

# **Pericolosità sismica del territorio nazionale: carte di consenso GNDT e SSN**

*D. Albarello<sup>1</sup>, V. Bosi<sup>2</sup>, F. Brammerini<sup>2</sup>, A. Lucantoni<sup>2</sup>, G. Naso<sup>2</sup>, L. Peruzza<sup>1</sup>, A. Rebez<sup>1</sup>,  
F. Sabetta<sup>2</sup>, D. Slejko<sup>1</sup>*

*1 - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma (e-mail: dario@ibogfs.df.unibo.it)*

*2 - Servizio Sismico Nazionale, Roma*

## **1 Introduzione**

Fra le informazioni principali necessarie per pianificare la riduzione del rischio sismico nazionale vanno citate le carte di pericolosità sismica. Conseguentemente, rilevanti finanziamenti del Dipartimento della Protezione Civile sono stati destinati a questa tematica negli ultimi anni. Studi di dettaglio della pericolosità sismica del territorio italiano sono stati sviluppati recentemente dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), in particolare dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS, già Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste), e dal Servizio Sismico Nazionale (SSN). I risultati e le relative carte di pericolosità sono illustrati in alcune recenti pubblicazioni (Romeo e Pugliese, 1998; Slejko et al., 1998).

Tali studi sono stati realizzati seguendo una metodologia probabilistica ampiamente consolidata ed impiegata a livello internazionale (Cornell, 1968; Bender e Perkins, 1987) che allinea l'Italia ai Paesi dotati di buona normativa sismica. Gli studi precedenti di pericolosità sismica a fini di classificazione erano stati sviluppati in Italia alla fine degli anni Settanta e si basavano soltanto sull'analisi statistica (Gruppo di Lavoro Scuotibilità, 1979).

La metodologia probabilistica utilizzata nei due recenti lavori citati prevede l'utilizzo di alcuni dati di base (catalogo di terremoti e zonazione sismogenetica) e l'adozione di criteri e metodi per l'elaborazione di tali dati (incertezza sulla geometria delle zone sismogenetiche, calcolo degli intervalli di completezza e stazionarietà del catalogo, calcolo dei tassi di occorrenza dei terremoti, relazione di attenuazione).

Preliminarmente alla realizzazione dei calcoli di pericolosità, il GNDT ha predisposto gli ingredienti di base per tale calcolo e cioè il catalogo dei terremoti ed il modello sismotettonico nazionale. Tali prodotti risultano ancora oggi i più adeguati a studi di pericolosità sismica rispetto a realizzazioni più recenti (p. es.: il catalogo parametrico dei terremoti italiani; Gruppo di Lavoro CPTI, 1999) in quanto effettuati nell'ambito di un progetto coerente finalizzato proprio alla stesura della carta di pericolosità nazionale. Il catalogo sismico (Camassi e Stucchi, 1996) e la zonazione sismogenetica (Meletti et al., 2000) utilizzati da GNDT e SSN sono stati, pertanto, gli stessi, mentre la metodologia adottata per generare le carte di pericolosità differiva per alcuni criteri e metodi adottati nell'elaborazione dei dati di base. Tali diversità hanno determinato differenze nei risultati finali, conseguiti rispettivamente da GNDT e SSN, sia nella distribuzione dei valori dell'accelerazione orizzontale di picco del terreno (PGA), corrispondente a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, sia nella distribuzione dei valori di intensità macrosismica.

In diverse occasioni il GNDT e il SSN hanno utilizzato i rispettivi risultati unificandoli attraverso semplici medie aritmetiche o tolleranze al fine di pervenire a risultati di sintesi che riflettessero comunque i diversi approcci (Gruppo di lavoro GNDT-ING-SSN, 1996; Gruppo di lavoro, 1999).

