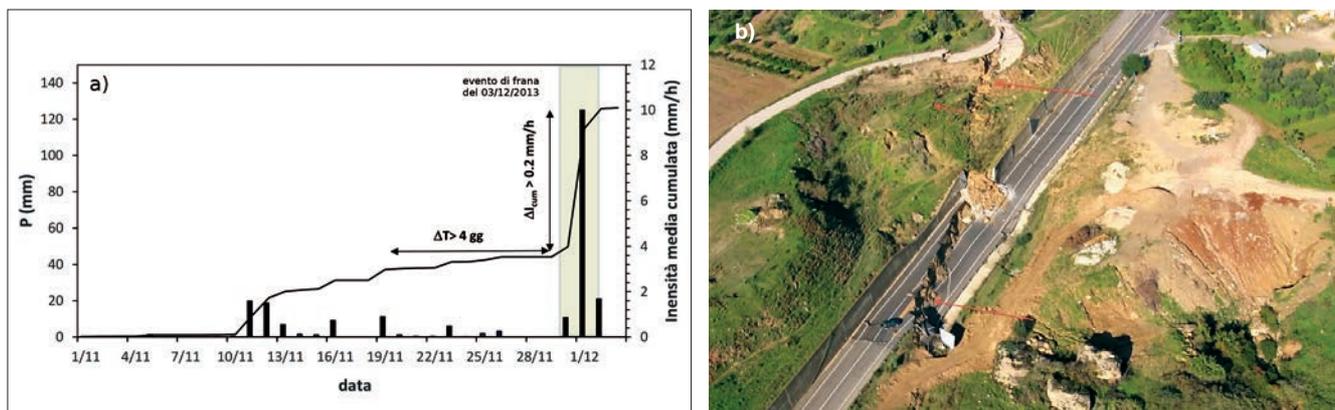


Figura 8 - (a) Esempio di individuazione della pioggia d'evento registrata alla stazione di Matera e associata al movimento franoso mobilizzatosi il giorno 3 dicembre 2013 sul versante SO dell'abitato di Montescaglioso. (b) Foto aerea del corpo di frana (ISPRA, 2014).

