

PARTE I

L'hazard tradizionale per la regione

1. I RISULTATI GNDT DI PERICOLOSITA' SISMICA PER L'ITALIA CENTRALE

Carlo Meletti⁽¹⁾, Dario Slejko⁽²⁾

⁽¹⁾ Dip. Scienze della Terra, Università di Pisa

⁽²⁾ OGS, Trieste

1.1 Introduzione

Uno degli obiettivi perseguiti dal GNDT negli ultimi anni è stato la realizzazione della carta di pericolosità sismica del territorio nazionale a fini di riclassificazione, che è stata ufficialmente consegnata al Dipartimento della Protezione Civile nel 1996. Per l'esecuzione di tale prodotto è stato deciso, dopo ampia discussione scientifica, di seguire un metodo probabilistico consolidato a livello internazionale (Cornell, 1968) che fornisce le stime di pericolosità contemplate dal codice sismico europeo Eurocode8. Tale metodo probabilistico si basa su una buona conoscenza della sismicità e delle caratteristiche geologiche della regione studiata. Per tale motivo il progetto ha avuto uno sviluppo articolato che ha portato alla preparazione di un catalogo di terremoti (Camassi e Stucchi, 1997), alla definizione di un modello sismotettonico per l'Italia e le regioni adiacenti (Scandone et al., 1992; Slejko et al., 1999; Meletti et al., 2000) ed al calcolo della pericolosità sismica in termini di picco di accelerazione orizzontale (PGA) e di intensità macrosismica (Slejko et al., 1998). In seguito le stime di pericolosità sono state realizzate anche in termini spettrali (Rebez et al., 1999). Parallelamente alla realizzazione della carta della pericolosità d'Italia secondo l'approccio di Cornell (1968), scelta dal GNDT quale stima "ufficiale" della pericolosità per la riclassificazione sismica nazionale, sono state realizzate nell'ambito del GNDT delle ulteriori stime di pericolosità, sempre a scala nazionale, utilizzando due metodi sviluppati in Italia e che seguono rispettivamente un approccio di tipo misto (Grandori et al., 1984) ed uno di tipo deterministico (Costa et al., 1993). I risultati ottenuti con questi approcci alternativi sono stati utilizzati per un controllo delle stime "ufficiali" calcolate col metodo di Cornell (1968).

Nell'ambito del Progetto Triennale 1996-1998 del GNDT era prevista l'analisi delle differenze mostrate dalle differenti carte di pericolosità per ipotizzare quali possano essere i margini di incertezza delle stime calcolate. Scopo del presente lavoro è riassumere i risultati ottenuti da questo confronto relativamente all'Italia centrale (Fig. 1), regione indagata con particolare attenzione a seguito del terremoto del 1997.

Contributo del Sottoprogetto 5.1.4 GNDT PE98

Valutazione della pericolosità al sito

Coordinatori del Gruppo di Lavoro: D. Slejko e C. Meletti

e-mail 1° autore: meletti@dst.unipi.it

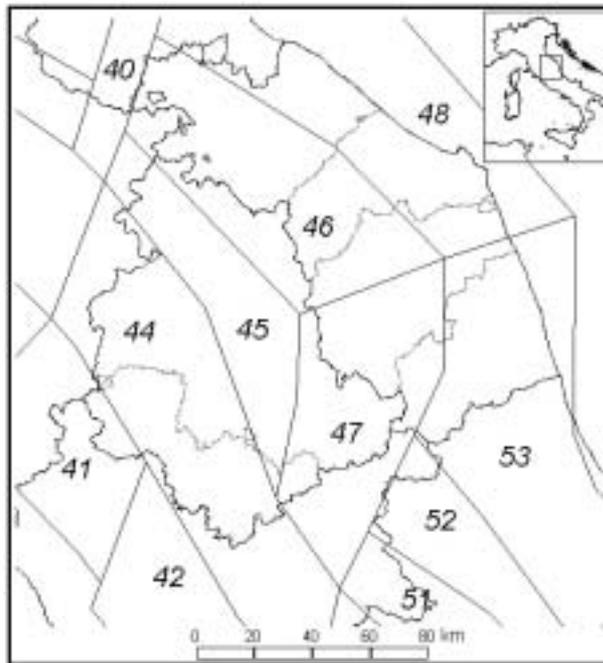


Fig. 1 – Carta delle zone sismogenetiche e ubicazione dell’area oggetto dello studio.

