

Determinazione di soglie pluviometriche per l'innescò di frane in Emilia - Romagna

Marco Pizziolo*, Lorenzo Del Maschio**, Giampiero Gozza*, Sara Pignone****

* Regione Emilia - Romagna - Servizio geologico, sismico e dei suoli

** Geologo, libero professionista

*** ARPA Emilia-Romagna - Servizio Idrometeorologico

1. PREMESSA

Come è noto, i movimenti franosi si attivano o riattivano prevalentemente in seguito a precipitazioni più o meno intense e prolungate. Gli studi e le analisi degli eventi verificatisi in passato testimoniano che la maggior parte delle attivazioni di frane sono raggruppate in intervalli di tempo brevi e definiti e strettamente correlati a eventi meteorologici, costituendone le conseguenze sul terreno più pericolose, seconde solo alle inondazioni in termini di danni.

Per prevedere gli effetti al suolo degli eventi meteorologici e in particolare delle precipitazioni, presso il **Centro Funzionale Regionale** per il rischio idrogeologico ed idraulico, (istituito in ARPA - Servizio Idrometeorologico regionale e operativo dal Novembre 2005) vengono effettuate non solo le tradizionali previsioni meteorologiche ma anche le valutazioni di criticità idrogeologica e idraulica sul territorio, connesse e conseguenti agli eventi meteorologici stessi.

Tale valutazione è propedeutica alle attività di allertamento di competenza delle strutture di Protezione Civile, che hanno lo scopo di fronteggiare operativamente le situazioni di possibile pericolo per la vita umana, gli abitati, i beni e le infrastrutture. La valutazione della criticità viene effettuata tutti i giorni per ognuna delle otto Zone di allertamento (Fig. 1) in cui è suddiviso il territorio regionale, prendendo in esame una serie di indicatori che concorrono all'identificazione di predefiniti scenari di evento ed alla stima degli effetti idrogeologici e idraulici prodotti sul territorio (livelli di criticità).

Il Centro Funzionale, secondo quanto stabilito dalla Direttiva P.C.M del 27 febbraio 2004, effettua le sue valutazioni in tempo reale, sia in fase di previsione degli eventi per le 24 - 72 ore successive che in fase di monitoraggio. A supporto di tale attività il Servizio geologico, in collaborazione con

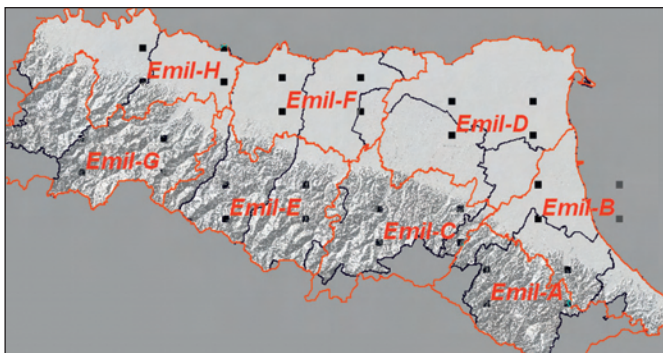


Fig. 1: le zone di allertamento sul territorio dell'Emilia-Romagna.

ARPA SIM ha intrapreso una ricerca volta a definire soglie pluviometriche di innescò di fenomeni franosi valide per il territorio regionale, intendendo per soglia la minima intensità o durata di pioggia necessaria a innescare un movimento.

2. INTRODUZIONE

La determinazione di una o più soglie pluviometriche è estremamente complessa, poiché dipende da numerose variabili tra loro interagenti, quali caratteristiche litologiche e geotecniche del suolo e del substrato roccioso, parametri morfologici, di uso del suolo, di temperatura e umidità dell'aria. Molti parametri sono inoltre variabili nel tempo e nello spazio pertanto dal punto di vista teorico anche la soglia di pioggia è variabile in funzione del tempo e diversa per ciascuna frana. Allo stato attuale delle conoscenze il più efficace approccio applicabile su aree vaste, almeno nella realtà regionale dell'Emilia-Romagna, è quello statistico, basato sugli accadimenti delle frane avvenute in passato, e finalizzato a stimare non il singolo movimento ma la possibilità che in un certo intervallo di tempo (uno o più giorni) si verifichi un certo numero di movimenti su un territorio definito di dimensioni confrontabili con le zone di figura 1.

Nella letteratura scientifica sono state utilizzate numerose relazioni tra intensità, durata, altezza di pioggia giornaliera e/o pioggia cumulata in un periodo antecedente all'evento franoso per individuare soglie di innescò di frane. Le più comuni soglie utilizzate nei modelli definiscono una relazione tra intensità e durata, individuate principalmente per frane superficiali e debris flow (Caine 1980, Cancelli e Nova 1985, Cannon & Ellen 1985, Wieczorek 1987, Ceriani et Al. 1994, Crosta & Frattini 2001).

Altre metodologie mettono in relazione la pioggia cumulata su un periodo antecedente l'evento con la pioggia del giorno di innescò della frana (Lumb 1975) o con la pioggia cumulata durante l'intero evento meteorologico che ha originato la frana (Chleborad A. F. 2000).

