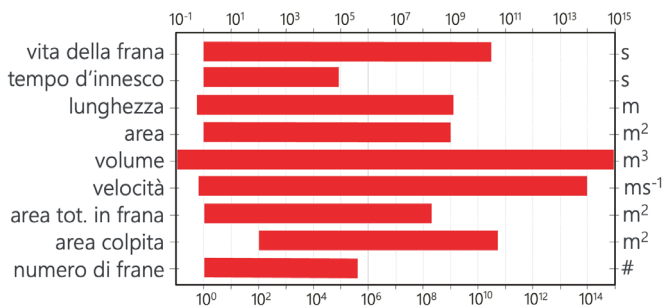




SI POSSONO PREVEDERE LE FRANE?

di Fausto Guzzetti*

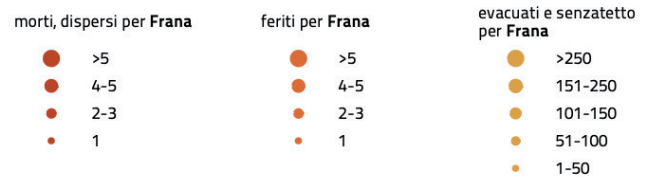
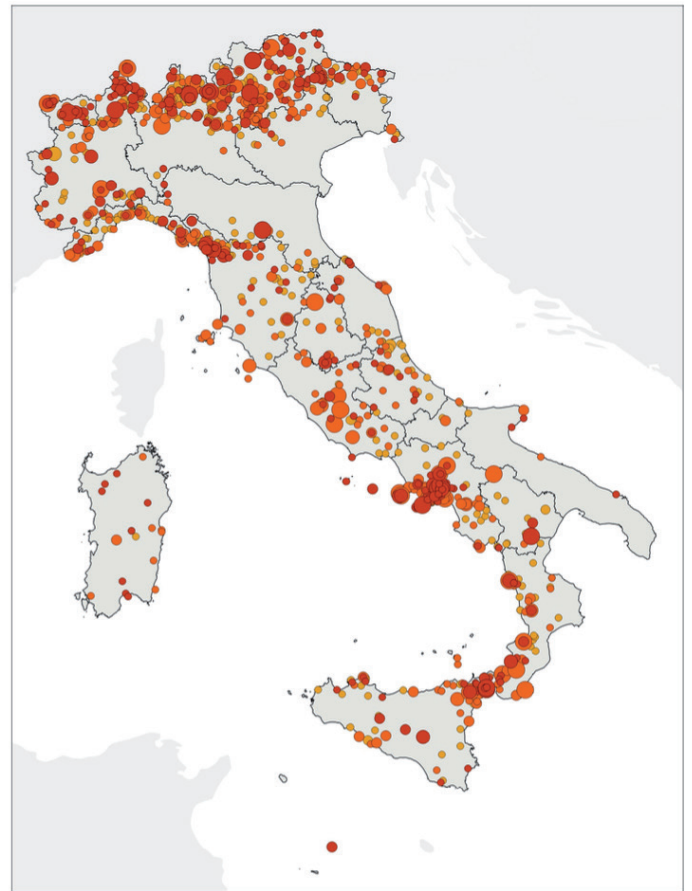
Le frane sono fenomeni complessi caratterizzati da una grande variabilità. In Italia, più che altrove, rappresentano un problema serio. I Servizi geologici delle Regioni e delle Province autonome hanno cartografato oltre 620.000 frane (TRIGILA et al.



Il grafico a barre mostra i campi di variazione di alcune misure delle frane, tutte che coprono diversi ordini di grandezza.

2010); se si escludono le grandi pianure, è una media di tre frane al km². Questo fa dell'Italia il Paese europeo con il maggior numero di frane. Nei 50 anni fra il 1972 e il 2021 le frane hanno causato 1071 morti e dispersi, almeno 1423 feriti e oltre 145.000 sfollati e senza tetto in 2623 località di 1545 Comuni in 100 Province di tutte le Regioni. La mortalità per frana è stata più alta nelle Province di Trento e Bolzano e in Campania, seguite dalla Valle d'Aosta. Nel 2022, i morti per frana sono stati 13, 23 i feriti e oltre 930 gli sfollati e senza tetto in 42 località di 41 Comuni. I costi economici, sociali, e ambientali delle frane sono elevati e persistenti, ancorché mal quantificati.

