

Analisi di sensibilità sulla carta di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzata dal GNDT

A. Rebez, D. Slejko

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste (e-mail: rebez@ogs.trieste.it)

1 Introduzione

Nell'ambito del Progetto Triennale 1993 - 1995 del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), è stata realizzata e consegnata, nell'estate 1996, al Dipartimento della Protezione Civile la carta di pericolosità sismica del territorio nazionale. Le caratteristiche del progetto GNDT sono così sintetizzabili: a) è stato utilizzato un metodo probabilistico consolidato (il metodo di Cornell, 1968, tradotto in codice di calcolo da Bender e Perkins, 1987); b) il risultato principale conseguito (carta dell'accelerazione orizzontale di picco, PGA, con periodo di ritorno 475 anni) rappresenta un prodotto convenzionale secondo standard internazionali e c) il progetto presenta una filosofia operativa coerente nell'arco di realizzazione di tutto il progetto stesso. Le carte sono presentate in Slejko (1996) e tutte le specifiche tecniche della realizzazione di quel prodotto e la sua piena descrizione sono ampiamente rendicontate in Slejko et al. (1998).

Nell'ottica di giungere ad una carta unificata di consenso di pericolosità del territorio nazionale da predisporre a cura del GNDT e del Servizio Sismico Nazionale (SSN) sempre secondo l'approccio probabilistico di Cornell (1968), si è deciso, in prima istanza, di procedere all'analisi dettagliata dell'influenza sulle stime di pericolosità derivante dalle scelte non standard fatte nelle carte realizzate da parte delle due istituzioni. Per scelte non standard si intendono tutte quelle non specificatamente codificate nel programma automatico di calcolo (Seisrisk III, Bender e Perkins, 1987) utilizzato sia dal GNDT (Slejko et al., 1998) che da SSN (Romeo e Pugliese, 1997a, 1997b) e che rimangono a discrezione di chi procede all'elaborazione. Il GNDT, in particolare, ha sviluppato soluzioni particolarmente interessanti ed efficaci hanno interessato:

- 1) l'introduzione del valore di magnitudo massima per le varie zone sismogenetiche (ZS);
- 2) l'utilizzo di bordi morbidi di varie dimensioni introdotti a partire da nuclei centrali nelle ZS;
- 3) la correzione cautelativa del tasso di sismicità suggerito dall'analisi di completezza;
- 4) l'adozione di tassi di sismicità individuali calcolati direttamente dal catalogo di terremoti senza passare attraverso l'interpolazione con una forma funzionale del tipo Gutenberg-Richter (GR);
- 5) la relazione di attenuazione di PGA utilizzata.

Tutte queste scelte sono piuttosto specifiche e si riferiscono strettamente all'approccio di Cornell (1968): richiedono, perciò, un'analisi dettagliata per valutarne gli influssi sui risultati finali di pericolosità.

2 La carta di pericolosità GNDT

Ricordiamo brevemente le scelte operate per gli aspetti qui in analisi. Poiché non è disponibile una stima della massima magnitudo possibile nelle varie ZS su basi geologiche, si è deciso di seguire un approccio puramente sismologico. E' stato introdotto un valore di magnitudo massima di una classe (0,3 gradi secondo il campionamento utilizzato) superiore al massimo valore osservato, quando questa magnitudo massima si riferisce ad un periodo di ritorno fra 1000 e 3000 anni, superiore, perciò, al periodo di osservazione del catalogo utilizzato (Camassi e Stucchi, 1996) ma non irrilevante nei calcoli di pericolosità. Tale valore di magnitudo massima è stato stimato come estrapolazione della retta calcolata secondo la legge GR a partire dai tassi individuali scelti.

Il codice di calcolo utilizzato (Seisrisk III, Bender e Perkins, 1987) permette di considerare l'incertezza nella geometria delle ZS definendone uno spessore dei margini, nel cui interno la sismicità, uniforme nel resto della ZS, diminuisce gradualmente. Sono stati considerati valori diversi dello spessore del bordo, che può così essere definito "morbido". Questi spessori sono stati applicati dal margine della ZS verso l'interno in modo da non trasbordare la sismicità di una ZS in quella contigua.

La scelta dei tassi di sismicità per le ZS è stata pilotata da un generale criterio di cautela. Sono stati calcolati tassi riferiti a diversi periodi di osservazione ed è stato scelto quello più elevato compatibilmente con il periodo di ritorno individuato dall'analisi di completezza eseguito (Albarello et al., 1995) per la classe di magnitudo in esame. E' stata evitata qualsiasi interpolazione dei tassi, per esempio tramite la relazione GR, poiché il codice di calcolo non richiede specificatamente che la magnitudo abbia una distribuzione esponenziale, come richiesto, invece, dall'approccio originale di Cornell (1968).

E' stata scelta la relazione di attenuazione di PGA di Ambraseys (1995) in quanto calibrata su un parco dati più ampio di quella di Sabetta e Pugliese (1987) e, pertanto, meglio controllata sulle alte magnitudo. Nelle analisi qui di seguito descritte, la relazione di Ambraseys (1995) è stata sostituita da quella più recente di Ambraseys et al. (1996) che, essendo calibrata su un parco dati selezionato e riferita a tipologie diverse di terreni, sostituisce quella precedente. Le differenze riscontrabili sono piccole e sono determinate dalle tipologie di terreno considerate. Questa nuova relazione è, inoltre, più correttamente confrontabile con quella di Sabetta e Pugliese (1987).

3 Le prove eseguite sulla geometria delle ZS e sui tassi di sismicità

Le prove non sono state realizzate considerando tutte le ZS utilizzate per il calcolo della pericolosità sismica del territorio italiano, ma prendendo in esame sette situazioni particolari. Sono state scelte, infatti, ZS che presentano particolarità nei tassi di sismicità caratteristica (forti oscillazioni, lacune, ecc.) e che si allontanano, dunque, da un andamento lineare descrivibile dalla relazione GR. Queste sette ZS sono, inoltre, sufficientemente lontane l'una dall'altra da non determinare interferenze reciproche nelle stime di pericolosità. I tassi di sismicità iniziali (quadrati vuoti in Fig. 1) sono quelli calcolati dal GNDT nel calcolo della pericolosità d'Italia e ufficialmente consegnati al Dipartimento di Protezione Civile nel 1996.

Segue una breve descrizione delle ZS considerate e delle caratteristiche della loro sismicità (Fig. 1).

La ZS 4, Friuli, presenta una situazione canonica: tassi presenti da magnitudo 4,3 a 6,4 con lievi oscillazioni rispetto all'andamento lineare ed una magnitudo massima calcolata di 6,7.

La ZS 22, Alpi Marittime, presenta un andamento con oscillazioni medie fra magnitudo 4,3 e 6,4 con due lacune a magnitudo 5,2 e 6,1. La magnitudo massima è stata calcolata in 6,7.

La ZS 46, Umbria, ha un tasso minimo molto alto a magnitudo 4,3, due lacune a magnitudo 5,5 e 5,8 e gli altri tassi abbastanza lineari fino a magnitudo 6,7. La magnitudo massima è stata calcolata in 7,0.

La ZS 58, Sannio, presenta oscillazioni piuttosto sensibili fra magnitudo 4,9 e 7,3 con tre lacune a magnitudo 5,5, 6,4 e 7,0. La magnitudo massima è stata calcolata in 7,6.

La ZS 63, Irpinia, presenta un andamento abbastanza lineare fra magnitudo 4,6 e 6,4; si scostano i tassi molto alti a 4,3 e 7,0 ed il tasso relativo a magnitudo 6,7 è assente. Non è stata calcolata la magnitudo massima.

La ZS 71, Messina, è estremamente lontana da un andamento lineare fra magnitudo 4,3 e 5,8; dopo quattro classi vuote, ha un tasso piuttosto alto per la magnitudo 7,3. La magnitudo massima è stata calcolata in 7,6.