1.2 Metodi per il calcolo della pericolosità sismica

Come abbiamo detto precedentemente, nell’ambito del GNDT sono stati utilizzati tre differenti approcci per stimare la pericolosità sismica del territorio nazionale.

Sinteticamente, il metodo di Cornell (1968) ha le seguenti assunzioni di base:

- 1) la magnitudo è distribuita esponenzialmente (legge di Gutenberg-Richter);
- 2) il numero di terremoti in un intervallo di tempo forma un processo di Poisson, (processo stazionario formato da eventi indipendenti e non contemporanei). Per semplicità di calcolo vengono definite delle zone sismogenetiche (ZS) e si considera che i terremoti siano uniformemente distribuiti al loro interno. Per il calcolo della pericolosità del territorio nazionale, l’approccio di Cornell (1968) è stato applicato sia in termini di PGA che di intensità macrosismica e le stime rappresentano il valore calcolato per un periodo di ritorno di 475 anni, che corrisponde al valore non superato con probabilità 90% in 50 anni. Volendo essere precisi bisogna segnalare che il codice di calcolo usato dal GNDT per il calcolo della pericolosità (Bender and Perkins, 1987) non richiede che la magnitudo sia distribuita esponenzialmente poiché opera in forma numerica e non analitica.

L’approccio misto (Grandori et al., 1984) alla stima della pericolosità sismica non assume a priori alcuna distribuzione per la magnitudo dei terremoti né per gli intertempi di occorrenza, ma ne calcola la distribuzione a partire dai dati disponibili. Come nell’approccio di Cornell (1968), la pericolosità risulta dalla combinazione delle due distribu-

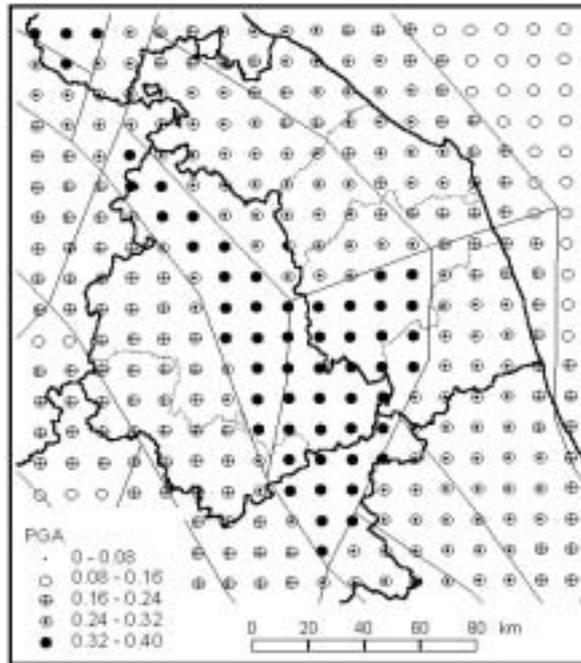


Fig. 2 - PGA con periodo di ritorno 475 anni in Italia centrale (Slejko et al., 1998) calcolata col metodo di Cornell (1968).

zioni. La distribuzione delle magnitudo (nell'applicazione GNDT sono state considerate le intensità epicentrali) è calcolata per ogni ZS mentre la distribuzione degli intertempi viene stimata dalle intensità risentite al sito maggiori di un fissato valore di soglia. Le intensità al sito vengono calcolate a partire dai dati epicentrali per mezzo di relazioni di attenuazione diversificate territorialmente; l'ipotesi del metodo di Cornell (1968) che la sismicità sia distribuita uniformemente all'interno della ZS viene, dunque, utilizzata nel metodo misto solo per il calcolo della distribuzione delle intensità e non per quella degli intertempi. Nell'ambito del GNDT i calcoli sono stati eseguiti sulla base comunale.

