

# Le grandi frane dell'Emilia-Romagna: stato dell'arte

G. Bertolini<sup>1</sup> e M. Pizziolo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geologo - Servizio Tecnico dei Bacini Enza, Secchia e Panaro, Regione Emilia-Romagna

<sup>2</sup> Geologo - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

## PREMESSA

La nostra regione è indubbiamente uno dei territori più franosi d'Italia, tanto che in molte aree appenniniche la presenza estesa di frane costituisce una delle peculiarità più riconoscibili nel paesaggio. Oltre un quinto della superficie montana e collinare è interessato da corpi di frana di vario tipo e dimensione, più o meno attivi, ma pur sempre potenzialmente pericolosi. Negli ultimi decenni la vertiginosa diffusione dell'urbanizzazione e delle reti infrastrutturali ha portato ad un sensibile aumento del rischio da frana. Parallelamente, sotto la spinta dei diversi eventi catastrofici che hanno colpito il nostro Paese (ricordiamo, tra i maggiori, gli eventi di Sarno, Valtellina, Val di Stava, Corniglio) è aumentato l'impegno per la conoscenza dei fenomeni e per la comprensione delle cause predisponenti e innescanti.

La Regione Emilia-Romagna, con il suo Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (SGSS) e con i Servizi Tecnici di Bacino (STB), si è spesso trovata nel piccolo gruppo di regioni "capofila" in molte iniziative e ricerche, riscuotendo il plauso sia in ambito nazionale che all'estero. In queste poche pagine tenteremo di trarre una sintesi basata sul vasto patrimonio di conoscenza acquisito direttamente (dai Servizi regionali) o da esperienze documentate in bibliografia per ricerche svolte anche da dipartimenti universitari e CNR. Il lettore potrà comunque trovare nella bibliografia i riferimenti utili ad approfondire gli aspetti che più lo interessano.

## IL PROGRESSO DI CONOSCENZA NEGLI ULTIMI DECENNI

L'attenzione dei geologi e delle istituzioni verso le frane iniziò nel primo decennio del secolo scorso, quando Almagià effettuò il primo vero "censimento" dei fenomeni franosi in Italia (1907), mentre veniva emanata la prima legge organica (Regio Decreto 445 del 1908) che comprendeva un vero e proprio "elenco di abitati da consolidare e trasferire". L'aggiornamento di quell'elenco rappresentò per molti decenni l'unico mezzo per il miglioramento delle conoscenze sulla distribuzione territoriale dei dissesti. I più recenti progressi nella conoscenza dei fenomeni franosi in Emilia-Romagna si ebbero a partire dagli anni 70 quando furono prodotte

le cartografie tematiche (vere carte-inventario dei dissesti) di alcuni bacini emiliani (es: Gelmini e Pellegrini, 1969, Moratti e Pellegrini, 1972).

Sempre negli anni '70 vennero pubblicate le prime metodologie per la redazione di "carte della stabilità dei versanti" (es: Papani e Tellini, 1973, Regione Emilia-Romagna, 1977). Tali ricerche non portarono a risultati pratici entusiasmanti, tanto che furono accantonate per i decenni seguenti. Il successivo rilevamento della Carta Geologica regionale, per opera dell'allora "Ufficio Geologico" regionale (ora "Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli"), impresso poi un ulteriore impulso alla ricerca: da quella carta, nata per scopi ben diversi, negli anni '90 fu derivata una carta "Inventario" delle frane che, per dettaglio ed estensione, non aveva eguali in Italia (Pizziolo, 1996).

L'ormai concluso progetto IFFI (Inventario dei fenomeni franosi italiani, Amanti et Al, 2000), alla cui progettazione ed esecuzione i geologi della Regione Emilia-Romagna hanno attivamente collaborato, rappresenta un ambizioso passo in avanti: il censimento completo di tutte le frane conosciute in Italia, mediante metodologia G.I.S. Il rilevamento IFFI in Emilia-Romagna ha consentito la redazione di una cartografia del dissesto a scala 1:10.000, comprensiva di varia documentazione disponibile sul sito internet regionale.

Il processo di miglioramento delle conoscenze cartografiche prosegue tuttora, sia con l'attività professionale di molti geologi per lavori a scala locale, sia con la prosecuzione dell'attività cartografica e di censimento, ora svolta anche da diverse province per i propri territori.

## LA PROPENSIONE AL FRANAMENTO DELLE DIVERSE FORMAZIONI GEOLOGICHE

Una veloce analisi della distribuzione territoriale delle frane rivela la loro stretta dipendenza dalle formazioni a litologia prevalentemente argillosa e/o strutturalmente complesse.

Nelle formazioni costituite da alternanze, i valori di "Indice di Franosità"<sup>1</sup> (I.F), (Figura 1) evidenziano una

<sup>1</sup> Rapporto tra la superficie totale delle frane che giacciono su di una data unità territoriale e la superficie cartografata della medesima unità.

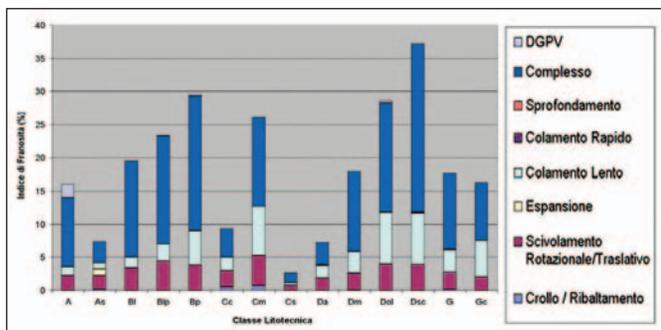


Figura 1: Incidenza dei diversi tipi di frane per litologia del bedrock. A: rocce lapidee; As: rocce lapidee stratificate; Bl: alternanze lapidee/pelitiche con  $L/P > 3$ ; Blp: alternanze lapidee/pelitiche con  $0,3 < L/P < 3$ ; Bp: alternanze lapidee/pelitiche con  $L/P < 0,3$ ; Cc: conglomerati clasto-sostenuti; Cm: conglomerati matrice sostenuti; Cs: sabbie debolmente cementate; Da: argille consolidate; Dm: Marne; Dol: Argille olistostromiche; Dsc: Argille tettonizzate e argilliti; G: Gessi; Gc: Gessi in giacitura caotica.

correlazione diretta con la percentuale di peliti (Regione Emilia-Romagna., 2006).

Nelle formazioni più argillose l'I.F. appare correlato alle condizioni di omogeneità e tettonizzazione: la franosità



Figura 2 – La colata, perennemente attiva, nota come “Lavina di Roncovetro in Val d’Enza, Provincia di Reggio E. (Foto G. Bertolini, 2006)

minore si verifica nelle argille azzurre plioceniche (classe “argille sovraconsolidate”) che presentano condizioni strutturali e giaciture poco complesse e buona omogeneità stratigrafica. Viceversa l'I.F. maggiore si verifica nella classe “Argille tettonizzate e argilliti”, comprendente in prevalenza le unità cretacee liguri e subliguri (“Argille Scagliose” Aucct.), severamente piegate e dislocate per successive fasi deformative.