La ZS 79, Sicilia Orientale, ha un andamento molto oscillante fra magnitudo 4,3 e 7,3 con quattro lacune a magnitudo 5,8, 6,1, 6,7 e 7,0. La magnitudo massima è stata calcolata in 7,6.

Le forti oscillazioni dei tassi rispetto ad un andamento lineare tipo GR visibili in Figura 1 non sono di facile spiegazione e raramente può essere invocata la presenza del terremoto caratteristico (Schwartz e Coppersmith, 1984); probabilmente sono dovute alla trasformazione dell'intensità epicentrale in magnitudo operata per i terremoti storici che privilegia particolari valori di magnitudo. La Figura 2 riporta il risultato ottenuto da un'elaborazione standard GNDT (Slejko et al., 1998) dove è stata utilizzata come unica relazione di attenuazione quella di Ambraseys et al. (1996). Tutte le carte qui mostrate sono relative al periodo di ritorno (T) di 475 anni, si riferiscono a terreno roccioso ed è stata considerata la deviazione standard della relazione di attenuazione considerata.

3.1. Magnitudo massima e bordi morbidi

La prima prova eseguita è consistita nell'eliminare la magnitudo massima nel calcolo della pericolosità. Ovviamente non si hanno differenze in Irpinia, dove non era prevista originariamente magnitudo massima, e quelle in Friuli, Alpi Marittime e Sicilia Orientale risultano minime (Fig. 3).

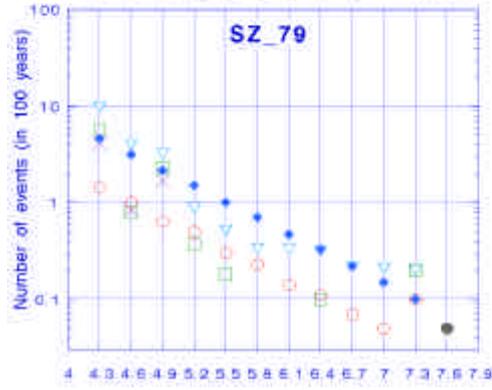
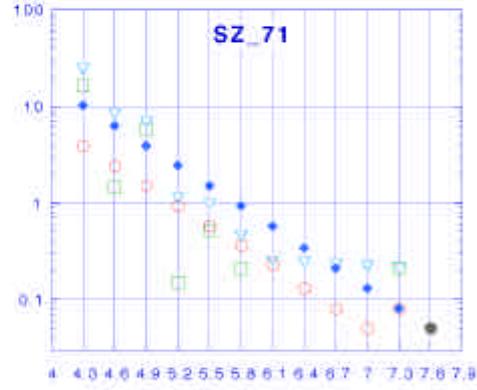
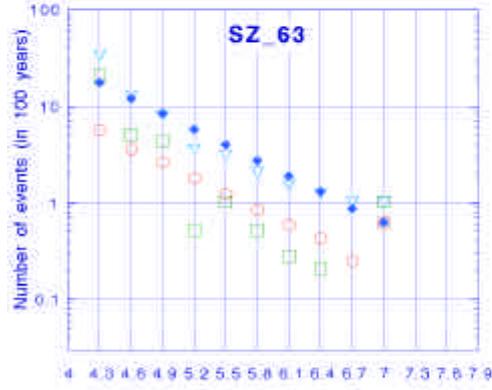
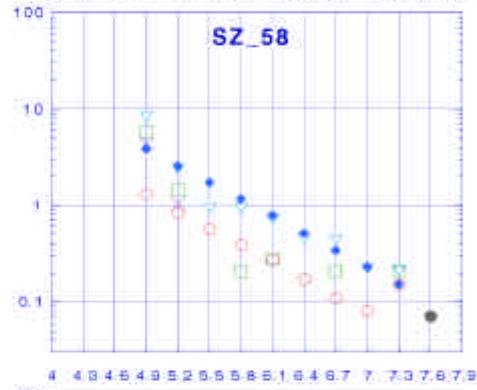
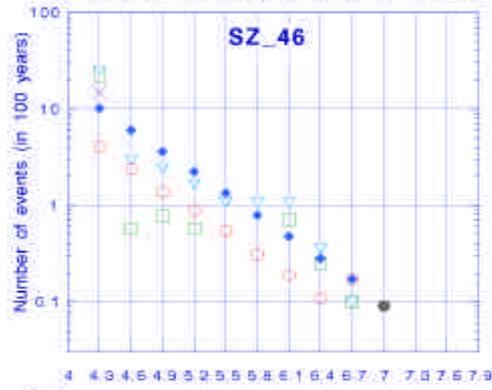
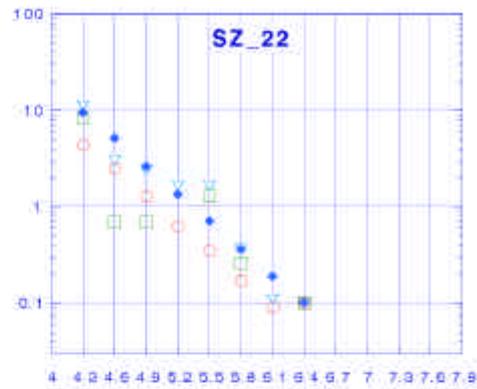
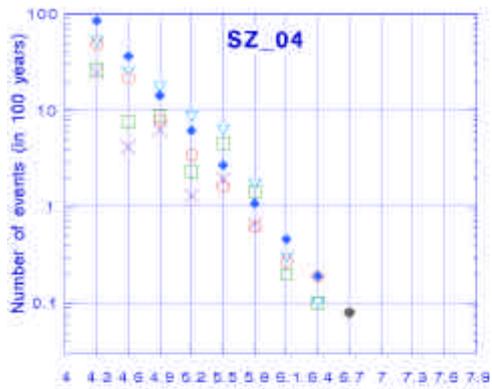


Fig. 1(a lato) - Tassi di sismicità delle sette ZS scelte: quadrato vuoto = tassi intervallari cautelativi non cumulativi (scelte del GNDT) usati in Fig. 2; croci = tassi intervallari non cumulativi ottenuti direttamente dall'analisi di completezza ed utilizzati in Fig. 5 (i simboli sono riportati solo se i relativi valori sono diversi da quelli della classe precedente, indicati con quadrati vuoti); triangoli vuoti = tassi cumulativi cautelativi; rombi pieni = interpolazione lineare (GR) dei triangoli vuoti; cerchi vuoti = tassi intervallari non cumulativi usati in Fig. 7; il cerchio pieno indica la magnitudo massima (quando calcolata).

