

# CRITERI DI ANALISI E GESTIONE DEL RISCHIO DA FRANA: DAL GOVERNO CENTRALE ALLE COMUNITÀ LOCALI

Cascini L.\*

\* Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno

## SOMMARIO

L'analisi e la gestione del rischio da frana hanno fatto registrare una significativa accelerazione in Italia a partire dal maggio 1998, quando il Dipartimento della Protezione Civile nazionale decise di gestire secondo canoni avanzati l'emergenza causata dalle colate rapide di fango che avevano funestato cinque Comuni della Regione Campania. In virtù dell'esperienza maturata nel corso di questa emergenza, e grazie ai dispositivi legislativi emanati nei mesi successivi, il nostro Paese si dotò, infatti, di una zonazione del rischio da frana sull'intero territorio nazionale che, ancora oggi, costituisce uno strumento di gestione di grande rilievo in ambito nazionale ed internazionale. Partendo da questo patrimonio di conoscenze, la relazione mostra preliminarmente le modalità con le quali sviluppare un'analisi ed una gestione del rischio ancora più avanzata, oltre che integrata tra le principali Autorità competenti in materia di difesa del suolo, e si sofferma poi sugli aspetti economici e legislativi dai quali non si può prescindere laddove si voglia perseguire una mitigazione del rischio realmente efficace oltre che sostenibile per la Società.

Parole chiave: analisi, gestione, rischio, frane, Italia

## 1 INTRODUZIONE

In molti Paesi, e tra questi l'Italia, i fenomeni franosi generano un rischio elevato e diffuso per le persone e, più in generale, per gli elementi che a tale rischio sono esposti. Le fonti bibliografiche che inquadrano l'estensione areale e le conseguenze di tali fenomeni sono molteplici (Guzzetti F., 2000; Düzgün H.S.B. e Lacasse S., 2005; Guzzetti et al., 2005; Nadim et al., 2006; Cascini et al., 2008; APAT, 2007) al pari dei database sull'accadimento di eventi catastrofici e di danni ad essi correlati che, nella maggior parte dei casi, sono facilmente consultabili sul web. Tra questi di particolare importanza ed utilità si cita il database del CRED (Center for Research on the Epidemiology of Disaster) dal quale si evince che: il trend degli eventi classificati come disastri risulta crescente nel corso del ventesimo secolo, pur manifestando un'inversione di tendenza intorno alla prima decade del ventunesimo secolo; nello stesso intervallo temporale, le vittime e le persone coinvolte nei disastri tendono a diminuire mentre i danni economici aumentano, superando nel ventunesimo secolo i  $100 \times 10^{12}$  US \$.

In considerazione della rilevanza che la problematica legata ai fenomeni franosi riveste, molteplici sono state e sono le azioni intraprese per ridurre le conseguenze. Tra queste si citano, a livello internazionale, la risoluzione del

1989 delle Nazioni Unite che ha dichiarato il periodo compreso tra gli anni 1990 e 2000 quale "*Decade Internazionale per la Riduzione dei Disastri Naturali*" oltre alle numerose Conferenze Internazionali organizzate sull'argomento (Cruden D.M. e Fell R., 1997; Picarelli L., 2003; Hungr et al., 2005b).

A livello europeo, si menzionano i progetti di ricerca finanziati dalla Commissione Europea, tra i quali il Programma Interreg IIC – "*Falaises*" (2001) e il Progetto IMIRILAND (Amatruda et al., 2004). In tale ambito, è meritevole di particolare attenzione il progetto "*SafeLand*" (<http://www.safeland-fp7.eu>), di durata triennale, finanziato nell'ambito del VII Programma Quadro. Al progetto, coordinato dal Norwegian Geotechnical Institute di Oslo, hanno partecipato 27 Istituti di ricerca di 13 Paesi dell'Unione Europea, che hanno perseguito l'obiettivo di *i)* fornire una metodologia integrata per l'analisi, la quantificazione e la gestione del rischio da frana; *ii)* valutare l'influenza sui fenomeni franosi dell'intervento antropico sul territorio e del cambiamento climatico; *iii)* fornire e testare sul campo linee guida per una gestione efficace del rischio, includendo gli interventi di mitigazione e di prevenzione del rischio.

Infine, a livello nazionale, le iniziative mirate alla riduzione delle conseguenze dei fenomeni franosi si sono di fatto avviate con la gestione della grave emergenza

generata in cinque Comuni della Regione Campania da colate rapide di fango di elevata magnitudo e velocità che, il 5 e 6 maggio del 1998, causarono 160 vittime e danni economici ingenti.

Alcuni giorni dopo, il Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (DPCN) incaricò, infatti, l'Unità Operativa (U.O.) 2.38 del Gruppo Nazionale di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) della gestione scientifica dell'emergenza che vide, come primo atto, la perimetrazione delle aree a rischio residuo da colate rapide di fango nei Comuni colpiti dagli eventi.

Alcuni mesi più tardi, in ottemperanza ad una serie di dispositivi legislativi appositamente emanati dal Governo centrale, gli Enti territorialmente competenti (Autorità di Bacino di rilievo nazionale e interregionale e le regioni per i restanti bacini) furono chiamati, in una prima fase, ad approvare Piani Straordinari diretti a rimuovere le situazioni a rischio più alto (L. 226/99) e, successivamente, ad adottare Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (L. 365/2000).

I Piani in questione e, più in generale, l'ampia documentazione ad essi correlata evidenziano con chiarezza che la riduzione delle conseguenze causate dai fenomeni franosi non può prescindere da una gestione corretta ed avanzata del rischio che si deve basare su un livello di conoscenze commisurato agli obiettivi da perseguire che si possono sostanziare nella pianificazione territoriale, nella messa a punto di piani di emergenza e nella progettazione di interventi strutturali di mitigazione del rischio.

Tali obiettivi sono diversamente perseguiti nei Paesi afflitti dal rischio da frana e le procedure adottate, pur estremamente valide, non sono sempre tra loro confrontabili per una diversa impostazione degli studi che ne sono alla base, se non addirittura per il ricorso ad una differente terminologia.

Per evitare di vanificare gli sforzi compiuti da eminenti studiosi e/o da tecnici che, in prima persona, affrontano e/o gestiscono una problematica così complessa, nel prosieguo si sintetizzano preliminarmente i passi salienti del processo di gestione del rischio facendo riferimento a terminologie e definizioni consolidate nella letteratura scientifica internazionale. Si passa, quindi, in rassegna il ruolo della zonazione nel processo di gestione del rischio fornendo, ancora una volta, un inquadramento teorico-applicativo di tale zonazione che può essere proficuamente sviluppata ed utilizzata a differenti scale topografiche di riferimento. Alla luce di quanto introdotto si passano poi brevemente in rassegna le pratiche correnti in materia di zonazione del rischio da frana nei Paesi più evoluti tra i quali si deve necessariamente annoverare l'Italia che, negli ultimi 15 anni, ha recuperato il consistente ritardo accumulato nei decenni precedenti, mettendosi al passo con i Paesi tradizionalmente più avanzati.

Sulla base di tale preliminare inquadramento si forniscono successivamente le prospettive dell'analisi e della zonazione del rischio da frana in Italia che possono e devono essere ulteriormente sviluppate sia per una gestione del rischio più avanzata rispetto a quella attuale e sia per fare mantenere al nostro Paese quel ruolo guida

recentemente conquistato sul campo. In tale ottica si focalizza l'attenzione sullo sviluppo di analisi a differenti scale topografiche di riferimento e a differenti livelli di approfondimento, che rappresentano il presupposto di base per una gestione integrata del rischio da frana che veicoli, valorizzandoli, gli sforzi e le azioni che sono chiamati a svolgere, ognuno con le proprie competenze e per i ruoli che rivestono, il Governo centrale, le Regioni, gli Enti locali ed i singoli cittadini.

Per rendere tale proposta ancora più concreta si analizzano, infine, ulteriori aspetti di primaria importanza nella gestione del rischio che non può e non deve prescindere da un adeguamento degli strumenti legislativi e dalla individuazione delle appropriate fonti di finanziamento che, da una parte, sgravino il Governo centrale da impegni che non è più in grado di assolvere e, dall'altra, concorrano a trasformare quella che è una emergenza in una opportunità di crescita per il Paese e per quanti in tale processo possono e devono essere necessariamente coinvolti.

## 2 IL PROCESSO DI GESTIONE DEL RISCHIO

In considerazione della rilevanza del tema, numerose sono le proposte metodologiche che, nella letteratura scientifica, inquadrano il processo di gestione del rischio in un contesto organico di riferimento (Fell R., 1994; Finlay P.J. e Fell R., 1997; Fell R. e Hartford D., 1997; Dai et al., 2002; Fell et al., 2005; Glade et al., 2005; Leroi et al., 2005). Rimandando ai lavori citati per gli approfondimenti ritenuti necessari, qui di seguito l'attenzione si focalizza sull'iniziativa intrapresa dal JTC-1 (*Joint ISSMGE, IAEG and ISRM Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes*) che si è posto il fine di rendere tra loro comparabili le numerose proposte di analisi e zonazione della suscettibilità, pericolosità e rischio da frana presenti nella letteratura tecnico-scientifica.

A tale fine, il JTC-1 ha preliminarmente individuato un Comitato Scientifico che è risultato composto da:

- Robin Fell (chair) – *University of New South Wales, Sydney, Australia*
- Jordi Corominas (co-chair) – *Technical University of Catalonia – UPC, Barcelona, Spain*
- Christophe Bonnard – *PBBG SA, Lausanne, Switzerland*
- Leonardo Cascini – *Università di Salerno, Italia*
- Eric Leroi – *Urbater, Pau, France*
- William Z. Savage – *U.S. Geological Survey, Denver, USA*

Il Comitato scientifico, sulla base di un documento predisposto dall'Australian Geomechanics Society, ha redatto in una prima fase una bozza di Linee Guida che introducono sia una terminologia della zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana e sia i passi fondamentali da seguire nell'ambito del processo di gestione del rischio.

La bozza è stata successivamente discussa ed emendata nell'ambito di un Workshop svoltosi a Barcellona nel settembre del 2006 ed al quale hanno attivamente partecipato 40 esperti di chiara fama provenienti da molti Paesi europei ed extra-europei.

La versione finale delle Linee Guida è stata pubblicata su una rivista internazionale (Fell et al., 2008a) e risulta liberamente consultabile sul sito web del JTC-1 (<http://www.geoforum.com/jtc1>). Successivamente, le Linee Guida sono state tradotte in numerose lingue e la versione in italiano, a cura di Ferlisi S., è liberamente consultabile sul sito: [www.associazionegeotecnica.it/sites/default/files/linee\\_guida\\_jtc-1\\_italiano\\_agi.pdf](http://www.associazionegeotecnica.it/sites/default/files/linee_guida_jtc-1_italiano_agi.pdf).

Facendo riferimento alla versione italiana, nel seguito se ne riportano stralci integrali o se ne riassumono aspetti di interesse ai fini della presente relazione generale focalizzando, in particolare, l'attenzione su: definizioni e terminologia; processo di gestione del rischio da frana; aspetti fondamentali in campo applicativo quali tipi, livelli, scale, affidabilità ed applicabilità della zonazione ai fini della pianificazione territoriale.

### 2.1 Definizioni e terminologia

Nelle Linee Guida il termine “frana” viene indistintamente utilizzato sia per le frane esistenti (o note) e sia per quelle potenziali; per la loro classificazione si raccomanda di fare riferimento a Cruden D.M. e Varnes D.J. (1996), Varnes D.J. (1978) o Hutchinson J.N. (1988), nonché alla terminologia riportata in IAEG (1990).

Le altre proposte presenti nelle Linee Guida riguardano i termini usualmente impiegati nell'analisi (e nella zonazione), nella valutazione e nella mitigazione del rischio che risultano così definiti:

- **Inventario dei fenomeni franosi.** L'inventario contempla la localizzazione, la classificazione, il volume, lo stato di attività, la data di accadimento ed altre informazioni utili a caratterizzare le frane ricadenti all'interno di un'area.
- **Suscettibilità da frana.** Può intendersi la stima – quantitativa o qualitativa – della tipologia, del volume (o dell'area) nonché della distribuzione delle frane esistenti o che potrebbero verificarsi all'interno di una ben determinata area. La suscettibilità potrebbe anche includere una descrizione della velocità e della intensità delle frane esistenti o potenziali. Sebbene ci si attenda che le frane accadano più frequentemente nelle aree più suscettibili, nell'analisi della suscettibilità il fattore tempo non è esplicitamente considerato. La suscettibilità da frana include le frane che presentano la zona d'innescamento all'interno dell'area, o quelle che potrebbero innescarsi all'esterno dell'area ma evolvere al di sopra o retrocedere all'interno della stessa.
- **Pericolosità.** Individua una condizione con un potenziale tale da causare conseguenze indesiderate. La descrizione della pericolosità da frana dovrebbe includere la localizzazione, il volume (o l'area), la classificazione e la velocità delle frane potenziali – includendo ogni altro materiale che, una volta distaccato dalla sua sede naturale, ne risulta coinvolto – nonché la probabilità di accadimento in un assegnato intervallo di tempo.
- **Elementi a rischio.** La popolazione, gli edifici e le opere d'ingegneria, le attività economiche, le opere di

interesse pubblico, altre infrastrutture e i beni ambientali in un'area potenzialmente affetta da frane.

- **Vulnerabilità.** Grado di perdita atteso ad un elemento o ad un insieme di elementi posti all'interno di una data area per effetto di un fenomeno franoso. È espressa in una scala che va da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale). Per le proprietà, la perdita corrisponde all'entità economica del danno rapportata al valore della proprietà; per le persone, la vulnerabilità si fa coincidere con la probabilità che una particolare persona (elemento a rischio), tra tutte quelle interessate da una frana, perda la propria vita;
- **Rischio.** Entità della probabilità e della severità delle conseguenze dei fenomeni franosi sulla salute, sulla proprietà e sull'ambiente. Il rischio è spesso ottenuto come prodotto della probabilità di accadimento di un fenomeno di assegnato volume per le conseguenze attese. Occorre, comunque, considerare che un modello interpretativo più generale richiede il confronto della probabilità di accadimento e delle conseguenze senza passare necessariamente attraverso il loro prodotto. Nell'ambito della stima quantitativa del rischio si raccomanda di fare riferimento all'intensità del fenomeno franoso. Il rischio è altresì definito: (a) *per la perdita di vita umana*, come la probabilità annuale che una persona a rischio possa perdere la propria vita, tenendo conto della pericolosità del fenomeno franoso, della probabilità spazio-temporale e della vulnerabilità della persona; (b) *per la perdita di proprietà*, come la probabilità annuale che si verifichi un assegnato livello di danno o la perdita annuale che deriva dal portare in conto gli elementi a rischio, la loro probabilità spazio-temporale e la loro vulnerabilità.
- **Zonazione.** La partizione del territorio in aree o domini omogenei e la loro classifica (*ranking*) in accordo con i livelli di suscettibilità, pericolosità e rischio da frane attuali o potenziali ovvero con l'applicabilità di ben definite norme di attuazione.
- **Rischio tollerabile.** L'intervallo di rischio con il quale la società è disposta a convivere in modo da garantire a se stessa determinati benefici netti. Tale intervallo è considerato come non trascurabile e tale da dover essere aggiornato e ulteriormente ridotto, laddove possibile.
- **Rischio accettabile.** Un rischio che, per ragioni di vita o di lavoro, la società è pronta ad accettare così per come esso è senza alcun riguardo alla sua gestione. Generalmente la società considera come non giustificabili le spese necessarie all'ulteriore riduzione di tale rischio.
- **Valutazione del rischio.** La fase di valutazione e di giudizio che interviene, in modo implicito o esplicito, nell'ambito di un processo decisionale attraverso considerazioni riguardanti l'importanza del rischio stimato e le associate conseguenze sociali, ambientali ed economiche al fine di identificare un insieme di alternative per la gestione del rischio.
- **Controllo del rischio.** È il processo decisionale che si accompagna alla gestione del rischio e che contempla la messa in opera o il potenziamento di interventi di mitigazione del rischio e la ri-valutazione della sua

efficacia nel tempo utilizzando i risultati della stima del rischio come un dato di input.

- **Gestione del rischio.** Il processo completo di stima del rischio e di controllo del rischio.

## 2.2 Schemi metodologici di riferimento

La letteratura scientifica propone numerosi schemi per l'inquadramento del processo di gestione del rischio da frana che Fell et al. (2005) articolano in tre differenti fasi, rispettivamente definite *analisi*, *stima* e *gestione del rischio* (Fig. 2.1).

Secondo gli autori, la "analisi del rischio" comporta lo svolgimento di attività esclusivamente di natura tecnica finalizzate alla individuazione e oggettivazione della pericolosità e delle conseguenze legate al/ai fenomeno/i oggetto di studio che insieme concorrono al calcolo e alla zonazione del rischio. Tali attività, in dipendenza di una molteplicità di fattori nel seguito approfonditamente discussi, possono essere svolte in aree di estensione estremamente variabile, a differenti scale topografiche di riferimento, su basi qualitative o quantitative, ed utilizzando differenti metodi di analisi. Indipendentemente dalle modalità adottate, l'analisi del rischio deve comunque fare sempre riferimento a formule che siano in grado di esprimere, con un numero o con un termine, il livello di rischio stimato e per le quali sono disponibili nella letteratura tecnico-scientifica numerose proposte (Varnes D.J., 1984; Leroi E., 1997; Einstein H.H., 1988; Fell R., 1994; Fell et al., 2005).

Rimandando alla letteratura in precedenza citata per gli approfondimenti ritenuti necessari, qui si vuole sottolineare che, laddove si voglia o si debba determinare il rischio su basi qualitative, la formula maggiormente adottata in campo applicativo è quella proposta da Varnes D.J. (1984) che pone:

$$R = P \cdot E \cdot V \quad (1)$$

essendo R il rischio, P la pericolosità, E gli elementi esposti e V la loro vulnerabilità.

E' appena il caso di osservare che il rischio su basi qualitative è, in genere, stimato in aree di rilevante estensione, si basa su approcci matriciali e, per potere essere reso comparabile con quello sviluppato in altre aree con metodologie differenti, deve fare ricorso a descrittori in grado di definire – su scale nominali – la frequenza dei fenomeni considerati e la gravità delle loro conseguenze.

L'approccio quantitativo è, a sua volta, da privilegiare in aree di dimensione contenuta e, in accordo con (Fell et al., 2005), può essere utilizzato per una molteplicità di fini tra i quali quelli di fornire:

- il *rischio annuale* (valore atteso) che può esprimersi come danno monetario per anno o come potenziale annuale di perdita di vita umana;
- le *coppie di valori frequenza-conseguenze (f-N)* che esprimono la probabilità annuale (f) del verificarsi di un danno di fissata intensità (N); questo può essere espresso in termini economico-monetari ovvero di vite umane perse;
- le *curve di frequenza cumulata delle conseguenze (curve F-N)* di cui un esempio è rappresentato dal grafico che esprime la probabilità cumulata annuale che N o più vite umane siano perse.

Il *rischio annuale* per la proprietà e per la vita umana può essere calcolato utilizzando le proposte presenti nella letteratura (Fell R. e Hartford D., 1997; Wong et al., 1997; Ho et al., 2000) tra le quali di particolare interesse appaiono le espressioni qui di seguito riportate che, a rigore, sono valide soltanto nell'ipotesi che gli n fenomeni da cui il rischio complessivamente deriva siano tra loro indipendenti (Fell et al., 2005; Corominas et al., 2005; Ferlisi et al., 2012). In particolare, le formule in questione pongono:

$$P_{(prop)} = \sum_n (P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(prop,S)} \cdot E) \quad (2)$$

$$P_{(LOL)} = \sum_n (P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{D:T}) \quad (3)$$

dove

- $P_{(prop)}$ : perdita annuale di valore della proprietà;
- $P_{(LOL)}$ : probabilità annuale che una persona perda la propria vita;
- $P_{(L)}$ : frequenza di accadimento del fenomeno franoso;
- $P_{(T:L)}$ : probabilità che la frana raggiunga l'elemento a rischio;

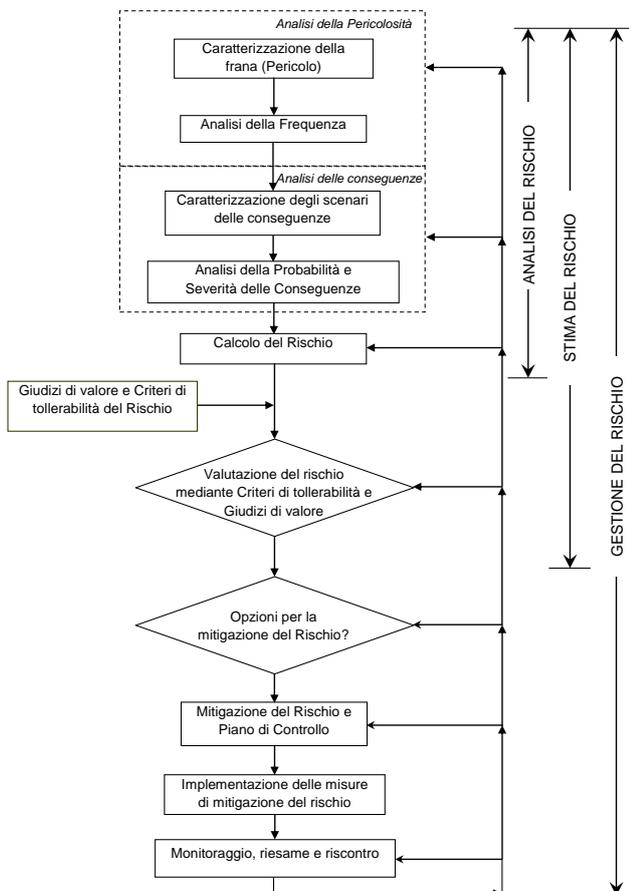


Figura 2.1 – Il processo di gestione del rischio da frana (modificato da Fell et al., 2005).

$P_{(S:T)}$ : probabilità spaziale e temporale dell'elemento a rischio;  
 $V_{(prop:S)}$ : vulnerabilità dell'elemento a rischio (proprietà);  
 $V_{(D:T)}$ : vulnerabilità dell'elemento a rischio (persona);  
 $E$ : valore dell'elemento a rischio (proprietà).

Si deve, naturalmente, osservare che molti dei termini appena citati sono di incerta valutazione per la loro naturale variabilità e/o in conseguenza di una loro insufficiente conoscenza. Incertezze che possono e devono, comunque, essere superate e quantificate con analisi di sensitività come, per esempio, quelle proposte e sviluppate in Nadim et al. (2005).

Il valore del rischio ottenuto su basi qualitative o quantitative deve, quindi, essere confrontato con i criteri di tollerabilità e accettabilità in vigore nella realtà in cui si è svolta l'analisi, al fine di verificare la necessità di procedere o meno alla sua mitigazione. Questa fase, denominata "valutazione del rischio", si può configurare come un atto basato sulla responsabilità politica (Leroi E., 1997) essendo demandata al tecnico la sola funzione di analisi che, a parere dello scrivente, deve essere resa chiaramente comprensibile oltre che ai decisori ed agli amministratori del territorio anche a tutti i portatori di interesse (*stakeholders*), direttamente o indirettamente coinvolti nel processo di gestione del rischio.

A sottolineare la complessa articolazione dell'argomento in discussione si ricorda che per la tollerabilità e l'accettabilità del rischio da frana nei confronti della perdita della vita umana non esistono criteri universalmente condivisi (Leroi et al., 2005). A puro titolo esemplificativo e con riferimento ad analisi quantitative, nella Tabella 2.1 si riportano, per l'individuo maggiormente esposto, i valori del rischio accettabile forniti dal Geotechnical Engineering Office di Hong Kong (GEO, 1998).

Con riferimento al rischio per la collettività (*Societal risk*), da determinare sempre su basi quantitative (Ho et al., 2000; Fell et al., 2008), i limiti di accettabilità e tollerabilità sono riprodotti da linee ad andamento decrescente definite, rispettivamente, *obiettivo* e *limite*. L'area compresa tra i due limiti rappresenta la regione ALARP (acronimo delle parole anglosassoni *As Low As Reasonably Practicable*) e comprende livelli di rischio non trascurabili che necessitano di essere tenuti sotto controllo o di essere ridotti qualora ciò si rendesse necessario oltre che possibile (Fig. 2.2).

Una volta accertato che il rischio non può definirsi né accettabile né tollerabile, Fell et al. (2005) indicano la improrogabile necessità di dare vita alla terza fase che contempla la individuazione delle opzioni per la mitigazione del rischio, la loro implementazione e la verifica finale della loro efficacia.

In altri termini, la "gestione del rischio" non può prescindere dal controllo dei risultati raggiunti che rappresenta un tassello importante ed imprescindibile dell'intero processo, sia che si utilizzi un approccio qualitativo nella fase di analisi e sia che questa venga svolta con metodi di tipo ingegneristico e, come tali, di tipo quantitativo.

Tabella 2.1 – Valori soglia del rischio accettabile per l'individuo maggiormente esposto al rischio da frane su versanti naturali (GEO, 1998).

Insedimenti	Rischio accettabile
Esistenti	$10^{-4}$ /anno
Nuovi	$10^{-5}$ /anno

Essendo l'impostazione metodologica proposta da Fell et al. (2005) assolutamente condivisibile, si suggerisce fortemente di seguire le raccomandazioni degli autori anche laddove si faccia riferimento a schemi differenti ancorché equivalenti a quelli di Figura 2.1, dei quali come si è già detto in precedenza sono disponibili molteplici proposte nella letteratura tecnico-scientifica.

Così posto il processo di gestione del rischio risulta chiaro in ogni sua singola componente oltre che nello schema logico che ne sta alla base. Pur tuttavia, si deve osservare che il passaggio dalla valutazione del rischio alla scelta delle opzioni non è quasi mai un'operazione automatica e scontata come messo in luce da molteplici esempi in campo nazionale ed internazionale. Infatti, la scelta della opzione da privilegiare, tra le quali non va trascurata l'assenza di qualsivoglia intervento pur in presenza di un rischio non accettabile, è il risultato finale di un ben più ampio processo di cui la valutazione del rischio rappresenta esclusivamente il tassello che deriva dalle analisi di tipo tecnico.

Una prima proposta nella letteratura che evidenzia la complessità e la più ampia articolazione del processo in discussione, rispetto ad una visione che privilegia esclusivamente gli aspetti tecnici, si può fare risalire a Leroi et al. (2005) che propongono lo schema di Figura 2.3 dal quale si evince come un ruolo di fondamentale importanza nella scelta finale sia fornito, oltre che dalla stima del rischio, dalle risorse finanziarie disponibili, dalla normativa vigente, dalle attitudini ed aspirazioni di coloro i quali gestiscono il potere politico, dalla sensibilità e dalla domanda sociale e così via. In altri termini, in presenza di chiare indicazioni tecniche, la risposta che una comunità fornisce altro non è che il prodotto tangibile della complessa organizzazione e della cultura sociale che la caratterizzano.

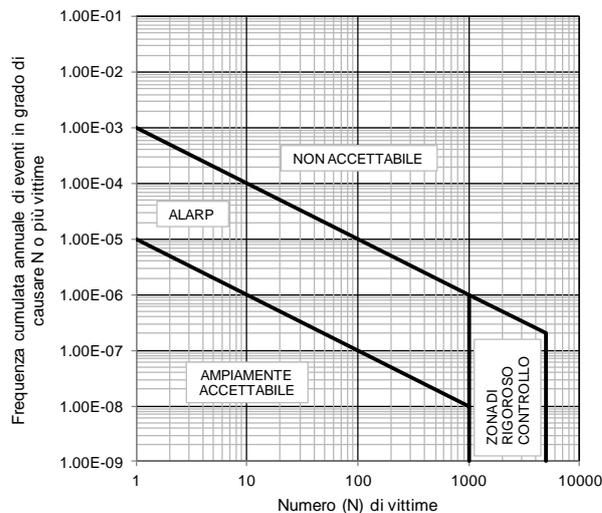


Figura 2.2 – Criteri di tollerabilità del rischio per la Società (modificato da GEO, 1998).

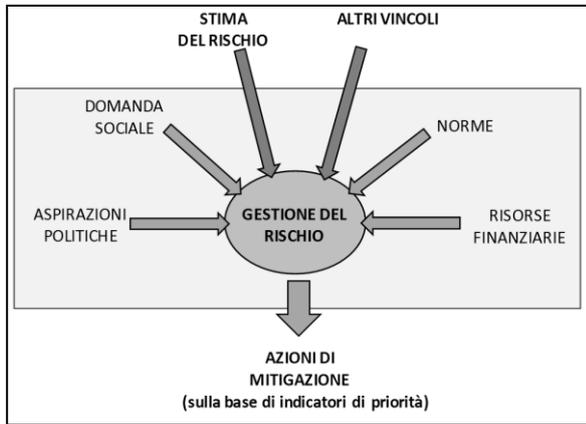


Figura 2.3 – I vincoli nella gestione del rischio da frana (modificata da Leroi et al., 2005).

Pur in presenza di una così ampia e meritevole visione della gestione del rischio, come quella proposta da Leroi et al. (2005), si deve osservare che un adeguato inquadramento del processo in discussione rende necessari ulteriori approfondimenti in quanto gli aspetti in precedenza citati non possono essere tutti assimilati a puri e semplici vincoli, rappresentando piuttosto i tasselli di un processo che nasce con ben determinate finalità e che si sviluppa in funzione della sensibilità, organizzazione e capacità tecniche che la società chiamata a gestire il rischio è in grado di sviluppare. Argomento questo che è attualmente oggetto di studio e che sarà in parte richiamato al termine della presente relazione.

### 3 LA ZONAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA

L'analisi del rischio può riguardare un singolo pendio sede di un unico fenomeno franoso (reale o potenziale) o un'area che è o potrà essere sede di una molteplicità di fenomeni franosi caratterizzati da meccanismi e gradi di evoluzione differenti.

Nel primo caso, lo studio è in genere corredato da planimetrie e sezioni del pendio, dai risultati di indagini in sito e di laboratorio e da quant'altro necessario alla caratterizzazione del fenomeno franoso, sia esso reale o potenziale. In tale circostanza e nell'ottica dell'analisi del rischio si devono, quindi, definire la suscettibilità e la pericolosità del fenomeno franoso nonché il rischio ad esso associato che deve necessariamente fare riferimento all'area all'interno della quale ricadono gli elementi vulnerabili che interagiscono o che potranno interagire con il fenomeno franoso.

Le analisi, da svolgere con i metodi propri della Geotecnica, si concludono con una serie di valutazioni di tipo probabilistico che, essendo basate sulle leggi rigorose della Meccanica, rendono possibili circostanziate valutazioni quantitative sull'evoluzione spazio-temporale del fenomeno franoso (Leroueil et al. 1996) e sulle conseguenze attese agli elementi esposti al rischio.

Nel caso dello studio di un'area sede di più fenomeni, non necessariamente appartenenti alla stessa tipologia e le cui dimensioni (in termini areali o volumetrici) possono essere estremamente variabili, l'analisi del rischio si pone la finalità di definire una scala della probabilità di

accadimento spaziale (suscettibilità) e temporale (pericolosità) degli eventi franosi, delle conseguenze agli elementi esposti e, in definitiva, del rischio ad essi associato. Risulta a tal fine indispensabile produrre, innanzitutto, un'affidabile *Carta inventario dei fenomeni franosi* che deve fornire la distribuzione spaziale delle frane esistenti o note, nonché *i) la Carta della suscettibilità da frana* che, secondo una scala predefinita, individua le aree attualmente sede e quelle che potranno essere in futuro sede di frane di assegnata intensità, intendendo per tale una serie di parametri spazialmente distribuiti in grado di misurare la capacità distruttiva dei fenomeni franosi (Hungry O., 1997), e *ii) la Carta della pericolosità da frana* che attribuisce una probabilità annuale di accadimento sia ai fenomeni franosi esistenti e sia a quelli potenziali.

Si deve, altresì, produrre *la Carta delle conseguenze* connesse con l'accadimento dei fenomeni franosi che deve identificare e contenere *i) gli elementi esposti al rischio e ii) gli scenari delle conseguenze per ognuno di essi, o per aggregati di elementi esposti, secondo una scala di riferimento predefinita.*

Dalla combinazione della *Carta della pericolosità* e della *Carta delle conseguenze* scaturisce, infine, la *Carta del rischio da frana* che, sempre secondo una scala predefinita, fornisce una stima complessiva della severità delle conseguenze dei fenomeni franosi di assegnata pericolosità sui beni esposti all'interno di una data area.

Molteplici sono le proposte nella letteratura scientifica per individuare, con riferimento alla cartografia tematica in precedenza richiamata, criteri e metodi di elaborazione che possono variare in misura significativa in funzione delle dimensioni dell'area di studio, delle finalità perseguite, dei dati di input e così via. Per fornire un quadro di riferimento utile ai fini applicativi, qui di seguito si sintetizzano preliminarmente i principi ispiratori dei criteri e dei metodi appena richiamati e si forniscono poi indicazioni di carattere metodologico sulla zonazione del rischio che da essi scaturisce facendo essenzialmente riferimento alle Linee Guida del JTC-1 redatte da Fell et al. (2008a).

#### 3.1 Metodi e livelli di zonazione

La redazione della *Carta inventario dei fenomeni franosi* e la zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frana hanno attirato da tempo l'attenzione dei ricercatori di numerosi settori disciplinari che hanno fornito sull'argomento un numero elevato di contributi tra i quali si segnalano quelli di Atkinson P.M. e Massari R. (1998), Evans N.C. e King J.P. (1998), Baeza C. e Corominas J. (2001), Dai C.F. e Lee C.F. (2001), Donati L. e Turrini M.C. (2002), Cascini et al. (2005a), Cascini L. (2008).

Un esame esaustivo di questi lavori e, ancora di più, della copiosa letteratura disponibile sull'argomento esula dallo scopo del presente lavoro che, molto più proficuamente, si pone l'obiettivo di inquadrare le procedure adottate dai vari autori ai fini della zonazione nell'ambito dei metodi *i) euristici, ii) empirici e statistici, iii) deterministici e probabilistici* (Soeters R. and van Westen C.J., 1996; Fell et al., 2008b).

Nei *metodi euristici*, essenzialmente basati sulla conoscenza, la zonazione viene condotta con l'ausilio del cosiddetto "giudizio esperto" che, come tale, è soggettivo essendo condizionato dall'esperienza di coloro i quali si occupano della zonazione. Da un punto di vista operativo, i metodi in questione possono essere implementati in ambiente GIS mediante la sovrapposizione di carte tematiche di base nelle quali sono rappresentati i fattori che predispongono i versanti al verificarsi di fenomeni di instabilità. Risultano a tale riguardo di utilità numerose tecniche tra le quali si citano la logica Fuzzy e l'Analisi spaziale multicriteriale (Chung C.F. e Fabbri A.G., 2001; Castellanos E.A. e van Westen C.J., 2007). La possibilità di operare, in tempi relativamente contenuti, su aree di grandi dimensioni con strumenti informatici e, soprattutto, con l'ausilio del "giudizio esperto" rende di fatto i metodi euristici popolari e molto utilizzati in numerosi Paesi (Cascini et al., 2005; van Westen et al., 2008) con risultati, in termini di prodotti cartografici, di grande rilevanza applicativa in numerosi settori quali, per esempio, quello della pianificazione territoriale su area vasta.

I *metodi empirici* si basano su osservazioni di campo (riguardanti i fenomeni franosi e/o gli elementi a rischio) che possono essere utilizzate per ottenere relazioni analitiche o grafiche utili al perseguimento degli obiettivi dell'analisi quali, ad esempio, la stima delle distanze di propagazione di frane potenziali, la previsione delle conseguenze, e così via. In considerazione della complessità del tema trattato e delle assunzioni semplificative assunte a base delle elaborazioni, che non sono sempre capaci di cogliere l'essenza del problema oggetto di studio, si deve osservare che i metodi in questione possono condurre a risultati di non immediata interpretazione (Hungr et al., 2005a) e la loro rilevante potenzialità richiede spesso consistenti sforzi per la messa a punto di strumenti di reale utilità in una molteplicità di situazioni reali.

I *metodi statistici* mirano a correlare statisticamente le informazioni riguardanti i fenomeni franosi occorsi nel passato con un insieme di fattori che si suppongono responsabili, in misura diretta o indiretta, dell'insacco delle frane. Tra i metodi maggiormente adottati si citano le analisi bi-variate e multi-variate e le reti neurali artificiali (Lee S., 2005; Carrara A., 1983; Kanungo et al., 2006).