Come si vede dalla Figura 1, la differente struttura interna delle diverse formazioni geologiche condiziona anche la tipologia delle frane che prendono origine da esse. Formazioni prevalentemente argillose danno luogo in prevalenza a frane per colamento (Figura 2). Le formazioni ben stratificate (es: i flysch liguri, le torbiditi oligo mioceniche) possono dar luogo sia a frane per colata, che prendono origine dai depositi di copertura e di alterazione, sia a frane di scivolamento traslativo che sono favorite dagli strati più deboli inclinati a “franapoggio” (ossia nella stessa direzione del pendio ma con minore inclinazione), condizione particolarmente frequente sulla Marnoso-Arenacea romagnola (Figura 3).



Figura 3 – Una tipica frana per scivolamento su strato nella Marnoso-Arenacea presso Borgo Tossignano (Foto G. Bertolini, 2006).



Figura 4 – La recente frana di crollo delle “Gole di Scascoli” sul fiume Savena (Foto G.Bertolini, 2005).

Crolli e rotolamenti si verificano infine sulle ripide scarpate formate da flysch del dominio ligure, da arenarie epiliguri o plioceniche; ne sono esempi recenti: le frane delle Gole di Scascoli nel Bolognese (Figura 4) e i crolli di massi dalla Rupe di Canossa, nel Reggiano.

In questi casi, il distacco è determinato dalla particolare disposizione dei giunti di fatturazione che si intersecano con quelli di stratificazione.

### LE CARATTERISTICHE DELLE GRANDI FRANE DELL'EMILIA-ROMAGNA

#### *Caratteri morfometrici e meccanismi di frana*

Per quanto riguarda le dimensioni, basti dire che diverse frane della Regione Emilia-Romagna superano la lunghezza di 4 chilometri. Oltre 4000 superano i 10 ettari e oltre 100 il Km<sup>2</sup>. Queste grandi frane sono per lo più di tipo complesso, abbinando movimenti roto-traslativi (che prevalgono nella zona di coronamento) a lunghe colate che generalmente raggiungono la base del versante. Nella zona mediana e inferiore accade frequentemente che una completa deformazione del materiale (tipico delle colate) si accompagni ad un movimento di scivolamento alla base (per

cui può risultare talvolta appropriato il termine di *mudslide* proposto da Hutchinson, 1988).

Nella fase di riattivazione di antiche colate (caso molto frequente), il corpo di frana procede per lungo tempo verso valle scivolando lentamente sulla sua base, con un meccanismo di “scivolamento traslativo” e minori deformazioni interne (tra le maggiori: Corniglio, Cerrè Sologno; per l’ubicazione si veda la Figura 5). La trasformazione in una vera e propria “colata” di terra avviene raramente, solo se l’evento si protrae a lungo (mesi o anni) e solo se vi è disponibilità di grandi quantitativi di acqua (Lavina di Roncovetro e Cà di Sotto ne sono un esempio).

La profondità media delle frane si attesta tra i 10 ed i 30 metri. Circa la metà dei corpi franosi indagati ricade entro questa classe di profondità (Bertolini et al, 2005), pur non mancando frane che superano i 40 metri (il 10%) e pochi casi che si avvicinano ai 100 metri.

Da una prima analisi, sembra che una maggiore acclività del versante non sia statisticamente determinante nel favorire la presenza di frane. Le 14 grandi frane considerate in Bertolini e Pellegrini (2001), avvenute nel periodo 1994-2000, hanno interessato versanti inclinati tra 6 e 23° con una maggiore frequenza tra gli

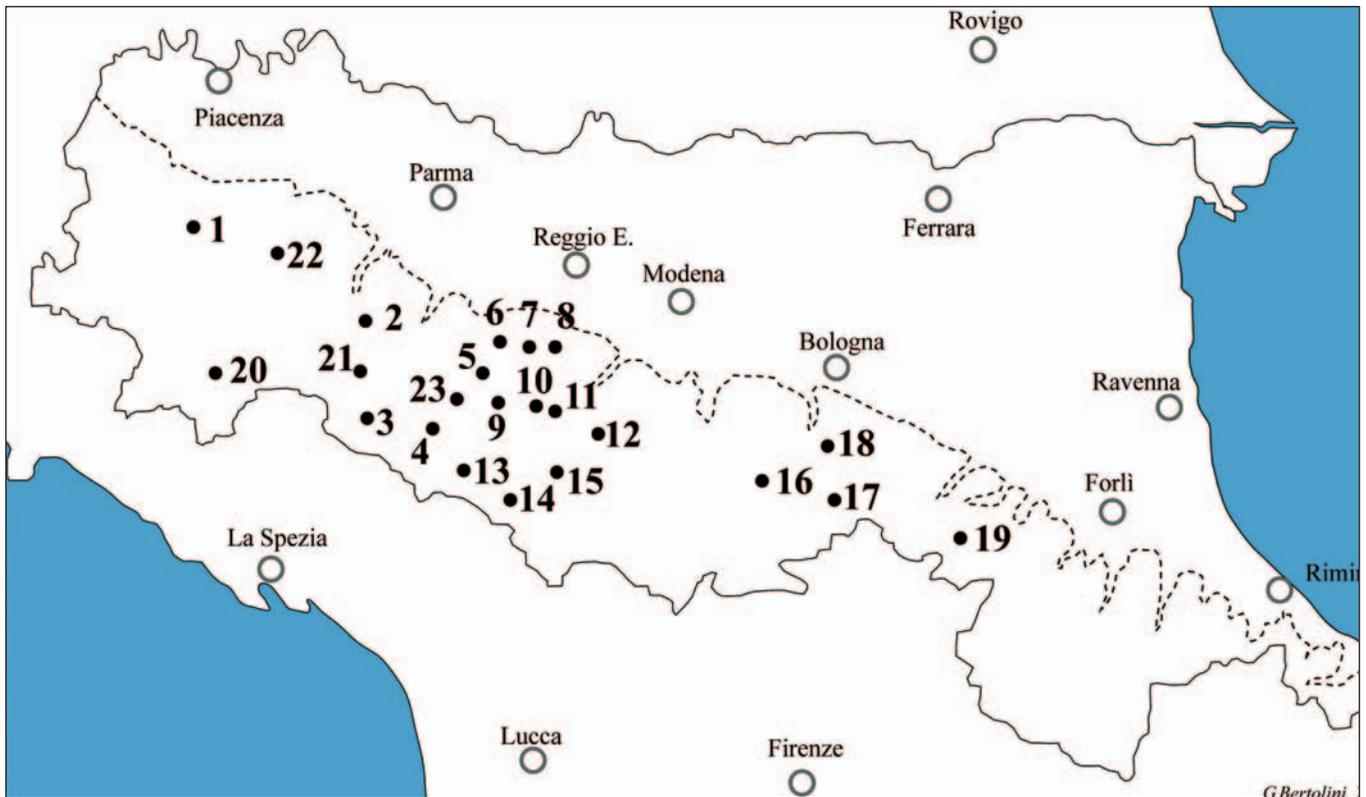


Figura 5 – Ubicazione delle frane citate nel testo. Frane di: 1-Velleia (PC), 2- Signatico (PR), 3- Corniglio (PR), 4- Poviglio (RE), 5- Roncovetro (RE), 6- Rossena (RE), 7- Canossa (RE), 8- Casoletta (RE), 9- Garfagnolo (RE), 10- Magliatica (RE), 11- Cà Lita (RE), 12- Morano (MO), 13- Cerrè Sologno (RE), 14- Febbio (RE), 15- Boschi di Valoria (MO), 16-Rocca Pitigliana (BO), 17- Cà di Sotto (BO), 18- Gole di Scascoli (BO), 19- Borgo Tossignano (BO), 20- Cà Terzaga (PR), 21- Costa di Casaselvatica (PR), 22- Casa Ravera (PR), 23- Groppo (RE).