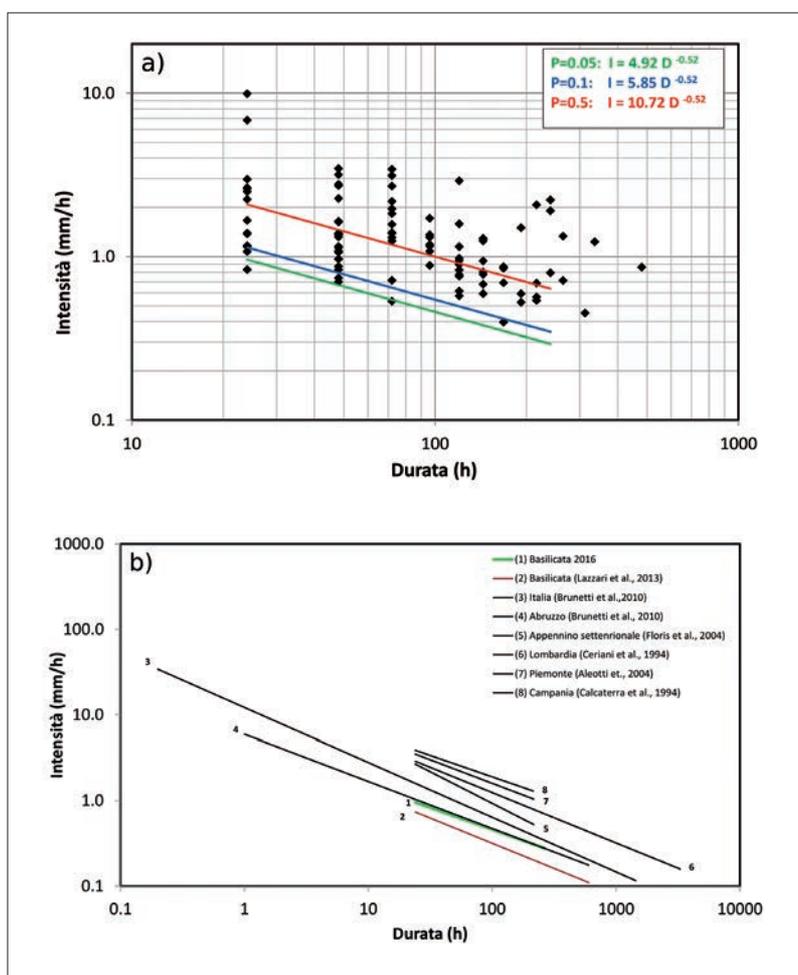


Figura 9 - (a) Curve intensità-durata per un campione di eventi di frana calcolate con metodo statistico con probabilità di non superamento del 5% (linea verde), 10% (linea blu) e 50% (linea rossa). (b) Confronto con altre curve intensità-durata presenti in letteratura alla scala nazionale e regionale.

l'individuazione di relazioni di carattere semi-empirico che contengono indirettamente i fenomeni fisici che possono concorrere a determinare l'innesco.

Di sicuro interesse a tale riguardo è il modello idrologico FLAIR (Forecasting of Landslides Induced by Rainfall), proposto da Sirangelo e Versace (1992) già applicato in passato in diversi contesti morfologici in Italia

zetti et al., 2008; Brunetti et al., 2010). I dati empirici di intensità media e durata d'evento sono stati rappresentati in scala logaritmica e interpolati con il metodo dei minimi quadrati utilizzando una distribuzione normale.

L'analisi di frequenza del campione di dati ha permesso di definire soglie con probabilità di non superamento del 5%, 10% e 50% (Figura 9a). Il confronto fra le relazioni di soglia ottenute e quelle individuate da altri autori analizzando contesti differenti alla scala nazionale e regionale evidenzia una maggiore suscettibilità di frana dell'area indagata (Figura 9b). Tale circostanza trova spiegazione nelle condizioni climatiche locali e nelle caratteristiche geomorfologiche del territorio lucano, caratterizzato da frequenti fenomeni di erosione superficiale nei terreni argilloso-sabbiosi.

### 5. L'APPLICAZIONE DI UN MODELLO EMPIRICO-IDROLOGICO PER IL PREANNUNCIO DEGLI EVENTI FRANOSI ALLA SCALA REGIONALE

La conoscenza delle relazioni esistenti tra l'instabilità del terreno e le piogge antecedenti è la base di partenza per la messa a punto di modelli di monitoraggio e di previsione utili ai fini di protezione civile. L'informazione storica è di particolare importanza ad esempio per la taratura dei modelli empirico-idrologici che modellano il legame tra piogge e frane attraverso

(Cassetti e Versace, 2005; Capparelli e Leone, 2012) e, nel 2006, in Basilicata nell'ambito dell'accordo di Programma Quadro dal titolo "Sviluppo di modelli matematici finalizzati alla identificazione di livelli di criticità da evento in atto o previsto in diverse aree di allertamento del territorio nazionale" stipulato tra il Camilab (Laboratorio di Cartografia Ambientale e Modellistica Idrogeologica) del Dipartimento di Difesa del Suolo dell'Università della Calabria e la Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento per la Protezione Civile.

Tale modello, si basa sulla definizione di una funzione  $Y(t)$ , denominata funzione di mobilitazione, dipendente in ogni istante  $t$  dalla quantità di acqua infiltratasi nel sottosuolo  $I(\tau)$  prima dell'istante  $t$  di innesco dell'evento franoso:

$$Y(t) = f[I(\tau)] = c \int_{-\infty}^t \Psi(t - \tau) \cdot I(\tau) d\tau \quad (1)$$

in cui la funzione  $\Psi$ , chiamata funzione di trasferimento (o filtro), modella il legame tra infiltrazione e mobilitazione del corpo franoso;  $c$  è una costante che dipende dalle caratteristiche del versante in frana.

Utilizzando uno schema a soglia, il modello associa il valore della funzione di mobilitazione  $Y(t)$  alla probabilità  $P[E]$  di avere un movimento  $E$  al tempo  $t$  maggiore (probabilità pari a 1) o minore (probabilità nulla) del valore critico ( $Y_{cr}$ ).