Nel caso dell'Appennino Emiliano - Romagnolo, sia per le caratteristiche tipologiche delle frane presenti, sia per il tipo di dati disponibili, si è deciso di utilizzare relazioni tra pioggia cumulata antecedente e pioggia d'evento. La metodologia adottata per la definizione delle soglie si basa sull'utilizzo di due banche dati fondamentali: l'archivio storico dei movimenti franosi, raccolto presso il Servizio geologico, sismico e dei suoli, e i dati storici delle piogge, raccolti presso ARPA- SIM, che vengono illustrati di seguito.

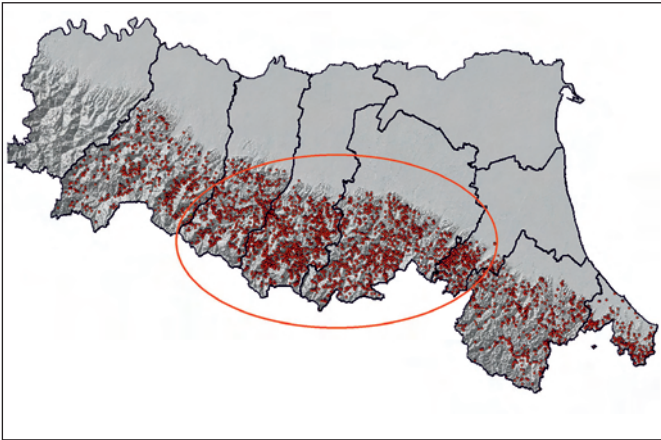


Fig. 2: Distribuzione totale regionale delle frane censite nell'archivio storico e delimitazione area test.

3. I DATI DISPONIBILI

3.1 I Dati sulle frane: l'Archivio storico delle frane in Emilia-Romagna

La Regione Emilia-Romagna ha raccolto, nell'ambito della propria attività conoscitiva e istituzionale, una notevole mole di dati relativi alle frane verificatesi negli ultimi secoli, finalizzata all'individuazione di parametri utili per valutazioni di pericolosità territoriale e di rischio.

L'esigenza di estendere quanto più possibile la densità areale dei dati e l'intervallo temporale coperto ha comportato, insieme alla documentazione scientifica illustrativa di un campione limitato di fenomeni, la raccolta di informazioni integrative, non direttamente derivate da ricerche per finalità tecniche o scientifiche, presso numerosi archivi pubblici e privati. Le principali tipologie di fonti considerate comprendono:

- 1) - la bibliografia geologica e tecnica prodotta a partire dalla seconda metà dell'800 (es: Santi 1897, Almagià, 1907, ecc.);
- 2) - la documentazione d'archivio prodotta o raccolta dai servizi tecnici e amministrativi di Enti Pubblici e privati, in particolare raccolta presso gli uffici ex Genio civile ora Servizi tecnici regionali di bacino, e presso gli Archivi di Stato su sedi provinciali;
- 3) - la stampa periodica a diffusione nazionale e locale disponibile con continuità dalla metà dell'800;
- 4) - la letteratura storica, archeologica e naturalistica, sia pubblicata che inedita; per il territorio appenninico opere di buona qualità sono disponibili a partire dal Settecento.

Il complesso delle informazioni raccolte e analizzate critica-

mente ha portato alla stesura di un archivio di movimenti franosi, verificatisi a partire dal XII secolo, per la maggior parte localizzati graficamente con buona precisione sulla Carta regionale del dissesto alla scala 1:10.000. Sull'intero territorio regionale sono stati raccolti dati per un numero complessivo di eventi superiore a 8000 (Fig. 2).

Per calibrare le soglie di innesco delle frane è stata scelta una area test identificata dai bacini dei fiumi Reno e i suoi affluenti (provincia di Bologna e Ravenna), Panaro (provincia di Modena), Secchia (provincia di Modena e Reggio Emilia), Enza e Crostolo (provincia di Reggio Emilia) in considerazione della alta densità di frane per le quali sono note le date di attivazione.

In tale area di test sono state mappate 3696 frane con 4226 movimenti documentati. Per la determinazione delle soglie sono state selezionate le 3277 attivazioni dotate di data esatta di occorrenza, dal 1939 al 2002.

Per ogni frana sono descritte in forma sintetica l'area interessata e le principali caratteristiche del fenomeno (si veda esempio in figura 3).

Tutti gli elementi conoscitivi acquisiti sono informatizzati e georiferiti, disponibili alla consultazione e ora anche scaricabili nel sito regionale del Servizio Geologico, sismico e dei suoli.

3.2 I Dati storici delle precipitazioni

La rete di monitoraggio pluviometrico della regione Emilia Romagna, gestita dal Servizio IdroMeteorologico Regionale di ARPA (Arpa-SIM), consta di oltre 200 pluviometri di misura in tempo reale.

Come si può notare la distribuzione dei pluviometri garantisce una buona copertura del territorio regionale. I pluviometri in telemisura sono stati installati a partire dall'anno 2001 integrando e in parte sostituendo i pluviometri a lettura meccanica (Fig. 4).

