

MATTEO BERTI

## Atteso ma imprevedibile: il problema del dissesto idrogeologico in Italia

### LO STATO DEL DISSESTO IN ITALIA

L'Italia è uno dei Paesi europei più esposti al rischio frane. Secondo un recente studio del *Joint Research Center* della Commissione Europea (Van Den Eeckhaut and Hervas, 2012) i database nazionali e regionali di 22 Stati membri contengono informazioni su oltre 630.000 fenomeni franosi. Di questi, il 75% si trova in Italia. Per gli addetti al settore questa non è una sorpresa. L'Italia è stato uno dei primi Paesi a realizzare un censimento capillare delle frane e delle alluvioni a scala nazionale. Nel 1989 il Dipartimento di Protezione Civile commissionò al Consiglio Nazionale delle Ricerche il primo censimento delle aree del Paese colpite da frane e alluvioni nell'ultimo secolo (Progetto AVI; CNR-GNDICI, 1994). La carta finale riporta la localizzazione di oltre 9.000 località colpite da frane catastrofiche nel periodo 1918-1994. Il 30% di queste località risultano colpite da frane in modo ricorsivo, ovvero più di una volta.

Più recentemente l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha portato a termine un ambizioso Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI; ISPRA, 2007) svolto in collaborazione con le Regioni e le Province Autonome. Il quadro che emerge è preoccupante. L'inventario ha censito circa 500.000 frane che coprono un'area complessiva di oltre 21.000 km<sup>2</sup>, pari al 9% circa del territorio nazionale montano e collinare. Si tratta di un'area più grande dell'intera regione Lazio<sup>1</sup>.

1. Dati di sintesi sono stati pubblicati nel 2014 da M. Amanti e da C. Margottini, si veda qui in bibliografia.

Tutte le regioni sono interessate dal problema, anche se in misura differente in ragione delle differenti condizioni geologiche, morfologiche e climatiche. La Tabella 1 e la Figura 1 mostrano l'indice di franosità medio delle varie regioni, calcolato come rapporto percentuale tra l'area in frana e l'area montana-collinare. Le regioni con l'indice di franosità più alto sono la Lombardia, l'Emilia Romagna e le Marche. Quelle con l'indice più basso sono la Puglia, la Sardegna e la Sicilia. Il rapporto ISPRA sottolinea comunque come i dati di Basilicata, Calabria e Sicilia sono sottostimati rispetto alla reale situazione di dissesto perché il censimento delle frane ha interessato le sole aree antropizzate (centri abitati e infrastrutture).

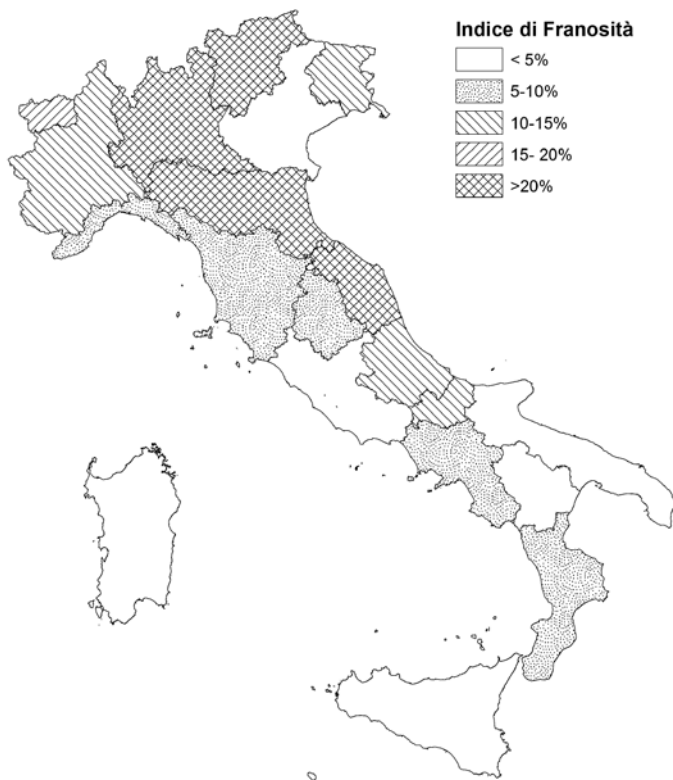


Figura 1. Carta dell'Indice di Franosità delle Regioni italiane (dati ISPRA, 2007).