Con questo lavoro, viceversa, sono stati analizzati e confrontati entrambi i percorsi metodologici, sono state assunte alcune condizioni ritenute indispensabili per l'elaborazione di una carta di pericolosità e sono stati selezionati tutti i contributi provenienti dai due approcci che rispettavano tali condizioni. Quando questo non si verificava, sono state concordate nuove specifiche elaborazioni.

Presupposto fondamentale per la realizzazione delle nuove carte di pericolosità sismica del territorio nazionale, frutto dell'esperienza maturata precedentemente da GNDT e SSN, è stata la definizione accurata delle scelte compiute e della metodologia adottata nei singoli passi procedurali e l'utilizzo di dati e metodi di calcolo consolidati e pubblicati, al fine di consentirne la completa riproducibilità.

Il presente documento descrive, in forma sintetica e semplificata, la procedura utilizzata per la realizzazione delle nuove carte di pericolosità sismica del territorio nazionale che, per lo schema di lavoro seguito possono definirsi "di consenso", ed analizza brevemente i risultati.

## **2 Metodologia**

La prima operazione svolta è stata un confronto tra le carte prodotte da GNDT e SSN e un'analisi dettagliata dell'influenza sulle stime di pericolosità derivante da diverse scelte effettuate per ogni singolo passo procedurale. In particolare sono stati analizzati gli effetti di:

- definizione, in funzione dell'area geografica e dell'intensità dei terremoti, del periodo di completezza del catalogo (data a partire dalla quale si può ritenere che tutti gli eventi accaduti siano stati effettivamente riportati nel catalogo stesso) e dell'intervallo di stazionarietà (intervallo di tempo nel quale la frequenza degli eventi si può ritenere costante);
- calcolo del tasso di occorrenza dei terremoti in ciascuna zona sismogenetica (ZS);
- introduzione di un valore di magnitudo massima per ciascuna ZS;
- attribuzione di incertezza ai bordi delle ZS (utilizzo di "bordi morbidi" nella parte periferica delle ZS);
- utilizzo di zone di "background";
- impiego di diverse relazioni di attenuazione del moto del terreno.

I risultati delle analisi di sensibilità svolte preliminarmente alla definizione degli standard operativi (vedi anche Rebez e Slejko, 2000; Rebez e Stucchi, 2000) hanno mostrato che le principali differenze erano dovute alle diverse scelte in termini di completezza del catalogo e di relazioni di attenuazione.

### **2.1 Completezza**

Il problema della stima della completezza di un catalogo di terremoti è arduo e non presenta soluzioni universali (vedi p. es.: Tinti e Mulargia, 1985). Poiché le procedure (Romeo e Pugliese, 1998 Slejko et al., 1998) seguite precedentemente per la stima della completezza del catalogo GNDT non risultavano soddisfacenti perché erano stati adottati metodi speditivi per analizzare la stazionarietà della sismicità, piuttosto che mediare tra i diversi approcci di GNDT e SSN, si è scelto di utilizzare un nuovo tipo di approccio (Albarello, 1999), basato sulla sola assunzione di stazionarietà del processo sismogenetico. Questa procedura permette di collegare a ciascuna possibile scelta dell'inizio del catalogo sismico, una probabilità che rappresenta il livello di confidenza associato all'ipotesi che il catalogo sia completo a partire da quella data. Il risultato finale è quello di una sola stima del tasso di sismicità (per ogni ZS e intervallo di intensità/magnitudo) che però tiene conto dell'intera storia sismica riportata in catalogo, opportunamente pesata con il diverso livello di attendibilità delle varie parti del catalogo. Poiché le stime di completezza e stazionarietà, almeno in linea di principio, hanno valenza regionale e quindi non hanno specifiche relazioni con le ZS, sono state effettuate all'interno di un'area circolare centrata nella ZS di interesse e con un raggio di dimensioni tali (200 km) da includere completamente anche la più grande delle ZS. Si ritiene che la procedura qui utilizzata sia migliore delle precedenti in quanto non individua un periodo di stazionarietà unico da utilizzare nei calcoli, ma associa ad ogni intervallo temporale una probabilità che sia stazionario: in questo modo tutto il contenuto del catalogo viene utilizzato, anche se con pesi differenziati.

