

DEFINIZIONE DI UNA PROCEDURA PER LA VALUTAZIONE DINAMICA DEL RISCHIO DA FRANA A SCALA COMUNALE

Gaetano Pecoraro

Università degli Studi di Salerno

gpecoraro@unisa.it

Rosa Menichini

Università degli Studi di Salerno

r.menichini2@studenti.unisa.it

Michele Calvello

Università degli Studi di Salerno

mcalvello@unisa.it

Sommario

La nota presenta una metodologia per la valutazione dinamica del rischio da frana nel comune di Genova. I dati sull'innescò dei fenomeni franosi nel periodo 2010-2020 sono ricavati dal database FraneItalia, un inventario di fenomeni franosi ricavato da fonti giornalistiche disponibili online. I dati sulle precipitazioni e sul contenuto d'acqua del suolo sono ottenuti dal dataset di rianalisi ERA5, che riporta dati dal 1979 fino a 5 giorni precedenti la data di consultazione con una risoluzione spaziale di 0.25° (~ 31 km) e una risoluzione temporale di 1 h. La metodologia proposta è articolata in tre fasi: calcolo dei massimi giornalieri delle precipitazioni di diverse durate e del contenuto d'acqua del suolo; definizione delle soglie per l'innescò dei fenomeni franosi combinando una o più variabili calcolate in precedenza; valutazione delle performance delle soglie sulla base di indicatori statistici derivati da una matrice di confusione 2 x 2.

1. Introduzione

Le frane meteo-indotte sono fenomeni naturali distruttivi particolarmente diffusi in diverse parti d'Italia. I sistemi di allerta da frana possono rappresentare dei validi strumenti per la mitigazione del rischio di perdita di vite umane (Calvello, 2017). Tuttavia, la progettazione di un sistema efficiente può risultare estremamente complessa in aree non adeguatamente coperte da reti di monitoraggio pluviometrico (Reder e Rianna, 2021). Inoltre, per poter adeguatamente calibrare e validare adeguatamente i modelli di allerta è necessaria la disponibilità di informazioni sui fenomeni franosi (Piciullo et al., 2020).

In questa nota, è proposta una metodologia per la definizione di soglie per l'innescò di fenomeni franosi a scala comunale utilizzando un inventario di fenomeni franosi disponibile online e dati di rianalisi meteorologica ERA5. La procedura è stata testata nel comune di Genova nel periodo compreso tra il 1° gennaio 2010 e il 31 dicembre 2020. Gli step principali sono: calcolo dei proxy per l'innescò dei fenomeni franosi; definizione delle soglie per l'innescò dei fenomeni franosi; valutazione della performance delle soglie attraverso indicatori statistici.

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio e dati utilizzati

Genova è una città portuale situata nella zona di allerta Ligu-B della regione Liguria, nella parte nord-

occidentale dell'Italia (DGR 1116/2020). Il Comune occupa una superficie di circa 240 km² e si sviluppa su una fascia litoranea lunga circa 30 km, con uno sviluppo simile da ponente a levante, alle cui spalle si ergono rilievi, anche di notevole altezza, nelle immediate vicinanze del mare (Fig. 1).

Le acclivi colline appenniniche delimitano i confini comunali raggiungendo altezze massime di 1183 m s.l.m. nella parte occidentale (monte Reixa) e 989 m s.l.m. nella parte orientale (monte Alpesisa). Nel territorio comunale sono presenti diverse piccole valli orientate ortogonalmente rispetto alla linea di costa; le principali sono quelle formate dai fiumi Sturla, Bisagno, Polcevera, Varenna e Cerusa (Paliaga et al., 2019). Le pendenze sono piuttosto elevate, soprattutto lungo i confini orientali e occidentali, dove si raggiungono valori superiori al 50%. Ciò comporta una marcata predisposizione all'innescò di fenomeni franosi. Un altro fattore predisponente è rappresentato dalla geologia, caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso alterato e dall'alternanza di differenti tipi di terreno (ISPRA, 2008).

Il clima è caratterizzato da inverni miti ed estati calde con autunni e primavere umidi. La media annuale delle precipitazioni è intorno a 1300 mm, la maggior parte delle quali sono concentrate nella stagione umida, in particolare nei mesi di ottobre e novembre. Recentemente è stato osservato un incremento delle precipitazioni nell'area metropolitana di Genova, a cui è corrisposto un incremento nell'occorrenza di frane superficiali e debris flow (Acquaotta et al., 2018).