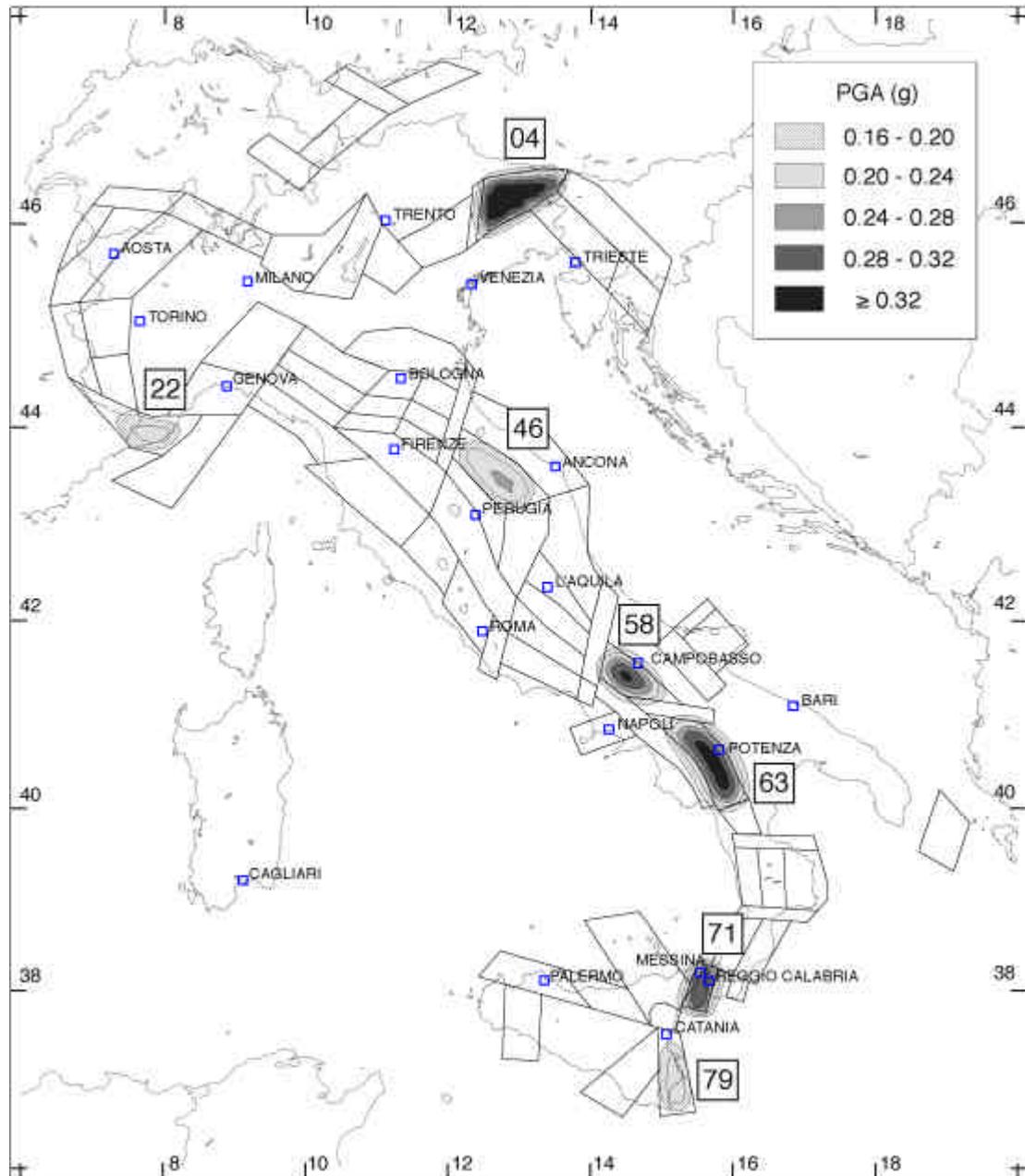


Fig. 2 - PGA (in g) con $T = 475$ anni da elaborazione standard GNDT, attenuazione secondo Ambraseys et al. (1996) riferita a roccia.

Nella seconda prova sono stati sostituiti i bordi morbidi, a coprire completamente la geometria della ZS, con bordi rigidi in corrispondenza del margine della ZS. La magnitudo massima non è stata considerata. Le differenze con i risultati precedenti sono sensibili all'interno delle ZS mentre all'esterno non ci sono. Sono mediamente quantificabili all'incirca in 0,02 g con differenze più evidenti in Friuli, e pressoché nulle a Messina (Fig. 4).

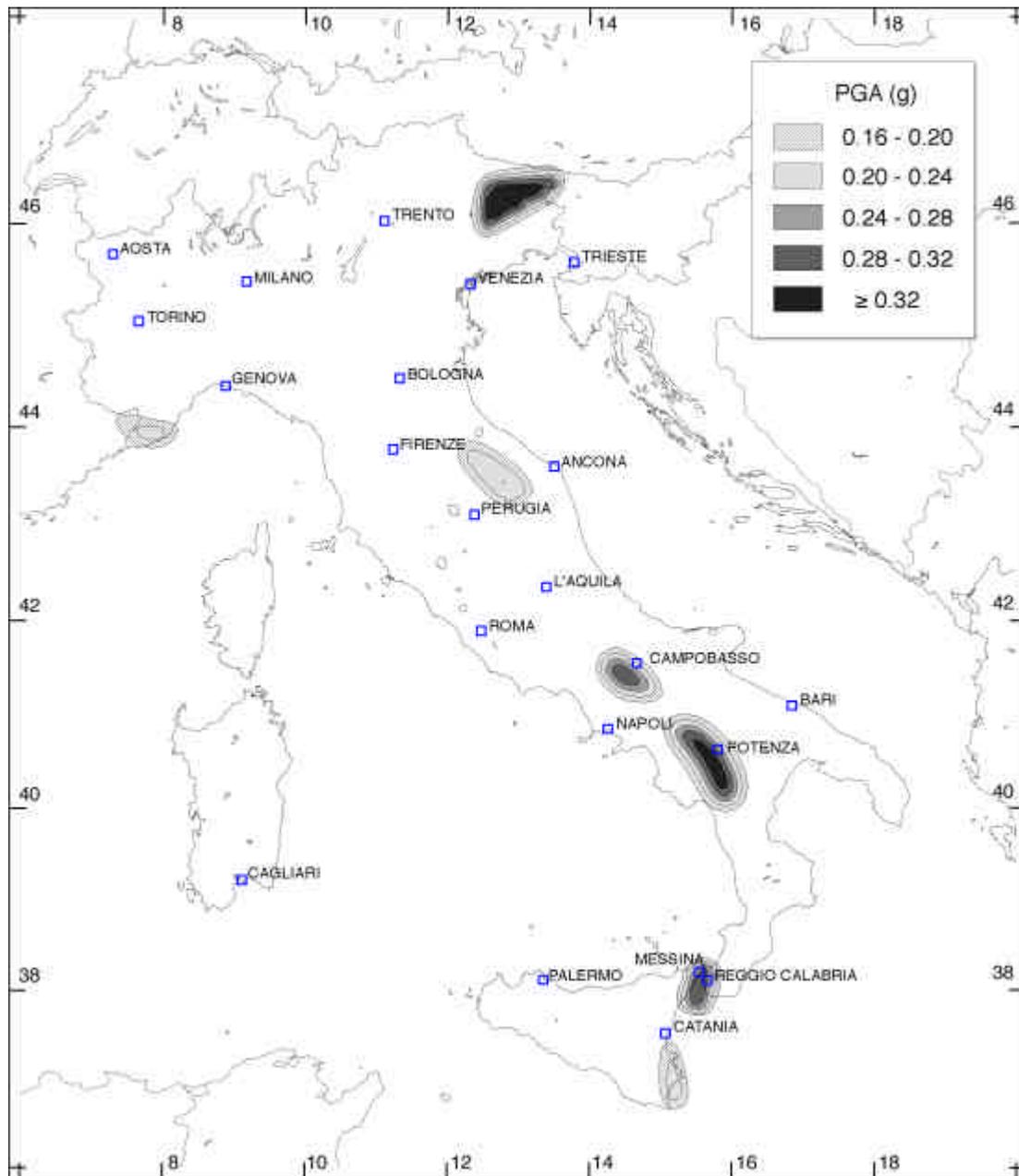


Fig. 3 - PGA (in g) con $T = 475$ anni da elaborazione standard GNDT senza considerare la magnitudo massima, attenuazione secondo Ambraseys et al. (1996) riferita a roccia.