Nella elaborazione statistica effettuata per la determinazione delle soglie pluviometriche sono stati presi in considerazione 134 pluviometri meccanici che presentano una serie storica di dati di pioggia di almeno 10 anni (periodo di tempo significativo per l'attendibilità del dato). I pluviometri in telemisura sono stati solitamente localizzati in prossimità dei pluviometri meccanici preesistenti; dall'analisi effettuata risulta che circa il 50% dei pluviometri meccanici è ubicato ad una distanza inferiore ai 3 km rispetto a quelli in telemisura, men-

Numero frana	data	Località	Descrizione	Classificazione nell'Inventario del Dissesto	Dimensioni	Danni	Riferimenti documentazione
323	1 January 1900	Gaiato. Versante meridionale del rilievo su cui sorge l'abitato, degradante verso il fondovalle del T. Scoltenna. Località Cà Felice.	Nei primi anni del 900, nell'ambito della grande frana di Gaiato si verificano riattivazioni locali dei movimenti in prossimità di Cà Felice.	All'interno di un esteso corpo di frana attivo.	A = 0.02 km ² (ALMAGIA', 1907).	Sconvolgimento di coltivazioni e pascoli.	ALMAGIA' R. (1907) - Studi Geografici sopra le frane in Italia. Memorie della Società Geografica Italiana, vol. XIII, 346 pp.
u	1 December 1900	Costrignano. Località Massabbia e Rovina.	Riattivazione di una piccola frana, i cui movimenti perdurano sino all'aprile 1901.		A = 0.08 km ² (ALMAGIA', 1907).	Sconvolgimento di pascoli ed aree boscate.	ALMAGIA' R. (1907) - Studi Geografici sopra le frane in Italia. Memorie della Società Geografica Italiana, vol. XIII, 346 pp.

Fig. 3: esempio di dati contenuti nell'archivio storico dei movimenti franosi.

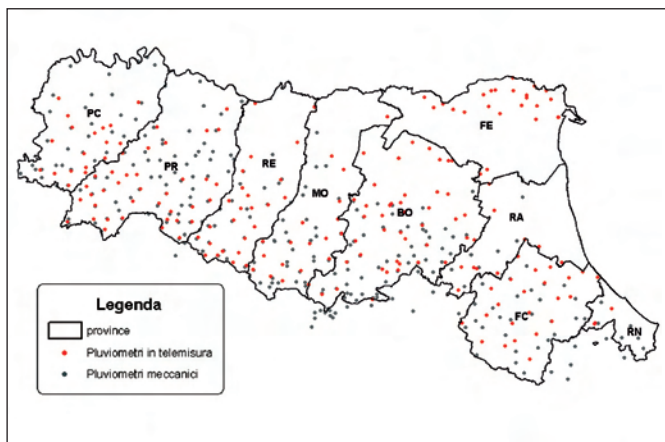


Fig. 4: Ubicazione delle stazioni pluviometriche, in rosso pluviometri in telemisura, in grigio pluviometri meccanici.

tra la percentuale sale intorno al 70% per una distanza prossima ai 5 Km.

I dati storici di precipitazione raccolti sono:

- dati giornalieri (mm/24h): la serie storica dei dati parte dal 1950 e, solo per la provincia di Bologna, è disponibile una serie consistente di dati a partire dal 1916;
- dati di pioggia intensa giornaliera da 1 a 5 giorni, ricavati dai dati giornalieri estraendo i valori di pioggia intensa giornaliera per ogni anno.
- dati di pioggia annua e mensile: dal 1950 al 2002.

I dati di pioggia intensa sono stati fondamentali per la costruzione dei tempi di ritorno delle piogge, effettuata utilizzando il modello probabilistico GEV, che ha permesso di calcolare il valore puntuale dell'altezza di pioggia, compresa per 24, 48, 72, 96 e 120 ore, per assegnati valori del tempo di ritorno (2,5,10,20,50,100 anni). Nel sito del Servizio geologico, sismico e dei suoli, (<http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/>) sono disponibili, in allegato, i valori delle altezze di pioggia ricavate per ciascun pluviometro considerato e la descrizione della metodologia usata.

4. METODOLOGIA

Poiché principale obiettivo del lavoro è la valutazione delle condizioni pluviometriche che possono produrre un fenomeno franoso in corrispondenza o in seguito a un evento meteorologico, è stato ritenuto utile considerare la pioggia totale che si verifica in un evento meteo dall'inizio alla fine e non quella del singolo giorno di innesco dei fenomeni franosi. Questa scelta ha fondamento anche in base alle osservazioni degli eventi passati e in base alla considerazione che la prevalenza delle frane nel territorio appenninico è impostata su litotipi con una frazione argillosa più o meno abbondante che, in estrema sintesi e semplificazione, generano accumuli con bassa permeabilità, bassa velocità di infiltrazione e relativamente bassa reattività a piogge di breve durata, ma forte dipendenza da piogge prolungate e da condizioni di saturazione maturate in intervalli temporali antecedenti anche settimane rispetto all'evento (Fig. 5).

In questo contesto è stato definito "evento meteorologico"

una sequenza continua di giorni piovosi intervallati al massimo da un giorno senza pioggia (24h<5mm). Tale dato è stato per le ragioni sopra esposte, correlato con la pioggia dei 15, 30 e 60 giorni antecedenti all' evento analizzato.

Si articola nelle tappe illustrate nei paragrafi seguenti.