Il termine «frana» include però fenomeni di dissesto estremamente differenti: possiamo avere frane grandi, profonde e relativamente lente, caratterizzate da velocità dell'ordine dei metri/giorno e da movimenti in blocco che coinvolgono un intero versante; frane piccole ma molto rapide, che scendono all'interno di un canale a elevata velocità (metri/secondo); crolli isolati di blocchi rocciosi che si arrestano al piede di una scarpata; valanghe di roccia in grado di percorrere chilometri prima di arrestarsi. In termini di pericolosità il fattore più importante è la velocità di movimento, poiché da essa dipende la possibilità di mettersi in salvo. Spesso le frane più grandi e apparentemente più pericolose sono in realtà annunciate da chiari segni premonitori (fratture nel terreno, rigonfiamenti della sede stradale, lesioni a edifici) e durante la fase di parossismo la velocità di movimento è tale da consentire la messa in sicurezza delle persone. Al contrario, piccoli crolli di roccia o frane rapide superficiali avvengono spesso senza alcun avvertimento (o perlomeno i segni premonitori sono più difficili da vedere) e si propagano a velocità molto elevata, risultando così potenzialmente letali.

Per queste ragioni, il rischio sociale legato alle frane ha una distribuzione territoriale diversa dall'indice di franosità riportato in Tabella 1. Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (Salvati et al., 2010) stima che negli ultimi 70 anni ci siano stati almeno 789 eventi di frana che hanno prodotto oltre 5.000 vittime in 522 comuni. Il rischio più elevato compete al Trentino Alto-Adige e alla Campania, colpite rispettivamente da 198 e 231 eventi calamitosi nel periodo 1950-2008. Il rischio più basso compete all'Emilia-Romagna (5 eventi), che è invece ai primi posti come indice di franosità. L'Emilia-Romagna, infatti, è caratterizzata da frane lente e profonde che causano enormi danni economici ma che difficilmente mettono a rischio la vita delle persone.

Tabella 1 - Rapporto percentuale tra l'area in frana e l'area montano-collinare per le Regioni italiane, da nord a sud (dati ispra, 2007).

<i>Regione</i>	<i>Indice di franosità (%)</i>
Piemonte	15.0
Valle d'Aosta	16.0
Lombardia	29.9
Trentino-Alto Adige	21.0
Veneto	3.1
Friuli Venezia Giulia	14.8
Liguria	8.1
Emilia-Romagna	23.2
Toscana	5.6
Umbria	8.7
Marche	21.2
Lazio	3.0
Abruzzo	12.5
Molise	12.5
Campania	8.8
Puglia	1.0
Basilicata	3.6
Calabria	6.0
Sicilia	2.2
Sardegna	1.0

#### LE FRANE COME FENOMENI NATURALI

Il quadro del dissesto che emerge da questi studi è chiaro: l'Italia è uno dei Paesi più franosi d'Europa e si colloca tra

i primi 9 Paesi al mondo come rischio da frana (*First World Landslide Forum*; ICL, 2008). Perché? Stiamo pagando il prezzo di politiche scellerate e utilizzo indiscriminato del territorio? È colpa dei cambiamenti climatici?

Rispondere a queste domande non è facile. Le frane sono fenomeni talmente complessi che non sempre riusciamo a quantificare compiutamente ogni aspetto e a stabilire dei nessi chiari tra causa ed effetto. Una cosa però è certa e deve essere la base di ogni ragionamento: le frane sono fenomeni naturali.

Nell'ottica del geologo, un rilievo montuoso non è un oggetto statico, un elemento immutabile del paesaggio. Un rilievo montuoso è l'espressione di un equilibrio dinamico tra sollevamento tettonico, attività erosiva dei corsi d'acqua, caratteristiche geomeccaniche delle rocce, clima e attività vegetale. Il destino di tutti i rilievi (nel tempo geologico) è quello di essere smantellati. Alcuni rilievi vengono smantellati granulo per granulo da processi erosivi continui e capillari legati all'azione delle acque superficiali; altri sono soggetti a cambiamenti bruschi e violenti indotti da fenomeni franosi. Il risultato nel lungo termine è lo stesso.

Queste considerazioni non devono però valere come giustificazione. È proprio la consapevolezza di abitare in un ambiente dinamico e in continua trasformazione che dovrebbe insegnarci a sviluppare le nostre attività in sintonia e non in antitesi coi processi geologici. E questo vale in modo particolare per la nostra penisola, che è geologicamente giovane. Ampi settori delle Alpi e degli Appennini sono in continuo sollevamento tettonico (con valori dell'ordine dei mm/anno), l'attività sismica è intensa, il rilievo è costantemente ringiovanito e affiorano estesamente formazioni geologiche a scendenti caratteristiche meccaniche. In alcune rocce argillose dell'Appennino Settentrionale, ad esempio, più del 30% del territorio è coperto da depositi di frana.