Come per altri rischi naturali, il disegno e l'attuazione di strategie efficaci di riduzione



La mappa mostra gli eventi di frana con vittime in Italia dal 1972 al 2021. Fonte: CNR IRPI, Rapporto periodico sul rischio posto alla popolazione italiana da Frane e Inondazioni. Anno 2022, <https://polaris.irpi.cnr.it/report/>.

del rischio dipendono dalla capacità di prevedere l'occorrenza delle frane e le loro conseguenze. Nel seguito, illustro gli strumenti più comuni utilizzati per la previsione delle frane, e i problemi aperti per il possibile miglioramento delle attuali capacità previsionali. Il tema è ampio, e limito l'illustrazione

alle 'popolazioni di frane', insieme da poche a decine di migliaia di frane prodotte da uno o più eventi scatenanti. In questo contesto, 'prevedere le frane' significa anticipare (nel senso di far conoscere in anticipo) 'dove', 'quando' o con quale frequenza, e 'quanto grandi' potranno essere le frane. Prevederne il rischio implica anticipare quali possano essere le conseguenze dell'occorrenza delle frane per diversi elementi vulnerabili, inclusa la popolazione.

Dove

In molti ambienti geologici e geomorfologici le frane tendono a verificarsi dove si sono verificate in passato. Pertanto, un modo semplice per prevedere dove si possano verificare le frane in futuro consiste nel riconoscere e mappare ('cartografare') le frane avvenute in passato. Per riconoscere e cartografare le frane si interpretano visivamente fotografie aeree stereoscopiche, con più o meno estesi controlli in campagna. Sempre più frequentemente le immagini satellitari sostituiscono le fotografie aeree, e gli stereoscopi digitali quelli analogici. Utilizzando questi strumenti, i miei colleghi dell'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del CNR, a Perugia, hanno cartografato quasi 125.000 frane in circa 30.000 km², il 10% del territorio nazionale; ma si tratta di un'attività lenta e gravosa. Per aumentare le capacità e la velocità di mappatura delle frane si sperimentano tecnologie e strumenti per il riconoscimento automatico o semi-automatico delle frane a partire da immagini riprese da piattaforme aeree o satellitari. I progressi sono significativi e sono ipotizzabili sistemi operativi per il riconoscimento e la mappatura automatica delle frane che operino su vasta scala, continentale o globale (GUZZETTI et al., 2012; MONDINI et al., 2021).

Una strategia complementare al riconoscimento e alla mappatura consiste nella stima della suscettibilità a franare, ossia nella valutazione della probabilità che una frana si verifichi sulla base delle caratteristiche ambientali (morfologiche, geologiche, idrologiche, di copertura e uso del suolo, ecc.) del territorio (GUZZETTI et al., 2005). Sono due gli approcci utilizzati per 'zonare' (suddividere) un territorio sulla base della 'suscettibilità' a franare. Il primo sviluppa e utilizza modelli 'fisicamente-basati' che simulano l'instabilità (o la stabilità) dei versanti sulla base delle loro caratteristiche geometriche, meccaniche e idrologiche, superficiali e profonde. Il secondo approccio è di tipo *data driven* (basato sui dati) e mira a trovare relazioni 'funzionali' fra la presenza (o l'assenza) delle frane e le caratteristiche del territorio, rappresentate da livelli informativi fra i quali carte morfologiche, geologiche, della copertura e dell'uso del suolo. Una recente revisione dell'ampia letteratura relativa ai modelli funzionali ha messo in evidenza la necessità di standard per la preparazione, la validazione e la valutazione dei modelli e delle zonazioni della suscettibilità da frana (REICHENBACH et al., 2018).