I dati sui fenomeni franosi occorsi nel comune di Genova sono stati ricavati da "FraneItalia", un catalogo georeferenziato di fenomeni franosi avvenuti in Italia sviluppato consultando fonti online dal 2010 in poi (Calvello e Pecoraro, 2018). Gli eventi franosi sono classificati considerando due categorie di numerosità: eventi franosi singoli (SLE), per record che riportano una singola frana; eventi franosi areali (ALE), per record che si riferiscono a frane multiple provocate da un'unica causa innescante nella stessa Zona di Allerta Meteo. Ogni record di un evento di frana del database comprende informazioni relative a: luogo di accadimento, data dell'evento, fonte(i) d'informazione, classe di conseguenza, numero delle frane in caso di ALE. Possibili informazioni aggiuntive comprendono: durata dell'evento franoso, caratteristiche della frana, fase di attività, dettagli sulle conseguenze. Attualmente il database contiene più di 6000 record ed è aggiornato annualmente. Nel periodo 2010-2020 il comune di Genova è stato interessato da 187 eventi franosi suddivisi in 176 SLE e 11 ALE, per un totale di 300 frane (Fig.1).

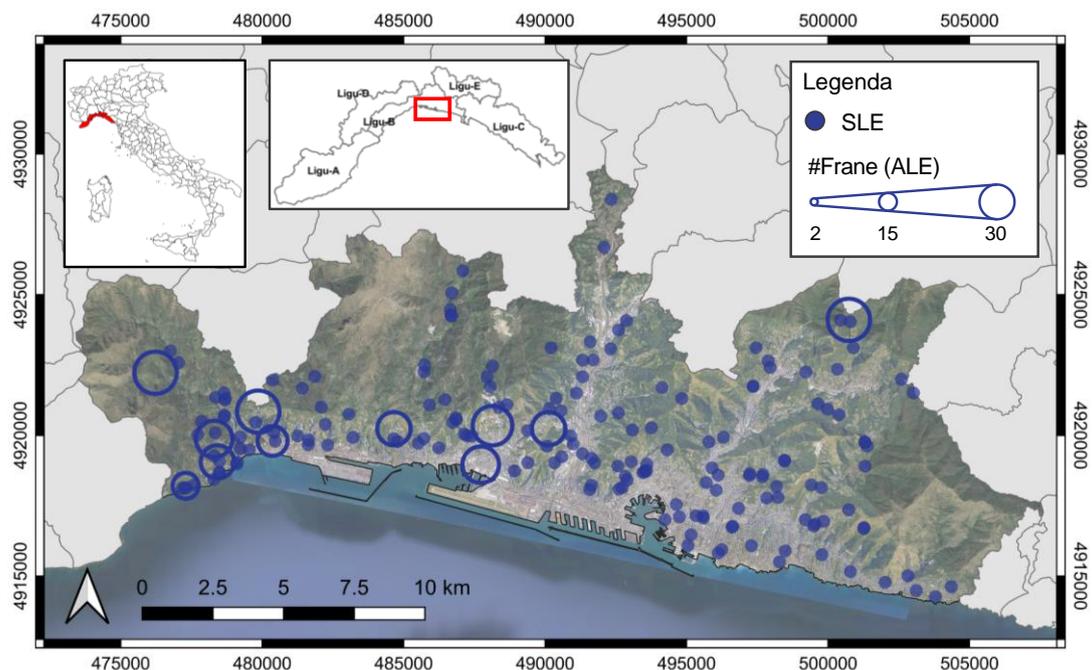


Fig 1. Mappa che mostra i 187 eventi franosi nel comune di Genova nel database "FraneItalia" nell'intervallo temporale 2010-2020, differenziati in SLE (cerchi pieni) e ALE (cerchi vuoti). Nei riquadri è mostrata la posizione del comune di Genova in Liguria e in Italia

Dal punto di vista spaziale, è possibile osservare come i SLE risultano piuttosto diffusi in tutto l'area di studio, mentre gli ALE sono concentrati soprattutto nella zona occidentale e in quella centrale. Il maggior numero di eventi franosi si è registrato nel 2019, sia in termini di eventi singoli (59) che areali (7) per un totale di 116 frane (Tab. 1). Si sono registrati fenomeni franosi ogni anno nel periodo 2010-2020, per un totale di 83 giorni con frane.