L'approccio deterministico è stato applicato nella modellazione del moto del suolo tramite la costruzione di sismogrammi sintetici (Costa et al., 1993; Panza et al., 1996, 1999). Il metodo si basa sulla discretizzazione della magnitudo massima degli eventi contenuti nel catalogo in celle di 0,2 gradi di lato e su una sua successiva lisciatura con finestre spaziali di 3 celle di raggio (ovvero si riporta all'interno della finestra la magnitudo della cella centrale se questa è maggiore della cella in esame). Al centro di ogni cella viene posta una sorgente sismica, mentre i vertici di tutte le celle costituiscono la griglia dei ricevitori. La propagazione delle onde viene calcolata in un modello crostale medio per macroregioni (circa una decina per tutta Italia). I sismogrammi sintetici vengono costruiti entro un raggio di 90 km dalla sorgente su una griglia di lato 0,2 gradi. In corrispondenza di ciascun nodo della griglia viene calcolato il massimo fra i valori di picco ottenuti a partire dalle diverse sorgenti. Si possono ottenere mappe di spostamento, velocità ed accelerazione di progetto (DGA), ottenuta calcolando lo spettro di risposta sinte-

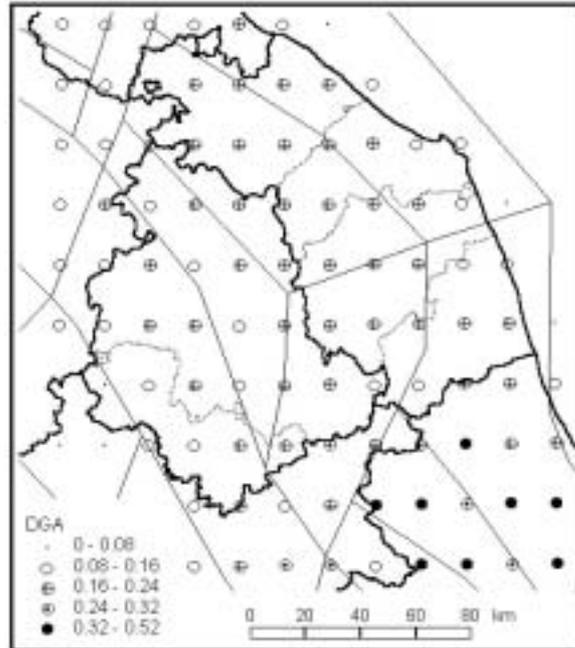


Fig. 3 - DGA in Italia centrale calcolata (Panza et al., 1999) col metodo deterministico (Costa et al., 1993).

tico cui viene raccordata la forma spettrale dell'EC8.

1.3 Confronti fra le carte di pericolosità

Le carte delle stime di pericolosità ottenute con le tre metodologie sopra descritte sono state confrontate, relativamente al territorio dell'Italia centrale, al fine di individuare e motivare le differenze più importanti. In particolare sono stati condotti due confronti: il primo ha riguardato la carta ufficiale GNDT espressa in termini di PGA con quella di DGA ottenuta col metodo deterministico; il secondo ha riguardato la carta ufficiale espressa in termini di intensità con quella, sempre in intensità, ottenuta col metodo misto.

1.3.1. Confronto fra l'approccio di Cornell e quello deterministico

Il primo confronto che viene proposto è fra i valori di PGA ottenuti con l'approccio probabilistico di Cornell (1968) e quelli di DGA calcolati con il metodo deterministico. Per prima cosa bisogna puntualizzare che le due grandezze rappresentano accelerazioni diverse: PGA è l'accelerazione orizzontale di picco con periodo di ritorno 475 anni calcolata trattando probabilisticamente la sismicità delle varie ZS e tenendo conto della dispersione dei dati su cui è calibrata la relazione di attenuazione. DGA è l'accelerazione di ancoraggio dello spettro di progetto EC8, estrapolata dal valore a 1 Hz calcolato tramite modellazione dello scuotimento provocato dal terremoto massimo in ogni ZS.