Le soglie sono state identificate tramite analisi statistica identificando una soglia inferiore, che rappresenta un livello critico minimo di precipitazione sotto la quale il fenomeno non si verifica e una soglia intermedia che separa diversi livelli di criticità, utile a caratterizzare l'evento meteo in termini di severità di effetti al suolo e utili in fase operativa propedeutica alle allerte di protezione civile.

4.1 Individuazione dei principali intervalli temporali di attivazione di frane

L'analisi dell'archivio storico dei movimenti franosi ha consentito di selezionare i principali intervalli temporali che hanno registrato un numero di frane superiore a 10 nel mese e che hanno coinvolto tutte e tre le province dell'area pilota (tabella 1). Tuttavia sono stati presi in esame anche intervalli temporali che hanno generato un numero di frane inferiore a 10, se seguiti a distanza di pochi giorni da un altro intervallo durante il quale si sono innescati altri franamenti.

4.2 Individuazione e caratterizzazione degli eventi meteo

Dalla data esatta di innesco (giorno/mese/anno) sono stati estratti i seguenti valori di pioggia partendo dai dati di precipitazione giornalieri (mm/24h) registrati dalle stazioni meccaniche (tabella 2):

- pioggia giornaliera del giorno innesco;
- pioggia cumulata dal giorno di innesco per 2, 3, 4, 5, 6, 7 giorni (per caratterizzare l'evento) e 15, 30, 60, 90 giorni (per comprendere le condizioni di saturazione al suolo).

Dalle cumulate delle precipitazioni sono stati ricavati i seguenti parametri (tabella 3):

- **Pioggia d'evento (Pe):** rappresenta la cumulata di pioggia dell'evento piovoso partendo dal giorno di innesco della frana fino a fine evento piovoso. La pioggia dell'evento è



Fig. 5: Tipico Scivolamento traslativo evolvente in colamento in Comune di Civitella (FC).

Tabella 1: principali intervalli temporali con registrazione di movimenti franosi dal 1939 al 2002 relativi alle Province di Reggio Emilia, Modena e Bologna

DATA EVENTO	NUMERO ATTIVAZIONI
29 Maggio – 2 giugno 1939	248
6-13 Febbraio 1951	17
22-27 Febbraio 1951	19
30 Aprile 1956	8
16-17 Aprile 1958	9
30 Novembre – 6 Dicembre 1959	44
10-14 Dicembre 1959	38
13-18 febbraio 1960	23
19-20 Aprile 1960	74
30 Aprile 1 Maggio 1960	14
14-16 Marzo 1964	18
28 Marzo – 4 Aprile 1964	65
10-15 Aprile 1965	5
17-20 Aprile 1965	14
4-6 Novembre 1966	66
8-11 Settembre 1972	28
15-16 Settembre 1972	16
24-26 Settembre 1973	40
28-30 Aprile 1974	37
3-5 Gennaio 1977	8
12 Gennaio 1977	13
13-16 Aprile 1978	52
8-10 Novembre 1982	19
30 Novembre – 3 Dicembre 1982	15
24-26 Novembre 1990	68
5-9 Dicembre 1992	32
10-14 Giugno 1994	85
8-9 Ottobre 1996	20
3-6 Dicembre 2002	52
18-20 Dicembre 2002	20
TOTALE	1165

stata stimata considerando i valori di pioggia cumulata da 1 a 7 giorni;

- **Pioggia d'evento normalizzata (NPe%)**: è il rapporto tra pioggia d'evento (Pe) e la pioggia totale annua del pluviometro considerato;
- **Pioggia antecedente (Pa)**: rappresenta la cumulata di pioggia dell'intervallo antecedente considerato, sottratta

della pioggia d'evento. La pioggia antecedente è stata stimata considerando i valori di pioggia cumulata dai 15 ai 90 giorni antecedenti;

- **Pioggia antecedente normalizzata (Npa%)**: è il rapporto tra la pioggia antecedente (Pa) e la pioggia totale annua del pluviometro considerato.

La pioggia normalizzata rispetto alla media annua permette di omogeneizzare i dati e di confrontare valori registrati in zone dove generalmente le quantità di precipitazione sono diverse.

4.3 Unione dati di pioggia alle frane

A ogni evento franoso riscontrato, sono stati associati i dati di precipitazioni registrati dal pluviometro più vicino e appartenente allo stesso bacino idrografico. Sono stati attribuiti i valori di pioggia dell'evento meteo anche a quelle frane per le quali la data di innesco è in leggero ritardo (da uno a circa 10 giorni) rispetto all'evento meteo stesso ma comunque attribuibile chiaramente a esso. Tale ritardo è dovuto in parte a una imprecisione di segnalazione (può essere confusa la data di segnalazione con la data di innesco) e in parte perché alcuni fenomeni si manifestano o producono danni visibili con un ritardo rispetto alla conclusione dell'evento di pioggia (tabella 3). Nei casi in cui la frana riporta il giorno esatto di innesco, che talvolta precede la fine dell'evento meteo, è stata considerata l'altezza di pioggia fino a quel giorno.