I *metodi deterministici* applicano, infine, principi e teorie proprie della meccanica quali, per esempio, l'equilibrio limite, le differenze finite, gli elementi finiti/di contorno/distinti, etc. I metodi in questione sono in genere utilizzati per analizzare singoli pendii anche se sempre più diffuso risulta l'impiego dei cosiddetti modelli fisicamente basati quali SHALSTAB (Montgomery D.R. e Dietrich W.E., 1994) e TRIGRS (Baum et al., 2002) che risultano di grande utilità, pur con i limiti che li contraddistinguono, per l'analisi e la zonazione della suscettibilità (Sorbino et al., 2010) e talora della pericolosità da frana su area vasta (Salciarini et al., 2008). Si deve, in ogni caso, sottolineare che, indipendentemente dalle dimensioni dell'area da analizzare, tutti i metodi che ricadono in questa categoria richiedono dati di input di alta qualità con riferimento alla geometria del versante, alla sezione stratigrafica, alle proprietà fisico-meccaniche dei terreni, al regime idrico

sotterraneo, alle condizioni al contorno etc. Naturalmente, all'aumentare delle incertezze sui dati di input è consigliabile adottare *metodi probabilistici* quali il FORM, il FOSM o il metodo Monte-Carlo (Nadim et al., 2005).

Alla abbondanza di metodi con i quali analizzare i fenomeni franosi e la loro evoluzione spazio-temporale non fa riscontro una comparabile presenza nella letteratura tecnico-scientifica di lavori orientati alla identificazione e quantificazione degli elementi esposti al rischio, per i quali significative indicazioni possono essere reperite in van Westen C.J. (2004) e van Westen et al. (2008).

Analoga carenza di proposte riguarda l'analisi e la zonazione delle conseguenze che ha rappresentato fino a pochi anni orsono un argomento di nicchia e per il quale utili elementi di valutazione possono essere ritrovati in Amatruda et al. (2004), Remondo et al. (2005), Kaynia et al. (2008), Pisciotta G. (2008). Tali proposte fanno riferimento a differenti scale di analisi e metodi da utilizzare che, in linea di principio, possono essere inquadrati nelle medesime categorie in precedenza richiamate per lo studio dei fenomeni franosi. Si deve in ogni caso sottolineare che la carenza di conoscenza è destinata ad essere rapidamente colmata sia per il supporto che potrà essere fornito di qui a breve dai rilievi satellitari per la individuazione degli elementi esposti (van Westen et al., 2008) e sia per il crescente interesse che si registra per la stima della vulnerabilità degli elementi esposti al rischio. Una tipica dimostrazione è fornita in tal senso dal progetto SafeLand nell'ambito del quale sono state proposte numerose procedure per la quantificazione della vulnerabilità fisica degli edifici e delle infrastrutture lineari a diverse scale di analisi e con riferimento a differenti tipologie di fenomeni franosi (Mavrouli et al., 2014; Winter et al., 2014).

La panoramica in precedenza fornita su criteri e metodi di zonazione dei tematismi di base, e di quelli che da essi derivano, fa comprendere che il livello di zonazione del rischio dipende fortemente dalle scelte operate come organicamente messo in luce dalla Tabella 3.1, nella quale il livello di zonazione è convenzionalmente assunto come *preliminare*, *intermedio* e *avanzato* a secondo che si adottino, nell'ordine, metodi di base (*euristici*), metodi intermedi (*empirici/statistici*) e metodi avanzati (*deterministici/probabilistici*).

Le Linee Guida sulla zonazione proposte da Fell et al. (2008a) sottolineano che il livello di zonazione e la selezione dei metodi più appropriati di zonazione sono da mettere strettamente in relazione con una molteplicità di fattori quali: l'obiettivo e la scala della zonazione; l'estensione dell'area da investigare; i risultati attesi; la disponibilità, la qualità e l'accuratezza dei dati di input; etc. Facendo riferimento alla pianificazione territoriale e di sviluppo urbano, le Linee Guida forniscono, quindi, il tipo di zonazione, i livelli di zonazione, le scale di rappresentazione e lo scopo della zonazione (Tabella 3.2).

Dal testo delle Linee Guida si evince che a "*piccola scala*" (<1:100.000), generalmente utilizzata per aree di estensione superiore a 10.000 km<sup>2</sup>, è ragionevole perseguire il livello preliminare di zonazione della suscettibilità con l'ausilio dei metodi di base, ovvero quelli che si avvalgono di procedure di tipo euristico.

Tabella 3.1 – Livelli di zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana (Fell et al., 2008a).

Tipo di zonazione	Rischio						
	Pericolosità						
	Suscettibilità						
	Inventario						
Livello di zonazione	Inventario delle frane esistenti	Caratterizzazione delle frane potenziali	Distanza di propagazione e velocità	Stima della frequenza	Probabilità spazio-temporale	Elementi a rischio	Vulnerabilità
preliminare intermedio avanzato	di base (1)(2) intermedio avanzato	di base (1)(2) intermedio da avanzato a intermedio	di base (1) intermedio (2) intermedio da intermedio ad avanzato	di base (1,2) intermedio da intermedio ad avanzato	di base (1,2) intermedio avanzato	di base (1,2) intermedio avanzato	di base (1,2) da intermedio a di base da intermedio ad avanzato

Note: (1) Per zonazioni di tipo qualitativo; (2) per zonazioni di tipo quantitativo.

Tabella 3.2. Raccomandazioni su tipi, livelli e scale di zonazione (Fell et al., 2008a).

Finalità	Tipo di zonazione				Livello di zonazione			Scale di applicabilità
	Inventario	Suscettibilità	Pericolosità	Rischio	Preliminare	Intermedio	Avanzato	
Zonazione a scala regionale								
Informativa	X	X			X			da 1:25.000 a 1:250.000
Consultiva	X	X	(X)		X	(X)		
Prescrittiva								
Zonazione a scala locale								
Informativa	X	X	X	(X)	X	(X)		da 1:5.000 a 1:25.000
Consultiva	(X)	X	X	X	X	X	X	
Prescrittiva		(X)	X	(X)		X	X	
Zonazione a scala di sito								
Informativa	NON RACCOMANDATA							da 1:5.000 a 1:1.000
Consultiva	NON CORRENTEMENTE USATA							
Prescrittiva		(X)	X	X		X	X	
Progettuale		(X)	(X)	X		(X)	X	

Nota: X = applicabile; (X) = potrebbe essere applicabile.

A “*media scala*” (da 1:100.000 a 1:25.000), usualmente assunta a riferimento per aree di estensione compresa nell’intervallo 1.000-10.000 km<sup>2</sup>, possono essere perseguiti livelli di zonazione più avanzati anche se il ricorso a procedure empiriche e/o statistiche è raccomandato solo nel caso in cui vi sia disponibilità di un appropriato set di dati; laddove perseguita, si raccomanda che la zonazione del rischio sia di tipo qualitativo.

A “*grande scala*” (da 1:25.000 a 1:5.000), usualmente di riferimento per aree la cui estensione è compresa tra 10 e 1.000 km<sup>2</sup>, si consiglia poi di sviluppare tutti i livelli di zonazione per stime del rischio, di tipo sia qualitativo e sia quantitativo. In particolare, le Linee Guida incoraggiano l’uso di metodi intermedi e avanzati per la stima quantitativa del rischio, sempre che sia garantita un’elevata qualità di tutti i dati di input necessari allo sviluppo dei tematismi di base.

Infine, a scala “*di dettaglio*” (> 1:5.000) è suggerito un livello avanzato di zonazione del rischio da stimare su basi quantitative (QRA) che, in considerazione delle dimensioni dell’area da analizzare, generalmente coincidente con un singolo versante, esige la disponibilità di un avanzato set di dati per la corretta e proficua applicazione delle procedure di tipo deterministico e/o probabilistico (Corominas et al., 2013).

In funzione degli scenari e della scala di riferimento si possono naturalmente perseguire obiettivi differenti che saranno essenzialmente di tipo informativo e consultivo

per le scale più piccole mentre alle scale di maggiore dettaglio i risultati della zonazione potranno essere utilizzati per definire norme di prevenzione del rischio quali il divieto di edificabilità all’interno di aree nelle quali è stato riconosciuta un’elevata pericolosità e/o la messa a punto di sistemi di allarme per le aree classificate ad alto rischio.

Infine, sulla base degli studi svolti e della quantificazione del rischio, a scala di dettaglio è possibile progettare gli interventi strutturali di mitigazione del rischio, la cui efficacia potrà essere anch’essa valutata su basi quantitative in termini di riduzione del rischio, e/o mettere a punto piani di emergenza particolarmente sofisticati.

Al fine di rendere la zonazione, che si è sviluppata in un determinato contesto, di immediata comprensione a tutti oltre che comparabile con zonazioni proposte da tecnici differenti in differenti aree geografiche, le Linee Guida incoraggiano fortemente l’uso, a qualsiasi scala di analisi, di descrittori con i quali differenziare la magnitudo e l’intensità delle frane come pure le classi utilizzate nella zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana. Nel caso del livello preliminare di zonazione, che contempla l’uso dei metodi euristici, i descrittori devono essenzialmente associare a classi definite sulla base di aggettivi (per esempio, alto, medio, basso) valori numerici che siano di facile ed immediata interpretazione.

Tabella 3.3 – Descrittori per un livello preliminare di zonazione della suscettibilità da frana (modificata da Fell et al., 2008a).

Metodo	Crolli in roccia	Frane di piccole dimensioni su versanti naturali	Frane di grandi dimensioni su versanti naturali
Analisi geomorfologica di campo	Presenza o assenza di fattori di instabilità potenziale (fratture, immersione degli strati)	# di frane per km <sup>2</sup>	Presenza o assenza di frane e loro grado di conservazione
	Densità di zone di distacco su un determinato versante	% di area coperta da depositi di frana	Presenza o assenza di indicatori di attività

Un esempio di descrittori è fornito nella Tabella 3.3, mentre risulta evidente che laddove si persegua un livello avanzato di zonazione la loro definizione è agevolata e resa immediata dai risultati numerici dei metodi che ne sono alla base e che, per loro natura, sono di immediata utilizzazione nell'individuazione di classi di suscettibilità, pericolosità e rischio di universale comprensione.

Si vuole, ancora, sottolineare come le Linee Guida si soffermino sul concetto di affidabilità della zonazione che può essere parzialmente, se non addirittura totalmente, affetta da numerose potenziali fonti di errore quali: limitazioni insite nelle carte inventario dei fenomeni franosi e nella non stazionarietà della loro evoluzione; limitazioni legate al modesto livello di dettaglio delle carte topografiche, geologiche e geomorfologiche nonché dei dati di pioggia e degli altri dati di input; incertezze riguardanti i metodi usati per mettere in relazione, nell'analisi della suscettibilità e della pericolosità da frana, l'inventario, la topografia, la geologia, le geomorfologia e le cause innescanti; imperizia delle persone incaricate della zonazione.

Con riferimento a questo aspetto di importanza primaria, per aumentare l'affidabilità della zonazione si suggerisce di utilizzare una carta inventario particolarmente accurata e generalmente sviluppata ad una scala di maggiore dettaglio rispetto a quella della zonazione (Fell et al., 2008b). Si suggerisce, altresì, di calibrare e validare le procedure utilizzate operando gli opportuni controlli in aree ritenute significative ed all'interno delle quali l'affidabilità della metodologia adottata andrà testata anche facendo riferimento agli eventi occorsi nel passato.

### 3.2 Esempi di zonazione in Paesi europei ed extra-europei

L'inquadramento generale della zonazione che scaturisce dalle Linee Guida appena richiamate consentono di comprendere più a fondo le difficoltà che si incontrano, e che necessariamente si devono superare, quando in un determinato contesto territoriale si decide di procedere alla zonazione del rischio da frana. A tale fine, risultano illuminanti le esperienze maturate in Francia e ad Hong Kong, vale a dire due realtà che, tra le prime al mondo, si sono poste con decisione la questione del rischio da frana e della sua zonazione.

In particolare, in Francia i primi tentativi risalgono agli anni '70 del secolo scorso quando, nell'ambito del progetto ZERMOS (*Zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol*), fu prodotta a scala 1:25.000 e ad un livello preliminare di zonazione una cartografia tematica su alcune problematiche territoriali quali le frane e la subsidenza (Humbert M., 1972; Humbert M., 1977; Antoine P., 1978).

Successivamente, nell'estate del 1982, furono promulgati a livello nazionale i PER (*Plans d'Exposition au Risque*) con l'intento di aumentare la prevenzione del rischio (DRM, 1990). A tale fine, la legge prevedeva lo sviluppo della cartografia tematica sempre con metodi euristici ma alla scala 1:5.000 e/o 1:10.000 per renderla comparabile con gli strumenti urbanistici comunali al fine di introdurre regole di utilizzo del suolo compatibili con le più rilevanti problematiche territoriali.

Pur considerando la semplicità dei tematismi da sviluppare, che non davano luogo a carte del rischio vero e proprio non essendo esplicitamente contemplati la *pericolosità* e la *vulnerabilità*, la scala di riferimento evidenziò ben presto la pratica impossibilità di portare avanti il progetto per gli esorbitanti costi che si sarebbero dovuti affrontare sull'intero territorio nazionale. Sulla base di tale constatazione furono, quindi, introdotti i PPR (*Plans de Prévention des Risques Naturels*), da predisporre ancora una volta a scala 1:25.000 (Besson et al., 1999; Garry G. e Grasz E., 1997; Grasz E. e Toulemont M., 1996), ma con la funzione di regolamentare lo sviluppo urbano in analogia a quanto originariamente previsto con i PER.

Considerazioni interessanti sul processo legislativo seguito in Francia per la zonazione del rischio da frana, e sugli aspetti tecnici ad esso connessi, sono forniti in Leroi E. (1996) che illustra le scelte politiche e culturali che ne sono state alla base, i problemi incontrati dalla comunità tecnica e da quella scientifica per rispondere alle richieste delle autorità competenti, gli aspetti economici connessi con lo sviluppo delle attività.

E' interessante osservare che, anche se con motivazioni talora differenti, negli anni successivi, in Europa si è dato luogo a processi che complessivamente sono comparabili con quello sviluppato in Francia - per quanto riguarda i metodi utilizzati, la scala dello studio e, soprattutto, il livello preliminare di zonazione perseguito - come reso evidente dal Deliverable 2.1 sviluppato nell'ambito del progetto SafeLand (SafeLand Deliverable D2.1, 2010).

Una storia alquanto diversa, e per certi versi unica al mondo, è quella di Hong Kong che, nonostante la ridottissima estensione areale (1.050 km<sup>2</sup>), subì nel 1988 un incremento abnorme di popolazione, quantificabile in circa 5,6 milioni di nuovi abitanti, che diede vita ad un impetuoso sviluppo dell'urbanizzato, spesso realizzato sbancando i rilievi presenti sul territorio e dai quali si originarono un numero rilevante di frane dalle conseguenze catastrofiche, sia in termini di perdita di vite umane e sia di danni economici (Vail A.J., 1984; Vail A.J. e Beattie, 1985; Lumb P., 1975; Brand E.W., 1984; Brand E.W., 1985; Burnett A.D., 1987).

Per mitigare le conseguenze di tali eventi, fu costituito nel 1977 un Centro di ricerca applicato denominato Geotechnical Control Office (GCO) che, due anni dopo, diede l'avvio ad un programma denominato "Geotechnical Area Studies Programme (GASP)" che, con riferimento ai tagli artificiali dei pendii, si poneva essenzialmente lo scopo di analizzare, a grande scala (1:20.000) ed a scala di dettaglio (1:2.500), porzioni di territorio denominati "Distretti".

I primi studi furono sviluppati essenzialmente sulla base di foto-interpretazione, sopralluoghi in sito ed informazioni geotecniche già esistenti, suddividendo l'intero territorio in 11 sub-aree, ognuna dell'estensione di 50-100 km<sup>2</sup>. Gli approfondimenti nei Distretti vennero, preliminarmente, condotti con la medesima filosofia (Fase 1) e, successivamente, integrati da accurate indagini geotecniche su aree di estensione compresa tra 2-4 km<sup>2</sup>.

Gli studi svolti si concretizzarono in 7 carte tematiche a scala regionale ed in 6 carte tematiche a scala di Distretto come descritto da Brand E.W. (1988), che sottolinea l'importanza dei tematismi rispettivamente denominati GLUM (*Geotechnical Land use Map*) e GLEAM (*Generalised limitations and Engineering Appraisal Map*), che possono di fatto essere considerate carte della pericolosità per la pianificazione e lo sviluppo del territorio.

Grazie alla elevata qualità dei dati acquisiti furono, quindi, sviluppate una molteplicità di verifiche di stabilità dei tagli artificiali ai quali risultano associati tre livelli di rischio rispettivamente definiti alto, basso e trascurabile sia per la vita umana e sia per la proprietà. Come evidenziato da Brand E.W. (1988), alle verifiche di stabilità, eseguite con piogge caratterizzate da un periodo di ritorno di T = 10 anni, iniziarono ad affiancarsi i metodi probabilistici sia per l'analisi del rischio e sia per l'accettabilità delle conseguenze causate dai fenomeni di collasso dei fronti di scavo.

Partendo dai dati di base disponibili e da questo uso iniziale dei metodi probabilistici, in Hong Kong si è successivamente proceduto su basi quantitative alla definizione del rischio (QRA) posto da alcune tipologie di versanti, sia a scala locale e sia di sito (Ho et al., 2000). Un'illustrazione dettagliata ed interessante delle procedure adottate, delle loro potenzialità e dei limiti che inevitabilmente hanno accompagnato tali valutazioni è fornita in una pubblicazione di Wong H.N. (2005) a cui si rimanda per tutti gli approfondimenti ritenuti necessari. Qui si sottolinea che l'esperienza maturata ad Hong Kong ed in molti Paesi europei evidenzia come la zonazione del rischio da frana sia usualmente perseguita ad un livello preliminare su territori di grande estensione e, molto più raramente, con l'ausilio del QRA, generalmente adottato in aree di dimensioni ridotte per le quali si dispone di avanzati database tra i quali di fondamentale importanza è quello di natura geotecnica.

I motivi di tali scelte sono, nella maggior parte dei casi, di natura squisitamente tecnica anche se possono essere originati da altre ragioni tra le quali una ritenuta particolarmente significativa dallo scrivente è quella messa in luce in Cascini et al. (2005a) che sottolineano come la cartografia della pericolosità da frane sismo-indotte prodotta dallo Stato della California (Stati Uniti) a

scala 1:24.000 abbia la finalità tipica di un atto di indirizzo e coordinamento per gli Enti locali. Questi, a loro volta, dovrebbero assumersi il compito di procedere ad un approfondimento degli studi svolti dalle Autorità centrali in modo da disciplinare l'uso del suolo a scala locale. Valutazione questa che trae origine dalla semplice considerazione che la pianificazione territoriale e le responsabilità che da essa scaturiscono sono di esclusiva competenza degli Enti locali, gli unici veri detentori degli strumenti urbanistici con i quali gestire il territorio a scala comunale.

Questa considerazione, unitamente agli argomenti sviluppati nel presente paragrafo, fornisce una chiave di lettura significativa del processo che ha caratterizzato la zonazione del rischio da frana in Italia e che è qui di seguito riassunto partendo dalle tragiche colate rapide di fango che, circa quindici anni or sono, funestarono il territorio della Regione Campania.

#### 4 DALLA "EMERGENZA SARNO" AI PIANI STRALCIO

Le colate rapide di fango che, nel maggio del 1998, provocarono 160 vittime e danni economici ingenti nei Comuni di Bracigliano, Sarno e Siano (SA), Quindici (AV) e San Felice a Cancellò (CE), sono descritte in un'ampia letteratura scientifica (Brancaccio et al., 1999; Cascini et al., 2000; Cascini L., 2004; Cascini L., 2005; Cascini et al., 2008a; De Vita P., 2000; Del Prete et al., 1998; Pareschi et al., 2000; Revellino et al., 2002).

Rimandando a questi lavori per gli approfondimenti sulla gestione dell'emergenza causata dalle colate, qui si vuole semplicemente sottolineare che la pronta risposta fornita dall'U.O. 2.38 al primo dei tanti quesiti posti dal DPCN, pur in assenza sia di criteri e metodi a livello nazionale e sia di una tradizione significativa e consolidata a livello internazionale, ha rappresentato il presupposto per l'avvio di un lungo e significativo percorso tecnico che, nel giro di alcuni anni, ha portato l'Italia da fanalino di coda a nazione guida in materia di analisi e zonazione del rischio da frana. Le tappe fondamentali del percorso compiuto, unitamente ad alcuni esempi significativi dei risultati conseguiti in alcune realtà di rilievo nazionale, sono qui di seguito riassunti. Al termine di questa rapida carrellata sulla storia della zonazione in Italia si riporta, quindi, un suo inquadramento alla luce degli orientamenti in ambito scientifico internazionale riassunti nel paragrafo 3.

##### 4.1 La zonazione del rischio residuo nei Comuni colpiti dagli eventi del maggio 1998

Una visione di insieme delle colate di fango che, a seguito di eventi pluviometrici intensi, funestarono i cinque Comuni in precedenza citati è fornita in Figura 4.1. In considerazione della vastità dell'area colpita e della gravità delle conseguenze fu dichiarato lo stato di emergenza che fu successivamente disciplinato da una serie di Ordinanze Ministeriali in osservanza delle quali il DPCN impose all'U.O. 2.38, come primo adempimento da svolgere, di individuare la sussistenza o meno di un

rischio residuo nei cinque Comuni colpiti dagli eventi e, in caso di risposta affermativa, di procedere alla sua perimetrazione entro e non oltre il 18 maggio, vale a dire dopo solo 11 giorni dall'inizio delle attività che fu fissato nel giorno 7 maggio.

Le attività svolte e le modalità di lavoro privilegiate per rispondere in maniera compiuta al quesito del DPCN sono dettagliatamente descritte in Cascini L. (2005). Nel seguito l'attenzione si focalizza esclusivamente sugli elementi essenziali che portarono alla individuazione, prima, ed alla perimetrazione poi del rischio residuo che fu chiaramente riconosciuto e cartografato, al termine del limitato tempo concesso, grazie ad una intensa campagna di rilievi in sito - programmati e svolti sulla base di obiettivi ben definiti fin dall'inizio delle attività - ed al contributo che fu dato, sia dal punto di vista concettuale e sia di campo, da un gran numero di ricercatori e tecnici che si erano recati presso l'Università di Salerno in soccorso dell'U.O.2.38.

Come si legge in Cascini L. (2005), l'attività di campo da una parte e quella di foto-interpretazione, dall'altra, evidenziarono che *i)* soltanto una porzione del materiale presente nelle aree di innesco dei fenomeni franosi si era mobilitato, *ii)* fratture aperte e dislocate erano evidenti e cartografabili in ampi settori delle aree di innesco, a testimonianza di una instabilità potenziale delle coltri ancora in posto, *iii)* conoidi recenti ed antichi erano chiaramente riconoscibili in tutti i territori comunali, a testimonianza della ripetitività nel tempo dei fenomeni di colata rapida di fango. Elementi questi che misero in luce la necessità di redigere la "Carta del rischio residuo" per la quale si adottò lo schema metodologico riportato in Figura 4.2.

In considerazione dei tempi ristretti a disposizione, fu chiara fin dall'inizio la necessità di attribuire ai tematismi

ingegneristici un carattere di tipo qualitativo e, nel contempo, di puntare sui classici elaborati di tipo geologico da sviluppare, tuttavia, con grande accuratezza e con finalità ben precise. In tale ottica, ed in considerazione delle dimensioni dell'area da investigare, si produssero preliminarmente, a scala 1:25.000, gli elaborati geologici che sono qui di seguito riportati unitamente con le finalità ad essi attribuite:

- *Carta geologica*, per la individuazione degli allineamenti tettonici più significativi del substrato carbonatico nonché dello sviluppo areale dei terreni piroclastici in giacitura primaria e secondaria, questi ultimi suddivisi sulla base di classi di spessore al fine di valutare l'incidenza di tale fattore sui fenomeni di instabilità accaduti e potenziali;
- *Carta geomorfologica*, per la localizzazione delle sole forme di carattere deposizionale a morfogenesi differenziata, antecedenti gli eventi del maggio 1998, finalizzata alla rappresentazione degli eventi di colata occorsi nel passato e, in particolare, delle aree di potenziale alimentazione, di più probabile distacco e di recapito finale;
- *Carta delle frane attuali*, per la perimetrazione delle aree coinvolte dalle colate del 5-6 maggio 1998 distinguendo, per ciascuna di esse, le zone di distacco, di flusso e di accumulo.

Come si legge testualmente in Cascini L. (2005), "si sovrapposero le prime due carte tematiche ottenendo un elaborato di sintesi che, con riferimento alla situazione pre-evento, individuava le zone alte dei versanti e degli impluvi nelle quali erano presenti materiali piroclastici più o meno pedogenizzati, in posto e/o in forma di accumuli colluviali, nonché le forme deposizionali, tipo conoide o lobo, originatesi a valle a seguito di colate piroclastiche o detritico-fangose, recenti o antiche.

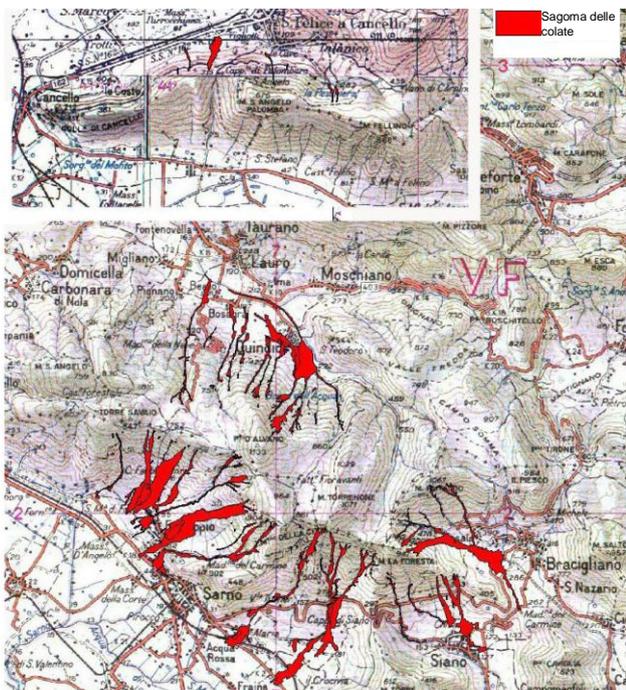


Figura 4.1 – Visione di insieme delle colate rapide di fango del maggio 1998 (da Cascini L., 2005).

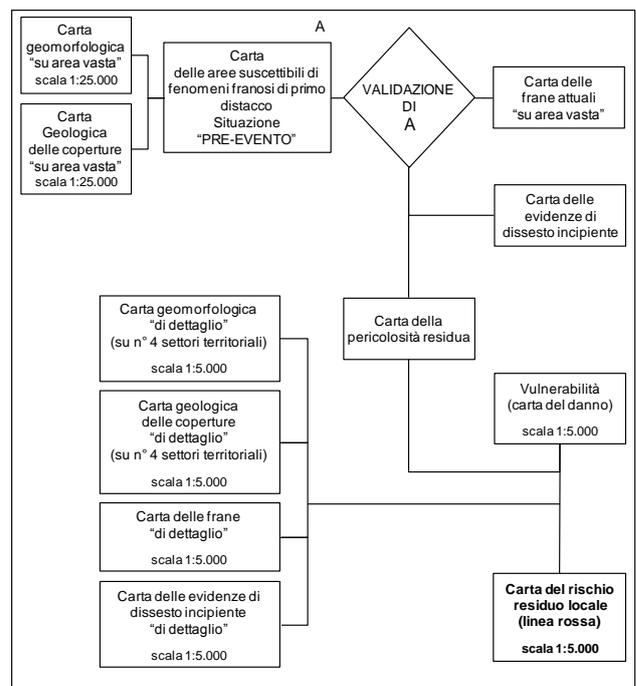


Figura 4.2 – Percorso metodologico per la redazione della Carta del Rischio Residuo (da Cascini L., 2005).

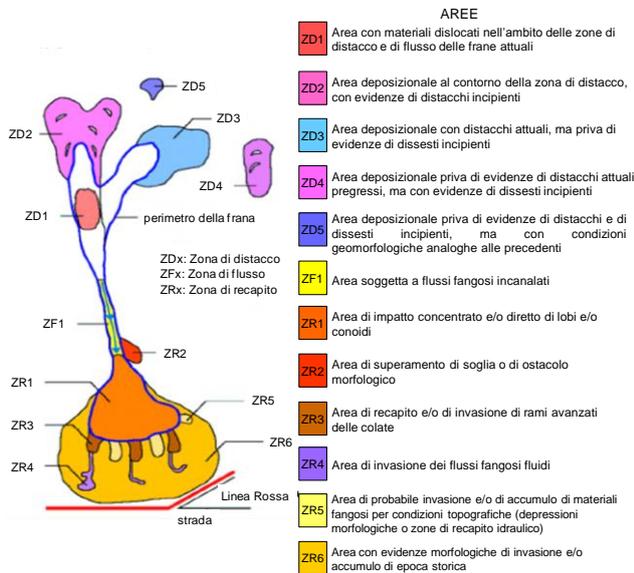


Figura 4.3 – Schema concettuale per la individuazione della linea rossa (da Cascini L., 2005).

L'ulteriore sovrapposizione dell'elaborato di sintesi con la *Carta delle frane attuali* mise in luce rilevanti corrispondenze tra gli accumuli piroclastici e le zone di distacco delle frane. Circostanza, questa, che evidenziò la possibilità di definire, su area vasta, le condizioni geologiche e geomorfologiche alla base della maggior parte dei distacchi e di delineare, nel contempo, le aree caratterizzate da un'alta probabilità di innesco di fenomeni franosi analoghi a quelli occorsi alcuni giorni prima".

Si approfondirono, quindi, le conoscenze in tutti i territori comunali ad una scala di maggiore dettaglio (1:5.000), applicando la medesima metodologia utilizzata a scala 1:25.000. La perimetrazione delle aree a rischio residuo si ottenne, quindi, facendo riferimento al semplice schema di Figura 4.3 in base al quale la sussistenza del rischio residuo era semplicemente connessa alla possibilità di futuri eventi di primo distacco nelle aree di innesco delle frane e di tracce evidenti di fenomeni di invasione pregressi nelle zone di valle.

Sulla base del criterio così definito, molto semplice dal punto di vista concettuale ma basato su dati di campo e di foto-interpretazione rigorosamente e meticolosamente acquisiti, la perimetrazione delle aree a rischio residuo si conseguì, a vantaggio di sicurezza, sovrapponendo le aree di invasione dei fenomeni più intensi con l'urbanizzato, tenendo conto di eventuali particolarità presenti nel tessuto urbano che rendevano complessa l'evacuazione temporanea della popolazione.

La perimetrazione così ottenuta, di cui un esempio è fornito in Figura 4.4, non tiene conto per i metodi utilizzati del ruolo eventualmente giocato, sulla evoluzione dei fenomeni di colata di fango, da elementi antropici di recente realizzazione. E', però, interessante osservare che tutti gli approfondimenti svolti successivamente, con l'ausilio di indagini geotecniche e strumenti di calcolo avanzati, hanno confermato la bontà dei criteri adottati ed il carattere preminentemente cautelativo degli elaborati forniti al DPCN (Cascini L., 2005), come deve necessariamente essere quando si utilizzano metodi semplificati da ideare ed applicare in un

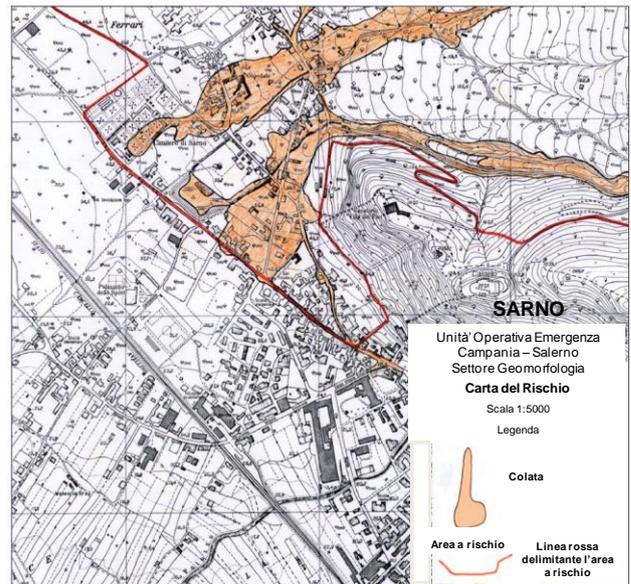


Figura 4.4 – “Linea Rossa” per la frazione di Episcopo nel Comune di Sarno (da Cascini L., 2005).

lasso di tempo ristretto ed in assenza di qualsiasi riferimento nella letteratura tecnico-scientifica.

La “linea rossa” fu presentata al pubblico nel corso di una riunione ufficiale, che ebbe grande eco sui mezzi di informazione, nazionali ed internazionali, e fu successivamente più volte discussa con le popolazioni nel corso dei numerosi dibattiti organizzati dal DPCN e dalla U.O. 2.38.

Pur nella comprensibile tensione emotiva che accompagnava lo svolgimento degli incontri, la scelta di dare vita ad un confronto aperto che non sottacesse mai la complessità della situazione, si dimostrò nel tempo vincente com'è testimoniato dalla semplice osservazione che l'emergenza del maggio 1998 è una delle poche emergenze in Italia che – nonostante la complessità delle problematiche da affrontare, la gravità della situazione e le ingenti risorse che si sono dovute investire per ritornare alla normalità (circa 500 ML di Euro) – si è di fatto conclusa nel giro di dieci anni circa con soddisfazione delle popolazioni, del DPCN e di quanti hanno avuto l'onere ed il privilegio di fornire il loro contributo tecnico-scientifico.

#### 4.2 I Piani Straordinari (D.L.180/98)

Il DPCN, successivamente alla presentazione della “Linea rossa”, chiese all'U.O. 2.38 di espletare una serie di attività tra le quali, di particolare respiro da un punto di vista della pianificazione territoriale, incluse la individuazione e la perimetrazione nella Regione Campania delle aree suscettibili a fenomeni di colata rapida di fango analoghi a quelli occorsi il 5-6 maggio 1998. In considerazione del ristretto tempo concesso (3 mesi) per completare le attività richieste, dell'ampiezza dell'area da investigare (3.000 km<sup>2</sup>) e dell'assenza di elementi significativi nella letteratura tecnico-scientifica, fin dall'inizio l'U.O. 2.38 ritenne improponibile lo svolgimento di attività analoghe a quelle condotte per i cinque Comuni colpiti dall'emergenza del 1998 e si organizzò per fornire nel giro dei tre mesi concessi un

quadro completo delle aree suscettibili a fenomeni di colate rapide di fango. Grazie all'indispensabile ed altamente qualificato contributo di un numero rilevanti di ricercatori e di tecnici, al termine delle attività si individuaron ben 212 Comuni della Regione Campania potenzialmente sede di fenomeni dalle gravi conseguenze e, per ognuno di essi, si fornirono indicazioni di massima sulle aree potenzialmente suscettibili di innesco e di invasione dei fenomeni.

La gravità della situazione che emerse dagli studi svolti e considerazioni sulla possibile occorrenza di fenomeni analoghi in altre porzioni del territorio nazionale, messa sistematicamente in luce dal susseguirsi degli eventi calamitosi, indussero gli Organi di Stato ad emanare di lì a poco il D.L. 180/98, noto anche come "Decreto Sarno", la cui finalità era quella di accelerare la redazione, da parte delle Autorità di Bacino, dei *Piani Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico*.

In considerazione della complessità degli adempimenti richiesti, le finalità del decreto legge furono sempre di più dettagliate nelle leggi successivamente emanate oltre che in un *Atto di indirizzo e coordinamento* (D.P.C.M. del 29 settembre 1998) che facilitò lo svolgimento delle attività da parte delle Autorità di Bacino di rilievo nazionale e interregionali, e delle regioni per i restanti bacini, che furono così in grado di fornire, sull'intero territorio nazionale e nei tempi prefissati, ancorché con approcci differenti, un censimento significativo delle aree a rischio molto elevato attraverso la redazione di Piani Straordinari (D.L. 132/99 convertito nella Legge 226/99).

Un esempio del lavoro svolto è qui di seguito riportato con riferimento ad un'area, dell'estensione complessiva di 17.000 km<sup>2</sup> circa, ricadente sotto la giurisdizione di cinque Autorità di Bacino di cui una nazionale e quattro regionali (Fig. 4.5), nell'ambito della quale si adottò un unico indirizzo metodologico che fu, di fatto, gestito da chi aveva coordinato l'emergenza del maggio 1998 e

realizzato da molti di quelli che all'espletamento delle attività di tale emergenza avevano fornito il loro contributo tecnico-scientifico.