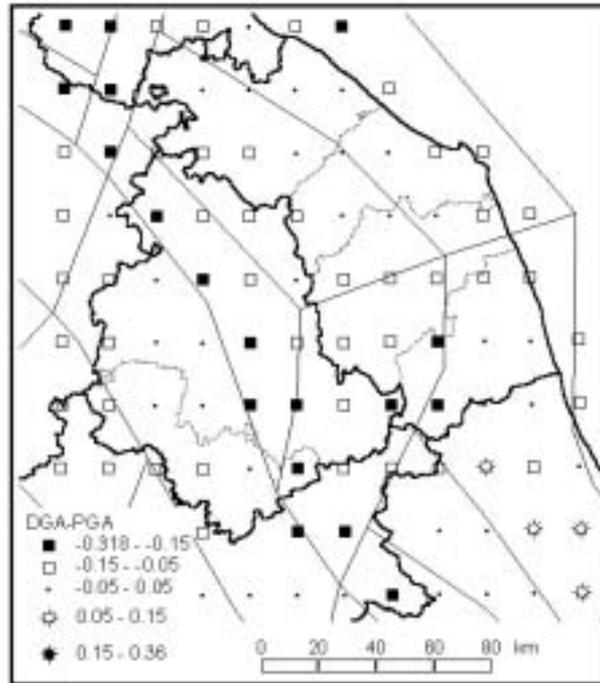


Fig. 4 - Differenza DGA-PGA per l'Italia centrale.

Questo comporta che nel calcolo di PGA tutti i terremoti contribuiscono al risultato finale, mentre DGA è calcolato solo sulla base dell'evento massimo.

La Fig. 2 mostra i valori di PGA (da Slejko et al., 1998) ottenuti per l'Italia centrale. I valori maggiori competono alle provincie di Perugia e Macerata e all'alto Lazio (PGA maggiore di 0,32 g). Va osservato come in alcune aree, e in particolare all'interno della zona sismogenetica 47, si raggiungano, secondo questa stima, valori tra i più alti di tutta Italia (fino a 0,37 g). La Fig. 3 mostra i valori di DGA (da Panza et al., 1999): in base a questa stima i valori maggiori si riscontrano in Abruzzo (DGA fino a 0,34 g) mentre in Umbria e nelle Marche non si superano 0,24 g.

Dopo alcuni test speditivi, si è deciso di concentrare l'attenzione sulla carta delle differenze, riportata in Fig. 4. Le differenze tra le due stime di accelerazione (DGA-PGA) sono state raggruppate in 5 classi raffigurate con i diversi simboli. Le differenze comprese tra -0,05 e +0,05 g, rappresentate con i cerchietti piccoli, rappresentano i punti per i quali le due stime praticamente si equivalgono e non richiedono quindi alcuna analisi dettagliata. Tutte le altre differenze sono stati raggruppate in 2 classi per i valori negativi ed altre 2 classi per quelli positivi, secondo la scansione riportata nella legenda della figura. Nell'area in esame solo uno stretto corridoio centrato sull'asse della catena appenninica appartiene alla classe estrema negativa (quadrati pieni relativi a differenze maggiori di 0,15 g con valori di PGA più elevati) mentre nessun punto appartiene alla classe estrema positiva. Le forti differenze negative sono localizzate nelle ZS 45 e 47 e corrispondono tutte a quei punti in cui la DGA (Fig. 3) mostra valori lievemente inferiori a quelli circo-