Nel rapporto ISPRA del 2007 è riportata un'interessante statistica sulle cause di oltre 52.000 fenomeni franosi censiti a scala nazionale (Figura 2). Circa il 35% delle frane risulta imputabile a precipitazioni brevi e intense o eccezionali e

prolungate, il 38% al tipo di materiale o alla presenza di discontinuità, il 9% ad azione erosiva di fiumi al piede o sui fianchi, un altro 9% a effetti di disgregazione della roccia per cicli di gelo/disgelo e variazioni di temperatura. Solo l'8% è direttamente imputabile all'azione antropica (scavo al piede del versante, carico in testa, attività agricole errate, errata gestione delle acque superficiali, ecc.). Anche se il rapporto ISPRA non distingue tra cause predisponenti (cioè che predispongono il versante alla rottura nel lungo periodo) e cause innescanti (quelle che effettivamente portano il pendio al collasso) è evidente che i fattori naturali governano la stabilità dei versanti.

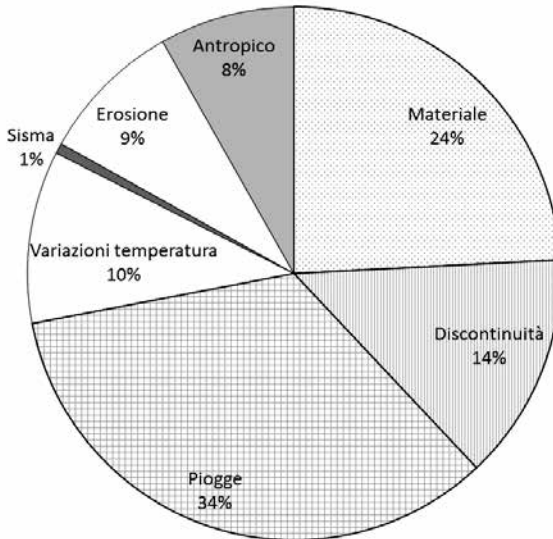


Figura 2 - Cause predisponenti e innescanti dei fenomeni franosi in Italia (dati ISPRA, 2007). Piogge=precipitazioni breve e intense e precipitazioni eccezionali prolungate; Materiale=materiale debole, collassabile, alterato, fratturato; Discontinuità=superfici di taglio, orientazione sfavorevole delle discontinuità, contrasti di permeabilità e competenza; Variazioni temperatura=fusione neve, imbibizione/essiccamento, gelo/disgelo; Erosione=erosione fluviale alla base o sui fianchi; Antropico=scavo al piede, carico in testa, pratiche agricole, errato drenaggio.

## PREVEDERE LE FRANE?

In quanto fenomeni naturali, le frane sono intimamente legate all'ambiente geologico. La conoscenza di un territorio e dei processi geomorfologici in atto permette quindi di identificare i dissesti potenziali in termini di tipologia e pericolosità. Per questo capita spesso di dire che un evento franoso era «atteso», che ci si aspettava potesse accadere. Possiamo allora dire che le frane sono «prevedibili»? La differenza sembra sottile ma la linea di demarcazione tra atteso e prevedibile è, nel caso delle frane, netta e invalicabile.

Innanzitutto chiariamo cosa intendiamo con «prevedibile» nel nostro caso. Teoricamente, prevedere una frana significa determinare in anticipo il luogo e il momento in cui avverrà un dissesto di un certo tipo e di una certa intensità (volume e velocità). Solo in questo modo è infatti possibile intervenire in modo efficace per mitigare il rischio connesso. Nella letteratura scientifica si parla di previsione «spaziale e temporale» dei fenomeni franosi. Allo stato attuale delle conoscenze, però, la *previsione* spaziale e temporale dei fenomeni franosi non è possibile. Possiamo certamente individuare la *propensione* di un'area al dissesto, cioè avanzare ipotesi ragionevoli sulla possibilità di avere frane e sulle tipologie attese, ma non siamo in grado di prevedere quale sarà il versante che andrà a rottura a seguito di un evento meteo specifico.

Facendo un paragone in ambito medico, è come dire che all'interno di una popolazione un medico sa che i fumatori incalliti sono potenzialmente soggetti a malattie respiratorie; non può però stabilire chi e quando si ammalerà. Nessuno, d'altra parte, pretende questo da lui. Nel caso delle frane, invece, si è portati a pensare che la possibile soluzione del problema sia quella di *prevedere* il fenomeno, e la domanda che rimbalza sui mezzi di informazione e di divulgazione dopo una catastrofe è sempre la stessa: si poteva prevedere? Dietro questa domanda si cela la mancata percezione della complessità dei fenomeni franosi.

Le frane sono fenomeni naturali estremamente complessi. La stabilità di un versante dipende infatti da numerosi fattori (Figura 3).



