

**V. Del Gaudio** <sup>(1)</sup>, **P. Pierri** <sup>(2)</sup> e **J. Wasowski** <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari

<sup>(2)</sup> Osservatorio Sismologico, Università di Bari

<sup>(3)</sup> C.N.R. – CERIST, Centro di Studio sulle Risorse Idriche e la Salvaguardia del Territorio, Bari

## **UN APPROCCIO PER LA VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ TEMPORALE DI FRANE SISMO-INDOTTE A SCALA REGIONALE**

I fenomeni franosi innescati da terremoti contribuiscono spesso in maniera rilevante al bilancio delle perdite di vite umane e dei danni economici. Terremoti anche di magnitudo moderata possono innescare un gran numero di frane in aree estese e questo pone problemi particolarmente gravi alla gestione dell'emergenza. Ciò ha stimolato lo sviluppo di metodologie per valutare la pericolosità da frane sismo-indotte a scala regionale, in modo da poter fornire informazioni utili per la ottimizzazione delle strategie di minimizzazione del danno.

Tali tecniche sono basate su metodi semplificati di caratterizzazione delle condizioni di innesco delle frane, dal momento che non è possibile disporre, a scala regionale, di informazioni dettagliate su tutti i fattori che influenzano la stabilità dei versanti in condizioni sismiche. Esse, quindi, forniscono un quadro generale della pericolosità e servono ad evidenziare situazioni in cui esiste un significativo rischio di seri danneggiamenti e su cui può essere opportuno condurre studi più dettagliati alla scala del singolo pendio.

I primi approcci proposti sono stati basati sulla definizione di soglie critiche per alcuni parametri assunti a rappresentare condizioni potenziali di innesco di frane da parte di terremoti. In particolare, Wilson e Keefer (1985) hanno proposto la definizione di soglie di innesco, differenziate per diverse tipologie di frane, in termini di intensità di Arias **I<sub>a</sub>** e di spostamento di Newmark **D<sub>n</sub>**: la prima dà una misura dello scuotimento sismico e il secondo definisce lo spostamento permanente indotto dallo scuotimento sismico lungo una potenziale superficie di scivolamento in relazione al moto del suolo ed alla accelerazione critica **a<sub>c</sub>** esistente lungo tale superficie. Quest'ultima grandezza è esprimibile in funzione di parametri quali pendenza e profondità della superficie di scivolamento, densità, coesione, e attrito delle rocce che costituiscono i pendii e pressione piezometrica. Il confronto dei valori attesi per **I<sub>a</sub>** o **D<sub>n</sub>** in corrispondenza di eventi sismici con tali soglie critiche permette di individuare le aree maggiormente a rischio.

Approcci più recenti hanno tratto beneficio dagli sviluppi della cartografia numerica e dei sistemi informativi geografici (GIS). In particolare Jibson et al. (2000) hanno sviluppato un metodo basato sull'impiego di una relazione empirica, calibrata su dati accelerometrici, del tipo

$$\log D_n = A \log I_a - B \log a_c - C \pm \sigma \quad (1)$$

(con  $\sigma$  = deviazione standard), per predire, su aree estese, potenziali condizioni di innesco di frane sismiche in termini di superamento di soglie critiche di **D<sub>n</sub>**.

Tutti questi metodi fanno riferimento alla definizione della distribuzione spaziale della pericolosità per qualche "scenario" sismico, mentre generalmente non viene presa in considerazione la ricorrenza temporale delle condizioni di innesco di frane sismo-indotte. L'orizzonte temporale degli eventi pericolosi rappresenta però un elemento

fondamentale in una valutazione di hazard e ciò ha suggerito di combinare i suddetti metodi con approcci consolidati per le valutazioni di pericolosità sismica in termini temporali, quali il metodo Cornell (1968). Un primo tentativo in questa direzione è stato effettuato da Romeo (2000) che ha utilizzato la (1), calibrandola su dati accelerometrici italiani.