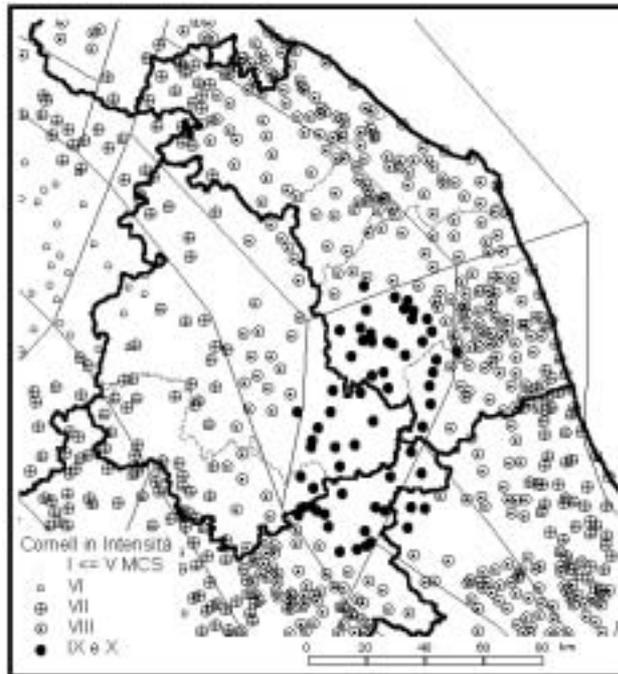


Fig. 5 - Intensità con periodo di ritorno 475 anni in Italia centrale (Slejko et al., 1998) calcolata col metodo di Cornell (1968).

stanti, nonostante la magnitudo associata alle singole sorgenti sismiche nell'approccio deterministico sia, in quest'area, pressoché costante (si veda la Fig. 1 in Panza et al., 1999). Si tratta di ZS i cui tassi di sismicità risultano molto elevati anche per magnitudo medie ($4,2 \geq M \geq 5,0$). Sono ZS, cioè, che non sono caratterizzate da rari terremoti molto violenti ma nelle quali sismi di media magnitudo si manifestano frequentemente. Le differenze sono, perciò, presumibilmente da imputare al fatto che, mentre nell'approccio di Cornell (1968) tutta la sismicità della ZS contribuisce alla stima della sua pericolosità, l'approccio deterministico non tiene conto della frequenza dei terremoti. Bisogna, ancora, ricordare che nell'approccio deterministico la magnitudo massima usata per calcolare lo scuotimento viene distribuita intorno al suo epicentro a prescindere dalle ZS e quindi anche al di fuori della ZS di pertinenza di un certo evento.

1.3.2. Confronto fra l'approccio Cornell e quello misto

Il secondo confronto proposto riguarda i risultati in intensità ottenuti rispettivamente con il metodo di Cornell (1968) e con quello misto. Dal punto di vista formale possiamo dire che i due metodi differiscono solo per il diverso modo di rappresentare gli intertempi fra i terremoti al sito: il metodo misto (Grandori et al., 1984) non li considera necessariamente distribuiti poissonianamente ma calcola la funzione di distribuzione direttamente dalle osservazioni. Dal punto di vista operativo, nell'applicazio-