Il modello adottato utilizza uno schema semplificato che, in prima approssimazione, ammette che alla scala giornaliera l'infiltrazione sia proporzionale alla precipitazione giornaliera. La funzione di trasferimento è invece stimabile attraverso diverse espressioni che tengono conto dei diversi meccanismi di innesco. In questa applicazione è stata adottata una funzione statistica la cui struttura matematica è di seguito richiamata:

$$\Psi(u) = \frac{u^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{u}{\beta}\right)}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad u \geq 0; \alpha > 0; \beta > 0 \quad (2)$$

in cui il parametro  $\beta$  definisce la scala temporale del fenomeno e il parametro  $\alpha$  descrive il ritardo della risposta idrologica del fenomeno rispetto al manifestarsi delle precipitazioni.

I parametri sono stati stimati con il criterio 'ranking' che consiste nel ricostruire la funzione di mobilitazione  $Y(t; \theta)$  facendo variare i parametri  $\theta$  in tutto il campo di variazione ritenuto attendibile e scegliendo i valori che rendono massima la funzione di mobilitazione in corrispondenza dei fenomeni franosi osservati nel periodo.

Nelle applicazioni relative ai sistemi di previsione si utilizza il parametro adimensionale  $\xi(t)$ , noto come indice FLaIR, dato dal seguente rapporto:

$$\xi(t) = \frac{Y(t)}{Y_{cr}} \quad (3)$$

In particolare, in analogia alle applicazioni del modello FLaIR in altri contesti regionali ai fini di protezione civile, sono stati introdotti i seguenti valori:

$$Y_1 = 0.40 Y_{cr}; Y_2 = 0.60 Y_{cr}; Y_3 = 0.80 Y_{cr} \quad (4)$$

corrispondenti rispettivamente alle condizioni di criticità ordinaria, moderata, elevata.

Il modello è stato tarato nell'area omogenea della regione Basilicata, comprendente i bacini del Bradano, Basento e Cavone utilizzando l'informazione pluviometrica storica proveniente da alcuni eventi di frana monitorati. Tali eventi sono stati selezionati in considerazione della limitata regione di ammissibilità dei parametri caratteristici della funzione di trasferimento tale da conferire ai singoli eventi un elevato contenuto informativo. Successivamente, confrontando le regioni di ammissibilità dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  per i diversi casi considerati, è stato possibile riunirli in gruppi omogenei che presentano regioni di ammissibilità sovrapposte o contigue (Tabella I).

Il modello così calibrato è stato poi applicato per la frana che ha interessato il comune di Montescaglioso nel dicembre 2013 per validarne la sua risposta e verificare la capacità di fornire previsioni efficienti. A titolo di esempio, il grafico in Figura 10 riporta l'andamento della funzione di mobilitazione per la stazione pluviometrica di Matera, ottenuto applicando i parametri della funzione di trasferimento del gruppo omogeneo A, evidenziando il valore ottenuto in coincidenza del movimento franoso del 03/12/2013 e il valore soglia della funzione di mobilitazione in corrispondenza delle condizioni di criticità ordinaria, media ed elevata.

TABELLA I - Elenco delle frane oggetto della calibrazione dei parametri della funzione di trasferimento per ciascun gruppo omogeneo di eventi monitorati

Comune	Data attivazione	Tipo frana	Gruppo omogeneo	Parametri	Soglia
Ferrandina	20/01/1972	Scorrimento roto-traslazionale	A	$\alpha=1.5$ $\beta=2$	$Y_{cr}=37.78$
Ferrandina	20/01/1972	Scorrimento roto-traslazionale			
Ferrandina	20/01/1972	Scorrimento rotazionale			
Ferrandina	14/12/1968	Scorrimento rotazionale			
	20/01/1972				
Craco	25/11/1959 24/01/1972	Colata lenta	B	$\alpha=1.1$ $\beta=14$	$Y_{cr}=12.5$
Grassano	20/11/1976	Scorrimento-colata			
	27/12/1990				
Pisticci	21/11/1976	Scorrimento rotazionale			
Tricarico	27/12/1990	Scorrimento rotazionale			
Pisticci	30/12/1984	Scorrimento-colata			
Ferrandina	20/01/1960	Scorrimento rotazionale			
Accettura	11/12/1959	Scorrimento	C	$\alpha=5.7$ $\beta=16$	$Y_{cr}=4.86$
Garaguso	24/01/1972	Scorrimento-colata rapida			
Grottole	25/01/1955	Scorrimento-colata rapida			