4.4 Correlazione tra piogge di evento e piogge antecedenti e determinazione delle soglie pluviometriche

Come ultima fase si è cercato di correlare la pioggia di evento normalizzata con la pioggia antecedente normalizzata,

Tabella 2: esempio di tabella di estrazione dati di pioggia il 13 giugno 1994 (evento 10-14 giugno 1994) - valori in mm.

Stazione	dato1g	dato2g	dato3g	dato4g	dato5g	dato6g	dato7g	dato15g	dato30g	dato60g	dato90g
Baiso	78	167,6	177,4	187,2	187,2	187,2	187,2	187,2	201,6	296,6	390,6
Barco	32,6	113,6	123,6	135,8	135,8	135,8	135,8	136,2	209,8	325	462,6
Barigazzo	63	215	241	247	247	247	247	247	280	396	553
Bologna Idro	39,2	107,4	120,2	139	139	139	139	141,8	152,8	214,4	310,8
Bologna San Luca	27	100,4	113	131,4	131,4	131,6	131,6	135,8	147,6	211,8	295,2
Bombiana	30,4	114,4	124,6	127,8	127,8	127,8	127,8	128	162,8	245,4	311,8
Borgo Tossignano	67,8	129,8	206	206	206	206	206	223,8	236,8	289	370,2
Calderara di Reno	47,4	86,8	99,2	103,2	103,2	103,2	103,2	108,4	122	186,4	282,4

Tabella 3: esempio di unione dati di pioggia con dati di frana

ID frana	Anno	Giorno	Mese	Data	Stazione	durata	TR (anni)	Pe	Pa30	Pa60	Npe%	Npa30%	Npa60%
605	1992	9	12	10-dic	Riola di vergato	5	2	108,8	25,4	173,0	11,1	2,6	17,6
700	1992	9	12	9-dic	Vergato	4	2\5	107,4	36,6	160,4	10,7	4,1	18,1
710	1992	9	12	10-dic	Vergato	4	2\5	107,4	36,6	160,4	10,7	4,1	18,1

sulla base di quanto descritto nei paragrafi precedenti; in questa operazione sono stati utilizzati tutti i dati pluviometrici puntuali associati ad ogni evento franoso innescatosi durante gli eventi meteorologici prescelti. La pioggia antecedente considerata è stata sui 15, 30, 60 giorni antecedenti; dai grafici risultanti è stato deciso di utilizzare i dati dei 30 giorni;

Diagrammando la Npa dei 30 giorni lungo l'asse X e la Npe lungo l'asse Y è stata individuata una curva rappresentativa statisticamente significativa. Come si può notare la distribuzione dei punti è notevolmente dispersa ma ciò nonostante è stata ricercata comunque la funzione rappresentativa dell'intera distribuzione dei punti. Tale funzione, denominata "**Curva A**" è stata prescelta dopo aver testato con un software apposito 2979 funzioni non lineari (Fig. 6).

Poiché l'obiettivo è comunque la ricerca di una soglia minima, in realtà tale funzione può essere considerata comunque accettabile trasladola verso il basso in modo da separare convenzionalmente il 10% dei punti al di sotto della curva dal 90% al di sopra.

Essa costituisce la soglia inferiore o **soglia ordinaria** (curva "ordinaria" di figura 7). I parametri specifici della curva sono:

$$y = \frac{a}{\sqrt{1 + 2a^2bx}}$$

$a = 9,67$
 $b = 0,002$

Il suo significato è che statisticamente solo il 10% delle eventi attivazioni considerate sono accadute con condizioni di precipitazioni normalizzate inferiori alla soglia stabilita: tale numero risulta ragionevolmente basso (circa 110 eventi in circa 50 anni) anche in considerazione della presenza al di sotto della curva di numerose segnalazioni che appaiono inspiegabilmente legate a condizioni di pioggia ordinarie o addirittura siccitose e che possono essere attribuite a varie cause, legate anche a possibili errori strumentali o errori di segnalazione.

La funzione individuata è stata utilizzata come soglia solo entro un intervallo di valori, delimitato da una retta parallela all'asse Y (Fig. 7) che individua la pioggia cumulata del mese antecedente pari al 3,4% della pioggia annuale media del pluviometro considerato. La retta individua il decimo percentile dei punti ordinati per pioggia antecedente: il suo significato statistico è che valori di pioggia cumulata antecedente inferiori risultano troppo poco numerosi per essere significativi mentre dal punto di vista fisico il contributo della pioggia antecedente può essere considerato ininfluente (infatti si tratta di piogge cumulate oscillanti tra 30 e 60 mm, inferiori alla metà della pioggia media mensile di gran parte dei pluviometri). Inferiormente a tale valore X la soglia è stata stabilita sulla base del tempo di ritorno (TR) della precipitazione d'evento. In particolare si osserva che la curva ordinaria separa punti con pioggia di evento avente TR maggiori o minori di 2 anni.

