

LE SOGLIE PLUVIOMETRICHE DI INNESCO FRANE E COLAMENTI DETRITICI SUPERFICIALI

(Luigi Fanizzi, ECOACQUE®)

Le frane indotte da precipitazioni piovose si verificano, generalmente, durante piogge di breve durata e massima intensità oppure a seguito di lunghi periodi piovosi, in funzione, prevalentemente, della capacità di infiltrazione e delle proprietà idromeccaniche dei terreni coinvolti. Pur sottolineando che ogni fenomeno d'instabilità risponde "a modo suo" alle piogge, è stato ampiamente riconosciuto, in letteratura, che l'innescò di alcune tipologie di frane e colate detritiche, risulta essere primariamente correlato con le precipitazioni abbattutesi, sulla zona, in un determinato periodo di tempo, precedente l'evento parossistico (Glade et Al., 2004; Sidle et Ochiai, 2006). Il legame tra regime delle precipitazioni piovose e la frequenza delle frane viene illustrato nel grafico riportato in Fig. 1. Dove si evidenzia la correlazione tra la distribuzione stagionale delle frane con l'andamento delle medie mensili delle precipitazioni (1950 ÷ 2001), elaborato per alcune stazioni pluviometriche ritenute "caratteristiche", per ciascuna provincia, perché prossime a zone particolarmente dissestate (M. Pizziolo ed Altri, 2008).

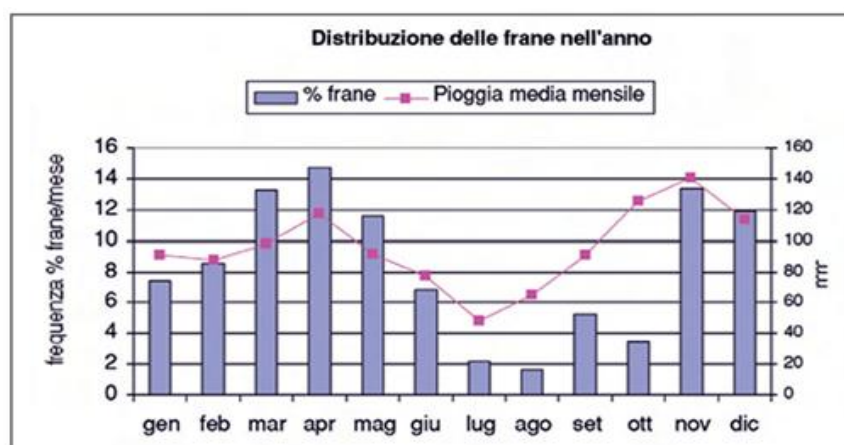


Fig. 1 – Ripartizione dei franamenti annui ed andamento medio delle precipitazioni mensili (Regione Emilia Romagna).

Nell'ambito della geomorfologia applicata, da più di trent'anni si sono sviluppate ricerche volte all'identificazione delle correlazioni esistenti tra le precipitazioni che colpiscono una determinata area ed i movimenti gravitativi che, di conseguenza, si manifestano. Per definizione, una soglia pluviometrica stabilisce le condizioni di pioggia (e. g. durata, intensità e cumulata di pioggia) che, se eguagliate o superate, possono dare origine a locali dissesti idrogeologici (frane e/o colamenti detritici superficiali; Cozier, 1996). Tali soglie, empiriche (Fig. 2; S. Peruccacci, 2018), di pioggia sono definite analizzando, su base statistica, le condizioni che hanno innescato dissesti idrogeologici (frane e/o colamenti detritici superficiali).