E fu proprio questo tipo di organizzazione che consentì di compiere uno sforzo metodologico rilevante nonostante una pedissequa osservanza del Decreto Legislativo avrebbe consentito di individuare le aree a rischio molto elevato sulla base delle segnalazioni degli Enti territorialmente competenti.

In particolare, nell'area indicata in Figura 4.5 il Piano Straordinario fu elaborato, a copertura totale ed a scala 1:25.000, facendo riferimento al diagramma di flusso riportato nella Figura 4.6, dettagliatamente descritto e commentato in Cascini L. (2005). Molto sinteticamente qui può dirsi che la "Carta delle aree a rischio da frana molto elevato" risultò dalla sovrapposizione della "Carta degli scenari delle massime velocità attese" e della "Carta degli insediamenti urbani e delle infrastrutture", che si combinarono tra loro facendo riferimento alla ben nota formula del rischio proposta da Varnes D.J. (1984) ed introdotta nel paragrafo 2.

Il punto di partenza del primo elaborato è rappresentato dalla "Carta inventario dei fenomeni franosi", ovunque redatta con il massimo livello di dettaglio possibile alla scala dello studio (1:25.000), e facendo riferimento alle classifiche proposte da Varnes D.J. (1978) e da Cruden D.M. e Varnes D.J. (1996).

Partendo, quindi, da questo elaborato, che include al suo interno sia gli ambiti morfologici potenzialmente sede di fenomeni di primo distacco e sia quelli di invasione di fenomeni antichi e recenti, la "Carta degli scenari delle massime velocità attese", che rappresenta una Carta semplificata della suscettibilità da frana, fu redatta attribuendo a ciascun fenomeno franoso ed a ciascun ambito morfologico una massima velocità attesa in funzione dell'evento franoso possibile al proprio interno e di una scala nominale delle velocità (alta, media e bassa).

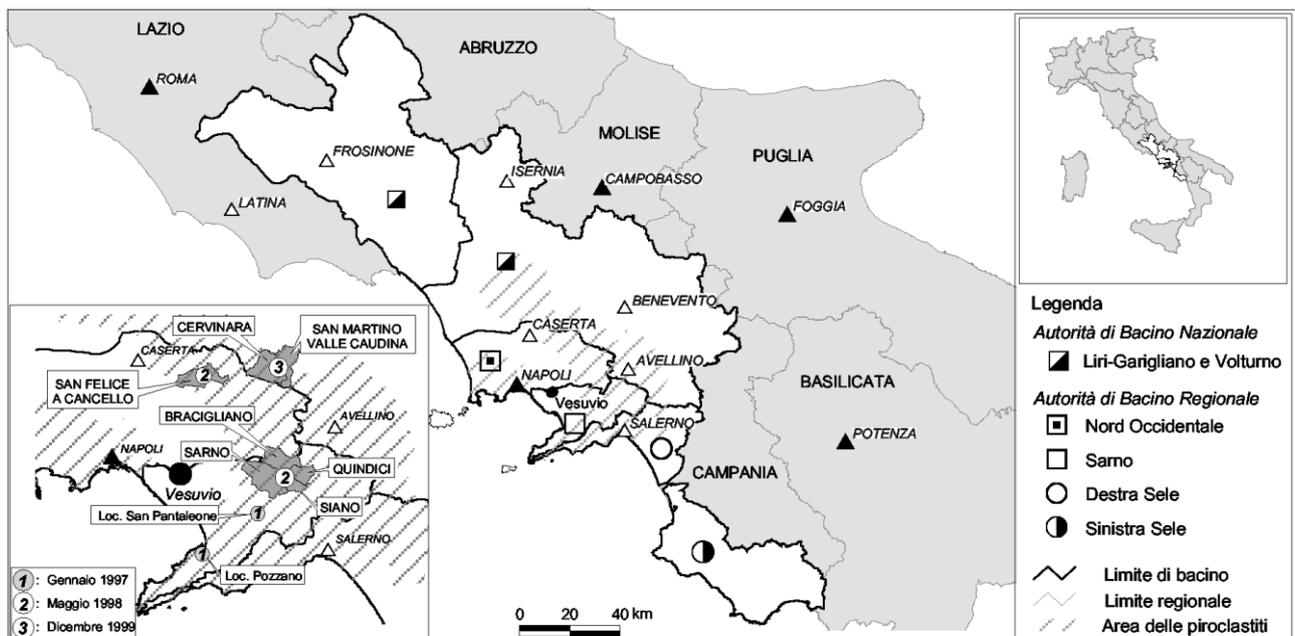


Figura 4.5 – Territori di competenza delle cinque Autorità di Bacino per le quali il Piano Straordinario è stato elaborato con i medesimi criteri (Cascini, 2002a).

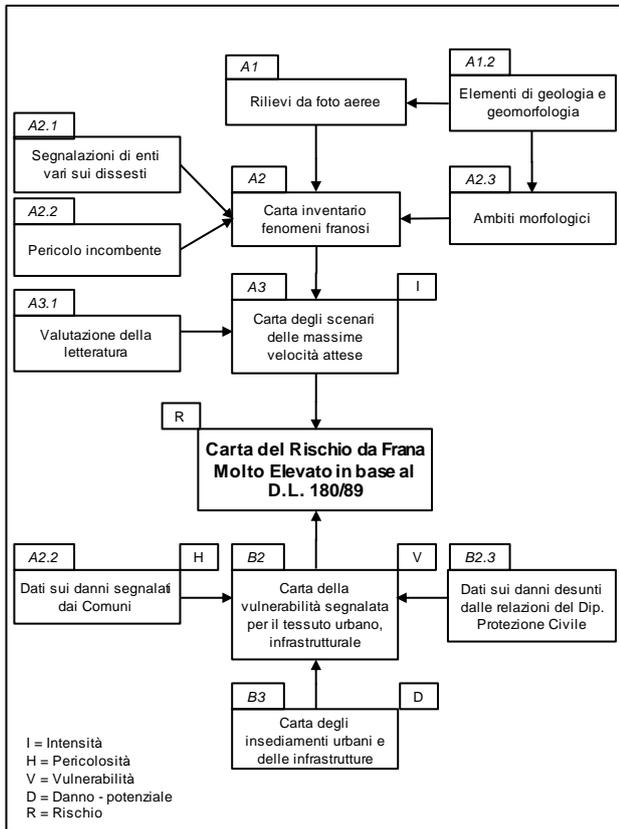


Figura 4.6 –Procedura adottata per la redazione della Carta delle aree a rischio da frana molto elevato nei territori di Figura 4.5.

Per l'ampiezza dell'area di studio, i tempi ristretti di redazione del Piano e la mancanza di elementi significativi, nell'ambito di tale cartografia la probabilità di accadimento di un evento di determinata velocità fu assunta pari ad uno, facendo di fatto coincidere la suscettibilità con la pericolosità. A puro titolo esemplificativo e con riferimento ai fenomeni di flusso rapido si può dire che la metodologia adottata di fatto coincide con quella illustrata nel paragrafo 3.

In considerazione della rilevanza anche del secondo elaborato, la "Carta degli insediamenti urbani e delle infrastrutture" si sviluppò analizzando con sistematicità i Piani regolatori, nonché gli elaborati ISTAT relativamente agli insediamenti urbani rilevati, nel 1991, all'atto del censimento della popolazione. Ad ognuno degli insediamenti individuati si attribuì, quindi, una determinata vulnerabilità in funzione della propria categoria di appartenenza.

Un esempio di Carta del rischio scaturita dalla sovrapposizione degli elaborati in precedenza descritti e che include, al proprio interno, zone a rischio molto elevato, zone di alta attenzione e zone di attenzione, è riportato nella Figura 4.7. Per i Comuni della Regione Campania i cui rilievi sono ricoperti da terreni di origine piroclastica sono state, altresì, individuate ulteriori zone definite "aree critiche", per le quali si è riconosciuta la necessità di studi di maggiore dettaglio per una corretta classificazione del rischio.

Appare interessante osservare che la metodologia adottata ha, di fatto, consentito di individuare numerose aree a rischio molto elevato anche se la loro estensione

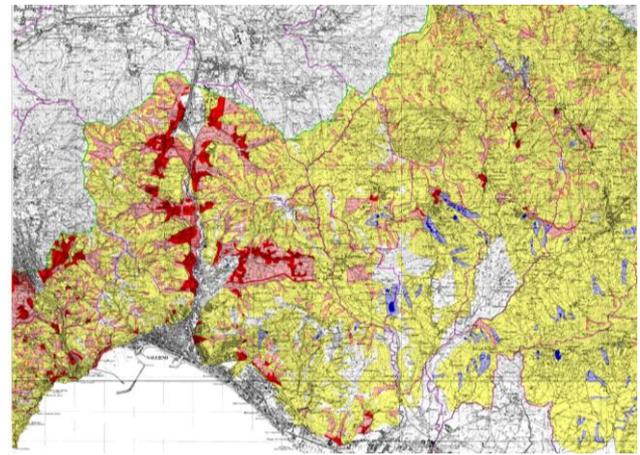


Figura 4.7 – Carta delle aree a rischio da frana molto elevato (Tav. 32, Salerno).

complessiva rappresenta una percentuale minima (1 ÷ 2%) dell'intero territorio investigato (~17.000 km<sup>2</sup>). Nonostante ciò, si sottolinea che i numerosi eventi di frane a cinematica rapida occorsi successivamente alla consegna dei piani sono risultati tutti all'interno delle aree di innesco, propagazione e deposito perimetrate a rischio molto elevato (Cascini L., 2005), a testimonianza della bontà dell'approccio adottato e degli studi svolti.

#### 4.3 I Piani Stralcio (L. 365/2000)

Successivamente all'approvazione dei Piani Straordinari, la legge 365/2000 recante "interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile ...", fissò il termine del 30 aprile 2001 per l'adozione dei progetti di Piano Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico di cui al D.L.180/98, lasciando inalterati il percorso metodologico ed i criteri per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico già definiti nell'Atto di indirizzo e coordinamento del D.L. 180/98 (D.P.C.M. del 29 settembre 1998) che suggeriva di utilizzare la cartografia tecnica, a scala minima 1:25.000, e di individuare quattro classi di rischio così definite:

- **molto elevato R4**: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche;
- **elevato R3**: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici

e alle infrastrutture con conseguente inagibilità dei medesimi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;

- **medio R2**: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- **moderato R1**: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.

E' importante osservare che – nonostante il D.P.C.M. del 29 settembre 1998 si ponesse il fine di “consentire alle Autorità di bacino e alle regioni [...] di realizzare prodotti il più possibile omogenei e confrontabili a scala nazionale” – il carattere emergenziale del D.L. 180/98 e dei successivi dettati legislativi non consentì il perseguimento di tale importante obiettivo per l'impiego di metodologie e dati di base tra loro diversi e, talora, direttamente forniti dagli Enti territorialmente competenti presenti sul territorio nazionale. Inoltre, le differenze tra i Piani Stralcio sono ancor più evidenti laddove le Autorità di Bacino decisero, su iniziativa propria, di zonare e regolamentare anche le aree caratterizzate da un diverso livello di pericolosità che rappresentano un importante punto di riferimento per la pianificazione territoriale.

Per l'importanza che gli argomenti introdotti rivestono, nel seguito si illustra, preliminarmente, uno dei Piani più avanzati a livello nazionale e si focalizza, successivamente, l'attenzione su un'analisi comparativa di tutti i Piani redatti sul territorio nazionale che, da una parte, evidenzia importanti elementi di similitudine dal punto di vista metodologico e, dall'altra, indica con chiarezza gli elementi da approfondire per compiere ulteriori e significativi passi in avanti in materia di analisi e zonazione del rischio da frana.

Il Piano Stralcio al quale si fa riferimento è quello redatto dall'Autorità di Bacino Nazionale dei fiumi “Liri-Garigliano e Volturno” (AdBN LGV) che si sviluppa, nell'Italia centro-meridionale, su una superficie complessiva di circa 12.000 km<sup>2</sup> (Fig. 4.5) all'interno della quale risiedono circa 2.118.000 abitanti (censimento ISTAT 2001). Si tratta, quindi, di un territorio esteso che risulta di particolare significato per l'analisi e la zonazione del rischio in quanto al suo interno sono presenti, da una parte, molteplici contesti geo-ambientali sede di una diffusa e complessa franosità e, dall'altra, articolati e, talora, disordinati tessuti urbani ed infrastrutturali esposti al rischio; rendono ulteriormente significativo il territorio in questione i numerosi vincoli esistenti (ambientale, idrogeologico, urbanistico, etc.) (Cascini L., 2002a).

Questi aspetti, unitamente all'esigenza di delineare scenari di rischio ovunque caratterizzati dal medesimo grado di approfondimento, indussero l'AdBN LGV a redigere a scala 1:25.000 – nel rispetto dei criteri stabiliti dall'Atto di Indirizzo e Coordinamento del D.L. 180/98 – 11 elaborati che direttamente o indirettamente abilitano alla lettura del territorio, dal punto di vista geologico, urbanistico e legislativo e che sono rispettivamente definiti: *Carta degli elementi sui dissesti segnalati o*

*forniti dagli Enti territoriali; Carta geologico-strutturale; Carta geomorfologica; Carta dei depositi di copertura; Carta inventario dei fenomeni franosi; Carta del Vincolo Idrogeologico e dei Parchi Nazionali e Regionali (R.D. 3267/23, L. 394/91); Carta dei Vincoli Ambientali e Culturali (L. 1089/39, L. 1497/39, L. 431/85); Carta della zonazione degli insediamenti urbani; Carta dei detrattori ambientali e delle infrastrutture; Carta del danno potenziale e delle strutture molto vulnerabili; Carta dei danni segnalati dagli Enti territoriali.*

Secondo il diagramma di flusso riportato in Figura 4.8, i primi tre elaborati cartografici hanno concorso alla individuazione e caratterizzazione dei fenomeni franosi (con indicazione del loro stato di attività e della loro tendenza evolutiva) e, quindi, alla redazione della *Carta inventario dei fenomeni franosi* (Fig. 4.9a) che si è elaborata sulla base della classifica proposta da Varnes D.J. (1978) opportunamente modificata per rispondere, nel migliore dei modi, al dettato legislativo.

In considerazione del fatto che il rischio ed i termini che concorrono a definirlo sono strettamente legati all'intensità dei fenomeni franosi, nel Piano che si sta analizzando il passaggio dalla Carta inventario - che altro non è che una rappresentazione di quanto accaduto sul campo sino alla data della sua redazione - ai successivi elaborati che forniscono una previsione del loro sviluppo spaziale e temporale, si è operato facendo riferimento alla massima velocità attesa dei fenomeni franosi che si è definita partendo dalle sette classi di velocità delle frane proposte da Cruden D.M. e Varnes D.J. (1996).

Per semplicità, quest'ultime si sono raggruppate in sole tre classi di velocità (*alta*, *media* e *bassa*) che sono state, quindi, assunte a riferimento per la redazione della Carta della suscettibilità (S) definita “*Carta degli scenari di franosità in funzione delle massime intensità attese*” nella quale ciascuna tipologia di frana è riclassificata indipendentemente dal suo stato di attività (Fig. 4.9b). In particolare, si è assunta: una intensità “*alta*” (velocità massima attesa da rapida a estremamente rapida) per i crolli e le frane di flusso rapido (colate rapide di fango, debris-flow e colate rapide in terreni prevalentemente marnoso-argillosi); una intensità “*media*” (velocità massima attesa da lenta a moderata) per le colate lenticolate e gli scorrimenti, rotazionali e traslativi; una intensità “*bassa*” (velocità massima attesa da estremamente lenta a molto lenta) per i fenomeni di creep superficiale e profondo, le espansioni laterali e le deformazioni gravitative profonde.

Una volta definita la suscettibilità (S), per assenza di dati significativi, la pericolosità (P) si è classificata molto semplicemente facendo riferimento alla massima intensità attesa del fenomeno franoso. In particolare, ai fenomeni franosi di primo distacco rapidi (massima intensità attesa alta) si è attribuita, per motivi di prudenza, una probabilità indistinta di accadimento ALTA, mentre alle frane a massima intensità attesa media, la probabilità di accadimento temporale si è considerata ALTA nel caso di frane attive e MEDIA in presenza di fenomeni quiescenti; infine, ai creep si è attribuita una probabilità temporale ALTA che si è considerata, viceversa, MEDIA per le espansioni laterali e le deformazioni gravitative profonde.

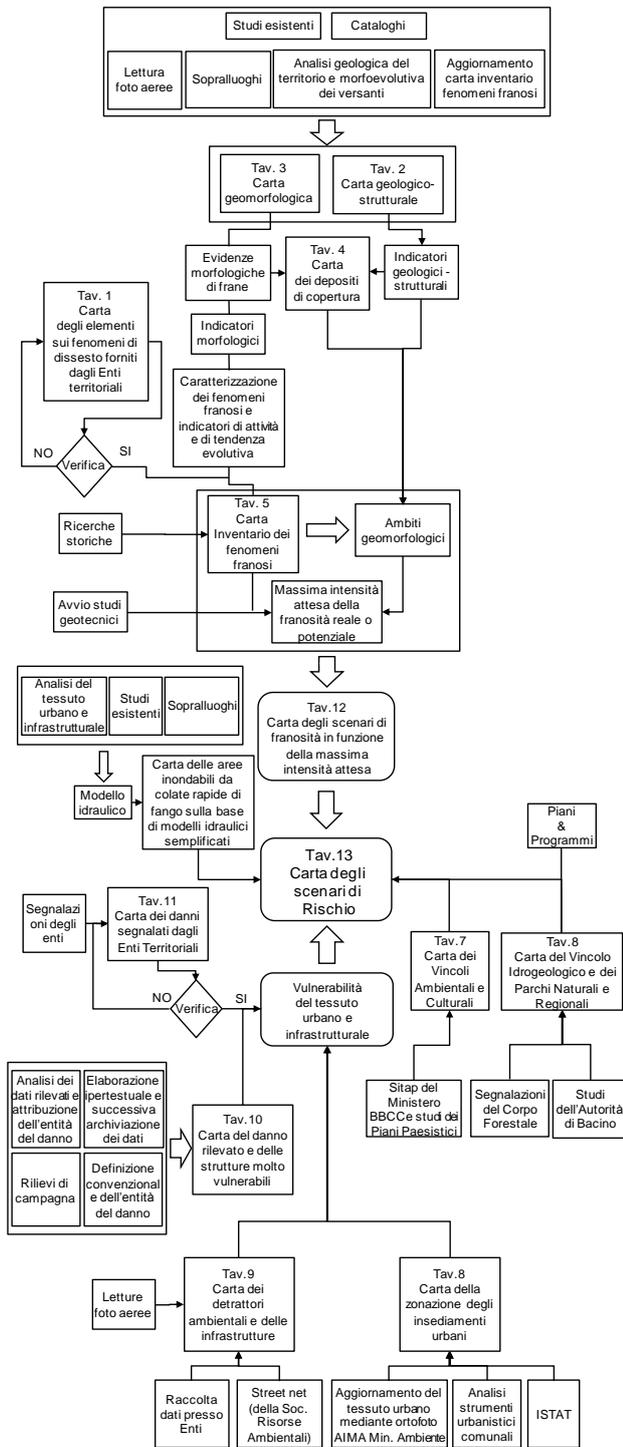


Figura 4.8 – Diagramma di flusso per la redazione della Carta degli Scenari di Rischio nell’ambito del PsAI-Rf dell’AdBN Liri-Garigliano e Volturno (L.365/2000).

Per quanto riguarda la stima degli elementi esposti (E) e della loro vulnerabilità (V), Figura 4.8, l’estensione del territorio ed i ristretti tempi disponibili hanno, innanzitutto, sconsigliato di procedere ad una loro valutazione economica. In tale ottica tutti gli elementi E sono stati considerati equivalenti mentre si è tenuto conto della presenza di beni di particolare pregio o di importanza strategica nella stima della vulnerabilità V che, di fatto, si è fatta coincidere con il danno potenziale  $W = V \times E$ .

Il danno potenziale è stato stimato, per motivi prudenziali, ovunque ALTO in presenza di fenomeni franosi a massima intensità attesa alta, mentre sulla base di un rilievo estremamente accurato, sull’intero territorio, alle strutture interagenti con i fenomeni franosi, W si è assunto ALTO o MEDIO per le frane a massima intensità attesa media in presenza di strutture con danni consistenti o in assenza di danni. Analoga distinzione si è operata per le frane a massima intensità bassa anche se, per le caratteristiche cinematiche dei fenomeni franosi, il danno potenziale si è assunto rispettivamente LIMITATO o BASSO in presenza o in assenza di danni alle strutture ed infrastrutture.

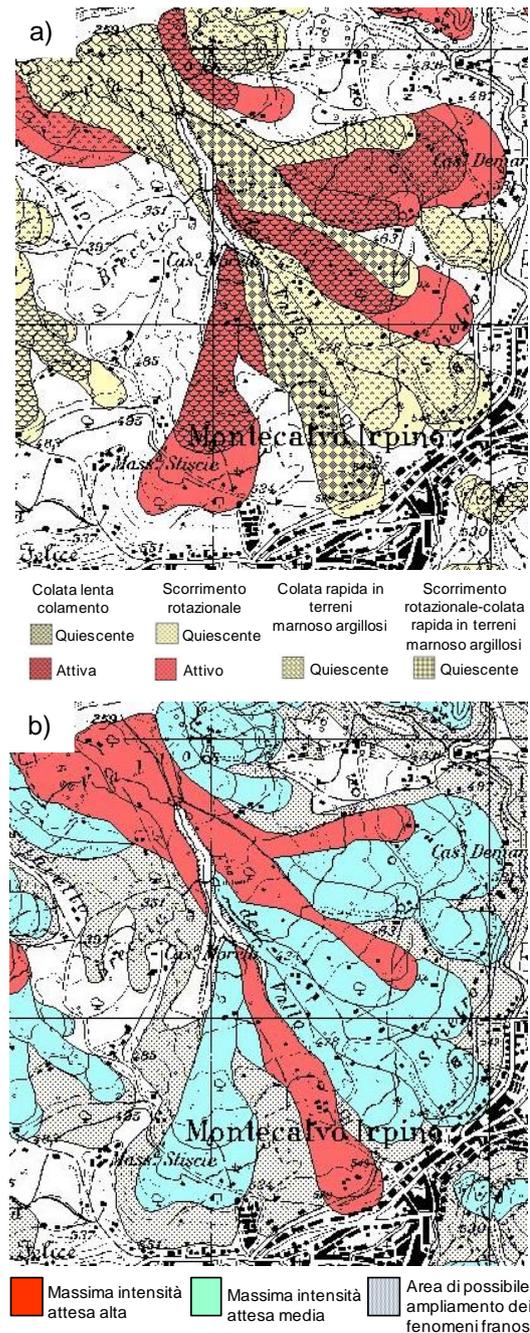


Figura 4.9 – Un esempio, a scala 1:25.000, di inventario dei fenomeni franosi (a) e degli scenari di franosità in funzione delle massime intensità attese (b).

Nella classifica del danno potenziale, alle strutture particolarmente vulnerabili quali caserme, ospedali etc., per motivi squisitamente prudenziali, si è sempre attribuita la classe di danno potenziale più alta nella rispettiva classe di appartenenza, indipendentemente dal quadro fessurativo rilevato nel corso dei numerosi ed approfonditi sopralluoghi che sono stati svolti sul territorio da squadre di ingegneri che si sono avvalsi di questionari appositamente redatti dall'Autorità di Bacino (Cascini, 2002a).

Con l'ausilio di tutti i tematismi in precedenza richiamati e facendo riferimento alla matrice riportata in Tabella 4.1 si è, infine, prodotta la *Carta degli scenari di rischio* nella quale, in ottemperanza al dettato legislativo, sono state perimetrare le classi di rischio R4 (*Area a rischio molto elevato*), R3 (*Area a rischio elevato*), R2 (*Area a rischio medio*) e R1 (*Area a rischio moderato*).

A queste classi si sono aggiunte altre due classi di rischio (Rpa, *Aree a rischio potenzialmente alto* ed Rpb, *aree a rischio potenzialmente basso*) per le quali si è riconosciuta la necessità di condurre ulteriori approfondimenti ad una scala di maggiore dettaglio.

Nel Piano al quale si fa riferimento, nella *Carta degli scenari di rischio* sono, altresì, individuate e delimitate le cosiddette "aree di attenzione" che, in analogia al rischio, sono aggregate in quattro classi così definite:

- **A4** - *Area di alta attenzione*, non urbanizzata, potenzialmente interessata da fenomeni di innesco, transito ed invasione di frane a massima intensità attesa alta;
- **A3** - *Area di medio-alta attenzione*, non urbanizzata, ricadente all'interno di una frana attiva a massima intensità attesa media o di una frana quiescente della medesima intensità, in un'area classificata ad alto grado di sismicità;
- **A2** - *Area di media attenzione*, non urbanizzata, ricadente all'interno di una frana quiescente, a massima intensità attesa media;
- **A1** - *Area di moderata attenzione*, non urbanizzata, ricadente all'interno di una frana a massima intensità attesa bassa.

Anche in questo caso sono state individuate aree non urbanizzate per le quali si sono ritenuti necessari ulteriori approfondimenti a scala di maggiore dettaglio e che, sulla base degli elementi disponibili, sono state definite Apa, *Aree di attenzione potenzialmente alta* ed Apb, *Aree di attenzione potenzialmente bassa*. Nella cartografia sono, altresì, segnalate le aree di possibile ampliamento dei fenomeni franosi ovvero quelle sede di fenomeni di primo distacco.

Tabella 4.1 – Matrice adottata dall'AdBN-LGV per la stima qualitativa del rischio da frana nell'ambito del PsAI-Rf.

	Massima intensità attesa	Alta			Media		Bassa	
	Pericolosità	Alta	Alta	Media	Alta	Media		
Danno potenziale	Alto	<b>R4</b>	<b>R4</b>	<b>R3</b>	-	-		
	Medio	-	<b>R3</b>	<b>R2</b>	-	-		
	Limitato	-	-	-	<b>R2</b>	<b>R1</b>		
	Basso	-	-	-	<b>R1</b>	<b>Rpb</b>		

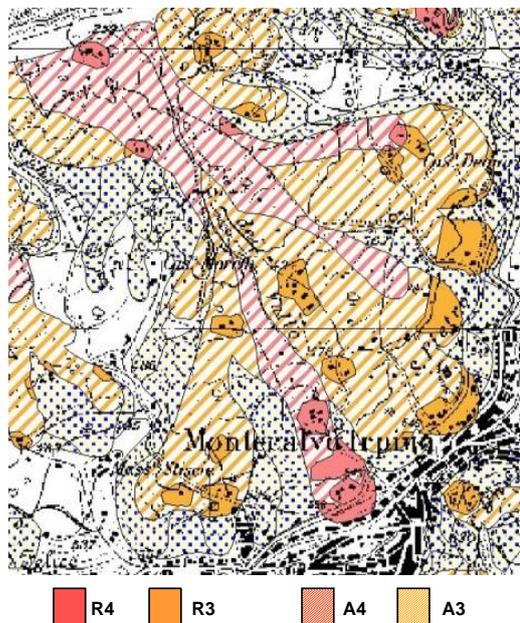


Figura 4.10 – Un esempio, a scala 1:25.000, di scenari di rischio.

Tabella 4.2 – Estensione delle classi di rischio e di attenzione nel territorio dell'AdBN-LGV (da CasciniL., 2002a).

Classi di rischio	Superficie (km <sup>2</sup> )	Classi di attenzione	Superficie (km <sup>2</sup> )
R4	301	A4	688
Rpa	165	Apa	504
R3	24	A3	199
R2	43	A2	326
R1	10	A1	64
Rpb	5	Apb	15
<b>TOTALE</b>	<b>549</b>	<b>TOTALE</b>	<b>1.795</b>

Appare interessante rilevare che il Piano Stralcio così redatto, di cui un esempio della *Carta degli scenari di rischio* è fornito nella Figura 4.10, ha condotto alla perimetrazione di 549 km<sup>2</sup> di aree a rischio e di 1.795 km<sup>2</sup> di aree di attenzione, secondo quanto riportato nella Tabella 4.2.

#### 4.4 Il quadro di insieme della zonazione in Italia

In considerazione dei differenti criteri adottati sul territorio nazionale e della rilevanza dell'argomento in discussione, un'approfondita analisi dei Piani Stralcio redatti dalle Autorità di Bacino competenti (Fig. 4.11a, b) è stata svolta nell'ambito del Progetto PRIN 2007 su "Analisi e zonazione della suscettibilità e pericolosità da frane innescate da eventi estremi (piogge e sisma)", al quale hanno fornito il loro contributo cinque Unità di Ricerca appartenenti rispettivamente alle Università di Salerno e di Napoli "Federico II" nonché ai Politecnici di Bari, Milano e Torino.

In particolare, l'analisi è stata svolta dall'Unità di Ricerca di Salerno ed è dettagliatamente descritta nella prima delle due parti di cui si compone il volume (Cascini, 2012) che sintetizza gli argomenti approfonditi nell'ambito del progetto ed i risultati conseguiti.

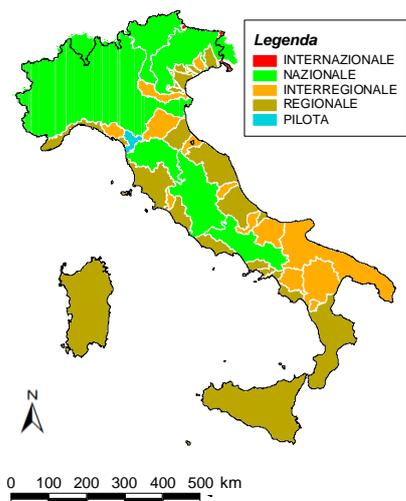
Rimandando a Cascini et al. (2012) per gli approfondimenti ritenuti necessari, qui si dirà semplicemente che lo studio si è basato sugli elaborati forniti dalle Autorità di Bacino i cui territori di competenza (Fig. 4.11) all'epoca dello studio ricoprivano il 97% circa del territorio nazionale.

L'indagine conoscitiva è stata svolta con una scheda denominata "Scheda di valutazione delle procedure adottate dalle Autorità di Bacino per la redazione dei PsAI-Rf" che si è organizzata in otto sezioni rispettivamente denominate dati generali, inventario, suscettibilità, intensità dei fenomeni, pericolosità, conseguenze, rischio e Norme di Attuazione.

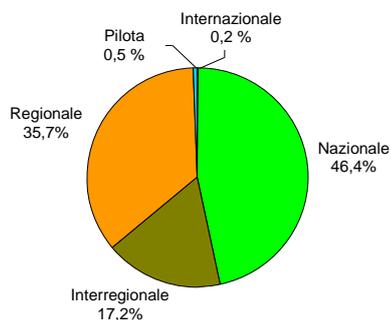
I risultati dell'indagine evidenziano, innanzitutto, che: la quasi totalità dei Piani include la *Carta Inventario dei*

*Fenomeni Franosi* (usualmente elaborata ad una scala compresa nell'intervallo 1:10.000-1:25.000); molti dichiarano la redazione della *Carta della Pericolosità da Frana* (usualmente a scala 1:10.000-1:25.000); solo in pochissimi casi è presente la *Carta della Suscettibilità da Frana* anche se si deve sottolineare che al termine "Suscettibilità", come a quello di "Pericolosità", non è sempre attribuito lo stesso significato dalle diverse Autorità di Bacino.

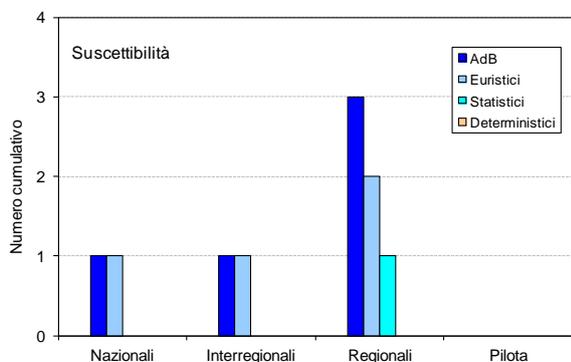
Facendo, poi, riferimento a quanto introdotto e discusso nella Sezione 2, si osserva che la stima della Suscettibilità è stata usualmente svolta con procedure di tipo euristico (ovvero basate su criteri geologici e geomorfologici), mentre solo in un caso si è fatto ricorso a procedure di tipo statistico (Fig. 4.11c).



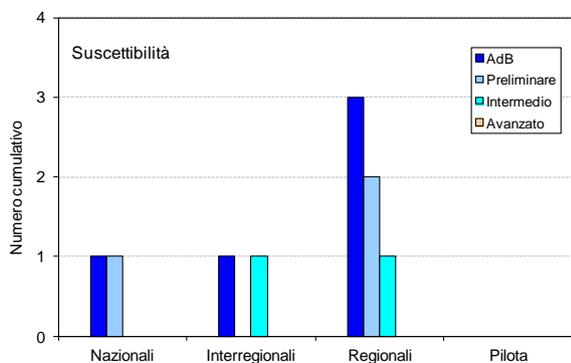
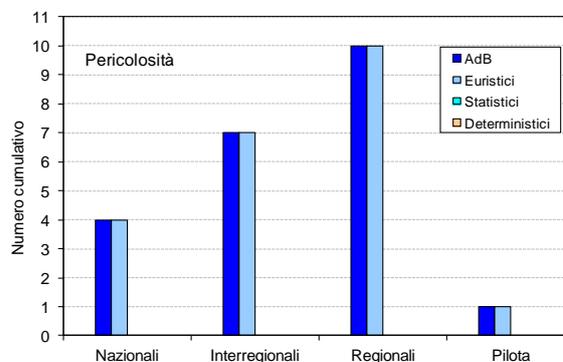
a)



b)



c)



d)

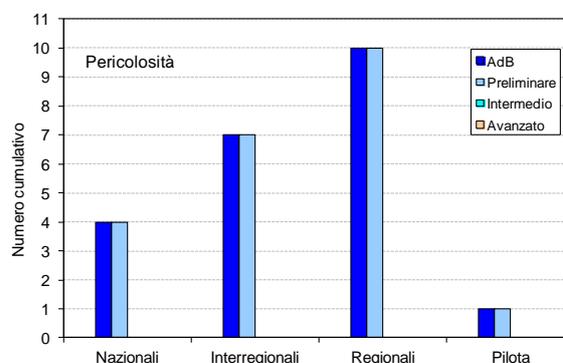


Figura. 4.11 – Territori di competenza delle Autorità di Bacino all'epoca dello studio svolto nel Progetto PRIN 2007 (a) e loro distribuzione percentuale (b) rispetto all'estensione del territorio nazionale. Metodi utilizzati (c) e livelli di zonazione nei PsAI-Rf della suscettibilità e della pericolosità da frana (d).

Le uniche procedure utilizzate per la definizione della Pericolosità sono state, viceversa, quelle di tipo euristico, anche se molto spesso la Pericolosità si è fatta coincidere con la Suscettibilità per le difficoltà di valutazione della frequenza dei fenomeni franosi che non può prescindere dalla disponibilità di banche dati affidabili ed accuratamente predisposte nel corso del tempo.

Analizzando tutti i dati presenti nella scheda di valutazione ed avvalendosi nuovamente di quanto riportato nel paragrafo 2, l'indagine conoscitiva ha evidenziato che i Piani sono stati elaborati ad una scala compresa tra 1:25.000 e 1:5.000, con valutazioni qualitative dei beni esposti e della loro vulnerabilità, ancora una volta basate su procedure di tipo euristico. Ne consegue che la stima del rischio è di tipo qualitativo e la zonazione di "livello preliminare" (Fig. 4.11d), congruentemente con: la carenza dei database sulle frane prima della promulgazione dei dettati legislativi (D.L. 180/98, L. 365/2000); la dimensione dei territori che le Autorità di Bacino sono state chiamate a perimetrare, comprese quelle di minore estensione, in tempi relativamente brevi; gli indirizzi prevalenti a livello internazionale sulla zonazione del rischio da frana in aree di rilevante estensione.

## 5 PROSPETTIVE DI SVILUPPO DELL'ANALISI E ZONAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA

Le sezioni precedenti, nel ripercorrere la storia recente della zonazione del rischio da frana in Italia, ne sottolineano il livello preliminare comunemente perseguito e, allo stesso tempo, ne evidenziano la disomogeneità in termini sia di procedure adottate e sia di restituzione cartografica. Qui si aggiunge che, solo in casi sporadici, sono disponibili elementi utili ai fini di un'analisi avanzata dei singoli termini che concorrono alla definizione del rischio.

La presente sezione si pone il fine di mostrare come il superamento dei limiti attuali ed il perseguimento di alcuni obiettivi strategici sia oggi possibile grazie al patrimonio di conoscenze disponibili ed alle proposte metodologiche sviluppate nel corso dell'ultimo decennio in campo teorico ed applicativo.