Figura 3 - Principali fattori che controllano la stabilità di un versante

Alcuni di questi possono essere determinati con precisione (es. la pendenza del versante, il tipo di materiale, l'uso del suolo), altri sono gravati di notevole incertezza (es. le caratteristiche meccaniche dei terreni e delle rocce, le condizioni idrogeologiche del versante), altri ancora sono di fatto indeterminabili (es. la persistenza di una discontinuità in roccia, l'effetto stabilizzante degli apparati radicali). Inoltre, molti fattori hanno tra loro complesse interazioni (es. il tipo di materiale, la pendenza del versante e la copertura vegetale) e alcuni variano in modo continuo o ciclico nel tempo (l'alterazione di una roccia o l'oscillazione stagionale del livello di falda). Quantificare tutti i fattori in gioco non è possibile e per questo motivo la nostra capacità previsionale è limitata.

Ad esempio, è noto che il principale fattore di innesco delle frane sono le precipitazioni. L'acqua di pioggia si infiltra nel



terreno, circola in profondità e determina un peggioramento delle condizioni di stabilità poiché riduce le resistenze per attrito ai contatti tra le particelle. È evidente però che l'aumento del livello di falda all'interno del versante non dipende solo dalla pioggia che cade nei giorni immediatamente precedenti la frana: il grado iniziale di umidità del suolo, la permeabilità del terreno, la presenza di vegetazione sono solo alcuni dei parametri che controllano la reale risposta del versante. Il risultato è che non sappiamo prevedere con certezza se avverrà una frana in risposta a una data pioggia. A queste incertezze si sommano quelle legate alle previsioni meteo, che ad oggi non consentono di conoscere con precisione l'ubicazione dell'evento e la reale quantità di precipitazione al suolo.

In sintesi possiamo affermare che le frane sono fenomeni naturali imprevedibili, controllate dalle condizioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche locali ma influenzate anche dalle azioni antropiche. Il geologo può determinare la suscettività da frana di un territorio ma non è in grado di prevedere dove e quando una frana avverrà.

## LA GESTIONE DEL RISCHIO

La gestione del rischio da frana in Italia ha visto l'introduzione di diversi strumenti legislativi che hanno portato a un quadro normativo piuttosto articolato. L'analisi di tale struttura normativa non è lo scopo di questo testo, è però interessante vedere come il legislatore ha affrontato un tema tanto complesso.

La prima legge che persegue in modo esplicito la finalità di protezione del suolo e di mitigazione del rischio idrogeologico è la legge 183/del 1989. L'intento della legge è quello di riorganizzare le amministrazioni centrali e locali e di redigere dei Piani di Bacino tramite i quali *«sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo»*. A tale scopo furono create le Autorità di Bacino (6 di rilievo nazionale e 16 di rilievo interregionale), che costituiscono la sede del coor-

dinamento sul territorio ed hanno il compito di realizzare i Piani, che sono intesi come piani generali di settore.

Il Decreto Legge 398/1993 introduce i Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) come elaborati stralcio dei più ampi Piani di Bacino. A seguito di una serie di eventi calamitosi che colpirono Sarno nel maggio 1998 e la Calabria nel settembre-ottobre 2000 furono emanate nuove norme (D.L. 180/1998, legge 267/1998, legge 365/2000) che ribadiscono l'urgenza dei PAI. La scadenza per l'adozione dei Piani di Assetto Idrogeologico fu fissata per il 30 ottobre 2001.

Secondo l'Annuario dei dati ambientali pubblicato da ISPRA nel 2011, la quasi totalità delle Autorità di Bacino ha ormai approvato/adottato i PAI. Nei piani è riportata la perimetrazione delle aree a rischio classificate secondo quattro livelli sulla base dei possibili impatti dell'evento franoso sulla popolazione, gli edifici, le infrastrutture e il patrimonio ambientale: R<sub>1</sub>=moderato; R<sub>2</sub>=medio; R<sub>3</sub>=elevato; R<sub>4</sub>=molto elevato.

Le metodologie adottate dalle varie Autorità di Bacino per realizzare i piani sono piuttosto differenti, sia perché sono diverse sia le esperienze e le competenze tecniche, sia perché sono diversi i fenomeni franosi presenti sul territorio. Non è possibile utilizzare la stessa metodologia per valutare la suscettività da frana di crolli in roccia e da frane di colata in argilla. In tutti i casi comunque, l'idea di base è quella di determinare la *propensione* di un'area al dissesto, non quella di *prevedere* dove e quando un dissesto avverrà.

I piani stralcio rappresentano quindi uno strumento di prevenzione. La mitigazione del rischio idrogeologico avviene riducendo l'esposizione degli elementi vulnerabili tramite un'attenta pianificazione territoriale. Si tratta di uno strumento potenzialmente molto efficace: se non sappiamo prevedere, tuteliamoci e diamo per scontato che il dissesto possa accadere.