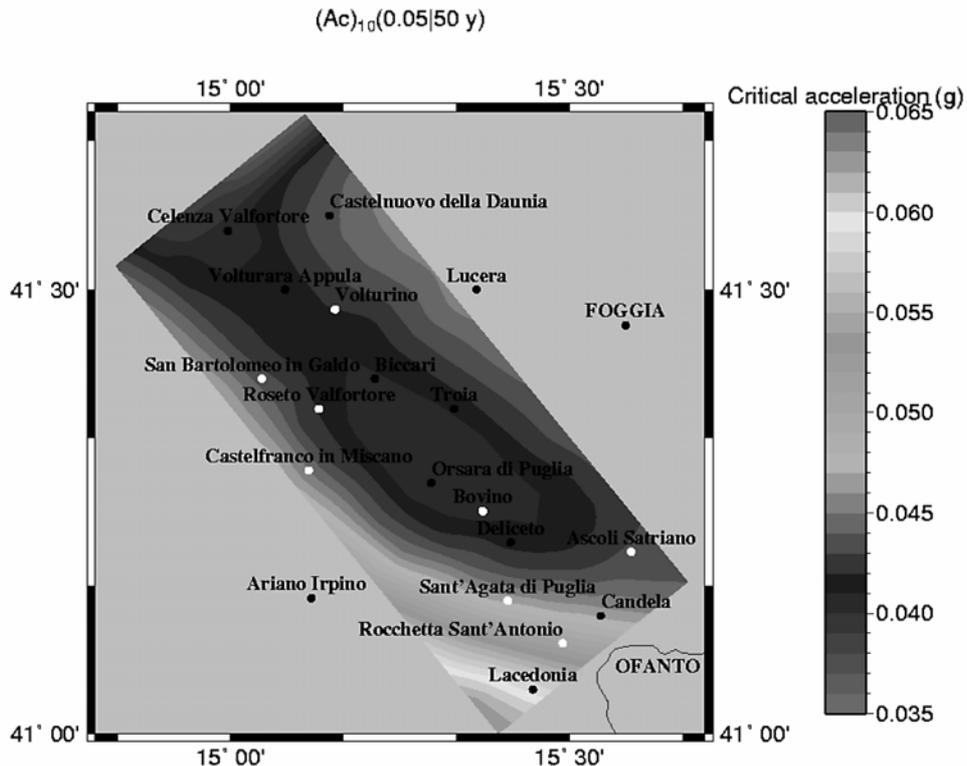
Le difficoltà pratiche che si incontrano a combinare, su scale regionali, parametri di scuotimento sismico con parametri geotecnici che hanno una forte variabilità locale, ci hanno indotto a sviluppare un approccio focalizzato sulla scuotimento sismico, ma espresso in una forma che renda più immediato il confronto con le condizioni locali dei versanti. In particolare, abbiamo impiegato un parametro, anch'esso proposto originariamente da Wilson e Keefer (1985) e che definiremo  $(Ac)_x$ : esso rappresenta l'accelerazione critica per la quale, sotto un'azione sismica caratterizzata da un'intensità di Arias  $I_a$ , lo spostamento di Newmark  $D_n$ , predetto secondo la (1), assume un valore pari ad una soglia critica  $x$ , dove  $x$ , di volta in volta, assume i valori di soglia previsti per una certa tipologia di frana. Questo parametro esprime ancora una misura di scuotimento sismico, ma espresso in funzione della minima resistenza (misurata dalla accelerazione critica) richiesta al pendio per resistere allo scuotimento sismico considerato.