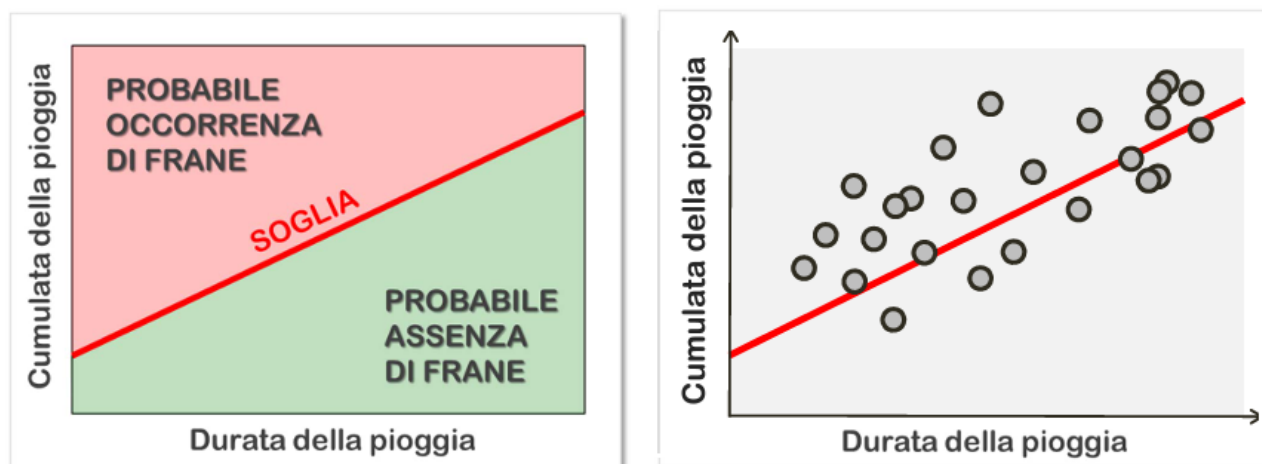


Fig. 2 – Curve correlative di Soglia: "Cumulata di pioggia/Durata della pioggia".

In Italia, nel periodo 2000÷2014, si sono registrate 2819 frane pluvioindotte (Fig. 3; S. Peruccacci, 2018)

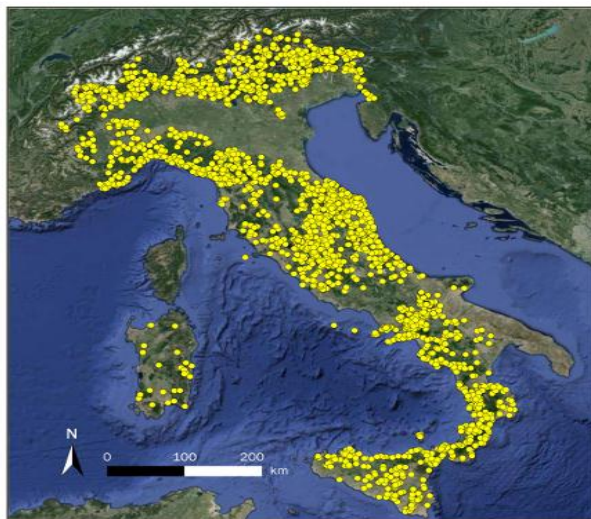


Fig. 3 – Frane pluvioindotte in Italia (2000÷201).

Sebbene il fenomeno possa interessare anche frane profonde, molto spesso le frane, indotte da piogge, sono per lo più di tipo superficiale, caratterizzate da uno spessore massimo di circa un paio di metri ed un rapporto tra lunghezza e spessore maggiore di 10, di conseguenza, le frane superficiali si prestano bene ad essere analizzate mediante lo schema di pendio indefinito. Dopo la rottura, la massa di terreno instabile, generalmente, scorre nella direzione parallela al pendio ed in alcune circostanze può evolvere in un flusso detritico. Nonostante il volume del materiale instabile può talvolta essere limitato, tali frane possono risultare spesso molto pericolose. Infatti, il corpo di frana potrebbe ostruire un corso d'acqua, invadere una strada od una ferrovia e causare incidenti fatali, inoltre, l'occorrenza delle frane superficiali è spesso improvvisa e priva di segni premonitori, il che ne rende molto difficile la previsione. Generalmente, prima del verificarsi della frana, il terreno si trova in condizioni di parziale saturazione, il che favorisce la stabilità del pendio grazie alla presenza della suzione. Nello specifico, la resistenza al taglio dei terreni parzialmente saturi è funzione di due variabili di sforzo: la tensione totale netta e la suzione. Maggiori sono tali variabili, maggiore è la resistenza al taglio del terreno. Con l'infiltrazione della pioggia, la tensione totale netta varia leggermente, mentre la suzione si riduce, causando una conseguente riduzione della resistenza al taglio. In alcuni casi, l'infiltrazione della pioggia potrebbe addirittura annullare la suzione e dare luogo a pressioni neutre positive dovute alla formazione di una falda nel pendio, con conseguente ulteriore riduzione della resistenza. In definitiva, l'infiltrazione della pioggia causa una riduzione della resistenza al taglio del terreno che può provocare la rottura del pendio lungo una superficie di scorrimento, generalmente di nuova formazione. Una predizione preliminare delle frane superficiali, indotte da pioggia, viene generalmente eseguita confrontando alcune caratteristiche delle precipitazioni attese, quali ad esempio, intensità e durata, con dei valori soglia corrispondenti al verificarsi del fenomeno franoso. Il valore critico dell'intensità di pioggia, $I_{critica}$, viene generalmente legato alla durata della pioggia, D [h], mediante una relazione esponenziale negativa del seguente tipo:

$$I_{critica} = A \cdot D^{-B} \text{ [mm/h]} \quad (1)$$

Nel 2010 Brunetti ed Altri, hanno tarato una soglia pluviometrica per l'Italia sulla base di un catalogo di 587 eventi pluviometrici che hanno innescato frane nel periodo 1841÷2008 (85% eventi al nord, 7,7% al centro e 7,3% al sud) e di un database di 166 eventi relativo al periodo 2002-2009. I dati del catalogo derivano da una ricerca bibliografica su pubblicazioni scientifiche, atti di convegni e rapporti tecnici. Il database 2002÷2009 è stato popolato attraverso la ricerca sui quotidiani delle informazioni sull'innescio di frane (luogo e data di innescio) e l'estrazione del relativo evento pluviometrico (durata ed intensità media) dal database dei pluviometri con misurazioni orarie o sub-orarie ubicati sul territorio italiano. Per calcolare i coefficienti della soglia pluviometrica I - D ($I = A \cdot D^{-B}$) è stato utilizzato sia l'approccio Bayesiano (linea Verde) che l'analisi frequentista con probabilità di non superamento, rispettivamente, dell'1 % (Linea Blu) e del 5 % (Linea Rossa, Figura 4).

Le soglie tarate con approccio bayesiano e frequentista sono abbastanza simili, quella bayesiana (T_B), però, è più bassa per durate di eventi pluviometrici molto brevi ($D < 2$ ore); per eventi più lunghi ($D > 2$ ore), invece, risulta la soglia con metodo frequentista (T_1) quella meno conservativa (Guzzetti ed Altri, 2007; 2008; Brunetti et Al., 2010). Nel 2014 è stata calcolata una nuova soglia sulla base di un catalogo di 1981 eventi pluviometrici che hanno innescato 2408 frane superficiali dal 1996 al 2012 in 17 Regioni. La nuova soglia è risultata inferiore alla precedente, a causa delle differenti fonti di informazioni utilizzate per la compilazione del catalogo, principalmente giornali e rapporti tecnici dei Vigili del Fuoco (Brunetti et Al., 2014).