Perché allora nel solo 2014 ci sono stati 211 eventi franosi principali (fonte ISPRA) che hanno causato 14 vittime, feriti, evacuati e danni a edifici e infrastrutture? Le ragioni possono

essere molteplici e tra queste ci sono sicuramente le speculazioni, gli interessi e il malaffare che hanno vanificato l'efficacia del PAI. Ancora una volta però non possiamo generalizzare.

Ho rilevato personalmente alcune di queste frane avvenute nell'Appennino emiliano-romagnolo. Per esempio: la frana di Poggio Zampiroli (comune di Brisighella, Ravenna) si è innescata la mattina del 5 marzo 2014 a seguito di un periodo di precipitazioni abbondanti. Una massa di roccia lunga 600 m, larga 150 m e spessa circa 20 m è scivolata lungo il versante come farebbe un libro su un piano inclinato. La frana è scesa verso valle con velocità di qualche metro/secondo, ha sbarcato il torrente che scorreva al piede del pendio ed è risalita sul versante opposto distruggendo metà di un'abitazione. Il proprietario si è miracolosamente salvato: la frana ha distrutto la camera da letto mentre lui si trovava in cucina. Fig. 4.



Figura 4 - Foto frontale della frana di Poggio Zampiroli (Brisighella, RA). Il corpo di frana è scivolato verso valle per oltre 150 m muovendosi lungo un piano di strato.

Dal punto di vista tecnico si tratta un fenomeno assolutamente *atteso*. La Formazione Marnoso-Arenacea (che è il nome geologico di quel particolare tipo di roccia) è costituita da un'alternanza regolare di strati arenacei e marnosi di elevata resistenza. Il contatto tra questi strati è però segnato da piani di discontinuità infinitamente persistenti lungo i quali le resistenze sono molto basse. Quando gli strati sono inclinati ed emergono dal versante è possibile lo scorrimento, come quando si inclina un mazzo di carte. Nella Formazione Marnoso-Arenacea ci sono migliaia di frane di questo tipo e sono tutte accuratamente riportate nei PAI.

Il fatto che il versante fosse «potenzialmente pericoloso» avrebbe teoricamente richiesto una particolare attenzione. Frane di questo tipo sono generalmente annunciate da segni precursori (fratture e trincee di movimento), che innalzano il livello di allerta e portano eventualmente all'evacuazione degli elementi a rischio. Cosa non ha funzionato a Poggio Zampiroli? Semplicemente non è possibile avere un controllo così capillare del territorio ed era difficile pensare che la frana potesse risalire il versante opposto. Così un fenomeno «atteso» rischia di trasformarsi in tragedia.

Anche a valle di un'attenta pianificazione territoriale e dell'adozione di misure preventive esiste sempre un rischio residuo. Frane di primo innesco (ossia in aree dove non erano mai avvenute in passato), frane che hanno evoluzioni inattese in termini di volume o velocità, dissesti legati a eventi meteo anomali sono sempre possibili. È per questa ragione che la Legge 225/1992 istituisce il Servizio Nazionale della Protezione Civile. Il Servizio ha il compito di *«tutelare l'integrità della vita, i beni, gli insediamenti e l'ambiente dai danni o dal pericolo di danni derivanti da calamità naturali, da catastrofi e da altri eventi calamitosi»*.

È interessante notare che la Legge definisce la previsione delle frane come l'insieme delle attività *«dirette all'identificazione degli scenari di rischio probabili e, ove possibile, al preannuncio, al monitoraggio, alla sorveglianza e alla vigilanza*

*in tempo reale degli eventi e dei conseguenti livelli di rischio attesi». Non si tratta quindi della previsione spazio-temporale a cui ho accennato prima. L'incertezza e la difficoltà connessa alla gestione dei fenomeni franosi traspare dalla definizione di *previsione* utilizzata nella normativa.*

Le agenzie di Protezione Civile intervengono e gestiscono il rischio nel breve termine. Emanano (in concerto con gli altri enti territoriali) i bollettini di allertamento meteo, pianificano le attività di pronto intervento e organizzano i soccorsi. Spesso queste attività sono bollate col termine negativo di «emergenza» e messe in contrapposizione a quelle virtuose di «prevenzione». Sarà anche vero, ma a mio parere un'adeguata gestione dell'emergenza è un elemento fondamentale nella mitigazione del rischio da frana. Molti fenomeni franosi sono troppo complessi e imprevedibili. La prevenzione è necessaria ma non sufficiente.

