

Linee guida per la zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana ai fini della pianificazione territoriale¹

Robin Fell^a, Jordi Corominas^b, Christophe Bonnard^c, Leonardo Cascini^d, Eric Leroi^e, William Z. Savage^f per conto del JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes

^a University of New South Wales, Sydney, Australia

^b Department of Geotechnical Engineering and Geosciences, Technical University of Catalonia -UPC, Jordi Girona 1-3, D-2 Building, 08034 Barcelona, Spain

^c PBBG SA, Lausanne, Switzerland

^d Department of Civil Engineering, University of Salerno, via Ponte don Melillo, 84084 Fisciano, SA, Italy

^e Urbater, 48 avenue Trespoeuy 64000 Pau, France

^f U.S. Geological Survey, Box 25046 MS966, Denver, CO USA

Parole chiave: *Linee guida, suscettibilità da frana, pericolosità da frana, rischio da frana, zonazione*

1. Introduzione

Negli ultimi decenni si è assistito ad un progressivo sviluppo degli studi e delle ricerche sulla zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frana e, in minor misura, di quelli sulla zonazione del rischio da frana.

La maggior parte di tali studi e ricerche si fonda su analisi di tipo qualitativo anche se, nella più recente letteratura, non mancano esempi di analisi su base quantitativa sia della pericolosità, attraverso la stima della probabilità annuale di accadimento (frequenza) delle frane potenziali, e sia del rischio a cui sono esposti gli elementi esistenti.

Purtroppo, tra i diversi Paesi ed anche all'interno di uno stesso Paese si riscontra raramente l'impiego di una terminologia omogenea, i risultati della zonazione sono spesso non chiaramente esplicitati e suscettibilità, pericolosità e rischio sono spesso impiegati senza alcuna distinzione nelle carte di zonazione.

Una revisione delle più recenti esperienze di zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frana (Cascini et al., 2005) evidenzia come i prodotti finali (carte di zonazione) possano presentare differenti livelli di accuratezza e di affidabilità. Le carte sono attualmente redatte impiegando dati di input che possono essere sia qualitativi e sia quantitativi. In qualche Paese, i dati da acquisire per una adeguata zonazione quantitativa della pericolosità non sono disponibili.

Attualmente vi è un crescente bisogno di criteri per la gestione del rischio in termini quantitativi basati sull'uso di metodi quantitativi per la zonazione della suscettibilità e della pericolosità da frana. Questo consentirebbe il confronto dei risultati ottenuti con i valori di pericolosità e di rischio pertinenti ad altri fenomeni nonché con criteri di tollerabilità del rischio di perdita di vita umana. Grazie ai più recenti sviluppi delle tecniche di acquisizione dei dati (remote sensing), delle metodologie di analisi e dei sistemi GIS, si può attualmente disporre di strumenti che rendono meno improba la zonazione del rischio in termini quantitativi.

Nell'ottica di supportare gli sviluppi nella zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio, il JTC-1 (Joint ISSMGE, ISRM and IAEG Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes) ha redatto le presenti Linee Guida. Le Linee Guida forniscono:

- definizioni e terminologia da utilizzare in campo internazionale;
- descrizione dei tipi e dei livelli di zonazione;
- suggerimenti sulle aree nelle quali la zonazione e la pianificazione territoriale si rendono necessari per prevenire le conseguenze legate a fenomeni franosi;
- definizione dei livelli di zonazione e suggerimenti sulle scale di zonazione, portando in conto le esigenze e gli obiettivi di coloro i quali sono preposti alla pianificazione del territorio e al suo corretto uso nonché la finalità della zonazione;
- suggerimenti sulle informazioni richieste per i differenti livelli di zonazione, tenendo conto delle differenti tipologie di frana;
- suggerimenti sulla affidabilità, validità e limiti dei metodi;
- raccomandazioni sulla qualifica richiesta a coloro i quali sono incaricati della zonazione nonché sui passi che i consulenti dovrebbero seguire nella redazione di zonazioni finalizzate alla pianificazione territoriale.

¹ Traduzione a cura di Settimio Ferlisi dell'articolo dal titolo "Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning" pubblicato su Engineering Geology, 102:85-98 – doi:10.1016/j.enggeo.2008.03.022. L'articolo è liberamente consultabile sul sito web del JTC-1 (<http://www.webforum.com/jtc1/>). "This is an unofficial translation of an article that appeared in an Elsevier publication. Elsevier has not endorsed this translation."

Le Linee Guida contemplano le frane che interessano pendii naturali e quelle associate a collassi di pendii artificiali comprendenti scavi, rilevati e opere di sostegno. Considerano anche le conseguenze che è lecito attendersi all'interno delle aree da zonare a seguito dell'accadimento di tali fenomenologie. Le Linee Guida sono rivolte a Enti locali, statali e governi nazionali, professionisti operanti nel campo dell'Ingegneria Geotecnica, pianificatori territoriali, project manager. Il presente documento è stato redatto contestualmente alle Linee Guida dell'Australian Geomechanics Society (AGS, 2007b) e vi è stato un interscambio di informazioni e di contenuti tra i due documenti.

2. Definizioni e terminologia

2.1. Definizioni

Le definizioni dei termini impiegati nella zonazione e nella gestione del rischio sono riportate in Appendice A. Tali definizioni sono basate su quelle fornite dall'UGS (1997), con qualche modifica di dettaglio basata sulle definizioni adottate in ambito internazionale e proposte dal Comitato Tecnico TC32 dell'International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

Tali definizioni dovrebbero essere usate per tutte le zonazioni, report e documenti per la pianificazione territoriale, e si raccomanda che tali definizioni siano inserite all'interno di tali documenti per evitare fraintendimenti dei termini.

Le definizioni dei termini principali sono:

- **Frana.** Il movimento di una massa di roccia, di detrito, o di terra (terreno) lungo un versante.
- **Frana attiva.** Una frana che è attualmente in movimento; può essere un movimento di primo distacco o una riattivazione.
- **Frana riattivata.** Una frana che è nuovamente attiva dopo essere stata inattiva.
- **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'innescò 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 affette 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. E' 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.

Per i fini delle presenti Linee Guida, 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.

Nelle presenti Linee Guida l'impiego del termine "frana" fa riferimento sia alle frane esistenti (o note) e sia a quelle potenziali che un esperto potrebbe ragionevolmente prevedere sulla base di evidenze di tipo geologico, morfologico nonché derivanti dall'analisi dei processi di evoluzione del versante. Tali frane potenziali potrebbero avere una diversa probabilità (*likelihood*) di accadimento.

Il termine "*landslip*" è talvolta utilizzato per indicare una frana ma il suo uso non è raccomandato.

2.2. Classificazione delle frane e terminologia

E' importante che nel procedere ad una zonazione si faccia ricorso ad una terminologia affidabile per classificare e descrivere le frane. Si raccomanda l'impiego delle classifiche di Cruden e Varnes (1996), Varnes (1978) o Hutchinson (1988) e la terminologia proposta da IAEG (1990).

3. Processo di gestione del rischio da frana

La Figura 1 illustra il digramma di flusso che sintetizza le fasi caratterizzanti il processo di gestione del rischio da frana. Tale diagramma è stato proposto da Fell et al. (2005) ed è ampiamente utilizzato in ambito internazionale. Ha rappresentato la base di riferimento per gli Stati dell'Arte e per i contributi ad invito della Conferenza Internazionale sulla Gestione del Rischio da Frana svoltasi a Vancouver nel maggio 2005 (Hung et al., 2005). Si raccomanda che tale diagramma di flusso sia utilizzato quale quadro metodologico di riferimento per la zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana indipendentemente dal fatto che si adotti un approccio quantitativo o qualitativo.

4. Descrizione della zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana per la pianificazione territoriale

4.1 Tipi di zonazione

La *zonazione della suscettibilità da frana* contempla la classificazione, l'area o il volume (magnitudo) e la distribuzione spaziale delle frane esistenti e potenziali all'interno di un'area di studio. Potrebbe anche includere una descrizione della distanza di propagazione, della velocità e dell'intensità della franosità esistente o potenziale. La zonazione della suscettibilità da frana usualmente contempla la redazione di un inventario delle frane occorse nel passato unitamente alla individuazione delle aree nelle quali la franosità potrà manifestarsi nel futuro, senza procedere ad una stima della frequenza di accadimento (probabilità annuale). In qualche caso la zonazione della suscettibilità richiederà di essere estesa al di fuori dell'area da perimetrare ai fini della pericolosità e del rischio in modo da contemplare anche le aree su cui le frane potranno propagarsi o all'interno delle quali potranno regredire. Sarà necessario stimare indipendentemente la propensione dei versanti al collasso e le aree all'interno delle quali le frane, a partire dalla zona d'innescò, potrebbero propagarsi o regredire.

La *zonazione della pericolosità* prende avvio dagli esiti della zonazione della suscettibilità da frana e introduce la stima della frequenza (in termini di probabilità annuale) di accadimento delle frane potenziali. Essa dovrebbe anche contemplare tutta la franosità che può interessare l'area di studio, ivi comprese le frane che innescandosi a quote superiori a quelle dell'area di studio potrebbero propagarsi su di essa nonché le frane che pur sviluppandosi a quote inferiori a quelle dell'area di studio potrebbero regredire al suo interno. La pericolosità può essere espressa come la frequenza che compete a una particolare tipologia di frana di assegnato volume, ovvero a frane di assegnata tipologia, volume e velocità (che può variare con la distanza dalla zona d'innescò),

o in alcuni casi come la frequenza di fenomeni franosi di assegnata intensità, espressa per esempio in termini di energia cinetica. Le misure di intensità sono molto utili per i crolli in roccia e per colate di detrito (in questo caso esprimibili, ad esempio, come prodotto dell'altezza del fronte della colata per la velocità).

La *zonazione del rischio da frana* si basa sui risultato della zonazione della pericolosità e contempla la stima dei danni potenziali alle persone (probabilità annuale di perdita di vita umana), alle proprietà (perdita annuale del valore della proprietà) e ai beni ambientali (perdita annuale del valore), portando in conto la loro probabilità temporale e spaziale e la loro vulnerabilità.

Non esiste una procedura unica in grado di stimare la potenzialità d'innescio di ciascun tipo di frana e la sua distanza di propagazione. Infatti, i fattori predisponenti (cioè la pendenza, la litologia, il regime idrico sotterraneo, ecc.) sono specifici per ciascun meccanismo di frana. Per tale ragione, è spesso necessario procedere ad una stima separata della suscettibilità, della pericolosità e del rischio per le differenti tipologie di frana che interessano una data area (per esempio, crolli in roccia, frane superficiali di modeste dimensioni e grandi frane con superfici di scorrimento profonde) e presentare i risultati in specifiche carte tematiche, anche in considerazione del fatto che le norme o gli obblighi legislativi per la mitigazione del rischio potrebbero differire a seconda del tipo di frana. Tali carte tematiche possono essere combinate in un'unica carta. In tal caso, si deve tenere conto del fatto che, per esempio, lo stesso livello di pericolosità potrebbe derivare dalla differente combinazione di frane di differente tipologia, volume, intensità e frequenza. Può anche essere necessario produrre carte tematiche separate per frane lungo versanti naturali e per quelle su versanti artificiali.