Per quanto riguarda il calcolo in termini di intensità macrosismica (scala MCS), sono state adottate le stesse metodologie sopra descritte relativamente all'analisi di completezza ed al calcolo dei tassi di occorrenza: tutta la procedura è stata ripetuta ed essa ha portato a risultati lievemente diversi di quelli ottenuti analizzando la magnitudo.

## **2.2 Attenuazione della PGA**

Per le relazioni di attenuazione di PGA, va ricordato che il GNDT ha utilizzato una relazione basata su registrazioni accelerometriche europee (Ambraseys et al., 1995) mentre il SSN ha adottato una relazione basata solo su dati italiani (Sabetta e Pugliese, 1996). Le differenze più evidenti fra i valori di PGA previsti dalle due relazioni sono concentrate a piccole distanze epicentrali (inferiori a 20 km) e la relazione di Ambraseys fornisce valori più bassi per magnitudo elevate (superiori a 6). Poiché si ritiene che entrambe le relazioni siano scientificamente valide ed adeguatamente supportate dai dati, si è scelto, analogamente a quanto effettuato in altri studi di pericolosità, quali ad esempio quelli sviluppati negli Stati Uniti (Frankel et al. 1996), di utilizzare, con eguale peso, entrambe le relazioni di attenuazione. La relazione europea di Ambraseys (1995), utilizzata dal GNDT (Slejko et al., 1998), è stata sostituita con quella più recente proposta dallo stesso autore (Ambraseys et al., 1996) che risulta calibrata sugli stessi dati (Ambraseys and Bommer, 1991) ma a seguito di un'analisi più approfondita. I valori rappresentati nella carta sono relativi ai valori medi aumentati di una deviazione standard ( $\sigma$ ) come d'uso per tener conto delle forti incertezze delle relazioni di attenuazione. Inoltre si è introdotta una specifica relazione di attenuazione del valore di PGA per la zona etnea che è caratterizzata da

terremoti superficiali che attenuano rapidamente. Non disponendo di registrazioni accelerometriche in quella ZS, si è scelto di utilizzare i dati di intensità, opportunamente trasformati in PGA attraverso una correlazione basata su dati di intensità rilevati in Italia in prossimità delle stazioni di registrazione (Margottini et al., 1987).

### **2.3 Attenuazione dell'intensità**

In termini di intensità, va ricordato che il GNDT aveva utilizzato relazioni differenziate per ciascuna ZS (Peruzza, 1996), mentre il SSN aveva adottato la relazione di Blake modificata (Blake, 1941). Anche in questo caso sono state esaminate le differenze tra i risultati ottenuti con le diverse relazioni di attenuazione e si è optato, in sintonia a quanto fatto dal GNDT, per l'utilizzo della relazione di Grandori et al. (1987) con i parametri calcolati da Peruzza (in stampa). La scelta è dovuta al fatto che, facendo riferimento alla relazione di Grandori et al. (1987), sono state definite relazioni specifiche per le diverse ZS nazionali, mentre per la relazione di Blake (1941) non sono stati ancora calibrati i parametri specifici per le diverse ZS italiane.

### **2.4 Zone di background, margini di ZS e magnitudo massima**

Le differenze fra i risultati di pericolosità ottenuti dal GNDT (Slejko et al., 1998) e da SSN (Romeo e Pugliese, 1998) sono in parte determinate anche da alcune opzioni che il GNDT, a differenza di SSN, ha introdotto nei calcoli.

Per le ZS, nella presente applicazione è stato deciso di non considerare la massima magnitudo in quanto una sua corretta definizione dovrebbe scaturire anche da considerazioni geologiche, al momento non disponibili. L'approccio puramente sismologico seguito dal GNDT (Slejko et al., 1998) ha portato all'introduzione di un numero piuttosto limitato di magnitudo massime e le analisi di sensibilità effettuate (Rebez e Slejko, 2000) hanno dimostrato che il loro contributo è modesto.