I dati orari di pioggia e del contenuto d'acqua del suolo (in quattro strati successivi del terreno di profondità rispettivamente pari a 7 cm, 21 cm, 72 cm e 289 cm) sono derivati dal dataset ERA5, prodotto dallo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). ERA5 è una rianalisi di condizioni meteorologiche orarie a partire dal 1979 fino a 5 giorni precedenti la data di consultazione. Il set di dati combina un modello meteorologico con i dati osservazionali dei satelliti e dei sensori terrestri per costruire una registrazione coerente a lungo termine del clima. I dati sono caratterizzati da una risoluzione spaziale di 0.25° (~ 31 km) e una risoluzione temporale di 1 h (Hersbach et al. 2020).

Tab 1. Frane riportate dal database FraneItalia per il comune di Genova nell'intervallo temporale 2010-2020

Anno	SLE	ALE	#frane	#giorni con frane
2010	7	2	23	3
2011	4	—	4	3
2012	4	—	4	4
2013	20	1	40	13
2014	42	1	72	16
2015	2	—	2	2
2016	5	—	5	5
2017	2	—	2	2
2018	25	—	25	9
2019	59	7	116	20
2020	6	—	7	6

2.2 Metodologia

La procedura per l'individuazione delle soglie per l'innesco dei fenomeni franosi può essere schematizzata in tre fasi successive.

Nella prima fase, i dati di pioggia e del contenuto d'acqua sono scaricati dalla piattaforma <https://cds.climate.copernicus.eu>. Una volta disponibili le serie storiche, si procede all'elaborazione dei dati di pioggia per calcolare i massimi giornalieri su diversi intervalli temporali. Contestualmente, si calcolano i valori massimi giornalieri del contenuto d'acqua del suolo medio nei quattro strati del terreno.

Nella seconda fase, gli eventi franosi sono confrontati con i valori massimi giornalieri calcolati in precedenza al fine di individuare le variabili (o le combinazioni di variabili) che presentano delle correlazioni significative con le frane avvenute con lo scopo di definire delle soglie d'innesco.

Nella terza fase l'efficacia delle soglie definite in precedenza è valutata sulla base di una matrice di contingenza 2 x 2 (Fig. 2), nella quale vengono identificati i seguenti elementi: veri positivi (TP), falsi positivi (FP), falsi negativi (FN) e veri negativi (TN).

		Valori reali	
		sì	no
Valori predetti	sì	TP	FP
	no	FN	TN

Fig 2. Matrice di confusione utilizzata per la valutazione della performance delle soglie definite per l'innescio dei fenomeni franosi

Infine, le soglie sono confrontate tra loro tramite due indicatori statistici ricavati dalla matrice riportata in Fig. 2:

$$Precisione = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$Sensitività = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

3. Risultati e discussione

In primo luogo, gli 83 giorni con frane riportati nel database FraneItalia sono stati confrontati con i dati orari di pioggia e del contenuto d'acqua del suolo al fine di eliminare dal dataset i fenomeni franosi singoli non innescati da eventi pluviometrici. Al termine di questa fase preliminare, si sono registrati in totale 63 giorni in cui sono avvenuti fenomeni franosi meteo-indotti. In Figura 3 sono riportate le serie storiche dei dati orari di pioggia e del contenuto d'acqua del suolo e i fenomeni franosi avvenuti a Genova nel periodo di riferimento.