L'obiettivo che ci si è proposti, nella rappresentazione della pericolosità, è consistito nel definire la distribuzione spaziale delle accelerazioni critiche cui corrisponde, in relazione all'entità e ricorrenza degli scuotimenti sismici, una definita probabilità che in un arco di tempo considerato si verifichino condizioni di innesco di frane sismo-indotte, queste ultime espresse in termini di superamento di soglie critiche  $x$  di spostamento di Newmark. Il calcolo di questi valori di  $(Ac)_x$  viene ottenuto mediante una procedura che passa attraverso le seguenti fasi: i) calcolo, con il metodo di Cornell, del numero di eventi attesi in un tempo  $T$  per diversi valori di  $I_a$ ; ii) calcolo dalla (1), per un fissato valore di accelerazione critica  $a_c$ , della probabilità di superamento di una soglia  $x$  di spostamento di Newmark, per ciascun valore di  $I_a$ ; iii) calcolo della probabilità totale di superamento della soglia  $x$ , durante il tempo  $T$  e per un pendio di accelerazione critica  $a_c$ , dal prodotto del numero di eventi attesi calcolati nel passo i) per le probabilità calcolate nel passo ii); iv) ripetizione dei passi ii) e iii) per diversi valori di  $a_c$ , fino a trovare il valore di accelerazione critica corrispondente a una fissata probabilità di eccedenza della soglia  $x$ .

Un test di applicazione di questo metodo è stato realizzato per l'area della Daunia (Puglia nord-occidentale). Questa è un'area particolarmente soggetta a fenomeni franosi, soprattutto del tipo misto frana rotazionale-colata, per la presenza di rilievi montuosi e collinari costituiti da formazioni flyschoidi tettonicamente disturbati e ricchi di argilla. All'interno della Daunia non sono state riconosciute significative strutture tettoniche sismicamente attive, tuttavia essa risente frequentemente degli effetti della sismicità delle aree contigue quali l'Appennino meridionale e l'avampaese garganico. In Fig.1 è riportata una mappa, ottenuta con la procedura descritta, che rappresenta valori di accelerazioni critiche cui corrisponde una probabilità del 5% che in 50 anni si verifichi il superamento della soglia di 10 cm di spostamento di Newmark: tale soglia è stata proposta da Wilson e Keefer (1985) come rappresentativa per le condizioni di innesco di frane della stessa tipologia di quelle maggiormente ricorrenti in Daunia. Una mappa di questo tipo può fornire sia un quadro generale della esposizione del territorio a scuotimenti sismici pericolosi per la stabilità dei versanti, sia un documento di riferimento con cui confrontare le situazioni locali: dato un pendio, la sua accelerazione critica può essere confrontata con il valore di  $(Ac)_{10}$  calcolato nello stesso punto e in base a questo si può prevedere la probabilità che quel pendio nei prossimi 50 anni

subisca condizioni di innesco sismico di una frana secondo il modello di Newmark.

Un possibile futuro sviluppo di questo approccio può consistere nell'integrare questo tipo di dato in un sistema GIS, che contenga anche informazioni sui parametri da cui dipendono i valori locali effettivi di accelerazione critica, in modo da valutare la probabilità di innesco sismico di frane in un arco di tempo considerato, anche in relazione alla variabilità stagionale dei parametri che condizionano la stabilità dei versanti o a diverse ipotesi circa la profondità delle superfici di scivolamento.



**Fig. 1** - Valori di accelerazione critica in Daunia (Puglia nord-occidentale) per i quali esiste una probabilità del 5% in 50 anni che si determini il superamento della soglia di 10 cm di spostamento di Newmark per effetto di scuotimenti sismici. I cerchi bianchi rappresentano le località per le quali sono storicamente documentati casi di effetti deformativi del suolo innescati da terremoti.

## BIBLIOGRAFIA

- Cornell C.A.; 1968: Engineering seismic risk analysis. Bull. Seism. Soc. Am., 58, 1583-1606.
- Jibson R.W., Harp E.L. e Michael J.A.; (2000): A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. Engin. Geol., 58, 271-289.
- Romeo R.; 2000: Seismically induced landslide displacements: a predictive model. Engin. Geol, 58, 337-351.
- Wilson R. C. e Keefer D. K.; 1985: Predicting the areal limits of earthquake – induced landsliding. In: J. I. Ziony (Editor), Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles region – An Earth Science Perspective, U. S. Geological Survey Professional Paper 1360, 316–345.