

MICROZONAZIONE SISMICA: PROPOSTA DI LINEE GUIDA PER LA GESTIONE DEL TERRITORIO IN AREE INTERESSATE DA INSTABILITÀ DI VERSANTE

F. Polpetta, G. Naso

Dipartimento della Protezione Civile, Roma

Introduzione. L'obiettivo principale di questa proposta di Linee Guida è quindi di contribuire all'aggiornamento dei criteri generali e delle procedure operative degli ICMS (2008), così come già fatto con le altre linee guida per i fenomeni di liquefazione e di faglie attive e capaci. La proposta è redatta anche alla luce dell'esperienze degli ultimi terremoti avvenuti sul territorio nazionale (in particolare, L'Aquila 2009) e degli studi ad essi seguiti.

L'obiettivo principale è definire i criteri generali e le procedure operative, in coordinamento tra lo Stato, le Regioni e gli Enti Locali, per:

- raccogliere accurate informazioni sul rischio indotto dalla presenza di terreni suscettibili di instabilità;
- mitigare il rischio nelle aree con previsioni di trasformazione;
- mitigare il rischio nelle aree edificate.

Per quanto riguarda le metodologie di elaborazione, queste Linee Guida, che a seguito della condivisione con le Regioni saranno parte integrante degli ICMS (2008), devono necessariamente basarsi sulla documentazione tecnico-normativa e scientifica disponibile, rimandando ad altri contesti la verifica di metodologie innovative.

Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008) definiscono i criteri generali per assegnare una stima qualitativa e quantitativa degli effetti di un terremoto in un'area potenzialmente instabile per frana e per zonare il territorio rispetto alla pericolosità sismica. Nello stesso documento sono anche riportate le procedure per la delimitazione delle aree già in frana o suscettibili di movimenti franosi durante e/o dopo un terremoto, effettuando una distinzione tra frane in terra e frane in roccia.

Le procedure di analisi si sviluppano su due livelli:

- MS1, un livello di valutazione qualitativo;
- MS3, un livello di valutazione quantitativo.

Per ciò che concerne i dati utilizzabili, secondo gli ICMS (2008), la carta di MS1 può essere redatta con l'utilizzo di dati pregressi, se sufficienti. Nella maggior parte dei casi i dati pregressi, cosiddetti "poveri", consistono in informazioni di base quali la descrizione delle unità litologiche da ispezioni visive, i livelli di falda rilevati durante le perforazioni, ecc. Pertanto, per la identificazione e definizione della suscettibilità all'instabilità di versante negli studi di MS1, si propongono metodologie che utilizzano dati immediatamente già disponibili, perché raccolti *in situ* o presenti in letteratura o in database pubblici. Per la realizzazione della carta di MS3 si rende necessaria, viceversa, l'esecuzione di indagini specifiche e approfondimenti per la caratterizzazione dei terreni.

Le analisi di microzonazione sismica devono produrre, tra i risultati attesi, l'identificazione di zone soggette alle instabilità, che possono essere così classificate:

- Zone di Attenzione (ZA) nel livello MS1: sono zone nelle quali i dati a disposizione non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico; è possibile, tuttavia, ad esempio attraverso la consultazione di inventari, stabilire la presenza di zone instabili e/o, attraverso lo studio di notizie storiche, l'accadimento di fenomeni in occasione di eventi sismici passati.
- Zone di Suscettibilità (ZS) nel livello MS3a: sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte semplificati (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una prima stima quantitativa della pericolosità ed effettuare uno *screening* delle zone instabili, per verificare quali hanno bisogno di studi specifici.
- Zone di Rispetto (ZR) nel livello MS3b: sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati molto specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi avanzati (per analizzare dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile quantificare la pericolosità.

Fonti normative e riferimenti tecnici. La metodologia proposta nelle Linee Guida si basa sulle normative antisismiche e delle linee guida tecniche esistenti, in particolare le Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC, 2008), le varie norme regionali e il documento "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica" (AGI, 2005).

Sia NTC (2008) che AGI (2005) prevedono analisi a più livelli di approfondimento: metodi pseudostatici, analisi dinamiche semplificate (valutazione degli spostamenti) e analisi dinamiche avanzate.