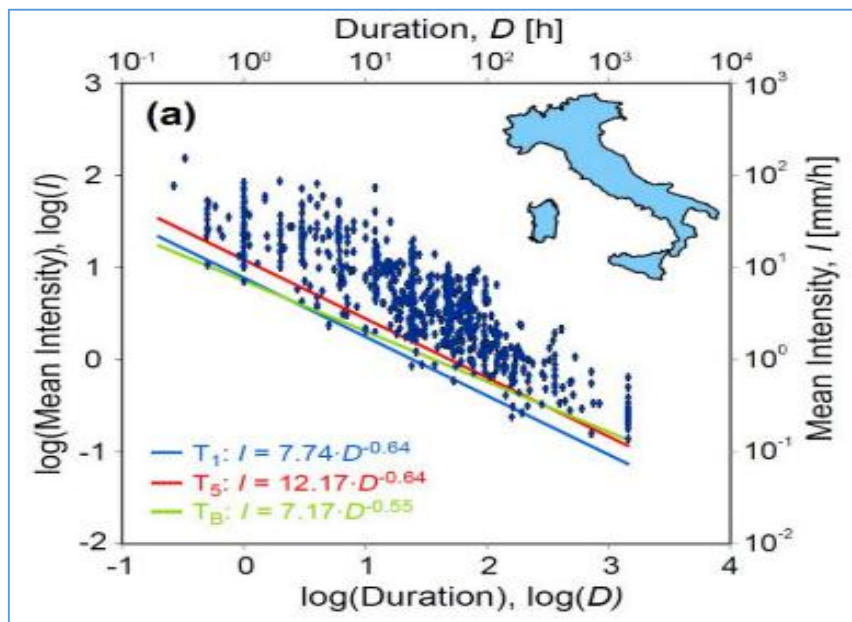


Figura 4 - Soglia pluviometrica stimata con approccio bayesiano (linea verde) ed analisi frequentista (linee: blu < 1 %; rossa < 5 %).

La distribuzione territoriale delle frane rivela, anche, la loro stretta dipendenza dalle formazioni a litologia prevalentemente argillosa (oltre che arenaria) o strutturalmente complesse (conglomerati e Flysch; Fig.5, Spilotro et Al., 2022).

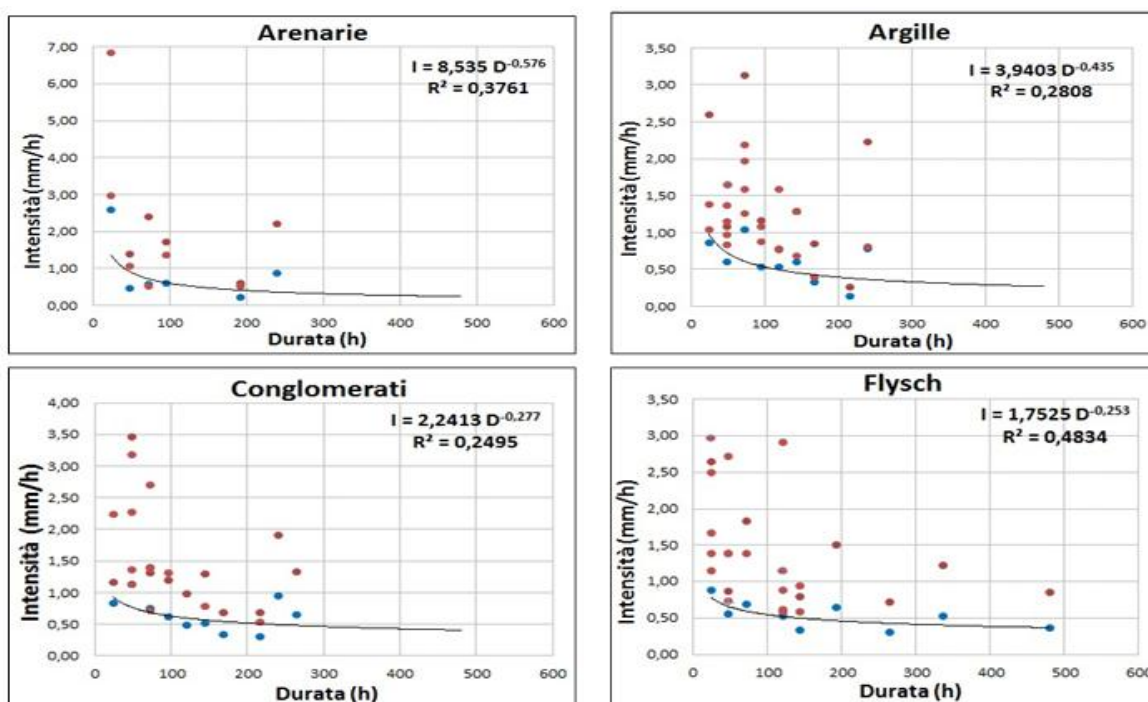


Fig. 5 – Soglie pluviometriche critiche d'innescio di dissesto geologico per classe litologica.