8 e gli 11°. Le frane su acclività maggiori ai 25-30° sono scarse a causa della presenza in quelle aree di formazioni dotate di migliori caratteri geomeccanici. Frequentemente le frane si innescano in luoghi o porzioni del versante dove l'acclività è relativamente maggiore, ma in seguito possono procedere anche su acclività bassissime, non escludendo, al limite, superfici pianeggianti come nel caso del vasto piede della frana di Signatico (Val Parma, PR).

*La struttura interna del corpo di frana ed il problema della rappresentatività dei caratteri geomeccanici*

La maggioranza delle frane esistenti sul territorio emiliano-romagnolo prendono origine da formazioni argillose strutturalmente complesse. Questi corpi di frana rappresentano, dal punto di vista litologico, un compendio delle varie formazioni che affiorano sul versante (spesso più di una). La loro struttura interna è spesso del tipo blocks-in-matrix e le proprietà geomeccaniche sono loro conferite principalmente dalla matrice argillosa.

Di conseguenza, in termini di resistenza al taglio, questi materiali mostrano una grande variabilità e sono difficilmente quantificabili sulla base delle semplici prove in sito o di laboratorio.

Il problema della rappresentatività dei parametri misurati su campioni indisturbati raccolti entro il

corpo di frana può essere ridotto attraverso la raccolta di campioni esattamente lungo la superficie di rottura. Questo richiede necessariamente la ripetizione dei sondaggi: un primo per individuare la superficie di rottura attiva (con carotaggio continuo e inclinometrie) e un secondo, eseguito successivamente a breve distanza, per il solo campionamento. E' indispensabile, infine, confrontare i dati di laboratorio e in sito con i parametri di resistenza mobilitata che risultano delle verifiche di stabilità eseguite in back-analysis.

Ulteriore indeterminatezza viene aggiunta dalle pressioni neutre e dalle sovrappressioni che possono attivarsi in particolari situazioni: per tali ragioni gli autori del presente articolo ritengono che le verifiche di stabilità debbano essere sempre considerate unicamente come indicative dello stato di equilibrio dell'ammasso.

I valori minimi di resistenza al taglio si riscontrano nei materiali argillosi che in qualche proporzione contengono minerali smectitici, notoriamente espandibili in presenza di acqua (es: Argille di Viano). E' stato anche notato (vedi Bertolini, 2001) che il contenuto naturale di acqua all'interno del corpo di frana aumenta nell'approssimarsi alla superficie di rottura attiva, lungo cui  $W_n$  aumenta di circa un terzo (in pieno accordo con le considerazioni di Skempton, 1964).

## L'ORIGINE E LA RIATTIVAZIONE DELLE ANTICHE FRANE PER COLATA

Le conseguenze dirette della particolare costituzione litologica dell'Appennino possono essere apprezzate semplicemente osservando i nostri versanti dopo una persistente pioggia. Piccoli smottamenti e frane si rendono evidenti nei prati e sui campi coltivati (molto meno frequentemente nelle zone boscate). Sono fenomeni (1-1,5 m di profondità) che interessano la coltre di alterazione superficiale, spesso facilitati dall'attività agricola e dalla deforestazione ormai avvenuta nei secoli scorsi. Nonostante la loro diffusione, raramente questi fenomeni rappresentano un serio problema e nel giro di una stagione vengono obliterati dal tempo e dall'attività agricola senza lasciare gran traccia di sé.

Ben diverse sono le conseguenze derivanti dalla riattivazione dei movimenti di grandi frane preesistenti, originatesi migliaia di anni fa.

Esse avvengono con tempi di ritorno di decine o centinaia di anni e per questa ragione sono relativamente rare nel territorio regionale. Nella fase di riattivazione, che può durare settimane, mesi, fino a qualche anno,

la velocità può rimanere sotto una soglia accettabile in cui sono compatibili insediamenti umani stabili (ad esempio Gaggio Montano) o accelerare fino a provocare un rimaneggiamento dell'intero corpo (Lavina di Roncovetro e Cà di Sotto ne sono un esempio).

Il relativamente lungo periodo di quiescenza intercorrente tra una riattivazione e l'altra ha fatto sì che molte centinaia di centri abitati (tra cui oltre 40 centri municipali) fossero direttamente fondati sulle frane o nelle loro immediate vicinanze durante le fasi climaticamente più secche del passato storico come i periodi detti "Effetto Serra Romano" e "Optimum climatico medioevale". Durante quei periodi di bassa piovosità le frane evidentemente restarono in stato di quiescenza per centinaia di anni nascondendo la loro intrinseca pericolosità alle popolazioni locali.

Il caso più antico di "convivenza" con le frane che conosciamo risale al I sec. a.C, quando l'importante città (oppidum) di Velleia (in Val Chero, Provincia di Piacenza) fu fondata su di una grande frana per colata –evidentemente quiescente- posta sulle pendici dei monti Moria e Rovinasso. Quella città visse apparentemente indisturbata su quella frana per ben 4 secoli lungo il periodo detto "Optimum Climatico Romano",



Figura 6 – In questa foto appare, in tutta la sua lunghezza (3 km), la grande frana di Corniglio, attiva dal 1994 al 2000 (Larini et al, 2001). In primo piano il piede della "Lama" sul T.Parma, con i resti della frazione "Linari", completamente distrutta. Il resto del capoluogo, sulla sinistra della foto, fu interessato da dissesti indotti dall'attrito del movimento della "Lama". Foto G.Bertolini, 2006.

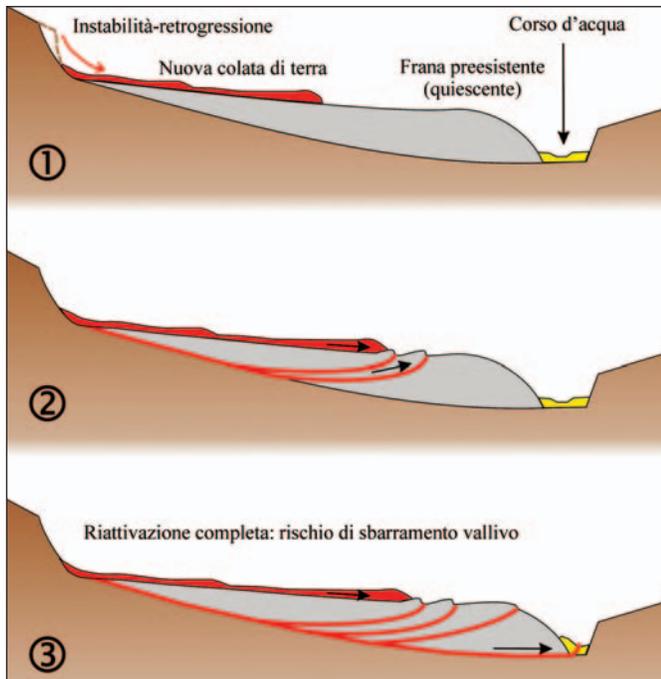


Figura 7 – La riattivazione spesso avviene attraverso modalità ricorrenti:  
 1 - sovraccarico e aumento pressioni interstiziali  
 2 - prime deformazioni nella parte di monte  
 3 - propagazione delle superfici di rottura verso valle; talvolta dislocazione del piede.

sino all'inizio del periodo di deterioramento climatico noto come "Piccola Età Glaciale Altomedioevale". L'origine e l'evoluzione di queste grandi frane viene oggi studiata attraverso la datazione radiocarbonica dei resti vegetali che furono intrappolati durante la loro discesa. Tali studi, condotti dalla Regione Emilia-Romagna (Bertolini et al, 2005) e dall'Università di Parma (Tellini, 2004) dimostrano che questi corpi di frana sono il risultato di eventi multifase durati migliaia di anni. Esse si originarono dopo la fine dell'ultima era glaciale (le datazioni più antiche risalgono a 13.500 anni fa circa) e si accrebbero durante i periodi più piovosi dell'Olocene per la sovrapposizione di frane successive. L'attività franosa nordappenninica perdurò lungo tutto l'Olocene, con un minimo durato circa mille anni (l'Optimum Olocenico, situato circa 7000 anni fa) e un massimo tra 5000 e 2000 anni fa (periodi Subboreale e Subatlantico).