Entrambi i riferimenti prevedono un adeguato piano di indagini al fine di eseguire le verifiche di sicurezza lungo le superfici di scorrimento (riconosciute o possibili) in numero sufficiente per l'individuazione della superficie critica di scorrimento alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso. Al fine di ottenere una corretta modellazione del pendio è necessario definire:

- le caratteristiche morfologiche, geologiche e strutturali;
- le proprietà fisiche dei terreni e i parametri che ne descrivono il comportamento meccanico, sia in condizioni statiche sia in condizioni cicliche e dinamiche;
- il regime delle pressioni interstiziali;
- l'entità e la posizione di eventuali carichi esterni.

Sono numerose anche le normative regionali che forniscono indicazioni su zone instabili soggette a eventi sismici. Molte norme prevedono la realizzazione di prove dinamiche in sito e in laboratorio, volte alla caratterizzazione dei terreni in campo dinamico.

Durante la valutazione della stabilità dei pendii, vengono distinte le seguenti situazioni:

- il caso in cui nell'ammasso siano presenti materiali liquefacibili;
- il caso in cui lo scorrimento avvenga lungo una superficie definita.

In generale, le procedure per la valutazione della pericolosità da frana nelle normative regionali prevedono due passi:

- 1) una procedura preliminare per la valutazione qualitativa della zonazione e della pericolosità. Partendo da un'analisi accurata di inventari dei dissesti, si individuano e si definiscono le aree di pericolosità di frane e la loro possibile zona di espansione mediante diverse metodologie.
- 2) una procedura di dettaglio per la valutazione quantitativa della pericolosità. Partendo dai risultati del primo passo, con metodi semplificati o avanzati si valutano l'entità di eventuali spostamenti e, a volte, anche le probabilità di accadimento.

Metodologia proposta. La metodologia qui proposta (Fig. 1) parte dai seguenti assunti di base:

- le indagini e le analisi saranno sviluppate in livelli di approfondimento successivi (MS1, MS3)
- le analisi dovranno essere quelle previste dalle Norme e Linee Guida tecniche vigenti in Italia
- i risultati dovranno definire i perimetri delle microzone e i parametri di pericolosità
- le zone saranno di tre tipologie (ZA_{FR} , ZS_{FR} e ZR_{FR})
- la pericolosità sarà definita quantitativamente in termini di spostamento (D)
- gli spostamenti previsti saranno confrontati con soglie di spostamenti predefinite (D_{amm}).

La scelta di definire gli spostamenti permanenti (D) per determinare la pericolosità di un pendio instabile è dettata da due principali vantaggi:

- è di facile utilizzo rispetto a metodi avanzati di grande complessità analitica (analisi sforzi-deformazioni);
- permette, rispetto alle analisi pseudostatiche, di definire una misura quantitativa di quello che accade dopo che l'accelerazione critica è superata.

La classificazione degli spostamenti (D_{amm}) può dipendere da molti fattori (p. es. presenza e natura di strutture/infrastrutture esistenti, livello di protezione desiderato, gravità dei danni connessi ad un eventuale movimento franoso). In mancanza di un riferimento specifico per il caso in esame, si possono seguire alcune indicazioni di letteratura. A titolo di esempio si riportano gli spostamenti ammissibili definiti nelle Linee Guida per l'analisi e la mitigazione del rischio di frana in California (ASCE, 2002):

- $D_{amm} = 5$ cm per superfici di scorrimento che coinvolgono manufatti rigidi
- $D_{amm} = 15$ cm per cinematismi di collasso che si sviluppano in terreni con curve sforzi-deformazioni di tipo incrudente e non interagiscono con manufatti esistenti.
- nel caso di terreni con curve sforzi-deformazioni di tipo rammollente $D_{amm} = 15$ cm è ragionevole, se k_c è calcolato utilizzando le caratteristiche di resistenza di post-picco o residua, mentre è opportuno assumere $D_{amm} = 5$ cm, se k_c è calcolato con i parametri di picco della resistenza al taglio.

In questo senso il parametro spostamento rappresenta un indice della risposta cosismica del pendio.