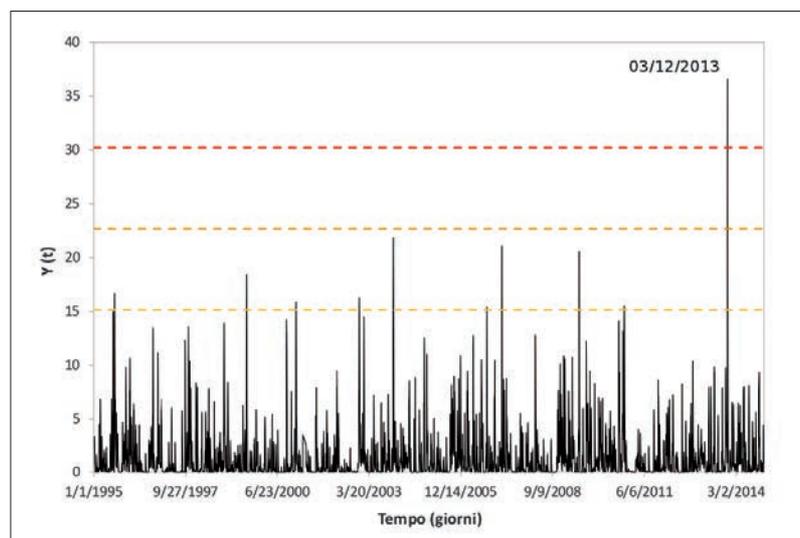


Figura 10 - Andamento della funzione di mobilizzazione  $Y(t)$  per la serie storica di piogge giornaliere registrate alla stazione di Matera con indicazione del superamento della soglia di criticità elevata in corrispondenza della frana innescatasi a Montescaglioso in data 03/12/2013.

pioggia giornaliera associata a fenomeni di piena prossimi ai 100 mm. Con riferimento agli eventi di frana, la scarsa disponibilità di strumenti di misura sul territorio regionale ha reso difficile il reperimento dei dati pluviometrici rispetto agli eventi occorsi soprattutto nei periodi più recenti. I movimenti di frana superficiale si sono innescati principalmente con piogge d'evento di breve durata (2-3 giorni) con un range di intensità di precipitazione compreso tra 0.5 mm/h e 3.5 mm/h, soprattutto nell'area omogenea comprendente i bacini di Bradano, Basento e Cavone, e più frequentemente con piogge aventi tempi di ritorno inferiori a 5 anni. L'applicazione di modelli empirici intensità-durata di precipitazione ha reso possibile di definire le soglie di innesco frana alla scala regionale e di valutare, in termini generali, la risposta dei bacini alle precipitazioni e la pericolosità del territorio rispetto allo sviluppo di frane superficiali. Un modello empirico-idrologico semplificato di preannuncio degli eventi franosi basato sulle precipitazioni registrate è stato calibrato in un'area omogenea della regione Basilicata e ha reso possibile di segnalare in modo efficace l'attivarsi di un movimento franoso di recente accadimento.

## 6. CONSIDERAZIONI FINALI

In questa memoria sono stati analizzati gli eventi di dissesto che hanno interessato la regione Basilicata dal 1925 al 2015. Partendo da un censimento delle piene e delle frane superficiali indotte da precipitazioni, ed utilizzando i dati della rete pluviometrica regionale, è stata effettuata un'analisi dei dati di precipitazione innescanti al fine di valutarne le peculiarità nei diversi bacini idrografici. I fenomeni di dissesto idrogeologico si sono verificati con maggiore frequenza durante la stagione invernale, a cavallo dei mesi di novembre e gennaio. Gli eventi di piena hanno interessato particolarmente i bacini del Basento, Bradano e Cavone dove precipitazioni giornaliere di poco superiori ai 50 mm possono già produrre piccoli fenomeni di sormonto. Questo è chiaramente imputabile ad una inadeguata infrastruttura di difesa spondale. I restanti bacini mostrano comportamenti nettamente differenti con valori di

**Ringraziamenti:** Lavoro eseguito nell'ambito dell'accordo tra l'Ufficio Protezione Civile della Regione Basilicata, il CINID e UNIBAS-DICEM per lo svolgimento delle attività necessarie all'avvio del Centro Funzionale Decentrato della Basilicata.