Il tipo di materiale, infatti, costituisce uno dei principali fattori predisponenti (fattore intrinseco, secondo D.J. Varnes, 1978) della franosità, dal momento che i fenomeni di instabilità geomorfologica sono controllati dalle caratteristiche geomeccaniche dei materiali stessi (Fig. 6; G. Gullà et A., 2005) che costituiscono il versante (integrità, omogeneità, coerenza, stratificazione, scistosità, tixotropicità eccetera).

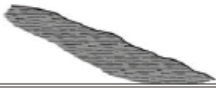
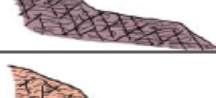
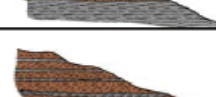
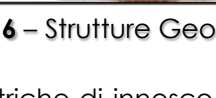
Struttura Geologica Tecnica (SGT)		
Schema	N° Frane nella SGT	Descrizione
	7	Ammasso roccioso prevalentemente costituito da roccia sciolta a comportamento indicativamente attritivo
	25	Ammasso roccioso prevalentemente costituito da roccia sciolta a comportamento indicativamente coesivo
	13	Ammasso roccioso prevalentemente costituito da roccia tenera a comportamento indicativamente fragile
	13	Ammasso roccioso prevalentemente costituito da roccia tenera a comportamento indicativamente duttile
	15	Ammasso roccioso prevalentemente costituito da roccia lapidea fratturata e degradata ed a comportamento indicativamente duttile
	15	Ammasso roccioso prevalentemente costituito da rocce sciolte attritive e/o tenere fragili o duttili sovrapposte a rocce a comportamento indicativamente coesivo
	5	Ammasso roccioso prevalentemente costituito da alternanze di rocce tenere fragili o sciolte attritive con rocce sciolte coesive

Fig. 6 – Strutture Geologiche Tecniche (SGT) definite a rischio franoso.

Le soglie pluviometriche di innesco I-D nazionali sono state integrate nel sistema prototipale **SANF** (Sistema di Allertamento Nazionale per la previsione di Frane) realizzato dal **CNR-IRPI** per il Dipartimento di Protezione Civile (Rossi et Al., 2012). La caratterizzazione dell'evento pluviometrico responsabile dell'innesco della frana, in termini di durata, altezza di precipitazione cumulata ed intensità media d'evento, richiede preliminarmente la definizione di una metodologia oggettiva per l'identificazione dell'inizio dell'evento innescante. In letteratura l'inizio dell'evento è stato spesso individuato in maniera soggettiva; ad esempio è stato definito da Aleotti (2004), come il momento in cui l'intensità di pioggia aumenta significativamente e la curva di pioggia cumulata presenta un brusco cambio di pendenza (Fig. 7).

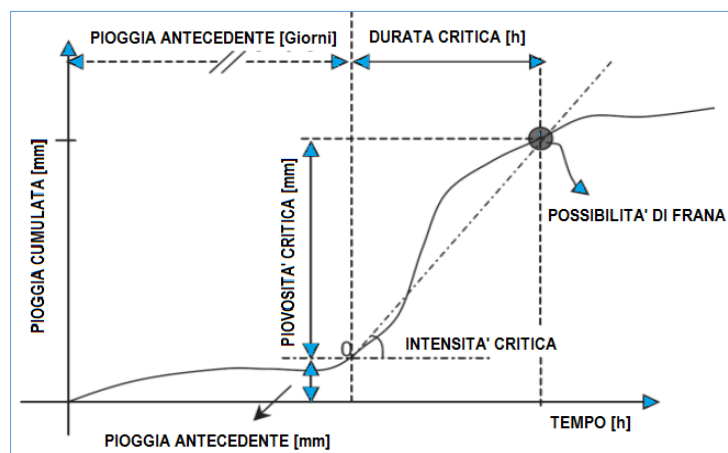


Fig. 7 – Identificazione dell'inizio dell'evento innescante.