3.2. Tassi di sismicit  e loro linearizzazione

Un punto sicuramente importante del calcolo della pericolosità GNDT riguarda la scelta cautelativa dei tassi di sismicità. Questa scelta cautelativa consiste nel considerare per ogni ZS vari tassi, comunque compatibili con il periodo di stazionarietà calcolato, fra i quali viene scelto quello più alto. L'ulteriore prova fatta consiste nell'eliminazione delle scelte cautelative (quadrati vuoti in Fig. 1) optando direttamente per il tasso indicato dal test di stazionarietà (croci in Fig. 1). Restano

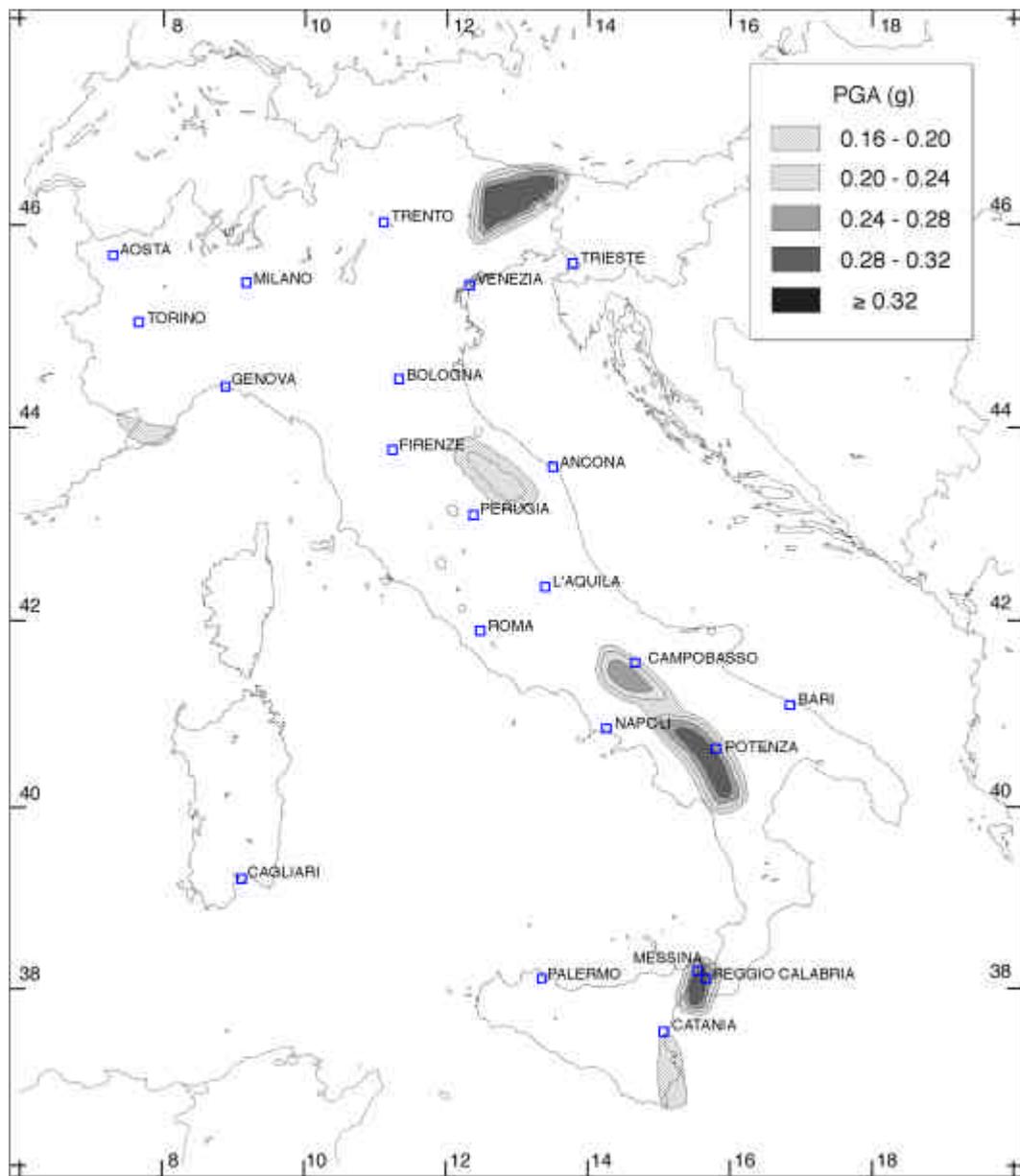


Fig. 4 - PGA (in g) con $T = 475$ anni senza considerare la magnitudo massima e considerando bordi rigidi per le ZS, attenuazione secondo Ambraseys et al. (1996) riferita a roccia.

invariate le altre caratteristiche (bordi rigidi, senza magnitudo massima) utilizzate nella prova precedente. Chiaramente i risultati ottenuti (Fig. 5) sono più bassi per le ZS dove erano

state apportate correzioni cautelative (Friuli, Umbria, Sannio e Irpinia) e la differenza può essere quantificata all'incirca in 0,03 g.

L'ultima prova eseguita riguarda le modalità di caricamento dei tassi di sismicità e cioè tende a valutare qual è la che si ottiene procedendo ad una loro

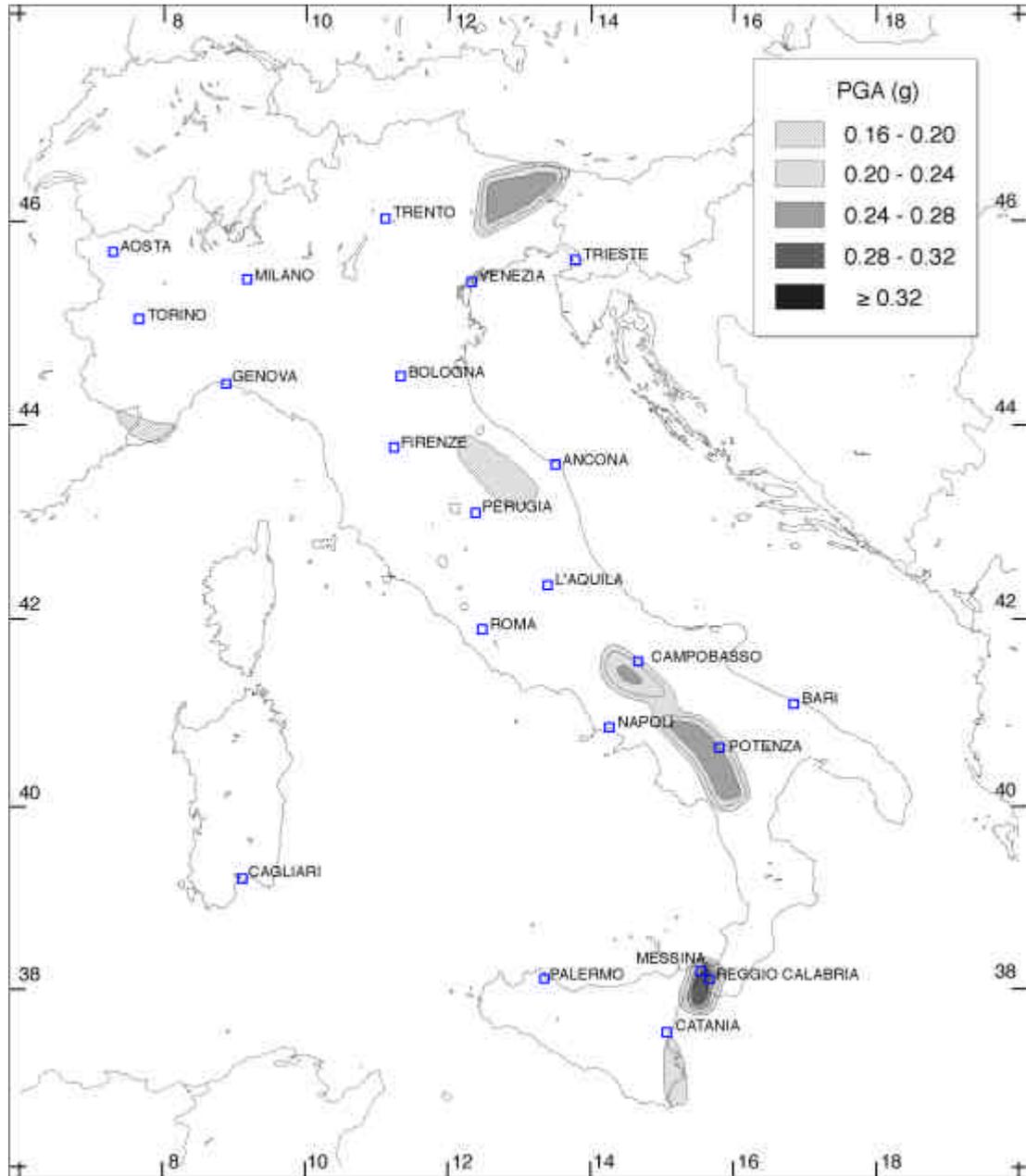


Fig. 5 - PGA (in g) con $T = 475$ anni senza considerare la magnitudo massima, considerando bordi rigidi per le ZS e senza le correzioni cautelative sui tassi di sismicità, attenuazione secondo Ambraseys et al. (1996) riferita a roccia.