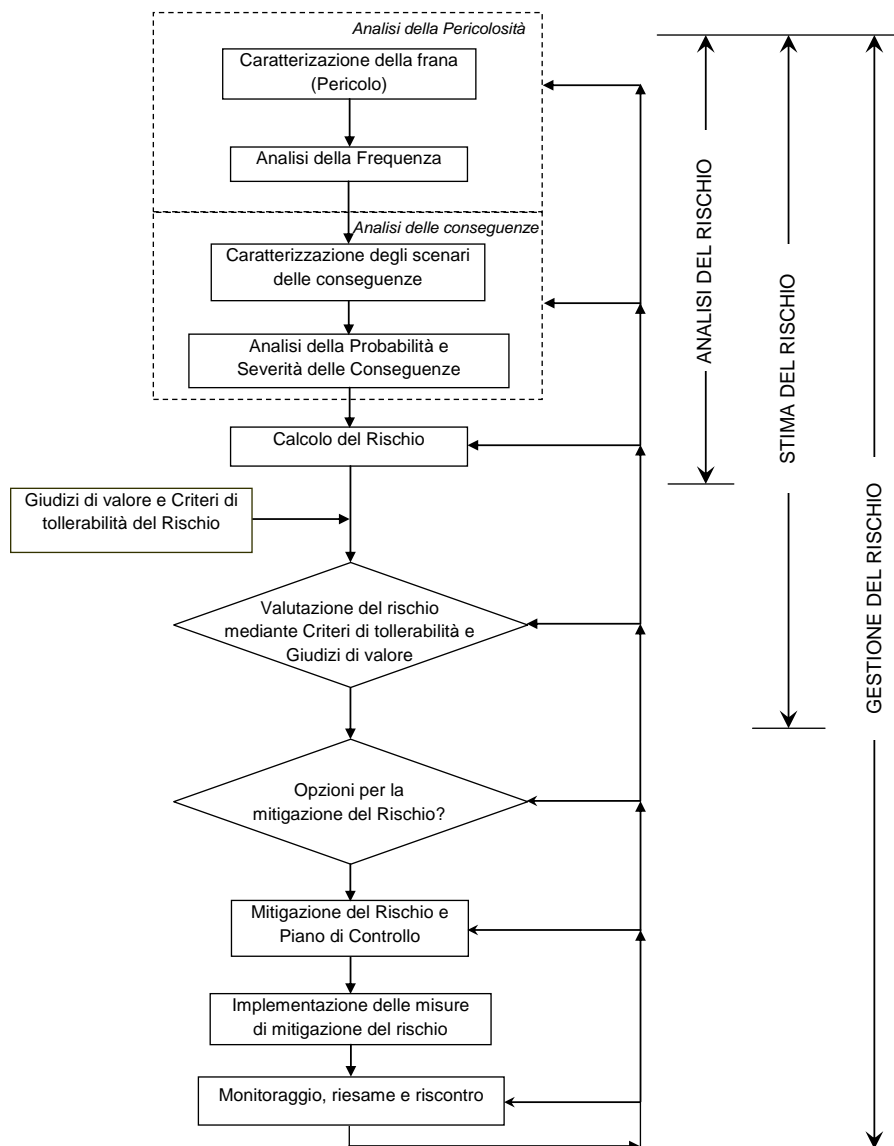


Figura 1. Diagramma di flusso per la gestione del rischio da frana (modificato da Fell et al 2005).

5. Suggerimenti sulle aree per le quali la zonazione è utile ai fini della pianificazione territoriale

5.1. Principi generali

La zonazione finalizzata alla pianificazione territoriale è più comunemente richiesta a livello di Governo locale, ma può essere richiesta da Stati e Governi centrali per la pianificazione territoriale su scala regionale o per la pianificazione della gestione delle emergenze.

Può anche essere richiesta da coloro ai quali è assegnato il compito di provvedere allo sviluppo territoriale, dai gestori di aree ricreative, o ancora da chi si occupa della realizzazione di importanti infrastrutture come le autostrade e le linee ferrate. Nel seguito si riportano alcuni esempi di situazioni tipiche cui si associa un'elevata suscettibilità da frana e la cui zonazione risulterebbe di grande ausilio per la pianificazione territoriale e per la gestione del rischio da frana. Che, poi, la zonazione risulti necessaria ai fini della pianificazione territoriale discende dal considerare contestualmente: *i)* l'esistenza di un'area che è potenzialmente sede di fenomenologie franose; *ii)* la scala di analisi; *iii)* le modalità di sviluppo dell'area. Il tipo di zonazione richiesto è illustrato nella Sezione 6.

5.2. Condizioni topografiche, geologiche e di sviluppo urbano per le quali la franosità rappresenta potenzialmente un problema

Nel seguito si riportano alcuni esempi nei quali la franosità è potenzialmente un elemento da portare in conto nella pianificazione territoriale.

(a) Laddove vi sono evidenze di una franosità pregressa, come per esempio nei casi di:

- frane con superfici di scorrimento profonde in versanti naturali;
- frane superficiali diffuse su versanti naturali di elevata pendenza;
- crolli in roccia da versanti acclivi;
- crolli in roccia da scogliere;
- frane in fronti di scavo, rilevati e muri di sostegno in prossimità di strade o linee ferrate ovvero associate allo sviluppo urbano;
- frane di grandi dimensioni attualmente inattive sottoposte a scavo al piede da erosione attiva o soggette a riattivazione a seguito di azioni antropiche;
- colate di detrito e colate di terra da versanti già sede di fenomeni franosi;
- fenomeni di creep superficiale diffusi in versanti di pendenza generica.

(b) Dove non vi sono evidenze di una franosità pregressa ma le condizioni topografiche sono tali da far presagire la possibilità che si verifichino frane, come nel caso di:

- pareti sub-verticali (in prossimità di linee di costa ovvero nell'entroterra)
- versanti naturali con pendenze superiori ai 35° (in tal caso è altamente probabile che la propagazione risulti rapida)
- versanti naturali con pendenze comprese tra i 20° e i 35° (in questo caso è possibile che la propagazione risulti rapida)
- tagli sub-verticali di origine antropica per la realizzazione di infrastrutture stradali o ferroviarie e scavi minerari;
- versanti acclivi soggetti a un processo di degradazione derivante da un recente disboscamento, da incendi e/o dalla costruzione di strade;
- frane di grandi dimensioni attualmente inattive soggette ad innalzamenti del livello di falda, per esempio dovute ad operazioni forestali ed agricole;
- conoidi di detrito.

(c) Quando non vi sono evidenze di una franosità pregressa ma sussistono fattori geologici e geomorfologici predisponenti la franosità, come nei casi di:

- rocce basaltiche alterate sovrainposte ad altre rocce di maggiore resistenza (gli scorrimenti spesso si verificano in corrispondenza degli strati d'interfaccia);
- rocce granitiche e vulcaniche alterate;
- rocce interstratificate alterate, arenarie o calcari;

- roccia in strati di notevole spessore sovrainposta a formazioni di materiali a struttura complessa (marnosi o a scaglie);
- dune di sabbia;
- argini soggetti ad alluvioni e/o erosione attiva;
- versanti naturali acclivi in regioni sede di terremoti di elevata magnitudo o di piogge intense;
- versanti di argille sensitive o spessi depositi di terreni limosi (per esempio, loess);
- dove vi sono fenomeni di scavo al piede di pendii dovuti all'azione dei corsi d'acqua o del mare;
- pendii in terreni sciolti saturi che ricadono in regioni sismicamente attive e che sono suscettibili alla liquefazione.

(d) In corrispondenza di opere che, laddove dovessero collassare, potrebbero originare movimenti di massa che si propagano rapidamente, come nel caso di:

- rilevati costituiti di terreni sabbio-limosi sciolti (terreni residuali o derivanti dalla alterazione spinta di rocce granitiche; terreni originati dal disfacimento di calcari, ecc.);
- altri cumuli di materiali di risulta su versanti acclivi;
- grandi opere di sostegno;
- scarti minerari e discariche minerarie, in particolare quelle situate su pendii;
- *tailing dams*, in particolare quelle realizzate mediante il metodo "upstream".

(e) In aree soggette a lavori forestali e disboscamenti per fini agricoli, dove la franosità può causare danni all'ambiente modificando il corso dei ruscelli e di altri corpi idrici ricettori.

E' importante osservare come l'accadimento di frane rapide risulti di particolare importanza per le conseguenze che ne possono derivare in termini di perdita di vita umana. Tuttavia, anche le frane da lente a molto lente possono essere importanti in quanto possono determinare danni significativi alle proprietà.

5.3. Tipologie di sviluppo urbano per le quali la zonazione ai fini di pianificazione territoriale può risultare efficace

Si riportano nel seguito alcuni esempi per i quali l'impiego della zonazione ai fini di pianificazione territoriale risulta di sicura efficacia:

(a) Aree di sviluppo residenziale

- nuove aree urbane;
- partizioni di terreni da adibire ad uso agricolo;
- lottizzazioni (sono da considerare aree di estensione minima pari a 2 ha o lotti di almeno 20 case; per aree di minore estensione si potranno adottare le procedure per la stima del rischio per l'individuo);
- in generale, qualunque area dove è prevedibile un significativo incremento della densità di popolazione.

(b) Aree urbane esistenti soggette a controllo dello sviluppo a fini residenziali in quanto potenzialmente interessate da fenomeni franosi

- porzioni di ovvero intere aree che ricadono sotto la giurisdizione di un governo locale;
- intere città.

(c) Realizzazione di infrastrutture di importanza strategica

- ospedali, scuole, caserme di vigili del fuoco e altri servizi di emergenza;
- infrastrutture di comunicazione di particolare rilevanza;
- reti infrastrutturali primarie quali gli acquedotti, i gasdotti e gli elettrodotti.

(d) Aree ricreative

- località turistiche di montagna;
- altre località turistiche (per es., isole);
- parchi nazionali e statali (costieri, ecc.);
- strutture sportive;
- sentieri di montagna e sentieri costieri.

(e) Realizzazione di nuove strade, autostrade e linee ferrate

- strade interpoderali;
- strade urbane principali;
- strade urbane secondarie.

(f) aree pubbliche sulle quali le frane possono propagarsi o all'interno delle quali possono regredire coinvolgendo ulteriori aree urbanizzate adiacenti

- foreste;
- parchi nazionali e statali;
- parchi municipali.

(g) Aree vallive, attraversate da fiumi, all'interno delle quali è prevista la realizzazione di dighe (incluso i versanti che si affacceranno sull'invaso artificiale a farsi) nonché le aree che potranno subire conseguenze a causa della eventuale interruzione della continuità degli alvei fluviali a seguito di fenomeni franosi o della rottura degli sbarramenti temporanei che si sono formati con la conseguente generazione di alluvioni.

Occorre osservare che, laddove l'area di interesse per la pianificazione territoriale appartenga a una delle categorie elencate nella Sezione 5.2, il ricorso alla zonazione potrà determinare ricadute positive sulla gestione del territorio.

Le categorie elencate non costituiscono una lista esaustiva. Né tantomeno si vuole affermare che la zonazione risulta necessaria laddove una o più di tali categorie siano presenti. Si vuole semplicemente raccomandare, agli utilizzatori delle presenti Linee Guida, di tenere conto nelle loro analisi dei fattori innanzi richiamati e, in particolare, delle tipologie di sviluppo urbano proposto.

6. Scelta del tipo e del livello di zonazione

6.1. Alcuni principi generali

La zonazione è condotta a fini di pianificazione su scala regionale, locale e di sito. I prodotti della zonazione sono usualmente nella forma di uno o più dei seguenti elaborati: inventario dei fenomeni franosi; carte della suscettibilità, della pericolosità e del rischio; e relative relazioni di accompagnamento.

Il tipo ed il livello di dettaglio della zonazione e la scala di rappresentazione dipendono dallo scopo della zonazione e da una serie di altri fattori, ovvero:

- La fase di sviluppo del piano regolatore o del progetto ingegneristico che si intende realizzare. La zonazione della suscettibilità e della pericolosità sarebbero preferibilmente da utilizzare nella fase preliminare, mentre la zonazione della pericolosità e del rischio per le fasi più avanzate. Tuttavia, la scelta dipende in primo luogo dalle finalità che con la zonazione si intendono perseguire nella gestione dell'uso del territorio e nelle politiche intraprese dai Governi e da altri attori (*stakeholders*) coinvolti.
- Il tipo di sviluppo urbano. La zonazione del rischio è preferibilmente da impiegare per sviluppi urbani esistenti, dove gli elementi a rischio sono noti, o per reti stradali e ferroviarie esistenti o da realizzare per le quali gli elementi a rischio (ovvero i fruitori della strada o della linea ferrata) sono facilmente determinabili. In ogni caso, gli elementi a rischio spesso variano nel tempo e la zonazione del rischio necessita, quindi, di essere regolarmente aggiornata.
- La classificazione, lo stato di attività, il volume o l'intensità dei fenomeni franosi. La zonazione del rischio è preferibilmente richiesta laddove le frane, con buona probabilità, si propagheranno rapidamente e/o nei casi in cui abbiano un'elevata intensità, così come emerge dalla combinazione di informazioni riguardanti il volume mobilitato e la velocità (si pensi al caso dei crolli in roccia, delle colate di detrito, delle valanghe di roccia). In tali casi, la perdita di vita umana è altamente probabile ed è, quindi, proficuo ricorrere alla zonazione del rischio che può consentire un corretto uso del suolo sulla base di criteri di accettabilità/tollerabilità del rischio di perdita di vita umana.
- Sebbene lo scopo da perseguire dovrebbe discriminare il livello di zonazione e la scala di rappresentazione, i fondi disponibili possono rappresentare un vincolo concreto. La zonazione della suscettibilità da frana è meno impegnativa della zonazione della pericolosità, e la zonazione della pericolosità è molto meno impegnativa della zonazione del rischio; ne consegue che coloro i quali si occupano di pianificazione territoriale possono optare per i più bassi tipi e livelli di zonazione almeno nella prima fase della pianificazione territoriale.