Queste antiche frane sono ancora oggi ben riconoscibili da una attenta analisi geomorfologica. La loro pericolosità fu per decenni sottovalutata, almeno sino alla riattivazione della Frana di Corniglio, nel 1994 (alcuni ricorderanno il termine "paleofrana", in uso anni fa e ora abbandonato per il suo fuorviante significato di "frana non più pericolosa").

Mentre alcuni discutevano se una frana poteva essere considerata "sicura" dopo trent'anni di quiescenza, Corniglio (Figura 6) si riattivò completamente dopo ben un secolo di inattività. Molti altri casi simili, anche

con riattivazione completa, si sono verificati da allora. Tra le tante ricordiamo Casoletta (RE), Cerrè Sologno (RE), Magliatica (RE), Boschi di Valoria (MO), Cà di Sotto (BO), Lavina di Roncovetro (RE), Cà Lita (RE), Morano (MO). Per fortuna in nessuno di questi altri casi si è raggiunto un livello di danni paragonabile a Corniglio, che rimane un vero esempio di sottovalutazione del rischio in un'area già documentata da Almagià nel primo novecento.

## LE MODALITÀ DI RIATTIVAZIONE

Le osservazioni e le esperienze accumulate negli ultimi decenni permettono di riconoscere, in un grande numero di casi, elementi ricorrenti nelle modalità di riattivazione delle antiche frane per colata. In molti eventi osservati e documentati in bibliografia, la riattivazione totale del corpo di frana è preceduta dal distacco di frane minori dal ciglio della scarpata principale, che rappresenta, per l'innaturale acclività acquisita precedentemente, la zona più instabile del versante.

Il materiale staccatosi può raggiungere rapidamente lo stato di un fluido viscoso producendo colate di terra che si allungano sino alla porzione mediana del corpo di frana, sovrapponendosi ad esso e determinando un sovraccarico non drenato, sufficiente ad aumentarne le pressioni interstiziali. Nel corpo di frana sottostante si iniziano a creare superfici di rottura che vengono a giorno embricate, con assetto leggermente immergente verso monte (Figure 7 e 8). Queste superfici, alla stregua di faglie inverse, permettono lo spostamento verso valle degli embrici superiori, anche grazie ad altre fenditure disposte lungo la massima pendenza (le principali ripercorrono i fianchi dell'antico corpo di frana). Questo *pattern* si propaga gradualmente verso valle con sempre nuove superfici che attivandosi provocano la disattivazione di quelle poste a monte.

In questo modo la rottura progressiva lungo la base dell'antico corpo di frana si propaga da monte verso valle sino a raggiungere e coinvolgere il piede della frana. Questa sequenza di eventi, pur se con molte varianti -e a volte solo in modo parziale- è stata osservata in numerosi casi: tra gli altri a Corniglio (sia nell'evento del 1902 che in quello del 1994, Larini et Al, 2001a), Costa di Casaselvatica (Larini et Al, 2001b), Casa Ravera (Danini et Al, 2001), S. Romano, Magliatica, Roncovetro (Bertolini e Gorgoni, 2001), Casoletta (Bertolini, 2001b), Morano, Cerrè Sologno (Bertolini e Sartini, 2001).

La dilatazione del corpo franoso (conseguente alla sua deformazione) tende a questo punto a ridurre le pressioni interstiziali, mentre la creazione di nuove fratture facilita il drenaggio dell'acqua interna ad esso. In diversi casi osservati la frana tende a questo punto a rallentare e, in assenza di sufficiente apporto

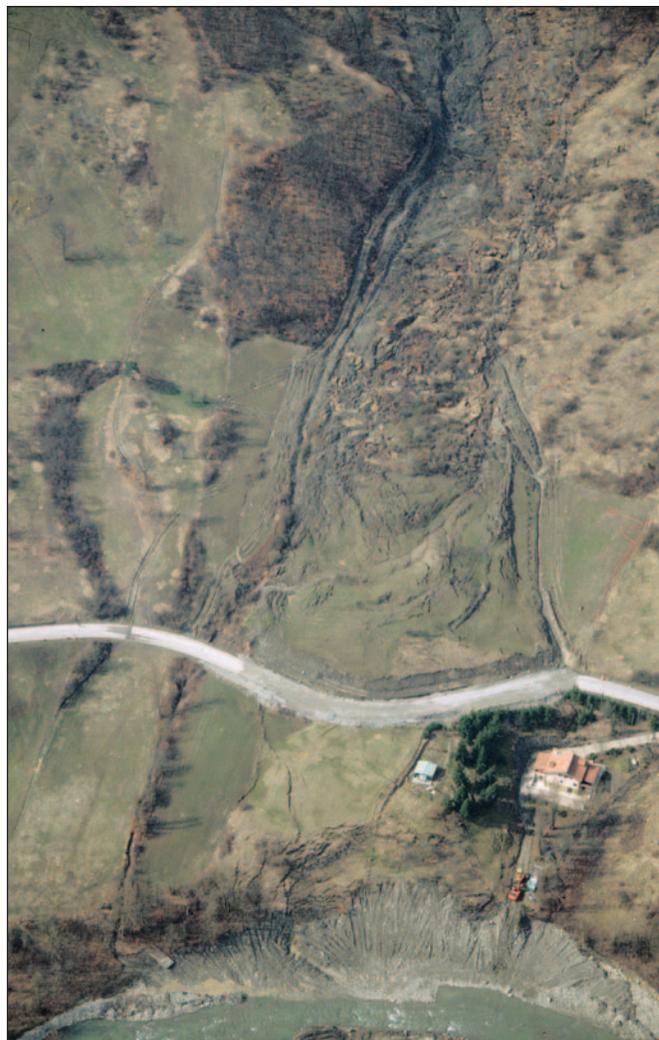


Figura 8 – Il piede della frana di Morano (Prignano, Modena) in due istantanee a 15 giorni di distanza. Nella foto a sinistra, del 5 marzo 2006, la parte mediana della frana viene sormontata dalla colata innescatasi più in alto nel versante. A destra, il 20 marzo, le fratture e le deformazioni si propagano verso valle sino a coinvolgere tutto il piede. Dopo altri 5 giorni la frana si arrestò (dopo spostamenti locali del piede sull'ordine di 20 metri), con evidente sollievo dei proprietari dell'abitazione. Foto G.Bertolini, 2006.

di nuova acqua dall'esterno (precipitazioni, scioglimento del manto nevoso) ad arrestarsi anche rapidamente.