linearizzazione con la relazione di GR. La linearizzazione può essere effettuata in due modi: mediante interpolazione lineare dei tassi individuali diversi da zero o interpolando i tassi cumulativi e calcolando poi quelli individuali. I tassi iniziali utilizzati in queste prove sono quelli ufficiali GNDT della prova a bordi rigidi e senza magnitudo massima (Fig. 4). E' chiaro che un generale aumento dei valori di

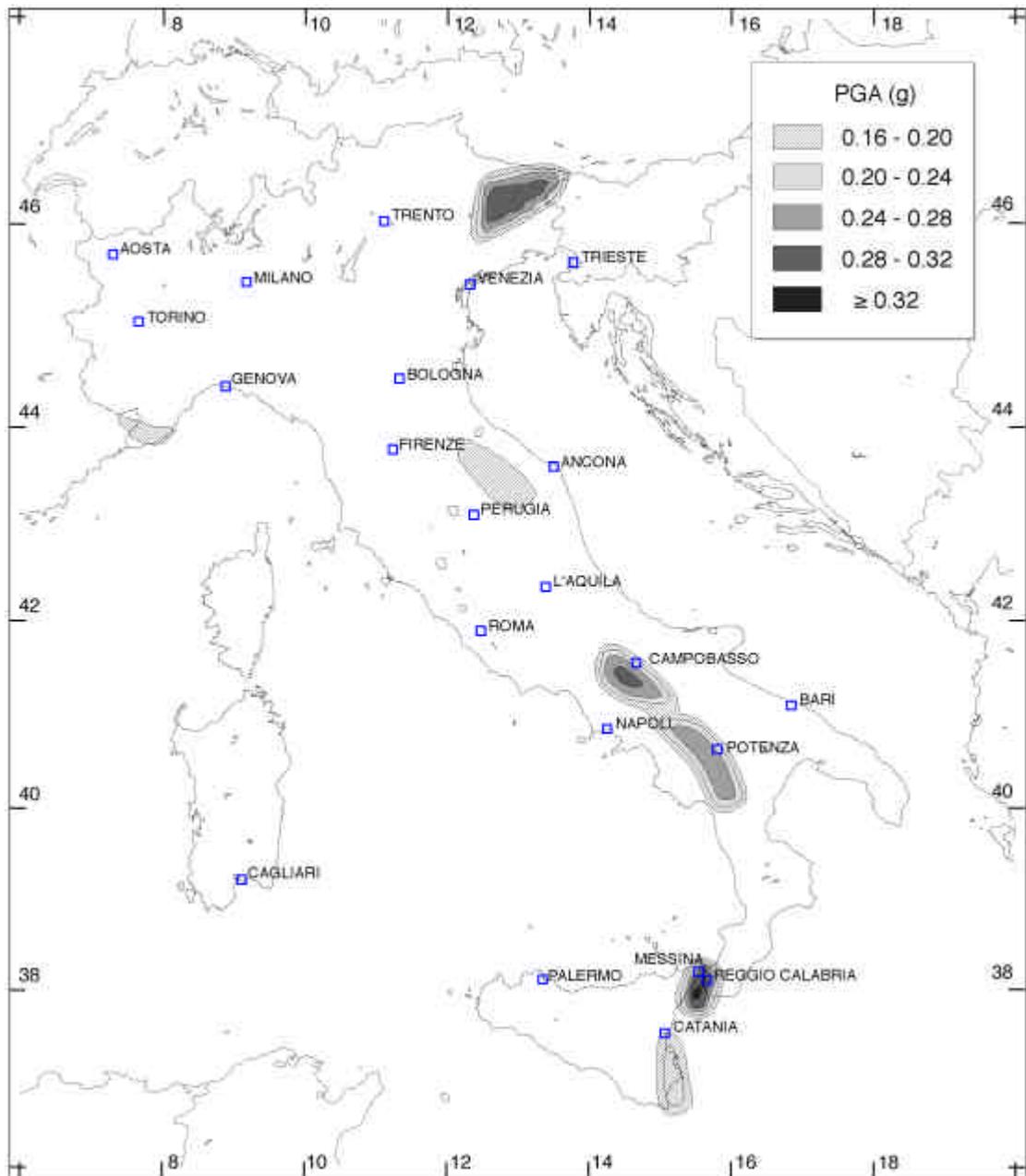


Fig. 6 - PGA (in g) con $T = 475$ anni senza considerare la magnitudo massima, considerando bordi rigidi per le ZS e con interpolazione lineare dei tassi individuali di sismicità, attenuazione secondo Ambraseys et al. (1996) riferita a roccia.

pericolosità è atteso applicando l'interpolazione in quanto, a classi di magnitudo assenti in realtà, vengono fittiziamente assegnati dei tassi di sismicità.

Le oscillazioni possibili nel caricamento a tassi individuali non linearizzati enfatizzano, inoltre, il contributo dato da certe classi di magnitudo alla pericolosità riferita ad un specifico periodo di ritorno. Tutto questo suggerisce che non è detto che col caricamento a tassi lisciati si ottengano sempre risultati più alti.

3.3 Interpolazione sui tassi individuali

La prova effettuata interpolando i tassi individuali (Fig. 6) determina risultati più alti in Sannio, Messina e Sicilia Orientale; risultati più bassi in Umbria e Irpinia e pressoché uguali in Friuli ed Alpi Marittime. Le giustificazioni risiedono nelle seguenti considerazioni. Nella ZS Friuli le classi sono tutte presenti ed i loro tassi prossimi ad un andamento lineare. Nella ZS Alpi Marittime vengono aggiunti nell'interpolazione solo due tassi medi (5,2 e 6,1) mentre il tasso della classe 5,5 viene sensibilmente ridotto. Nella ZS Umbria vengono aggiunti i due tassi relativi alle classi 5,5 e 5,8 e viene ridotto quello di 6,1, oltre che massicciamente quello di 4,3. Nella ZS Sannio, sono stati inseriti ben tre tassi nel settore alto di magnitudo. Nella ZS Irpinia, viene abbassato drasticamente il tasso della classe 7,0. Nella ZS Messina, si vedono i risultati dell'inserimento di ben quattro tassi a magnitudo molto alta, similmente alla ZS Sicilia Orientale.

3.4 Interpolazione sui tassi cumulativi

Considerando il caricamento attraverso il passaggio ai tassi cumulativi, si osserva un comportamento differenziato nelle diverse ZS (Fig. 7). E' opportuno descrivere chiaramente la metodologia applicata, che rispecchia quella seguita da Romeo e Pugliese (1997a, 1997b).

Sono stati calcolati i tassi cumulativi (triangoli vuoti in Fig. 1) a partire da quelli individuali (quadrati vuoti in Fig. 1) per semplice addizione e poi sono stati interpolati linearmente (rombi pieni in Fig. 1) con semplice procedura ai minimi quadrati senza pesatura. A partire dai tassi cumulativi linearizzati sono stati calcolati per semplice differenza quelli individuali (cerchi vuoti in Fig. 1), utilizzati nel calcolo di pericolosità. Le differenze riscontrate tra i risultati delle due ultime prove, tutto sommato abbastanza limitati, meritano un'analisi dettagliata per una precisa comprensione in quanto il comportamento delle diverse zone è differente sia a livello di ampiezza delle aree di massimi valori (confrontare Fig. 4 con Fig. 7) sia a livello di massimi valori puntuali (Fig. 8). Infatti mentre la maggioranza delle zone mostra un limitato abbassamento dei valori, due zone appenniniche calano più evidentemente ed il Friuli aumenta lievemente. Nella ZS 4, l'eccedenza di sismicità osservata (quadrati vuoti in Fig. 1) nelle classi 5,5 e 5,8 di magnitudo, rispetto ai tassi ottenuti a seguito dell'interpolazione lineare dei tassi cumulativi (cerchi vuoti in Fig. 1), viene spalmata su tutte le altre magnitudo, per la classe massima 6,4 si ottiene un raddoppio del valore osservato: l'effetto totale consiste in un lieve aumento della pericolosità.