Le attività di «emergenza» sono poi particolarmente complesse e si prestano a facili polemiche (perché non è stato dato l'allarme?). Pensiamo alla scelta del livello di allerta a seguito di una previsione meteo. La scelta è gravata da pesanti incertezze: il quantitativo di pioggia, l'area che sarà colpita, gli effetti a terra. Per tali previsioni sono di norma utilizzare le cosiddette «soglie pluviometriche». Le soglie pluviometriche definiscono i limiti di pioggia critici (generalmente in termini di durata e intensità dell'evento) per l'innescò di fenomeni franosi. Sono stabilite essenzialmente su base empirica utilizzando i dati di piogge che hanno innescato frane in passato. Come precisato sopra, però, l'attività franosa è modulata dalla variabilità geologica per cui si hanno soglie pluviometriche diverse da zona a zona. La pioggia poi non è l'unico fattore che governa la stabilità di un versante. Ancora una volta il risultato è che dobbiamo convivere con una previsione carica di incertezza. Non è un limite normativo o tecnico, ma di conoscenza.

## IL TIMONE DELLA RICERCA E DELLA TECNOLOGIA

Come possiamo migliorare questa situazione? Come possiamo diminuire l'impatto del dissesto idrogeologico e aumentare la nostra capacità di difesa? Ci sono diverse possibilità: più prevenzione, una maggiore consapevolezza dei rischi naturali da parte della popolazione, un atteggiamento meno connivente degli enti pubblici con gli interessi privati, il rispetto della pianificazione territoriale. Personalmente vedo però la strada maestra nell'aumento della conoscenza, nel miglioramento degli strumenti tecnici e nell'avanzamento della ricerca. Quando la malattia è seria servono buoni medici e buoni strumenti per avere buone diagnosi e cure.

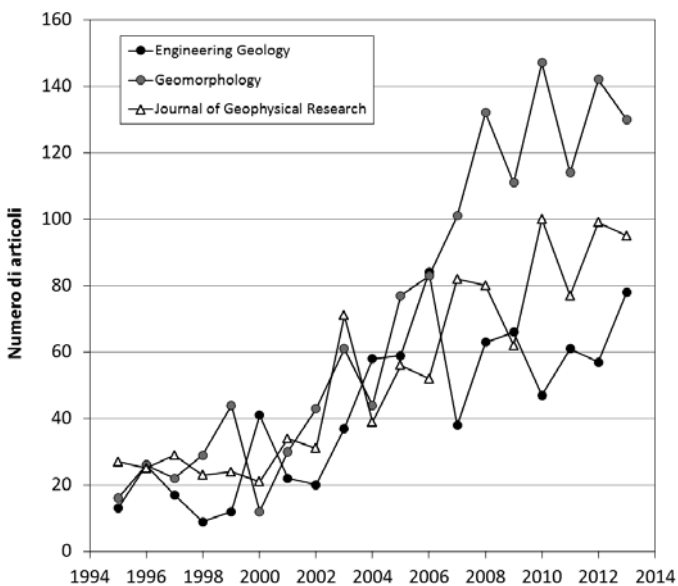


Figura 5 - Il costante aumento del numero di pubblicazioni scientifiche sul tema frane in tre prestigiose riviste di settore testimonia lo sforzo della ricerca negli ultimi 20 anni.

Negli ultimi venti anni la ricerca scientifica internazionale ha prodotto un grande sforzo sul tema frane (Figura 5) e l'Italia è in prima linea. Un recente studio bibliometrico

pubblicato su una prestigiosa rivista di settore («Landslides»; Wu et al., 2015) pone l'Italia al secondo posto tra le nazioni più produttive al mondo nell'ambito della ricerca sulle frane, subito dietro gli USA. Un grande risultato se consideriamo gli esigui finanziamenti pubblici alla ricerca scientifica.

Chiaramente, molte ricerche non hanno ricadute dirette sulla mitigazione del rischio essendo rivolte alla comprensione fisica dei processi o all'analisi di aspetti puntuali. Grazie però alle recenti innovazioni in ambito tecnologico disponiamo ora di strumenti nuovi che stanno già cambiando il nostro modo di gestire il rischio da frana. Tra le tecniche più promettenti spicca l'interferometria satellitare e il radar interferometrico terrestre.

L'interferometria satellitare è una delle tecniche in più rapido sviluppo di monitoraggio remoto. Le immagini radar prese da satellite sono utilizzate per derivare modelli digitali del terreno e individuare, tramite il confronto fra le immagini successive, lo spostamento di alcuni punti a elevata visibilità (edifici, piloni della luce, affioramenti di roccia...). A ogni rivoluzione del satellite si ha una misura e in questo modo si ottiene una serie temporale di spostamento per ogni punto rilevato. I primi satelliti (ERS ed ENVISAT) avevano un tempo di rivoluzione di circa un mese ed erano quindi in grado di fornire dei valori medi di velocità di spostamento sul lungo periodo. I nuovi satelliti (es. COSMO-SkyMed) arrivano a un tempo di rivoluzione di pochi giorni e permettono quindi di seguire con buon dettaglio l'evoluzione di un fenomeno franoso. Con questa tecnica è possibile misurare velocità di spostamento comprese tra pochi mm a qualche cm/anno.