In altri casi il movimento prosegue con lo sconvolgimento completo dell'ammasso e avanzamento del piede di decine (es, 28 metri a Corniglio, 56 a Cerrè Sologno -Larini et al, 2001a, Bertolini e Sartini, 2001) o centinaia di metri (400 metri nel caso di Cà Lita -Borgatti et al., 2005).

Nella grande maggioranza dei casi il movimento tende all'esaurimento nell'arco di uno o più mesi (un mese, ad esempio, nel recente caso di Morano, in Provincia di Modena). Il caso di Corniglio rappresenta un'eccezione: occorsero ben sei anni affinché la frana ritrovasse una condizione di equilibrio.

Questa modalità di riattivazione (dall'alto verso il basso del versante) presenta comunque diverse eccezioni documentate, nelle quali la frana si è innescata a partire dal piede o in modo più articolato, quali le frane di Groppo (Bertolini, 2001a), Rossena

(Chelli et Al, 2006) e, probabilmente, Borgo Tossignano (Figura 3).

## LE CAUSE ULTIME DELLA RIATTIVAZIONE

Una grande quantità di dati dimostrano che le precipitazioni intense e prolungate rappresentano il fattore d'innescò e di riattivazione più frequente. Studi recenti sottolineano anche il ruolo fondamentale svolto dallo scioglimento del manto nevoso primaverile, in particolare nei mesi di Marzo e Aprile (Basenghi e Bertolini, 2001).

Nel caso della frana di Poviglio (Comune di Ramiseto, Provincia di Reggio Emilia) il monitoraggio continuo ha rilevato una notevole e persistente risalita primaverile della tavola d'acqua (+ 6 metri) in quasi assenza di precipitazioni concomitanti o pregresse (Bertolini e Al. 2004). In almeno un altro caso (Lavina di Roncovetro, Figura 2) risalite improvvise della tavola d'acqua sono dovute anche all'alimenta-

zione da parte di acque profonde, mineralizzate e metanifere (Bertolini e Gorgoni, 2001).

Tra le cause d'innescio occorre citare anche le scosse sismiche, anche se una chiara correlazione tra esse e l'innescio dei franamenti è stata riscontrata raramente. L'unico caso dimostrato inequivocabilmente risale al 1920, quando più frane nei dintorni di Febbio (RE) si riattivarono a seguito del terremoto in Garfagnana di Magnitudo 6,5 e 8° Intensità MCS nell'area (Mazzini E., 1995; Pellegrini e Tosatti, 1982). Da allora non esistono casi così chiaramente correlabili, probabilmente per l'assenza di sismi sufficientemente intensi. L'impressione che se ne ricava, quindi, è che la sismicità non abbia un ruolo statisticamente rilevante e che possa essere causa significativa nell'innescio delle frane appenniniche solo nelle aree a maggiore sismicità, come nella Romagna e nell'alto reggiano.

## LE CONSEGUENZE

In Emilia-Romagna negli ultimi 5 anni sono stati spesi ben 390 milioni di Euro nella ricostruzione di centri abitati, in lavori di consolidamento, in monitoraggio di versanti instabili. Questo senza considerare gli aggravii di spesa (difficilmente stimabili) che incidono sulle opere pubbliche come strade, autostrade e acquedotti per opere di consolidamento e difesa preventive.

Il rischio per la vita umana è invece relativamente basso, sebbene non trascurabile. Catenacci (1992) calcola che dal 1945 al 1990 "solo" 47 vite sono state perse in Emilia-Romagna. Secondo questo Autore l'Emilia-Romagna si pone quindi al decimo posto tra le regioni italiane nella triste classifica delle morti causate da frane. Il relativamente basso numero di vite perse è certamente dovuto alla bassa velocità e all'evidenza dei segni precursori che in genere contraddistinguono l'innescio delle nostre frane.

Come vedremo anche più avanti, nel contesto dell'appennino emiliano romagnolo si può dire che le peggiori situazioni di "rischio di frana" siano usualmente legate alla bassa frequenza delle riattivazioni: minore la frequenza e maggiore la probabilità che sul corpo franoso siano stati costruiti insediamenti o strutture antropiche.

## LE STRATEGIE

### *Il pronostico territoriale*

Dati inediti del Servizio geologico indicano che negli ultimi 50 anni circa il 90% dei dissesti verificatisi nell'appennino emiliano romagnolo rappresentano riattivazioni di frane quiescenti. In questo contesto, una cartografia del dissesto assume già immediatamente una valenza di strumento previsionale poiché in

essa sono già definite le aree dove, con una grande probabilità, si produrranno anche futuri dissesti. L'utilizzo di tale cartografia nella Pianificazione Territoriale risulta pertanto il più efficace strumento per la prevenzione del Rischio di Frana.

La Carta Inventario del dissesto 1:25000 compilata nel 1996 è stata la base di riferimento che ha portato, con modifiche più o meno significative, alla redazione delle tavole di piano allegate alla prima generazione dei PTCP provinciali redatti alla fine degli anni 90 e ai Piani stralcio assetto idrogeologico delle Autorità di bacino. La valenza normativa di tali cartografie e la conseguente imposizione di vincoli ha stimolato inoltre un acceso dibattito sui limiti e le imprecisioni delle cartografie stesse e sull'entità dei limiti urbanistici imposti sui corpi di frana. L'aspetto della precisione cartografica è stato affrontato dalla Regione promovendo un processo di condivisione degli studi e delle cartografie tra tutti gli Enti interessati, guidato dal Servizio geologico regionale attraverso la istituzione di tavoli di lavoro a livello provinciale e riducendo il più possibile le divergenze di interpretazione tra soggetti diversi. Questo processo, pressoché concluso per tutto il bacino del Po e per la Provincia di Rimini, sta portando alla redazione di PTCP di "seconda generazione" (Parma, Modena e Rimini), dotati di cartografie a scala 1:10000, alla redazione delle quali hanno attivamente collaborato numerosi geologi professionisti.

Preme sottolineare che la presenza a tappeto sul territorio regionale di numerosa documentazione e di carte di dettaglio non esaurisce la necessità di ulteriori studi: solo un approfondito rilievo di campagna accompagnato da adeguate indagini può restituire la precisione necessaria per qualsiasi lavoro professionale in aree collinari e montane. Il nostro auspicio è che si instauri un circuito virtuoso in cui i rilevamenti prodotti dagli Enti pubblici siano utilizzati, migliorati e restituiti dai geologi professionisti utilizzando le facilitazioni di scambio di dati che le nuove tecnologie informatiche consentono (strumenti GIS) con un ritorno positivo in termini di conoscenza complessiva del territorio.

### *Il pronostico temporale*

Grazie alle cartografie siamo in grado di individuare quindi con una buona approssimazione il "dove", ma ancora non il "se" e il "quando" avverrà la riattivazione. Il dibattito sui vincoli alle trasformazioni urbanistiche è strettamente legato a questi aspetti. Tanto più lunghi sono i periodi di quiescenza tra una riattivazione e l'altra, tanto maggiore è la probabilità che la popolazione abbia costruito sul corpo di frana non riconoscendone la pericolosità e che permanga la spinta urbanistica a edificare sopra ai piedi di antiche frane che, per la loro bassa acclività e forma

ampia, hanno agito nei secoli come vere e proprie “trappole” per centinaia di centri abitati.