- La quantità e la qualità dei dati disponibili. La zonazione quantitativa della pericolosità e del rischio non può essere perseguita laddove i dati sulla frequenza di accadimento dei fenomeni franosi non sono disponibili o sono così incerti da non poter essere ritenuti affidabili. In tal caso si raccomanda la sola zonazione della suscettibilità.
- La storia dell'area da zonare e l'evoluzione dell'uso del suo territorio devono essere accuratamente contemplati in quanto le attività antropiche potrebbero alterare le condizioni di sicurezza dell'ambiente, modificando la suscettibilità e la probabilità di accadimento delle frane e, quindi, la loro pericolosità.
- I metodi qualitativi sono sovente utilizzati per la zonazione della suscettibilità e, talvolta, per la zonazione della pericolosità. Quando possibile, è preferibile impiegare metodo quantitativi per la zonazione sia della suscettibilità e sia della pericolosità. La zonazione del rischio dovrebbe essere effettuata su basi quantitative. L'impegno maggiore è richiesto per quantificare la pericolosità e il rischio ma ciò non comporta necessariamente un eccessivo incremento di costo rispetto alla zonazione di tipo qualitativo.
- L'accuratezza richiesta con riferimento ai confini della zonazione. Nelle aree in cui sono proposti vincoli normativi in merito alla pianificazione territoriale, si dovrebbe ricorrere ad una rappresentazione a grande scala con appropriati dati di input. A tal riguardo si osserva che il Governo Centrale o le Amministrazioni Locali possono avere esigenze diverse. In ogni caso, la scala più grande richiesta determinerà il livello e la scala della zonazione.
- L'uso di processi complementari o collegati, come i programmi di pianificazione e i piani di controllo dello sviluppo urbano, in base ai quali si dà avvio ad una zonazione di maggior dettaglio da condurre a scala di sito. In tal caso, il ricorso alla zonazione della suscettibilità o della pericolosità di livello preliminare – che consente di individuare un'area di controllo della pianificazione – potrebbe essere sufficiente a identificare le aree dove si rende necessaria la stima del rischio da frana di maggior dettaglio.

6.2 Tipi e livelli di zonazione e scale di rappresentazione raccomandate

La Tabella 1 mostra i tipi e i livelli di zonazione e le scale di rappresentazione che dipendono dagli obiettivi della zonazione. La Tabella è applicabile alla pianificazione territoriale per lo sviluppo urbano. La Tabella è applicabile, in linea generale, per altri scopi tra i quali si cita la gestione della pericolosità e del rischio da frana per strade e linee ferrate da costruire ovvero esistenti.

Usualmente sarà appropriato condurre una zonazione della suscettibilità da frana quale primo passo nello sviluppo della zonazione della pericolosità e del rischio da frana ai fini della pianificazione territoriale. L'organizzazione in fasi differenti consentirà un miglior controllo del processo e potrà ridurre i costi della zonazione limitando la zonazione più dettagliata soltanto alle aree per le quali quest'ultima risulta effettivamente necessaria.

I livelli di zonazione e i descrittori di suscettibilità, pericolosità e rischio sono illustrati nelle sezioni seguenti. Si raccomanda che tali descrittori siano utilizzati da tutti coloro i quali sono impegnati nella gestione del rischio da frana.

Tabella 1. Raccomandazioni sui tipi, livelli e scale di zonazione.

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.

6.3 Definizione dei livelli di zonazione

La Tabella 2 definisce i livelli di zonazione dell'inventario, della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana sulla base di dati geotecnici e di altri dati di input.

Le definizioni dei livelli dei dati di input sono riportate nella Sezione 8. E' importante collegare tali livelli di zonazione con gli obiettivi da perseguire nonché con la scala di rappresentazione e collegare, a loro volta, questi ultimi con il livello dei dati di input. Ad esempio, non è possibile produrre una soddisfacente zonazione della pericolosità di livello avanzato senza che ci sia quantomeno una stima della frequenza di accadimento dei fenomeni franosi di livello intermedio. Se può essere condotta soltanto una stima della frequenza di livello di base, allora il risultato non sarà migliore di quello di un livello preliminare, e non avrebbe senso impegnare grandi risorse per recuperare altri dati di input per un livello intermedio o avanzato. D'altro canto, se è richiesto un livello preliminare di zonazione della pericolosità, allora i dati di input devono essere di livello di base. La pratica corrente evidenzia che, per la carenza di dati disponibili e di vincoli legati ai costi, dati di input e metodi di livello di base ed intermedio sono quelli maggiormente utilizzati.

Tabella 2. Attività richieste per i diversi livelli di zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana.

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	di base (1)(2)	di base (1)(2)	di base (1) intermedio (2)	di base (1,2)	di base (1,2)	di base (1,2)	di base (1,2)
intermedio	intermedio	intermedio	intermedio	intermedio	Intermedio	intermedio	da intermedio a di base
avanzato	avanzato	da avanzato a intermedio	da intermedio ad avanzato	da intermedio ad avanzato	avanzato	avanzato	da intermedio ad avanzato

Note: (1) Per zonazioni di tipo qualitativo; (2) per zonazioni di tipo quantitativo; (3) si veda la Sezione 8 per la descrizione dei metodi (di base, intermedio e avanzato).

6.4. Relazioni di accompagnamento dei prodotti della zonazione

Le relazioni di accompagnamento dei prodotti finali della zonazione dovrebbero contemplare la descrizione dell'area (geologia, geomorfologia, idrogeologia), delle tipologie di frana e del contesto all'interno del quale ricadono le medesime frane (per esempio, fattori predisponenti, cause innescanti). Inoltre, tali relazioni dovrebbero includere la illustrazione di:

- Carta inventario dei fenomeni franosi con associate informazioni sulle frane cartografate, come la loro classificazione, localizzazione, data di attivazione (se nota), volume, e una descrizione della validazione, delle incertezze e dei limiti dell'inventario.
- Carte della suscettibilità con informazioni connesse su come è stata determinata la propensione alla franosità, una descrizione dei metodi di validazione e dei corrispondenti risultati nonché i limiti della zonazione.
- Laddove sia richiesta la zonazione della pericolosità, la/le carta(e) della pericolosità ad una scala appropriata, con connesse informazioni su come sono state stimate la probabilità e le predette caratteristiche della franosità, una descrizione della validazione e i limiti della zonazione. La relazione dovrebbe anche riguardare l'inventario dei fenomeni franosi e la zonazione della suscettibilità.
- Laddove sia richiesta la zonazione del rischio, la/le carta(e) del rischio a scala appropriata, con correlate informazioni su come è stata stimata la frequenza di accadimento delle frane, nonché dettagli sugli elementi a rischio considerati, le probabilità temporali e spaziali e le vulnerabilità, e come queste sono state determinate; e una descrizione della validazione e dei limiti della zonazione. La relazione dovrebbe anche riguardare l'inventario dei fenomeni franosi e la zonazione della suscettibilità e della pericolosità.

7. Scale di zonazione e descrittori per la zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana.

7.1. Scale di zonazione e loro applicazione

La Tabella 3 sintetizza le scale di zonazione e i prodotti cartografici (inventario dei fenomeni franosi, suscettibilità, pericolosità, rischio) per i quali sono usualmente applicate.

La cartografia dovrebbe essere redatta ad una scala appropriata, ovvero utile a rappresentare le informazioni richieste con riferimento ad un assegnato livello di zonazione.

La scala dovrebbe essere selezionata tenendo conto delle finalità della carta da produrre. Praticamente, tale scelta potrebbe derivare dalla scala delle carte topografiche disponibili.

Tabella 3. Scale di zonazione e loro applicazione.

Descrizione della scala	Intervallo indicativo delle scale	Esempi di applicazione della zonazione	Estensione della superficie da zonare
Piccola	< 1:100,000	Carta inventario dei fenomeni franosi e di suscettibilità utili ad informare i responsabili politici e i cittadini.	>10.000 km ²
Media	da 1:100.000 a 1:25.000	Carta inventario dei fenomeni franosi e zonazione della suscettibilità per la pianificazione dello sviluppo urbano su base regionale o per grandi opere di ingegneria Carta della pericolosità di livello preliminare per aree campione.	1.000 ÷ 10.000 km ²
Grande	da 1:25.000 a 1:5.000	Carta inventario dei fenomeni franosi, zonazione della suscettibilità e della pericolosità per aree campione. Zonazione, di livello da intermedio ad avanzato, della pericolosità per la pianificazione dello sviluppo urbano su base regionale. Zonazione di livello preliminare del rischio a scala municipale per aree campione e per le fasi avanzate di pianificazione per grandi opere di ingegneria (costruzioni, strade e ferrovie).	10 ÷ 1.000 km ²
Di dettaglio	> 1:5.000	Zonazione di livello intermedio e avanzato della pericolosità e del rischio per aree e siti campione e per la fase di progettazione di grandi opere di ingegneria (costruzioni, strade e ferrovie).	da alcuni ettari a decine di km ²

7.2. Descrittori del livello di suscettibilità, pericolosità e rischio da impiegare nella zonazione

7.2.1. Generalità

Notevoli benefici possono derivare dall'impiego, nel lavoro di zonazione, di descrittori condivisi per rappresentare il livello di suscettibilità, di pericolosità e di rischio da frana. Ciò consentirà, infatti, ai professionisti incaricati della zonazione di poter interagire tra loro nonché ai legislatori e a coloro che si occupano dello sviluppo delle aree urbane di riferirsi a tali descrittori nella consapevolezza che questi hanno un significato condiviso.

7.2.2. Esempi di descrittori di suscettibilità da frana

La standardizzazione dei descrittori di suscettibilità rappresenta un'operazione complessa in quanto:

- che le condizioni geologiche, topografiche, geotecniche e climatiche siano giudicate predisponenti la franosità, deriva spesso da considerazioni soggettive e non immediatamente quantificabili;
- sono richiesti descrittori differenti per le differenti tipologie di frana (per esempio, la proporzione di area che può essere affetta dalla franosità nel caso di frane di piccole dimensioni; il numero di frane per km² per frane di piccole dimensioni; il numero di crolli per km di parete rocciosa, ecc.);
- atteso che la frana possa verificarsi, sussistono difficoltà sia nel prevederne il comportamento (di evoluzione verso le quote più basse o di retrogressione verso le quote più alte) e sia nel valutare se una particolare area ne sarà affetta;
- l'intervallo temporale all'interno del quale si ritiene che le frane potranno accadere non rientra nella stima della suscettibilità (rientra nella pericolosità).

In qualche caso può risultare sufficiente il semplice ricorso a due descrittori; “suscettibile” e “non suscettibile”. In generale, sarà tuttavia conveniente fornire agli utilizzatori delle carte il livello di suscettibilità in termini o quantitativi o relativi.

La Tabella 4 fornisce degli esempi di descrittori di suscettibilità per alcuni scenari frequenti.

Tabella 4. Esempi di descrittori della suscettibilità da frana

Descrittori di suscettibilità	Crolli in roccia	Frane di piccole dimensioni su versanti naturali	Frane di grandi dimensioni su versanti naturali
-------------------------------	------------------	--	---

(a) Descrittori di suscettibilità in termini quantitativi

Relativo	Rating geomeccanici (SMR, RMS)	Si attribuisce un punteggio ai fattori predisponenti individuati mediante tecniche di trattamento dati	
Assoluto	Valori del coefficiente di sicurezza derivanti da analisi di stabilità	Valori del coefficiente di sicurezza derivanti da analisi di stabilità	Valori del coefficiente di sicurezza derivanti da analisi di stabilità

(b) Descrittori di suscettibilità in termini relativi

Analisi geomorfologica di campo	Presenza o assenza di fattori di instabilità potenziale (fratture, immersione degli strati). Densità di zone di distacco su un versante in roccia.	# di frane per km ²	Presenza o assenza di frane e loro grado di conservazione. Presenza o assenza di indicatori di attività.
Carta “indice” o carta tematica	Sovrapposizione delle carte “indice” con o senza ponderazione	Sovrapposizione delle carte “indice” con o senza ponderazione	

La stima qualitativa della suscettibilità si basa interamente sul giudizio della persona che conduce l’analisi. Nell’approccio geomorfologico i parametri di instabilità sono implicitamente portati in conto nel corso della zonazione. La suscettibilità può essere definita, per esempio, sulla base della densità spaziale delle aree in frana (intesa come proporzione dell’area di studio interessata da aree in frana) e le classi di suscettibilità possono essere definite nel modo seguente: maggiore di 0,5; da 0,1 a 0,5; da 0,01 a 0,1; e minore di 0,01 sono, nell’ordine, indicative di una suscettibilità alta, moderata, bassa e molto bassa.