Alla funzione di soglia ordinaria è stata inoltre affiancata per semplice traslazione verticale una funzione parallela **soglia**

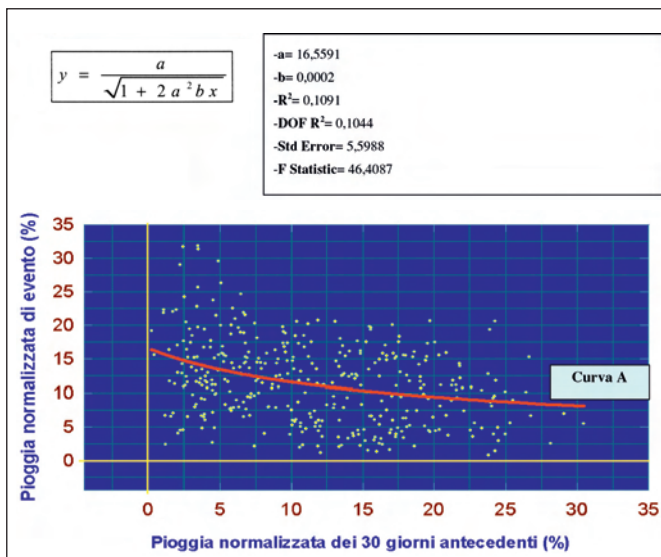


Fig. 6: funzione interpolante la distribuzione dei punti.

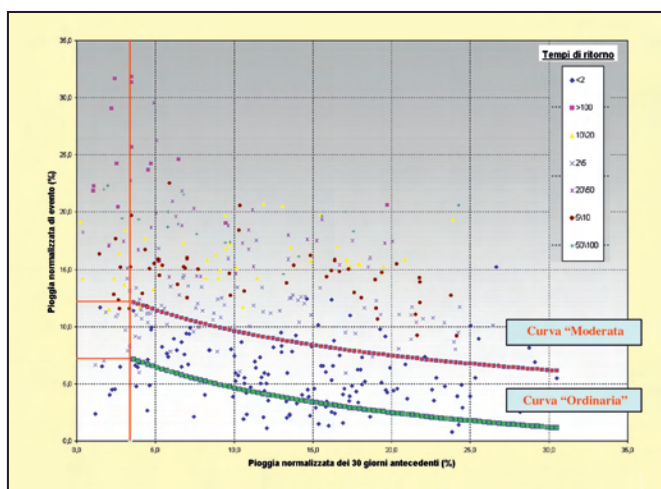


Fig. 7: curve previsionali per la soglia ordinaria e moderata

moderata (curva moderata di figura 7). I parametri specifici della curva sono:

$$y = \frac{a}{\sqrt{1 + 2a^2bx}}$$

$a = 14,49$
 $b = 0.00035$

Analogamente la curva è stata interrotta con valori di $x < 3,4$ per le stesse ragioni precedentemente considerate. Nella fascia adiacente all'asse Y la soglia moderata scatta con $TR > 5$ anni per l'evento considerato.

4.5 Verifica delle soglie

Una parte fondamentale di tutte le metodologie statistiche risulta la verifica dell'attendibilità della metodologia utilizzata. La prima verifica è stata eseguita valutando come le piogge, caratterizzanti altri eventi meteorologici per i quali si sono innescate frane, si collocano nel diagramma. Sono stati pertanto selezionati dal database iniziale altri ventiquat-

Tabella 4: eventi minori utilizzati per la significatività delle soglie

DATA EVENTO	NUMERO ATTIVAZIONI
16-19 Novembre 1959	12
8-11 Dicembre 1960	4
17-18 Dicembre 1960	7
28-27 Novembre 1965	5
25-22 Febbraio 1968	6
24-26 Marzo 1969	16
3-6 Aprile 1969	13
14 Aprile 1969	5
26-25 Aprile 1972	10
14-17 Febbraio 1979	10
15-19 Novembre 1979	10
10 Marzo 1980	8
14-17 Marzo 1980	7
27 Gennaio 1985	8
10-11 Maggio 1991	11
20-25 Novembre 1991	12
22 Settembre 1994	6
15-18 Dicembre 1985	8
1 Gennaio 1996	10
6-8 Gennaio 1996	8
20-22 Febbraio 1996	13
9-6 Novembre 1999	10
17-18 Novembre 2002	5
24-27 Novembre 2002	10
TOTALE	213

tro intervalli temporali (tabella 4) per i quali è stata eseguita tutta la procedura precedentemente descritta, al fine di associare ad ogni frana la pioggia dei trenta giorni antecedenti e la pioggia dell'evento con la rispettiva durata e tempo di ritorno. Da tale verifica si nota che circa il 60% dei movimenti franosi si collocano al di sopra della curva di soglia ordinaria, la maggior parte degli eventi sta al di sotto della curva di soglia moderata e il 40 % si colloca al di sotto. Se si considera il fatto che per questa operazione sono stati utilizzati eventi di minore gravità avendo tutti causato un numero di frane inferiore a 16 e caratterizzati da pioggia di evento con tempo di ritorno inferiore a 2 anni, si può affermare che le curve-soglia individuano in modo accettabile i livelli di criticità. E' inoltre in corso una verifica sistematica a posteriori relativa a tutti gli eventi meteo processando in modo sistematico l'intero Data base delle piogge dal 1951 a oggi. Lo scopo è definire i falsi allarmi, ossia gli eventi di pioggia che non hanno generato frane e i mancati allarmi ossia frane che non sono state generate da piogge sufficientemente significative .