Le soglie esistenti sono definite in base ad una combinazione dei seguenti parametri:

- Intensità di pioggia critica;
- Durata della pioggia critica;
- Durata ed intensità della pioggia critica normalizzata.

Nel presente studio l'identificazione dell'inizio dell'evento innescante è stata considerata mediante la separazione delle serie di registrazioni di precipitazione in eventi stocasticamente indipendenti, utilizzando il metodo esponenziale, descritto come di seguito. Una sequenza di registrazioni pluviometriche consiste di periodi piovosi separati da intervalli non piovosi. Due periodi piovosi separati da un lungo intervallo non piovoso possono essere sicuramente considerati indipendenti, ovvero causati da sistemi meteorologici differenti. Quando due periodi piovosi sono separati da un breve intervallo non piovoso dell'ordine dei minuti o di qualche ora, i due periodi piovosi non possono essere considerati indipendenti perché generati dal medesimo sistema meteorologico e tali che il secondo periodo sia condizionato dal verificarsi del primo (Bonta & Rao, 1988). Viene definita, pertanto, **Durata Critica (Critical Duration o CD)** l'intervallo non piovoso minimo per separare due periodi piovosi stocasticamente indipendenti (Fig. 8). Il metodo esponenziale si basa sull'ipotesi che periodi non piovosi che separano eventi pluviometrici indipendenti siano distribuiti secondo una distribuzione esponenziale in un processo di Poisson, caratterizzata da una funzione di densità probabilistica $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ e dal fatto di avere media (μ) e scarto quadratico medio (σ) uguali, ossia: $\mu = \sigma = \frac{1}{\lambda}$. Si definisce inoltre **IET (Inter-Event Time o Tempo Medio fra gli Eventi piovosi)** il parametro della distribuzione esponenziale ($\frac{1}{\lambda}$), ossia la media degli intervalli di non pioggia di lunghezza maggiore della durata critica **CD** (Bonta & Johnson, 2002).

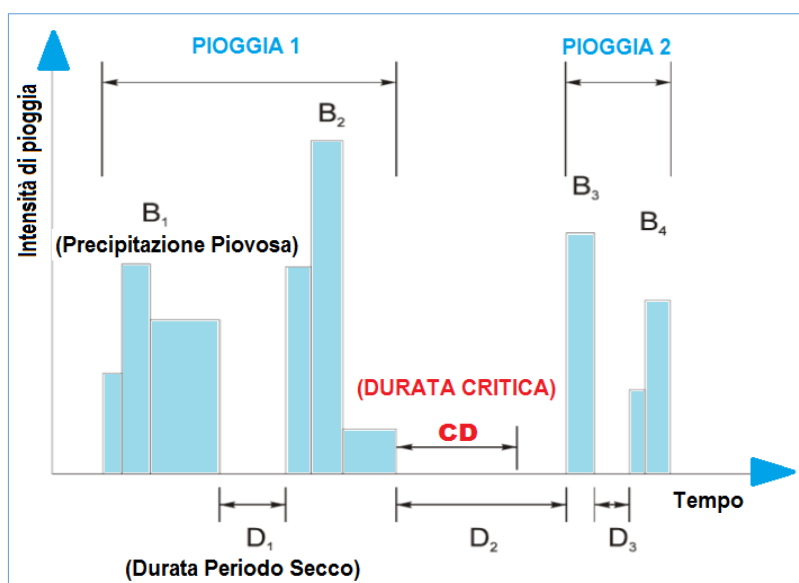


Fig. 8 – Sequenza di periodi piovosi ed intervalli non piovosi.