Sfortunatamente, aspetti tuttora irrisolti non consentono di risolvere il pronostico temporale in modo completo sui singoli corpi. Durante le fasi di quiescenza, la definizione dello stato di equilibrio delle grandi frane si scontra con una serie di incertezze che sono spesso ineliminabili; tra esse le più importanti:

- l’indeterminatezza del modello geologico e idrogeologico del versante, in genere costituito da più formazioni;
- l’estrema variabilità nello spazio e nel tempo dei parametri geomeccanici lungo la superficie di rottura;
- gli effetti “latenti” indotti dalla rottura progressiva: movimenti di alcuni centimetri a decine di metri di profondità lungo la superficie di base possono ridurre ai valori residui i parametri di resistenza, senza che in superficie se ne abbia l’evidenza.

Il problema può essere affrontato parzialmente solo con l’utilizzo di strumenti di monitoraggio in situ, possibilmente a lettura continua. Sul territorio regionale è presente una fitta rete di strumenti di vario tipo, in cui prevalgono gli inclinometri (circa 700) e i piezometri (alcune centinaia). Il numero di strumenti a lettura continua, spesso collegati ai servizi regionali tramite rete GSM, si sta incrementando notevolmente. Trova applicazione frequente anche la geodesia mediante rilevamenti GPS con sonde fisse o con rilevamenti saltuari per i quali alcuni servizi regionali sono ormai dotati di strumentazione propria.

E’ da sottolineare che gli strumenti menzionati sono spesso installati con funzione di monitoraggio a seguito o in funzione di interventi di consolidamento su frane che si sono già mosse recentemente. Non esiste allo stato attuale una rete finalizzata alla previsione di future riattivazioni sui grossi corpi franosi quiescenti che ospitano insediamenti, salvo occasionali eccezioni legate a importanti infrastrutture.

Il problema della previsione temporale di future riattivazioni viene anche affrontato con un approccio statistico. In tale caso si rinuncia a ricercare il “dove” a favore del “quando”. Stabilito che la maggior parte delle frane si riattivano in seguito a precipitazioni intense e/o abbondanti, molti ricercatori negli ultimi anni hanno tentato di definire le condizioni pluviometriche necessarie per innescare movimenti attraverso la *time-series analysis* (es: Galliani et al, 2001; Lollino et al, 2001).

Recentemente il Servizio geologico regionale insieme a ARPA – SIM ha messo a punto un metodo (rapporto disponibile sul sito [www.regione.emilia-romagna/geologia/index.htm](http://www.regione.emilia-romagna/geologia/index.htm)) che definisce statisticamente soglie di innesco della franosità storica calcolate separando le piogge d’evento da quelle antecede-

nti. Un approccio di questo tipo trova un utilizzo principalmente in attività di protezione civile: infatti tali soglie sono operativamente utilizzate quotidianamente nelle procedure del Centro Funzionale della Regione Emilia-Romagna per la valutazione della criticità idrogeologica innescata da situazioni meteorologiche severe e per la diramazione di avvisi e allertamenti dei servizi tecnici e delle amministrazioni locali .

### *I vincoli urbanistici*

L’incertezza nella determinazione completa della pericolosità delle frane appenniniche ha spinto la legislazione regionale verso una normativa molto stringente: la Legge urbanistica regionale (LR 20/2000) impone nell’Art. A2 che “negli ambiti territoriali caratterizzati da fenomeni di dissesto idrogeologico e da instabilità geologica potenziale sono ammessi gli interventi di recupero del patrimonio edilizio esistente e sono vietate le nuove costruzioni e il cambio di destinazione d’uso che aumentino l’esposizione al rischio”. Gli stessi PTCP traducono questo principio con norme impostate su due gradi di vincolo in base allo stato di attività riconosciuto al momento del rilevamento (attivo o quiescente). In sintesi, sulle frane definite attive sono vietate nuove costruzioni sia abitative che industriali, mentre sulle frane definite quiescenti solo gli insediamenti già esistenti possono svilupparsi in modo molto limitato.

Nell’imposizione di vincoli la legislazione esistente non distingue tra vari tipi di meccanismi di frana, tra frane veloci e lente, tra fenomeni pericolosi per la vita umana o per le proprietà. Essa, purtroppo, non fornisce neppure indirizzi né indica come definire il livello di pericolosità legato ad un particolare fenomeno franoso. Questa rigidità normativa purtroppo si rivela fonte di difficoltà e a volte di conflitto tra amministratori locali e tecnici provinciali e regionali perché, impedendo di discernere tra i diversi gradi di rischio, spesso inibisce lo sviluppo montano con un vincolo che in certi casi potrebbe essere sproporzionato o addirittura immotivato.

Altre esperienze maturate in ambiti alpini hanno portato le legislazioni regionali a definire matrici di pericolosità e di rischio che consentano di calibrare meglio i vincoli. A nostro avviso sono maturi i tempi, anche in Emilia-Romagna, per una revisione dei criteri di tutela del territorio che considerino la “pericolosità” del corpo di frana sulla base di molteplici parametri, tra cui:

- lo stato di attività osservato in più momenti nel corso degli ultimi decenni (da rilevamenti, cartografie, fotografie aeree, monitoraggi, tecniche di *remote sensing*, etc.);
- la presenza/assenza di testimonianze storiche di movimenti;



Figura 9 – Borgo di Rossena, Val d'Enza, Reggio Emilia. I lavori di consolidamento, pensati per difendere il borgo dal movimento della frana sottostante, sono eseguiti integrando opere strutturali (muro ad arco fondato su pali con tiranti) con pozzi drenanti di grande diametro, collegati sul fondo (sono visibili a tergo del muro). L'opera è posta in prossimità della scarpata principale e vuole impedirne l'arretramento. Foto G.Bertolini, 2006.

– il prevedibile comportamento della frana in caso di riattivazione (in termini di velocità e di accelerazione, stimate sulla base di casi reali analoghi) e quindi la definizione di uno *scenario di pericolosità*.

### *Gli interventi di consolidamento sulle grandi frane*

L'intervento di consolidamento di una frana diventa necessario quando tutte le azioni preventive che abbiamo trattato finora hanno per così dire "fallito" il loro scopo.

Purtroppo, spesso questo accade a causa di scelte urbanistiche effettuate nei decenni e nei secoli passati. Il consolidamento è quindi l'*"extrema ratio"* che comporta grandi spese e l'accettazione di un rischio economico dovuto a una certa dose di imprevedibilità dei risultati.

Le centinaia di interventi eseguiti negli ultimi decenni su frane attive o quiescenti sono l'attività principale dei nostri Servizi Tecnici di Bacino che hanno ereditato e sviluppato l'esperienza lasciata loro dal vecchio "Genio Civile".

Le tecniche di intervento hanno avuto un'evoluzione

legata sostanzialmente all'esperienza, con molti casi risolti e alcuni non risolti, che comunque hanno formato un considerevole patrimonio di conoscenza.

Per quanto riguarda i consolidamenti attuati su grandi frane, durante gli anni '90 si sono affinate notevolmente le tecniche di drenaggio profondo, mediante reti di pozzi di grande diametro collegati da condotta di scarico sul fondo (il primo intervento fu attuato dal Servizio Tecnico di Bacino di Reggio Emilia a Collagna).