I calcoli di pericolosità effettuati nell'ambito del GNDT hanno preso in considerazione margini di diversa tipologia per le ZS. Il codice di calcolo Seisrisk III (Bender e Perkins, 1987) permette, infatti di assegnare intervalli di diverso spessore entro cui il tasso di sismicità passa dal valore massimo, uniforme nelle ZS vera e propria, a zero (informalmente questi bordi vengono chiamati "morbidi"). Brevemente, la sismicità è stata concentrata nel centro di alcune ZS per poi farla diminuire verso il margine della ZS stessa. La scelta dello spessore per i bordi di zona è stata fatta su base in parte soggettiva (Slejko et al., 1998) e, pertanto, non strettamente codificabile. Poiché l'influenza sui risultati finali di pericolosità è risultata piuttosto modesta (Rebez e Slejko, 2000), si è deciso in questa nuova applicazione di non utilizzare i bordi morbidi ma di distribuire i tassi di sismicità su tutta la ZS in modo uniforme.

Ancora nell'ambito del GNDT, sono state considerate alcune aree (zone di "background") per raccogliere i pochi, deboli terremoti che non sono stati associati ad alcuna ZS (Slejko et al., 1998). Nella presente applicazione e per le stesse motivazioni già citate per i bordi di ZS, si è deciso di non introdurre nel calcolo le zone "background", in quanto il loro contributo è marginale.

### 3 Analisi dei risultati

La nuova carta di pericolosità in PGA (Fig. 1), in cui vengono rappresentati i valori medi con deviazione standard corrispondenti a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni), è caratterizzata da valori mediamente più elevati (da 3 a 10 centesimi di g) rispetto a quella realizzata dal SSN (Pugliese e Romeo, 1998), in particolare nell'Italia centro-meridionale. Rispetto alla carta realizzata dal GNDT (Slejko et al., 1998) i valori di PGA sono lievemente inferiori (1 - 5 centesimi di g) nell'Italia centro-settentrionale e più elevati (fino a 9 centesimi di g) nella zona dell'Arco calabro.

Le aree a più alta pericolosità sono ubicate lungo l'asse della dorsale appenninica, dallo Stretto di Messina alla Garfagnana e nell'area friulana. In particolare le aree dove si raggiungono i più elevati valori di PGA sono:

- l'Arco calabro, con il PGA più alto in assoluto (0,4 g);
- l'Irpinia-Lucania, dove si raggiungono valori di 0,35 g;
- l'Appennino centrale, il Forlivese, la Garfagnana e il Friuli con PGA fino a 0,30 g;
- il Gargano con PGA compreso tra 0,2 e 0,25 g.

Il valore relativamente basso di PGA (0.15-0.2 g) ottenuto per la zona iblea, rispetto ad alcuni forti terremoti verificatisi nel passato (Catania 1693,  $I_0=XI$  MCS), dipende essenzialmente dal basso numero di terremoti di forte intensità verificatisi in quell'area che determina bassi tassi di occorrenza per le magnitudo alte. Scegliendo un periodo di ritorno maggiore di 475 anni si ottengono valori sensibilmente più elevati, che sono riferibili a forti rari eventi.

Anche nella carta in intensità MCS (Fig. 2), sono riportati i valori corrispondenti a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni). Va tuttavia sottolineato che diversamente dal PGA, non si è fatto uso della deviazione standard poiché le relazioni di attenuazione dell'intensità disponibili in letteratura non riportano tale valore, anche perché l'attenuazione dell'intensità, per la natura stessa delle grandezza in esame, non dovrebbe venir modellata con una funzione continua. Le principali differenze rispetto alle carte precedenti (GNDT e SSN) sono contenute entro mezzo grado di intensità ad esclusione di alcune zone dove si raggiunge una differenza massima di un grado. Rispetto alla carta GNDT tali differenze sono dovute fondamentalmente al diverso metodo di calcolo dei tassi di occorrenza e sono limitate alle zone della valle del Rodano (Svizzera), dell'Oltrepo Pavese (PC-PV), della Capitanata (FG), del Marchesato (KR) e degli Iblei (SR). Dal confronto con la carta del SSN le differenze massime si rilevano nelle zone delle colline Metallifere (SI, PI), del Forlivese (FO), della Capitanata (FG) e sono dovute sia al diverso modo di calcolo dei tassi che alle diverse relazioni di attenuazione usate.