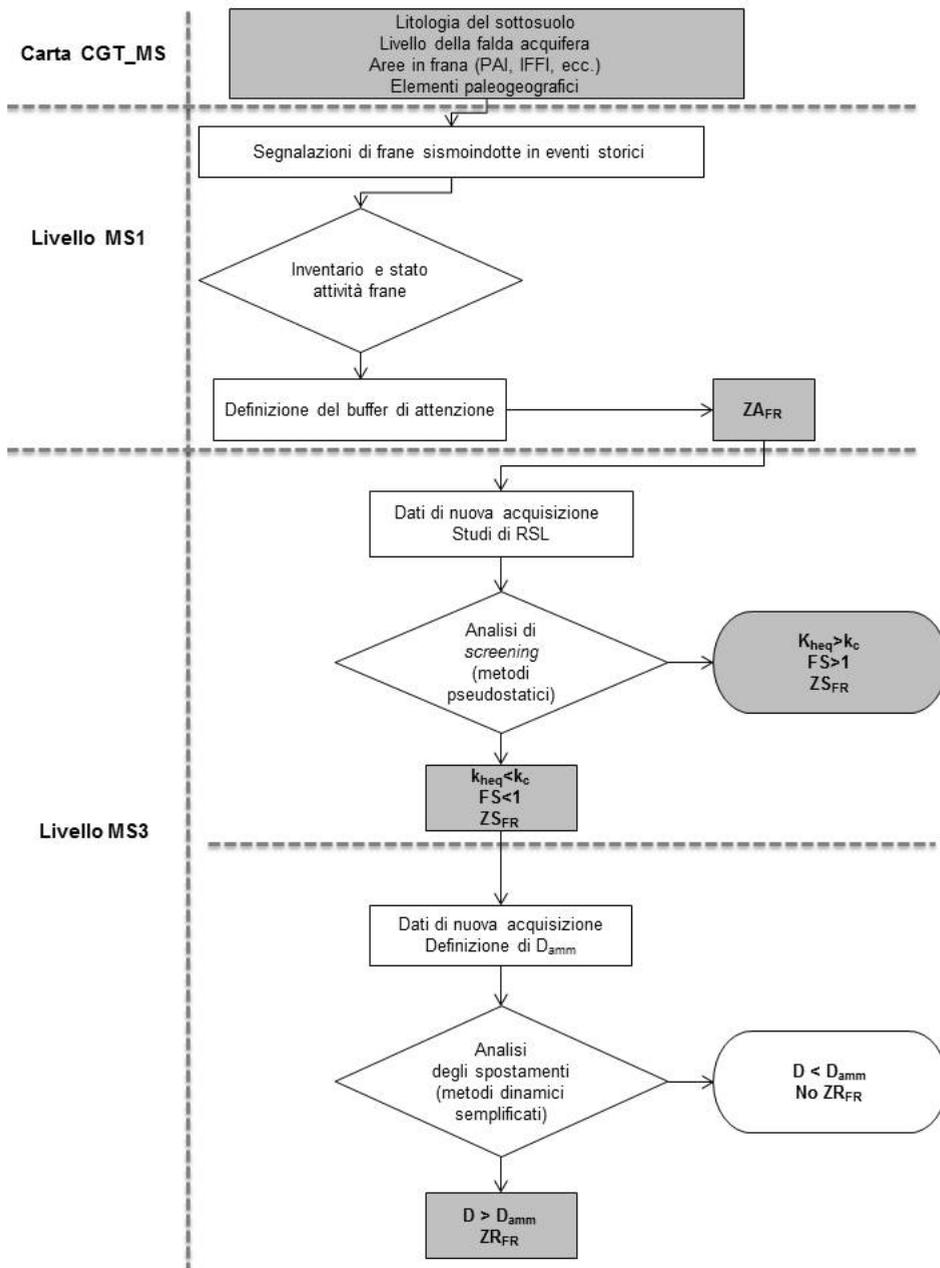


Fig. 1 – Schema che sintetizza la metodologia proposta. La raccolta dati e le analisi permettono di ridurre le incertezze dal livello MS1 al livello MS3.

Nell'applicazione delle analisi degli spostamenti è ovviamente determinante il significato che i vari autori hanno dato alle classi di spostamento previste analiticamente.

Livello MS1: Zone di Attenzione (Z_{FR}). Si parte dallo studio della carta CGT_MS, dalla valutazione del livello della falda acquifera e dallo stato di attività delle frane (attiva, quiescente, inattiva) riportate sulla CGT_MS o in inventari di fenomeni franosi. Constatata la presenza di fenomeni di instabilità e conoscendone l'attività, si procede alla definizione di un buffer intorno all'area, identificato come potenzialmente suscettibile di frana sismoindotta. L'area

potenzialmente in frana e il buffer vengono qualificate come Zona di Attenzione per frana (ZA_{FR}).