Oggi i progettisti si orientano sempre più per un'integrazione tra opere di carattere "strutturale" e opere "drenanti" (i casi più recenti: Cà Lita, Magliatica), per esempio abbinando paratie di pali trivellati (collegati in testa da un muro tirantato) con pozzi drenanti di grande diametro (1,2-1,5 metri) collegati sul fondo in modo che l'acqua venga a giorno per l'effetto della gravità (Figure 9 e 10). Alcune volte i pozzi sono attrezzati da pompe idrovore autoadescenti. In altri interventi si è optato per un unico pozzo (con pareti formate da pali trivellati affiancati) da cui si dipartono batterie di dreni suborizzontali (es: Cà Terzaga di Borgotaro, Garfagnolo).

Usualmente, diversi tipi di opere vengono attuate sul

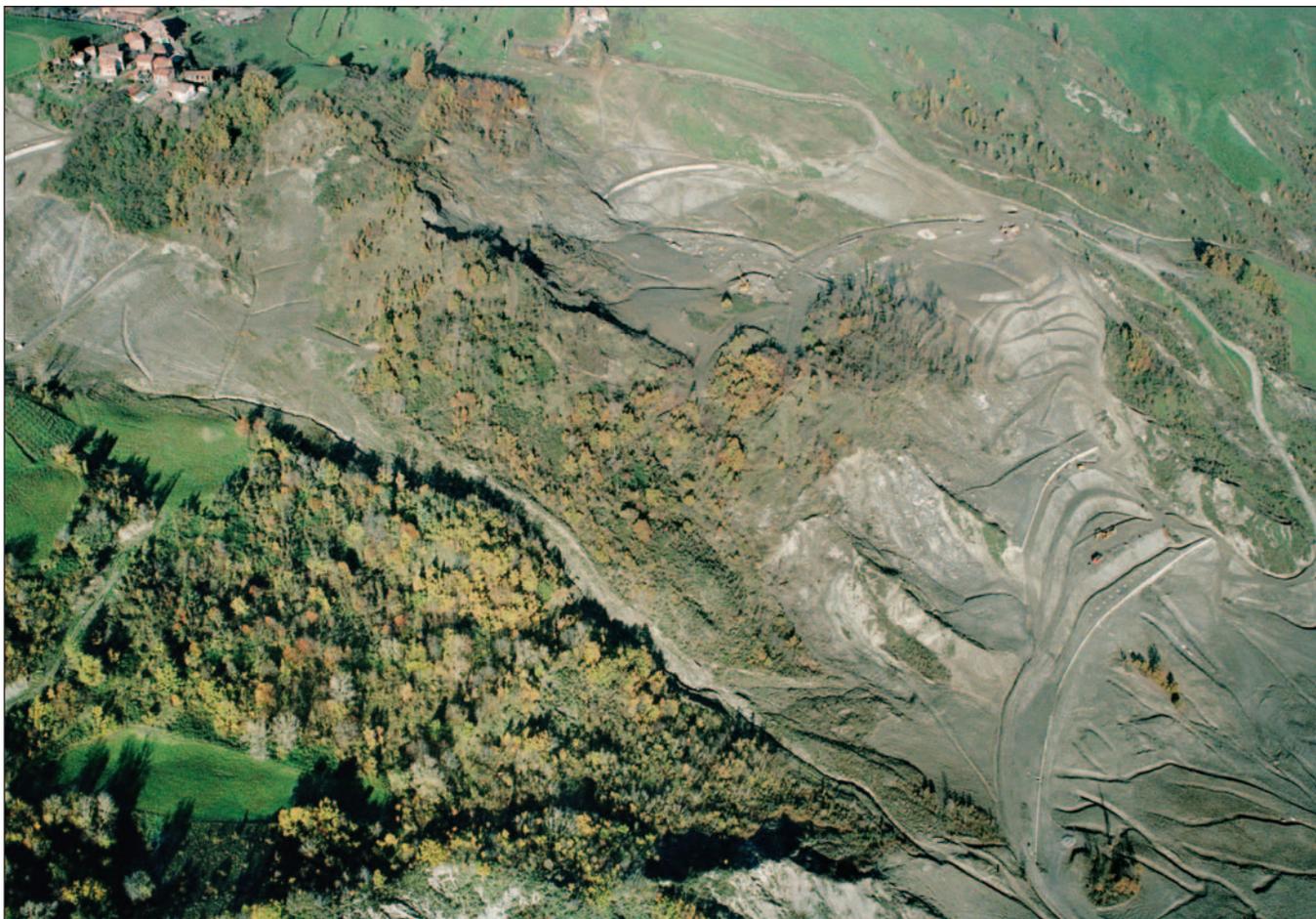


Figura 10 - Zona di coronamento della frana di Cà Lita, Val Secchia, Reggio Emilia. Questa frana è tra le maggiori per superficie totale ed entità delle dislocazioni. La profondità qui supera i 40 metri (Borgatti et al, 2006). Le opere, realizzate dal Servizio Tecnico dei Bacini Enza, Secchia e Panaro sono sia drenanti che strutturali, analoghe a quelle di Rossena e disposte a diverse quote. Foto Bertolini, 2005.

medesimo corpo di frana in funzione delle condizioni idrogeologiche locali.

Nel caso di frane per scivolamento/colata con un alto rapporto Lunghezza/Larghezza si sono ottenuti risultati positivi posizionando le opere a metà dell'asse maggiore della frana, in modo da isolare le interazioni tra le due parti di essa e interrompere così la propagazione della "rottura progressiva".

Fondamentale è la scelta del momento in cui eseguire i lavori: la frana deve avere una velocità sufficientemente ridotta per permettere alle opere drenanti di esercitare pienamente il loro effetto prima che le spinte sulle opere strutturali raggiungano valori eccessivi. Nella fase di progettazione risulta di fondamentale importanza la definizione della profondità e della velocità di traslazione del corpo franoso, che si ottengono usualmente attraverso inclinometrie e prospezioni sismiche (es: sismica e rifrazione, *cross-hole* e tomografia).

Le verifiche di stabilità (es: all'equilibrio limite) vengono spesso effettuate usando modelli di tipo *black-box* per simulare quantitativamente gli effetti degli interventi, più che per determinare il valore in assoluto dell'Indice di Stabilità.

## CONCLUSIONI: IL RUOLO DELLA DIVULGAZIONE

La divulgazione, sia a livello di tecnici specializzati che di cittadinanza, rappresenta uno strumento fondamentale per la riduzione del rischio geologico in generale e "da frana" in particolare. Un cittadino consapevole difficilmente cadrà nelle sottovalutazioni della pericolosità di cui abbiamo dato testimonianza in queste pagine, e meglio saprà darsi una ragione degli eventuali vincoli che limitano la sua libertà. D'altra parte, il confronto e la diffusione delle esperienze tra tecnici (strategie, monitoraggio, indagini, consolidamenti) tende al miglioramento degli interventi, all'evitare la ripetizione di scelte errate e si traduce anche in un notevole risparmio di risorse. L'interesse della cittadinanza e della comunità geologica per questi temi è notevole, come dimostra il sito internet del Servizio Geologico regionale ([www.regione.emilia-romagna.it/geologia](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia)), visitato da ben 700 contatti al giorno, per un totale di circa 250.000 contatti all'anno di cui il 30% dall'estero. Concludiamo auspicando nel moltiplicarsi delle occasioni di confronto tra tecnici e in una aumentata sensibilità verso la divulgazione, di cui questo articolo, realizzato grazie all'"ospitalità" dell'OGER, vuol esser un esempio.