Nella ZS 22, si nota un eccesso di sismicità osservata solo per le classi 4,3 e, in maniera molto evidente, 5,5 che va a riempire classi come 5,2 e 6,1, originariamente vuote, portandole, comunque a valori piuttosto bassi: la pericolosità diminuisce lievemente. Un effetto opposto è, invece, riscontrabile per la ZS 46, dove la linearizzazione produce un forte abbassamento dei tassi delle classi 4,3, 6,1 e 6,4 a favore a favore di tutte le altre classi (medio basse) compresa la 6,7 che raddoppia il valore: l'effetto risultante è un abbassamento generalizzato dei valori. Nella ZS 58, si

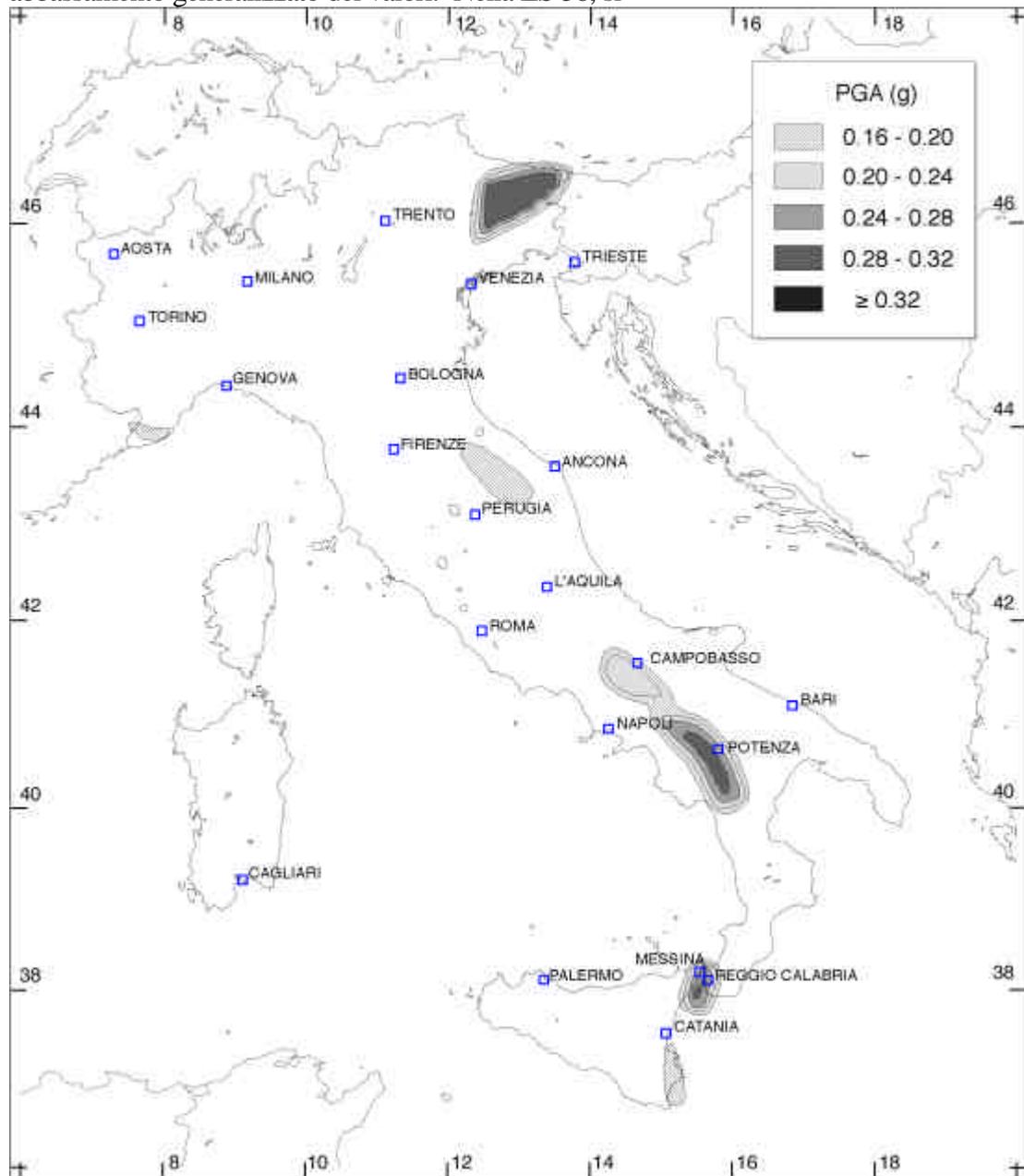


Fig. 7 - PGA (in g) con $T = 475$ anni senza considerare la magnitudo massima, considerando bordi

rigidi per le ZS e con interpolazione lineare dei tassi cumulativi di sismicità, attenuazione secondo Ambraseys et al. (1996) riferita a roccia.

nota un eccesso di sismicità osservata per quasi tutte le classi non vuote, compresa quella 7,3: la pericolosità diminuisce sensibilmente. Nella ZS 63 l'eccesso di sismicità osservata per le classi basse (4,3 - 4,9) viene spalmata su quelle superiori in maniera leggera; fa eccezione la classe massima (7,0) che viene abbassata nella linearizzazione: l'effetto globale è un lieve abbassamento di pericolosità. Nelle ZS 71 e 79 oltre alle classi estreme anche una classe intermedia (4,9) rivela eccesso di sismicità osservata; la spalmatura va soprattutto a colmare le lacune: l'effetto totale sulla pericolosità è un suo lieve abbassamento.

Bisogna, però, sollevare un avvertimento nell'operazione di linearizzazione descritta: il tasso della classe massima di magnitudo risulta spesso superiore a quello che verrebbe suggerito dall'andamento lineare dei tassi delle altre classi di magnitudo. Ciò dipende dalla difficile scelta di considerare un certo valore come massima magnitudo possibile per la ZS.

Considerando altri periodi di ritorno (100 e 1000 anni) le stesse evidenze di Figura 7 vengono ripetute. A commento generale si può asserire che sono quasi esclusivamente i tassi di sismicità delle classi più alte a pilotare i risultati di pericolosità.

3.5 Considerazioni

La Figura 8 sintetizza i risultati delle diverse prove realizzate. Si può vedere che la scelta base del GNDT (magnitudo massima, bordi morbidi, tassi individuali cautelativi) porta a valori (quadrati vuoti in Fig. 8) generalmente superiori, ovviamente, di quelli ottenibili con scelte diverse. L'effetto più forte è dato dall'introduzione dei bordi morbidi e, in subordine, delle scelte cautelative dei tassi di sismicità. Ovviamente l'effetto dei bordi influisce sui valori massimi raggiunti (Fig. 8) mentre a scala areale l'effetto è meno evidente (confrontare le Figg. 3 e 4).