Con riferimento a questo secondo aspetto, significativi esempi si rinvencono, per contesti tipici del territorio nazionale, nei contributi della sessione tematica del Convegno in cui la presente Relazione Generale si colloca oltre che nella letteratura scientifica sull'argomento (Cotecchia et al., 2012; Federici et al., 2014). In particolare, per le frane a cinematica lenta della Daunia, Cotecchia et al. (2012) forniscono un contenuto ingegneristico alla zonazione, a media scala (1:50.000 - 1:25.000), della suscettibilità alla riattivazione di corpi di frana a cinematica lenta mediante un metodo che pone al centro del processo i meccanismi di frana riconosciuti a scala di dettaglio (1:5.000 - 1:2.000).

Nel sottolineare la valenza dei lavori citati, la carenza di proposte per un'analisi congiunta delle differenti fenomenologie franose, da una parte, e la complessità del tema in discussione, dall'altra, hanno indotto lo scrivente a riferirsi essenzialmente all'esperienza maturata in prima

persona nel campo della zonazione multi-scalare che, dal punto di vista tecnico, rappresenta il punto di partenza per una gestione integrata del rischio capace di coinvolgere organicamente le Autorità, centrali e locali, alle quali è demandato, con diversi livelli di competenza e responsabilità, il governo del territorio. In quest'ottica, passando progressivamente dalla piccola scala a quella di dettaglio, l'attenzione è focalizzata, per quanto possibile, sul medesimo ambito territoriale e su problematiche tra loro congruenti.

### 5.1 La zonazione a piccola scala

La zonazione a piccola scala può risultare di notevole utilità per numerose finalità quali la redazione dei piani di previsione e prevenzione del rischio da frana – di competenza delle Autorità nazionali, regionali e provinciali – o la individuazione delle aree nelle quali concentrare le risorse economiche per la mitigazione del rischio per la proprietà. In tale ottica sono preziosi i tematismi dei PsAI-Rf che devono essere, tuttavia, omogenei nel territorio investigato per evitare che la zonazione a piccola scala sia influenzata dai dati di base. Laddove tale condizione non sia soddisfatta, è indispensabile procedere ad una preliminare omogeneizzazione dei Piani, della quale un esempio è fornito nel par. 5.2, o trovare soluzioni alternative che devono necessariamente tenere conto del fine perseguito, come qui di seguito riportato.

Il caso di studio al quale si fa riferimento è relativo al Programma di Previsione e Prevenzione del rischio da frana (D.L. 112/1998), la cui redazione fu commissionata nel 2003 dall'Amministrazione provinciale di Salerno al Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi tra le Università di Salerno e di Napoli "Federico II" (C.U.G.R.I., 2005).

Nel caso in questione, non disponendosi di Piani Stralcio tra loro omogenei – in un territorio dell'estensione complessiva di 4.917 km<sup>2</sup>, sede di numerose frane a cinematica rapida e lenta, oltre che di un tessuto urbano molto diversificato nelle zone costiere ed in quelle interne – i dati di base sono stati quelli dei Piani Straordinari (L. 226/99) redatti dal C.U.G.R.I. per tre delle quattro Autorità di Bacino (AdB) all'epoca operanti nella Provincia di Salerno (Sarno, Destra Sele e Sinistra Sele). Per la quarta AdB, denominata Interregionale Sele, che aveva sviluppato una differente procedura, il Piano è stato completamente rielaborato applicando la procedura C.U.G.R.I. all'intero territorio di sua competenza, dell'estensione di 2.280 km<sup>2</sup> circa.

Il primo tematismo così prodotto è rappresentato dalla "Carta delle Frane" originariamente redatta a scala 1:25.000 e successivamente rappresentata a scala 1:50.000. Partendo, quindi, da quest'ultimo elaborato, si è proceduto alla individuazione di areali significativi sulla base delle connessioni esistenti tra fattori predisponenti la franosità e le tipologie di frane cartografate sul territorio; in particolare, gli areali significativi si sono gerarchizzati in Macrozone, Zone e sub-Zone.

Le Macrozone rappresentano aree omogenee per quanto riguarda la successione stratigrafica, la struttura ed i caratteri morfologici complessivi; al loro interno possono

essere, viceversa, presenti scenari di franosità tra loro differenti. Nell'ambito di ogni Macrozona sono distinti i rilievi (montani e collinari) lungo i quali si riconoscono corpi franosi che si sono mobilitati, in epoca recente o attuale, secondo tipologie prevalenti da mettere in relazione con la storia geologica del sito ed il suo assetto litostrutturale e idrogeologico.

La suddivisione del territorio in Macrozone, pur condotta a piccola scala, consente di individuare al loro interno le aree nelle quali sussistono condizioni analoghe per la suscettibilità e la esposizione al dissesto (Zone), come si evince dalla Carta della zonazione riportata in Figura 5.1. Si sottolinea che laddove la propensione alla franosità è risultata controllata da condizioni geologiche e geomorfologiche locali, si è proceduto a ulteriori approfondimenti redigendo, a scala 1:25.000 e per alcune aree campione, la Carta delle sub-Zone e degli Ambiti.

Una volta individuati gli areali significativi all'interno di ciascuna Macrozona e Zona, si sono cartografate le frane e gli ambiti morfologici potenzialmente sede di fenomeni di primo distacco ottenendo in tal modo una rappresentazione fedele della franosità, reale e potenziale, nei settori in cui si è suddiviso il territorio provinciale.

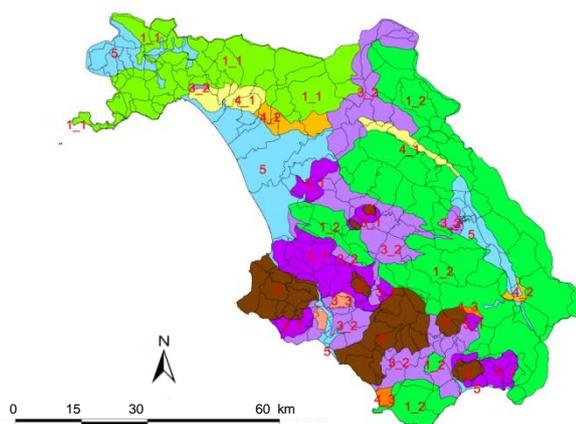
Per la redazione della "Carta della Suscettibilità", si è poi preliminarmente definita l'evoluzione spaziale di ogni singolo fenomeno franoso, oltre che degli ambiti morfologici, sulla base di classi di intensità che si è fatta coincidere con la massima velocità che può caratterizzare

gli eventi attesi.

La relativa cartografia, prodotta a scala 1:150.000 e a scala 1:50.000, evidenzia le zone del territorio dove possono aver luogo frane a cinematica lenta e le zone dove sono, viceversa, possibili frane a cinematica rapida le cui conseguenze sono di gran lunga più catastrofiche, in termini sia di perdita di vite umane e sia di danni economici.

Con l'ausilio di quest'ultima cartografia, ed in considerazione della scala e delle finalità dello studio, si sono, quindi, definiti gli "Scenari di suscettibilità areale complessiva" (Fig. 5.2a) valutando la capacità dei fenomeni a massima intensità attesa alta di manifestarsi in forma diffusa, imprevedibile ed estesa su interi settori territoriali, ovvero in forma concentrata in ben limitati ambiti. Viceversa, per i fenomeni a massima intensità attesa media o bassa si sono valutati, in forma qualitativa, i volumi mobilitabili in concomitanza di eventi pluviometrici estremi.

Sulla scorta degli elaborati redatti dalle Autorità di Bacino competenti nonché della documentazione allegata al Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Salerno, è stato redatto un elaborato di sintesi denominato "Carta della Vulnerabilità complessiva a scala provinciale" nel quale sono distinte aree omogenee in termini di vulnerabilità complessiva, con preciso riferimento alla presenza di:



MACROZONE 1:250.000	ZONE 1:100.000	TIPOLOGIE DI FRANA PREVALENTI
Macrozona dei massicci carbonatici <u>Unità litostratigrafiche</u> Unità Monte Bulgheria (scaglia e flysch) Unità di Roccaigliosa (solo calcari cristallini) Unità Alburno-Cervati (Form. Bifurto e Raganello) Unità Foraporta Unità Maddalena (Form. M.te Sierio) Unità Picentini-Taburno (Form. Bifurto e Raganello)	Massicci carbonatici con estese e spesse coperture piroclastiche sciolte  1.1 Massicci carbonatici privi di coperture piroclastiche sciolte  1.2 Massicci carbonatici con sovrapposizioni tettoniche/stratigrafiche su terreni pelitici  1.3	Soil slips, colate rapide di fango singole non confluenti (flowslides), colate rapide di fango confluenti, debris flow, flussi iperconcentrati, flash floods Distacchi, crolli, ribaltamenti, debris flows, debris avalanches Scorrimenti in roccia, espansioni laterali, D.G.P.V., scivolamenti
Macrozona dei massicci terrigeni <u>Unità litostratigrafiche</u> Gruppo del Cilento (Pollica e Olistostromi) Formazione del M.te Sacro Unità Irpine	Massicci terrigeni con coperture detritiche sciolte  2.1 Massicci terrigeni privi di coperture detritiche sciolte  2.2	Soil slips, debris flows non confluenti, debris flows confluenti, flussi iperconcentrati, flash floods Rotoli, distacchi, crolli, ribaltamenti, scivolamenti, scivolamenti-colate detritiche, stone debris flows
Macrozona dei rilievi flyscioidi <u>Unità litostratigrafiche</u> Formazione di Pollica del Gruppo del Cilento Formazione di Piaggine delle Unità Sinorogene Unità Calabrese Unità ad affinità sicilide Formazione degli scisti silicei Flysch Galestrino Formazione di M.te Facito Formazione di Materdomini	Rilievi arenacei  3.1 Rilievi marnoso-argillosi  3.2 Rilievi calcareo-marnosi  3.3	Soil creep, colate lente, earth flows, scorrimenti di terra, scorrimenti rotazionali da scalfamento. Soil creep, colate lente, scorrimento-colate, earth flows, scorrimenti traslativi, rapid earth flows, scorrimenti rotazionali di terra Scorrimenti, scorrimento-colate lente, scorrimenti rotazionali
Macrozona dei rilievi clastici plio-pleistocenici <u>Unità litostratigrafiche</u> Conglomerati di Eboli Conglomerati di Salerno Conglomerati di Auletta Conglomerati del Tanagro Conglomerati di Centola Lacustri di Acerno Lacustri di Agerola Lacustri del Vallo di Diano Lacustri del M.te Bulgheria	Sovrapposizione ruditi-peltiti  4.1 Sovrapposizione peltiti-ruditi  4.2 Clastico massivo  4.3	Scorrimenti rotazionali, espansioni laterali, scorrimenti-colate lente, ribaltamenti. Scivolamenti, scivolamenti-colate. Crolli, ribaltamenti, colate detritiche.
Macrozona dei fondovalle alluvionali	 5.	

Figura 5.1 – Carta delle Macrozone e delle Zone e quadro sinottico delle condizioni di franosità connesse agli aspetti lito-morfologici (scala 1:150.000).

- attività socio-economiche che prevedono presenze turistiche permanenti in aree ad alta valenza paesaggistica e storico-culturale;
- centri abitati poco o densamente popolati;
- una rete infrastrutturale vulnerabile in termini di supporto alle operazioni di protezione civile, come quella a scarsa interconnessione o in grado di veicolare volumi di traffico ingenti;
- centri decisionali rilevanti ai fini della protezione civile quali le sedi di Provincia, Prefettura, Autorità di bacino etc.;
- beni strategici significativi ai fini delle operazioni di protezione civile (COM, ospedali, comandi periferici di forze dell'ordine, etc.).

L'applicazione dell'espressione del rischio proposta da Varnes D.J. (1984), che si è concretizzata nella intersezione tra la Carta della Suscettibilità complessiva e la Carta della Vulnerabilità complessiva, ha consentito di ottenere la Carta degli Scenari di Rischio areale (Fig. 5.2b), redatta sia a scala provinciale (1:150.000) e sia a scala di Centro Operativo Misto (1:50.000).

Si sottolinea che il ricorso alla Carta della *Suscettibilità*, piuttosto che a quella della *Pericolosità* è stata dettata dall'ampiezza dell'area di studio, oltre che dall'assenza, in

alcuni casi, di dati significativi sulla ricorrenza delle fenomenologie franose e, in altri, dal carattere preliminare delle analisi all'epoca presenti nella letteratura scientifica (U.O. 2.38, 1998; Migale L.S. e Milone A., 1998; Cascini et al., 2002; Cascini L. e Ferlisi S., 2003). Tale circostanza ha come conseguenza la non definizione del periodo di ritorno (T) da assumere a riferimento per la probabilità temporale di accadimento degli eventi estremi.

Dalla Carta degli Scenari di Rischio areale risultano evidenti sia gli ambiti che rendono necessaria la massima attenzione ai fini della previsione e prevenzione del rischio da frana e sia la specificità di ampie zone che, pur non essendo sede di problematiche dalle gravi conseguenze in termini di perdita di vite umane, sono sede di fenomenologie che producono sistematicamente danni economici non trascurabili e molti disagi alle popolazioni residenti ed a quelle che in molti periodi dell'anno si riversano in numero cospicuo lungo la costa della Provincia di Salerno.

Partendo da una zonazione del rischio così definita, esempi delle modalità con le quali è possibile approfondire ulteriormente le conoscenze a piccola scala sono qui di seguito forniti.

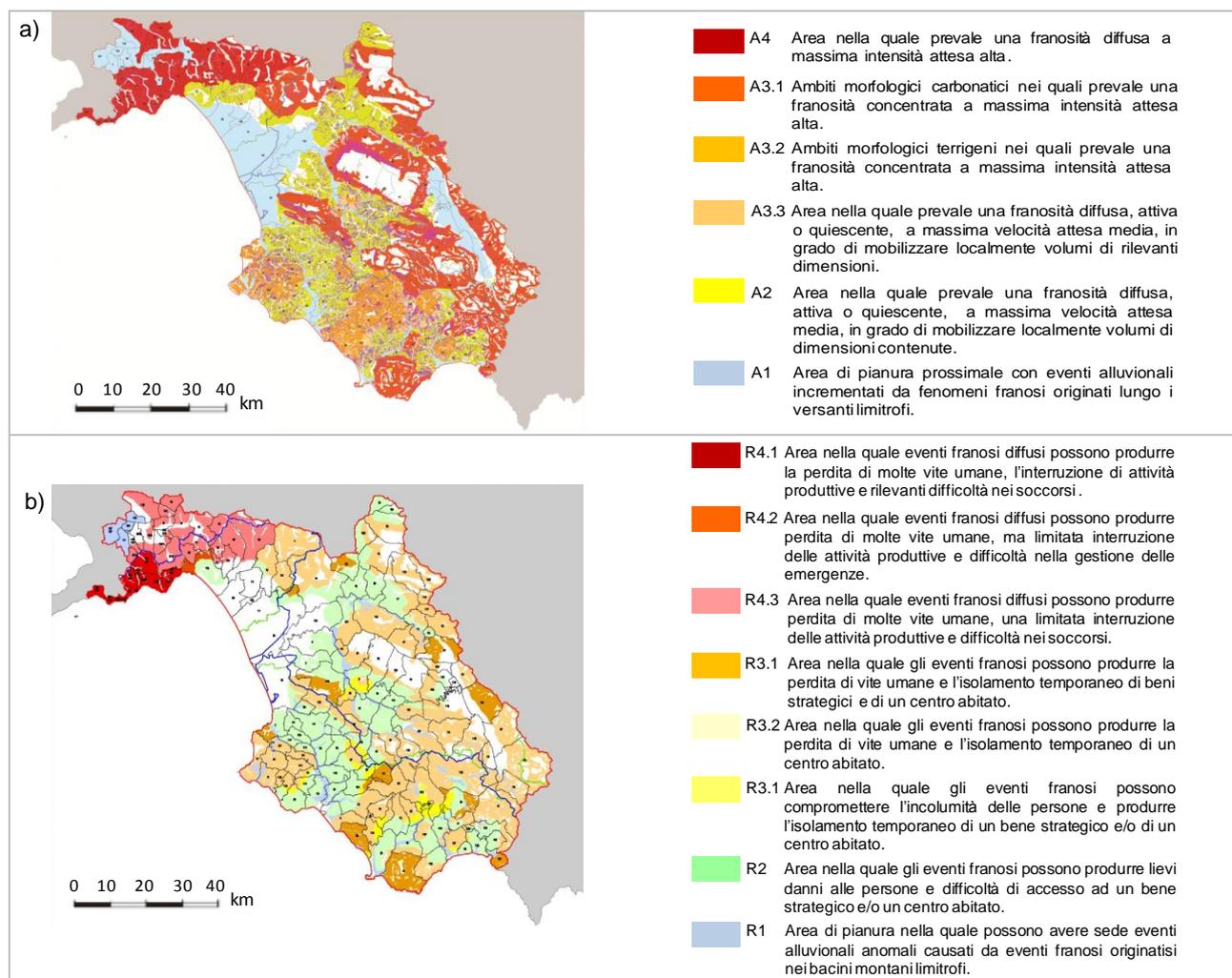


Figura 5.2 – Carta degli Scenari di Suscettibilità areale complessiva (a) e degli Scenari di Rischio areale (c) della Provincia di Salerno.

### 5.1.1 Analisi statistiche e curve F-N per le frane a cinematica rapida

Le potenzialità delle elaborazioni in precedenza proposte sono rese ancora più evidenti facendo riferimento all'areale che richiede la massima attenzione nella Provincia di Salerno, vale a dire quello nel quale ricadono i terreni di origine piroclastica della regione Campania potenzialmente sede (Fig. 5.3) di eventi diffusi quali quelli occorsi nel 1910, 1924, 1954 e 1998 (Par. 4.1). L'areale così definito ha una estensione di circa 3.000 km<sup>2</sup> all'interno del quale le coltri piroclastiche ricoprono diversi substrati rispettivamente costituiti da rocce carbonatiche, tufi vulcanici e lava, flysch e depositi terrigeni.

In tale areale, in funzione delle finalità perseguite Calvello et al. (2012) hanno preliminarmente definito due

Unità Territoriali di Riferimento (UTR), rispettivamente rappresentate da porzioni di territori comunali con substrato omogeneo rispetto alla litologia (UTR1) e da bacini idrografici elementari (UTR2).

Le UTR1 (Fig. 5.4) sono risultate 518 e presentano un'estensione areale media di circa 6,13 km<sup>2</sup>. Per le UTR2 è stata fissata una superficie minima pari a 0,2 km<sup>2</sup>, ritenuta la dimensione minima significativa del bacino per la scala dell'analisi, e si è adottata per la loro individuazione una procedura automatica in ambiente GIS (ArcHydro, Esri) facendo riferimento ad un modello digitale del terreno di maglia quadrata pari a 20 m. Escludendo i bacini con inclinazione massima inferiore a 20°, non interessati storicamente da fenomeni franosi, le UTR2 complessivamente considerate sono risultate pari a 1.888 su un'area di 1.970,23 km<sup>2</sup> (Fig. 5.5).

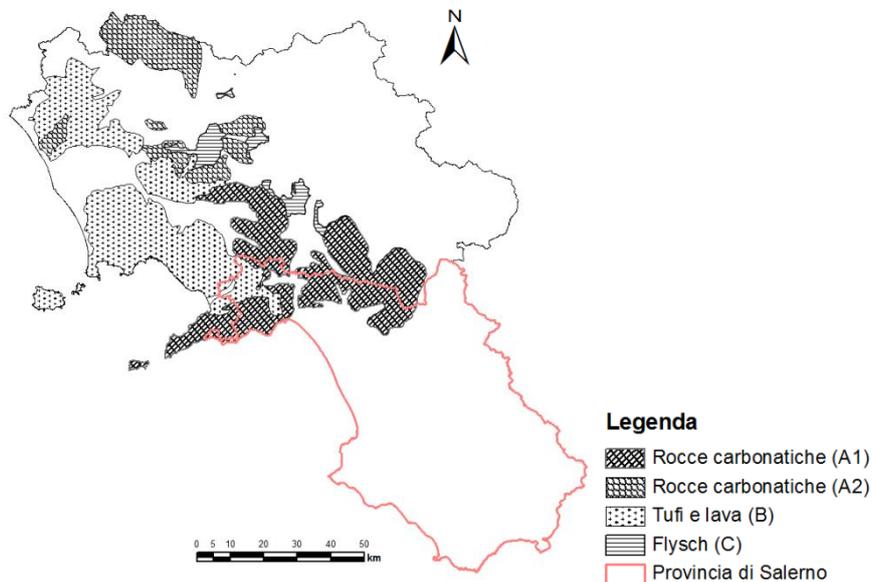


Figura 5.3 – Aree della Regione Campania nelle quali i depositi piroclastici ricoprono differenti substrati (modificata da Cascini et al. 2005b).

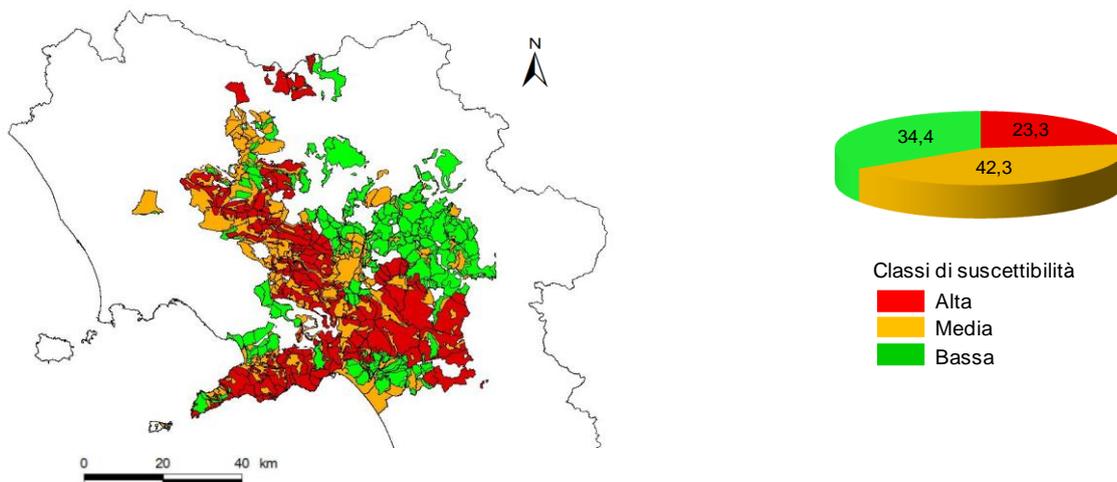


Figura 5.4 – Carta delle Unità Territoriali di Riferimento (UTR1) suscettibili all'innesco di frane tipo flusso sulla base della tipologia del substrato (da Calvello et al., 2012).

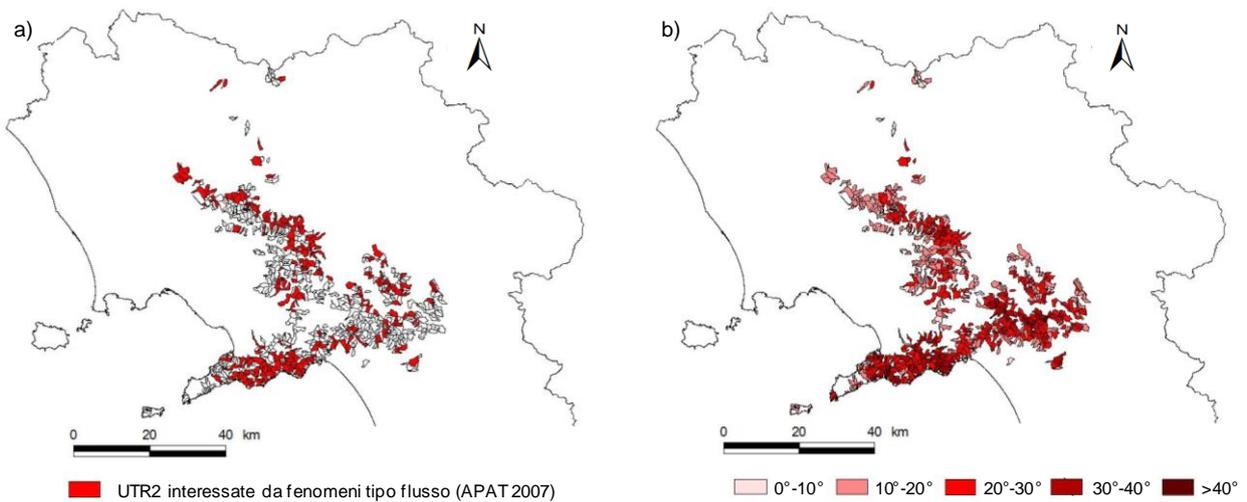


Figura 5.5 – Carta delle UTR2 con coperture piroclastiche originate dal Somma-Vesuvio su substrato calcareo, (a) sede e non sede di frane tipo flusso secondo la Carta inventario delle frane IFFI (APAT 2007), e (b) valori della inclinazione media del bacino idrografico elementare (da Calvello et al., 2012).

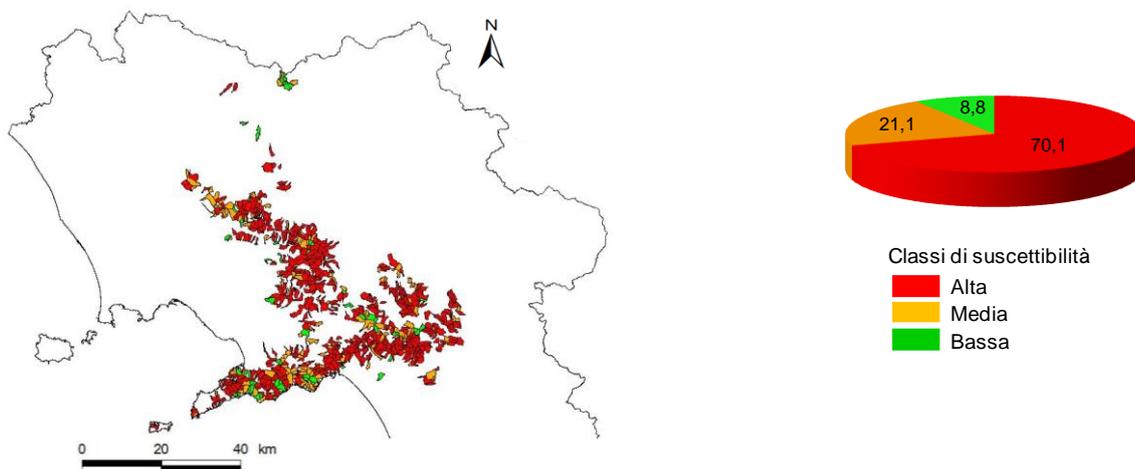


Figura 5.6 – Carta delle Unità Territoriali di Riferimento per bacini idrografici elementari con coperture piroclastiche su substrato calcareo (UTR2), suscettibili all’innescio di frane tipo flusso sulla base della inclinazione media del bacino idrografico elementare (da Calvello et al., 2012).

Con riferimento alle UTR così definite, Calvello et al. (2012) propongono un metodo di analisi e di zonazione della suscettibilità all’innescio di frane di primo distacco basato su procedure di tipo euristico ovvero di tipo statistico e fattori predisponenti di tipo geologico (es. tipologia del substrato) e morfometrico (es. inclinazione e quote). Entrambe le procedure (euristica e statistica) sono state sviluppate in tre fasi rispettivamente definite di calibrazione, validazione ed esportazione nell’areale di interesse. È importante sottolineare che alla scala dell’analisi (1:100.000) non è possibile distinguere l’innescio con riferimento ai molteplici meccanismi (Cascini et al., 2008a) che possono caratterizzarlo.

Pertanto, la franosità è nel seguito legata a fenomeni di dissesto indipendentemente dalle modalità con le quali tali fenomeni sono stati o possono essere generati.

Rimandando a Calvello et al. (2012) per gli approfondimenti sulla metodologia utilizzata, qui si

mostrano semplicemente i risultati conseguiti (Fig. 5.6) che, di fatto, individuano le aree maggiormente suscettibili seppure caratterizzate da una maggiore o minore affidabilità in funzione delle analisi svolte.

Alla suscettibilità così definita può fare seguito, nelle aree di maggiore interesse, una valutazione quantitativa del rischio per la Società (*Societal Risk*) che riflette l’avversione della collettività verso eventi, anche rari, ma con un elevato numero di vittime (Ho et al., 2000). Si fa, in particolare, riferimento alla alle curve F-N (Fell R. e Hartford D., 1997; Düzgün H.S.B. e Lacasse S., 2005) la cui generazione è possibile in presenza di banche dati cospicue ed affidabili che, per considerarsi tali, devono essere preliminarmente sottoposte ad una serie di verifiche tra le quali, una delle più importanti, è rappresentata dalla valutazione della completezza dei cataloghi (Guzzetti F., 2000; Cascini et al., 2008b).

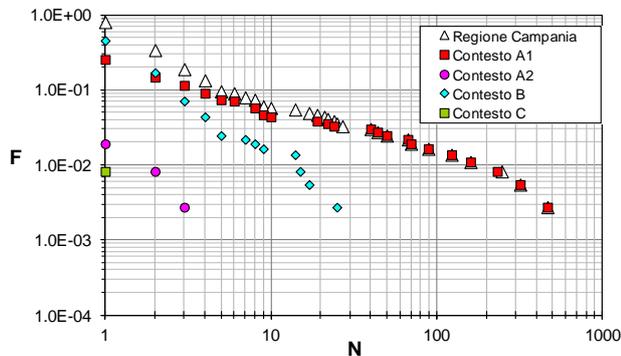


Figura 5.7 – Curve F-N degli areali delle piroclastiti nella regione Campania (modificata da Cascini et al., 2008b).

Con riferimento all'areale della Regione Campania nel quale sono presenti coperture piroclastiche (Fig. 5.3), dall'ampio database disponibile (U.O. 2.38, 1998; Cascini et al., 2002; Cascini L. e Ferlisi S., 2003) sono stati enucleati 672 eventi la cui interpretazione ed elaborazione ha consentito di individuare quattro differenti famiglie di curve F-N (Fig. 5.7) che evidenziano sia l'elevato rischio dell'intera area rispetto al territorio regionale e sia la zona che è affetta dal valore più elevato del rischio per la Società.

Zona quest'ultima che coincide con il territorio nel quale le coltri piroclastiche ricoprono il basamento calcareo (Cascini et al., 2008b) e che comprende al proprio interno 121 Comuni rispetto ai 212 nei quali sono state perimetrate aree R4. È interessante osservare che nell'area così identificata rientrano le UTR2 maggiormente suscettibili all'innesco di frane rapide identificate dagli studi in precedenza illustrati (Fig. 5.6).

### 5.1.2 Rilievi di spostamenti e del danno al costruito nell'analisi delle frane lente

In presenza di un'ampia diffusione di frane a cinematica lenta, che possono originare una molteplicità di problemi come nel caso della Provincia di Salerno (Fig. 5.2), può risultare di grande utilità la disponibilità di ulteriori elementi di valutazione sia sulle aree dove tali fenomeni hanno la più elevata probabilità temporale di attivarsi e sia sull'entità degli spostamenti che usualmente si possono registrare nel corso dell'anno.

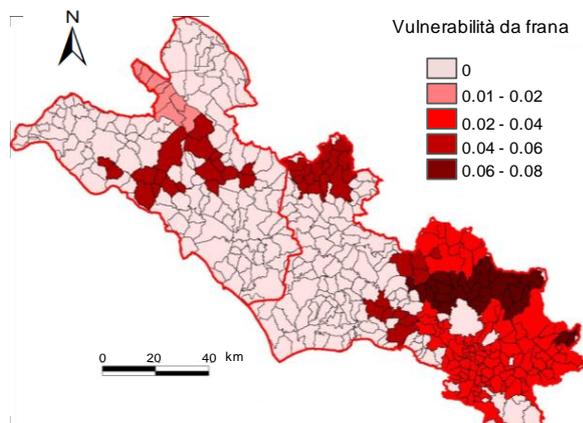


Figura 5.9 – Carta della vulnerabilità fisica da frane a cinematica lenta nei comuni dell'Autorità di Bacino Nazionale "Liri-Garigliano e Volturno" (Pisciotta G., 2008).

Risultano, altresì, di interesse applicativo i dati sull'entità del danno storico ed attuale al costruito, che consentono di verificare la ripetitività dei fenomeni franosi nel tempo e la risposta delle strutture in elevazione agli spostamenti differenziali (in direzione verticale e/o orizzontale) in fondazione. Il perseguimento a piccola scala di questi due obiettivi è attualmente possibile grazie alle tecniche di rilievo satellitare, da una parte, e ad una esperienza che sta velocemente maturando, dall'altra, sulla predisposizione in aree di rilevante estensione di curve di vulnerabilità del costruito.

Per quanto riguarda il primo aspetto, si va sempre più affermando da parte della Comunità tecnico-scientifica l'impiego di algoritmi per il processamento di dati acquisiti da Radar ad Apertura Sintetica (SAR) montati su piattaforme satellitari che, in particolare, rientrano nell'ambito delle tecniche interferometriche differenziali (DInSAR). Tra queste, quelle che si basano sull'analisi di *stack* di interferogrammi (tecniche multi-passaggio), si possono distinguere in due classi: la prima (PSInSAR) fa ricorso ai Permanent Scatterers (Ferretti et al., 2000; Ferretti et al., 2001; Kampes B.M., 2006); la seconda (SBAS) si avvale dell'impiego dell'algoritmo Small BAseline (Berardino et al., 2002; Fornaro et al., 2009).

Con riferimento al secondo aspetto, Pisciotta G. (2008) mostra come, partendo da aggregati di edifici e dai dati sui danni al costruito opportunamente acquisiti e classificati, sia possibile individuare utili correlazioni – in termini di curve di vulnerabilità – tra il predetto danno ed i fenomeni franosi che ricadono in contesti geologici omogenei. L'autore suggerisce poi che i risultati delle analisi possono essere rappresentati in carte della vulnerabilità fisica da frane a cinematica lenta (Fig. 5.9), adottando come unità di zonazione i territori comunali.

### 5.2 La zonazione a media scala: omogeneizzazione e aggiornamento dei PsAI-Rf

La necessità di omogeneizzare i Piani Stralcio, da una parte, e l'esigenza di un loro ulteriore adeguamento e miglioramento, dall'altra, sono stati già introdotti e discussi in un precedente paragrafo. Qui si aggiunge che il primo di tali obiettivi è reso ancora più urgente dal Geoportale Nazionale (GN) – che rappresenta un importante strumento di divulgazione delle informazioni e, proprio per questo, deve fare riferimento a prodotti che siano il più possibile confrontabili tra loro – oltre che dalle significative modifiche delle norme in materia ambientale (Direttiva europea 2000/60/CE) che hanno condotto alla istituzione in Italia di otto Distretti Idrografici il cui territorio di competenza copre l'intero territorio nazionale (D.L. 152/2006).

Con riferimento al GN si osserva che gli obiettivi principali perseguiti sono quelli di "promuovere e diffondere l'utilizzo dei Sistemi Informativi Territoriali, di rendere le informazioni di carattere ambientale e territoriale disponibili – senza alcun onere – ad un pubblico vasto anche di non addetti ai lavori, tenendo in considerazione i progetti e le attività attualmente in corso a livello nazionale ed europeo". In tale ottica all'indirizzo <http://www.pcn.minambiente.it/GN/> è possibile visualizzare ed utilizzare la cartografia di base nazionale

prodotta a seguito dell'accordo integrativo tra Stato-Regioni del 12 ottobre 2000 sul Sistema Cartografico di Riferimento. Le modalità di consultazione del Geoportale Nazionale sono riportate in un manuale scaricabile dal sito [http://www.pcn.minambiente.it/GN/help/esterno/Guida\\_al\\_la\\_consultazione.pdf](http://www.pcn.minambiente.it/GN/help/esterno/Guida_al_la_consultazione.pdf).

Per quanto riguarda i Distretti Idrografici, si sottolinea che a seguito della loro istituzione sono state di fatto accorpate in un unico organismo numerose AdB che avevano operato con criteri autonomi per la redazione dei PsAI-Rf.

Le modalità con le quali superare le attuali difficoltà sono molteplici. Un esempio concreto è qui di seguito illustrato unitamente al contributo che analisi e rilievi ingegneristici possono offrire per un miglioramento dei Piani stralcio, senza avere la pretesa di modificare il livello preliminare della zonazione vigente sul territorio nazionale.

### 5.2.1 La omogeneizzazione dei PsAI-Rf

La proposta di omogeneizzazione dei Piani Stralcio che qui di seguito si sintetizza è stata elaborata nell'ambito del già richiamato progetto PRIN 2007 su "Analisi e zonazione della suscettibilità e pericolosità da frane innescate da eventi estremi (piogge e sisma)". I presupposti di base della proposta, che fa riferimento a Piani redatti con metodologie differenti da AdB differenti, sono essenzialmente rappresentati da: disponibilità di una Carta inventario dei fenomeni franosi il più omogenea possibile, oltre che bene impostata ed elaborata; utilizzazione della teoria classica del rischio nella formulazione proposta da Varnes D.J. (1984); consapevolezza delle difficoltà insite nella valutazione su area vasta della frequenza dei fenomeni franosi.