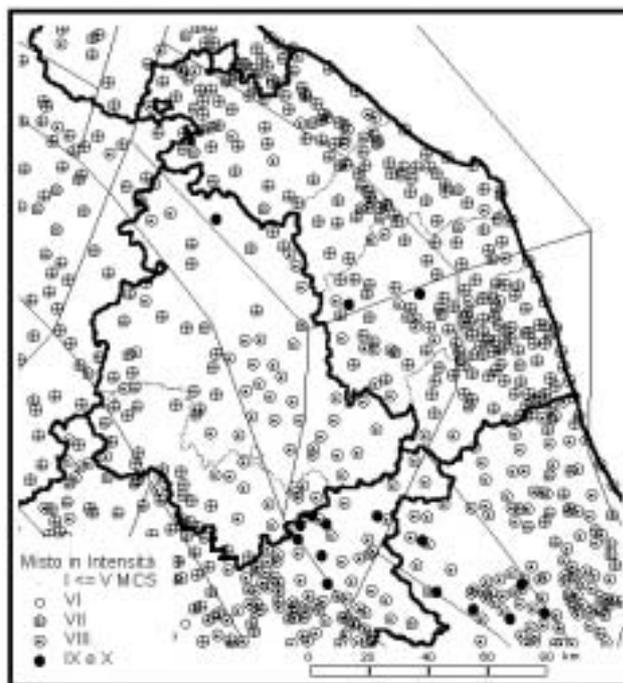


Fig. 6 - Intensità con periodo di ritorno 475 anni in Italia centrale (Petrini, comunicazione personale) calcolata col metodo misto (Grandori et al., 1984)

ne del metodo misto la sismicità non è distribuita uniformemente sulla ZS ma vengono considerati gli epicentri quali sorgenti sismiche e le intensità minori del V MCS sono state fissate al V (Petrini, 1995). In ambedue le carte prodotte i risultati del calcolo sono riferiti ai comuni ed i gradi intermedi di intensità sono stati accorpati al grado intero più vicino.

La Fig. 5 mostra i risultati (da Slejko et al., 1998) ottenuti secondo l'approccio di Cornell (1968): la pericolosità maggiore rimane localizzata nella ZS 47 con valori superiori al IX MCS. La Fig. 6 illustra i risultati ottenuti con il metodo misto (Petrini, comunicazione personale): la ZS 47 è in questo caso ancora caratterizzata dai valori più alti (superiori al IX MCS) ma limitatamente ad alcuni comuni meridionali mentre nel resto della ZS le intensità variano fra VII e VIII. Il confronto fra le due valutazioni è riportato in Fig. 7, dove si nota che differenze inferiori a un grado in senso assoluto competono a quasi tutti i comuni della regione studiata. Differenze maggiori a un grado MCS, con i risultati provenienti dal metodo di Cornell (1968) superiori a quelli dal metodo misto, sono riscontrabili quasi esclusivamente nella parte settentrionale della ZS 47 e precisamente in alcuni comuni della provincia di Macerata e, in minor numero, di Ascoli Piceno per i quali il metodo misto stimava una intensità attesa in 475 anni intorno al VII grado (vedi Fig. 6). L'influenza della spalmatura della sismicità su tutta la ZS nel metodo di Cornell (1968) può essere invocata quale spiegazione di queste differenze. Più difficile, invece, risulta la comprensione delle differenze

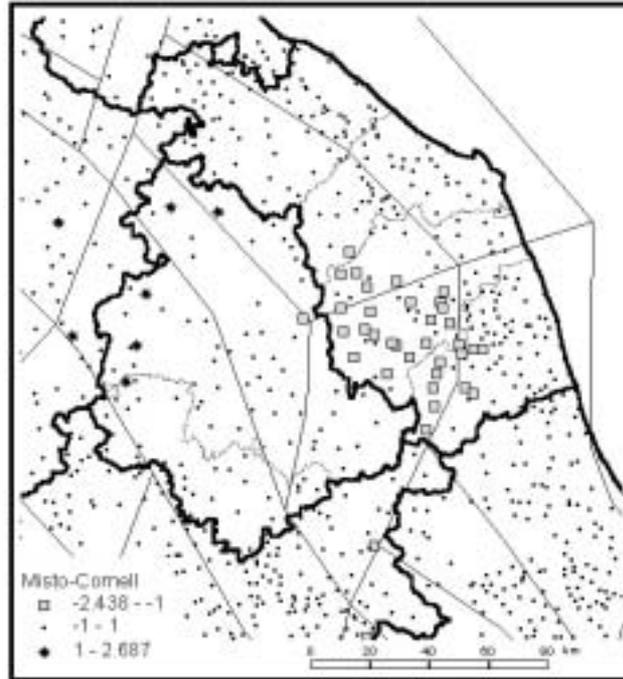


Fig. 7 - Differenza fra le intensità calcolate col metodo misto e con quello di Cornell (1968) per l'Italia centrale.