Nel presente lavoro, pertanto, è stato considerato come metodo di stima dello **IET (Inter-Event Time)**, il metodo **CV (Coefficiente di Variazione)**, che separa le precipitazioni continue, in eventi pluviometrici indipendenti e per individuare, quindi, la durata critica **CD** mediante un procedimento che elimina i valori inferiori dal campione di intervalli di non pioggia, fino ad ottenere il Coefficiente di Variazione:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} = 1,00$$

dove μ e σ sono, come già scritto, la *media* e la *deviazione standard* dei periodi non piovosi (IET), tra gli eventi piovosi. Il metodo **CV** presuppone, come accennato, che la funzione di densità di probabilità dei *periodi non piovosi* (IET) segua una distribuzione esponenziale negativa. La durata critica (**CD**) è determinata, quindi, in base a dove il coefficiente di variazione (**CV**), come specificato, è uguale ad uno (Fig. 9; Bedient e Huber, 1988).

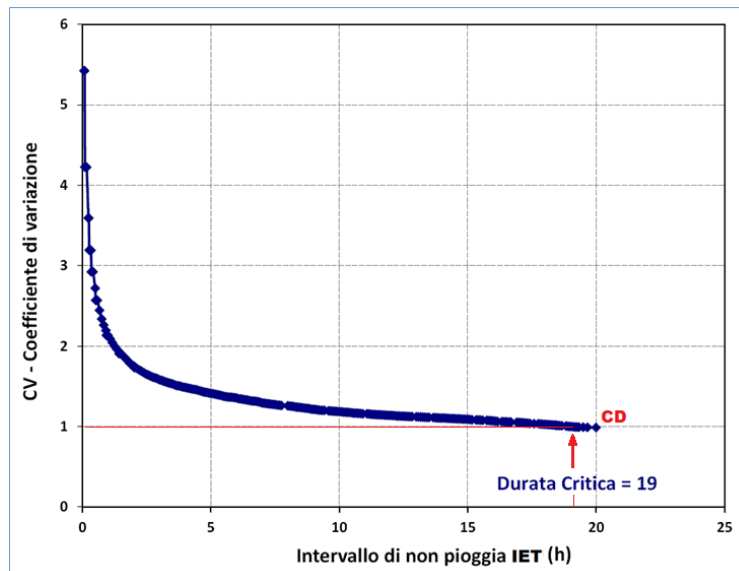


Fig. 9 - Procedura per individuare l'intervallo critico (CD).

I metodi CV come quello ACF (Funzione di Auto Correlazione), sono stati ampiamente utilizzati per distinguere tra eventi pluviometrici indipendenti (Balistrocchi e Bacchi 2011; Raimondi et al. 2023; Adams e Papa, 2000). Quest'ultimo metodo presuppone che gli eventi pluviometrici siano autocorrelati e l'IET è identificato come il **tempo di ritardo (Lag Time)** in cui il coefficiente di autocorrelazione degli eventi pluviometrici converge a zero. Ciò indica che gli eventi pluviometrici indipendenti non hanno alcuna correlazione (Adams e Papa, 2000).

$$ACF_k = \frac{\sum (y_t - y_m) \cdot (y_{t-k} - y_m)}{\sum (y_t - y_m)^2}$$

dove y_t è una serie temporale di precipitazioni, y_m è la media degli eventi di pioggia e k è il tempo di ritardo (*Lag Time*) ed ACF_k è coefficiente di autocorrelazione, corrispondente ad un campione di osservazioni (y_t al tempo t), per un fissato tempo di ritardo pari a k . Se il periodo di non precipitazione (cd periodo di tempo secco) tra due eventi pluviometrici consecutivi è più breve della durata critica CD, questi due eventi possono essere considerati come **eventi pluviometrici non indipendenti**. Al contrario, se il periodo di non precipitazione tra due eventi pluviometrici consecutivi è più lungo di CD, i due eventi possono essere considerati come due **eventi pluviometrici indipendenti**. Pertanto, confrontando il periodo di non precipitazione tra gli eventi pluviometrici con la durata critica CD, possiamo esaminare l'indipendenza di due eventi pluviometrici, come mostrato nella Fig. 9.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. J. Crozier (1996): "Magnitude/Frequency issues in landslide hazard assessment", in R. Mausbacher and A. Schulte (Eds) Beitrage zur Physiogeographie. Barsch Festschrift, Heidelberger Geographische Arbeiten, Hft.
- [2] S. Peruccacci (2018): "Soglie pluviometriche per l'innesco di fenomeni franosi", Progetto paesaggi sicuri strategie di prevenzione e allertamento nel sito UNESCO Porto Venere, Cinque terre e isole, Riomaggiore.
- [3] M. Pizziolo, L. Del Maschio, G. Gozza e S. Pignone (2008): "Determinazione di soglie pluviometriche per l'innesco di frane in Emilia Romagna", Il Geologo dell'Emilia-Romagna, N. 29, Bologna.
- [4] 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. Sciences, Ed. Copernicus Publications EGU, 10, Monaco di Baviera.