Le zone a maggior pericolosità sono del tutto simili a quelle evidenziate nella carta in PGA. Vi sono tuttavia alcune evidenti differenze dovute principalmente all'utilizzo di attenuazioni differenziate per ogni ZS, rispetto alle attenuazioni valide a scala nazionale utilizzate nella carta in PGA. In particolare emergono zone ad

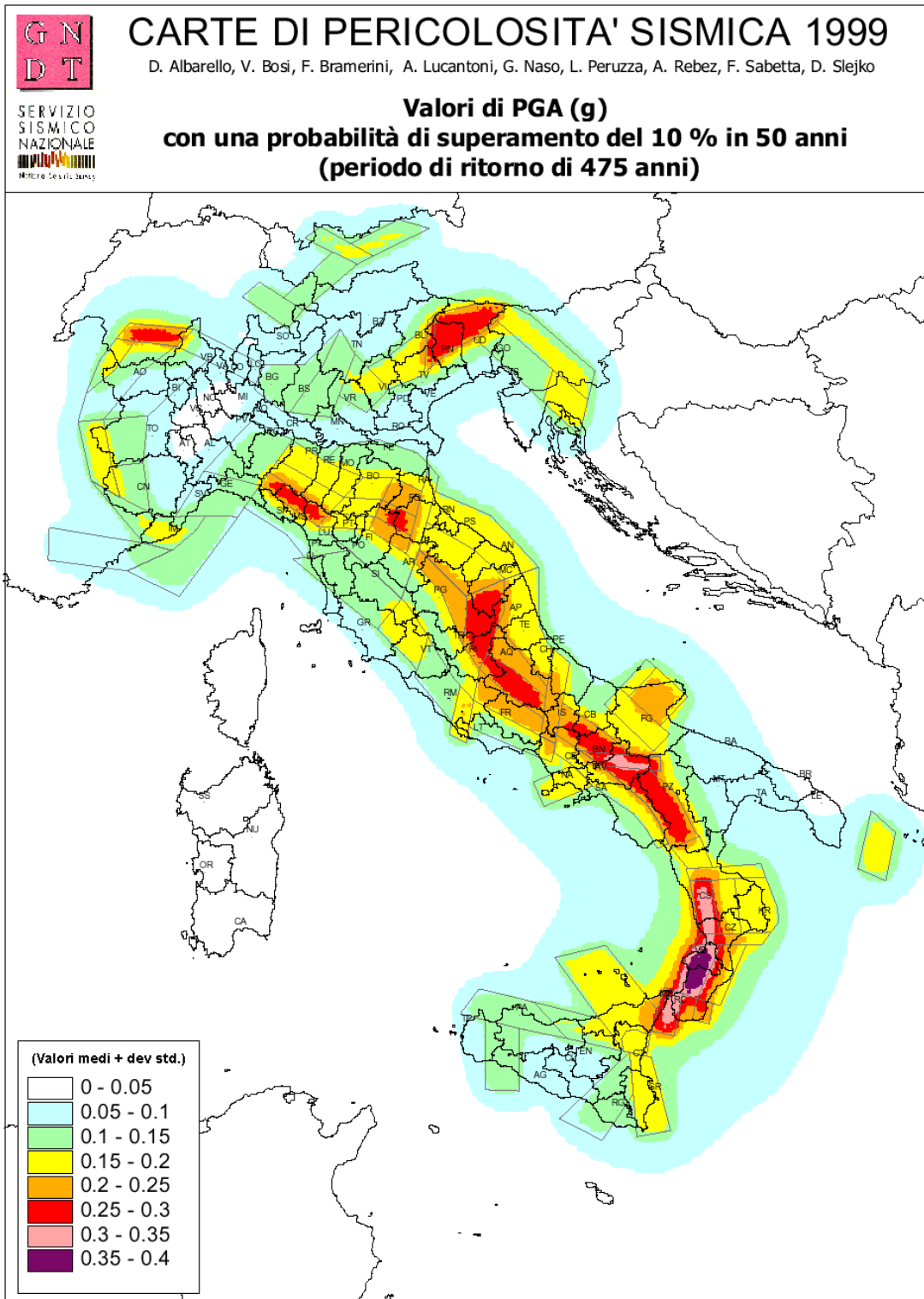


Fig. 1 – Carta di pericolosità sismica del territorio nazionale in PGA.



