

## **FRANE: COSA SAPPIAMO E COSA FACCIAMO PER DIFENDERCI; COSA DOVREMMO SAPERE E FARE PER DIFENDERCI MEGLIO**

**Rapporto programmatico frutto del convegno tenutosi a Roma il 5 giugno  
2025 nell'ambito della XLII Giornata dell'Ambiente**

Nell'ambito della XLII Giornata dell'Ambiente, l'Accademia Nazionale dei Lincei ha organizzato un convegno sulle **frane**, con l'obiettivo di (i) fare il punto sulle attuali conoscenze e capacità tecnologiche di riconoscere, mappare, monitorare e prevedere le frane e i loro impatti; (ii) valutare gli ostacoli per una piena applicazione delle conoscenze e delle tecnologie disponibili per una più efficace mitigazione del rischio da frana; (iii) identificare e analizzare le carenze conoscitive e le necessità tecnologiche e organizzative; e (iv) indicare possibili attività di ricerca e sviluppo tecnologico, nonché organizzative e gestionali per una più efficace riduzione del rischio da frana. Sulla base delle relazioni presentate da 16 relatori e degli esiti di una fruttuosa discussione, gli organizzatori hanno redatto il presente rapporto che (i) sintetizza le conoscenze e le capacità tecnologiche disponibili; (ii) identifica le criticità nella gestione del rischio da frana; e (iii) propone azioni conoscitive, tecnologiche, gestionali e organizzative utili a una più efficace gestione del rischio da frana nel contesto dei cambiamenti climatici, ambientali, economici e sociali in atto e attesi.

### **Premessa**

Le frane sono fenomeni naturali assai diversificati presenti in tutti i continenti, nei mari e negli oceani. Si stima che le frane siano presenti in circa il 17% delle terre emerse e questo le rende fra i rischi naturali più diffusi. In Italia sono state mappate oltre 600.000 frane; una densità pari a oltre tre frane al km<sup>2</sup>. Questo fa dell'Italia la nazione europea con più frane note. Eppure, eventi recenti indicano che il numero delle frane note è largamente sottostimato. Prodotte da forzanti naturali e attività antropiche, le frane si verificano singolarmente, in piccoli gruppi in aree limitate, o in popolazioni di decine di migliaia in territori vasti e in periodi che vanno da secondi a settimane. Le frane sono anche pericolose. Si stima che oltre l'8% della popolazione mondiale viva in aree soggette a frane. In Italia, la gran parte del territorio è soggetta a frane alcune delle quali hanno causato danni sociali ed economici ingenti. Dal 1974 al 2023, in 50 anni, si sono avuti 1070 morti e dispersi, oltre 1400 feriti e oltre 138.000 sfollati e senzatetto a causa di frane in 2681 località di 1563 Comuni, in tutte le Regioni.

Ancorché mal quantificati, i costi economici delle frane sono rilevanti. Nel 1969 la Commissione De Marchi valutò in £ 429 miliardi il fabbisogno per sistemare frane e prevenire valanghe nel trentennio 1970-2000; certamente una sottostima. Nel 1990, Catenacci stimò in £ 33.299 miliardi i costi sostenuti dallo Stato per eventi idrogeologici, incluse le frane, tra il 1944 e il 1990. Nel 2012, ANCE e CRESME

stimarono in € 61,5 miliardi i danni economici del dissesto idrogeologico tra il 1944 e il 2012. Le stime citate non includono i costi indiretti e della prevenzione. Il Repertorio Nazionale degli Interventi per la Difesa del Suolo ha stimato che nel periodo 1999–2019 siano stati spesi € 2,26 miliardi per la mitigazione del rischio da frana.

### **Conoscenze e capacità**

Le conoscenze e la capacità tecnologiche di mappare e prevedere le frane sono un valido strumento per mitigarne il rischio. Sapere dove sono avvenute, dove sono e dove potranno avvenire, quando potranno avvenire in risposta a forzanti meteorologiche o geofisiche, se e come cambierà la tipologia delle frane in risposta ai cambiamenti climatici e ambientali in atto e attesi, e quali impatti potranno avere sulla popolazione, le strutture e le infrastrutture, i beni privati e collettivi, l'ambiente e le economie, permette di disegnare strategie di adattamento sostenibili e di attuare azioni efficaci di mitigazione.

Negli ultimi 40 anni sono stati fatti progressi notevoli sulle conoscenze e le capacità previsionali delle frane. Sviluppatisi a partire da prototipi realizzati per il Piemonte, l'Umbria, le Marche e l'Emilia-Romagna, con oltre 635.000 frane mappate, l'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia ha dimostrato come le frane non siano “singolarità” che punteggiano il territorio, ma fenomeni ubiqui che contribuiscono all'evoluzione dei paesaggi. Questo ha ampliato l'obiettivo della difesa del suolo dalla sistemazione di pochi insediamenti localizzati alla pianificazione e gestione territoriale e di bacino.