5. UTILIZZO DEI DATI PER LA VALUTAZIONE DELLA CRITICITA' IN SALA OPERATIVA

Come già esposto in precedenza quotidianamente presso la sala operativa meteo di ARPA – SIM vengono effettuate le valutazioni di criticità basate sul modello appena proposto, ovviamente mediato dall'operatore esperto. Per agevolare tale verifica è stata sviluppata una applicazione che calcola

quotidianamente per ogni pluviometro i valori necessari al calcolo delle soglie, li colloca nel diagramma e quindi permette immediatamente la sua classificazione secondo il livello di criticità raggiunto. I dati utilizzati sono ovviamente le precipitazioni cumulate dei 30 giorni precedenti e le precipitazioni previste nelle successive 72 ore sommate a quelle eventualmente cadute negli ultimi giorni, in coerenza con la definizione di evento illustrata in precedenza.

A partire dal livello di criticità del singolo pluviometro viene effettuata una generalizzazione tale da attribuire alla zona di allertamento la criticità raggiunta dal 50 % dei pluviometri ricadenti nella zona stessa. In figura 8, in basso, è evidenziata l'interfaccia che presenta l'applicazione, ora visualizzabile anche sul sito web del Servizio geologico nella parte tematica dedicata al dissesto e aggiornato quotidianamente. Ovviamente in questo caso si rischia una certa sovrastima del livello di criticità, che viene tuttavia tollerato per un semplice principio di precauzione rispetto ai possibili effetti sul territorio.

6. CONSIDERAZIONI GENERALI SUI RISULTATI

Sono possibili alcune considerazioni generali sulle relazioni tra precipitazioni e movimenti franosi.

Il legame tra il regime delle precipitazioni e la frequenza delle frane viene illustrato nel grafico in figura 9 dove si evidenzia la correlazione tra la distribuzione stagionale delle frane con l'andamento delle medie mensili delle precipitazioni (1950-

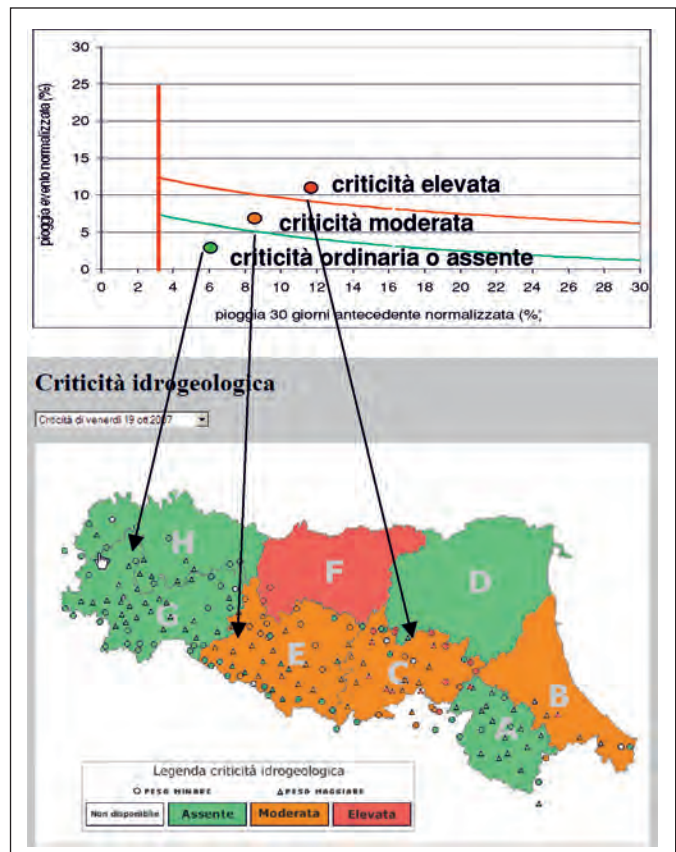


Fig. 8: a partire dalla valutazione di criticità del singolo pluviometro si arriva alla definizione del livello per la zone intera.

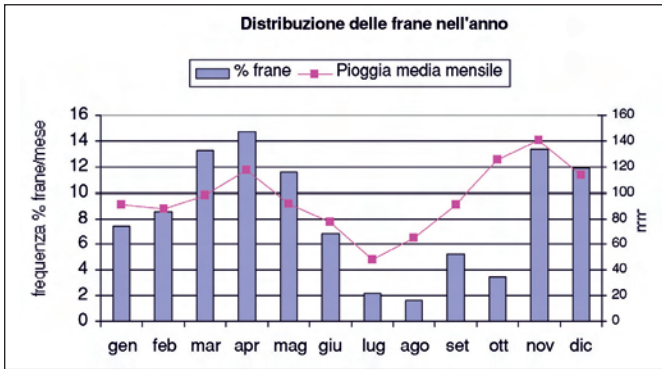


Fig. 9: ripartizione dei franamenti durante l'anno e andamento medio delle precipitazioni mensili.