## BIBLIOGRAFIA

**Boenzi F.**, 1974. *Il dissesto idrogeologico in Basilicata dalla fine del 1600 ad oggi*. Atti del Simposio Nazionale sulla Conservazione della Natura tenutosi a Bari dal 23 al 28 aprile 1974, Istituto Zoologia Università Bari, Vol. I, pp. 278-294.

**Brunetti M. T., Peruccacci S., Rossi M., Luciani S., Valigi D., Guzzetti F.**, 2010. *Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy*. Nat Hazards Earth Syst Sci 10: pp. 447-458.

**Caloiero D.**, 1976. *Le precipitazioni in Basilicata nel cinquantennio 1921 - 1970*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica nell'Italia meridionale ed insulare (IRPI). Cosenza, p. 23.

**Caloiero D., Mercuri T.**, 1982. *Le alluvioni in Basilicata dal 1921 al 1980*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Cosenza, pp. 10-59.

**Capparelli G., Leone S.**, 2012. *Regionalizzazione dei modelli di preannuncio delle frane. Applicazione al caso della Calabria centrale*. Atti del XXXIII Corso di Aggiornamento in Tecniche di Difesa dall'Inquinamento, Guardia Piemontese (CS), 20-23 giugno 2012, pp. 203-232, EdiBios.

**Cassetti M., Versace P.**, 2005. *Il modello di soglia pluviometrica FLAI R. Applicazione all'area dei comuni interessati dall'Ordinanza 2787 del 21 maggio 1998*. Quaderni del Presidio Territoriale, n. 0, pp. 67-85, Commissariato di Governo per l'Emergenza Idrogeologica in Campania.

**Claps P., Fiorentino M.**, 2005. *Valutazione delle piene in Italia*. Rapporto di sintesi per la Regione Basilicata (bacini del versante ionico), GNDCI-CNR.

**Gaudio R. M., Pedio T., Pepe G.**, 1965. *Relazione Gaudio sulla Basilicata*, Edizioni del Centro librario.

**Guzzetti F., Peruccacci S., Rossi M., Stark C. P.**, 1998. *The rainfall intensity - duration control of shallow landslides and debris flows: an update*. Landslides, 5, pp. 3-17.

**Ippolito F., Paganelli F.**, 1984. *Il dissesto idrogeologico della Basilicata. Sistemazioni ed interventi*. In: Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, pubbl. n. 9, p. 96.

**ISPRA**, 2014. *Monitoraggio e studi sulla frana di Montescaglioso (MT) del 03 dicembre 2013*, Relazione Finale, novembre 2014.

**ISPRA**, 2015. *Dissesto idrogeologico in Italia pericolosità e indicatori di rischio - Sintesi Rapporto 2015*.

**Lazzari S., Caloiero D., Gabriele S., Lambiase S., Mercuri T., Pesce E., Tramutoli M., Versace P.**, 1991. *Effetti prodotti in Basilicata dagli eventi meteorici verificatisi nel periodo dicembre 1984 - aprile 1985*. CNR IRPI, Geodata, 37, Cosenza.

**Lazzari M., Piccarreta M., Capolongo D.**, 2013. *Landslide triggering and local rainfall thresholds in bradanic foredeep, Basilicata region (Southern Italy)*. *Landslide Science and Practice: Early Warning, Instrumentation and Monitoring*, 2, pp. 671-677.

**Manconi A., Casu F., Ardizzone F., Bonamo M., Cardinali M., De Luca C., Gueguen E., Marchesini I., Parisse M., Vennari C., Lanari R., Guzzetti F.**, 2014. *Rapid mapping of event landslides: the 3 December 2013 Montescaglioso landslide (Italy)*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, pp.1835-1841.

**Manfreda S., Sole A., De Costanzo G.**, 2015. *Le precipitazioni estreme in Basilicata*, Editrice Universosud Società Cooperativa.

**Peduzzi P.**, 2005. *Is climate change increasing the frequency of hazardous events?* Published in Environment & Poverty Times N°3, p. 7 Special edition for the world conference on disaster reduction, 18-22 Jan 2005, Kobe. UNEP/GRID-Adrenal.