Nello stesso periodo, sono migliorate le capacità previsionali nel breve periodo (da ore a giorni) per frane dovute a eventi meteorologici (piogge intense o prolungate, rapida fusione della neve), ed è migliorata la capacità di prevedere alcune tipologie di frane indotte dai terremoti. Grazie a un generale progresso tecnologico – migliori sensori, strumenti e reti, migliori telecomunicazioni, maggiore capacità di calcolo e di gestione dei dati – nonché all'applicazione di nuove tecnologie, in particolare di telerilevamento – da satellite, da terra – e dell'intelligenza artificiale, sono migliorate le capacità di monitoraggio delle frane. Al contempo, è aumentata la capacità di modellare il comportamento cinematico delle frane, fino ad anticiparne – in alcuni casi – la rottura. Sono state investigate le relazioni fra clima, ambiente e frane e sono aumentate le capacità di modellare la suscettibilità dei territori a franare. Infine, abbiamo oggi stime quantitative del rischio da frana per la popolazione italiana.

Per quanto riguarda la gestione del rischio, a seguito di interventi normativi, è aumentata la capacità di allertamento per alcune tipologie di frane, contribuendo alla riduzione del numero delle vittime, e sono state realizzate zonazioni della pericolosità e del rischio da frana (e da inondazione) i cui effetti sulla gestione di bacino, territoriale e urbanistica variano nel territorio nazionale.

### **Criticità**

Sebbene le conoscenze e le capacità previsionali siano migliorate, la conoscenza

dei fenomeni franosi resta incompleta. Le frane sono processi molto diversi tra loro e questo ne complica lo studio e la previsione. Un ostacolo è la mancanza di una mappatura sistematica e omogenea delle frane, fondamentale per sviluppare modelli previsionali affidabili e per una pianificazione informata. Gli eventi del maggio 2023 in Emilia-Romagna, con oltre 80,000 frane in 6000 km<sup>2</sup>, molte in zone prima non identificate come instabili, hanno evidenziato i limiti della conoscenza sulla localizzazione delle frane. Hanno anche sollevato dubbi sull'utilità delle informazioni storiche per la previsione delle frane future.

La previsione della suscettibilità da frana – la probabilità di dove possono avvenire le frane in base alle caratteristiche del territorio – ha fatto progressi notevoli, ma la capacità di previsione spazio-temporale nel medio termine (anni o decenni), cruciale per la pianificazione territoriale e la difesa del suolo, resta inadeguata. Ciò ostacola il disegno di strategie efficaci e sostenibili di adattamento nel contesto dei cambiamenti climatici, ambientali, economici e sociali in atto e attesi.

Le previsioni di breve termine (da ore a pochi giorni) di frane pluvio-indotte sono migliorate e sono oggi parte di diversi sistemi operativi. Tuttavia, è ancora limitata la capacità di stimare accuratamente il numero e l'impatto delle frane a seguito di eventi meteorologici (pluviometrici). Anche le previsioni stagionali sono poco affidabili. Ciò limita la potenziale efficacia delle azioni di protezione civile.

Nonostante l'evoluzione delle tecnologie di monitoraggio, in situ e da remoto, e in particolare la possibilità di misurare le deformazioni del suolo su scala nazionale, i sistemi di monitoraggio coprono meno dello 0,2% delle frane note. Inoltre, i sistemi di monitoraggio non sono integrati a scala regionale e tantomeno nazionale, riducendo l'efficacia dell'uso sinergico dei sistemi e dei dati.

Grazie a maggiori capacità di calcolo, *software* migliori, dati di monitoraggio più abbondanti, frequenti e accurati, e a una migliore comprensione dei processi fisici (geo-meccanici, idrologici) che governano le frane, la modellazione meccanicistica (fisicamente basata) delle frane è migliorata. Tuttavia, resta difficile definire con precisione il punto e il momento d'innescio delle frane, così come prevedere accuratamente la propagazione, la velocità e il numero delle frane. La carenza di dati geo-meccanici e idrologici limita l'applicazione della modellistica a scala di bacino o nazionale, e la sua integrazione nella valutazione della pericolosità e del rischio da frana.

Abbiamo valutazioni quantitative del rischio per la popolazione a scala nazionale e regionale, ma mancano stime affidabili per altri elementi vulnerabili (strutture, infrastrutture, reti, agricoltura, ambiente). Il limite maggiore è la carenza di informazioni sulla vulnerabilità a diverse tipologie di frana dei vari elementi a rischio. Nel contesto dei cambiamenti ambientali, climatici, economici e sociali in atto e attesi, le proiezioni del rischio restano poco affidabili per il disegno e l'implementazione di strategie di mitigazione e adattamento efficaci e sostenibili.