In tale ottica si è fatto riferimento, da una parte, al Piano elaborato secondo le modalità sintetizzate nel par. 4.3 dall' AdBN LGV e, dall'altra, si è considerata (Fig.

5.10) un'area campione appartenente all'Autorità di Bacino regionale Sinistra Sele che successivamente alla redazione dei Piani, è rientrata all'interno del Distretto Idrografico dell'Appennino meridionale (di cui l'AdBN LGV è l'Ente di riferimento) e per la quale si disponeva di una Carta Inventario dei Fenomeni Franosi elaborata con i medesimi criteri adottati dall'AdBN LGV, pur avendo sviluppato il Piano con procedure completamente differenti.

Sulla base di tali presupposti, la procedura prescelta per la omogeneizzazione della zonazione del rischio è stata applicata ricorrendo al codice di calcolo LARA 2002 (Cascini L., 2002b) che, al suo interno, implementa il flusso di operazioni riportate in Figura 5.11 e la cui applicazione richiede la disponibilità, in formato digitale vettoriale e georeferenziato, dei seguenti tematismi: *Carta Inventario dei Fenomeni franosi; Carta dell'urbanizzato; Carta delle infrastrutture; Carta dei Parchi nazionali e regionali; Carta del danno potenziale e delle strutture molto vulnerabili; Carta del grado di sismicità dei Comuni.*

Il confronto tra la zonazione presente nella Carta del Rischio da Frana redatta dall'Autorità di Bacino regionale Sinistra Sele nell'ambito del PsAI-Rf e quella ottenuta applicando il codice di calcolo LARA 2002 (Fig. 5.12), evidenzia significative differenze nella classificazione delle aree a rischio da frana da imputare al fatto che la metodologia prescelta per la omogeneizzazione, a differenza di quella di partenza, consente di distinguere le aree a rischio da quelle di attenzione, facendo ricadere nella seconda classe quelle aree non urbanizzate all'interno delle quali si riconosce un ben determinato livello di pericolosità da frana. A ciò si deve aggiungere che la procedura utilizzata per sviluppare l'esempio risulta più cautelativa per quanto riguarda il livello di rischio attribuito agli elementi esposti che interagiscono con fenomeni franosi a massima velocità attesa alta e che viene sempre assunto "molto elevato" (R4).

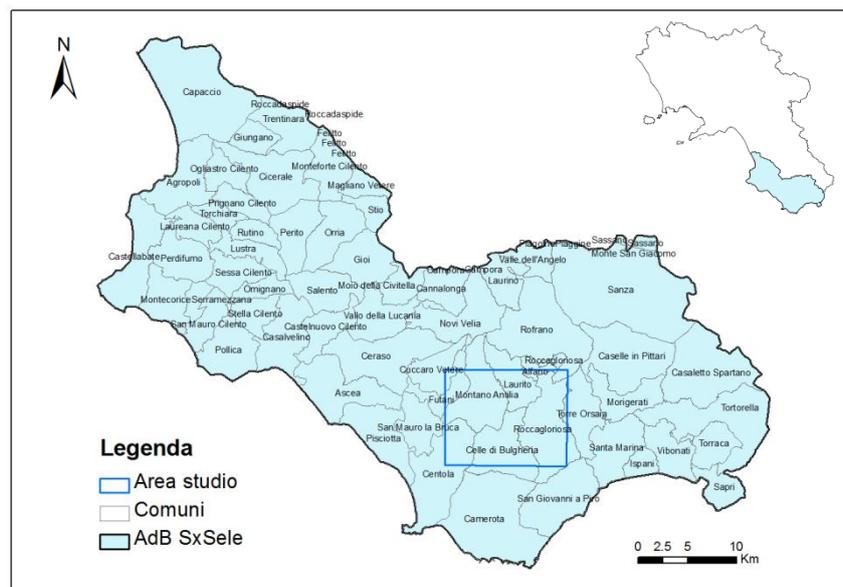


Figura 5.10 – Territorio dell'AdB regionale Sinistra Sele ed area campione nella quale si è operata la omogeneizzazione del PsAI-Rf.

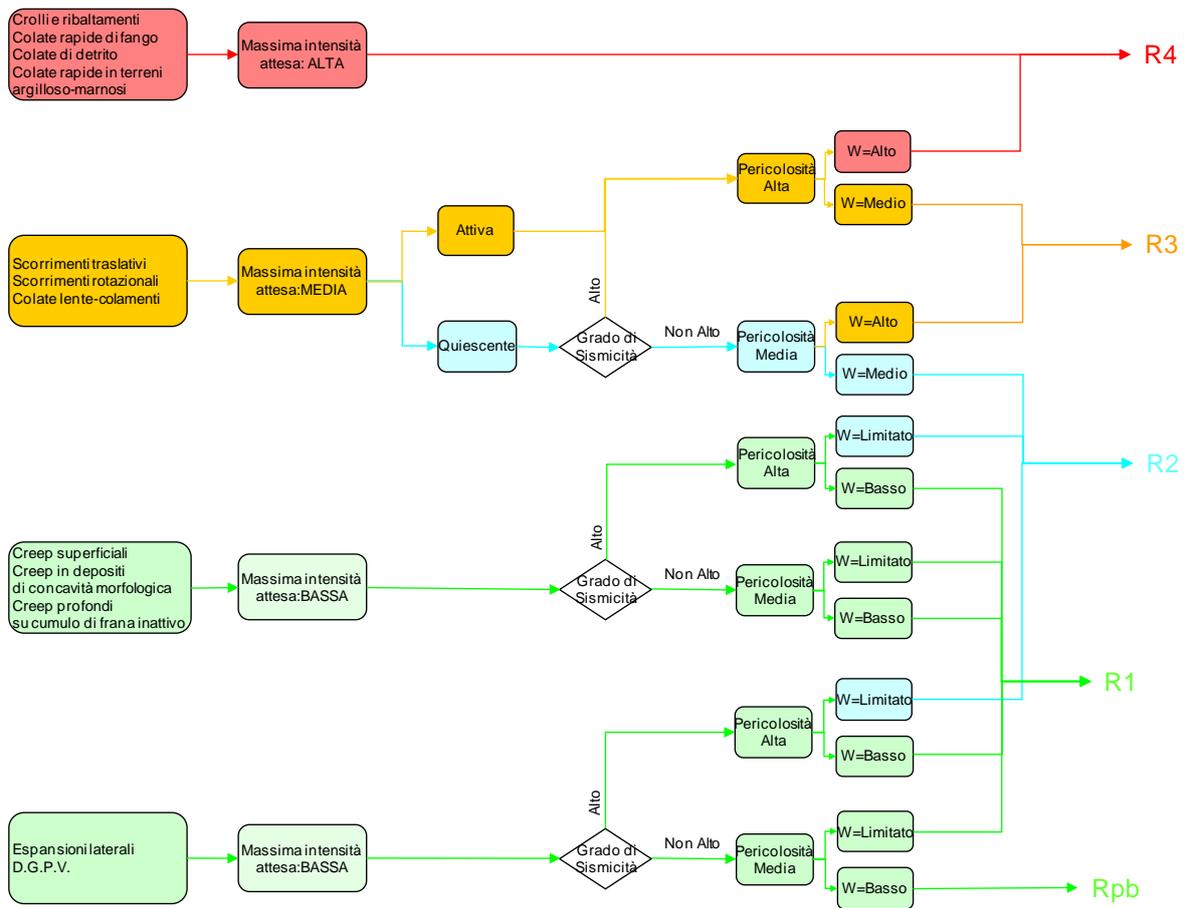


Figura 5.11 – Operazioni implementate nel codice di calcolo LARA 2002.

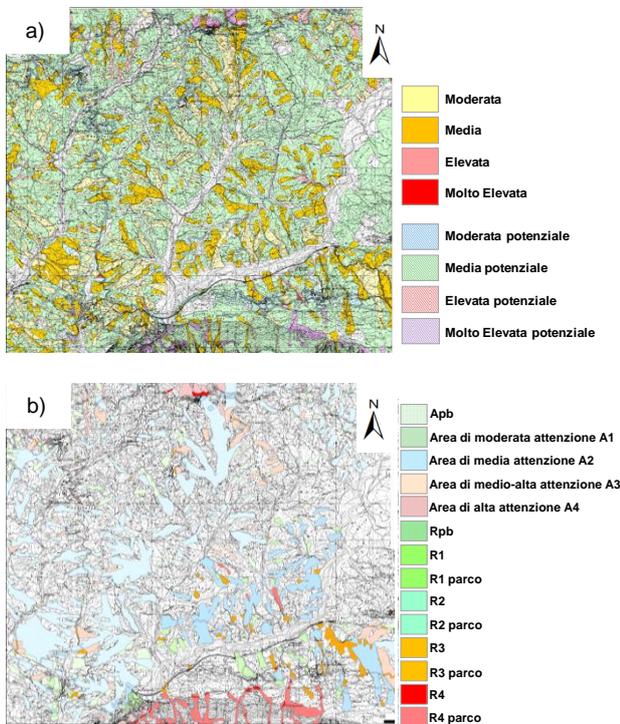


Figura 5.12 - Carta del Rischio da frana a scala 1:25.000 dall'AdB Sinistra Sele (a) e quella ottenuta con il codice di calcolo LARA 2002 e la procedura dell'AdBN LGV (b).

### 5.2.2 L'aggiornamento dei PsAI-Rf per le frane rapide

Esempi di una più accurata definizione delle aree classificate R4 nei PsAI-Rf sono, ancora una volta, forniti dalla AdBN LGV che, successivamente alla approvazione dei Piani, ha sviluppato una serie di approfondimenti in alcuni Comuni potenzialmente sede di fenomeni di flusso rapido. Gli studi in questione si pongono l'obiettivo di una più accurata individuazione sia delle aree di monte, sede dei fenomeni di primo distacco, e sia di quelle di invasione localizzate nelle zone di valle senza, tuttavia, modificare l'impianto procedurale alla base della stima qualitativa del rischio (Fig. 4.8).

In tale ottica, nei Comuni pilota si sono preliminarmente sviluppati, a scala 1:5.000, i medesimi studi geologici svolti alla scala del Piano (1:25.000). Inoltre, per il ridotto spessore delle coltri piroclastiche (1-3 m in genere), le zone potenzialmente sede dei fenomeni di innesco e quelle ad esse adiacenti sono state investigate con indagini in sito semplici (fioretture, pozzetti di ispezione, etc.) ma, in ogni caso, tali da consentire lo sviluppo di una carta delle coperture più aderente alla realtà rispetto a quella elaborata esclusivamente sulla base di rilievi di natura geologica.

Con l'ausilio di un elaborato così definito, oltre che di un numero contenuto di misure di suzione in sito e di parametri geotecnici derivanti da alcune prove di

laboratorio integrati da dati di letteratura, si è quindi applicato il modello fisicamente basato TRIGRS (Baum et al., 2002) che accoppia lo schema di pendio indefinito, per la valutazione delle condizioni di stabilità, ad un semplice modello idrologico, di tipo transitorio, per l'analisi del regime delle pressioni neutre.

L'intero volume valutato come instabile nelle zone di innesco si è, quindi, ritenuto suscettibile di liquefazione statica e la sua evoluzione verso valle si è modellata con il codice di calcolo FLO-2D (O'Brien et al., 1993). I dati di input assunti nelle analisi sono rispettivamente rappresentati da: un idrogramma di forma triangolare nella sezione di chiusura dell'area sede dei fenomeni di primo distacco; una portata al colmo stimata, in funzione dell'entità dei volumi di innesco, con la relazione empirica di Rickenmann D. (1999); durata dell'evento e tempo di occorrenza della portata al colmo in accordo con i dati sperimentali e le indicazioni presenti nella letteratura scientifica; parametri reologici della miscela solido-acqua, nel modello alla Voellmy, derivanti da analisi a ritroso di eventi similari occorsi in aree limitrofe.

Le zone di innesco e di invasione che scaturiscono dalle analisi numeriche sono confrontate, in Figura 5.13, con gli studi geologici a scala 1:5.000 e con la "Linea rossa" fornita a scala 1:25.000 dalla procedura illustrata nella Figura 4.3.

Il confronto evidenzia che le aree potenzialmente sede di fenomeni di primo distacco definite con TRIGRS rappresentano complessivamente un sottoinsieme di quelle individuate con l'ausilio dei soli criteri geologici. Viceversa, le aree di invasione sono tra loro comparabili per quanto riguarda i fenomeni tipo colate rapide di fango, risultando entrambe meno sviluppate di quelle perimetrate, a scala 1:25.000, nei PsAI-Rf con i metodi euristici. Risultato questo che assume una grande valenza dal punto di vista applicativo in quanto rende possibile una significativa riduzione delle aree classificate a rischio R4, con evidenti effetti benefici in termini di pianificazione territoriale.

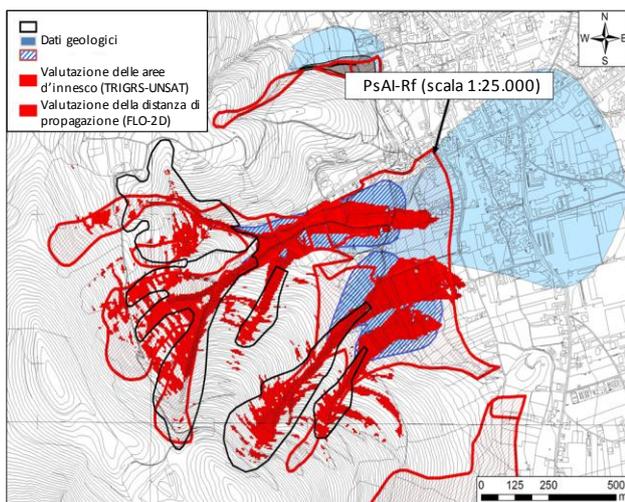


Figura 5.13 – Confronto, per il Comune di Airola (BN), tra le aree di invasione stimate nel PsAI-Rf e quelle derivanti dall'approfondimento delle conoscenze a scala 1:5.000.

### 5.2.3 L'aggiornamento dei PsAI-Rf per le frane lente

Gli esempi che mostrano come sia possibile conseguire risultati più avanzati per l'analisi del rischio indotto da frane a cinematica lenta, pur facendo riferimento all'impianto del PsAI-Rf, sono ormai molteplici nella letteratura e si riferiscono sia a frane superficiali e sia a frane profonde.

I progressi delle conoscenze recentemente registrati nello studio delle frane superficiali in terreni a grana fine, ritenuti di immediata applicazione nell'adeguamento dei PsAI-Rf che sembrano invece quasi del tutto ignorare questa tipologia di fenomeni, sono illustrati in Ciarleo et al. (2014). Esempi di studi volti all'approfondimento di frane profonde sono discussi in Cascini et al. (2013a; Peduto et al., 2014) che evidenziano come l'uso congiunto dei dati DInSAR e del danno alle strutture consenta una migliore definizione della Carta inventario dei fenomeni franosi e del loro stato di attività, con conseguente miglioramento dell'intero processo che da tale tematismo di base scaturisce.

Focalizzando l'attenzione su questa seconda problematica, e rimandando agli autori per gli approfondimenti sulla metodologia proposta che si avvale della matrice riportata in Figura 5.14a, qui di seguito si mostra una applicazione ad un'area di studio, dell'estensione di 557 km<sup>2</sup> e comprendente i territori municipali di 21 Comuni della Regione Campania, al cui interno sono cartografate 167 frane, di cui 29 attive e 138 quiescenti.

Per l'area in questione erano disponibili: una carta topografica a scala 1:5.000; le carte tematiche (Geologica, Geomorfologica, Inventario dei fenomeni franosi) prodotte a scala 1:25.000 nell'ambito del PsAI-Rf; i dati acquisiti sia dal sensore ERS (208 immagini su orbita ascendente nel periodo settembre 1992 – settembre 2000; 134 immagini su orbita discendente nel periodo novembre 1992 – dicembre 2000) e sia dal sensore ENVISAT (52 immagini su orbita ascendente nel periodo novembre 2002 – luglio 2010; 49 immagini su orbita discendente nel periodo marzo 2003 – giugno 2010). Con riferimento all'area di studio era, altresì, disponibile il database del rilievo del danno alle strutture/infrastrutture stradali condotto da tecnici qualificati nel corso delle attività svolte per la redazione del PsAI-Rf (anno 2000).

L'analisi eseguita evidenzia, innanzitutto, che con la metodologia proposta è stato possibile definire lo stato di attività su 116 frane, vale a dire il 70% circa dell'intero campione disponibile nell'area di studio (ovvero frane a cinematica lenta coperte sia da dati ERS e sia da dati ENVISAT). I risultati conseguiti indicano, a loro volta, che 33 frane sono da ritenere attive ed 83 risultano quiescenti. Comparando questi risultati con quanto riportato nella Carta Inventario del PsAI-Rf (Fig. 5.14b), scaturisce che lo stato di attività di 91 frane risulta confermato mentre, per le rimanenti 25, 19 passano da quiescenti ad attive e 6 da attive a quiescenti (Fig. 5.14c), dato questo ulteriormente validato da un ulteriore rilievo del danno eseguito nel 2012 su un sottoinsieme significativo dell'area di studio.

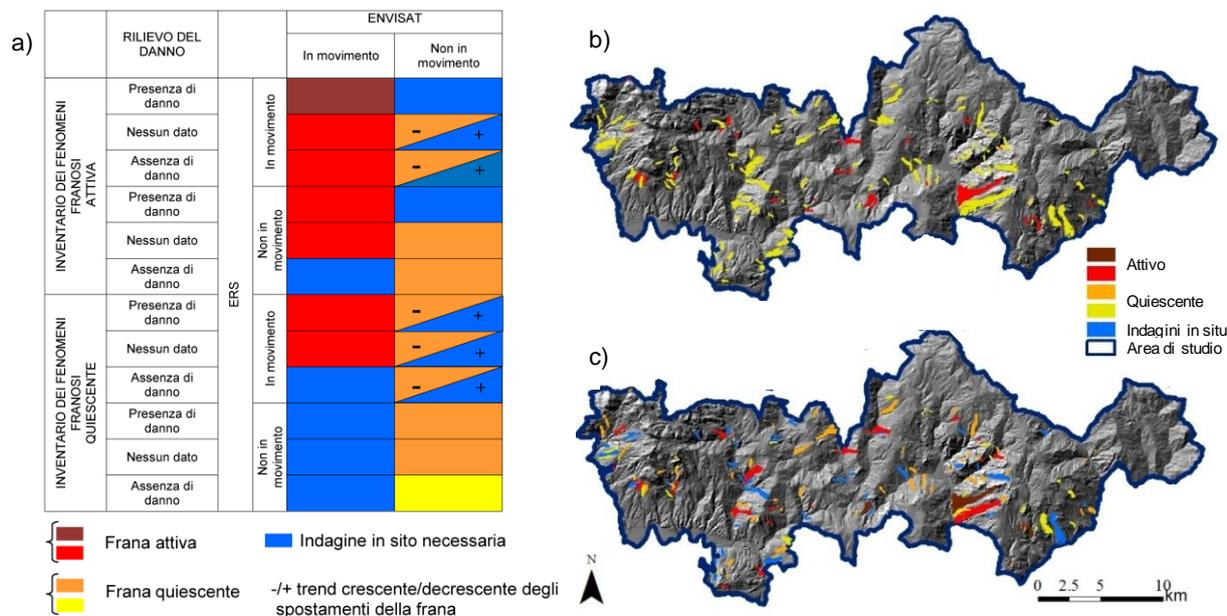


Figura 5.14 – Matrice DInSAR-danno (a); stato di attività dei fenomeni franosi riportato nella Carta Inventario (b) e suo aggiornamento (c) sulla base dell'impiego della matrice DInSAR-danno (modificate da Cascini et al., 2013).

### 5.3 La zonazione a grande scala: il ruolo dei modelli geotecnici (1:5.000)

Una ulteriore prospettiva di sviluppo per gli studi riguardanti le frane a cinematica rapida è rappresentata dalla quantificazione del rischio a scala di dettaglio nelle aree di interesse prioritario individuate dai PsAI-Rf e/o dalle curve F-N. Questo obiettivo può essere perseguito attraverso l'approccio definito *Quantitative Risk Assessment* (QRA) che è di importanza strategica per una molteplicità di motivi quali: una più avanzata pianificazione territoriale e/o la definizione degli scenari di intervento di mitigazione del rischio, a scala comunale; l'individuazione di una scala delle priorità per la progettazione e realizzazione delle azioni di mitigazione del rischio all'interno di un medesimo territorio comunale; la stima quantitativa della riduzione del rischio conseguente all'esecuzione di interventi strutturali.

In considerazione della rilevanza che l'argomento riveste, e che è destinato a rivestire sempre di più in futuro, qui di seguito si riporta la prima esperienza maturata in Italia e, in particolare, nel Comune di Nocera Inferiore (SA) che, nell'ambito del più volte citato progetto SafeLand, ha rappresentato l'area test di riferimento per lo sviluppo di un processo partecipato finalizzato all'individuazione di scenari di intervento di mitigazione del rischio da flussi rapidi condivisi con i portatori di interesse (*stakeholders*).

Per i progressi delle conoscenze nella previsione dell'evoluzione spazio-temporale delle frane a cinematica lenta, nel presente paragrafo si suggeriscono, altresì, alcune prospettive di sviluppo per l'analisi e la zonazione del rischio connesso a tali fenomenologie che indicano la concreta possibilità di passare, negli studi a grande scala, da rilievi di campo e metodi propri della Geologia a dati di input e procedure tipiche dell'Ingegneria, le uniche in grado di consentire una stima quantitativa della pericolosità e, quindi, del rischio.

#### 5.3.1. Frane a cinematica rapida

Il QRA è finalizzato alla definizione della probabilità annuale di perdita della vita umana per un particolare individuo, ad esempio quello maggiormente esposto al rischio. In considerazione dell'elevato grado di dettaglio necessario, questi studi si sviluppano essenzialmente ad una scala compresa nell'intervallo 1:2.000 ÷ 1:5.000 (Wong H.N., 2005) e richiedono informazioni accurate su una molteplicità di aspetti (Fell et al., 2005) tra i quali si segnalano: la caratterizzazione del fenomeno franoso (classificazione, volume, velocità, meccanismo d'innescò, distanza di propagazione, etc.) e la stima della frequenza (probabilità annuale) di accadimento; l'identificazione e la quantificazione degli elementi esposti al rischio (persone, proprietà, etc.), la loro probabilità spaziale e temporale nonché la loro vulnerabilità.

L'applicazione alla quale si fa qui riferimento è stata finalizzata alla definizione del rischio da flussi rapidi che, nel Comune di Nocera Inferiore, si originano nelle coltri di origine piroclastica che ammantano il Monte Albino e che minacciano la popolazione residente alle sue pendici (SafeLand Deliverable D2.11, 2011). Il punto di partenza dello studio a grande scala (1:5.000) è rappresentato dagli esiti di un lavoro svolto a media scala (1:25.000) (Cascini et al., 2013b), che ha evidenziato la possibile occorrenza di tre differenti tipologie di flusso rapido (colate rapide di fango, flussi iperconcentrati e frane da versanti aperti) ed una rilevante complessità del contesto geologico nel quale dette fenomenologie traggono origine.

Alla luce del quadro di riferimento così definito si è, quindi, ritenuto di subordinare la valutazione della pericolosità, a grande scala, all'esecuzione di approfondite indagini in sito e di laboratorio, quest'ultime programmate ed interpretate anche con l'ausilio della letteratura disponibile sui terreni piroclastici della Campania (Bilotta et al., 2005).

In particolare, in sito si sono investigate le verticali

riportate in Figura 5.15a che fornisce anche informazioni sulla tipologia delle indagini eseguite per la redazione di una Carta delle coperture particolarmente accurata (Fig. 5.15b). In sito si sono, altresì, eseguite misure di suzione con tensiometro portatile che, al di là della loro modesta dispersione, hanno rivelato che nei mesi autunnali la suzione non supera in valore assoluto i 10 kPa, fino alla profondità di 120 cm dal piano campagna.

Le prove di laboratorio, eseguite su campioni indisturbati prelevati in punti significativi dei versanti, hanno consentito, innanzitutto, di individuare la presenza di due differenti litotipi nei terreni di copertura, rispettivamente identificati con le lettere A' e B'. Il litotipo A' comprende i terreni con prevalente frazione fine, porosità più elevate e pesi specifici della frazione solida più bassi dei corrispondenti valori del litotipo B' che, usualmente, si rinviene stratigraficamente sovrapposto al precedente. I valori medi dei parametri di resistenza al taglio (coesione efficace  $c'$  e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$ ), stimati con prove di taglio diretto a contenuto d'acqua naturale, che competono ai litotipi così definiti sono riassunti nella Figura 5.16, unitamente ad altre grandezze significative.

Con l'ausilio dei dati acquisiti si è, quindi, proceduto all'analisi della pericolosità che per le colate rapide di fango si è sviluppata, in analogia con quanto illustrato nel par. 5.2.2, con il modello TRIGRS (Baum et al., 2002) per l'innescò e con il modello FLO-2D (O' Brien et al., 1993)

per la simulazione della propagazione dei volumi mobilitati da piogge con periodo di ritorno  $T = 200$  anni. La pericolosità dei flussi iperconcentrati si è analizzata per piogge relative a tre differenti periodi di ritorno ( $T = 50, 100$  e  $200$  anni) stimando, con il modello fisicamente basato LISEM (De Roo et al., 1996), i volumi dei terreni di copertura erosi lungo le incisioni presenti sui versanti (De Chiara G., 2014).

Per quanto riguarda i dieci versanti aperti – potenzialmente sede di fenomeni simili a quello che, nel marzo 2005, causò 3 vittime e danni rilevanti ad alcuni edifici (Pagano L., 2009) – il periodo di ritorno dei fenomeni di primo distacco si è posto pari a  $T = 20$  in quanto si è fatto indistintamente riferimento ai 10 versanti ed ai 4 eventi che si sono complessivamente verificati dal 1935 ad oggi. La massima distanza di propagazione delle frane potenziali di primo distacco è stata stimata portando in conto la forma e le dimensioni dei conoidi di detrito attivi individuati, sulla base di criteri geomorfologici, a scala 1:10.000.

Con riferimento agli elementi esposti al rischio, le informazioni sulle famiglie residenti (in termini di genere ed età dei componenti il nucleo familiare) sono state fornite dall'Ufficio di Protezione Civile del Comune di Nocera Inferiore mentre i dati sugli edifici (tipologia strutturale, numero di piani, destinazione d'uso) sono stati acquisiti nel corso di accurati rilievi in sito.

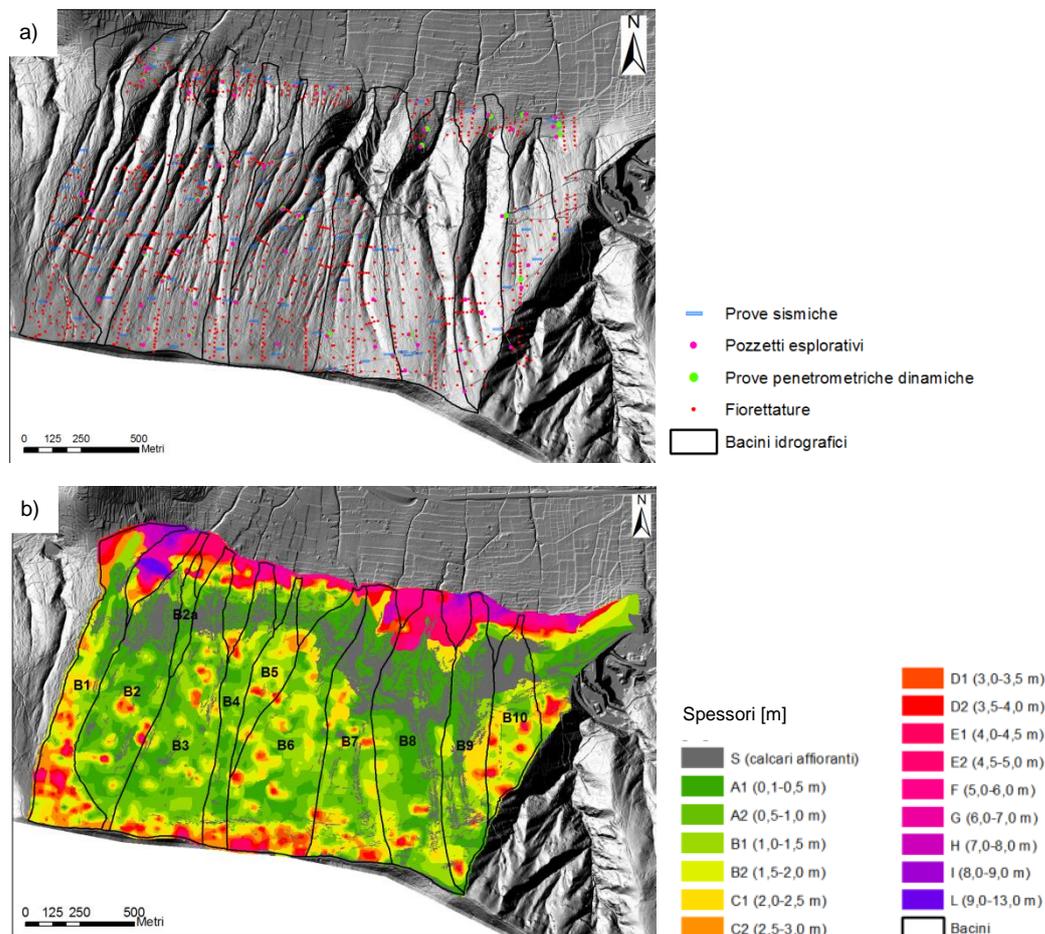
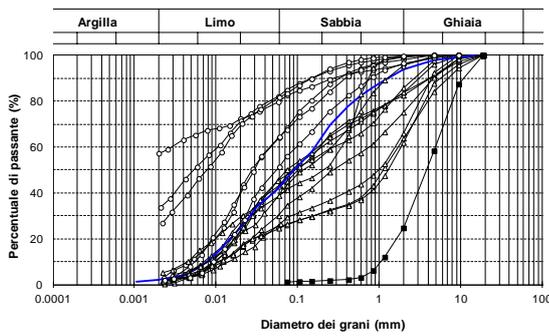


Figura 5.15 – Indagini in sito (a) e carta delle coperture (b) per il versante del Monte Albino nel Comune di Nocera Inferiore (SA).



Classe	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )		$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )		e	
	min	max	min	max	min	max	min	max
A'	25,1	26,3	10,1	15,7	6,8	10,8	1,42	2,84
B'	25,5	27,3	11,8	13,4	7,5	9,7	1,67	2,44

Nota:  $\gamma_s$  = peso specifico della frazione solida;  $\gamma_d$  = peso dell'unità di volume del terreno asciutto;  $\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno a contenuto naturale d'acqua; e = indice di porosità. Le prove di laboratorio sono state condotte su 15 campioni di terreno piroclastico (n. 6 di classe A' e n. 9 di classe B').

Classe	c' (kPa)	$\phi'$ (°)
A'	6,1	30,7
B'	4,1	37,3

Nota: Le prove di taglio diretto sono state condotte su provini ottenuti da n. 8 campioni indisturbati di terreno piroclastico (n. 4 di classe A' e n. 4 di classe B').

Figura 5.16 – Granulometria e proprietà fisico-meccaniche dei litotipi presenti sul Monte Albino (Nocera Inferiore – SA)

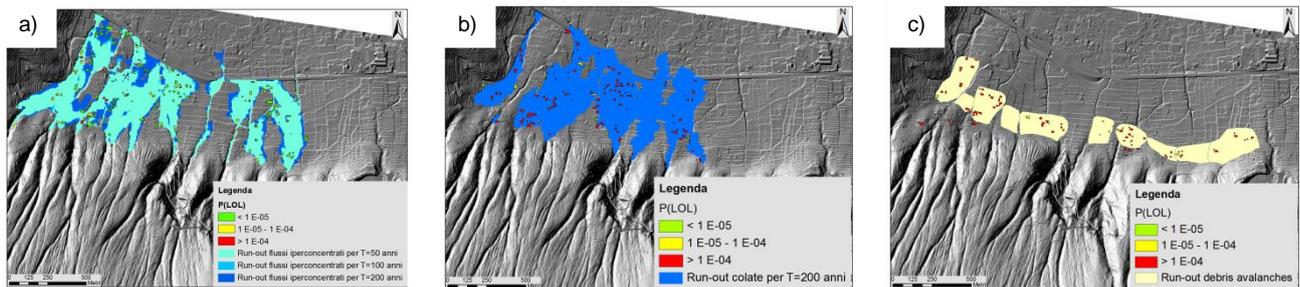


Figura 5.17 – Probabilità di perdita della vita per le persone residenti nell'area pedemontana di Monte Albino (Nocera Inferiore, SA), maggiormente esposte al rischio da flussi iperconcentrati (a), colate rapide di fango (b) e frane su versanti aperti (c).

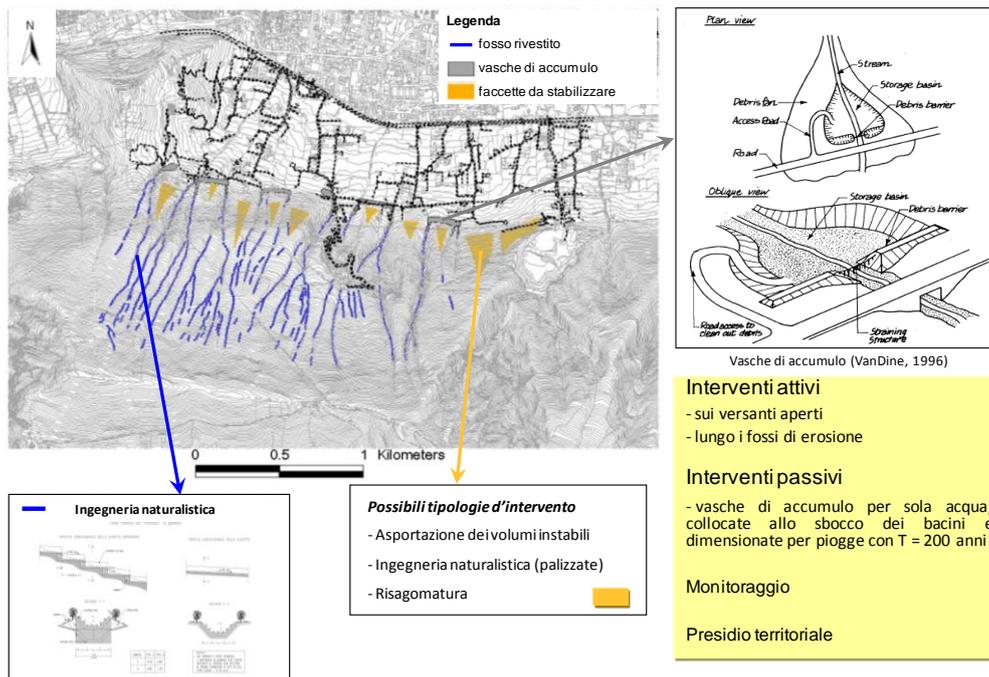


Figura 5.18 – Soluzione di compromesso proposta nel progetto SafeLand per gli interventi di mitigazione del rischio sul versante del Monte Albino, Comune di Nocera Inferiore (SA) (modificata da SafeLand Deliverable D5.7, 2011).

Non è superfluo sottolineare che i dati acquisiti sono di primaria importanza per valutare, da un lato, la probabilità spazio-temporale degli elementi esposti e, dall'altro, la vulnerabilità del costruito nei riguardi di flussi rapidi di differente natura e intensità.

Intersecando, quindi, le aree di invasione dei flussi associati alle fenomenologie innanzi citate con

l'urbanizzato esistente e tenendo conto della vulnerabilità dei residenti (SafeLand Deliverable D5.7, 2011), con la metodologia illustrata nel par. 2.2 si è, infine, ottenuta la stima quantitativa del rischio annuale di perdita di vita umana per gli individui maggiormente esposti (*Individual Risk*).

La Figura 5.17 evidenzia che, in alcune porzioni

dell'area di interesse, il rischio così calcolato supera il valore di  $10^{-4}$ /anno, corrispondente alla soglia di accettabilità da frane su versanti naturali che incombono su insediamenti esistenti (Tabella 2.1) per come stabilita da GEO (1998).