## Bibliografia

- Almagià R. (1907) – Studi geografici sopra le frane in Italia. Vol. I. Parte Generale: l'Appennino Settentrionale ed il Pedepennino Tosco-Romano. Mem. Soc. Geol. It., 13.
- Basenghi R e Bertolini G (2001) - Ricorrenza e caratteristiche delle frane riattivate durante in XX secolo nella Provincia di Reggio Emilia (Appennino Settentrionale). Quad. Geol. Appl. 8, Pitagora Ed, Bologna.
- Bertolini G (2005) - Monitoraggio di frane in area appenninica. In: Proceeding of the Congress "Il monitoraggio e l'assetto idrogeologico: stato dell'arte e prospettive professionali (Milano, 9-10 ottobre 2003)", Ordine dei Geologi della Lombardia pp 125-136.
- Bertolini G e Gorgoni C (2001) - La lavina di Roncovetro (Vedriano, Comune di Canossa, Provincia di Reggio Emilia). Quad. Geol. Appl. 8, Pitagora Ed, Bologna.
- Bertolini G e Pellegrini M (2001) - The landslides of the Emilia Apennines (northern Italy) with reference to those which resumed activity in the 1994-1999 period and required Civil Protection interventions. Quad. Geol. Appl. 8, Pitagora Ed, Bologna.
- Bertolini G, e Gorgoni C (2001) - La Lavina di Roncovetro (Vedriano, Comune di Canossa, Provincia di Reggio Emilia). Quad. Geol. Appl. 8, Pitagora Ed, Bologna.
- Bertolini G, e Sartini G (2001) - La Frana del Rio di Sologno: l'evento del febbraio 1996 e il rinvenimento dell'Albero di Sologno" (Comune di Villaminozzo, Provincia di Reggio Emilia). Quad. Geol. Appl. 8, Pitagora Ed, Bologna.
- Bertolini G (2001a) - La Frana di Groppo (Comune di Vetto, Provincia di Reggio Emilia). Quad. Geol. Appl. 8, Pitagora Ed, Bologna.
- Bertolini G (2001b) – Modalità di riattivazione, interventi, caratteri geotecnici e mineralogici di una frana di argilla a struttura caotica ("Argille Scagliose" Auctt): la frana di Casoletta (Comune di Vezzano, Provincia di Reggio Emilia). Quad. Geol. Appl. 8, Pitagora Ed, Bologna.
- Bertolini G e Tellini C (2001) - New radiocarbon dating for landslide occurrences in the Emilia Apennines (Northern Italy). Trans. Japan. Geom. Un., 22 (4), C-23.
- Bertolini G, De Nardo MT, Larini G e Pizziolo M (2004) - Landslides of the Emilia Apennines. Field Trip Guide Book of the 32<sup>nd</sup> International Geological Congress, August 20-28, 2004, Florence (Italy). Edito da APAT, Roma.
- Bertolini G, Guida M e Pizziolo M. (2005) – Landslides in Emilia-Romagna region (Italy): strategies for hazard assessment and risk management. Landslides 2(4) pp 302-312, Springer-Verlag.
- Borgatti L, Corsini A, Barbieri M, Sartini G, Truffelli G, Caputo G e Pugliesi C (2005) – Large reactivated landslides in weak rock masses: a case study from the Northern Apennines (Italy). Landslides, Vol 3 (2) pp 115-124.
- Carboni R, Casagli N, Iotti A, Monti L e Tarchiani U (2001) - La frana di Cà di Sotto (San Benedetto Val di Sambro, Bologna): caratteri geomorfologici, analisi geotecniche ed interventi di mitigazione del rischio. Quad. Geol. Appl. 8, Pitagora Ed, Bologna.
- Catenacci V (1992) - Il dissesto geologico e ambientale in Italia dal dopoguerra al 1990. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 47, Roma.
- Chelli A, Mandrone G e Truffelli G (2006) - Field investigations and monitoring as tools for modelling the Rossena castle landslide (Northern Apennines, Italy). Landslides 3(3). in stampa, Springer-Verlag ed.
- Cruden DM e Varnes DJ (1996) - Landslide types and processes. In: Turner AK and Shuster RL (eds), Landslides: investigation and mitigation. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, pp 36-75. National Academy Press, Washington DC, USA.
- Del Maschio L., Gozzi G., Piacentini D., Pignone S. e Pizziolo M. (2005) – Determinazione di soglie pluviometriche per l'innescio di fenomeni franosi nell'Appennino Settentrionale. Regione Emilia-Romagna, Bologna. - [www.regione.emilia-romagna.it/geologia](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia).
- Galliani G, Pomi L, Zinoni F e Casagli N (2001) - Analisi meteorologica e soglie di innesco delle frane nella Regione Emilia-Romagna negli anni 1994-1996. Quad. Geol. Appl., 8: 59-114, Pitagora Ed, Bologna.
- Gelmini R. e Pellegrini M. (1969) – Le frane del bacino del Panaro. Atti Soc. Nat. Modena, 100, pp112-149, Modena.
- Larini G, Malaguti C, Pellegrini M e Tellini C (2001a) - "La Lama" di Corniglio (Appennino Parmense), riattivata negli anni 1994-1999. Quad. Geol. Appl., 8: 59-114, Pitagora Ed, Bologna.
- Larini G, Malaguti C e Tellini C (2001b) – La frana di Costa di Casaselvatica (Comune di Berceto, Provincia di Parma). Quad. Geol. Appl., 8: 59-114, Pitagora Ed, Bologna.
- Danini S, Larini G e Malaguti C (2001) – La frana di Casa Ravera (Comune di Pellegrino Parmense, Provincia di Parma). Quad. Geol. Appl., 8: 59-114, Pitagora Ed, Bologna.
- Mazzini E (1995) – Alcuni casi di franamento indotti nel versante appenninico emiliano dal terremoto della Garfagnana del 7 settembre 1920. Possibili indicatori paleosismici?. Atti IV Convegno dei Giovani Ricercatori, Quad. Geol. Appl. 2, pp139-146, Pitagora ed. Bologna.
- Papani G. e Tellini C. (1973) – Metodo elementare per elaborare uniformemente una carta della stabilità potenziale dei terreni. Studio della parte media della val Tresinaro (con 4 carte tematiche di base ed una finale). Ateneo parmense, Acta Natur. 9 (2).
- Pellegrini M e Tosatti G. (1982) – Alcuni esempi di frane determinate da sismi nell'alto Appennino modenese e reggiano. Atti Soc. Nat. Mat. Modena, 113, pp 163-194, Modena
- Pizziolo M. (1996) – Carta inventario del dissesto dell'Emilia-Romagna. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Regione Emilia-Romagna (1977) – Guida alla realizzazione di una carta della stabilità dei versanti. Pitagora editrice, Bologna.
- Regione Emilia-Romagna (2006) – Relazione Tecnica IFFI 2005. Rapporto inedito. Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Sorriso Valvo M e Ibsen M L (1994) Statistical methods. In: Casale R, Fantechi R and Flageollet J C (eds), Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community – Final Report. 1, Eur, 15805en, Strasbourg, France.
- Tellini C. (2004) Le grandi frane dell'Appennino Emiliano quali indicatori geomorfologici di variazioni climatiche. Rassegna Frignanese, XXXIII, Accademia del Frignano "Lo Scoltenna", Pievepelago, Modena