Il buffer di incertezza intorno all'area realmente in dissesto deve comprendere (Fell *et alii*, 2008):

- aree di possibile evoluzione del dissesto;
- aree di possibile influenza del dissesto;
- aree da sottoporre a verifica nei livelli di approfondimento superiori;
- aree di influenza del dissesto.

L'identificazione di un'area di buffer di incertezza è giustificata dalla presenza di numerosi fattori potenziali d'errore nel processo di zonazione, che includono (Fell *et al.*, 2008):

- limiti nell'inventario dei fenomeni franosi;
- limiti conoscitivi nei dati di input;
- valutazioni errate delle persone chiamate a condurre la zonazione.

L'individuazione di queste aree (ZA_{FR}) rimanda obbligatoriamente al livello superiore di approfondimento (MS3).

Oltre all'identificazione della ZA_{FR} nella relazione illustrativa saranno riportate indicazioni:

- sull'assetto geologico, idrogeologico e geomorfologico dell'area;
- su dettagli geometrici e cinematici delle frane eventualmente attivate in occasione di eventi sismici passati;
- sull'ubicazione e sulla tipologia delle indagini da condurre nei livelli di approfondimento successivi (MS3);
- sui metodi di analisi da impiegare nei livelli di approfondimento successivi.

Livello MS3a: Zona di Suscettibilità (ZS_{FR}). La definizione delle Zone di Suscettibilità, ZS_{FR} , viene effettuata attraverso la raccolta di informazioni sul campo e mediante un filtro (*screening*) sulle ZA_{FR} . Lo scopo di una procedura di *screening* è quella di filtrare preliminarmente le aree che

hanno bassissimo o nessun potenziale di sviluppo di frane sismoindotte. Questa fase della metodologia è basata sul confronto tra il coefficiente sismico critico k_c , definito con analisi pseudostatiche, e il coefficiente k_{eq} (*sensu* AGI, 2005), definito con un'analisi di risposta sismica locale.

La procedura è sintetizzata nella Fig. 2:

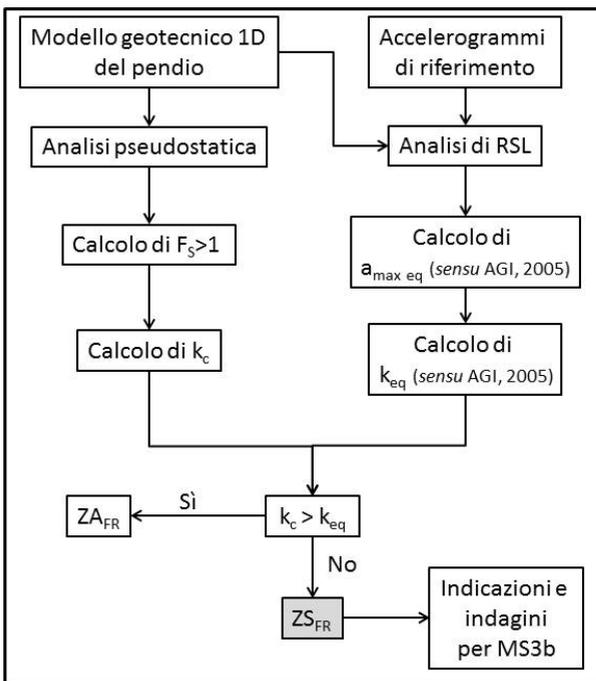


Fig. 2 – Schema che sintetizza la procedura per l'identificazione delle ZS_{FR} .

Le zone per le quali $k_c > k_{eq}$ passano lo *screening* e restano definite come ZA_{FR} , mentre le zone per le quali $k_c < k_{eq}$ non passano le *screening* e saranno definite come ZS_{FR} , divenendo l'oggetto di studio nel livello MS3b.

Livello MS3b: Zona di Rispetto (ZR_{FR}). In questo livello, oltre alla raccolta di ulteriori informazioni sul campo, si opererà un'analisi degli spostamenti, al fine di identificare le Zone di Rispetto (ZR_{FR}).