**Pellicani R., Spilotro G., Ermini R., Sdao F.**, 2016. *The large Montescaglioso landslide of December 2013 after prolonged and severe seasonal climate conditions*, *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice*, Proceedings of the 12th International Symposium on Landslides (Napoli, Italy, 12-19 June 2016), pp.1591-1597.

**Sirangelo B., Versace P.**, 1992. *Modelli stocastici di precipitazione e soglie pluviometriche di innesco dei movimenti franosi*. Atti XXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Firenze, vol. 4.

**Vennari C., Gariano S. L., Antronico L., Brunetti M. T., Iovine G., Peruccacci S., Terranova O., Guzzetti F.**, 2014. *Rainfall thresholds for shallow landslide occurrence in Calabria, southern Italy*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, pp. 317-330.

**Versace P.**, 1994. *Descrizione della procedura VAPI*, in: AA.VV., *La valutazione delle piene in Italia*, CNR-GNDCI, L1, rapporto preliminare non pubblicato.

**NOTIZIARIO A.I.I. ASSOCIAZIONE IDROTECNICA ITALIANA**

*Via di Santa Teresa, 23 - 00198 Roma - Tel. 06.8845064 - E-mail: segreteria@idrotecnicaitaliana.it*

**Presidente onorario**

Ugo Majone

**Presidente**

Armando Brath

**Vice Presidenti**

Beatrice Majone

Andrea Mangano

**Segretario generale**

Roberto Zocchi

**Revisori dei conti**

Gianvito Mingolla (Presidente), Sergio Massetti,  
Cinzia F. Ambrogio

**Consiglieri**

Salvatore Alecci, Gennaro Bianco, Vincenzo Bixio,  
Francesco Bosco, Emanuela Cartoni, Giorgio Cesari,  
Giancarlo Chiaia, Cornelia Cocos, Carlo Collivignarelli,  
Vito Antonio Copertino, Giovanni de Marinis, Renato  
Drusiani, Mario Fossati, Giuseppe Frega, Andrea  
Gambi, Massimo Gargano, Giuseppe Giordano,  
Maurizio Giugni, Ruggiero Jappelli, Catello Masullo,  
Anna Maria Martuccelli, Mario Rosario Mazzola, Carlo  
Messina, Nicola Montaldo, Rossella Monti, Michele  
Mossa, Francesco Napolitano, Patrizia Piro, Giovanni  
Ruggeri, Giorgio Verri, Salvatore Villani

**Soci sostenitori**

ACEA S.p.A. - Roma

ACEA ATO 2 S.p.A. - Roma

ACEA ELABORI S.p.A. - Roma

ACQUA CAMPANIA S.p.A. - Napoli

ACQUE S.p.A. - Ospedaletto (PI)

ACQUEDOTTO DEL FIORA S.p.A. - Grosseto

ANBI - Roma

CAE S.p.A. - San Lazzaro di Savena (BO)

CAPRARI S.p.A. - Modena

COMITATO NAZIONALE ITALIANO PER LE GRANDI  
DIGHE - Roma

CONSORCIO AGUA AZUL S.A. - S. Isidro, Lima (Perù)

CONSORZIO DI BONIFICA SARDEGNA MERIDIONALE - Cagliari

ENTE ACQUE DELLA SARDEGNA - Cagliari

FAVER S.p.A. - Bari

FITT S.p.A. - Sandrigo (VI)

G.E.A.L. S.p.A. - Lucca

GORI S.p.A. - Ercolano (NA)

HERA S.p.A. - Bologna

OFFICINE MACCAFERRI ITALIA S.r.l. - Zola Predosa (BO)

ORDINE DEGLI INGEGNERI Prov. di Firenze

ORDINE DEGLI INGEGNERI Prov. di Palermo

ORDINE DEGLI INGEGNERI Prov. di Perugia

PUBLIACQUA S.p.A. - Firenze

ROMAGNA ACQUE - Società delle Fonti S.p.A. - Forlì

SOGESID S.p.A. - Roma

SYSTEM GROUP - Lunano (PU)

UMBRA ACQUE S.p.A. - Perugia

UTILITALIA - Roma

VEOLIA WATER TECHNOLOGIES ITALIA S.p.A. - Milano

VIANINI INDUSTRIA S.p.A. - Roma

XYLEM WATER SOLUTION ITALIA S.r.l. - Lainate (MI)