Quando

Le frane tendono ad avvenire in risposta a una 'forzante': una pioggia intensa o prolungata, un terremoto, un'eruzione vulcanica, un evento di rapida fusione della neve. La previsione temporale delle frane dipende dalla capacità di anticipare gli effetti che le forzanti possono avere sul territorio, a breve o a lungo termine. Allo scopo, si utilizzano le stesse classi di modelli fisicamente-basati utilizzati per la stima della suscettibilità, alimentati da informazioni sulle forzanti (ad esempio, il

campo spazio-temporale delle precipitazioni misurate o previste). In alternativa, si definiscono relazioni empiriche che legano misure delle forzanti all'occorrenza delle frane in un territorio (ad esempio, soglie di pioggia che legano misure pluviometriche all'occorrenza delle frane). In letteratura sono state proposte molte soglie pluviometriche; le più comuni sono di intensità-durata e di cumulata-durata della precipitazione (GUZZETTI et al., 2008). Le soglie pluviometriche sono anche al cuore di molti sistemi di allertamento, a scale comprese da quella locale a quella globale (PICIULLO et al., 2018; GUZZETTI et al., 2020). L'analisi della letteratura, vasta per le soglie pluviometriche più scarsa per i sistemi di allertamento, rivela che nonostante la popolarità e l'utilizzo operativo, le soglie pluviometriche e i sistemi di allertamento presentano numerosi problemi. Da un punto di vista teorico, non è chiaro quali dati e quali strumenti (matematici, statistici) utilizzare per definire le soglie e per valutarne le incertezze e le performance. Da un punto di vista pratico, è difficile e costoso raccogliere dati di qualità per definire le soglie, e non è chiaro quali debbano essere i criteri per la valutazione dei sistemi di allertamento. È auspicabile che si definiscano standard per la definizione e la validazione delle soglie, e per il loro utilizzo operativo nell'ambito dei sistemi di allertamento. Ciò permetterà di ottenere soglie affidabili e comparabili, e aumenterà la credibilità dei sistemi di allertamento (GUZZETTI et al., 2020).

Nel lungo periodo (da anni a secoli) la previsione delle frane è più difficile e incerta, poiché dipende da caratteristiche climatiche e ambientali poco conosciute e difficili da misurare e modellare. La letteratura

sull'analisi di cataloghi di frane storiche è molto limitata, essenzialmente per la difficoltà a reperire le informazioni necessarie a popolare i cataloghi. Invece, il numero di studi che anticipano le caratteristiche delle frane in futuro è in aumento. In generale, gli studi prevedono per l'Italia un aumento del numero e dell'attività delle frane superficiali, dovuto all'aumento dell'intensità delle precipitazioni, e una diminuzione delle frane più profonde che per mobilizzarsi richiedono piogge prolungate (GARIANO e GUZZETTI, 2016, 2021).

Dimensioni

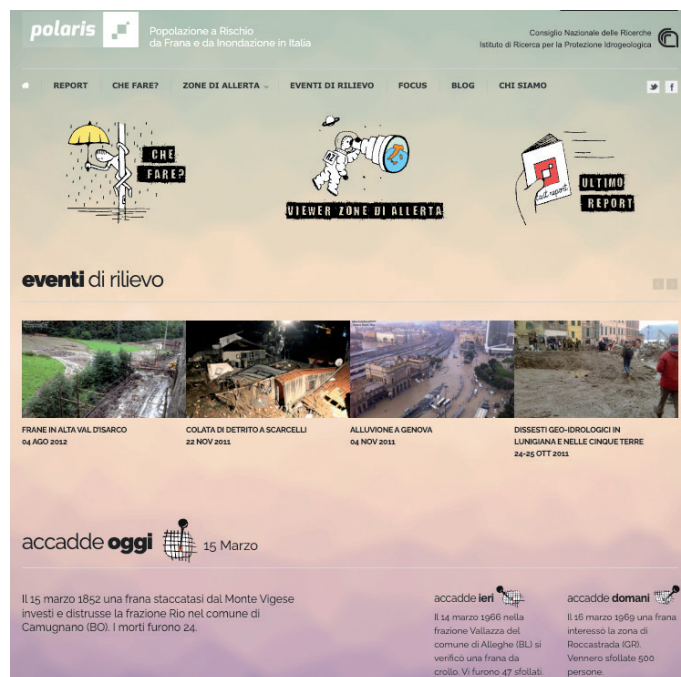
Una semplice analisi visiva di una carta delle frane di buona qualità rivela che, in un territorio, le frane non hanno tutte le stesse dimensioni (lunghezza, larghezza, area, volume). Al contrario, tipicamente in un territorio si trovano molte frane piccole ($< 0,1 \text{ km}^2$), poche frane di medie dimensioni, e pochissime frane grandi ($> 1 \text{ km}^2$). L'analisi di diverse carte inventario ha rivelato che le dimensioni (in particolare l'area e il volume) delle frane seguono distribuzioni di probabilità caratteristiche e 'universali', se pure con variazioni dovute alle peculiarità locali del territorio e alle tecniche statistiche utilizzate per stimare le distribuzioni (MALAMUD et al., 2004). La scoperta delle leggi che descrivono le dimensioni delle frane, insieme a modelli che tentano di spiegare le cause fisiche (geometriche, meccaniche) alla base delle distribuzioni, hanno aperto la strada alla stima quantitativa della pericolosità da frana, per la quale sono necessarie informazioni relative alla magnitudo delle frane, di cui le dimensioni costituiscono un utile 'analogo' (*proxy*). Tuttavia, al momento sono ancora pochi gli studi che analizzano le distribuzioni