Un valore del rischio così elevato, come quello riportato nella Figura 5.17, ha evidenziato quindi la necessità di ricorrere a interventi di mitigazione che sono stati individuati facendo riferimento ad un budget pari a circa il 35% della somma necessaria per ridurre a valori accettabili il rischio di perdita di vita umana, posto da tutte le fenomenologie in precedenza citate.

In un quadro di riferimento così definito e sulla base di considerazioni di carattere tecnico, economico, ambientale e sociale si sono inizialmente sviluppati tre differenti scenari di intervento che sono stati successivamente discussi in un articolato ed approfondito processo partecipato (SafeLand Deliverable D5.7, 2011) al quale hanno preso parte 16 partecipanti selezionati dallo IASA di Laxenburg (Austria) secondo ben definiti criteri.

Al termine del processo, che ha visto la costante ed attenta partecipazione di tutte le persone coinvolte, si è individuata una "soluzione di compromesso" (Fig. 5.18) che è risultata condivisa da un'ampia maggioranza e che soddisfa in pieno i requisiti tecnici, economici ed ambientali che ogni intervento sostenibile dovrebbe soddisfare.

E', altresì, interessante sottolineare la disponibilità che tutti i partecipanti al processo hanno manifestato in merito alla improrogabile necessità di un sistema di allarme, che si è ritenuto indispensabile per l'impossibilità di mitigare tutti i rischi con interventi strutturali e per il quale l'unica richiesta avanzata è stata quella dell'efficienza sia del sistema e sia delle modalità di allertamento della popolazione in concomitanza delle fasi emergenziali.

### 5.3.2 Frane a cinematica lenta

Numerosi sono gli esempi di studi che possono essere presi a riferimento per analisi avanzate della suscettibilità e della pericolosità da frane a cinematica lenta. Tra questi si citano quelli che, ancora una volta, utilizzano i rilievi satellitari (Peduto D., 2008; Cascini et al., 2009; Cascini et al., 2010b; Cigna et al., 2012; Cascini et al., 2013a; Herrera et al., 2013; Tofani et al., 2013; Arena L., 2014), come nel caso di Figura 5.19 che fa riferimento ad un'area in frana dell'estensione di circa  $0,3 \text{ km}^2$  del Comune di Ascea (SA), che interagisce con edifici che hanno manifestato danni di diversa severità nel corso del tempo.

E' interessante osservare che, nell'esempio in discussione, la disponibilità di informazioni interferometriche su entrambe le orbite ha consentito di individuare le direzioni prevalenti di movimento (Manzo et al., 2006) dei fenomeni che hanno sede sui versanti (scorrimenti rotazionali - colata attivi e fenomeni di creep).

Rimandando a Cascini et al. (2011) per ulteriori dettagli, preme in questa sede sottolineare che la generazione di mappe di velocità dello spostamento sulla base di dati DInSAR ha messo in luce un progressivo

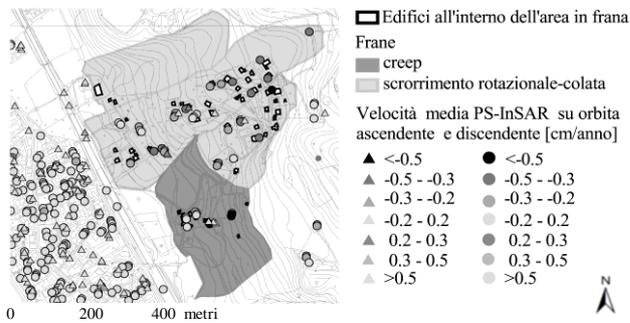


Figura 5.19 – Fenomeni franosi nel Comune di Ascea con sovrapposizione dei PS ottenuti da elaborazioni su orbita ascendente (da settembre 1992 a settembre 2000) e discendente (da luglio 1992 a gennaio 2001) (da Cascini et al., 2011).

incremento dell'estensione delle aree in frana con velocità superiori a  $2 \text{ mm/anno}$ , sia per le componenti orizzontali e sia per quelle verticali; l'incremento di quest'ultime è apparso, inoltre, più significativo nelle zone sommitali.

Un ulteriore esempio di possibile analisi avanzata della pericolosità è fornito in Cascini et al. (2014) che introducono e schematizzano (Fig. 5.20) tre modalità di evoluzione delle frane lente che appaiono molto diverse tra loro nei periodi asciutti, nella stagione piovosa e in concomitanza di riattivazioni occasionali. Sulla base di questi andamenti tipici, Cascini et al. (2014) mostrano, quindi, come sia possibile prevedere l'evoluzione temporale delle frane attivate dagli eventi pluviometrici con l'ausilio di un numero esiguo di misure di spostamenti registrati a partire dall'inizio della stagione delle piogge.

E' appena il caso di sottolineare come l'uso congiunto dei rilievi satellitari e del diagramma di Figura 5.20 lasci intravedere la concreta possibilità di pervenire, in tempi brevi, ad una previsione spazio-temporale in aree di rilevante estensione delle frane a cinematica lenta che, fino a poco tempo fa, era del tutto irrealistica con gli strumenti di misura e con i modelli di previsione disponibili.

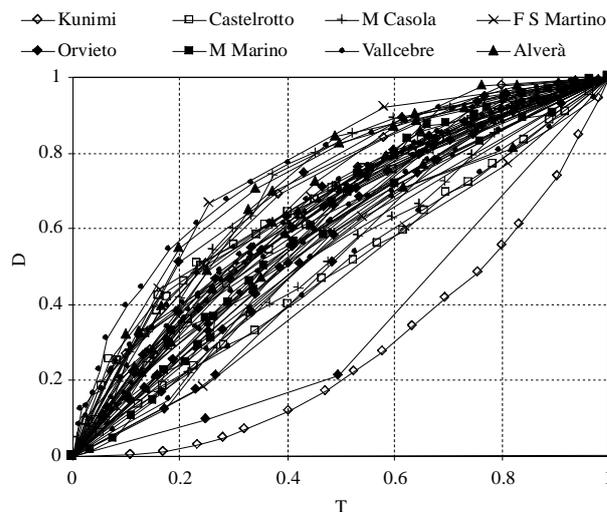


Figura 5.20 – Andamenti degli spostamenti normalizzati per i casi di studio analizzati (da Cascini et al., 2014).

#### 5.4 Approfondimenti a scala di versante (1:1.000) per le frane a cinematica rapida

Le analisi di tipo ingegneristico per essere efficaci, si devono basare su modelli che siano *i)* in grado di riprodurre i caratteri salienti delle fenomenologie oggetto di studio, *ii)* implementati a valle di un'appropriate conoscenza della costituzione del sottosuolo, del regime delle pressioni neutre e delle proprietà meccaniche dei terreni e *iii)* calibrati e validati prima di essere utilizzati a fini applicativi.

In presenza di tali requisiti, l'analisi quantitativa del rischio a grande scala può essere in genere svolta con efficacia utilizzando i modelli di calcolo in commercio, siano essi semplici o sofisticati. In alcuni casi, tuttavia, il perseguimento di risultati veramente avanzati non può prescindere dal contributo, almeno in fase interpretativa, di alcune proposte innovative non ancora codificate in prodotti di uso corrente nella pratica professionale.

Per la rilevanza che l'argomento riveste, qui di seguito si riportano due differenti esempi di analisi a scala di versante che illustrano rispettivamente il contributo di uno strumento di calcolo, ancora in fase sperimentale, nella comprensione di problematiche particolarmente complesse e gli approfondimenti di campo che si rendono talora necessari per una stima quantitativa del rischio.

##### 5.4.1 Il contributo della geomeccanica per le frane a cinematica rapida

I paragrafi precedenti hanno mostrato i significativi progressi della zonazione del rischio da fenomeni di flusso che si possono conseguire nella regione Campania con i metodi dell'equilibrio limite. A valle di tali analisi deve necessariamente assumersi l'instaurarsi di fenomeni di liquefazione statica in tutte le coltri piroclastiche valutate instabili. Ipotesi sicuramente cautelativa in quanto, come evidenziato in Cascini (2005), nel corso di un evento solo una parte dei fenomeni di primo distacco evolve verso valle come fenomeni tipo flusso.

Da quanto in precedenza detto discende la necessità di avvalersi di modelli di calcolo avanzati e di prove di laboratorio, anch'esse non convenzionali, che siano in grado di discriminare la possibilità o meno dell'accadimento di fenomeni di liquefazione statica in terreni che, prima dell'evento, sono nella maggior parte dei casi caratterizzati da una condizione di parziale saturazione.

La letteratura scientifica è ricca di spunti e contributi sull'argomento sia a scala dell'elemento di volume (Chu et al., 2003) e sia di versante (Take et al., 2004). Nel sottolineare la rilevanza di tali contributi, si deve tuttavia osservare che il problema è ben lungi dall'essere risolto dal punto di vista applicativo in quanto sussistono ancora numerose questioni che richiedono adeguati chiarimenti prima di procedere all'applicazione di metodologie non ancora calibrate e validate su ben documentati casi di studio.

Un tipico esempio è fornito in tal senso nella Figura 5.21, che riassume i risultati di un'analisi tenso-deformativa accoppiata, eseguita con il modello

GeHomadrid (Pastor et al., 2002, Cascini et al., 2013c) per un pendio schematico sede di due moti filtrazione, di cui uno con linee di flusso verticali e l'altro con componenti di moto significative in direzione orizzontale.

Come risulta evidente, entrambe le condizioni di flusso inducono, in un terreno sciolto, deformazioni plastiche tali da comportare il collasso del pendio ed una elevata accelerazione della massa instabile (Fig. 5.21 b,d). Viceversa, analisi classiche all'equilibrio limite, che analizzano in forma disaccoppiata l'evoluzione delle pressioni neutre e la stabilità del pendio, forniscono un coefficiente di sicurezza significativamente superiore all'unità per lo schema con linee di flusso verticali (Fig. 5.21a) e pari all'unità nel secondo caso (Fig. 5.21c).

E' interessante sottolineare che gli schemi analizzati sono ben lungi dall'essere puramente speculativi rispecchiando situazioni tipiche della Regione Campania dove le coltri piroclastiche sovrastano differenti basamenti che potrebbero considerarsi molto meno permeabili (schema 2) o molto più permeabili (schema 1) rispetto alle sovrastanti coltri.

E proprio quest'ultime, per una molteplicità di ragioni illustrate e discusse in Cascini et al. (2013d), sono quelle sede dei fenomeni più complessi, maggiormente ricorrenti e dalle conseguenze più gravi, in apparente contraddizione con quanto scaturisce da analisi semplici basate sui metodi tradizionali dell'equilibrio limite.

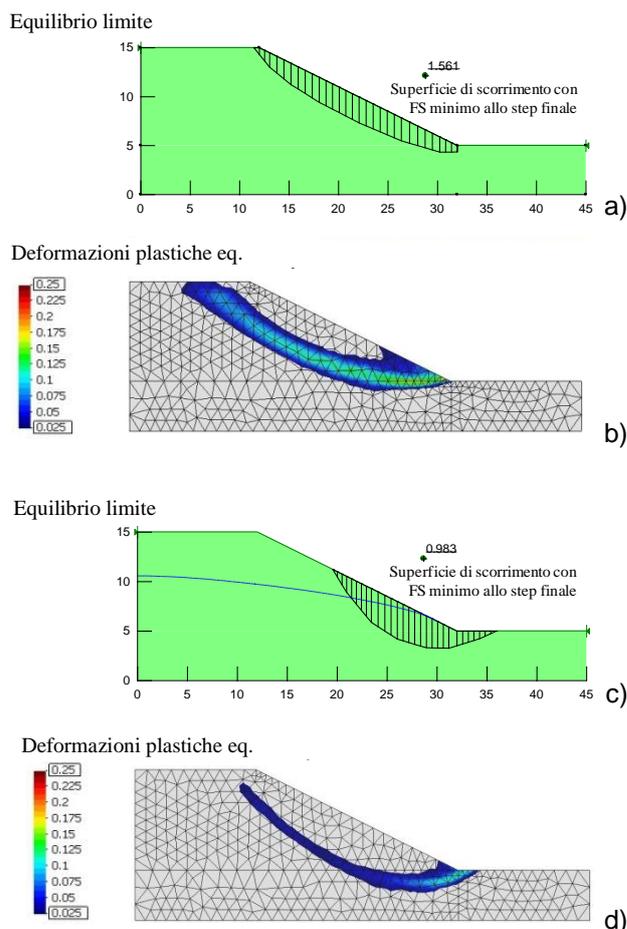


Figura 5.21 – Analisi svolte con linee di flusso verticali, schema 1 (a, b) e parallele al pendio, schema 2 (c, d).

### 5.4.2 Il contributo delle indagini per le frane a cinematica lenta

Numerosi sono nella letteratura scientifica i contributi sui meccanismi che presiedono alla evoluzione, a scala di pendio, delle frane a cinematica lenta spesso caratterizzate da meccanismi di non facile comprensione (Santaloia et al., 2012) che, per essere inquadrati in un contesto organico di riferimento, richiedono talora indagini di campo e studi approfonditi, dal punto di vista temporale oltre che spaziale, di importanza fondamentale per la calibrazione e la validazione dei modelli finalizzati alla previsione dell'andamento nel tempo di pressioni neutre e/o spostamenti.

Con riferimento a quest'ultimo punto, le proposte presenti nella letteratura si riducono significativamente in numero con conseguente mancanza di proposte concrete per il calcolo della pericolosità (P) che, come più volte sottolineato nella presente relazione, è uno degli elementi fondamentali per la quantificazione del rischio per la proprietà, tipicamente connesso a questa tipologia di fenomeni franosi.

Un esempio significativo in tal senso è fornito dalla frana di Orvieto (Fig. 5.22) per la quale si disponeva di un pregevole database su costituzione del sottosuolo, regime delle pressioni neutre, proprietà meccaniche dei terreni e valori degli spostamenti nello spazio e nel tempo (Tommasi et al., 2006).

Sulla base di tali informazioni, oltre che di ulteriori

analisi svolte in corrispondenza della sezione di Figura 5.23a sui moti di filtrazione (Fig. 5.23b) (Calvello et al., 2009), Cascini et al. (2010a) hanno messo a punto un modello di evoluzione degli spostamenti nel tempo che è stato preliminarmente calibrato e validato (Fig. 5.23c) per poi essere utilizzato per prevederne l'andamento nel tempo in funzione di scenari di piovosità caratterizzati da differenti periodi di ritorno T.

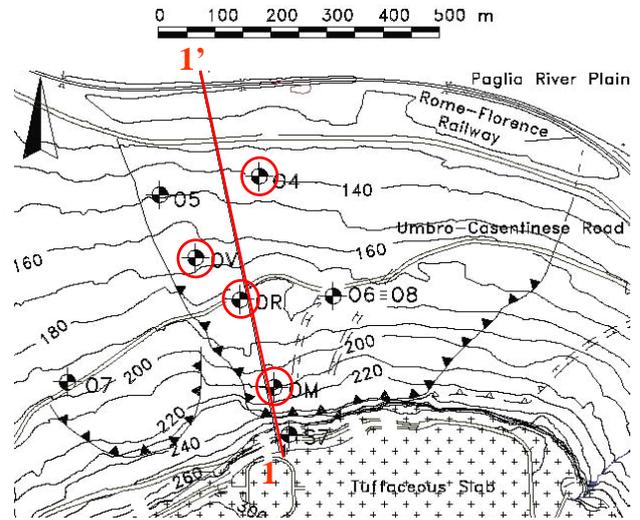


Figura 5.22 – Planimetria della frana di Orvieto (modificata da Tommasi et al., 2006).

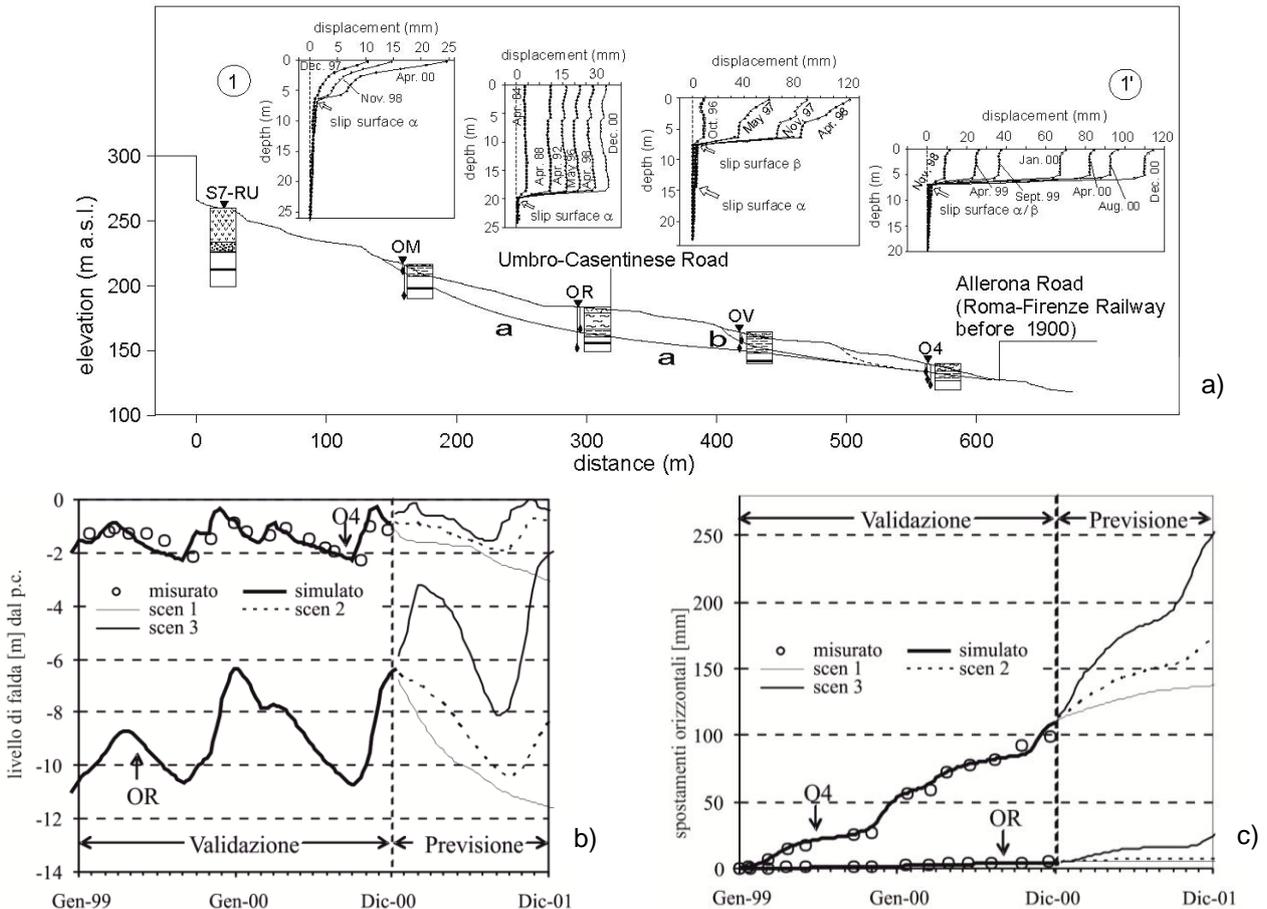


Figura 5.23 – Sezione di calcolo (da Tommasi et al., 2006) (a), pressioni neutre, misurate e modellate, nei piezometri O4 ed OR (b) e previsione degli spostamenti in corrispondenza di O4 ed OR (c) (modificato da Cascini et al., 2010a).

## 6 ASPETTI CENTRALI NELLA GESTIONE DEL RISCHIO

La diffusione delle frane sul territorio nazionale è uno dei principali motivi delle conseguenze, in termini di perdita di vite umane e di danni economici, che si sono sistematicamente registrate nel corso dei secoli e che, in epoche lontane, sono state acuite da effetti collaterali, quali carestie e pestilenze conseguenti agli eventi calamitosi (Orlando G., 1884), mentre nel secolo scorso un ruolo crescente è stato giocato dalla intensa e poco controllata urbanizzazione del territorio, soprattutto a partire dalla fine della seconda guerra mondiale quando l'esigenza primaria era rappresentata dal *costruire* e non dal *dove costruire*.

In presenza di una problematica così rilevante, testimoniata da numerose fonti bibliografiche (per es., Guzzetti et al., 2005) e resa evidente dai PsAI-Rf, è doveroso sottolineare l'attenzione da sempre rivolta in Italia alla mitigazione delle conseguenze causate dai fenomeni franosi. Attenzione messa in evidenza dalla normativa che è stata promulgata nel tempo in materia di Difesa del Suolo che ha costituito, di fatto, il presupposto di base per la gestione attuale del rischio da frana. Per tali argomenti si forniscono qui di seguito alcuni dati essenziali dai quali si prende lo spunto per delineare le prospettive di sviluppo di una gestione integrata del rischio, e degli elementi che ne sono alla base, in una logica di sviluppo sostenibile.

### 6.1 Cenni e considerazioni sulla normativa in Italia

Una descrizione o, anche, la sola elencazione della normativa sviluppata in Italia nel corso dei secoli è, per lo scrivente, proibitiva oltre che fuori contesto nell'ambito della presente relazione. Per tale motivo, rimandando a Lettera F. (2012) per una disamina approfondita dell'argomento, l'attenzione si restringe nel seguito ai provvedimenti adottati a partire dall'inizio del secolo scorso (Fig. 6.1).

In un arco temporale così definito, il primo provvedimento di assoluto rilievo nazionale è rappresentato dal RDL 3267/1923 sul vincolo idrogeologico che, di fatto, modificò in profondità la politica di gestione del territorio. Per la prima volta, infatti, l'attenzione fu spostata dalle aree vallive, nelle quali si concentravano gli interventi di bonifica resi necessari anche dagli eventi calamitosi, al territorio montano sul quale vennero diffusamente imposti vincoli restrittivi sull'uso del suolo non essendo disponibili, all'epoca, le conoscenze scientifiche necessarie per

discriminare le aree stabili da quelle potenzialmente instabili.

Alcuni decenni dopo, ulteriori dettati legislativi (L. 1150/1942, L. 184/1952, Circolare 1866/1957) contribuirono a delineare un quadro di riferimento progressivamente più organico per le azioni di difesa del suolo fino all'alluvione di Firenze che rappresenta uno spartiacque vero e proprio nella politica di salvaguardia del territorio. Le conseguenze di tale evento e l'eco che fece registrare a livello internazionale furono, infatti, tali da rendere improcrastinabile l'avvio di un nuovo e più robusto percorso istituzionale che si concretizzò nella L.183/1989 alla quale si devono ascrivere molti meriti tra i quali di particolare rilevanza sono: l'individuazione del bacino idrografico quale unità fisiografica di riferimento per tutte le azioni di difesa, tutela e pianificazione delle risorse suolo ed acque; l'istituzione delle Autorità di Bacino Idrografico (AdB); l'inquadramento della difesa del suolo nella più ampia materia del governo del territorio e dell'ambiente.

Ed è su questo impianto legislativo che, a seguito della gestione scientifica dell'emergenza del maggio 1998, si innestano il D.L. 180/98 ed i successivi dettati legislativi che hanno dato l'avvio al processo introdotto e discusso, per gli aspetti tecnici, nei precedenti paragrafi.

A valle dell'esperienza maturata nel corso degli ultimi quindici anni, si osserva che nonostante la rilevanza di quanto prodotto in un lasso di tempo relativamente breve non sono mancate le critiche alla zonazione del rischio da frana e, soprattutto, alle norme di attuazione, promulgate per disciplinare l'uso delle aree a rischio elevato (R3) e molto elevato (R4).

La maggior parte di queste critiche sono ascrivibili ad una molteplicità di ragioni che, inizialmente, erano di natura ideologica e strumentale e, successivamente, si sono sempre di più concentrate sui rigidi vincoli imposti sull'uso del suolo da una zonazione basata su metodi euristici.

Pur con i limiti più volte sottolineati nella presente relazione, è opinione dello scrivente che la quasi totalità di queste critiche, alcune delle quali giustificate, nasca da una non chiara comprensione, da parte di molti, degli obiettivi realmente perseguibili con la zonazione attuale che ha il grande merito di indicare un percorso metodologico rigoroso nel quale, per la prima volta, sono messi a fuoco le aree nelle quali i fenomeni franosi hanno sede e gli stretti legami esistenti tra aree di innesco ed aree di invasione degli eventi calamitosi.

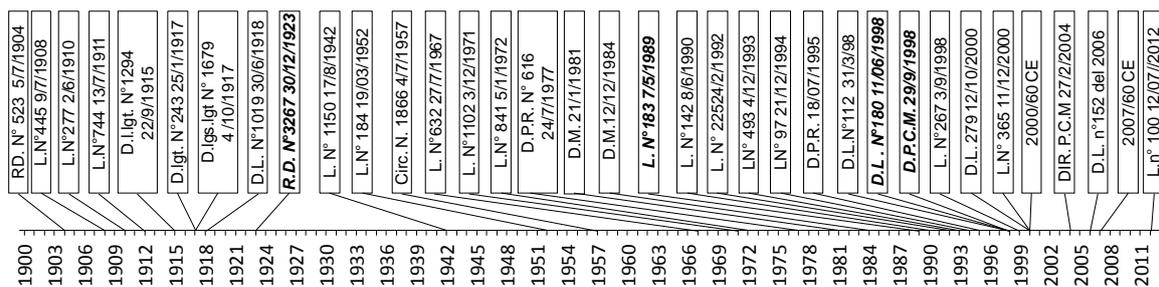


Figura 6.1 – Principali leggi e decreti emanati in materia di Difesa del Suolo a partire dall'inizio del secolo scorso.

Considerazioni differenti scaturiscono, viceversa, per la gestione del rischio che, come discusso nel successivo paragrafo, trae origine da una cultura consolidata nel nostro Paese resa evidente da un semplice confronto tra la evoluzione temporale delle principali leggi emanate in materia di difesa del suolo ed i finanziamenti erogati per fronteggiare una problematica da sempre rilevante.

## 6.2 La gestione attuale del rischio da frana

Nella seconda metà del secolo scorso, un ruolo preminente nell'ottica innanzi delineata è stato giocato dalle emergenze che si sono susseguite sul territorio nazionale e che hanno rappresentato il motore trainante sia per l'impianto legislativo e sia per i finanziamenti erogati dal Governo centrale che, solo recentemente, si sono ridotti in misura significativa per l'incalzare della crisi economica ormai in atto da alcuni anni.

Una ulteriore testimonianza della politica perseguita in Italia è rappresentata dal mancato finanziamento dal 2001, vale a dire dopo solo dieci anni dalla loro predisposizione ed attuazione, degli schemi previsionali e programmatici che, secondo il legislatore, dovevano concorrere a mitigare il rischio per la proprietà e per le persone esposte secondo una logica virtuosa di pianificazione delle risorse economiche nazionali. In altri termini, l'interruzione del processo avviato nel 1990 conferma la prassi consolidata in Italia, più volte ribadita in un recente passato anche dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale che, sugli organi di stampa ed in seno a conferenze programmatiche, ha spesso rimarcato il proprio ruolo nella gestione delle emergenze e non già della prevenzione del rischio.

Prevenzione che, teoricamente, è stata prevalentemente perseguita a livello regionale e locale attraverso la realizzazione negli anni di una miriade di interventi, di entità globalmente significativa dal punto di vista economico ancorché di gran lunga inferiore all'impegno assunto dal Governo centrale a valle delle emergenze.

Anche questa fonte di finanziamento non ha, tuttavia, fornito i risultati attesi in termini di mitigazione del rischio per la sostanziale assenza di azioni sinergiche tra gli Enti competenti in materia di difesa del suolo che, troppo spesso, hanno programmato e realizzato interventi singolarmente apprezzabili, oltre che tecnicamente utili, ma che, in termini di sistema, sono risultati di scarsa efficacia essendo scollegati tra loro.

Il superamento di questa politica appare oggi possibile grazie ai PsAI-Rf che consentono di programmare azioni di mitigazione del rischio non più estemporanee, ma razionali e ad alto contenuto tecnico come testimoniano alcune iniziative recentemente intraprese in numerose regioni italiane. In tale ottica esempi significativi sono forniti, in Campania, dagli approfondimenti svolti in alcuni Comuni per una gestione avanzata del rischio per la vita umana e per la proprietà (SafeLand Deliverable D5.3, 2011; De Chiara, 2014) e, in Lombardia, dalla emanazione di bandi per la redazione di piani di emergenza nelle aree classificate R3 ed R4 (Regione Lombardia l.r. 16/2004).

I PsAI-Rf rappresentano, quindi, uno spartiacque rispetto al passato e dal D.P.C.M del 28.09.1998 bisogna

ripartire per il superamento di alcuni suoi evidenti limiti che hanno finito per tradursi spesso in critiche verso strumenti tecnici le cui potenzialità risultano, viceversa, evidenti se si procede ad un loro corretto e razionale inquadramento.

Con riferimento al dettato legislativo, se ne deve innanzitutto sottolineare lo spirito propositivo, se non addirittura lungimirante, quando recita che: *“nelle aree perimetrate, si dovrà sviluppare l'analisi fino al grado di dettaglio sufficiente a consentire l'individuazione, la programmazione e la progettazione preliminare degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico, comprese le eventuali necessarie delocalizzazioni di insediamenti, ai fini anche della quantificazione del necessario finanziamento.”*

Dal decreto traspare, quindi, la consapevolezza del lungo percorso da intraprendere e la necessità di approfondimenti a scala di maggiore dettaglio per conseguire la mitigazione del rischio anche se non si forniscono gli strumenti tecnici per sviluppare tali analisi, non si specifica a quale rischio fare riferimento (*per la vita umana o per la proprietà*) né, tantomeno, si individuano le risorse per la realizzazione degli interventi a farsi. Nelle more che tali approfondimenti si mettano in atto, si impongono vincoli molto stretti sull'uso del suolo soprattutto per i privati residenti nelle aree R3 ed R4.

Partendo da quest'ultimo aspetto, è interessante osservare come la normativa che accompagna la zonazione, nonostante la scala di riferimento (1:25.000) non sia compatibile con quella degli strumenti urbanistici comunali (1:5.000), sia particolarmente apprezzata proprio dalla comunità nazionale degli urbanisti che trovano in essa uno strumento utile ai fini della redazione dei PUC, mentre altre comunità, proprio partendo da questa contraddizione, confutano l'intero impianto tecnico-normativo dei Piani.

Un'ulteriore critica ai Piani è poi sistematicamente operata dalle popolazioni e dai media che, senza alcun riferimento a quanto sin qui prodotto sul territorio nazionale, sistematicamente sottolineano la inadeguatezza dell'attuazione dei PsAI-Rf a valle degli eventi calamitosi che continuano a susseguirsi sul territorio nazionale e per i quali, a detta di molti, nulla è stato fatto in termini di mitigazione del rischio.

In definitiva, lo scenario sempre più evidente è quello di un generale incremento di consapevolezza sul tema del rischio al quale non corrisponde una conoscenza degli strumenti disponibili che finiscono per essere criticati, spesso in misura ingiustificata, sia dagli addetti e sia dai non addetti ai lavori. E' opinione dello scrivente che, per uscire dalla dicotomia tra progressi compiuti e sfiducia in essi riposta, sia indispensabile focalizzare l'attenzione sugli obiettivi perseguibili con gli strumenti vigenti indicando i passi da compiere per valorizzare il patrimonio di conoscenze acquisito e favorire una mitigazione del rischio sempre più avanzata e sostenibile. In tale ottica, si osserva che elementi di giudizio possono scaturire dal diagramma di flusso riportato nella Figura 2.1, che individua le tre fasi tecniche fondamentali per la gestione del rischio, rispettivamente definite *analisi, valutazione e mitigazione del rischio*.

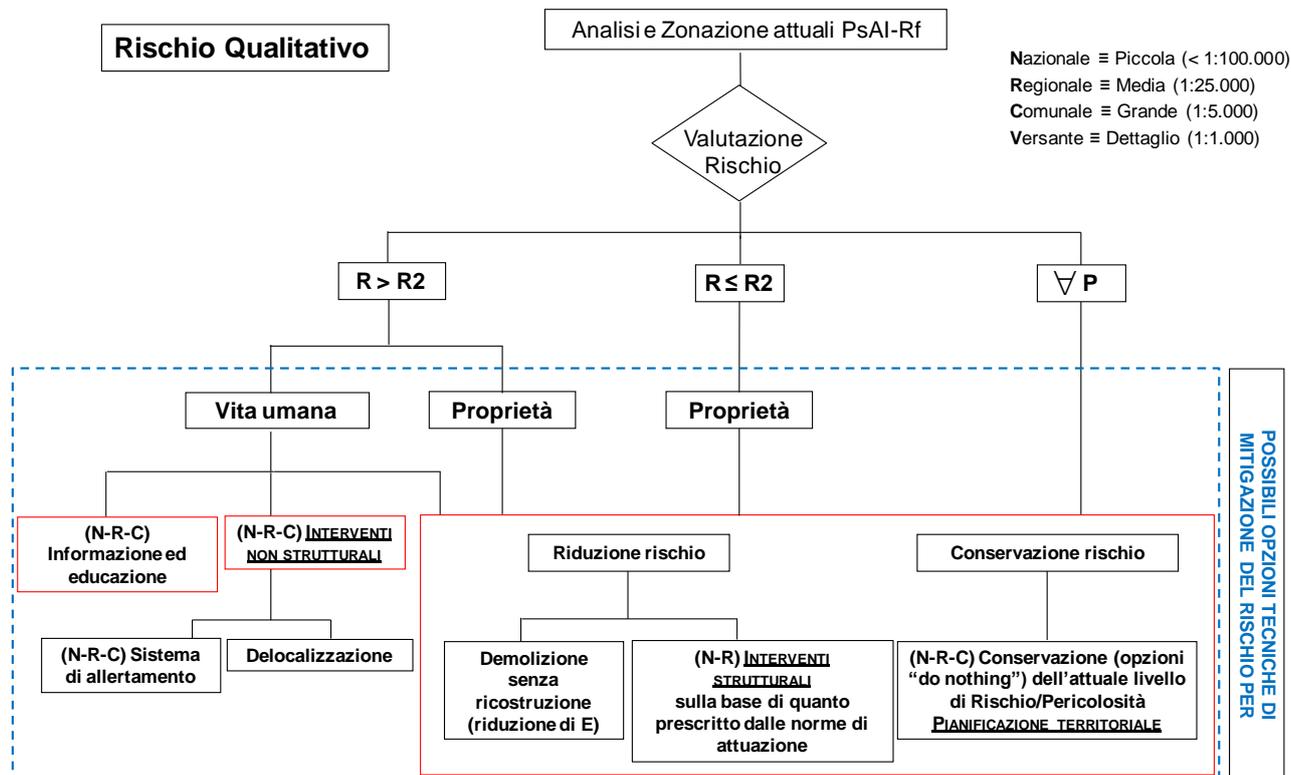


Figura 6.2. – Azioni di mitigazione del rischio perseguibili con la zonazione vigente del rischio da frana (da Sacco C. e Cascini L., 2013).

Considerando la zonazione del rischio come la rappresentazione cartografica della fase di analisi, che individua le quattro classi di rischio riportate in Figura 6.2, si osserva che le norme di attuazione ad esse associate, e che regolamentano al loro interno gli interventi ammissibili e non ammissibili, perseguono molteplici finalità tra le quali la più rilevante appare quella di non incrementare il carico urbanistico e, quindi, gli elementi esposti nelle aree a rischio R3 ed R4 ed in quelle di attenzione medio-alta (A3) e alta (A4). Naturalmente, viene fatta salva la possibilità di realizzare opere pubbliche e di interesse pubblico dichiarate indispensabili e non delocalizzabili dal soggetto attuatore e per le quali sono richieste le verifiche inerenti la compatibilità idrogeologica mediante indagini e studi proporzionati alla complessità del contesto nel quale realizzarli. Indagini e studi di maggiore dettaglio sono richieste per le aree a rischio medio (R2) e di media attenzione (A2) all'interno delle quali è prevista la possibilità di nuovi insediamenti da parte dei privati oltre che degli Enti pubblici.

Dalle norme di attuazione scaturisce, inoltre, che la soglia di accettabilità del rischio per la vita umana di fatto coincide con la classe R2 nella quale, come ricordato nel par. 4.3, “sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche”.

Dal quadro di riferimento così delineato discende che la zonazione attuale assume un significato rilevante ai fini della pianificazione territoriale e della mitigazione del rischio per la vita umana.

Gli strumenti conoscitivi e normativi disponibili non possono, viceversa, essere utilizzati per la progettazione

degli interventi di mitigazione del rischio per la proprietà sia per la scala dello studio (1:25.000) e sia per la mancanza di strumenti con i quali definire le priorità tra tutte le aree classificate R3 ed R4.

Giocano un ulteriore ruolo in tal senso altri fattori che, esulando dalla sfera puramente tecnica, attengono più specificamente ad aspetti non secondari della convivenza sociale come verrà esplicitato nel seguito della relazione.