positive riscontrate per sette comuni, di cui i quattro nella provincia di Perugia mostrano risultati dal metodo misto superiori di più di un grado rispetto ai valori dei comuni circostanti. Osservando la carta relativa alla stima di pericolosità realizzata con questo approccio (Fig. 6) si nota come queste località risultino con valori isolati insolitamente alti. Nel caso dei comuni posti nelle ZS 45 e 46 questi alti valori possono essere giustificati dalla loro estrema vicinanza con epicentri di forti terremoti, tale da non avere attenuazione dell'intensità epicentrale. Non così per le località che si trovano nella ZS 44, le quali non hanno forti terremoti nelle vicinanze e che presentano invece un'intensità attesa, secondo la stima condotta con il metodo misto, superiore di oltre 1 grado rispetto a comuni che si trovano a soli 2-3 km di distanza.

1.4 Conclusioni

I risultati di pericolosità ottenuti seguendo diversi approcci sono, tutto sommato, abbastanza simili e le differenze sono ampiamente giustificate dalle diversità metodologiche. Piace segnalare la similitudine fra i risultati in intensità, motivata dall'aver applicato due metodologie che presentano diversi punti comuni. Le differenze più evidenti fra le due carte di accelerazione derivano sia dall'aver considerato grandezze diverse (PGA e DGA) sia dal fatto che l'approccio deterministico fornisce una sommatoria di scenari

di scuotimento piuttosto che una carta di pericolosità sismica nell'accezione canonica del termine.

Bibliografia

- Bender B. and Perkins D.M. (1987): Seisrisk III: a computer program for seismic hazard estimation. *U.S. Geological Survey Bulletin* 1772, 48 pp.
- Camassi R. e Stucchi M. (1997): *NT4.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. Rapporto interno GNDT, Milano, 86 pp.
- Cornell C.A. (1968): Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **58**, 1583-1606.
- Costa G., Panza G.F., Suhadolc P. and Vaccari F. (1993): Zoning of the Italian territory in terms of expected peak ground acceleration derived from complete synthetic seismograms. *J. Appl. Geophys.*, **30**, 149-160.
- Grandori G., Guagenti E., Petrini V. (1984): On the Use of Renewal Processes in Seismic Hazard Analysis. Proc. 8th World Conf. on Earthquake Engineering, 1, 287-294.
- Meletti C., Patacca E., Scandone P. (2000): Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. *Pageoph*, **157**, 11-35.
- Panza G.F., Vaccari F., Costa G., Suhadolc P. and Fäh D. (1996): Seismic input modelling for zoning and microzoning. *Earthquake Spectra*, **12**, 529-566.
- Panza G.F., Vaccari F. and Cazzaro R. (1999): Deterministic seismic hazard assessment. In: F. Wenzel et al. (Eds), *Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 269-286.
- Petrini V. (1995): *Pericolosità sismica e prime valutazioni di rischio in Toscana*. CNR Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico / Regione Toscana - Dipartimento Ambiente.
- Rebez A., Peruzza L. and Slejko D. (1999): Spectral probabilistic seismic hazard assessment for Italy. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, **40**, 31-51.
- Scandone P., Patacca E., Meletti C., Bellatalla M., Perilli N., Santini U. (1992): Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana. Atti del Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Pisa, 25-27 giugno 1990), 1, Ambiente, Bologna, 119-135.
- Slejko D., Camassi R., Cecić I., Herak D., Herak M., Kociu S., Kouskouna V., Lapajne J., Makropoulos K., Meletti C., Muço B., Papaioannou C., Peruzza L., Rebez A., Scandone P., Sulstarova E., Voulgaris N., Zivčić M. and Zupančić P. (1999): Seismic hazard assessment for Adria. *Annali di Geofisica*, **42**, 1085-1107.
- Slejko D., Peruzza L. and Rebez A. (1998): Seismic hazard maps of Italy. *Annali di Geofisica*, **41**, 183-214.