# CARTE DI PERICOLOSITA' SISMICA 1999

D. Albarello, V. Bosi, F. Bramerini, A. Lucantoni, G. Naso, L. Peruzza, A. Rebez, F. Sabetta, D. Slejko

SERVIZIO  
SISMICO  
NAZIONALE  
  
Roma - Tel. 06/49813465

**Valori di intensità MCS  
con una probabilità di superamento del 10 % in 50 anni  
(periodo di ritorno di 475 anni)**

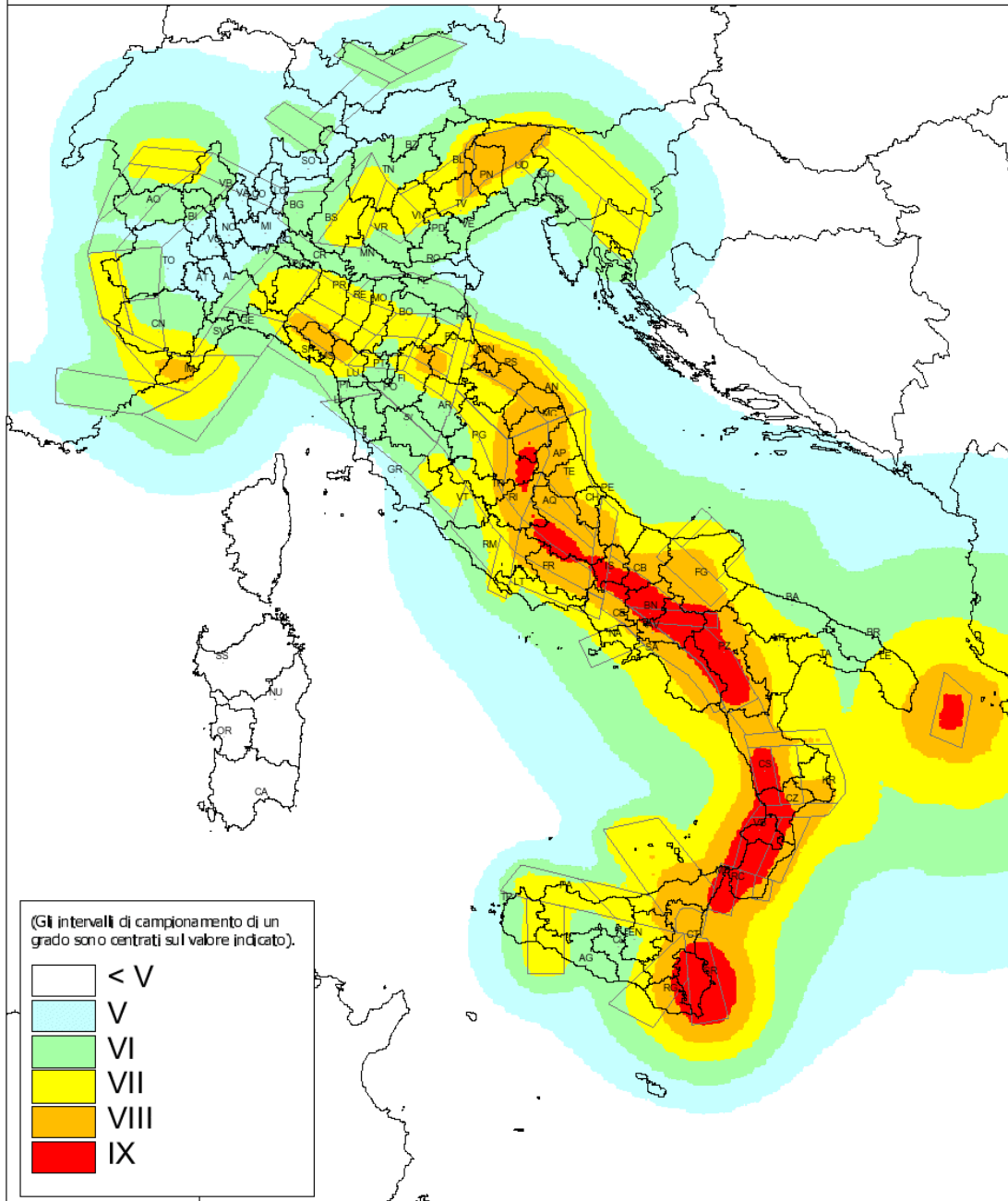


Fig. 2 – Carta di pericolosità sismica del territorio nazionale in intensità MCS.

elevata pericolosità nell'area iblea, nel Potentino, nel Sannio-Matese. Acquistano invece minore rilievo, rispetto alla carta in PGA, le zone del Gargano, del Forlivese e della valle del Rodano, insieme ad alcune zone vulcaniche (Tuscia, Campi Flegrei).

#### 4 Conclusioni

Le carte di pericolosità allegate rappresentano lo stato dell'arte disponibile all'ottobre 1999. Rispetto alle precedenti versioni, sono stati unificati e ottimizzati criteri e metodi di elaborazione senza tuttavia intervenire sui dati (zonazione e catalogo) e sulla metodologia (Cornell, 1968) di base. Ulteriori modificazioni nelle stime di pericolosità del territorio italiano potranno derivare dagli sviluppi nei campi suddetti che già sono iniziati e che verranno portati avanti nei prossimi anni. In particolare la modificazione delle ZS e l'introduzione di modelli ibridi, che utilizzano anche dati sulle singole faglie, avrà sicuramente un notevole effetto sui risultati finali. Anche modificazioni del catalogo sismico, in particolare per quanto riguarda l'attribuzione di magnitudo agli eventi storici e l'introduzione delle repliche per modellazioni non poissoniane della pericolosità, possono risultare importanti. Infine vanno sottolineati due aspetti importanti della metodologia di Cornell (1968) che potranno essere superati dagli studi in corso: l'assunzione che la generazione dei terremoti possa essere rappresentata da un processo stazionario poissoniano e quindi la mancanza di memoria del tempo trascorso dall'ultimo evento; la distribuzione uniforme della sismicità all'interno delle ZS che potrà essere superata quando sarà matura in Italia la conoscenza della sismogenesi e cioè la caratterizzazione delle sorgenti sismiche sia dal punto di vista geologico che da quello sismologico.