### 6.3 Prospettive di una gestione integrata del rischio

Gli esempi illustrati nella sezione 5 mostrano alcune finalità perseguibili con una zonazione sviluppata a scale differenti da quelle usualmente adottate per la redazione dei PsAI-Rf. Il par. 4.4 indica le unità fisiografiche di competenza sia delle Autorità di Bacino presenti sul territorio nazionale alla data del 2009 e sia dei Distretti Idrografici istituiti con il D.L. 152/2006 (Art. 64). In considerazione della molteplicità di procedure utilizzate per la redazione dei PsAI-Rf, il par. 5.2 sottolinea come sia auspicabile una loro omogeneizzazione che può rappresentare, a sua volta, il punto di partenza per l'individuazione dei territori nei quali è più urgente lo sviluppo del QRA a grande scala.

Soffermando preliminarmente l'attenzione su queste due ultime azioni, rispettivamente perseguibili alle due scale (1:25.000-1:5.000) usualmente adottate dalle Autorità di Bacino, i benefici che da esse scaturirebbero, in termini di obiettivi perseguibili, sono resi evidenti dagli schemi riportati nelle Figure 6.3 e 6.4, che evidenziano quanto segue.

Piani omogenei su ampie porzioni di territorio, ulteriormente integrati da altri tematismi di base – quali, per esempio, le curve F-N – consentirebbero, da una parte,

una migliore definizione di tutte le azioni riportate nello schema di Figura 6.1 e, dall'altra, renderebbero possibile una programmazione degli interventi strutturali di mitigazione del rischio con procedure avanzate quali, per esempio, quelle proposte nel SafeLand Deliverable D5.2 (2011), attualmente in corso di approfondimento nell'ambito del Progetto PRIN 2010-2011 dal titolo "La mitigazione del rischio da frana mediante interventi sostenibili".

Una valutazione quantitativa del rischio (QRA) (Fig. 6.4), renderebbe a sua volta possibile *i*) la valutazione degli elementi esposti ad un rischio non accettabile e/o non tollerabile ad una scala identica a quella degli strumenti di pianificazione comunale, risultando in tal modo di utilità di gran lunga superiore rispetto ai PsAI-Rf per la redazione di elaborati quali, per esempio, quelli di supporto ai PUC, *ii*) la messa a punto di sistemi di allarme basati su misure strumentali di campo e, quindi, molto più avanzati di quelli che focalizzano l'attenzione esclusivamente su fattori esterni al corpo di frana quali, per esempio, le piogge, *iii*) la individuazione degli scenari di interventi, strutturali e non strutturali, finalizzati alla mitigazione del rischio per le persone e le proprietà e la verifica della loro efficienza una volta progettati e realizzati.

Risultano altrettanto evidenti gli ulteriori effetti benefici che possono essere conseguiti se il QRA è localmente applicato con l'ausilio di modelli avanzati quali quelli illustrati nei paragrafi 5.4.1 e 5.4.2 che, laddove disponibili, sono in grado di risolvere problematiche complesse che non possono essere affrontate con i metodi tradizionali, con conseguente ulteriore riduzione dei margini di sicurezza che, in ogni processo tecnico degno di questo nome, devono aumentare al diminuire delle conoscenze disponibili.

Con riferimento al primo punto (*i*) ogni ulteriore commento è puramente superfluo mentre per il punto *ii*) si osserva, per esempio, come il sistema di allertamento meteo-idro-pluviometrico (Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27.02.2004) contempli attualmente una serie di fasi, ognuna delle quali viene attivata a livello nazionale, regionale e locale secondo ben definiti protocolli che, per brevità, possono così riassumersi.

Inizialmente, dal Centro Funzionale vengono emessi bollettini che annunciano, a differenti livelli di confidenza, condizioni meteorologiche avverse che sono prese a riferimento, a livello regionale, per elaborare i dati della rete pluviometrica, a loro volta, utilizzati per verificare il possibile raggiungimento, in alcuni territori comunali, di tre differenti soglie corrispondenti a livelli di criticità crescente (ordinaria, moderata, elevata).

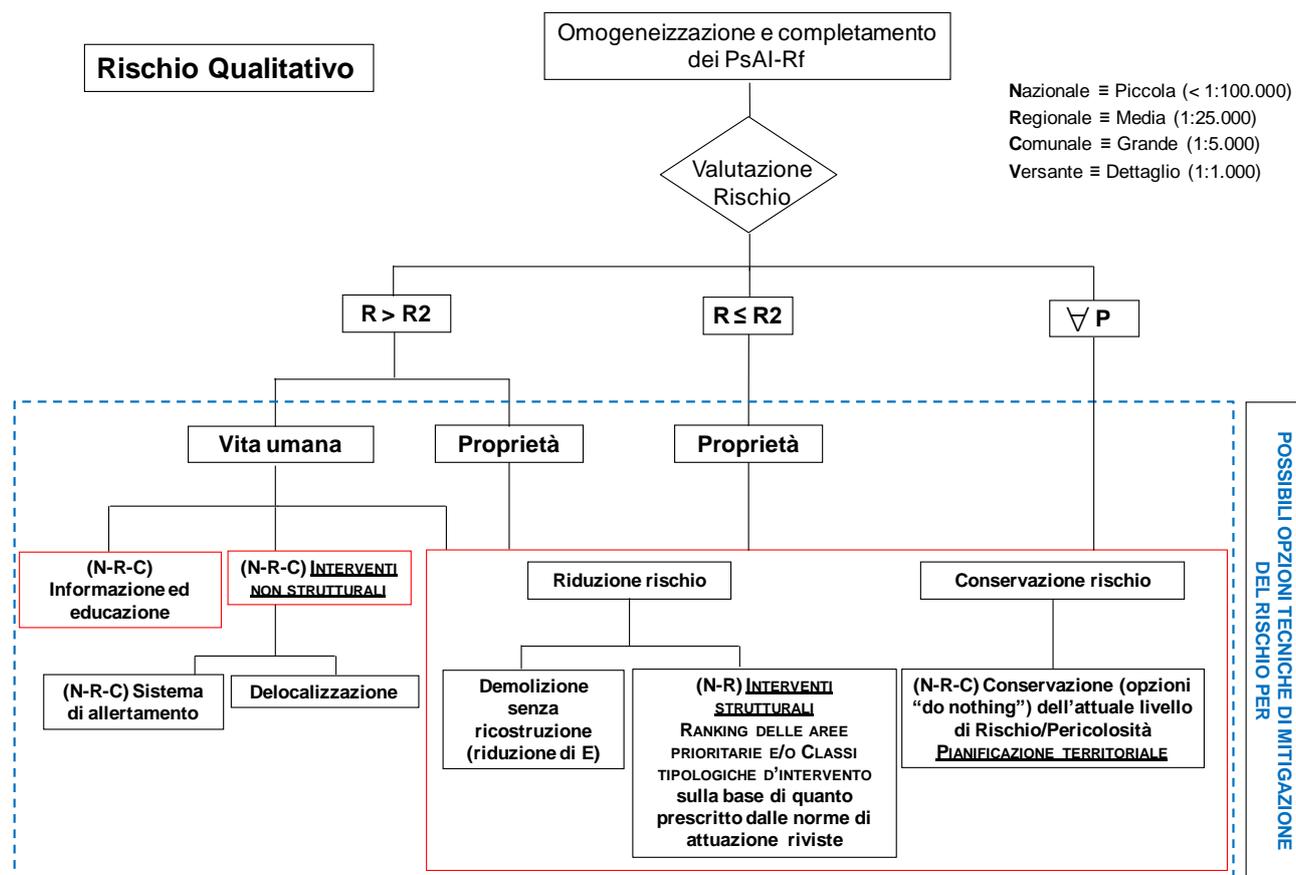


Figura 6.3 – Azioni di gestione del rischio da frana perseguibili con la zonazione vigente, omogeneizzata in ambito di Distretto Idrografico ed integrata da tematismi aggiuntivi.

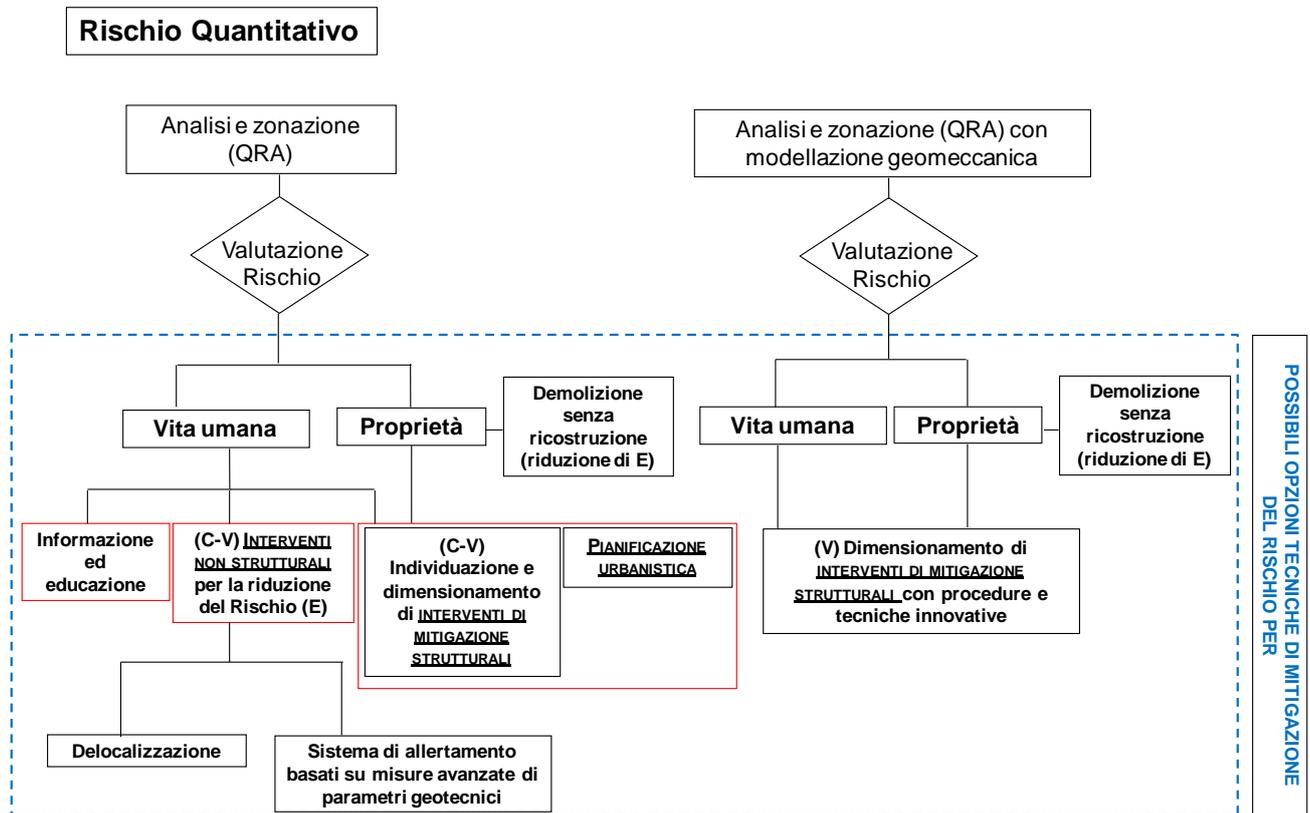


Figura 6.4 – La gestione del rischio da frana resa possibile dal QRA.

A quest'ultimi corrispondono specifici livelli di allerta che vengono centralmente comunicati alle Autorità locali, responsabili della attuazione – sulla base delle segnalazioni ricevute e, possibilmente, con l'ausilio di ulteriori indicatori locali – del Piano di emergenza.

Il sistema così organizzato ha dato più volte dimostrazione della sua efficienza globale anche se numerosi appaiono i miglioramenti che è possibile apportare proprio grazie agli studi in precedenza illustrati. A puro titolo esemplificativo, si osserva che nell'ambito del progetto della Rete Radar Nazionale ([http://www.protezionecivile.gov.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=18540](http://www.protezionecivile.gov.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=18540)) era prevista l'installazione in Campania di un radar meteorologico alla quale, fino ad ora, non si è ancora dato seguito. Laddove, in futuro si ritenesse di dovere colmare tale lacuna risulta evidente che la postazione nella quale installare il radar potrebbe essere meglio identificata con l'ausilio degli studi innanzi citati oltre che degli approfondimenti sulle caratteristiche delle fenomenologie che possono originarsi nelle coltri piroclastiche e che vanno dalle colate rapide di fango ai flussi iperconcentrati (Cascini et al., 2013d).

Una collocazione più idonea della postazione radar potrebbe, a sua volta, essere integrata da un'ulteriore implementazione delle soglie di allarme, che dovrebbero variare in funzione sia della posizione geografica delle coltri e sia della disponibilità di strumentazione in sito in grado di misurare precursori di evento significativi all'interno delle aree a maggiore criticità (C.U.G.R.I., 2005).

I vantaggi che da tale sistema integrato discenderebbero sono evidenti e non richiedono ulteriori

commenti salvo quello relativo alla improrogabile necessità di responsabilizzare adeguatamente gli amministratori locali ai quali dovrebbero essere forniti strumenti tecnici di valutazione delle situazioni di emergenza semplici ed efficaci, in ogni caso definiti nell'ottica di un sistema integrato di monitoraggio quale quello appena descritto.

Per quanto riguarda il punto *iii*), rimandando al paragrafo successivo le considerazioni sulle verifiche degli interventi di mitigazione, si ricorda che in più articoli a diffusione nazionale (Cascini, 2010) lo scrivente ha evidenziato come applicando ai 212 Comuni campani la logica seguita dalle Autorità nazionali, per la realizzazione degli interventi nelle aree colpite dagli eventi del maggio 1998, sarebbe necessaria una disponibilità economica talmente esorbitante da paralizzare qualsivoglia iniziativa di carattere politico, economico e tecnico che si ponesse questo fine. Viceversa, partendo dalla quantificazione del rischio a scala nazionale e regionale, con l'ausilio delle curve F-N, ed a scala locale con il QRA, è possibile individuare ben precise priorità di intervento che darebbero luogo a necessità economiche di più di un ordine di grandezza inferiori a quelle attualmente stimate, per di più programmabili su un congruo periodo di tempo e, quindi, del tutto compatibili con i bilanci in materia di difesa del suolo del nostro Paese, oltre che della Regione Campania.

E' appena il caso di sottolineare che l'assenza di iniziative quali quelle appena auspiccate potrebbe, da una parte, far perdere finanziamenti della Comunità Europea e, dall'altra, favorire il moltiplicarsi di iniziative non

coordinate e non risolutive nella medesima realtà territoriale come, purtroppo, si evince dai numerosi casi che sono saliti agli onori delle cronache nel corso di questi ultimi anni.

#### 6.4 Gli ingredienti di base per una reale gestione integrata del rischio

La disponibilità di strumenti tecnici in grado di fare dialogare, per la loro interconnessione, le numerose Autorità competenti in materia di governo del territorio deve considerarsi una condizione necessaria ma non sufficiente per l'avvio di un processo avanzato di gestione del rischio consistente e sostenibile che, per essere tale, non può e non deve trascurare altre componenti essenziali.

Argomento questo messo in luce per la prima volta da Leroi et al. (2005) che sottolineano come le conoscenze tecnico-scientifiche, per non tradursi in un mero esercizio accademico, debbano considerarsi soltanto uno dei tasselli di un ben più complesso processo di gestione nel quale un ruolo rilevante è giocato da ulteriori elementi, talora di importanza superiore, rispettivamente rappresentati dalle aspirazioni del ceto politico, dalla domanda della società, dalla normativa vigente, dalle disponibilità economiche, etc. (Fig. 2.3).

In un'ottica così delineata, ed al fine di semplificare la proposta metodologica di Leroi et al. (2005), nella Figura 6.5 si riporta uno schema logico (Sacco C. e Cascini L., 2013) che separa le questioni di natura sociale/antropologica da quelle più squisitamente tecniche ponendo, come fulcro dell'intero processo, le finalità da perseguire che, verosimilmente, scaturiscono dalle aspirazioni del ceto politico, dalla domanda della società e/o da altri fattori. Così poste, le finalità possono riguardare la mitigazione del rischio per la vita umana e/o per la proprietà o altri obiettivi correlati con la mitigazione del rischio.

Come nella risoluzione di qualsiasi problema di natura tecnica, una volta definite, le finalità possono poi essere realmente perseguite se e soltanto se si dispone di adeguati strumenti tecnici, finanziari e normativi.

Gli aspetti tecnici sono stati analizzati nei precedenti paragrafi; quelli che seguono si concentrano sugli strumenti normativi e su quelli finanziari per i quali si propongono alcuni spunti di riflessione ritenuti cruciali per una gestione del rischio che sia al passo con le aspettative della società.

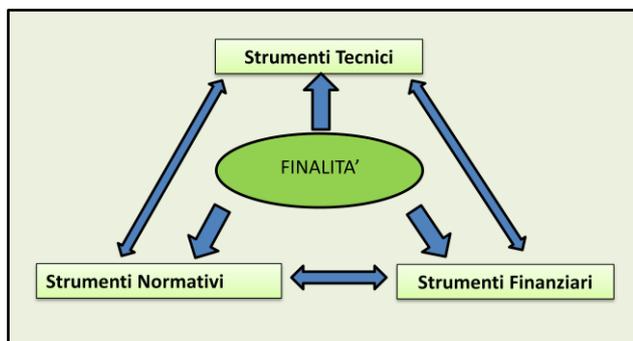


Figura 6.5 – Sistema proposto da Sacco C. e Cascini L. (2013) per la gestione del rischio.

#### 6.4.1 Gli strumenti legislativi nel sistema di mitigazione del rischio

Gli strumenti legislativi, per essere di reale utilità devono *i)* facilitare l'avvio di azioni straordinarie ed ordinarie di analisi, valutazione e mitigazione del rischio, *ii)* individuare le responsabilità e, quindi, i soggetti deputati ad avviare tali azioni e, infine, *iii)* consentire una verifica puntuale del raggiungimento o meno degli obiettivi prefissati.

Pur così delimitato, il tema in discussione è talmente complesso da richiedere competenze specifiche ed una disamina così approfondita da esulare dallo scopo della presente relazione. Rimandando, pertanto, a Lettera F. (2012) per una più ampia trattazione degli aspetti di interesse, qui di seguito si forniscono alcuni spunti di riflessione per il superamento dei PsAI-Rf i cui limiti, se non rimossi, potrebbero nel tempo minarne le fondamenta, facendo nuovamente regredire il nostro Paese in ambito europeo, nonostante sia l'unico ad avere redatto Piani a copertura totale sul territorio nazionale.

Con riferimento all'avvio di azioni straordinarie ed ordinarie (punto *i)*, si osserva che quanto mostrato nei precedenti paragrafi evidenzia come il passaggio apparentemente traumatico dalle Autorità di Bacino ai Distretti Idrografici (Direttiva europea 2000/60/CE) possa essere agevolmente superato imponendo la omogeneizzazione dei Piani Stralcio, a scala intermedia e con un livello preliminare di zonazione, con evidenti ricadute benefiche sull'intero territorio nazionale.

Per quanto riguarda poi la seconda questione, uno dei principali limiti da rimuovere è rappresentato dall'uso dei PsAI-Rf nella pianificazione a scala comunale che richiede, viceversa, una zonazione di maggiore dettaglio basata su stime quantitative del rischio come quella mostrata nel par. 5.3.1 della presente relazione.

Naturalmente il perseguimento di tali obiettivi, oltre che di quelli ad essi correlati, richiede l'emanazione di leggi ad hoc che impongano, agli Enti deputati, l'avvio di azioni straordinarie ed ordinarie secondo modalità e criteri ai quali attenersi per l'analisi e la valutazione del rischio; richiede, altresì, l'introduzione esplicita del concetto di "accettabilità del rischio" da definire a priori e da non demandare alla singola interpretazione degli Enti competenti.

Per quanto riguarda il punto *ii)*, un ulteriore aspetto da regolamentare con maggiore chiarezza e decisione rispetto alla normativa in vigore è rappresentato dalla mitigazione del rischio che deve, necessariamente, includere i profili di responsabilità che possono coinvolgere soggetti molto diversi tra loro passando dal rischio per la vita umana al rischio per la proprietà. In tale ottica, una chiarificazione delle responsabilità per la salvaguardia della vita umana è da ritenere sinceramente improrogabile e, in ogni caso, tardiva in presenza di una zonazione che indica, ormai da più di dieci anni, le aree dove "sono possibili problemi per l'incolumità delle persone" (R3) se non addirittura di "perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone" (R4) (D.P.C.M. 29.09.1998) e nell'ambito delle quali sono stati concessi regolari permessi di costruzione negli anni

antecedenti l'entrata in vigore dei PsAI-Rf, essendo del tutto sconosciute le problematiche del rischio che, solo dopo il 1998, hanno fatto il loro prepotente ingresso sulla scena nazionale.

Analoga attenzione deve essere rivolta, in ambito legislativo, al rischio per la proprietà in quanto, da una parte, la quasi totalità del costruito nelle aree R3-R4 risale a tempi antecedenti la redazione dei Piani stralcio e, dall'altra, i danni al costruito possono generarsi, in numerosi casi, in aree diverse da quelle nelle quali il costruito è localizzato.

Problematiche, quelle in precedenza citate, che se non risolte possono rappresentare un vero e proprio ostacolo all'avvio di azioni coordinate e significative di mitigazione del rischio che, per quanto fortemente condizionate dalla scarsità delle risorse economiche, risultano ancora di più condizionate da una normativa non adeguata che, di fatto, impedisce il coinvolgimento di altri soggetti che potrebbero fornire un impulso significativo in un settore che vive la quasi totale stagnazione.

Un tipico esempio in tal senso è rappresentato dal mancato coinvolgimento delle compagnie assicurative in un settore strategico nonostante i numerosi disegni di legge proposti tra i quali, a puro titolo esemplificativo, si citano il D.l. 59/2012 "*Disposizioni urgenti per il riordino della protezione civile*" articolo 2, ed il D.l. 881/2013 "*Istituzione di un'assicurazione obbligatoria contro i rischi derivanti da calamità naturali, nonché di un Fondo per la sicurezza e l'efficienza energetica degli edifici*".

Mancato coinvolgimento che, a parere dello scrivente, è fortemente condizionato anche dall'assenza di una normativa chiara sulle responsabilità che non tutela chi è sottoposto ad un rischio ad opera di terzi, siano essi soggetti pubblici o privati, e che proprio per tale mancanza è genericamente indicato come il soggetto che dovrebbe dotarsi di una adeguata copertura assicurativa. In altri termini, è come se al pedone si facesse obbligo di stipulare una polizza per coprire i danni a lui derivanti da un incidente stradale di cui non ha alcuna responsabilità personale. Circostanza ancora più singolare in presenza di fenomeni la cui probabilità di accadimento spazio-temporale può essere stimata, a differenza di altre calamità naturali, con strumenti tecnici oltre che ingegneristicamente robusti.

Infine, per quanto riguarda la verifica puntuale del raggiungimento o meno degli obiettivi prefissati (punto *iii*) appare ancora una volta indispensabile sottolineare la improrogabile necessità di adeguare la normativa che, per il livello preliminare della zonazione e la stima qualitativa del rischio, non consente di valutare in termini quantitativi l'efficacia di importanti strumenti di mitigazione del rischio per la vita umana quali, per esempio, i Piani di emergenza.

Analoga impossibilità va registrata laddove si voglia valutare l'efficacia degli interventi di mitigazione a scala di versante, disponendo di stime quantitative del rischio (QRA) e di tutti gli ingredienti tipici delle verifiche che usualmente si sviluppano in ambito geotecnico per le analisi di stabilità di un versante prima e dopo la realizzazione degli interventi di consolidamento. Nella normativa italiana e negli Eurocodici non si fa, infatti,

riferimento a periodi di ritorno di molte delle cause innescanti i fenomeni franosi quali, per esempio, le piogge così come non si forniscono criteri per la quantificazione della vulnerabilità degli elementi esposti con conseguente impossibilità di valutare correttamente la efficacia degli interventi di mitigazione del rischio. Lacune che finiscono, da una parte, per scaricarsi sui professionisti che non hanno alcuna possibilità di dimostrare di fronte alla legge il loro corretto operato e, dall'altra, di impedire gli appropriati controlli su quanti progettano ed eseguono interventi di stabilizzazione dei versanti, a salvaguardia della vita umana e della proprietà.

#### 6.4.2 *Le fonti di finanziamento: questione centrale nella gestione del rischio*

Il terzo tassello, probabilmente il più importante, per perseguire le finalità prefissate, Figura 6.5, è rappresentato dagli strumenti finanziari che devono fornire la copertura economica agli interventi individuati, alle diverse scale di analisi, per la mitigazione del rischio. Aspetto cruciale e semplice nella sua enunciazione ma che, per complessità e vastità, richiederebbe una lunga trattazione che, ancora una volta, non può essere svolta dallo scrivente per la mancanza delle competenze necessarie e, nello stesso tempo, per gli scopi prevalenti della relazione.

Per la centralità dell'argomento si ritiene, comunque, di riportare qui di seguito alcuni spunti di riflessione che, senza avere la pretesa di inquadrare organicamente l'argomento, forniscono il punto di vista di un addetto ai lavori il cui unico auspicio è quello di vedere l'avvio di un percorso che si ponga come obiettivi principali la sicurezza dei cittadini, la valorizzazione della risorsa suolo e la trasformazione di un tema, attualmente vissuto come problema, in una risorsa per il Paese.

In tale prospettiva, il punto di partenza di un qualsiasi ragionamento deve necessariamente fare riferimento alla prassi consolidata in Italia, che ha visto lo Stato intervenire con finanziamenti rilevanti sempre a valle dei disastri e, quindi, con la finalità di ridurre da una parte il rischio residuo e, dall'altra, di promuovere lo sviluppo socio-economico dei territori colpiti dalle calamità.

Politica che, come tale, non necessita di approfondite conoscenze sulla zonazione del rischio ma che non appare più perseguibile per la disponibilità dei PsAI-Rf oltre che per la scarsità delle risorse economiche, sia a livello centrale e sia locale, come evidenziato dalla gestione del sisma occorso recentemente in Emilia Romagna che, in controtendenza rispetto al passato, non ha visto l'intervento significativo dello Stato a favore delle comunità colpite dall'evento.

Ulteriori elementi che evidenziano la necessità di un drastico cambio di rotta sono rappresentati dai contenziosi giuridici e sociali che potrebbero generarsi laddove si verificasse una grave emergenza in aree perimetrate R4 per le quali nulla si è fatto mentre in territori limitrofi si stanno spendendo risorse ingenti per la riduzione del rischio residuo.

In una situazione così complessa, e nell'ottica di individuare possibili alternative alla prassi consolidata nel nostro Paese, appare utile partire dalla "teoria culturale" (Thompson et al., 1990; Thompson M., 2008; Verweij M.,

2011), secondo la quale è possibile inquadrare le differenti visioni della gestione del rischio in quattro categorie rispettivamente definite: *gerarchica*, *individualista*, *egalitaria* e *fatalista*.

La visione “*gerarchica*” è considerata propria degli individui certi del fatto che la risoluzione dei problemi debba essere demandata alle autorità competenti ed agli esperti di cui si avvalgono, secondo uno schema di gestione definito *top-down*. Rientrano nella visione “*individualista*” coloro i quali ritengono i singoli in grado di prendere decisioni consapevoli su dove vivere e quando evacuare e credono, nel contempo, che i fondi pubblici debbano essere investiti sulla base di analisi costi-benefici. Sono definibili come “*egalitari*” gli individui che, animati da un profondo scetticismo, ritengono opportuno seguire un approccio ecologista che pone la massima attenzione nei riguardi dei più svantaggiati e, in tale visione, gli interventi strutturali sono visti più come un problema e non come una soluzione. La visione “*fatalista*” è, infine, attribuita a coloro i quali, non intravedendo alcuna possibilità di cambiamento in positivo della realtà, tendono a non assumere alcuna posizione positiva.

Sulla base di queste semplici enunciazioni si può senz'altro asserire che in Italia prevale da sempre la modalità gerarchica che individua nelle Autorità competenti, quasi sempre identificate nel Governo centrale, gli unici soggetti deputati, a valle di eventi catastrofici, a individuare le necessità finanziarie, reperire le risorse e definire le modalità tecniche con le quali impiegarle, sovrintendere alla realizzazione dei lavori di mitigazione del rischio residuo e, molto spesso, avviare attività collaterali finalizzate alla crescita delle comunità colpite dagli eventi.

I motivi alla base della visione gerarchica sono sicuramente molteplici e non tutti di facile comprensione. Tra questi sono probabilmente da annoverare: l'inquadramento del rischio nell'ambito della “*Difesa del Suolo*” piuttosto che nella “*Salvaguardia e Promozione della Risorsa Suolo*”; il rifiuto di responsabilità verso eventi che, per le loro dimensioni, non appaiono controllabili dai singoli; l'assenza di conoscenze e, quindi, la tendenza a rifiutare il pericolo piuttosto che inquadrarlo razionalmente per poterlo mitigare.

In considerazione di quanto sin qui argomentato – ed alla luce delle recenti direttive europee che considerano il suolo una risorsa non rinnovabile e, come tale, anche minacciata dai fenomeni franosi (COM(2002) 179) - risulta evidente la necessità di una discontinuità con il passato che consenta, da una parte, di privilegiare la prevenzione rispetto agli interventi eseguiti a sanatoria e, dall'altra, di mettere in campo iniziative economiche innovative per la crescente carenza dei fondi pubblici.

Un esempio di come la gestione gerarchica possa essere innovativa e discontinua rispetto al passato è rappresentato dal progetto della Inter-American Development Bank che, con riferimento a 12 Paesi del Sud America, si è posta una serie di finalità tra le quali quella di facilitare la allocazione efficiente delle risorse per la gestione del rischio da catastrofi e lo sviluppo del Paese oltre che per le politiche di investimento della Banca. Gli aspetti tecnici del progetto, sviluppati dall'Istituto di Studi Ambientali

(IDEA, 2005) della National University di Manizales in Colombia, si sono concretizzati in una serie di indicatori locali dei danni (Local Disaster Index) valutati sulla base dei dati disponibili per il periodo 1985-2000 (IDB, 2010).

Rientra in una possibile gestione di tipo individualista il coinvolgimento delle compagnie di assicurazione che, grazie ad una normativa chiara e condivisa, potrebbero stipulare polizze sia con i privati che vogliono tutelare la proprietà e sia con gli Enti deputati alla salvaguardia della vita umana e/o con responsabilità, dirette o indirette, verso la proprietà. Un tipico esempio in tal senso è fornito dalla Provincia di Benevento che ha stipulato una assicurazione per i danni causati a terzi da frane innescate dalla rete stradale di propria competenza.

Senza esprimere un giudizio di merito sulle nuove prospettive di gestione del rischio, qui preme solo sottolineare che i PsAI-Rf e le procedure illustrate nella relazione sono in grado di fornire gli elementi tecnici propedeutici allo sviluppo di politiche economiche sostenibili che, indipendentemente dall'impianto che ne sta alla base, devono basarsi su alcuni capisaldi tra i quali, di particolare rilevanza, sono la preventiva determinazione delle risorse necessarie ed il controllo dei risultati raggiunti rispetto agli obiettivi prefissati in fase di programmazione. Requisiti entrambi indispensabili per valorizzare gli investimenti economici e responsabilizzare, nel contempo, quanti sono chiamati a programmare, attuare e controllare la mitigazione del rischio a scala nazionale, regionale, provinciale e locale.

## 7 CONCLUSIONI

La relazione ha preliminarmente inquadrato la zonazione del rischio da frana in Italia (PsAI-Rf) in un contesto di riferimento mutuato dalla letteratura scientifica. Sulla base di quanto emerso, e di alcuni esempi riguardanti areali significativi del territorio nazionale, si sono successivamente enucleati gli approfondimenti da porre in essere per pervenire ad una zonazione più avanzata rispetto a quella attualmente disponibile. Le risultanze scaturite dagli argomenti trattati sono state poi assunte a riferimento per sottolineare con chiarezza gli obiettivi realisticamente perseguibili in materia di gestione del rischio. Per il conseguimento di risultati tangibili e chiaramente definiti si è, infine, evidenziata l'importanza di un coerente sviluppo della normativa e di un uso adeguato delle risorse finanziarie.

Lo scrivente auspica che gli argomenti trattati evidenzino, innanzitutto, la rilevanza dei PsAI-Rf che, pur con i limiti che li caratterizzano, rappresentano uno strumento di gestione di grande valenza e di pratica utilità in quanto *i*) indicano, spesso con chiarezza e precisione, le aree a rischio elevato e molto elevato nelle quali provvedere alla salvaguardia della vita umana, e *ii*) impediscono un ulteriore incremento del rischio in forza dei vincoli e dei divieti imposti dalle norme di attuazione sullo sviluppo urbanistico.

Naturalmente, dopo oltre dieci anni dalla loro entrata in vigore, i PsAI-Rf richiedono un aggiornamento che, prendendo spunto dalla costituzione dei Distretti Idrografici, potrebbe essere perseguito con lo stesso

livello preliminare della zonazione attuale ma omogeneizzando le procedure su area vasta. Partendo, quindi, da Piani omogenei appare perseguibile, in alcune aree di interesse, una zonazione articolata su più livelli che, nel passare dalla scala piccola a quella grande e di dettaglio, potrebbe coinvolgere tutte le Autorità competenti, da quelle centrali a quelle locali, in un processo razionale, sinergico e sostenibile di mitigazione del rischio per la proprietà oltre che per la vita umana.

E', tuttavia, doveroso sottolineare che gli aspetti tecnici così delineati rappresentano solo una parte del più ampio processo di gestione del rischio che, per essere realmente significativo, deve contemplare un adeguamento della normativa e nuove prospettive di finanziamenti che, solo in alcuni casi, possono continuare ad essere di esclusiva pertinenza dello Stato. Appare, infatti, improcrastinabile il coinvolgimento dei privati che deve, comunque, essere avviato in una logica di trasparenza ed equità per aumentare la possibilità di mitigare il rischio e, nel contempo, di tutelare i diritti di chi il rischio lo subisce.

A conclusione di questa relazione si deve aggiungere che anche una visione così ampia – nella quale il processo di gestione include in forma sinergica gli aspetti tecnici, normativi ed economici – non è di per sé sufficiente per il conseguimento di una reale e sostenibile mitigazione del rischio. Molto dipende, infatti, dalla volontà di coloro i quali sono, direttamente o indirettamente, coinvolti in quello che può definirsi *l'universo del rischio* e che possono essere, in prima approssimazione, identificati nelle Autorità competenti, nei portatori di interesse e negli studiosi delle discipline che concorrono all'analisi, valutazione e mitigazione del rischio.

Il ruolo delle Autorità è centrale nell'individuazione delle finalità da perseguire oltre che nella capacità di dare vita ad un percorso virtuoso che coinvolga tutti gli attori del processo. In tale ottica, ci sono molti elementi dai quali potrebbero scaturire considerazioni ottimistiche in tal senso e, prima fra tutte, il contributo decisivo che proprio dalle Autorità è stato fornito in molte circostanze a valle di eventi calamitosi come quello del maggio 1998. Uno sguardo, tuttavia, all'operato nel corso del tempo di quanti hanno avuto ed hanno la reale responsabilità del territorio evidenzia alcuni dati inquietanti circa lo sviluppo, nel suo complesso, del processo che si pone come fine la salvaguardia dei beni presenti nelle aree a rischio.

Con riferimento, per esempio, alla regione Campania, che da sempre è all'avanguardia in questo settore, è utile ricordare che i Borboni realizzarono i *Regi Lagni*, una lungimirante e relevantissima opera di bonifica delle aree di pianura, comprese quelle sistematicamente invase dalle colate rapide di fango. Passarono, quindi, più di 70 anni perché fosse emanato a livello nazionale il Regio Decreto sul vincolo idrogeologico (1923) per iniziare a porre l'attenzione sulle zone dove i fenomeni si originavano, zone che in Italia erano state di fatto trascurate fino a quella data. Dopo di allora, a distanza di altri 70 anni circa, furono promulgate le leggi che con i Piani stralcio hanno di fatto connesso le aree in cui i fenomeni franosi si originano con quelle che possono essere sede delle loro conseguenze.

In definitiva, il ricordo di alcune date significative unitamente al silenzio che è calato nel nostro Paese sulle tematiche in discussione possono fare temere che ci vorranno altri 70 anni, a far data dal 1998, perché si sviluppi una gestione del rischio quale quella ipotizzata ed auspicata nella presente relazione. Pur essendo questa una pura e semplice provocazione, non può non osservarsi che di questi possibili 70 anni ad oggi ne sono trascorsi già 15.