Infine, la disponibilità e la condivisione di dati utili allo studio, alla previsione e alla gestione del rischio da frana restano limitate, ostacolando il progresso delle conoscenze e della capacità di analisi, previsione e gestione del rischio.

## Sviluppi necessari

Per migliorare le conoscenze, le capacità previsionali e, da ultimo, la capacità di difenderci dalle frane, è necessario agire su più livelli.

A livello **conoscitivo** e **tecnologico**, è indispensabile avere maggiori e più accurate informazioni su dove si verificano le frane superando l'attuale disomogeneità nel riconoscimento e nella mappatura delle frane, adottando un approccio integrato e sfruttando tutte le tecnologie disponibili (satellitari, aeree, terrestri) per rilevare dove e quando si verificano le frane. È necessario:

- Riconoscere e mappare le frane subito dopo che sono avvenute e in tutto il territorio. Carte inventario d'evento complete e accurate sono indispensabili per migliorare la previsione del numero e dell'impatto delle frane in funzione della tipologia e dell'intensità della forzante.
- Produrre carte inventario multi-temporali che misurino l'evoluzione della franosità in un territorio. Informazioni multi-temporali sono indispensabili per le previsioni spazio-temporali e per lo sviluppo di scenari di medio termine della franosità (da anni a decenni).
- Raccogliere in modo sistematico informazioni sul tempo d'innescio delle frane, utilizzando più strumenti e tecnologie, incluse le reti sismiche. Tali informazioni sono indispensabili per migliorare le previsioni di breve termine (da ore a giorni) e per la valutazione quantitativa dei sistemi di allertamento.

È poi indispensabile ampliare e migliorare il monitoraggio delle frane. Le tecnologie esistono e funzionano, ma manca una strategia e una definizione chiara degli obiettivi del monitoraggio. Non basta raccogliere dati; è necessario trasformarli in previsioni accurate. È necessario:

- Sviluppare standard e protocolli condivisi per diverse tipologie di frana. Stabilire cosa misurare, perché, e come gestire i dati di monitoraggio permetterà un più efficace confronto fra i sistemi, ridurrà i costi e favorirà la conoscenza di base sulle frane.
- Chiarire compiti e responsabilità connesse alla raccolta e all'aggiornamento dei dati e alla gestione dei sistemi di monitoraggio. Regole chiare aumenteranno la qualità del monitoraggio, faciliteranno il confronto dei dati, e favoriranno la conoscenza di base.
- Aumentare il numero delle frane monitorate, utilizzando tecnologie consolidate ed emergenti, nel sottosuolo, al suolo, da aereo e dallo spazio. Ogni frana monitorata deve essere un sistema previsionale dinamico, costantemente aggiornato con nuovi dati, superando la dicotomia fra monitoraggio "conoscitivo" e "operativo".
- Favorire l'integrazione del monitoraggio multi-parametrico in sistemi di sorveglianza regionali e nazionale, considerando sistemi operati sia dalle amministrazioni pubbliche sia da gestori di strutture e infrastrutture rilevanti. L'integrazione faciliterà il confronto dei dati, l'allertamento, la valutazione dinamica del rischio, e favorirà la conoscenza di base.

È altresì indispensabile migliorare i modelli previsionali a tutte le scale geografiche e temporali. È necessario:

- Rafforzare la raccolta, l'organizzazione e la distribuzione di dati di base – morfometrici, litologici, geologici, idrogeologici, geologico-tecnici, sismici, di uso e copertura del suolo, meteorologici, climatici – per ampie aree territoriali e a scale geografiche e temporali adeguate. Dati territoriali accurati e aggiornati sono indispensabili per lo sviluppo e la validazione di modelli previsionali fisicamente basati, funzionali (*data driven*), ibridi e combinati.
- Integrare i sistemi di monitoraggio locali in modelli previsionali. L'integrazione dei dati di monitoraggio multi-parametrico (nel sottosuolo, al suolo, da aereo, dallo spazio) nella modellistica numerica ad alta risoluzione consentirà previsioni più accurate, nel breve e nel lungo periodo, anche in tempo reale.
- Definire e quantificare le incertezze insite nei modelli e nelle catene modellistiche. Analizzare l'effetto delle incertezze sulle previsioni e sui sistemi di monitoraggio e allertamento. Migliorare la comunicazione trasparente delle incertezze. La quantificazione e la comunicazione trasparente favorisce la credibilità delle previsioni.
- Approfondire la conoscenza dei geo-materiali complessi (ad esempio, flysch, molasse, materiali vulcanici, zone tettonizzate). Analizzare e quantificare gli effetti diretti e indiretti del riscaldamento climatico e dei cambiamenti di uso del suolo e delle pratiche agricole e forestali sulla franosità, utilizzando tutte le proiezioni climatiche disponibili.
- Rendere accessibili capacità e competenze informatiche (*hardware, software*) e di gestione e analisi di dati. Ciò faciliterà un rapido sviluppo di codici di calcolo e l'utilizzo efficace di moderni strumenti modellistici, inclusa l'intelligenza artificiale.