#### Bibliografia

- Albarello D. (1999): Comunicazione al Workshop "Caratteri sismogenetici del territorio italiano" in *Progetto GNDT 5.1.1., zone sismogenetiche e probabilità degli eventi associati*, U.R. UNISI Analisi della sismicità su base statistica, Roma
- Ambraseys N. N. (1995): Reappraisal of the prediction of ground accelerations in Europe. *Proc. of 10th European Conference on Earthquake Engineering*, 3041-3048, Balkema, Rotterdam.
- Ambraseys N.N., Bommer J.J. (1991): Database of European strong ground-motion records. *European Earthquake Engineering*, **5/2**, 18 - 37.
- Ambraseys N. N., Simpson K. A., Bommer J. J. (1996): Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earth. Eng. Struct. Dyn.*, **25**, 371-400.
- Bender, B., Perkins D.M. (1987): Seisrisk III: A computer program for seismic hazard estimation. *U.S. Geological Survey Bulletin*, **1772**, 48 pp.
- Blake A. (1941): On the estimation of focal dept from macroseismic data, *Bull. Seism. Soc. Am.* **31**, 225-231.
- Camassi. R., Stucchi M. (1996): NT4.1: Un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, *Rapporto tecnico del CNR-GNDT*, 1-86, Milano.
- Cornell C.A. (1968): Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **58**, 1583-1606.



- Frankel A., Mueller C., Barnhard T., Perkins D., Leyendecker E. V., Dickman N., Stanley H., Hopper M. (1996): National Seismic-Hazard Maps: Documentation June 1996 [open file report 96-532, <http://geohazards.cr.usgs.gov/eq/>].
- Grandori G., Perotti F., Tagliani A. (1987): On the attenuation of macroseismic intensity with epicentral distance. *In: Cakmak A.S. (ed), Ground Motion and Engineering Seismology, Developments in Geotechnical Engineering*, 44, Elsevier, Amsterdam, pp. 581-594.
- Gruppo di Lavoro CPTI (1999): Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, *ING, GNDT, SGA, SSN*, Bologna, 92 pp.
- Gruppo di lavoro (1999): Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale. *Ingegneria sismica*, n.1, 5-14.
- Gruppo di lavoro GNDT-ING-SSN (1996): Risultati dell'analisi di rischio sismico per tutta la nazione riferita al patrimonio abitativo [open file report in [http://www.dstn.it/ssn/PROG/G\\_RISCHI/index\\_f.html](http://www.dstn.it/ssn/PROG/G_RISCHI/index_f.html)].
- Gruppo di Lavoro Scuotibilità, (1979): Carte preliminari di scuotibilità del territorio nazionale. *C.N.R. P.F. Geodinamica, pubbl. 227*, ESA, Roma, 25 pp.
- Margottini C., Molin D., Narcisi B., Serva L. (1987): Intensity vs. acceleration: Italian data. *Proc. of Workshop on Historical Seismicity of central-eastern Mediterranean Region*, 213- 226, ENEA-IAEA, Roma.
- Meletti C., Patacca E., Scandone P., 2000. Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. *Pure Appl. Geophys.*, **157**, 11-35.
- Peruzza L. (1996): Modalità di attenuazione dell'intensità macrosismica. *Rapporto sintetico per il GdL "Rischio sismico"*, OGS, Trieste, 8 pp. [open file report in <http://emidius.itim.mi.cnr.it/NT.html>].
- Peruzza L. (in stampa): Macroseismic attenuation relationship of Italian earthquakes for seismic hazard assessment purposes. *Bollettino Geofisica Teorica ed Applicata*.
- Rebez A., Slejko D. (2000): Analisi di sensibilità per la carta di consenso di pericolosità sismica del territorio nazionale. In questo volume.
- Rebez A., Stucchi M. (2000): Influenza della superficie delle zone sismogenetiche sul calcolo della pericolosità sismica. In questo volume.
- Romeo R., Pugliese A. (1998): A global earthquake hazard assessment of Italy. *Proc. of 11th European Conference on Earthquake Engineering*, Paris, Balkema.
- Sabetta F., Pugliese A. (1996): Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. *Bulletin of Seismological Society of America*, **86-2**, 337-352.
- Slejko D., Peruzza L., Rebez A. (1998): Seismic hazard maps of Italy. *Annali di Geofisica*, **41**, 183-214.
- Tinti S., Mulargia F. (1985) Completeness analysis of a seismic catalog. *Annales Geophysicae*, **3**, 407-414.