Il ruolo dei portatori di interesse è troppo articolato e complesso per potere essere solo marginalmente accennato in queste conclusioni che si soffermano esclusivamente sulle popolazioni esposte al rischio. Da questo punto di vista è sconcertante assistere ad una posizione generalizzata che tende a negare il rischio, da una parte, e ad attribuire sempre agli altri il compito di gestirlo e mitigarlo. Atteggiamento che non corrisponde, a parere dello scrivente, alla reale percezione che i più hanno del rischio quanto piuttosto ad altre e più profonde motivazioni a sfondo sociale la cui analisi esula dagli scopi della presente relazione.

Un elemento rafforza fortemente questa convinzione dello scrivente ed è rappresentato dal processo partecipato che si è recentemente concluso nel Comune di Nocera Inferiore (SA) nell'ambito del progetto SafeLand ed al quale si è fatto cenno nella presente relazione. Il processo in questione ha, infatti, messo in luce come la percezione del rischio ed i complessi argomenti connessi con la sua mitigazione siano spesso compresi anche dai non addetti ai lavori che, quasi sempre, sono in grado di esprimere circostanziate opinioni se con loro si avvia e si sviluppa un discorso franco che ha, come unico obiettivo, quello di fare comprendere i termini del problema che si sta affrontando.

Infine, indipendentemente dal settore disciplinare del quale fanno parte, gli studiosi possono concorrere in misura significativa all'accelerazione o decelerazione del processo di gestione del rischio in relazione all'atteggiamento che essi assumeranno rispetto ad alcune questioni cruciali, prime fra tutte quelle riguardanti il reale significato del rischio e la sua stima.

Con riferimento a questo aspetto si osserva, infatti, che molti ricercatori attribuiscono spesso una scarsa considerazione a tutto ciò che attiene al *rischio*, con la convinzione che rappresenti soltanto una stima incerta ed approssimata della realtà e, come tale, non sia necessariamente da sviluppare nel rispetto assoluto dei fondamenti della disciplina di appartenenza. Interpretazione del tutto lontana dalla realtà in quanto l'analisi, la valutazione e la mitigazione del rischio sono significative ed utili in campo applicativo soltanto se condotte con rigore, oltre che opportunamente calibrate e validate.

Una chiara testimonianza del pericolo legato a questa incomprensione di fondo è fornita sia dalla assoluta mancanza di studi sul rischio in Italia prima del 1998 e sia dallo scarso attecchimento nel nostro Paese di ricerche in questo settore, dopo circa quindici anni dalla prima zonazione.

Su questo aspetto lo scrivente auspica una significativa presa di coscienza delle Comunità scientifiche che devono

lavorare in sinergia oltre che approfondire le tematiche che rientrano nelle loro specifiche competenze, pena il perpetrarsi di studi di grande valenza culturale ma di scarsa utilità applicativa che potrebbero finire per fare attribuire ai ricercatori un ruolo marginale in un settore che è, viceversa, strategico. La società ha, infatti, bisogno di conoscenze che non siano utilizzate per soli fini accademici quanto piuttosto per effettuare stime e valutazioni che altri non sono in grado e non devono essere chiamati a sviluppare.

## RINGRAZIAMENTI

La relazione fa riferimento ad una parte significativa della ricerca svolta dallo scrivente nel campo delle frane e che si è sviluppata, con continuità, nel tempo grazie all'insostituibile contributo scientifico ed umano fornito da molti giovani colleghi ai quali va il più sentito e sincero ringraziamento. Tra questi, innanzitutto, Peppe Sorbino, eccellente ricercatore oltre che compagno di Università ed amico di vita; Settimio Ferlisi, con il quale da anni condivido la linea politica della ricerca e la gestione delle responsabilità; Michele Calvello, Sabatino Cuomo e Dario Peduto, che hanno svolto tanta ricerca di qualità; Silvio Di Nocera, Gianni Gullà e Fabio Matano con i quali ho sviluppato molte esperienze scientifiche ed attività di campo. E poi tanti giovani dottori di ricerca e dottorandi che, all'Università di Salerno, hanno affrontato complessi argomenti, sempre con entusiasmo e competenza. Infine, non da ultimo, un ringraziamento particolare va agli Enti e ai Dirigenti che hanno creduto in noi e tra questi mi permetto di citare Vera Corbelli, sempre proiettata verso il futuro in un campo complesso ed affascinante qual'è quello della gestione del rischio.

E', infine, doveroso sottolineare che molti risultati scientifici sono stati conseguiti grazie ai finanziamenti di numerosi progetti di ricerca tra i quali, per brevità, si citano solo i più recenti rispettivamente rappresentati dai progetti nazionali PRIN 2007 e PRIN 2010-2011 (CUP D41J12000460001) ed il progetto europeo SafeLand (Grant Agreement No. 226479).

## ABSTRACT

### ANALYSIS AND MANAGEMENT OF THE LANDSLIDE RISK IN ITALY: FROM CENTRAL GOVERNMENT TO PRIVATE CITIZENS

Keywords: analysis, management, risk, landslides, Italy

The analysis and management of the landslide risk have been addressed in Italy since the tragic events that in May 1998 involved five municipalities of the Campania region where several flowslides caused a high number of casualties and considerable economic loss. In the days after the events, in fact, the first map of the residual risk to flowslides was drawn for the territory of the affected municipalities thus allowing the prioritization of the areas where risk to human life and to property should be reduced. Following this activity, some months later the

central Government issued special Decrees requiring the Authorities in charge to draw up landslide risk maps according to well-defined procedures. What followed was an intense work which allowed Italy to acquire, within a few years, landslide risk zoning maps throughout the country. Consequently, the gap with those countries who had started the same activity a few decades before was bridged and, at the same time, Italy became a leader nation in this field both inside and outside Europe.

Starting from the analysis of the Italian risk zoning maps, which is based on the available scientific literature, the general report deals with a set of examples showing the usefulness of what was done in our country during the time and how it is possible to implement zoning maps at different reference scales and with different levels of detail. This is considered in the report as the preliminary step of an integrated risk management process which, in turn, calls for the synergic involvement of all the authorities in charge of the land safeguard and use planning.

Indeed, stressing that the technical aspects represent just one part, albeit of primary importance, of the risk management process, the paper provides a review of the most relevant economic and legislative issues to be implemented in order to continue the virtuous cycle started in Italy more than fifteen years ago.

So operating in such a strategic field, Italy could keep the leadership achieved in few years as a result of the extraordinary interplay among territorial authorities, engineers and scientists who, since the beginning, believed in the complex scientific-technical process started with courage and determination by the Central Government.

## BIBLIOGRAFIA

- Amatruda G., Bonnard Ch., Castelli M., Forlati F., Giacomelli L., Morelli M., Paro L., Piana F., Pirulli M., Polino R., Prat P., Ramasco M., Scavia C., Bellardone G., Campus S., Durville J.-L., Poisel R., Preh H., Roth W., Tentschert E.H., 2004. *A key approach: the IMIRILAND project method*. In: Identification and mitigation of large landslides risks in Europe. IMIRILAND PROJECT – European Commission – Fifth Framework Program. Ch. Bonnard, F. Forlati, C. Scavia (Eds.), A.A. Balkema Publishers, pp. 13-43.
- Antoine P., 1978. *Glissements de terrains et aménagement de la montagne*. Bulletin de la Société vaudoise des Sciences Naturelles. n. 353, 74(1): 1-14.
- APAT, 2007. *Rapporto sulle frane in Italia. Il Progetto IFFI – Metodologia, risultati e rapporti regionali*. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Rapporti 78/2007, 681 pp.
- Arena L., 2014. *Analysis of DInSAR data in urban areas affected by subsidence or slow-moving landslides*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile per l'Ambiente ed il Territorio. Università degli Studi di Salerno.
- Atkinson P.M., Massari R., 1998. *Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in Central*

- Apennines, Italy. *Computers and Geosciences*, 24: 373-385.
- Baeza C., Corominas J., 2001. *Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques*. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1251–1263.
- Baum R.L., Savage W.Z., Godt J.W., 2002. *TRIGRS—a FORTRAN program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope stability analysis*. US Geological Survey Open-File Report 02-0424. Disponibile all'URL: <http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-424/>
- Berardino P., Fornaro G., Lanari R., Sansosti E., 2002. *A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential interferograms*. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 40(11):2375–2383
- Besson L., Durville J.L., Garry G., Grasz E., Hubert T., Toulemont M., 1999. *Plans de prévention des risques naturels (PPR) – Risques de mouvements de terrain. Guide méthodologique*. La Documentation Française, Paris.
- Bilotta E., Cascini L., Foresta V., Sorbino G., 2005. *Geotechnical characterization of pyroclastic soils involved in huge flowslides*. *Geotechnical and Geological Engineering*, 23: 365-402.
- Brancaccio L., Cinque A., Russo F., Sgambati D., 1999. *Osservazioni geomorfologiche sulle frane del 5-6 Maggio 1998 del Pizzo d'Alvano (Monti di Sarno, Campania)*. In: Studi geografici e geologici in onore di Severino Belloni, Orombelli ed., pp. 81 – 123.
- Brand E.W., 1984. *Landslides in Southeast Asia: a state-of-art report*. Atti del 4<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Toronto. Vol.1:17-59.
- Brand E.W., 1985. *Landslides in Hong Kong*. Atti dell'VIII S.E. Asian Geotechnical Conference, Kuala Lumpur. Vol. 2:107-122.
- Brand E.W., 1988. *Special Lecture: Landslide risk assessment in Honk Kong*. Proc. V Int. Symp. on Landslides, Lausanne, Vol.2: 1059-1074.
- Burnett A.D., 1987. *Slope failures in Hong Kong and their mitigation*. Atti dell'US-Asia Conf. Engineering for Mitigating Natural Hazards Damage, Bangkok. C4.1-C4.20.
- Calvello M., Cascini L., Cuomo S., Della Sala M., 2012. *La zonazione a piccola scala - Le frane innescate da piogge - Applicazione dei metodi di base ed intermedi all'areale delle piroclastici*. In: Cascini L. (ed.). *Criteri di zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frane innescate da eventi estremi (piogge e sisma)*, Composervice S.r.l., Padova, pp. 119-130.
- Calvello M., Cascini L., Grimaldi G.M., 2009. *Displacement scenarios of a rainfall-controlled slow moving active slide in stiff clays*. *Georisk*, 3(3):116-125.
- Carrara A., 1983. *Multivariate models for landslide hazard evaluation*. *Mathematical Geology*, 15 (3):403-426.
- Cascini L., 2002a. *Il rischio da frana in aree urbane dell'Appennino Centro-meridionale*. Atti del XXI Convegno Nazionale di Geotecnica. L'Aquila, 11-13 Settembre. Vol. 1, pp. 127-134, Pàtron Editore, Bologna.
- Cascini L., 2002b. *Manuale d'uso del codice LARA 2002*.
- Cascini L., 2004. *The flowslides of May 1998 in the Campania region, Italy: the scientific emergency management*. *Rivista Italiana di Geotecnica*, 2: 11-44.
- Cascini L., 2005. *La gestione scientifica dell'emergenza idrogeologica del maggio 1998 nella Regione Campania*. Soveria Mannelli. Rubbettino, ISBN: 88-498-0964-6, pp. 278 (in Italian).
- Cascini L., 2008. *Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales*. *Engineering Geology*, 102, pp. 164-177.
- Cascini L., 2010. *Quindici anni di progressi in materia di pianificazione del rischio da frana*. Convegno su Pianificazione e Difesa del Suolo, Roma
- Cascini L., 2012. *Criteri di zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frane innescate da eventi estremi (piogge e sisma)*. 439 pp. Composervice S.r.l., Padova.
- Cascini L., Bonnard Ch., Corominas J., Jibson R., Montero-Olarte J., 2005a. *Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development*. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhardt E. (eds.) *Landslide risk management*. Taylor and Francis, London, pp. 199–235.
- Cascini L., Calvello M., Grimaldi G.M., 2010a. *Groundwater modelling for the analysis of active slow-moving landslides*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(9):1220-1230.
- Cascini L., Calvello M., Grimaldi G.M., 2014. *Caratterizzazione e previsione degli spostamenti nelle frane a cinematica lenta*. Presentato a questo Convegno.
- Cascini L., Cuomo S., Guida D., 2008a. *Typical source areas of May 1998 flow-like mass movements in the Campania region, Southern Italy*. *Engineering Geology*, 96: 107-125.
- Cascini L., Cuomo S., Pastor M., Sacco C., 2013c. *Modelling the post-failure stage of flow-type, rainfall-induced landslides*. *Canadian Geotechnical Journal*, 50, 873-885.
- Cascini L., Cuomo S., Sorbino G., 2005b. *Flow-like mass movements in pyroclastic soils: remarks on the modelling of triggering mechanisms*. *Rivista Italiana di Geotecnica*, Anno XXXIX, n. 4, pp. 11-31.
- Cascini L., Di Nocera S., Calvello M., Cuomo S., Ferlisi S., Matano F., 2013b. *Hyperconcentrated flow susceptibility analysis and zoning at medium scale: methodological approach and case study*. In: P. Margottini, P. Canuti, K. Sassa (eds.). *Landslide Science and Practice - Volume 1: Landslide Inventory and Susceptibility and Hazard Zoning*. p. 395-402, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Cascini L., Ferlisi S., 2003. *Occurrence and consequences of flowslides: a case study*. In: Picarelli L. (ed.). *Atti della Conferenza Internazionale su "Fast Slope Movements – Prediction and Prevention for Risk Mitigation"*, Napoli. Vol. 1: 85-92. Pàtron Editore, Bologna.
- Cascini L., Ferlisi S., Peduto D., Arena L. 2011. *Tecniche innovative satellitari nel monitoraggio di opere interagenti con frane a cinematica lenta*. Atti del XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica su "Innovazione

- Tecnologica nell'Ingegneria Geotecnica". Napoli, 22-24 giugno 2011 - Edizioni AGI - Vol 2 pag. 665-672
- Cascini L., Ferlisi S., Tagliafierro G., 2002. *Il contributo delle indagini storiche nella definizione del rischio da frana: un caso di studio*. Atti del XXI Convegno Nazionale di Geotecnica. L'Aquila, 11-13 Settembre. Vol. 1, pp. 135 – 142, Pàtron Editore, Bologna.
- Cascini L., Ferlisi S., Vitolo E., 2008b. *Individual and societal risk owing to landslides in the Campania region (southern Italy)*. Georisk, 2(3), pp. 125-140.
- Cascini L., Ferlisi S., Vitolo E., 2012. *I Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Rischio da Frana (L. 183/1989; L. 365/2000). Il quadro delle conoscenze che scaturisce dalle fonti consultate*. In: Cascini L. (ed.), Criteri di zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frane innescate da eventi estremi (piogge e sisma). pp. 37-38, Composervice S.r.l., Padova.
- Cascini L., Fornaro G., Peduto D., 2009. *Analysis at medium scale of low-resolution DInSAR data in slow-moving landslide affected areas*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(6): 598-611
- Cascini L., Fornaro G., Peduto D., 2010b. *Advanced low- and full-resolution DInSAR map generation for slow-moving landslide analysis at different scales*. Engineering Geology 112:29–42.
- Cascini L., Guida D., Nocera N., Romanzi G., Sorbino G., 2000. *A preliminary model for landslides of May 1998 in Campania Region. Special Lecture*. Atti del 2<sup>nd</sup> International Symposium on "Geotechnics of Hard Soils and Soft Rocks", Vol. 3, pp. 1623 – 1649.
- Cascini L., Guida D., Sorbino G., 2005a. *Il Presidio Territoriale. Una esperienza sul campo*. Soveria Mannelli. Rubbettino. ISBN: 88-498-0962-X, pp. 139
- Cascini L., Peduto D., Pisciotta G., Arena L., Ferlisi S., Fornaro G., 2013a. *The combination of DInSAR and facility damage data for the updating of slow-moving landslide inventory maps at medium scale*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13:1527-1549
- Cascini L., Sorbino G., Cuomo S., Ferlisi S., 2013d. *Rainfall effects on pyroclastic deposits of the Campania region (southern Italy)*. Landslides, doi: 10.1007/s10346-013-0395-3.
- Castellanos E.A., van Westen C.J., 2007. *Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: a case study from San Antonio del Sur, Guantanamo, Cuba*. Geomorphology, 94(3–4):453–466.
- Chu J., Leroueil S., Leong W.K. 2003. *Unstable behaviour of sand and its implication for slope instability*. Canadian Geotechnical Journal, 40(5): 873–885.
- Chung C.F., Fabbri A.G., 2001. *Prediction models for landslide hazard using fuzzy set approach*. In: Marchetti M., Rivas V. (eds.) Geomorphology and environmental impact assessment. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 31–47.
- Cigna, F., Bianchini, S., and Casagli, N., 2012. *How to assess landslide activity and intensity with Persistent Scatterer Interferometry (PSI): the PSI-based matrix approach*. Landslides, 1–17.
- Ciurleo M., Cascini L., Di Nocera S., Gullà G., 2014. *L'analisi di frane superficiali in terreni a grana fine*. Presentato a questo Convegno.
- Corominas J., Copons R., Moya J., Vilaplana J.M., Altimir J., Amigò J., 2005. *Quantitative assessment of the residual risk in a rockfall protected area*. Landslides 2:343–357
- Corominas J., van Westen C., Frattini P., Cascini L., Malet J.-P., Fotopoulou S., Catani F., Van Den Eeckhaut M., Mavrouli O., Agliardi F., Pitolakis K., Winter M.G., Pastor M., Ferlisi S., Tofani V., Hervàs J., Smith J.T., 2013. *Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73. doi:10.1007/s10064-013-0538-8
- Cotecchia F., Santaloia F., Lollino P., Mitaritonna G., Vitone C., 2012. *Applicazione delle Linee Guida del JTC-1 secondo un approccio multi-scalare*. In: Cascini L. (ed.). Criteri di zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frane innescate da eventi estremi (piogge e sisma), Composervice S.r.l., Padova, pp. 46-50.
- Cruden D., Fell R., (eds.) 1997. *Landslide risk assessment*. Atti del Workshop Internazionale svoltosi a Honolulu, Hawaii (USA), 19-21 febbraio 1997. A.A. Balkema, Rotterdam, 371 pp.
- Cruden D.M., Varnes D.J., 1996. *Landslide Types and Processes*. In: Turner A.K. e Schster R.L. (eds.) Landslides Investigation and Mitigation. Transp. Res. Board Spec. Rep. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., pp. 36 – 75.
- C.U.G.RI., 2005. *Cartografia degli scenari di rischio idrogeologico e sismico e linee guida per gli interventi di mitigazione*. Convenzione tra la Provincia di Salerno e il C.U.G.Ri. per il Programma Provinciale di Previsione e Prevenzione di Protezione Civile (Legge 225 del 24/02/92, art. 13).
- Dai C.F., Lee C.F., 2001. *Terrain based mapping of landslide susceptibility using a geographic information system: a case study*. Canadian Geotechnical Journal 38: 911-923.
- Dai F.C., Lee C.F., Ngai Y.Y. 2002. *Landslide risk assessment and management: an overview*. Engineering Geology, 64:65–87
- De Chiara G., 2014. *Quantifying the risk to life posed by hyperconcentrated flows*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile per l'Ambiente ed il Territorio. Università degli Studi di Salerno.
- De Roo A.P.J., Wesseling C.G., Ritsema C.J., 1996. *Lisem: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output*. Hydrological Processes, 10(8),1107-1117.
- De Vita P., 2000. *Fenomeni di instabilità delle coperture piroclastiche dei Monti Lattari, di Sarno e di Salerno (Campania) ed analisi degli eventi pluviometrici determinanti*. Quaderni di Geologia Applicata, 7–20
- Del Prete M., Guadagno F.M., Hawkins A.B. 1998. *Preliminary report on the landslides of 5 May 1998, Campania, southern Italy*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 57: 113 – 129.
- Donati L., Turrini M.C., 2002. *An objective method to*

- rank the importance of the factors predisposing landslides with the GIS methodology — application to an area of the Apennines (Valneria; Perugia, Italy). *Engineering Geology* 63: 277–290.
- DRM, 1990. *Les études préliminaires à la cartographie réglementaire des risques naturels majeurs. Secrétariat d'État auprès du Premier ministre chargé de l'Environnement et de la Prévention des Risques technologiques et naturels majeurs*. La Documentation Française : 143 pp.
- Düzgün H.S.B., Lacasse S., 2005. *Vulnerability and acceptable risk in integrated risk assessment framework*. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhardt E. (eds.) *Landslide risk management*. Taylor and Francis, London, pp. 505-515.
- Einstein H.H., 1988. *Landslide risk assessment procedure*. Atti del 5<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Lausanne, Vol. 2:1075-1090. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Evans, N.C., King, J.P., 1998. *The natural terrain landslide study*. Debris avalanche susceptibility. Technical Note TN 1/98, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong.
- Federici B., Bovolenta R., Passalacqua R., 2014. *From rainfall to slope instability: an automatic GIS procedure for susceptibility analyses over wide areas*. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. doi: 10.1080/19475705.2013.877087
- Fell R., 1994. *Landslide risk assessment and acceptable risk*. *Canadian Geotechnical Journal* 31, 261–272.
- Fell R., Corominas J., Bonnard Ch., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z., on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes, 2008a. *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*. *Engineering Geology* 102:85–98 (la traduzione in lingua italiana, a cura di Ferlisi S., è disponibile on-line all'URL: [http://www.associazionegeotecnica.it/sites/default/files/linee\\_guida\\_jtc-1\\_italiano\\_agi.pdf](http://www.associazionegeotecnica.it/sites/default/files/linee_guida_jtc-1_italiano_agi.pdf))
- Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z., on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes, 2008b. *Commentary of Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning*. *Engineering Geology* 102, 99–111.
- Fell R., Hartford D., 1997. *Landslide risk management*. In D. Cruden and R. Fell (editors). *Landslide Risk Assessment*. A.A. Balkema Publishers: 51-109.
- Fell R., Ho K.K.S., Lacasse S., Leroi E., 2005. *A framework for landslide risk assessment and management*. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhardt E. (eds.) *Landslide risk management*. Taylor and Francis, London, pp. 3–26
- Ferlisi S., Cascini L., Corominas J., Matano F. (2012) *Rockfall risk assessment to persons travelling in vehicles along a road: the case study of the Amalfi coastal road (southern Italy)*. *Natural Hazards* 62(2):691–721
- Ferretti A., Prati C., Rocca F., 2000. *Nonlinear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR*. *Interferometry IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 38(5), 2202-2212.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca F., 2001. *Permanent scatterers in SAR interferometry*, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 39, 8–20.
- Finlay P.J., Fell R., 1997. *Landslides: risk perception and acceptance*. *Canadian Geotechnical Journal*, 1997, 34(2): 169-188
- Fornaro G., Reale D., Serafino F., 2009. *Four-dimensional SAR imaging for height estimation and monitoring of single and double scatterers*. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 47(1), 224–237.
- Garry G., Grasz E., 1997. *Plans de prévention des risques naturels (PPR) – Guide général*. La Documentation Française, Paris.
- Glade T., Anderson M., Crozier M., 2005. *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons Publisher
- Grasz E., Toulemont M., 1996. *Plans de prévention des risques naturels et expropriation pour risques majeurs. Les mesures de prévention des risques naturels de la loi du 2 février 1995*. *Bull. Labo. P. & Ch.*, 206 : 85-94.
- Guzzetti F., 2000. *Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy*. *Engineering Geology*, 58, 89-107.
- Guzzetti F., Stark C.P., Salvati P., 2005. *Evaluation of flood and landslide risk to the population in Italy*. *Environmental Management*, 36(1), 15-36.
- Herrera G., Gutierrez F., Garcia-Davalillo J.C., Guerrero J., Notti D., Galve J.P., Fernandez-Merodo J.A., Cooksley G., 2013. *Multi-sensor advanced DInSAR monitoring of very slow landslides: the Tena Valley case study (Central Spanish Pyrenees)*. *Remote Sensing Environment*, 128:31–43.
- Ho K.K.S., Leroi E., Roberds B., 2000. *Quantitative risk assessment—application, myths and future direction*. In: Proceedings of the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering (GeoEng2000), Melbourne, Australia, 9–24 Nov 2000, 1:269–3
- Humbert, M. 1972. *Les Mouvements de terrains. Principes de réalisation d'une carte previsionelle dans les Alpes*. *Bulletin du BRGM. Section III, n°1* : 13-28.
- Humbert, M. 1977. *La Cartographie ZERMOS. Modalités d'établissement des Cartes des zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol*. *Bulletin du BRGM, Section III, n°1/2* : 5-8.
- Hungr O., 1997. *Some methods of landslide hazard intensity mapping*. In D. Cruden and R. Fell (editors). *Landslide Risk Assessment*: 215-226. Balkema, Rotterdam.
- Hungr O., Corominas J., Eberhardt E., 2005a. *Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity—state of the art report*. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhardt E. (eds.) *Landslide risk management*. A.A. Balkema, Amsterdam, pp 99–128.
- Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhardt E., (eds.) 2005b. *Landslide risk management*. Atti della Conferenza Internazionale svoltasi a Vancouver, Canada, 31 Maggio – 3 Giugno 2005. A.A. Balkema, Amsterdam, 764 pp.
- Hutchinson J.N., 1988. *Morphological and Geotechnical parameters of Landslides in relation to Geology and Hydrogeology*. State of the art Report. Proc. V Intl. Symposium on Landslides, Lausanne, 1, 3 – 35.

- Hutchinson J.N., 1988. *Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*. State of the art Report. Proc. V Intl. Symposium on Landslides, Lausanne, 1, 3 – 35.
- IAEG, 1990. *Suggested nomenclature for landslides*. International Association of Engineering Geology Commission on Landslides. Bulletin IAEG 13–16 No. 41.
- IDB, 2010. *Indicator of Disaster Risk and Risk Management*, Technical Notes N° IDB-TN-169
- Kampes B.M., 2006. *Radar Interferometry: Persistent Scatterer Technique*. Springer.
- Kanungo D.P., Arora M.K., Sarkar S., Gupta R.P., 2006. *A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas*. Engineering Geology, 85(3-4): 347-366
- Kaynia A.M., Papathoma-Köhle M., Neuhauser B., Ratzinger K., Wenzel H., Medina-Cetina Z., 2008. *Probabilistic assessment of vulnerability to landslide: application to the village of Lichtenstein, Baden-Württemberg, Germany*. Engineering Geology, 101:33–48
- Lee S., 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. International Journal of Remote Sensing, 26:1477–1491.
- Leroi E., 1997. *Landslide risk mapping: problems, limitations and developments*. In D. Cruden and R. Fell (eds) Proc. of Int. Workshop on Landslide Risk: 239-250. Balkema, Rotterdam.
- Leroi E., Bonnard Ch., Fell R., McInnes R., 2005. *Risk assessment and management*. In: O. Hungr, R. Fell, R. Couture, E. Eberhardt, eds. International Conference on “Landslide Risk Management”. 31 May-3 June 2005 Vancouver, Canada. London: Taylor and Francis, 159-198.
- Leroueil S., Vaunat J., Picarelli L., Locat J., Lee H.J., Faure R. 1996. *Geotechnical characterization of slope movements*. Atti del 7<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Trondheim, vol. 1, pp. 53-74.
- Lettera F., 2012. *Dal vincolo idrogeologico alla L.183 del 1989*. Convegno su “Riflessioni e linee di indirizzo per i PsAI sul rischio da frana a dieci anni dalla loro presentazione”. Ravello (SA), 5-7 settembre 2012.
- Lumb P., 1975. *Slope failures in Hong Kong*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 8:31-65.
- Manzo M., Ricciardi G.P., Casu F., Ventura G., Zeni G., Borgstrom S., Berardino P., Del Gaudio C., Lanari R., 2006. *Surface deformation analysis in the Ischia Island (Italy) based on spaceborne radar interferometry*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 151, 399–416.
- Mavrouli O., Fotopoulou S., Pitilakis K., Zuccaro G., Corominas J., Santo A., Cacace F., De Gregorio D., Di Crescenzo G., Foerster E., Ulrich T., 2014. *Vulnerability assessment for reinforced concrete buildings exposed to landslides*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73. doi:10.1007/s10064-014-0573-0
- Migale L.S., Milone A., 1998. *Colate di fango in terreni piroclastici della Campania. Primi dati della ricerca storica*. Rassegna Storica Salernitana, n.s., XV/2, n. 30, Dicembre, 235-271.
- Montgomery D.R., Dietrich W.E., 1994. *A physically based model for the topographic control on shallow landsliding*. Water Resources Research, 30, 1153-1171.
- Nadim F., Kjekstad O., Peduzzi P., Herold C., Jaedicke, C., 2006. Global landslide and avalanche hotspots. Landslides, Vol. 3, No. 2, 159-174.
- Nadim, F., Einstein, H., Roberds, W., 2005. *Probabilistic stability analysis for individual slopes in soil and rock*. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhardt E. (eds.), Landslide Risk Management. Taylor and Francis, London, pp. 63–98.
- O’ Brien J.S., Julien P.Y., Fullerton W.T., 1993. *Two-dimensional water flood and mudflow simulation*. Journal of Hydraulic Engineering, 119(2): 244-261.
- Orlando G., 1884. *Storia di Nocera de’ Pagani*, voll. 3, Editore Tocco, Napoli.
- Pagano L., 2009. *The role of rainfall history on the interpretation of flow slide triggering in pyroclastic soils*. In: Picarelli L, Tommasi P, Urciuoli G, Versace P (eds) Rainfall-induced landslides: mechanisms, monitoring techniques and nowcasting models for early warning systems. Proceedings of the first Italian Workshop on Landslides. 8–10 June 2009 Napoli, vol. 1. Studio Editoriale Doppiavoce, Napoli, pp. 216–223.
- Pareschi M.T., Favalli M., Giannini F., Sulpizio R., Zanchetta G., Santacroce R., 2000. *May 5, 1998, debris flow in circum-Vesuvian areas (southern Italy): Insights for hazard assessment*. Geology 28(7): 639 – 642.
- Pastor M., Quecedo M., Fernandez-Merodo J.A., Herreros M.I., Gonzalez E., Mira P., 2002. *Modelling tailing dams and mine waste dumps failures*. Géotechnique, 52(8), 579-591.
- Peduto D., 2008. *Analysis of ground deformations related to subsidence and landslide phenomena*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile per l’Ambiente ed il Territorio. Università degli Studi di Salerno.
- Peduto D., Pisciotta G., Ferlisi S., Arena L., Fornaro G., Cascini L. 2014. *Il ruolo delle tecniche DInSAR nell’analisi del rischio da frane a cinematica lenta*. Presentato a questo Convegno.
- Picarelli L. (ed.), 2003. *Fast slope movements. Prediction and prevention for risk mitigation*. Atti della Conferenza Internazionale svoltasi a Napoli, 11-13 maggio 2003. Pàtron Editore, Bologna, 553 pp.
- Pisciotta G., 2008. *Physical vulnerability of element at risk in landslide prone areas*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile per l’Ambiente ed il Territorio. Università degli Studi di Salerno.
- Remondo J., Bonachea J., Cendrero A., 2005. *A statistical approach to landslide risk modelling at basin scale: from landslide susceptibility to quantitative risk assessment*. Landslides 2: 321-328.
- Revellino P., Hungr O., Guadagno F.M., Evans S.G., 2002. *Dynamic analysis of recent destructive debris flows and debris avalanches in pyroclastic deposits*,

- Campania Region, Italy. International Conference on Instability Planning and Management. Ventnor, Isle of Wight, UK, pp. 363–371.
- Rickenmann D., 1999. *Empirical relationships for debris flows*. Natural Hazards, 19:47–77.
- Sacco C., Cascini L., 2013. *Verso un approccio sistemico alla gestione del rischio da frana*. In: M. Cecconi, V. Pane (eds.), *Atti dell'Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica – IARG 2013*, Perugia, 16-18 Settembre 2013, pp. 1-6, ISBN: 9788890642135
- SafeLand Deliverable D2.1, 2010. *Overview of landslide hazard and risk assessment practices*. A cura di: Corominas J. e Mavrouli O. Disponibile all'URL: at: <http://www.safeland-fp7.eu>
- SafeLand Deliverable D2.11, 2011. *QRA case studies at selected "hotspots". Synthesis of critical issues*. A cura di: Corominas J. e Mavrouli O. Disponibile all'URL: at: <http://www.safeland-fp7.eu>
- SafeLand Deliverable D5.2, 2011. *Toolbox of landslide mitigation measures*. A cura di: Lacasse S. e Choi Y.J. Disponibile all'URL: at: <http://www.safeland-fp7.eu>
- SafeLand Deliverable D5.3, 2011. *Quantitative risk-cost-benefit analysis of selected mitigation options for two case studies*. A cura di: Narasimhan H. e Faber M.H. Disponibile all'URL: at: <http://www.safeland-fp7.eu>
- SafeLand Deliverable D5.7, 2011. *Design and testing: a risk communication strategy and a deliberative process for choosing a set of mitigation and prevention measures*. A cura di: Scolobig A. e Bayer J. Disponibile all'URL: at: <http://www.safeland-fp7.eu>
- Salciarini D., Godt J.W., Savage W.Z, Baum R.L., Conversini P., 2008. *Modeling landslide recurrence in Seattle, Washington, USA*. Engineering Geology, 102 (3-4): 227-237.
- Santaloia F., Cotecchia F., Vitone C., 2012. *Applicazione dei metodi avanzati al fronte appenninico apulo-lucano: analisi di I livello*. In: Cascini L. (ed.). *Criteri di zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frane innescate da eventi estremi (piogge e sisma)*, Compositeservice S.r.l., Padova, pp. 46-50.
- Soeters R., Van Westen, C.J. 1996. *Slope instability recognition, analysis and zonation*. In A.K. Turner and R.L. Schuster (eds.).
- Sorbino G., Sica C., Cascini L., 2010. *Susceptibility analysis of shallow landslides source areas using physically based models*. Natural Hazards, vol. 53; p. 313-332.
- Take W.A., Bolton M.D., Wong P.C.P., Yeung F.J. 2004. *Evaluation of landslide triggering mechanisms in model fill slopes*. Landslides, 1: 173–184.
- Thompson M., 2008. *Organising and Disorganising*. Axminster: Triarchy Press.
- Thompson M., Ellis R.J., Wildavsky A., 1990. *Cultural Theory*. Boulder, Colorado: West View.
- Tofani V., Segoni S., Agostini A., Catani F., Casagli N., 2013. *Technical Note: Use of remote sensing for landslide studies in Europe*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13 : 299–309.
- Tommasi P., Pellegrini P., Boldini D., Ribacchi R., 2006. *Influence of rainfall regime on hydraulic conditions and movement rates in the overconsolidated clayey slope of the Orvieto hill (central Italy)*. Canadian Geotechnical Journal, 43, 70–86.
- Vail A.J., 1984. *Two landslides disasters in Hong Kong*. Atti del 4<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Toronto. Vol. 1: 717-722.
- Vail A.J., Beattie A.A., 1985. *Earthworks in Hong Kong – their failure and stabilization*. Proc. Symp. Failures in Earthworks, London:15-28.
- VanDine D.F., 1996. *Debris flow control structures for forest engineering*. Research Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B.C., Work. Pap. 08/1996. Disponibile on-line all'URL: <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/wp/wp22.htm>
- van Westen C.J., Castellanos E., Kuriakose S.L., 2008. *Spatial data for landslide susceptibility, hazards and vulnerability assessment: An overview*, Engineering Geology, 102:112–131.
- van Westen, C.J., 2004. *Geo-Information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments*, In: Lacerda W.A., Ehrlich M., Fontoura, S.A.B., e Sayão, A.S.F. (eds.). *Landslides – Evaluation & Stabilization*, Atti del 9<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, 28 giugno–2 luglio 2004, Rio de Janeiro, A.A. Balkema Publishers, 1, 39–56.
- Varnes D.J. 1984. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Natural Hazard Series, vol 3. UNESCO, Paris
- Varnes D.J., 1978. *Slope movements types and processes*. Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board, Nat. Acad. of Sciences, Trasp. Res. Board, Washington, Special Report 76: 11–35.
- Verweij M., 2011. *Clumsy Solutions for a Wicked World*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Winter M.G., Smith J.T., Fotopoulou S., Pitolakis K., Mavrouli O., Corominas J., Argyroudou S., 2014. *An expert judgement approach to determining the physical vulnerability of roads to debris flow*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73. doi:10.1007/s10064-014-0570-3
- Wong H.N. 2005. *Landslide risk assessment for individual facilities—state of the art report*. In: Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E (eds.) *Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management*. Taylor & Francis, London, pp 237–296
- Wong H.N., Ho K.K.S., Chan Y.C., 1997. *Assessment of consequence of landslides*. In: Cruden D., Fell R. (eds.) *Landslide risk assessment*. A.A. Balkema, Rotterdam, pp 111–149.