Il Ministero dell'Ambiente ha finanziato nel 2002 un importante progetto di telerilevamento a scala nazionale (Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale) utilizzando questa tecnica. I dati raccolti (liberamente disponibili nel Geoportale Nazionale) consistono di oltre 10 milioni di punti di misura per cui è stata calcolata la velocità media di sposta-

mento negli intervalli temporali 1992-2000 (ERS) e 2003-2008 (ENVISAT). L'integrazione tra questi dati e la cartografia del dissesto è in fase di elaborazione in molte Regioni. L'idea è quella di aggiornare lo stato di attività delle frane censite e identificare eventuali dissesti non rilevati. Si tratta però di elaborazioni delicate che richiedono attente verifiche di campo. È probabile che serva ancora qualche anno per vedere i frutti di questo investimento.

Nell'Appennino vi sono molti abitati costruiti su frane in lento movimento che causano lesioni agli edifici e problemi alle infrastrutture. Si tratta di convivenze difficili, ma la vera preoccupazione è che una precipitazione intensa possa causare un'accelerazione di tali frane con gravi conseguenze. In quest'ottica è fondamentale l'azione di monitoraggio, in quanto l'innesco di frane di questo tipo non è improvviso ma preceduto da una lunga fase di accelerazione (fase pre-rottura) che può essere colta con strumentazione idonea. Il radar interferometrico satellitare, combinato con strumenti a terra quali inclinometri (misuratori di spostamenti profondi del versante) o stazioni GPS, consente di tenere il fenomeno sotto controllo e di allertare per tempo la popolazione. In molti casi è possibile mitigare il rischio da frana (diminuire cioè la probabilità che una frana crei danni alle persone) utilizzando il monitoraggio al posto di costosi interventi di consolidamento, che nel caso di grandi frane possono essere tra l'altro molto costosi o di dubbia efficacia.

Il radar interferometrico terrestre utilizza una tecnica analoga a quello satellitare, ma le misure sono eseguite da terra. Essendo più vicino all'oggetto da rilevare si arriva a misure molto precise, dell'ordine di qualche mm di spostamento di un punto posto entro 3 km di distanza dal punto di presa. Il radar terrestre è utilizzato in fase di emergenza per ottenere in modo rapido una mappa di deformazione del versante e individuare così le zone critiche. Nessun altro strumento è in grado di fornire mappe di spostamento con una tale densità di punti (dell'ordine di 1 punto ogni 2 m<sup>2</sup>



a 1 km di distanza). Si tratta però di una tecnica piuttosto costosa, il cui uso è al momento limitato a poche frane di particolare interesse. Sono in genere fenomeni di grandi dimensioni e rischio elevato, che non possono essere consolidati o messi in sicurezza con le tecniche tradizionali. In quest'ambito il dato di monitoraggio è essenziale per seguire l'evoluzione del fenomeno e mitigare il rischio ad esso connesso.

Le Figure 6a e 6b mostrano un esempio di monitoraggio interferometrico terrestre per il controllo della rupe di San Leo (provincia di Rimini) dopo il grande crollo avvenuto il 27/02/2014. Il crollo è stato improvviso e ha causato un arretramento della scarpata di circa 50 m, avvicinandola pericolosamente a una serie di abitazioni, alla caserma dei Carabinieri e alla scuola elementare. Gli edifici sono stati prontamente evacuati, ma subito dopo l'evento c'era la preoccupazione che la frana avesse in qualche modo peggiorato le condizioni di stabilità della scarpata adiacente. In cima a questa scarpata corre infatti la strada di accesso per la Rocca di San Leo, una delle fortezze medioevali più belle d'Italia. Anche in questo caso il monitoraggio è stato essenziale per gestire l'emergenza. Il problema specifico è che le frane di crollo in roccia possono avere un'evoluzione anche molto rapida e (a differenza del caso precedente) le deformazioni pre-rottura possono essere minime. È quindi necessario un monitoraggio continuo, di precisione millimetrica e in grado di coprire una grande area. Il radar interferometrico terrestre ha queste caratteristiche e ha permesso di verificare che la scarpata era sostanzialmente ferma consentendo così, dopo un congruo tempo di verifica, il rientro delle persone nelle abitazioni e la riapertura della scuola.



Figura 6 a - Rupe di San Leo (Provincia di Rimini): foto panoramica del crollo avvenuto il 27 luglio 2014.