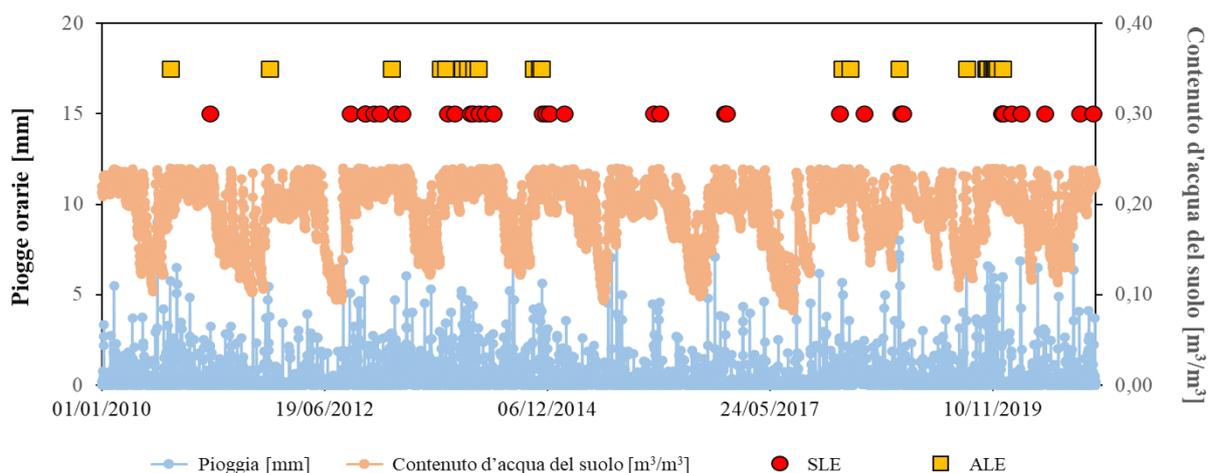


Fig 3. Andamento delle misure orarie delle precipitazioni e del contenuto d'acqua del suolo nel 2010-2020. Nel grafico sono riportati anche i SLE e gli ALE avvenuti nel periodo di riferimento.

Successivamente, sono stati calcolati i massimi giornalieri di pioggia con riferimento a 9 diversi

intervalli temporali, al fine di considerare sia brevi e medie durate (1 h, 3 h, 6 h e 12 h, 24 h), che lunghe durate (72 h, 168 h, 336 h, 672 h). Contestualmente, sono stati ricavati i massimi giornalieri dei dati orari del contenuto d'acqua del suolo. La scelta di fare riferimento ai massimi giornalieri è dovuta al fatto che per molti record presenti nel database FraneItalia non è riportata l'ora esatta di accadimento dei fenomeni franosi, per cui si è scelto di riferire i dati di monitoraggio al giorno considerando i valori massimi.

Al fine di ottenere delle indicazioni per la definizione delle soglie, sono state calcolate le frequenze cumulate assolute dei massimi che hanno innescato e non innescato fenomeni franosi nel periodo di riferimento (Fig. 4). Dall'analisi di tali distribuzioni è emerso che le variabili contraddistinte dalle correlazioni migliori con i fenomeni franosi sono i massimi di pioggia calcolati su 24 h, 72 h e 336 h e i massimi del contenuto d'acqua del suolo.

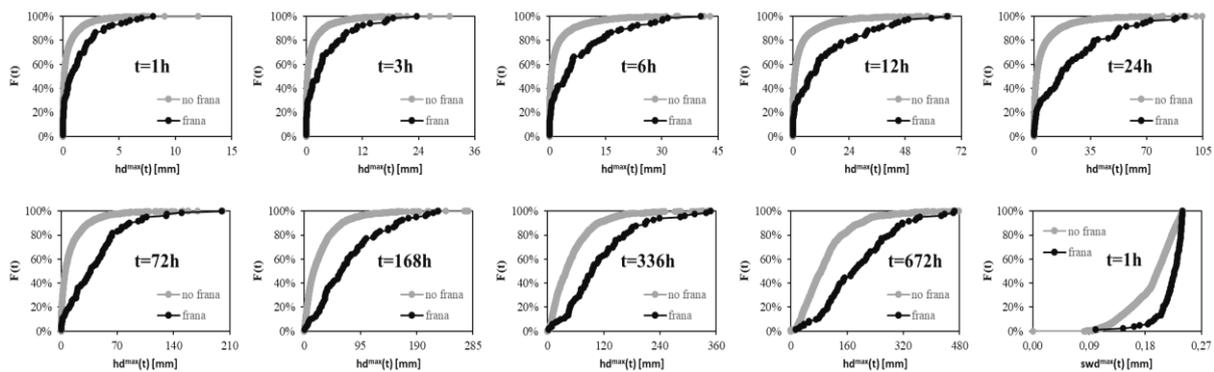


Fig 4. Funzioni di frequenza cumulata calcolate per i giorni con frane e senza frane per le 10 variabili utilizzate in questo studio (Legenda: $hd^{max}(t)$: massimo giornaliero di pioggia relativo all'intervallo temporale t ; $swd^{max}(t)$: massimo giornaliero del contenuto d'acqua del suolo riferito all'intervallo temporale t)

Le soglie definite a partire dalle combinazioni di queste variabili sono state confrontate tra loro utilizzando la matrice di confusione riportata in Figura 2 per individuare le combinazioni caratterizzate dalle performance migliori, i cui risultati sono riportati in Tabella 2. Sebbene si riescano ad ottenere dei valori della sensibilità superiori al 50% (più della metà delle frane correttamente predette), i valori della precisione sono di poco superiori al 10% a causa dell'elevato numero di FP. Tra le diverse variabili considerate, la più significativa sembra essere il contenuto d'acqua del suolo. Ciò evidenzia l'importanza di questa variabile, che fornisce indicazioni sulle condizioni predisponenti per l'innescio di fenomeni franosi meteo-indotti.

Tab 2. Valori degli elementi della matrice di confusione e degli indicatori di performance calcolati per le 3 soglie caratterizzate dalle migliori performance

Soglie	TP	TN	FP	FN	Precisione	Sensibilità
$hd^{max}(24h)=17$ mm AND $hd^{max}(72h)=40$ mm AND $swd^{max}(1h)=0,207$ m ³ /m ³	33	3772	183	30	15,28%	52,38%
$hd^{max}(24h)=17$ mm AND $hd^{max}(336h)=80$ mm AND $swd^{max}(1h)=0,207$ m ³ /m ³	32	3778	177	31	15,31%	50,79%
$hd^{max}(72h)=34$ mm AND $swd^{max}(1h)=0,207$ m ³ /m ³	44	3579	376	19	10,48%	69,84%

4. Conclusioni

In questo studio sono state sviluppate delle soglie per l'innescò di fenomeni franosi meteo-indotti utilizzando un inventario di fenomeni franosi ricavato da fonti giornalistiche disponibili online e dati di rianalisi meteorologica ERA5. Le analisi sono state condotte nel territorio comunale di Genova in un intervallo temporale compreso tra il 2010 e il 2020. Lo studio ha permesso di individuare le variabili maggiormente significative per l'innescò di fenomeni franosi nell'area di studio. In particolare, è stato evidenziato il ruolo del contenuto d'acqua del suolo come fattore predisponente per l'innescò di fenomeni franosi meteo-indotti. Tuttavia, l'analisi statistica delle soglie ha evidenziato una scarsa precisione, dovuta all'elevato numero di falsi positivi. Per questo motivo, i possibili sviluppi futuri dello studio presentato in questa nota potrebbero essere: la definizione di soglie multilivello distinguendo fra eventi franosi singoli (SLE) e areali (ALE); utilizzo di dati di rianalisi meteorologica ERA5-Land, caratterizzati da una risoluzione spaziale più elevata che potrebbe permettere di modellare meglio gli eventi pluviometrici che hanno innescato i fenomeni franosi avvenuti nell'area di studio.

Bibliografia

- Acquaotta F., Faccini F., Fratianni, S., Paliaga G., Sacchini A. (2018). Rainfall intensity in the Genoa metropolitan area (northern Mediterranean): Secular variations and consequences. *Weather*, 73(11), 356–362.
- Calvello M (2017). Early warning strategies to cope with landslide risk. *Rivista Italiana di Geotecnica*, 2: 63-91.
- Calvello M., Pecoraro G. (2018). FraneItalia: a catalog of recent Italian landslides. *Geoenvironmental Disasters*, 5(13).
- DGR n. 1116 del 23/12/2020. Aggiornamento del sistema di allertamento e Linee guida per la pianificazione del livello comunale e provinciale e di Protezione Civile – Libro Blu aggiornamento 2020.
- Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Schepers D., Simmons A., Soci C., Abdalla S., Abellan X., Balsamo G., Bechtold P., Biavati G., Bidlot J., Bonavita M., Chiara G., Dahlgren P., Dee D., Diamantakis M., Dragani R., Flemming J., Forbes R., Fuentes M., Geer A., Haimberger L., Healy S., Hogan R.J., Hólm E., Janisková M., Keeley S., Laloyaux P., Lopez P., Lupu C., Radnoti G., Rosnay P., Rozum I., Vamborg F., Villaume S., Thépaut J.N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 146(730),1999–2049.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA (2008). Mappa geologica d'Italia a scala 1:50.000. Foglio, 459, Sassari. Progetto CARG. Consultato il 11/09/2021. http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/213_GENOVA/Foglio.html.
- Paliaga G., Luino F., Turconi L., Faccini F. (2019). Inventory of geo-hydrological phenomena in Genova municipality (NW Italy). *Journal of Maps*, 15(2), 28–37.
- Piciullo L., Tiranti D., Pecoraro G., Cepeda J. M., Calvello M. (2020). Standards for the performance assessment of territorial landslide early warning systems. *Landslides*, 17(11), 2533–2546,
- Reder, A., Rianna, G. (2021). Exploring ERA5 reanalysis potentialities for supporting landslide investigations: a test case from Campania Region (Southern Italy). *Landslides*, 18, 1909–1924