Nelle aree individuate come Zone di Suscettibilità, ZS_{FR} , si procede ad acquisire nuovi dati e condurre analisi

dinamiche semplificate (metodi degli spostamenti), allo scopo di determinare l'entità dello spostamento del pendio (D).

Le analisi semplificate degli spostamenti, a partire dalla definizione dell'azione sismica e del modello di sottosuolo alla scala d'interesse, possono essere classificate in due gruppi:

1. **previsione espressa mediante correlazioni semiempiriche in funzione dei parametri sintetici del moto e del modello geometrico e geotecnico di sottosuolo;**
2. **previsione espressa con il metodo cosiddetto del "blocco rigido" (analisi di Newmark, 1965) che si articola in tre fasi:**
 - **ricerca, con l'analisi pseudostatica, della superficie di scorrimento potenziale ($F_s=1$) e determinazione di $k_c=a_c/g$;**
 - **scelta dei terremoti di riferimento;**
 - **stima dello spostamento della massa instabile mediante doppia integrazione dell'equazione differenziale del moto relativo rappresentata nel dominio del tempo.**

Per entrambi i gruppi di analisi si definisce infine uno spostamento di soglia (D_{amm}). Le zone per le quali risulterà $D > D_{amm}$, saranno identificate come Zone di Rispetto, ZR_{FR} .

Tenuto conto che i metodi degli spostamenti fanno riferimento a cinematici di collasso idealizzati e semplificati, gli spostamenti calcolati devono considerarsi come una stima dell'ordine di grandezza degli spostamenti reali,

Bisogna comunque tener ben presente che le analisi semplificate presentano alcune criticità importanti.

Le difficoltà dei metodi degli spostamenti sono legate alla caratterizzazione dell'evento sismico mediante una *time history* (analisi del gruppo 2). Nella pratica si preferisce un approccio semplificato (analisi del gruppo 1) e invece dell'utilizzo di *time history* vengono estrapolati parametri sintetici da studi parametrici empirico-probabilistici (l'accelerazione critica rappresentativa delle proprietà del pendio a_c , l'accelerazione massima a_{max} , la velocità massima v_{max} , l'intensità di Arias I_A , il periodo fondamentale medio dell'evento sismico T_m e il periodo della massa in frana T_s sono i parametri più comuni per la descrizione delle proprietà dello scuotimento).

L'ipotesi di blocco rigido risulta il più gravoso limite del metodo originario di Newmark (1965). La deformabilità dei terreni può, infatti, produrre modifiche importanti nei caratteri del moto sismico, variandone le ampiezze ed il contenuto in frequenza. Inoltre, a causa della deformabilità, il moto sismico della massa in frana in un fissato istante può essere caratterizzato da una distribuzione spaziale delle accelerazioni, e quindi delle forze d'inerzia, significativamente eterogenea.

La variabilità spaziale dell'azione sismica dovuta alla deformabilità del terreno può essere portata in conto attraverso due possibili approcci:

- approccio disaccoppiato.

I metodi degli spostamenti sviluppati come approccio disaccoppiato si articolano in due fasi successive. Il contributo della deformabilità dei terreni è tenuto in conto nella prima fase attraverso la definizione di un accelerogramma equivalente che viene applicato nella seconda fase come input del modello di blocco rigido, eventualmente modificato per tenere conto della degradazione ciclica e/o dello sviluppo di sovrappressioni neutre.

- approccio accoppiato.

Il superamento dei limiti dei metodi di analisi disaccoppiata è dato dai cosiddetti metodi di analisi accoppiata, in cui gli effetti dovuti alla deformabilità dei terreni e gli spostamenti sono valutati contemporaneamente durante la fase di scorrimento. Il problema è stato modellato utilizzando sia schemi dinamici a masse e rigidità distribuite, sia schemi a masse concentrate. Il terreno è caratterizzato da un legame costitutivo visco-elastico lineare (Chopra and Zhang, 1991; Kramer and Smith, 1997) oppure con un modello viscoelastico, isteretico non lineare (Rathje and Bray, 2000). In ogni caso questi metodi includono la necessità di una modellazione del pendio molto dettagliata.

Modalità tecnico operative per la rappresentazione e per la perimetrazione

- Zonazione e livelli di approfondimento

Le zone instabili a causa dell'attivazione o della riattivazione di frane, devono essere cartografate a una scala adeguatamente dettagliata, preferibilmente non inferiore a 1:10.000-1:5.000.