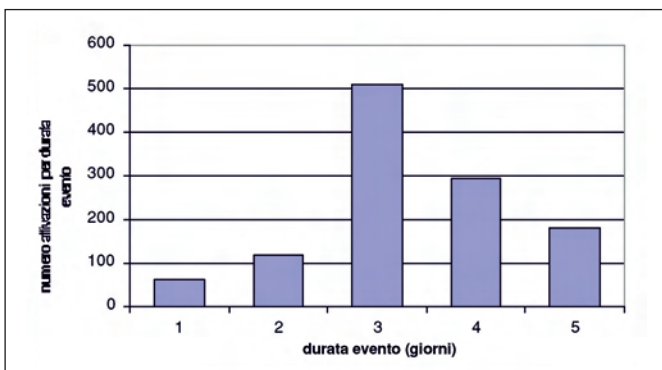


Fig. 10: Numero di attivazioni di frane suddivise per la durata dell'evento meteorologico da 1 a 5 giorni.

2001), elaborato per alcune stazioni pluviometriche ritenute "caratteristiche" di ciascuna provincia, perché prossime a zone particolarmente dissestate.

Sono emerse inoltre le seguenti considerazioni:

1. La maggior parte di attivazioni di frana prese in esame (84%) avviene dopo una pioggia continua che dura da 3 a 5 giorni (Fig. 10);
2. Il 28% delle frane si sono innescate a seguito di eventi di pioggia con tempo di ritorno inferiore ai 2 anni; per questi casi è necessario valutare le condizioni di saturazione del suolo stimando la pioggia precedente. Il 38% dei casi avviene con pioggia evento con tempo di ritorno tra i 2 e i 10 anni; i casi estremi invece rappresentano solo il 34% da tempo di ritorno maggiore di 20 anni (Fig. 11);

7. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'analisi delle condizioni pluviometriche antecedenti e di evento, relative a oltre 1150 riattivazioni ha consentito la determinazione di una curva di soglia basata su analisi statistica.

L'intervallo significativo di pioggia antecedente scelto è stato quello relativo a 30 giorni, pur non escludendo la possibilità di ricercare funzioni soglia per intervalli maggiori. Si ritiene che i principali filoni di sviluppo futuri debbano essere i seguenti:

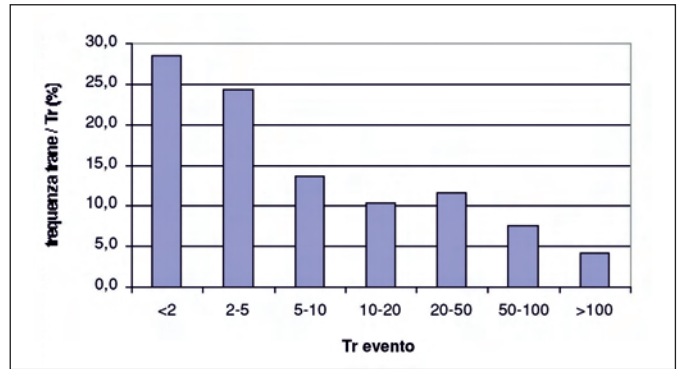


Fig. 11: Numero di attivazioni di frane suddivise per Tempo di ritorno dell'evento meteorologico.

1. Test di significatività per ricercare i falsi allarmi e mancati allarmi con l'analisi a ritroso degli ultimi 50 anni.
2. Verifica della significatività delle curve anche per aree esterne all'area test utilizzando in modo più completo i dati delle banche dati meteorologiche e l'Archivio storico dei movimenti franosi.
3. Differenziazione degli eventi franosi per tipologia e dimensione, separando in primo luogo gli eventi superficiali da quelli profondi e rianalisi dei dati e dei risultati;
4. Inserimento della stagionalità nella determinazione delle soglie;
5. Verifica dell'influenza della neve sulle attivazioni;
6. Utilizzo di relazioni diverse (ad esempio relazioni intensità di pioggia - durata).

8. BIBLIOGRAFIA

- ALEOTTI P., 2004: A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology* 73, 247-265
- CAINE N., 1980: The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler, Series A* 62(1-2), 23-27.
- CANCELLI A., NOVA R., 1985: Landslides in soil debris cover triggered by rainstorms in Valtellina (Central Alps - Italy). *Proceedings of 4th International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo*, 267-272.
- CANNON S.H., ELLEN, S.D., 1985: Rainfall conditions for abundant debris avalanches, San Francisco Bay region, California. *California Geology* 38(12), 267-272.
- CERIANI, M., LAUZI, S., PADOVAN, N., 1994. Rainfall thresholds triggering debris flows in the alpine area of Lombardia Region - Central Alps - Italy. *I Convegno internazionale per la protezione e lo sviluppo dell'ambiente montano "Man and Mountain" 94*, pp. 123-139.
- CHLEBORAD, A.F., 2000: Preliminary Method for Anticipating the Occurrence of Precipitation - Induced Landslides in Seattle, Washington. *Open File Report 00-469 USGS*.
- CROSTA G., FRATTINI P., 2001: Rainfall Thresholds for triggering soil slips and debris flow. *Proc. Of EGS 2nd Plinius Conference 2000, Mediterranean Storm, Siena*, 463-488.
- LUMB P., 1975: Slope failure in Hong Knog. *Quaternary Journal Engineering Geologist* 8, 31-65.
- WIECZOREK G.F., 1987: Effects of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. In: Costa, J.E., & Wieczorek, G.F. (eds.), *Debris flows/avalanches: process, recognition and mitigation. Reviews in Engineering Geology, Geological Society of America, Boulder, CO*, 7: 93-104.