4 Le prove eseguite sulle relazioni di attenuazione

Per quanto riguarda la relazione di attenuazione di PGA scelta, le differenze riscontrabili tra l'utilizzo di una relazione (p. es.: Ambraseys, 1995) calibrata sui dati della banca accelerometrica europea (Ambraseys e Bommer, 1991) e quelle di una italiana (Sabetta e Pugliese, 1987) sono ampiamente documentate in Slejko et al. (1998). La relazione di Ambraseys (1995) può considerarsi superata da quella di Ambraseys et al. (1996) calibrata su un parco di dati europei selezionato. Quest'ultima relazione è riferita, inoltre, a tre tipologie di terreno: roccia, terreno rigido e terreno soffice. Un confronto con la relazione di Sabetta e Pugliese (1987), definita pure per tre tipologie di suoli e cioè roccia, alluvioni sottili ed alluvioni profonde, diventa, pertanto, più significativa. I risultati ottenuti con la relazione italiana (Sabetta e Pugliese, 1987) sono riportati in Figura 9 e, rispetto alla figura riportata in Slejko et al. (1998), differiscono soltanto per l'uso di un'unica relazione senza considerare peculiarità di propagazione (p. es. zone vulcaniche). Il confronto con i valori di Figura 2 mostra due tendenze diverse: nel settore settentrionale (a nord dell'Umbria) la relazione di Ambraseys et al. (1996) determina valori più elevate mediamente di circa 0,04 g, nel settore meridionale la relazione di Sabetta e Pugliese (1987)

produce valori più elevati di circa 0,04 g nelle zone di massimo mentre al loro esterno i valori nelle due figure sono molto simili.

Per evidenziare le differenze determinate dall'uso delle due diverse relazioni di attenuazione, è stata prodotta la Figura 10, dove viene presentato il rapporto dei valori di PGA ottenuti con la relazione di Sabetta e Pugliese (1987) rispetto a quelli ottenuti con la relazione di Ambraseys et al. (1996). Si può vedere che la maggior parte del territorio è caratterizzata da valori prossimi all'unità; valori negativi si

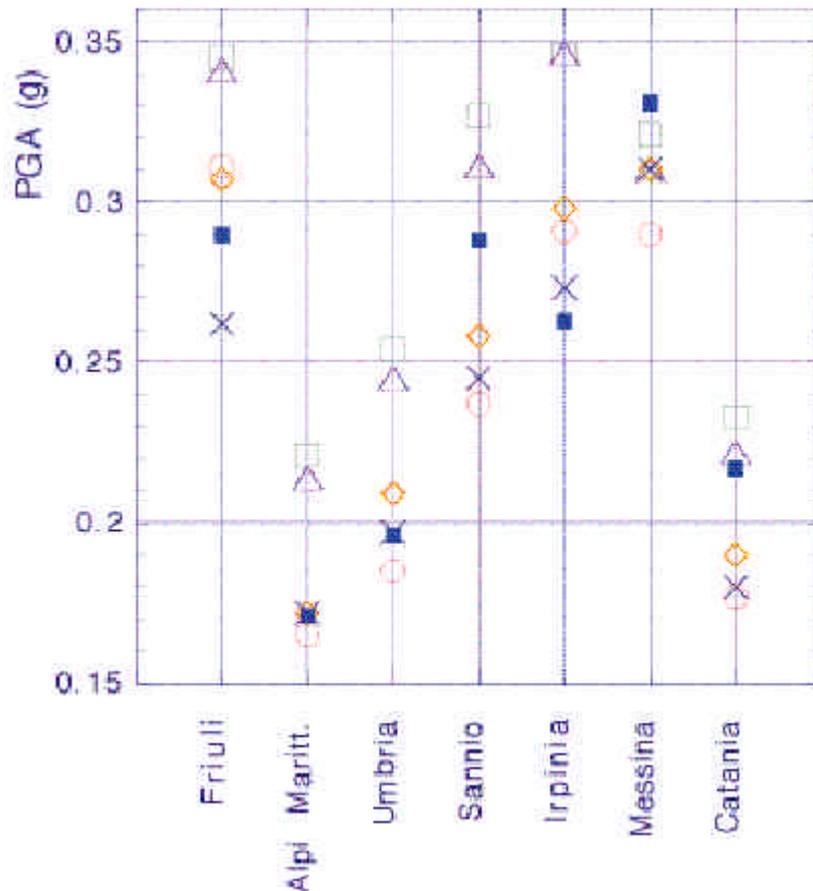


Fig. 8 - Valori massimi di PGA (in g) calcolati nelle prove realizzate: quadrati vuoti = scelte standard GNDT (Fig. 2); triangoli vuoti = dopo l'eliminazione della magnitudo massima (Fig. 3); rombi vuoti = come triangoli vuoti ma considerando ZS con bordi rigidi (Fig. 4); croci = come come rombi vuoti ma utilizzando i tassi indicati dall'analisi di stazionarietà (Fig. 5); quadrato pieno = come rombi vuoti ma linearizzando i tassi non cumulativi (Fig. 6); cerchi vuoti = come rombi vuoti ma linearizzando i tassi cumulativi (Fig. 7).

riscontrano nelle Alpi Orientali, in Emilia e Toscana mentre valori positivi sono ottenuti nell'Appennino Meridionale. In particolare il rapporto raggiunge i massimi in Calabria con valori superiori a 1,3.

5 Conclusioni

Le prove eseguite hanno permesso di esplorare l'influenza sui risultati di pericolosità delle varie scelte possibili nella preparazione dell'input. Tutte le scelte analizzate nel presente lavoro sono ragionevoli e legittime, con l'eccezione del lisciamento dei tassi individuali di sismicità (Fig. 6) che va ad alterare la sismicità realmente osservata. La preferenza di una soluzione rispetto ad un'altra resta dettata da considerazioni specifiche sulla conoscenza sismotettonica e sull'uso che si intende