Inoltre, per migliorare le capacità di difesa e gestione delle frane, è necessario:

- Definire e quantificare meglio la vulnerabilità alle frane di tutti gli elementi vulnerabili (edifici, strutture, infrastrutture, agricoltura, ambiente, economie). Per la valutazione del rischio, la quantificazione della vulnerabilità è una criticità.
- Definire e quantificare il rischio posto dalle frane a tutti gli elementi vulnerabili nel contesto del riscaldamento globale e dei cambiamenti ambientali, economici e sociali in atto e previsti. Una migliore definizione del rischio permetterà valutazioni più realistiche e consentirà di disegnare strategie di difesa efficaci e sostenibili.
- Raccogliere e analizzare dati sui costi economici, sociali e ambientali delle frane, oggi frammentari e generalmente sottostimati. È necessario quantificare il rapporto costi-benefici della prevenzione. Una più accurata e trasparente conoscenza dei costi delle frane aumenterà la consapevolezza del rischio da frana e consentirà scelte più consapevoli per la riduzione del rischio.
- Sviluppare e favorire approcci alla mitigazione del rischio da frana basati

sull'impiego di *Nature-Based Solutions*. L'utilizzo diffuso di approcci ecosistemici, integrati e sostenibili favorirà una gestione più efficace del suolo e della riduzione del rischio, contribuendo a ridurre i costi della difesa dalle frane.

Per rafforzare in modo significativo la capacità di difesa dalle frane, sono anche indispensabili innovazioni di tipo **gestionale** e **organizzativo**. È necessario:

- Superare la frammentazione delle competenze e delle responsabilità legate alla definizione e alla gestione del rischio da frana, istituendo una cabina di regia unificata a livello nazionale, come già proposto nel 1969 dalla Commissione De Marchi. La “*governance*” deve essere supportata da procedure snelle per il finanziamento, la progettazione e l'attuazione degli interventi e delle strategie di adattamento.
- Uniformare a livello nazionale i vincoli territoriali, urbanistici e d'uso del suolo nelle aree colpite o potenzialmente soggette a fenomeni franosi, utilizzando tutte le informazioni disponibili. Serve una normativa coerente e omogenea, non solo a livello nazionale ma auspicabilmente anche europeo, per colmare l'attuale carenza e disomogeneità normativa.
- Rendere disponibili i dati sulle frane e sui parametri territoriali e di monitoraggio che le caratterizzano. È fondamentale che tali dati siano accessibili, standardizzati e condivisi tempestivamente, per favorire lo sviluppo e la validazione dei modelli previsionali, aumentare la trasparenza e la credibilità delle previsioni, e accrescere la conoscenza di base sulle frane.
- Finanziare in modo adeguato le strutture tecniche, sia nazionali che regionali, che si occupano del rischio da frana, anche con l'inserimento di nuovo personale qualificato. Potenziare la formazione e le competenze del personale tecnico degli enti locali, in particolare quello dei comuni. Personale competente e operativo sul territorio è una delle azioni più efficaci per la gestione e la mitigazione del rischio da frana.

Infine, dal punto di vista **culturale**, a migliori e più accurate previsioni, ai sistemi di allerta precoce (*early warning*), alle zonazioni territoriali e alle proiezioni future, ad azioni strutturali più efficaci e diffuse a difesa delle comunità locali, devono essere associate misure di adattamento sociale e culturale. È necessario:

- Informare meglio i decisori politici e la popolazione sul rischio da frana e le sue conseguenze.
- Sviluppare strategie di comunicazione del rischio da frana, anche in ottica multirischio.
- Monitorare nel tempo l'evoluzione della percezione del rischio da frana e di altri rischi naturali.

La resilienza alle frane – come quella ad altri rischi – nel contesto dei cambiamenti climatici, ambientali ed economici in atto e attesi, non può basarsi esclusivamente su conoscenze tecniche, capacità tecnologiche, e azioni gestionali e organizzative. Serve un cambiamento culturale che coinvolga la popolazione e i decisori politici.