- [5] BROOKS S.M., CROZIER M. J., GLADE T.W. & ANDERSON M.G (2004): "Towards Establishing Climatic Thresholds for Slope Instability: Use of a Physically-based Combined Soil Hydrology-slope Stability Model", Pure appl. Geophys, N. 161, Ed. Springer Nature, Berlino.
- [5] SIDLE R. C. & OCHIAI H. (2006): "Landslides – Processes, prediction, and land use", Ed. American Geophysical Union Water Resources Monograph 18, Washington, DC.
- [6] F. Guzzetti, S. Peruccacci, M. Rossi, C. P. Stark (2007): "Rainfall threshold for initiation of landslides in central and southern Europe", Meteorology and Atmospheric Physics, Vol. 98, Springer-Verlag GmbH, Berlino.
- [7] F. Guzzetti, S. Peruccacci, M. Rossi, C. P. Stark (2008): "The rainfall intensity – duration control of shallow landslides and debris flows: an update", Landslides, 5, Springer-Verlag GmbH, Berlino.
- [8] M.T. Brunetti, S. Peruccacci et Altri (2014): "Catalogue of rainfall events with shallow landslides and new rainfall thresholds in Italy", in G. Lollino et Al. (EDS), Engineering Geology for Society and Territory, Vol. 2, Ed. Springer-Verlag, Berlino.
- [9] M. Rossi, S. Peruccacci, M. T. Brunetti et Altri - SANF (2012): "National warning system for rainfall-induced landslides in Italy", in E. Eberhardt, C. Froese, A.K. Turner, S. Leroueil (EDS), Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding, Ed. Elsevier, Amsterdam.
- [10] J. V. Bonta, G. Johnson (2002): "Estimating parameters for characterizing times between storms", Proceedings of the 13th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Portland, Oregon.
- [11] Bedient PB, Huber WC (1988): "Hydrology and floodplain analysis". Ed. Addison-Wesley, Boston.
- [12] P. Aleotti (2004): "A warning system for rainfall-induced shallow failure", Eng. Geol., N. 73, Ed. Elsevier, Amsterdam.
- [13] Balistrocchi M., Bacchi B. (2011): "Modellare la dipendenza statistica delle variabili degli eventi pluviometrici attraverso le funzioni di copula". Hydrology and Earth System Sciences, N.15, Ed. Copernicus Publications EGU,10, Monaco di Baviera.
- [14] Raimondi A., Sanfilippo U., Marchioni M., Di Chiano M.G., Becciu G. (2023): "Influenza dei parametri climatici sulla progettazione probabilistica di tetti verdi". Sci Total Environ.,.
- [15] Giuseppe Spilotro, Silvano F. Dal Sasso (2022): "Soglie critiche di pioggia per l'insorgere di frane superficiali in Basilicata", Estratto dalla presentazione e discussione dello stato di avanzamento dei lavori e dei prodotti del Progetto Mitigo Workshop, Potenza.
- [16] G. Gullà, L. Antronico, M. Srisoi-Valvo e C. Tansi (2005): "Proposta metodologica per la valutazione di indicatori di pericolo e rischio da frana a scala intermedia: L'area di Catanzaro (Calabria, Italia)", Casa Editrice Universitaria La Sapienza, Roma.
- [17] D. J. Varnes (1978): "Slope movement types and process", in Special Report 176: Landslide: Analysis and control (EDS: R. L. Schuster and R. J. Krizek). Transportation and Road Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC.
- [18] Adams BJ, Papa F (2000): "Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models". John Wiley and Sons, New York.