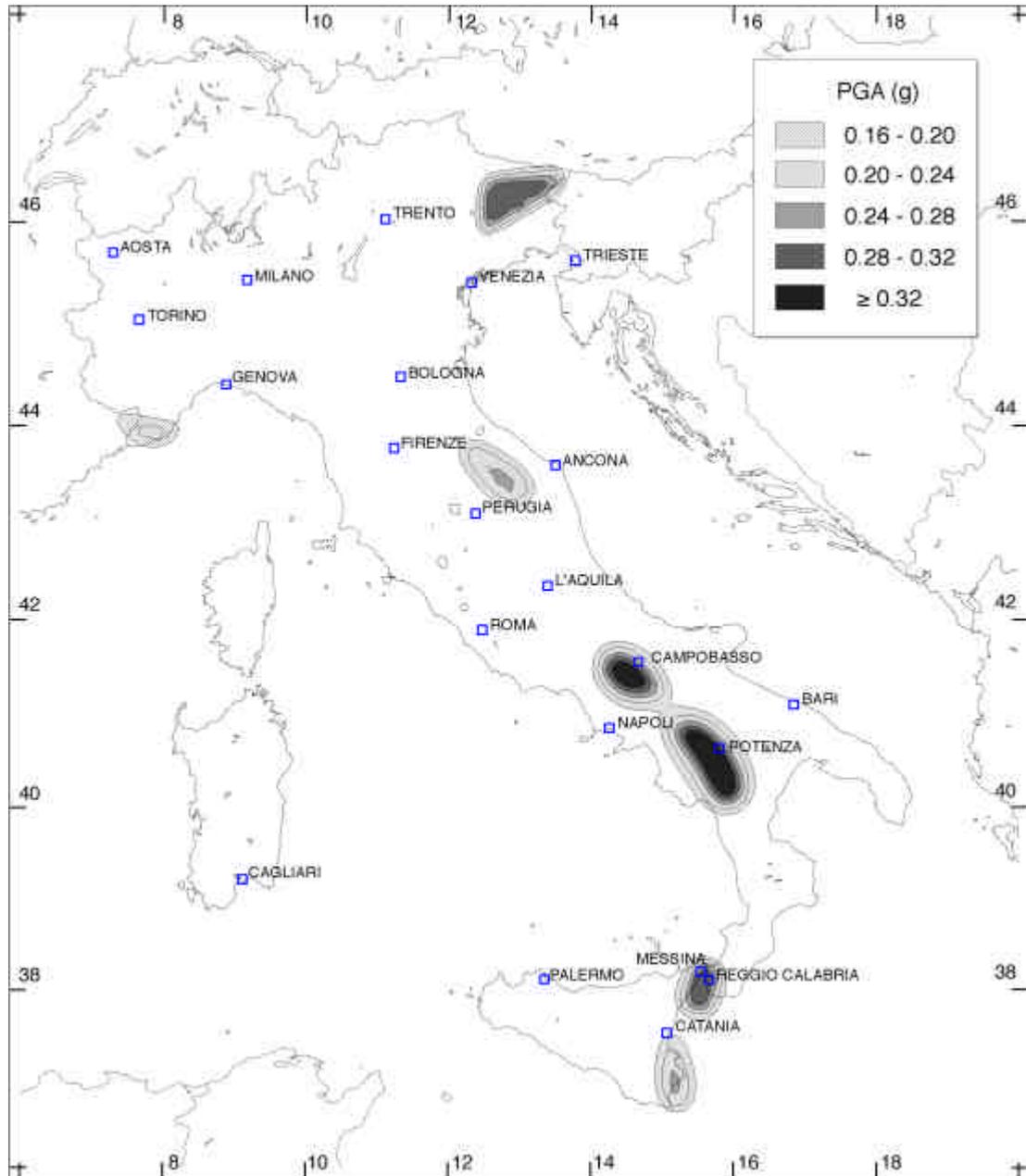


Fig. 9 - PGA (in g) con $T = 475$ anni da elaborazione standard GNDT, attenuazione secondo Sabetta e Pugliese (1987) riferita a roccia.

fare del prodotto. A titolo di esempio è interessante segnalare che il caricamento dei tassi di sismicità non linearizzati permette di modellare la sismicità di ZS che non manifestano un rapporto costante tra terremoti grandi e piccoli ma hanno espresso preferenzialmente terremoti di una certa magnitudo (un concetto ammorbidito di terremoto caratteristico è insito in questo ragionamento).

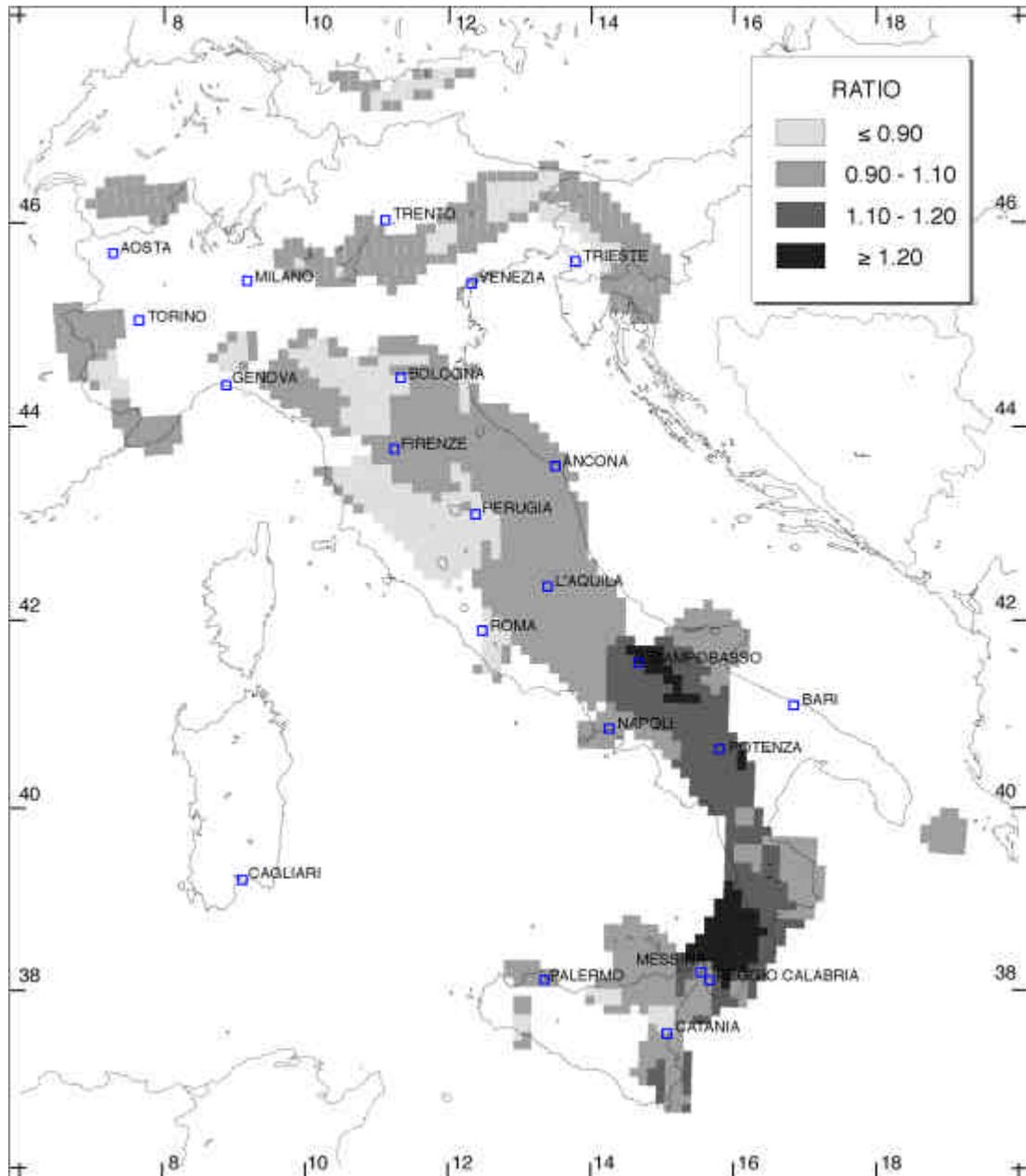


Fig. 10 - Rapporto fra i valori di PGA ottenuti con le relazioni di Sabetta e Pugliese (1987) e di Ambraseys et al. (1996) riferite a roccia. Le zone bianche indicano che il rapporto non è stato calcolato perchè i valori di PGA sono molto bassi.

Come già evidenziato dalla Figura 8, l'effetto più forte sui risultati è dato dall'introduzione dei bordi "morbidi" e, in subordine, delle scelte cautelative dei tassi di sismicità. La scelta della relazione di attenuazione adottata risulta critica solo in Calabria, per la presenza di terremoti forti con lungo periodo di ritorno; nelle altre zone le differenze sono ampiamente assorbite dalle incertezze intrinseche delle relazioni stesse (Fig. 10).

Bibliografia

- Albarello D., Rebez A., Slejko D. (1995): Caratterizzazione della sismicità nel calcolo della pericolosità sismica. In: *Atti del 14° Convegno Nazionale GNGTS*, Esagrafica, Roma, pp. 551 - 554.
- Ambraseys N. N. (1995): Reappraisal of the prediction of ground accelerations in Europe - EAEE Working Group report. In: Duma (ed), *10th European Conference on Earthquake Engineering*, Balkema, Rotterdam, pp. 3041 - 3048.
- 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.
- Camassi R., Stucchi M. (1996): NT4.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. *C.N.R. GNDT*, Milano, 86 pp.
- Cornell C.A., (1968): Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **58**, 1583-1606.
- Romeo R., Pugliese A. (1997a): Analisi della scuotibilità del territorio italiano. *Ingegneria Sismica*, **97/2**, 68 - 77.
- Romeo R., Pugliese A. (1997b): La pericolosità sismica in Italia Parte 1: analisi della scuotibilità. *Rapporto Tecnico SSN/RT/97/1*, Servizio Sismico Nazionale, Roma, 58 pp.
- Sabetta F., Pugliese A. (1987): Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong-motion records. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **77**, 1491-1513.
- Schwartz D. P., Coppersmith K. J. (1984): Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas fault zones. *J. Geophys. Res.*, **89**, 5681 - 5698.
- Slejko D. (1996): Queste sono le carte finali di pericolosità sismica del territorio nazionale. In: *Atti del 15° Convegno Nazionale GNGTS*, Esagrafica, Roma, pp. 405 - 410.
- Slejko D., Peruzza L., Rebez A. (1998): Seismic hazard maps of Italy. *Annali di Geofisica*, **41**, 183 - 214.