Nelle carte “*indice*” l’esperto seleziona i fattori predisponenti critici, assegna a ciascuno di essi un valore pesato e sovrappone infine le carte relative ai differenti fattori. Le classi di suscettibilità possono essere definite in modi differenti; per esempio, la presenza di quattro, tre, due, uno o di nessun fattore predisponente corrisponde, nell’ordine a una suscettibilità molto alta, alta, moderata, bassa o molto bassa.

Gli output della stima quantitativa della suscettibilità possono essere sia relativi e sia assoluti. Le tecniche di gestione dei dati consentono di valutare preliminarmente il significato relativo dei parametri (ovvero dei fattori predisponenti) e, quindi, di individuarne la combinazione che meglio di ogni altra può oggettivare la distribuzione spaziale delle frane esistenti. I valori quantitativi di suscettibilità ottenuti attraverso tali tecniche sono riclassificati per ottenere classi di suscettibilità (per esempio, alta, media e bassa suscettibilità).

La suscettibilità può essere stimata in termini assoluti attraverso approcci deterministici come quelli che si rifanno all’impiego dei metodi per la stabilità dei pendii.

L’utilizzo di descrittori di suscettibilità espressi in termini quantitativi presenta il vantaggio di agevolare il confronto della suscettibilità individuata con riferimento ad aree differenti. E’ buona norma esprimere la suscettibilità in termini relativi laddove si faccia riferimento ad un’unica area di studio; in questo caso, i termini adottati potrebbero essere rappresentativi di suscettibilità espresse in termini assoluti abbastanza differenti tra loro nel caso in cui si prendessero in considerazione non una ma più aree di studio.

Nel caso in cui si ricorra a descrittori di suscettibilità espressi in termini relativi l’obiettivo è usualmente quello di includere il più alto numero di frane nelle classi alle quali corrisponde la suscettibilità più elevata, puntando a considerare al riguardo le più piccole aree di riferimento possibili. In altre parole, le classi di suscettibilità più elevata dovrebbero essere quelle alle quali si associa la più alta densità spaziale di frane, indipendentemente dal fatto che quest’ultima sia stata esplicitamente stimata.

E' importante rimarcare che nella zonazione della suscettibilità da frana non si procede a quantificare il numero di crolli o di frane di piccole dimensioni che possono verificarsi in un assegnato intervallo di tempo né tantomeno la probabilità annuale di riattivazione di frane di grandi dimensioni. Tale obiettivo è perseguito nella zonazione della pericolosità.

7.2.3. Descrittori raccomandati nella zonazione della pericolosità da frana

Il modo in cui può essere descritta la pericolosità da frana dipende dal tipo di frana. Per le frane di piccole dimensioni e per i crolli in roccia, la pericolosità è descritta in termini di numero di eventi per lunghezza delle aree d'innescio/anno o come numero di eventi per km² dell'area d'innescio/anno. Per le frane di grandi dimensioni la pericolosità è descritta in termini di probabilità annuale che le frane si riattivino ovvero, per frane attive, in termini di probabilità annuale che gli spostamenti o le lunghezze di fratture presenti nel corpo di frana superino valori assegnati. La tabella 5 riporta i descrittori suggeriti per le fenomenologie franose maggiormente diffuse nonché per i crolli in roccia. La tabella 5 ha significato per un'assegnata magnitudo (per es., volume della frana, area interessata, ecc.). La descrizione della pericolosità dovrebbe includere la classificazione nonché il volume (o l'area) delle frane.

Tabella 5. Descrittori raccomandati nella zonazione della pericolosità

Descrittore di pericolosità	Crolli in roccia da scarpate naturali o da tagli su versanti in roccia	Scorrimenti di sponde in scavo o in rilevato in corrispondenza di strade o ferrovie	Frane di piccole dimensioni su versanti naturali	Frane singole su versanti naturali
	Numero/anno/km di scarpate o tagli su versanti in roccia	Numero/anno/km di tagli o riempimenti	Numero/ km ² /anno	Probabilità annuale di attivazione
Molto elevato	>10	>10	>10	10 ⁻¹
Elevato	1 ÷ 10	1 ÷ 10	1 ÷ 10	10 ⁻²
Moderato	0,1 ÷ 1	0,1 ÷ 1	0,1 ÷ 1	10 ⁻³ ÷ 10 ⁻⁴
Basso	0,01 ÷ 0,1	0,01 ÷ 0,1	0,01 ÷ 0,1	10 ⁻⁵
Molto basso	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 10 ⁻⁶

7.2.4. Descrittori raccomandati nella zonazione del rischio da frana

La Tabella 6 fornisce alcuni esempi di descrittori raccomandati per la zonazione del rischio attraverso l'impiego di criteri di accettabilità/tollerabilità del rischio di perdita di vita umana. Questi ultimi, in particolare, fanno riferimento al rischio computato su base annuale relativamente all'individuo maggiormente esposto al rischio.

Tabella 6. Esempio di descrittori raccomandati nella zonazione del rischio usando il criterio della perdita di vita umana.

Probabilità annuale di morte della persona maggiormente esposta al rischio in una zona	Descrittori di zonazione del rischio
> 10 ⁻³ /anno	Molto elevato
da 10 ⁻⁴ a 10 ⁻³ /anno	Elevato
da 10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁴ /anno	Moderato
da 10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁵ /anno	Basso
< 10 ⁻⁶ /anno	Molto basso

Laddove non si possa escludere la possibilità che un elevato numero di persone perda la propria vita a seguito di un evento, occorrerebbe riferirsi a criteri equivalenti riferiti al rischio per la società (Leroi et al., 2005).

Per ciò che concerne il rischio per le proprietà, può farsi uso della matrice e dei termini riportati in Tabella 7 (AGS, 2007a). Alternativamente, può essere adottato un criterio basato su studi specifici.

La zonazione del rischio dipende dalla pericolosità del fenomeno, dagli elementi esposti e dagli ulteriori fattori che concorrono alla generazione del rischio. Laddove tali fattori dovessero variare, la zonazione del rischio andrebbe congruentemente rivisitata.

7.2.5. Approccio raccomandato

Si raccomanda che la tabella 6 sia comunemente adottata nell'ambito di zonazioni esplicitanti il rischio di perdita di vita umana. Si suggerisce che la Tabella 7 sia usata per zonazioni riguardanti il rischio per le proprietà, anche se potrebbero adottarsi termini originali calibrati con riferimento al particolare problema in esame. Si raccomanda che, possibilmente, le Tabelle 4 e 5 siano usate per descrivere la zonazione della suscettibilità e della pericolosità, anche se non possono escludersi situazioni nelle quali risulti preferibile ricorrere a descrittori scelti sulla base della problematica in esame. Qualunque siano i descrittori adottati, è importante che le relative definizioni siano riportate nella relazione generale e che, comunque, siano mostrate nella legenda delle carte di zonazione.

La zonazione si riferirà generalmente alle condizioni che si hanno all'epoca dello studio. Potranno presentarsi situazioni nelle quali occorrerà predisporre una nuova zonazione per la individuazione di misure, riguardanti la gestione della pericolosità e del rischio, che potrebbero essere proposte nell'ambito di un piano di sviluppo del territorio.

Tabella 7. Un esempio di descrittori per la zonazione del rischio mediante un criterio di perdita della proprietà (AGS 2007a).

Probabilità		Conseguenze per la proprietà (con un costo indicativo del danno) ⁽¹⁾⁽³⁾				
	Valore indicativo della probabilità annuale approssimata	1: Catastrofiche 200%	2: Gravi 60%	3: Medie 20%	4: Lievi 5%	5: Insignificanti 0,5%
A – quasi certo	10 ⁻¹	VH	VH	VH	H	M o L ⁽²⁾
B – probabile	10 ⁻²	VH	VH	H	M	L
C – possibile	10 ⁻³	VH	H	M	M	VL
D – improbabile	10 ⁻⁴	H	M	L	L	VL
E – raro	10 ⁻⁵	M	L	L	VL	VL
F – poco attendibile	10 ⁻⁶	L	VL	VL	VL	VL

Note: (1) Come percentuale del valore della proprietà.

(2) La casella A5 può essere suddivisa in modo tale che a una conseguenza minore dello 0.1% corrisponde un rischio basso.

(3) L basso, M medio, H elevato, VL molto basso, VH molto alto.

8. Metodi per la zonazione finalizzata alla pianificazione territoriale

8.1. Scopo del capitolo

In tale sezione si illustrano i metodi per la zonazione finalizzata alla pianificazione territoriale sulla base di quanto riportato nella Tabella 1. In questa sono elencati i livelli di zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio e si mostra come questi si leghino ai metodi utilizzati per la zonazione - cioè se la zonazione è perseguita utilizzando metodi di base, intermedi o avanzati. I metodi richiedono "attività" che sono nel seguito illustrate in modo tale da avere una visione comune di cosa è implicato nel processo di zonazione.

8.2 L'importanza di comprendere i processi di evoluzione dei versanti e le caratteristiche geotecniche della franosità

Per tutti i livelli di mappatura dell'inventario dei fenomeni franosi nonché di zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio è fondamentale che coloro che compiono lo studio abbiano una conoscenza dettagliata dei processi di evoluzione dei versanti che conducono alla franosità. Questa include la conoscenza di aspetti riguardanti la geologia, la geomorfologia e l'idrogeologia nonché della meccanica dei terreni e delle rocce coinvolti nei fenomeni franosi. A tal riguardo, è indispensabile acquisire le necessarie informazioni di natura

geotecnica relativamente al pendio. Una zonazione che prescindere da tali conoscenze risulterà, quasi certamente, fuorviante.

8.3. Applicazione delle tecniche GIS alla zonazione

Si raccomanda particolarmente che la zonazione sia condotta in ambiente GIS di modo tale che la zonazione possa essere rapidamente impiegata ai fini di pianificazione territoriale e possa essere aggiornata allorquando risultassero disponibili nuove informazioni.

8.4. Inventario dei fenomeni franosi

La preparazione di una carta inventario dei fenomeni franosi è una parte fondamentale di qualunque zonazione. Essa comprende la localizzazione, la classificazione, il volume, la distanza di propagazione, lo stato di attività e la data di accadimento dei fenomeni franosi all'interno di una data area. La Tabella 8 elenca le attività che saranno tipicamente richieste con riferimento ai livelli di base, intermedi e avanzati.

Tabella 8. Attività richieste per la redazione della carta inventario dei fenomeni franosi

Caratterizzazione del metodo	Attività
Di base	<ul style="list-style-type: none"> - Redigere un inventario delle frane nell'area di studio da foto aeree e /o da immagini satellitari nonché da carte e documenti storici. L'inventario include l'ubicazione, la classificazione, il volume (o l'area) e, quando possibile, la data di accadimento dei fenomeni franosi. - Identificare le relazioni con i fattori topografici, geologici e geomorfologici. - Riportare queste informazioni sulle carte inventario unitamente a dati topografici che includono le curve di livello, i confini delle proprietà, la griglia di riferimento per la zonazione, le strade e altri importanti elementi come ruscelli e corsi d'acqua.
Intermedio	<p>Le stesse attività richieste per i metodi di base alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificare le diverse porzioni in cui si disarticolano i corpi di frana. - Riportare le caratteristiche dei fenomeni franosi e cartografare il loro perimetro. - Collazionare e valutare le informazioni storiche disponibili sull'attività delle frane. - Analizzare l'evoluzione storica dell'uso del suolo per comprendere se le attività umane hanno contribuito ad incrementare la diffusione spaziale dei fenomeni franosi
Avanzato	<p>Le stesse attività richieste per i metodi intermedi alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costruire un database di dati geotecnici. - Realizzare indagini utili alla generazione del modello geotecnico di sottosuolo. - Condurre analisi geotecniche al fine di prendere consapevolezza dei processi che preludono alla instabilità dei versanti. - Catalogazione avanzata delle riattivazioni che nel tempo hanno riguardato lo stesso fenomeno e dati derivanti dal monitoraggio strumentale di grandezze la cui variazione concorre alle predette riattivazioni in modo da generare un database che possa essere impiegato in processi di validazione avanzati.