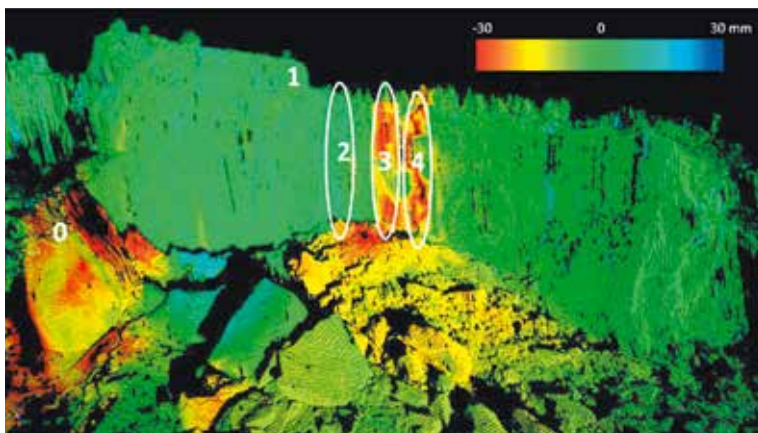


Figura 6 b - Mappa di spostamento ottenuto da interferometria radar terrestre eseguita dal Centro di Competenza del Servizio Nazionale di Protezione Civile dell'Università di Firenze. Le aree evidenziate indicano zone di attenzione caratterizzate da particolare attività di movimento.

PER CONCLUDERE: CONSAPEVOLEZZA, ATTENZIONE E  
CONOSCENZA

In definitiva, penso che non ci sia una ricetta semplice per ridurre il drammatico impatto del dissesto idrogeologico nel nostro Paese. L'Italia ha una naturale predisposizione allo sviluppo di fenomeni franosi. Vivere in un tale ambiente richiede particolare consapevolezza, attenzione e conoscenza. Non possiamo liquidare come «eccezionale» un fenomeno franoso che in realtà si è attivato più volte in passato (magari addirittura in epoca storica) e non è stato considerato per ignoranza o negligenza. Così come non dobbiamo stupirci se una colata rapida di detrito colpisce un edificio costruito su un'area di conoide formata (nel tempo geologico) proprio da depositi multipli di colate di detrito. La conoscenza geologica del territorio è consapevolezza delle trasformazioni di lungo termine e dei processi, anche catastrofici, che possono interagire con la nostra vita.

Le soluzioni globali, definitive e certe non esistono di fronte a fenomeni così complessi. Servono piuttosto conoscenza, ricerca e persone qualificate nei posti giusti; canali di finanziamento capillari e certi, che sostengano il miglioramento del sapere e rendano più efficace l'azione di intervento. Un celebre aforisma di Bertrand Russell recita: *«Ciò che gli uomini vogliono realmente non è la conoscenza, ma la certezza»*. Una tendenza pericolosa quando parliamo di frane.

## BIBLIOGRAFIA

- AMANTI M. (2014), *Frane. La fragilità del territorio italiano fra eventi estremi, caratteri geologici e aggressioni antropiche*, in E. GUIDOBONI, G. VALENSISE (a cura di), *L'Italia dei disastri. Dati e riflessioni sull'impatto degli eventi naturali 1861-2013*, Bononia University Press, Bologna, pp. 159-190.
- MARGOTTINI C. (2014), *La difesa del suolo in Italia. Impatti e costi*, in *L'Italia dei disastri*, cit. pp. 191-206.
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE-GRUPPO PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE (1994), *Progetto AVI, Aree vulnerate e piani di protezione civile*.
- FRUMENTO S. (2014), *Il rischio idrogeologico in Italia*. Wolters Kluwer Italia, 160 pp.
- GUIDOBONI E., G. VALENSISE (a cura di) (2014), *L'Italia dei disastri. Dati e riflessioni sull'impatto degli eventi naturali 1861-2013*. Bononia University Press, Bologna, 430 pp.
- INTERNATIONAL CONSORTIUM ON LANDSLIDE (2008), *The First World Landslide Forum*, Proceedings, Tokyo, Japan.
- ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE (2007), *Rapporto sulle frane in Italia*.
- ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE (2011), *Annuario dei dati ambientali*.
- ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE (2012), *Rapporto di sintesi sul dissesto idrogeologico in Italia 2014*.
- SALVATI P., BIANCHI C., ROSSI M., GUZZETTI F. (2010), *Societal landslide and flood risk in Italy*, «Natural Hazards Earth System Science», 10, pp. 465-483.
- VAN DEN EECKHAUT M., HERVAS D.F. (2012), *State of the art of national landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk*, «Geomorphology», 139, pp. 545-558.
- WU X., CHEN X., ZHAN F.B. (2015), *Global research trends in landslides during 1991-2014: a bibliometric analysis*, «Landslides», DOI 10.1007/s10346-015-0624-z.