delle dimensioni delle frane e le loro variazioni geografiche (dovute, ad esempio, a diverse condizioni morfologiche, geologiche o idrologiche) e temporali (dovute, ad esempio, a variazioni climatiche). Sono necessari ulteriori ricerche per comprendere le distribuzioni delle dimensioni delle frane e per valutarne la variabilità; informazioni indispensabili per un loro utilizzo nella stima della pericolosità da frana.

Conseguenze

Per applicazioni che abbiano un impatto sociale diretto è necessario prevedere le possibili conseguenze delle frane. Ciò significa valutare il rischio, e in particolare quello cui è soggetta la popolazione. Per l'Italia, è disponibile un catalogo di eventi di frana che hanno prodotto vittime (morti, dispersi, feriti) oltre che sfollati e senza tetto, dall'anno 91 a.C. ai giorni nostri (SALVATI et al., 2010). Utilizzando il catalogo è stato possibile definire (e prevedere) i livelli di rischio sociale e individuale per frana, per diversi periodi. Il rischio sociale, o 'collettivo', è quello cui è soggetta l'intera collettività, ed è stimato analizzando la relazione tra la frequenza degli eventi fatali e il numero delle vittime in ogni evento. Il rischio individuale, invece, è quello cui è soggetto ogni singolo individuo ed è misurato dalla mortalità (il numero di morti e dispersi ogni 100.000 persone, in un periodo di tempo). L'analisi del catalogo ha anche permesso di evidenziare differenze di genere ed età nelle vittime per frana (SALVATI et al., 2018; ROSSI et al., 2019). L'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del CNR aggiorna annualmente le stime di rischio da frana (e da inondazione) per la popolazione italiana, pubblicate nel sito POLARIS, Popolazione a rischio da

frana e da inondazione in Italia (<https://polaris.irpi.cnr.it/>).



L'immagine mostra la home page del sito web POLARIS, Popolazione a rischio da frana e da inondazione in Italia (<https://polaris.irpi.cnr.it/>) dell'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del CNR.

Conclusioni

Dal punto di vista fenomenologico (geomorfologico), le frane rispondono a input di energia (la precipitazione, un terremoto, la topografia); lo fanno in un contesto non-stazionario, a più scale spaziali e temporali, adattandosi alle condizioni meteo-climatiche e geomorfologiche; e si auto-organizzano per passare da condizioni di stabilità a instabilità e modificare il paesaggio.

Tra i fattori che determinano la pericolosità da frana, il più incerto e che richiede maggiori sforzi di ricerca, è la previsione temporale, seguita dalla previsione delle dimensioni e del numero delle frane. Per entrambe, la disponibilità di carte inventario 'multi-temporali' e di cataloghi accurati e completi è essenziale per lo sviluppo di modelli predittivi innovativi. La disponibilità

di dati satellitari a elevata risoluzione spaziale e temporale, alcuni dei quali disponibili liberamente (senza costi), promette di produrre con maggior facilità le carte delle frane, inventari d'evento e multi-temporali, indispensabili per migliorare le previsioni delle frane. Per la valutazione della suscettibilità – la componente spaziale (geografica) della pericolosità – l'obiettivo è quello di preparare zonazioni affidabili a livello regionale, continentale e globale. Emergono anche nuovi quadri di riferimento e strumenti modellistici che combinano le componenti spaziali e temporali della pericolosità (LOMBARDO et al., 2020), e in prospettiva anche le componenti dimensionali. Ma l'obiettivo è ridurre il rischio. Per questo, sono necessari studi sulla vulnerabilità, oggi scarsamente conosciuta, migliori capacità di previsione e di allertamento, la quantificazione dei benefici della prevenzione, e più efficaci strategie di comunicazione.