Le $Z_{A_{FR}}$ sono zone rappresentate nella carta di MS1 e, qualora si eseguano studi di livello MS2 per le amplificazioni litostratigrafiche, anche nelle carte MS2. Le carte di MS2, infatti, nel caso non si proceda oltre questo livello di approfondimento, vengono spesso assunte come cartografia di riferimento per la pianificazione urbanistica ed è quindi importante conservare l'informazione sulle $Z_{A_{FR}}$ individuate.

Le $Z_{S_{FR}}$ e le $Z_{R_{FR}}$ sono zone rappresentate nelle carte con approfondimento di livello MS3. La $Z_{R_{FR}}$ può essere interna ad una delle $Z_{S_{FR}}$ o coincidere.

- Modalità di perimetrazione delle zone

In termini generali, le informazioni che guidano la perimetrazione delle zone sono ricavate da:

- a) descrizioni del fenomeno fisico rilevato sul campo, se si è in fase di immediato post-evento;
- b) segnalazioni di fenomeni di instabilità dei pendii in eventi storici (fonti storiche);
- c) perimetrazioni ricavate da inventari;
- d) valutazioni effettuate con metodi pseudostatici;
- e) valutazioni effettuate con analisi dinamiche semplificate (metodi degli spostamenti).

Sviluppi futuri della proposta metodologica. La proposta metodologica presentata sarà sottoposta a un gruppo di lavoro multidisciplinare, costituito dal DPC nell'ambito degli studi di MS per l'art.11 della legge 77/09 (Fondo nazionale per la prevenzione del rischio sismico). Il mandato del gruppo di lavoro è quello di analizzare e ridefinire la proposta stessa. Tale gruppo di lavoro si occuperà anche della sperimentazione del metodo proposto in un sito campione.

La proposta rivalutata dal gruppo di lavoro sarà poi sottoposta agli organi tecnici delle Regioni per l'approvazione definitiva e la sottomissione agli estensori della Parte Seconda (Disciplina dell'uso del suolo). La pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate dalla presenza di instabilità di versante è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana, tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi.

Al fine di definire tale disciplina, si farà riferimento convenzionalmente a tre categorie di aree urbanistiche:

- Aree edificate (recenti o consolidate)
- Aree non edificate (con previsione di trasformazione)
- Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata

Ciascuna delle tre categorie di aree è definita da specifici caratteri insediativi, infrastrutturali e di destinazione d'uso la cui relazione con la presenza di $Z_{A_{FR}}$, $Z_{S_{FR}}$ e $Z_{R_{FR}}$, definite sopra, va sottoposta a specifiche normative, che saranno descritte nella Parte Seconda della Linea Guida.

Bibliografia

- ASCE; 2000: *Recommended procedures for implementation of DMG special publication 117. Guidelines for analyzing and mitigation landslide hazards in California*. Southern California Earthquake Center. T.F. Blake, R.A. Hollingsworth and J.P. Stewart Eds.
- Associazione Geotecnica Italiana, AGI; 2005: *Associazione Geotecnica Italiana - Linea guida. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica*. Patron Editore, Bologna.
- Chopra A.K., Zhang L.; 1991: *Earthquake-induced base sliding of concrete gravity dams*. Journal of Structural Engineering. ASCE, Vol. **117**, No. 12, 3698-3719.
- Fell R. J., Corominas C., Bonnard L., Cascini E., Leroi W., Savage Z.; 2008: *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*. **Engineering Geology**, **102**, 85-98 – doi:10.1016/j.enggeo.2008.03.022

- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, ICMS; 2008: *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province autonome; 3 vol. e 1 DVD.
- Kramer S.L., Smith M.W.; 1997: *Modified Newmark model for seismic displacements of compliant slopes*. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. **123**, No. 7, pp. 635-644
- Newmark N.M.; 1965: *Effect of earthquakes on dam and embankment*. *Geotèchnique*, Vol. **109** No. 2, pp. 139-159.
- Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC; 2008: *Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008*. Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, www.cslp.it, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma (ultimo accesso settembre 2014).
- Rathje E. M, Bray, J. D.; 2000: *Nonlinear coupled seismic sliding analysis of earth structures*. J. Geotech. Geoenviron. Eng., Vol. **126**, No. 11, pp. 1002–1014.