8.5. Zonazione della suscettibilità da frana

8.5.1. Caratterizzazione del fenomeno franoso, distanza di propagazione e velocità

La zonazione della suscettibilità comprende la classificazione, il volume (o l'area) e la distribuzione spaziale delle frane esistenti e potenziali all'interno dell'area di studio. Essa dovrebbe, altresì, contenere informazioni riguardanti la distanza di propagazione, la velocità e l'intensità delle frane esistenti e potenziali. La Tabella 9 elenca le attività richieste per caratterizzare le frane potenziali, la loro distribuzione spaziale all'interno dell'area d'interesse per la zonazione e la loro relazione con la topografia, la geologia e la geomorfologia. Si dovrebbe osservare che sussiste una relazione diretta tra la scala della zonazione e il livello di caratterizzazione dei fenomeni franosi, essendo più grandi le scale di lavoro richieste per il livello intermedio e per il livello avanzato. La Tabella 10 elenca le attività richieste per stimare la distanza di propagazione e la velocità delle frane potenziali. Tale Tabella si basa sull'assunzione che le attività elencate nelle Tabelle 8 e 9 siano già state svolte.

Tabella 9. Zonazione della suscettibilità da frana. Attività richieste per caratterizzare le frane potenziali nonché per determinarne la distribuzione spaziale e la loro relazione con i fattori topografici, geologici e geomorfologici.

Caratterizzazione del metodo	Attività
Di base	<ul style="list-style-type: none"> - Redigere una carta geomorfologica ⁽¹⁾ - Redigere una carta inventario dei fenomeni franosi così come descritto nella Tabella 8 ⁽¹⁾. - Calcolare la percentuale delle frane che complessivamente rientrano in ciascuna classe di suscettibilità, la percentuale di aree in frana per ogni classe e la percentuale di ciascuna classe rispetto all'intera area di studio; procedere, quindi, ad una loro classificazione secondo quanto riportato nella Tabella 4. - Correlare l'incidenza della franosità con la geologia e la pendenza del versante al fine di delineare le aree suscettibili a frane. - Per la zonazione regionale, correlare l'incidenza di fenomeni franosi con le precipitazioni annuali o con lo scioglimento della neve e/o con le sollecitazioni sismiche. - Redigere la carta di zonazione della suscettibilità da frana sovrapponendola alla carta topografica e adoperando un'adeguata legenda. - Implementare i dati e la cartografia in ambiente GIS (raccomandato).
Intermedio	<p>Le stesse attività richieste per i metodi di base alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Classificare i terreni e ricavarne gli spessori all'interno dell'area di studio - Classificare le unità territoriali più complesse. Pervenire ad una graduatoria, in termini qualitativi, delle aree suscettibili mediante tecniche di sovrapposizione. - Sviluppare rating quantitativi (spesso in termini relativi) delle aree suscettibili mediante tecniche di trattamento dei dati. - Implementare i dati e la cartografia in ambiente GIS (raccomandato).
Avanzato	<p>Le stesse attività richieste per i metodi intermedi alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Redigere carte dettagliate e realizzare indagini geotecniche al fine di pervenire ad una chiara comprensione dei meccanismi caratterizzanti le frane e del regime idrico sotterraneo, necessari per la conduzione di analisi di stabilità. - Effettuare un'analisi di trattamento dei dati (discriminante, reti neurali, logica fuzzy, regressione logistica, ecc.) e sviluppare rating quantitativi per ottenere classi di suscettibilità. - Effettuare analisi di stabilità con procedure deterministiche e/o probabilistiche. - Implementare i dati e la cartografia in ambiente GIS (raccomandato).

Nota. (1) Per la zonazione della suscettibilità di livello intermedio e avanzato, l'inventario delle frane e la carta geomorfologica dovrebbero essere congruentemente di livello intermedio e avanzato.

Tabella 10. Attività richieste per la valutazione della distanza di propagazione e della velocità di frane potenziali.

Metodo di analisi della distanza di propagazione e della velocità	Attività
Di base	<ul style="list-style-type: none"> - Raccogliere e valutare le informazioni storiche su distanze di propagazione e velocità. - Stimare le massime distanze di propagazione sulla base di dati geomorfologici e di antichi depositi. - Stimare i valori più probabili delle distanze di propagazione e delle velocità sulla base di elementi riguardanti la classificazione delle frane potenziali nonché di aspetti geologici e topografici. - Sulla base di queste informazioni stimare il limite (massimo) della più probabile distanza di propagazione per ciascuna tipologia di frana potenziale.
Intermedio	<p>Le stesse attività richieste per i metodi di base alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valutare i probabili meccanismi caratterizzanti i fenomeni franosi e classificare i terreni coinvolti. - Utilizzare metodi empirici basati sulla valutazione dell'angolo di propagazione o dell'angolo ombra portando in conto le incertezze insite negli stessi metodi empirici e nei dati di input utilizzati. - Stimare la velocità dei fenomeni, sulla base della loro energia potenziale, nonché la distanza di propagazione mediante semplici modelli "sliding-block".
Avanzato	<p>Le stesse attività richieste per i metodi intermedi alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procedere all'analisi delle proprietà geotecniche dei terreni costituenti il pendio da implementare all'interno di modelli numerici. - Usare modelli numerici per stimare la distanza di propagazione e la velocità.

8.5.2. Preparazione della carta della suscettibilità da frana

La preparazione della carta della suscettibilità da frana si basa usualmente su due assunzioni:

- che il passato è una guida per il futuro, vale a dire che le aree che nel passato sono state sede di frane possono esserlo anche nel futuro;
- le aree che hanno caratteristiche topografiche, geologiche e geomorfologiche confrontabili con quelle di aree che sono state sede di frane nel passato potranno anche loro essere sede di frane nel futuro.

Tali assunzioni sono spesso ragionevoli, anche se occorre osservare che possono esserci eccezioni come nel caso in cui la zona di innesco è stata svuotata di materiale a seguito di frane già occorse.

La zonazione della suscettibilità da frana comprende:

- una carta riportante l'inventario delle frane storiche, nella quale si mostrano la localizzazione e l'area (o il numero di frane, per esempio di crolli in roccia) delle zone d'innesco; le aree potenzialmente interessate dalla propagazione dopo la rottura; o, per le frane di grandi dimensioni, lo stato di attività e la velocità del fenomeno;
- carte alla stessa scala che enucleano i fattori predisponenti la franosità, ovvero la topografia e le unità topografiche (pendenza, bacini), la geologia (unità litologiche), le coperture, la vegetazione, l'uso del suolo, ecc..
- nelle aree potenzialmente interessate dall'innesco di frane superficiali e colate di detrito, si raccomanda la redazione della carta dei depositi di copertura (terreni colluviali, suoli agrari, terreni alluviali, terreni residuali, ecc.) in considerazione del fatto che i fenomeni di instabilità riguardano tali depositi. Occorre, tuttavia, considerare che usualmente le coltri superficiali hanno una estensione limitata e, quindi, le relative carte possono essere redatte soltanto a grande scala.
- Laddove necessario la carta dovrebbe mostrare i confini delle aree potenzialmente interessate dal transito dei fenomeni franosi o considerando i valori massimi delle distanze di propagazione o tenendo conto degli elementi indicati in Tabella 10.
- Una carta provvista di legenda che abiliti alla chiara individuazione dei fattori che sono alla base delle differenze tra aree classificate a diversa suscettibilità. Tale elaborato dovrebbe contenere informazioni di tipo topografico e catastale come pure il sistema di classificazione scelto per la zonazione delle aree.

In qualche caso le predette informazioni possono essere sovrapposte nella stessa carta ottenendo un prodotto che alimenta confusione; ne consegue che potrebbe tornare utile redigere carte separate per ciascuna tipologia di fenomeno, distinguendo ad esempio i crolli in roccia dalle frane superficiali.

8.6. Zonazione della pericolosità da frana

8.6.1. Stima della frequenza

Le Tabelle 11 e 12 elencano, rispettivamente, le attività richieste per stimare la frequenza di i) crolli in roccia, fenomeni di scorrimento che possono riguardare sponde in scavo/in rilevato ovvero opere di sostegno, nonché frane di piccole dimensioni; ii) frane di grandi dimensioni.

8.6.2. Stima dell'intensità

L'intensità di una frana può essere stimata in termini di distribuzione spaziale delle seguenti grandezze:

- velocità del fenomeno associata al volume mobilitato, ovvero
- energia cinetica del fenomeno (con riferimento, per esempio, a crolli in roccia o valanghe di roccia), ovvero
- spostamento totale, ovvero
- spostamento differenziale, ovvero
- portata di picco per unità di larghezza ($m^3/m/sec$) (con riferimento, per esempio, alle colate di detrito).

La stima della velocità è illustrata nella Sezione 8.5.1. Per le stime dell'intensità con metodi di base e intermedi, le analisi potrebbero limitarsi alla velocità e al volume mobilitabile. Per le stime con metodi avanzati della pericolosità da crolli in roccia e da colate di detrito, l'attenzione potrebbe incentrarsi sulla energia cinetica. Laddove la stima dell'intensità costituisse una parte della zonazione della pericolosità, andrebbe determinata caso per caso. E' usualmente richiesta nella zonazione della pericolosità da crolli in roccia.

Tabella 11. Attività richieste per la stima della frequenza di crolli in roccia, scorrimenti riguardanti fronti di scavo, in rilevato e muri di sostegno, e frane di piccole dimensioni su versanti naturali.

Metodo di stima della frequenza	Attività
Di base	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilire la frequenza in base alla “freschezza” relativa delle caratteristiche morfologiche delle aree d’innesco (nicchie di distacco) e dei depositi di frana, tenendo conto della presenza di processi geomorfici attivi (ad es., scavi al piede operati dall’azione di fiumi o del mare). - Stabilire la frequenza in base all’interpretazione di frane rilevate da foto aeree acquisite secondo intervalli temporali noti. - Stimare la frequenza di crolli in roccia, di scorrimenti in corrispondenza di sponde in scavo e in rilevato e di muri di sostegno, o di frane di piccole dimensioni in versanti naturali mediante analisi di dati storici.
Intermedio	<p>Le stesse attività richieste per i metodi di base alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stimare la frequenza di crolli in roccia, di scorrimenti in corrispondenza di sponde in scavo e in rilevato e di muri di sostegno, o di frane di piccole dimensioni in versanti naturali mediante analisi di dati storici. Dove appropriato, sviluppare ed utilizzare le curve frequenza-magnitudo. - Utilizzare <i>proxy data</i> come testimoni silenziosi (ad es., danni agli alberi e dendrocronologia). - Condurre un’analisi di maggior dettaglio delle piogge, contemplando anche gli effetti di piogge antecedenti nonché dell’intensità e della durata sull’innesco di fenomeni franosi singoli (soglie pluviometriche) o di numerosi fenomeni. - Per le frane sismo-indotte, bisogna individuare la relazione tra l’innesco dei fenomeni e la sollecitazione sismica portando in conto la massima accelerazione attesa al suolo e la magnitudo del terremoto all’interno di metodi empirici.
Avanzato	<p>Le stesse attività richieste per i metodi intermedi alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stimare i parametri geotecnici del terreno. Analizzare la stabilità del pendio utilizzando i parametri geotecnici e i dati relativi alla frequenza delle piogge o alle misure piezometriche. - Per le frane sismo-indotte, calcolare gli spostamenti permanenti mediante metodi di analisi dinamica semplificata (alla ‘Newmark’) e, per i terreni liquefacibili, valutarne le probabilità di liquefazione e di propagazione come fluido.

Tabella 12. Attività richieste per la stima della frequenza di frane di grandi dimensioni su versanti naturali

Metodo di stima della frequenza	Attività
Di base	<ul style="list-style-type: none"> - Stimare la frequenza sulla base di un catalogo di dati storici che contempla indicatori di attività, quali edifici con presenza di lesioni, recinzioni spostate, alberi inclinati e piegati. - Stimare la frequenza mediante criteri soggettivi sulla base di evidenze geomorfologiche, come la “freschezza” delle aree d’innesco (nicchie di distacco) e di altre superfici legate al verificarsi del fenomeno franoso.
Intermedio	<p>Le stesse attività richieste per i metodi di base alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Come sopra, utilizzando anche <i>proxy data</i> come la datazione mediante la tecnica del Carbonio 14 o mediante lichenometria della vegetazione rimasta sepolta a seguito dei fenomeni franosi o presente in terrazze alluvionali formatesi a seguito di frane. - Mettere in relazione l’accadimento dei fenomeni franosi con l’intensità e la durata delle piogge, oltre che con quelle antecedenti l’evento, o con lo scioglimento delle nevi. - Stimare la probabilità di frane sismo-indotte dall’analisi del meccanismo che accompagna il fenomeno franoso. Usare metodi empirici e di analisi dinamica semplificata per valutare l’entità degli spostamenti permanenti durante il sisma. - In alternativa ai metodi che si avvalgono di dati storici, stimare la frequenza con criteri soggettivi (ad esempio, per stimare la probabilità di accadimento di un fenomeno franoso per un assegnato evento di pioggia o sismico).
Avanzato	<p>Le stesse attività richieste per i metodi intermedi alle quali si sommano le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Come sopra, correlando la storia pregressa di un fenomeno franoso o il suo coefficiente di sicurezza con gli eventi pluviometrici, la geometria del versante, i livelli piezometrici (laddove disponibili) e le proprietà geotecniche dei terreni. - Per le frane sismo-indotte, calcolare gli spostamenti permanenti mediante metodi di analisi dinamica semplificata (alla ‘Newmark’) e, per i terreni liquefacibili, valutarne le probabilità di liquefazione e di propagazione come fluido.

8.6.3. Elementi propedeutici alla redazione della carta della pericolosità da frana

La carta della pericolosità da frana può essere sviluppata a partire dalla carta della suscettibilità, classificando le aree suscettibili in base alla frequenza (probabilità annuale) di accadimento dei fenomeni. Il modo in cui la frequenza può essere espressa dipende dalla classificazione e dal volume della frana potenziale. Per esempio:

- Nel caso dei crolli in roccia, la pericolosità può essere espressa come numero di crolli di assegnato volume per anno che raggiungeranno l'area da zonare per km di parete.
- Per scorrimenti che si originano in corrispondenza di sponde in scavo o di rilevato nonché di opere di sostegno, la frequenza può essere espressa come numero di frane di assegnata tipologia e di dato volume/anno/km di strada o /lotto edificato o /km².
- Per frane di piccole dimensioni in pendii naturali, la frequenza può essere espressa come numero di frane di assegnata tipologia, velocità e volume che interesseranno l'area da zonare. A questa potrebbero aggiungersi i valori più probabili di velocità o di spostamento totale della massa spostata.

La carta della pericolosità dovrebbe essere redatta alla stessa scala della carta della suscettibilità e dovrebbe fornire informazioni di tipo sia topografico e sia catastale come pure sul sistema di classificazione scelto per la zonazione delle aree.

8.7. Zonazione del rischio da frana

8.7.1. Elementi a rischio

Per procedere alla stima del rischio da frana e alla sua zonazione occorre previamente individuare gli elementi a rischio. La Tabella 13 sintetizza le attività allo scopo richieste.

Gli elementi a rischio includono le persone e le proprietà potenzialmente interagenti con i fenomeni franosi – siano essi ubicati a monte, a valle o al di sopra delle aree che sono sede delle frane potenziali – nonché le attività economiche (che potrebbero subire conseguenze indirette dovute, ad esempio, alla perdita di funzionalità di una strada) e i beni ambientali.

Tabella 13. Attività richieste per la stima degli elementi esposti a rischio

Metodo per la stima degli elementi esposti al rischio	Attività
Di base	<ul style="list-style-type: none">- Effettuare una stima: della popolazione che vive, lavora e viaggia all'interno dell'area di studio; delle proprietà quali case, edifici, strade, ferrovie e servizi permanentemente presenti nell'area; di proprietà come veicoli che transitano nell'area.- Per le aree urbane esistenti, la stima va effettuata sulla base dell'attuale uso del suolo e di quello proposto. Per le aree di sviluppo urbano, occorre tenere conto dell'uso del suolo proposto e delle tipologie di insediamento.- Laddove possibile, stimare il valore dei beni ambientali che potrebbero essere interessati da fenomeni franosi.- Effettuare una classificazione generica basata sulle principali categorie d'uso del suolo, vale a dire urbano, industriale, infrastrutturale o agricolo.
Intermedio	<ul style="list-style-type: none">- Come sopra ma con un maggior grado di dettaglio. Possono essere contemplate le conseguenze in termini economici.
Avanzato	<ul style="list-style-type: none">- Come sopra ma in dettaglio. Si stimeranno le conseguenze economiche come, ad esempio, quelle che si hanno a seguito della perdita di funzionalità di una strada di accesso a una città fino al suo completo ripristino.

8.7.2. Probabilità spazio-temporale e vulnerabilità

La Tabella 14 elenca le attività richieste per la stima della probabilità spazio-temporale degli elementi a rischio. La vulnerabilità è generalmente stimata su base empirica per le persone e per le proprietà utilizzando dati di letteratura. Non sono al momento disponibili metodi più avanzati.

Tabella 14. Attività richieste per la stima della probabilità spazio-temporale degli elementi esposti a rischio

Metodo per la stima della probabilità spazio-temporale degli elementi esposti al rischio	Attività
Di base	<p><i>Rischio di perdita di vita umana</i> Per le persone esposte al rischio in aree residenziali si assume che la probabilità spazio-temporale sia pari ad 1. Nel caso, invece, di persone all'interno di fabbriche e scuole, una stima approssimativa della probabilità spazio-temporale può desumersi dalla più consueta modalità d'uso degli edifici. Per strade e ferrovie, nonché per altre situazioni in cui l'insieme di persone esposte al rischio è quantitativamente variabile nel tempo, si effettua una stima approssimata della probabilità spazio-temporale sulla base dei volumi di traffico e delle velocità.</p> <p><i>Rischio di perdita della proprietà</i> Per gli edifici la probabilità spazio-temporale è pari ad 1. Per i veicoli, bisogna effettuare una stima approssimata della probabilità spazio-temporale sulla base dei volumi di traffico e delle velocità.</p>
Intermedio	<p><i>Rischio di perdita di vita umana</i> In tutti i casi, ai fini della stima della probabilità spazio-temporale occorre tenere conto delle caratteristiche dell'area urbana interessata, delle abitudini di vita e di lavoro delle persone, dell'esistenza di luoghi di protezione (ad es., rifugi rinforzati), delle caratteristiche del traffico (laddove rilevante) e dell'intensità della frana.</p> <p><i>Rischio di perdita della proprietà</i> Si procede analogamente a quanto operato con i metodi di base anche se con un maggior dettaglio (ad es., occorre tenere conto delle possibili traiettorie percorse da blocchi di roccia a seguito di crolli).</p>
Avanzato	Come sopra, con un maggior dettaglio nella stima, in particolare della distribuzione spazio-temporale degli elementi esposti al rischio.

8.7.3. Elementi propedeutici alla redazione della carta del rischio da frana.

Le carte del rischio da frana sono redatte a partire dalla carta della pericolosità, introducendo gli elementi a rischio nonché la loro probabilità spazio-temporale e la loro vulnerabilità. Differenti carte dovranno essere redatte in dipendenza della tipologia di elemento esposto (persone o proprietà). Le carte del rischio da frana dovrebbero essere rappresentate alla stessa scala adottata per le carte della pericolosità e della suscettibilità. Inoltre, dovrebbero fornire informazioni di tipo sia topografico e sia catastale come pure il sistema di classificazione scelto per la zonazione delle aree.

Nel caso in cui il rischio riguardi la perdita di vita umana, dovrebbe essere espresso in termini di rischio per l'individuo (ovvero come probabilità annuale che la persona perda la propria vita). Laddove ci si riferisca al rischio per la proprietà, la carta dovrebbe mostrare la perdita economica annuale (\$/anno) mentre la relazione di accompagnamento potrebbe anche riportare il valore della perdita unitamente alla probabilità annuale di accadimento (per esempio, una probabilità annuale pari a 0,001 di avere una perdita economica pari a 10 milioni di dollari).

Per una nuova area di insediamento urbano la stima potrà essere fatta considerando sia lo sviluppo urbano proposto e sia gli elementi a rischio. In tal caso, il rischio avrà lo stesso valore per l'intera area considerata.

Se la stessa area è sottoposta ad un rischio associato a diverse fenomenologie (per esempio, crolli in roccia e frane superficiali), i rischi associati a ciascuna fenomenologia possono essere sommati in modo da ottenere il rischio totale. Ad ogni buon conto, potrebbe risultare conveniente redigere carte differenziate in relazione alla tipologia del fenomeno nonché una carta del rischio complessivo.

9. Affidabilità della zonazione ai fini di pianificazione territoriale

9.1. Potenziali fonti d'errore

9.1.1. Descrizione

Ci sono numerose fonti potenziali d'errore nel processo di zonazione. Queste includono:

- limiti nella carta inventario dei fenomeni franosi su cui si basano la carta della suscettibilità e la carta della pericolosità;
- limiti nella stazionarietà delle serie temporali. Per esempio, la relazione tra i fattori innescanti (per es., le piogge) e la frequenza di accadimento dei fenomeni franosi può mutare se l'area viene deforestata;
- limiti nel livello di dettaglio disponibile della carta topografica, geologica e geomorfologica, dei dati di pioggia e di altri dati di input;
- incertezze del modello, volendo così significare i limiti dei metodi usati per mettere in relazione l'inventario, la topografia, la geologia, le geomorfologia e le cause d'innescamento – come le piogge – nell'analisi della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana;
- inesperienza delle persone chiamate a condurre la zonazione.

Occorre ricordare che la zonazione non è una scienza esatta e che i risultati ottenuti rappresentano solo la previsione del comportamento di pendii sulla base dei dati disponibili. In generale, i livelli di zonazione intermedio e avanzato sono meno soggetti ad errore rispetto al livello di zonazione preliminare, ciascuno condotto ad una appropriata scala di analisi.

9.1.2. Inventario dei fenomeni franosi

La maggiore fonte di errore nelle carte di suscettibilità e di pericolosità da frana deriva da limiti nell'inventario dei fenomeni franosi. Van Westen et al. (1999) e Ardizzone et al. (2002) forniscono esempi di come possano esserci rilevanti differenze tra carte inventario dei fenomeni franosi, relative alla stessa area in cui ricadono versanti naturali, redatte da due gruppi differenti. Gli Autori rimarcano che gli errori maggiori si verificano quando le carte inventario derivano dall'interpretazione di foto aeree, in particolare se le foto sono a piccola scala. Tali errori sono in parte dovuti al fatto che l'interpretazione delle foto aeree è per sua natura soggettiva ma anche per gli effetti della vegetazione che ricopre le aree da cartografare. La mappatura derivante dall'interpretazione di foto aeree dovrebbe passare attraverso un'operazione di calibrazione basata sulle risultanze di rilievi in sito condotti in aree appositamente selezionate. Gli inventari di fenomeni di instabilità riguardanti sezioni in scavo o in rilevato nonché opere di sostegno in corrispondenza di strade, linee ferrate e aree urbane raramente risultano completi. Pertanto, al fine di acquisire una stima ragionevole del numero di fenomeni, coloro ai quali è demandato il compito della zonazione dovranno esercitare un giudizio esperto sul campione di eventi di cui si ha notizia.

9.1.3. Carte topografiche

Le carte topografiche rappresentano il dato di input più importante nei processi di zonazione da condurre ad un livello intermedio o avanzato. Tali carte fanno sì che i contorni delle aree zonate possano essere definiti con la massima accuratezza. Per le zonazioni a grande scala, saranno richieste curve di livello distanti 2 m o, al più, 5 m. Ciononostante, i contorni delle aree zonate dovranno essere testati attraverso verifiche di campo in quanto le ricadute per i proprietari derivanti da errori riguardanti i predetti contorni possono risultare non trascurabili.

9.1.4. Incertezza dei modelli

Nel processo di zonazione, le incertezze legate al modello non possono essere eliminate in quanto nessuno dei metodi adottati può ritenersi particolarmente accurato. In generale, la zonazione della pericolosità e del rischio da frana basata su analisi statistiche dei dati di input (metodi intermedi) fornisce la massima accuratezza.

I metodi avanzati richiedono la conduzione di analisi (per esempio mirate alla stima del coefficiente di sicurezza di un pendio) che hanno un interesse teorico e che sembrano in grado di fornire la migliore accuratezza. In realtà, occorre considerare che i parametri impiegati in tali analisi sono affetti da un'elevata incertezza a causa di limiti conoscitivi nei dati di input (quali si configurano i parametri di resistenza al taglio e le pressioni neutre) e ciò rende particolarmente arduo il raggiungimento di un livello di accuratezza superiore a quello ottenibile con gli altri metodi di modellazione.

9.2. Validazione della cartografia

9.2.1. Processi di revisione

Nell'ambito di molti studi di zonazione ai fini di pianificazione territoriale dovrebbe esserci un revisore opportunamente selezionato che fornisca una stima indipendente della zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio. Il revisore dovrebbe avere elevate competenze ed essere dotato di notevole esperienza (Sezione 11.2). Il revisore dovrebbe incontrare coloro che conducono lo studio già nel momento del suo inizio e, in dipendenza della scala del lavoro, dopo una zonazione preliminare, nonché quando la zonazione sta per essere ultimata. Tale processo si configura come una forma elementare di controllo di qualità nonché come una sorta di validazione, sempre che il revisore abbia una comprovata esperienza nel settore.

9.2.2. Validazione formale

Per i più importanti progetti di zonazione di livello avanzato, può essere previsto all'interno dello studio un processo di validazione. A tal fine, l'insieme costituente l'inventario dei fenomeni franosi può essere suddiviso, in maniera *random*, in due sottoinsiemi da utilizzare, rispettivamente, per la calibrazione e per la validazione.

La calibrazione va condotta in una parte dell'area di studio (modello) e testata in un'altra parte con differenti fenomeni franosi. Un approccio alternativo consiste nel condurre la calibrazione considerando frane che sono occorse in un assegnato periodo, mentre la validazione viene sviluppata con riferimento a frane occorse in un periodo differente dall'altro. La validazione può anche essere condotta, avvalendosi di tale approccio, anche qualche tempo dopo l'adozione della zonazione e della pianificazione territoriale. Ciò è realmente perseguibile in presenza di fenomeni franosi che si ripetono con elevata frequenza per i quali è possibile ricavare i dati necessari per la validazione in lassi temporali limitati.

9.3. Effetti potenziali dei cambiamenti climatici

Ultimamente si è assistito ad un notevole progresso delle conoscenze nel campo dei cambiamenti climatici e dei loro effetti sulle piogge e sulle nevicate. A tal riguardo, si segnala che una diminuzione della frequenza di piogge di elevata intensità potrebbe ridurre la frequenza di frane superficiali su pendii particolarmente acclivi. Tuttavia, la branca della scienza che studia la previsione degli effetti dei cambiamenti climatici, nonché la previsione della frequenza delle frane a partire da quella delle piogge, non ha sin qui raggiunto risultati così avanzati da giustificare l'impiego di considerazioni riguardanti i cambiamenti climatici nella conduzione degli studi mirati alla zonazione.

Coloro i quali sono coinvolti in questi ultimi studi dovrebbero tenersi informati sugli sviluppi delle ricerche che potrebbero completamente modificare le considerazioni sopra esposte.

10. Applicazione della zonazione ai fini di pianificazione territoriale

10.1. Principi generali

Queste linee guida riguardano la zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana. Spetta a coloro i quali hanno il compito di gestire l'uso del territorio di individuare il tipo e il livello di zonazione più adeguato in dipendenza degli obiettivi da perseguire (quest'ultimo aspetto è trattato nella Sezione 6) nonché di stabilire le fasi in cui si articolerà il processo di zonazione e chiarire le modalità con le quali implementare i criteri di uso del suolo.

Occorre riconoscere che non è possibile definire accuratamente i confini delle aree da zonare su base regionale e locale lavorando, rispettivamente, alle scale piccole e medie. Al contrario, risultati significativi possono essere ottenuti con zonazioni su base locale e di sito attraverso l'adozione di scale grandi e di dettaglio.

Appare fondamentale che le Autorità locali, o altri Enti, che abbiano avanzato la richiesta di una zonazione, definiscano in modo chiaro ed esaustivo lo scopo e la natura di qualunque studio mirato alla zonazione, comprendano quale sia la reale disponibilità di potenziali dati di input, stimino le implicazioni connesse alla acquisizione di nuovi dati e, quindi, definiscano obiettivi realistici per gli studi di zonazione tenendo conto del cronoprogramma delle attività a farsi e dei limiti di budget e di risorse.

Si deve, altresì, evidenziare che la zonazione potrà consistere nella perimetrazione di aree di assegnata pericolosità da frana sulla base di limiti topografici e geomorfologici. Può, tuttavia, verificarsi che – per i fini da perseguire con la zonazione e la pianificazione territoriale – i limiti delle aree perimetrate siano spesso ridefiniti in modo da accordarsi, per ragioni amministrative, con i confini delle aree lottizzate. Tale pratica può condurre all'adozione di confini cautelativi e dovrebbe essere evitata, laddove possibile.

10.2. *Tipiche norme di controllo dello sviluppo urbano che scaturiscono dalla zonazione*

Si elencano nel seguito alcuni esempi di norme di controllo dello sviluppo urbano che scaturiscono dalla zonazione:

- se la zonazione disponibile riguarda la suscettibilità da frana, le norme di controllo da applicare consistono usualmente nella stima – sulla base di un approccio geotecnico – della pericolosità e del rischio che compete all'area interessata dallo sviluppo urbano proposto laddove sia stata riconosciuta l'esistenza di una suscettibilità da frana mentre può essere richiesto il rispetto di semplici norme (come quelle riguardanti le buone pratiche d'uso del suolo) laddove i risultati della zonazione abbiano evidenziato l'esistenza di aree non suscettibili o con una suscettibilità molto bassa.
- se la zonazione condotta riguarda la pericolosità da frana, e se lo studio è stato condotto ad un livello intermedio o avanzato, sarebbe possibile procedere alla pianificazione territoriale nelle aree dove: (a) la pericolosità è così bassa che non si rende necessario porre dei vincoli allo sviluppo del territorio; (b) si rende necessaria l'adozione di alcune norme di carattere prescrittivo, per esempio sull'altezza massima dei fronti di scavo ed in rilevato; (c) occorre procedere ad una stima accurata della pericolosità e del rischio con un approccio geotecnico perché l'ipotesi proposta di sviluppo urbano del territorio possa essere approvata e (d) la pericolosità è così elevata che lo sviluppo urbano non appare possibile;
- se la zonazione condotta riguarda il rischio di perdita di vita umana e se gli studi sono stati svolti a un livello intermedio o avanzato, sarebbe possibile procedere alla pianificazione territoriale nelle aree dove: (a) il rischio di perdita di vita umana è così modesto da non implicare alcuna norma d'uso del suolo; (b) occorre condurre stime del rischio a scala di sito prima di approvare un piano di sviluppo urbano; (c) il rischio è così elevato che lo sviluppo urbano non appare possibile.

In pratica, coloro ai quali è demandato il compito di provvedere ad una pianificazione territoriale a partire dai risultati di una zonazione dovrebbero farsi affiancare da un *engineering geologist* o da un *ingegnere geotecnico*, dotato di approfondite conoscenze nel campo della zonazione del rischio da frana e nella sua gestione, in grado di indirizzare l'organizzazione degli studi volti alla zonazione e di prodigare consigli sul modo migliore con il quale impiegare i risultati della zonazione ai fini della pianificazione territoriale.

10.3. *Esigenze di revisione e aggiornamento della zonazione*

E' opportuno rilevare che la zonazione dovrebbe essere periodicamente rivista poiché:

- la suscettibilità, la pericolosità e il rischio possono mutare a seguito dello sviluppo territoriale e delle modifiche nell'uso del suolo successivi agli studi già svolti;
- il livello di conoscenza della franosità nell'area può perfezionarsi a seguito di indagini più accurate condotte a supporto del piano urbanistico;
- gli elementi a rischio possono mutare nel tempo al punto da rendere necessaria una revisione della zonazione che possa contemplare tale cambiamento.

11. Come istruire e selezionare un engineering geologist e/o un ingegnere geotecnico per condurre uno studio di zonazione

11.1. *Preparazione di un piano di lavoro*

Nel seguito si riportano alcuni elementi che dovrebbero essere considerati nel preparare un piano di lavoro per uno studio mirato alla zonazione:

- definire lo scopo della zonazione e come essa sarà utilizzata;
- definire l'area da zonare;
- definire le tipologie di frana che saranno considerate;
- definire il tipo di zonazione richiesto (suscettibilità, pericolosità, rischio da frana);
- definire il livello di zonazione richiesto e se sarà condotto per fasi;
- identificare i diversi "portatori d'interesse" (*stakeholders*) e i loro interessi;
- descrivere, se previsto, quale processo partecipato sarà richiesto;
- leggi dello stato e norme regolamentari;
- selezionare la documentazione richiesta per lo svolgimento degli studi mirati alla zonazione, includendo dettagli su quali carte siano necessarie, le scale di rappresentazione nonché i formati elettronici e le relazioni di supporto che descrivono il processo di zonazione, i metodi usati, le limitazioni d'uso e la validità;
- stabilire un programma di lavoro;
- reperire un budget congruente con lo scopo e le aspettative dello studio.
- descrivere il processo di revisione che sarà applicato
- elencare i dati disponibili e il loro formato
- dettagliare il metodo adottato per lo studio
- definire la terminologia da adottare per descrivere la suscettibilità, la pericolosità e il rischio.

Laddove possibile, quanto sopra riportato andrebbe preferibilmente organizzato discutendone con i potenziali consulenti in modo tale da avere una chiara comprensione di ciò che è richiesto.

11.2 Selezione di un consulente per la zonazione

La zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana è una scienza che dovrebbe essere condotta da professionisti ben qualificati, siano essi geologi o ingegneri geotecnici, che hanno maturato una profonda esperienza nella zonazione e che conoscono i processi di evoluzione dei versanti, la stima del rischio e i criteri geotecnici per la stabilizzazione dei pendii.

Ciò usualmente implica che sarà necessario un team di professionisti che dovrà anche contemplare un *engineering geologist*, un *geomorfologo* (per zonazioni riguardanti pendii naturali in cui è richiesta una carta geomorfologica) e un *ingegnere geotecnico*. Occorre osservare che soltanto pochi *engineering geologist* e ingegneri geotecnici hanno esperienza nella redazione di carte geomorfologiche. È importante coinvolgere nel processo di stima della suscettibilità, della pericolosità e degli rischio gli ingegneri geotecnici dotati una profonda conoscenza del comportamento dei terreni e delle rocce sia nella fase di pre-rottura e sia in quella di post-rottura.

I consulenti scelti per lo svolgimento degli studi mirati alla zonazione dovrebbero essere in grado di dimostrare che possono contare sul supporto di personale qualificato che lavorerà con competenza ed esperienza. Non è, quindi, sufficiente affidare lo studio ad una società di consulenza geotecnica in quanto ciò che realmente conta è la qualità del personale direttamente coinvolto.

11.3. Fornire tutti i dati utili al perseguimento dello scopo

È di assoluta importanza che al consulente siano forniti tutti i dati disponibili sull'incidenza della franosità nell'area di studio. Si renderà all'uopo necessaria una ricerca approfondita di dati da file e documenti che consentano di risalire agli interventi di mitigazione adottati. Nei casi in cui la disponibilità di dati riguardanti l'incidenza della franosità risulti modesta, i responsabili del processo potranno ottenere grandi vantaggi dalla redazione di un inventario dei fenomeni franosi.

Ringraziamenti

Le presenti Linee Guida sono state redatte dal JTC-1 (Joint International Societies Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes). Le Linee Guida sono state preparate sotto la direzione tecnica di un Comitato Scientifico che ha sviluppato le prime bozze delle Linee Guida Internazionali dalle bozze di AGS (2007b).

Le bozze delle Linee Guida Internazionali sono state oggetto di importanti riflessioni e di significative discussioni, nonché di un Workshop dedicato svoltosi a Barcellona dal 18 al 20 settembre 2006. Successive bozze delle Linee Guida sono state revisionate dai partecipanti al Workshop di Barcellona e dai membri del JTC-1. I nomi dei membri del Comitato Scientifico del JTC-1 e la lista dei partecipanti al Workshop di Barcellona sono riportati in Appendice B.

Contestualmente allo sviluppo di queste Linee Guida, l'Associazione Australiana di Geomeccanica (AGS) ha sviluppato le Linee Guida sulla zonazione della Suscettibilità, della Pericolosità e del Rischio (AGS, 2007b). Vi è stato un approccio integrato tra i gruppi che hanno sviluppato le Linee Guida; queste hanno contenuti simili e, sostanzialmente, si differenziano in dettagli concernenti i requisiti specifici delle Linee Guida dell'AGS.

Appendice A. Definizioni

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 alla ulteriore riduzione di tale rischio.

Probabilità Annuale di Superamento (AEP) – La probabilità annuale che un evento di assegnata magnitudo possa essere raggiunto o superato.

Conseguenza – Gli effetti o i potenziali effetti derivanti dall'accadimento di una frana, espressi qualitativamente o quantitativamente, in termini di perdita, svantaggio o guadagno, danno, feriti o perdita di vita umana.

Pericolo – Il fenomeno naturale che potrebbe generare conseguenze, descritto in termini geometrici, meccanici o attraverso altre caratteristiche. Il pericolo può associarsi ad un fenomeno esistente (per esempio, un versante in creep) o potenziale (quale si configura un crollo in roccia). La caratterizzazione di un pericolo non ne include alcuna previsione.

Elementi a rischio – La popolazione, gli edifici e le opere d'ingegneria, le attività economiche, i servizi di pubblica utilità, gli elementi infrastrutturali e ambientali all'interno di un'area potenzialmente interessate da fenomeni franosi.

Frequenza – Una misura della probabilità espressa come numero di volte in cui un dato evento accade in un assegnato intervallo di tempo. Vedi anche Possibilità (*Likelihood*) e Probabilità.

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 e di altro materiale che – una volta distaccato dalla sua sede naturale – ne risulta coinvolto nonché la probabilità di accadimento in un assegnato intervallo di tempo.

Rischio per l'individuo – Il rischio che un ben identificabile individuo (ovvero con dati anagrafici noti) che vive all'interno di un'area sede di frana possa perdere la propria vita o rimanere ferito; o che segue un particolare percorso di vita che potrebbe assoggettarlo/a alle conseguenze di una frana.

Inventario dei fenomeni franosi – Un inventario che contempla la localizzazione, la classificazione, il volume, lo stato di attività e le date di accadimento delle frane.

Attività di una frana – Identifica la fase di evoluzione di una frana. Può essere distinta in; pre-rottura (quando il pendio si deforma al suo interno ma rimane sostanzialmente intatto); rottura (caratterizzata dalla completa formazione di una superficie di rottura); post-rottura (si associa ai movimenti che la massa spostata manifesta dall'istante che segue immediatamente la rottura fino al momento del suo arresto); la riattivazione (quando la massa spostata si muove lungo una o più superfici di scorrimento pre-esistenti). La riattivazione può essere occasionale (per es., stagionale) oppure continua (in questo caso la frana è "attiva").

Intensità di una frana – Un insieme di parametri spazialmente distribuiti connessi alla severità (ovvero al potere distruttivo) di una frana. Tali parametri possono essere descritti quantitativamente o qualitativamente e possono includere il valore della velocità massima, lo spostamento totale, lo spostamento differenziale, lo spessore della massa spostata, la portata di picco per unità di larghezza, l'energia cinetica per unità di 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.

Possibilità (Likelihood) – E' usata per descrivere in termini qualitativi la probabilità o la frequenza.

Probabilità – Rappresenta una misura del grado di certezza; assume valori compresi tra 0 (impossibilità) e 1 (certezza). E' una stima della "likelihood" dell'entità di una grandezza incerta o della "likelihood" di accadimento di un evento futuro incerto.

Ci sono due interpretazioni principali:

(i) frequenza statistica o frazione – rappresenta il risultato di un esperimento ripetuto, simile al lancio di una moneta.

Contempla anche il concetto di variabilità della popolazione. Tale numero è definito come “oggettivo” o come probabilità di frequenza relativa poiché esiste nel mondo reale ed è in linea di principio misurabile su base sperimentale.

(ii) probabilità soggettiva (livello di confidenza) – Misura quantitativa del livello di giudizio o di confidenza nella possibilità di un risultato, ottenuto considerando tutte le informazioni disponibili in modo onesto, corretto, e con un minimo di errore. La probabilità soggettiva è condizionata dal livello di comprensione di un processo, dal giudizio riguardante una stima, o dalla qualità e quantità delle informazioni. Può cambiare nel tempo al mutare dello stato delle conoscenze.

Analisi qualitativa del rischio – Un’analisi che fa uso di scale nominali, descrittive o numeriche per descrivere l’entità di potenziali conseguenze e la possibilità (*likelihood*) che tali conseguenze si verifichino realmente.

Analisi quantitativa del rischio – Un’analisi basata su valori numerici della probabilità, della vulnerabilità e delle conseguenze, e che conduce ad un valore numerico del rischio.

Rischio – Una misura della probabilità e della severità di un evento avverso sulla salute, sulla proprietà e sull’ambiente. Il rischio è spesso ottenuto come prodotto della probabilità di accadimento di un fenomeno per le conseguenze. 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.

Analisi del rischio – L’uso delle informazioni disponibili per stimare il rischio ad individui, popolazione, proprietà o ambiente a partire dalla pericolosità dei fenomeni franosi. L’analisi del rischio contempla i seguenti passi: definizione dello scopo, identificazione della pericolosità e stima del rischio.

Stima del rischio – E’ il processo che comprende l’analisi del rischio e la sua valutazione.

Controllo del rischio – E’ 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.

Calcolo del rischio – E’ il processo adottato per avere una misura del livello di rischio per la vita umana, la proprietà o l’ambiente. Il calcolo del rischio contempla i seguenti passi: analisi della frequenza, analisi delle conseguenze e loro combinazione.

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.

Gestione del rischio – Il processo completo di stima del rischio e di controllo del rischio.

Rischio per la collettività umana – Il rischio che si abbiano numerose vittime e/o feriti per la società nel suo insieme: laddove la società sia in grado di sostenere le conseguenze di una frana che causa morti, feriti, danni economici, ambientali e di altra natura

Probabilità spazio-temporale – La probabilità che gli elementi a rischio siano nell’area interessata da una frana nel momento in cui essa si verifica.

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 appare come non-trascurabile e necessita di essere aggiornato e ulteriormente ridotto, laddove possibile.

Vulnerabilità. Grado di perdita atteso ad un elemento o ad un insieme di elementi posti all’interno di un’area caratterizzata da un’assegnata pericolosità. E’ espresso in una scala che va da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale). Per le proprietà, la perdita corrisponde al valore del danno rapportato al valore della proprietà; per le persone, la vulnerabilità si fa coincidere con la probabilità che una particolare persona (elemento a rischio) perda la propria vita tra quella/e interessate da una frana;

Zonazione. La partizione del territorio in aree o domini omogenei e il loro ranking in accordo con i livelli di suscettibilità, pericolosità e rischio da frane attuali o potenziali.

Appendice B. Linee Guida sulla zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana ai fini di pianificazione territoriale.

Comitato Scientifico

Robin Fell, University of New South Wales, Australia (chair)
Jordi Corominas, Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain (co-chair)
Christophe Bonnard, École Polytechnique Fédérale, Lausanne, Switzerland
Leonardo Cascini, University of Salerno, Italy
Eric Leroi, Urbater, France
William Z. Savage, United States Geological Survey, Golden, Colorado, USA.

Partecipanti al Workshop su “Zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana per la pianificazione territoriale (Barcellona, Spagna, 18-20 settembre 2006) e collaboratori alle Linee Guida.

Australia

Professor Robin Fell, University of New South Wales, Sydney
Mr. Andrew Leventhal, GDH-LongMac, Sydney.

Brasile

Professor Willy Lacerda, Federal University of Rio de Janeiro.

Canada

Professor Oldrich Hungr, University of British Columbia, Vancouver
Professor Serge Leroueil, Université Laval, Quebec.

Cina

Dr. H. W. Sun, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong.

Francia

Professor Roger Cojean, École des Mines, Paris
Dr. Jean-Louis Durville, Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement, Lyon
Dr. Alain Guilloux, Terrasol, Paris
Dr. Eric Leroi, Urbater, Pau
Professor Olivier Maquaire, University of Caen
Professor Véronique Merrien-Soukatchoff, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy.

Germania

Professor Thomas Glade, Department of Geography, University of Bonn.

Italia

Mr. Giovanni Bertolini, Water Authority, Regione Emilia-Romagna, Bologna
Professor Leonardo Cascini, University of Salerno
Professor Giovanni Crosta, University of Milano Bicocca, Milano
Professor Paolo Fratini, University of Milano Bicocca, Milano
Professor Luciano Picarelli, University of Naples
Dr. Marina Pirulli, Politecnico di Torino
Dr. Diana Salciarini, University of Perugia, Perugia
Professor Claudio Scavia, Politecnico di Torino.

Nuova Zelanda

Professor Michael Crozier, University of Wellington.

Norvegia

Professor Farrokh Nadim, International Centre for Geohazards, Oslo.

Russia

Professor Alexander L. Strom, Institute of Geospheres Dynamics, Russian Academy of Sciences, Moscow.

Spagna

Professor José Chacón, University of Granada
Dr. Ramon Copons, University of Barcelona
Professor Jordi Corominas, Technical University of Catalonia, Barcelona
Dr. Mercedes Ferrer, Spanish Geological Survey, Madrid
Professor Marcel Hürlimann, Technical University of Catalonia, Barcelona
Professor José Moya, Technical University of Catalonia, Barcelona
Dr. Joan Palau, RSE, Barcelona
Professor Juan Remondo, University of Cantabria, Santander.

Svizzera

Dr. Pedro Basabe, UN/ISDR, Geneva
Professor Christophe Bonnard, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
Mr. Olivier Latetin, Federal Office for Water and Geology, Biel.

Olanda

Dr. Cees van Westen, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, Enschede.

Regno Unito

Mr. Brian Marker, Consultant, London
Dr. Robin McInnes, Isle of Wight Centre for the Coastal Environment, Ventnor.

U.S.A

Prof. Herbert H. Einstein, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA
Dr. Susan Cannon, United States Geological Survey, Denver, CO
Dr. William Z. Savage, United States Geological Survey, Denver, CO.

Bibliografia

- AGS, 2007a. Practice Note Guidelines for Landslide Risk Management. Australian Geomechanics Society Landslide Taskforce Landslide Zoning Working Group. Australian Geomechanics 42 (1), 63–114.
- AGS, 2007b. Guideline for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Management. Australian Geomechanics Society Landslide Taskforce Landslide Zoning Working Group. Australian Geomechanics 42 (1), 13–36.
- Ardizzone, F., Cardinali, M., Carrara, A., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 2002. Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. Natural Hazards and Earth System Sciences 2, 3–14.
- Cascini, L., Bonnard, Ch., Corominas, J., Jibson, R., Montero-Olarte, J., 2005. 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.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes, in landslides. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Investigation and Mitigation. Special Report, vol. 247. Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C.
- 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.
- Hungr, O., Fell, R., Couture, R., Eberhardt, E., 2005. Landslide Risk Management. Taylor and Francis, London. 763 pp.
- Hutchinson, J.N., 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In: Bonnard, Ch. (Ed.), Landslides. Proceedings 5th International Conference on Landslides, vol. 1. Lausanne, pp. 3–35.
- IAEG, 1990. Suggested nomenclature for landslides. International Association of Engineering Geology Commission on Landslides. Bulletin IAEG 13–16 No. 41.
- IUGS, 1997. Quantitative risk assessment for slopes and landslides — the state of the art. In: Cruden, D., Fell, R. (Eds.), Landslide Risk Assessment. Balkema, Rotterdam, pp. 3–12.

- Leroi, E., Bonnard, C., Fell, R., McInnes, R., 2005. Risk assessment and management. In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R., Eberhardt, E. (Eds.), *Landslide Risk Management*. Taylor and Francis, London, pp. 159–198.
- VanWesten, C.J., Seijmonsbergen, A.C., Mantovani, F., 1999. Comparing landslide hazard maps. *Natural Hazards* 20, 137–158.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds.), *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control*. TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 11–33.