In conclusione, è possibile prevedere le frane. Lo facciamo già, ma dobbiamo imparare a farlo meglio.

Bibliografia

S.L. GARIANO, F. GUZZETTI, *Landslides in a changing climate*, in *Earth-Science Reviews*, «Elsevier», 162 (2016), pp. 227–252. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>.

S.L. GARIANO, F. GUZZETTI, *Mass-Movements and Climate Change*, in *Treatise on Geomorphology (Second Edition)*, «Elsevier», 5 (2022), pp. 546–558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818234-5.00043-2>.

F. GUZZETTI, S.L. GARIANO, S. PERUCCACCI, M.T. BRUNETTI, I. MARCHESINI, M. ROSSI e M. MELILLO, *Geographical landslide early*

warning systems, in *Earth-Science Reviews*, «Elsevier», 200 (2020), 102973. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102973>.

F. GUZZETTI, A.C. MONDINI, M. CARDINALI, F. FIORUCCI, M. SANTANGELO e K.-T. CHANG, *Landslide inventory maps: New tools for an old problem*, in *Earth-Science Reviews*, «Elsevier», 112 (2012), pp. 42–66. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>.

F. GUZZETTI, S. PERUCCACCI, M. ROSSI e C.P. STARK, *The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update*, in *Landslides*, «Springer», 5 (2008), pp. 3–17. <https://doi.org/10.1007/s10346-007-0112-1>.

F. GUZZETTI, P. REICHENBACH, M. CARDINALI, M. GALLI e F. ARDIZZONE, *Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale*, in *Geomorphology*, «Elsevier», 72 (2005), pp. 272–299. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002>.

L. LOMBARDO, T. OPITZ, F. ARDIZZONE, F. GUZZETTI e R. HUSER, *Space-time landslide predictive modelling*, in *Earth-Science Reviews*, «Elsevier», 209 (2020), 103318. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103318>.

B.D. MALAMUD, D.L. TURCOTTE, F. GUZZETTI e P. REICHENBACH, *Landslide inventories and their statistical properties*, «Earth Surfaces Processes and Landforms», 29 (2004), pp. 687–711. <https://doi.org/10.1002/esp.1064>.

A.C. MONDINI, F. GUZZETTI, K.-T. CHANG, O. MONSERRAT, T.R. MARTHA e A. MANCONI, *Landslide failures detection and mapping using Synthetic Aperture Radar: Past, present and future*, in *Earth-Science Reviews*, «Elsevier», 216 (2021), 103574. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103574>.

L. PICIULLO, M. CALVELLO e J. M. CEPEDA, *Territorial early warning systems for rainfall-induced landslides*, in *Earth-Science Reviews*, «Elsevier», 179 (2018), pp. 228–247. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.02.013>.

P. REICHENBACH, M. ROSSI, B. D. MALAMUD, M. MIHIRE e F. GUZZETTI, *A review of statistically-based landslide susceptibility models*, in *Earth-Science Reviews*, «Elsevier», 180 (2018), pp. 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>.

M. ROSSI, F. GUZZETTI, P. SALVATI, M. DONNINI, E. NAPOLITANO e C. BIANCHI, *A predictive model of societal landslide risk in Italy*, in *Earth-Science Reviews*, «Elsevier», 196 (2019), 10284. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.021>.

P. SALVATI, C. BIANCHI, M. ROSSI e F. GUZZETTI, *Societal landslide and flood risk in Italy*, «Natural Hazards and Earth System Sciences», 10 (2010), pp. 465–483. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-465-2010>.

P. SALVATI, O. PETRUCCI, M. ROSSI, C. BIANCHI, A. A. PASQUA e F. GUZZETTI, *Gender, age and circumstances analysis of flood and landslide fatalities in Italy*, in *Science of The Total Environment*, «Elsevier», 610–611 (2018), pp. 867–879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.064>.

A. TRIGILA, C. IADANZA e D. SPIZZICHINO, *Quality assessment of the Italian Landslide Inventory using GIS processing*, in *Landslides*, «Springer», 7 (2010), pp. 455–470. <https://doi.org/10.1007/s10346-010-0213-0>.

*Fausto Guzzetti è ricercatore del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, e socio corrispondente dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti