

CRITERI DI CLASSIFICAZIONE SISMICA: PROBLEMATICHE, METODOLOGIE, PARAMETRI

Vincenzo Petrini¹

1. Introduzione

In Gazzetta Ufficiale n°105 del 8 Maggio 2003 è stata pubblicata l'Ordinanza 3274/03 del Presidente del Consiglio dei Ministri (nel seguito citata solo come Ordinanza), nella quale vengono esposti criteri di classificazione, norme tecniche ed una prima mappa di classificazione sismica.

I criteri, in particolare, prevedono una classificazione basata sui valori dell'accelerazione di picco (PGA) relativa ad un periodo di ritorno pari a 475 anni, quindi un unico parametro in grado di cogliere un solo aspetto della sismicità del sito considerato. E' noto invece che ci possono essere diverse tipologie di sismicità (ad esempio ci sono aree caratterizzate da eventi relativamente frequenti ma deboli ed altre dove si hanno eventi più rari ma violenti) che possono emergere da un'analisi di pericolosità, e quindi dalla classificazione, solo grazie all'utilizzo di parametri diversi e soprattutto non tutti legati ad un solo periodo di ritorno.

Il fatto di far emergere i diversi tipi di sismicità si lega direttamente al duplice obiettivo insito in una classificazione sismica: in primo luogo la salvaguardia delle persone, dipendente dal collasso delle strutture, ed in secondo luogo la riduzione del danno agli edifici ed alle strutture. Una migliore caratterizzazione di ogni sito infatti consente da un lato una maggiore equità nella distribuzione sul territorio del rischio accettato e dall'altro una maggior efficienza nell'uso delle risorse per gli interventi preventivi.

Considerato quanto detto finora, appare evidente la necessità di utilizzare un criterio di classificazione più articolato, basato su parametri che tengano in conto separatamente degli aspetti connessi al crollo strutturale degli edifici ed al danneggiamento.

2. Osservazioni sull'applicazione dei criteri dell'Ordinanza e proposta alternativa

E' possibile realizzare una "prova" degli effetti, sulla classificazione sismica, dell'applicazione diretta dei criteri dettati dall'Ordinanza ai valori di PGA relativi alle carte di /1/ disponibili, in quanto pubblicate. Dal risultato che si ottiene con tale prova, si può evidenziare una classificazione non equilibrata (Fig. 1) e per alcune zone non realistica: l'aspetto che emerge maggiormente è la forte riduzione della zona 4 a favore di una zona 3 molto estesa (es.: in Lombardia sarebbe compresa in zona 3 anche Milano).

E' immediato rilevare le notevoli differenze rispetto alla mappa ottenuta utilizzando l'elenco riportato nell'Allegato A dell'ordinanza (Fig. 2).

¹ Politecnico di Milano.

**Classificazione sismica in base ai criteri 2003
PGA SSN 2001**

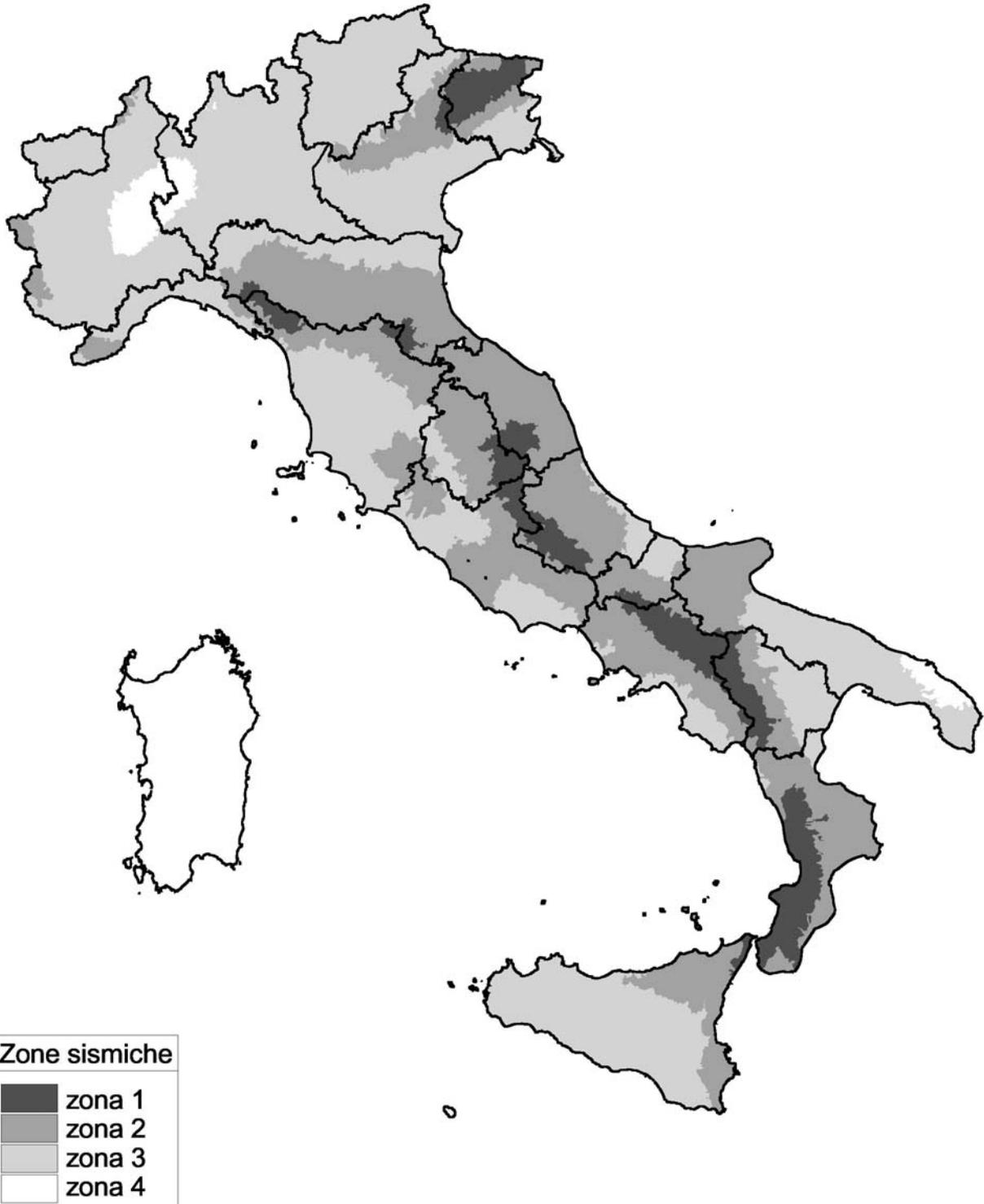


Fig. 1 : classificazione ottenuta applicando i criteri dell'Ordinanza 3274/03 ai valori di PGA SSN 2001

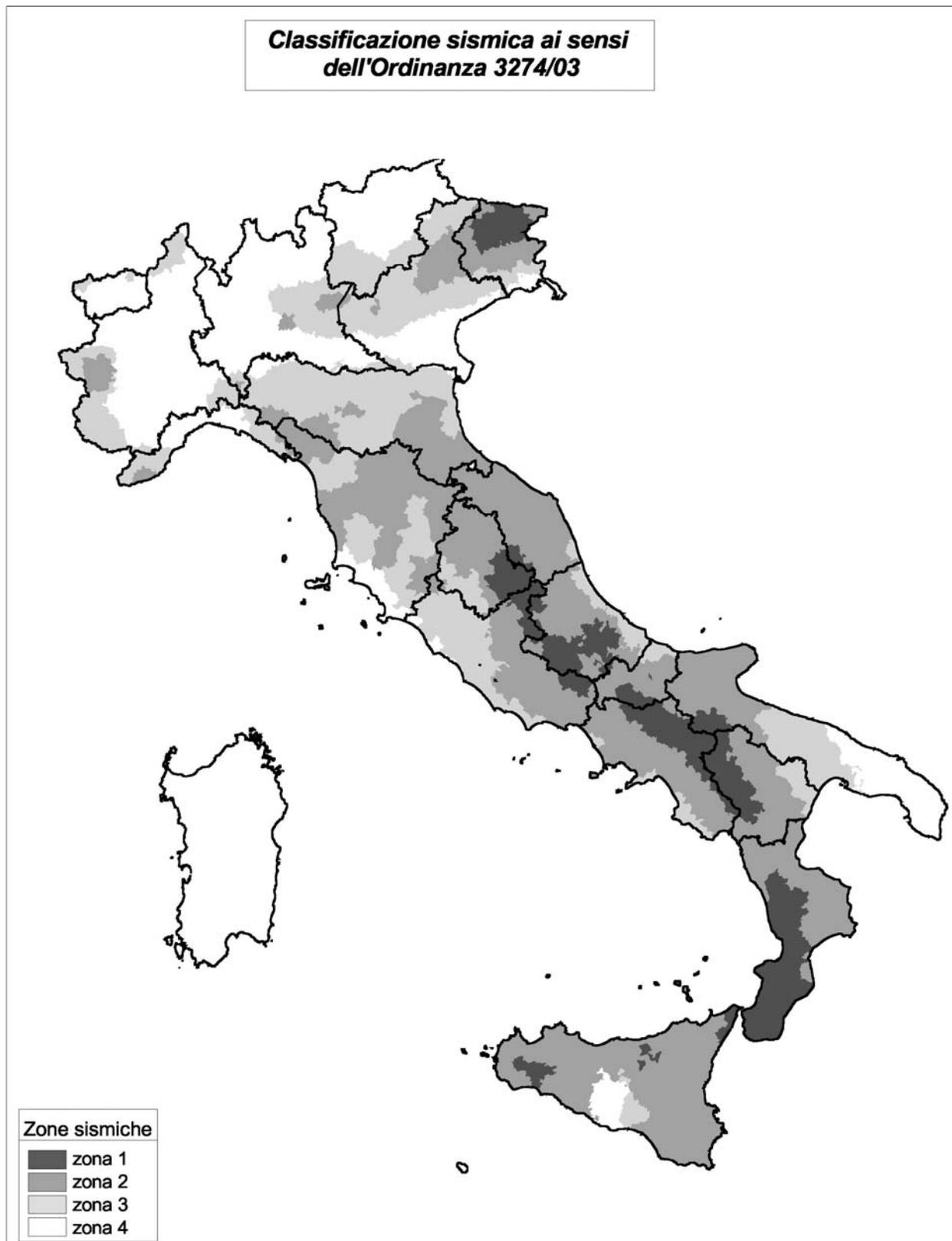


Fig. 2 : classificazione in base all'Ordinanza 3274/03

Di questo non bisogna sorprendersi visto che la mappa definita nell'Ordinanza è frutto dei risultati di uno studio già esistente /2/, con il vincolo ulteriore della non declassificazione dei comuni di vecchia classificazione ed è il risultato dell'applicazione di criteri diversi. In tal caso per definire le soglie delle classi si è seguito un criterio più articolato, tentando così, sebbene in maniera non com-

pleta, di introdurre criteri di classificazione differenziati. Si correlava infatti l'assegnazione di un comune ad una classe o ad un'altra sia alla possibilità che si verificano terremoti di elevata magnitudo e di conseguenza considerando il livello di protezione dal collasso, sia alla possibilità che si verificano terremoti di bassa magnitudo e di conseguenza al livello di protezione dal danneggiamento, sia, in ultima istanza, la massima intensità macrosismica risentita in ciascun comune.

Con tali criteri la mappa risulta sembrare più equilibrata, anche se questa volta è la zona 2 ad avere una prevalenza eccessiva rispetto alla zona 3.

Per poter osservare l'equità, o meno, dell'assegnazione dei comuni alle diverse zone sismiche, alla luce dei due obiettivi definiti sopra come essenziali in una classificazione sismica, sono stati calcolati per tutti i comuni, i valori di probabilità di eccedenza dell'accelerazione di inizio danno e di collasso in 50 anni.

Per il calcolo di tali parametri si sono utilizzati come dati di base valori di pericolosità ricavati con l'approccio utilizzato dal Servizio Sismico Nazionale /1/, con l'eccezione della non combinazione dei valori ottenuti con la legge di attenuazione Sabetta Pugliese /3/ e Ambraseys /4/: si è utilizzata infatti solo la prima.

La scelta dei valori di accelerazione corrispondenti all'inizio del danneggiamento e al collasso si è basata, per le zone 1, 2 e 3 sui valori di ancoraggio dello spettro di risposta elastico definiti nell'Ordinanza, moltiplicati per 1.5 per ottenere l'accelerazione di collasso e divisi per 2.5 per quanto riguarda l'accelerazione di inizio danno. I fattori 1.5 e 2.5 trovano il loro fondamento nelle norme tecniche allegate alla suddetta Ordinanza: il primo come riferimento per lo stato limite di collasso da considerare per gli edifici esistenti, il secondo come indicazione dello spettro di progetto dello stato limite di danno. Fa eccezione, per quanto riguarda questo modo di procedere, la zona 4, in quanto si ritiene che un edificio progettato secondo le norme non possa subire danni e non possa raggiungere lo stato limite di collasso per valori di PGA molto modesti (0.02g e 0.075g rispettivamente), come quelli che si otterrebbero applicando i citati fattori. Pertanto per la zona 4 si sono assunti gli stessi valori della zona 3 (Tab. 1).

Per ogni comune sono state calcolate le probabilità di eccedenza per tutti i valori di PGA riportati in tabella 1, indipendentemente dalla attuale appartenenza ad una zona sismica.

	Zona1	Zona2	Zona3	Zona4
PGA anc. spettro el. (g) (Ordinanza 3274/03)	0.35	0.25	0.15	0.05
PGA di collasso (g)	0.525	0.375	0.225	0.225
PGA di inizio danno (g)	0.14	0.10	0.06	0.06

Tab. 1: PGA di progetto, di collasso e di inizio danno per le diverse zone sismiche

Vengono di seguito illustrati, nelle Tabelle 2 e 3, i valori massimi, minimi, medi, della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di collasso e di inizio danno per i comuni appartenenti alle diverse zone sismiche.

Probabilità di eccedenza dell'accelerazione di Collasso			
	Val. massimo	Val. minimo	Val. medio
zona 1	0.0752	0.0046	0.0275
zona 2	0.0744	0.0003	0.0155
zona 3	0.0639	0.0000	0.0068
zona 4	0.0005	0.0000	0.0000

Tab. 2: valori massimi, minimi, medi della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di collasso calcolati per i comuni appartenenti alle zone sismiche ottenute dai criteri dell'Ordinanza applicati alla PGA SSN - 2001

Probabilità di eccedenza dell'accelerazione di In. Danno			
	Val. massimo	Val. minimo	Val. medio
zona 1	0.5136	0.3057	0.4221
zona 2	0.7307	0.1531	0.4285
zona 3	0.7787	0.0194	0.2913
zona 4	0.0656	0.0000	0.0074

Tab. 3: valori massimi, minimi, medi della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di inizio danno calcolati per i comuni appartenenti alle zone sismiche ottenute dai criteri dell'Ordinanza applicati alla PGA SSN - 2001

Quello che emerge dalle tabelle 2 e 3 è una forte variazione, specie dei valori della probabilità di collasso, in particolare nelle zone 2 e 3. Considerando che l'appartenenza ad una zona sismica dovrebbe identificare livello di "rischio" pressoché analogo, tale disparità è segno del fatto che non tutti i comuni presenti in tali zone dovrebbero invece appartenervi.

Un primo miglioramento si può ottenere, ad esempio, applicando dei criteri più articolati, che mirano a ridurre tali disparità. Innanzitutto ai fini della determinazione delle zone sismiche si sono considerati tre distinti parametri: probabilità di eccedenza dell'accelerazione di collasso in 50 anni, danno atteso medio annuo, probabilità di eccedenza dell'accelerazione di inizio danno in 50 anni. Tale scelta è dovuta alle caratteristiche proprie di questi parametri, ognuno dei quali mette in luce un diverso aspetto della pericolosità: il primo è maggiormente legato al collasso degli edifici e quindi alla sicurezza delle persone, il secondo è rilevante principalmente perché fornisce un calcolo del danno atteso basato non su un tempo di ritorno ma sull'intera curva di distribuzione degli eventi, infine, il terzo, è legato in particolare ad aspetti di tipo economico relativi alla riparazione anche dei danni lievi causati dai terremoti.

Al fine di individuare le zone di appartenenza dei vari comuni si è proceduto nel seguente modo:

- si considerano in zona 1 tutti i comuni per i quali la probabilità di superare l'accelerazione di 0.525 g è maggiore o uguale a 0.01 in 50 anni;
- si considerano in zona 2 tutti i comuni, non compresi in zona 1, per i quali il valore atteso del danno medio annuo è maggiore o uguale a 0.05 % ; per il calcolo del danno si sono usate curve di fragilità lineari a tratti, aventi accelerazione di inizio danno e di collasso rispettivamente pari a 0.1g e 0.375g ;
- si considerano in zona 3 tutti i comuni, non compresi in zona 1 e 2, per i quali la probabilità di superare l'accelerazione di 0.06 g è maggiore o uguale a 0.4 in 50 anni;
- si considerano in zona 4 tutti i restanti comuni.

E' opportuno ricordare che la determinazione dei singoli valori di soglia, a parità di rischio residuo accettato, dipende dai metodi e dalle ipotesi utilizzate nel calcolo della pericolosità; infatti, l'adozione di diverse ipotesi e diversi metodi di calcolo produce risultati in termini di mappe di pericolosità che possono essere notevolmente diversi tra loro. Si ribadisce quindi che le soglie che vengono proposte in questa sede, sono strettamente legate ai valori di pericolosità utilizzati.

Tali criteri sono riassunti nella tabella 4.

	Zona1	Zona2	Zona3	Zona4
Prob. ecc. acc. collasso (acc. coll. = 0.525g)	≥ 0.01			Tutti i comuni non inclusi nelle altre zone
Danno atteso medio annuo (ac. coll. =.375g ac. i.d.= 0.1g)		≥ 0.0005		
Prob. ecc. acc. inizio danno (acc. in. danno = 0.06g)			≥ 0.4	

Tab. 4: soglie per la definizione delle zone sismiche

Applicando tali criteri si è ottenuta una ipotesi di classificazione riportata in figura 3, sostanzialmente diversa da quella che si otterrebbe applicando i criteri dell'Ordinanza (Fig. 1); si nota, invece, una estensione delle zone 3 e 4 abbastanza simili a quelle di figura 2; si notano anche alcune differenze significative per quanto riguarda la zona 1 e 2.

Vengono di seguito riportate alcune tabelle analoghe a quelle già presentate per l'applicazione dei criteri dell'Ordinanza, ma relativi alle zone sismiche individuate con i criteri appena illustrati (Tab. 5, 6). Per un confronto più generale si presentano anche le tabelle (Tab. 7, 8) corrispondenti alle zone sismiche definite nell'Ordinanza (Fig. 2). Si presentano inoltre in Fig. 4 e 5 i diagrammi rappresentanti, per ogni zona, i valori massimi e minimi delle probabilità di eccedenza delle accelerazioni di collasso e di inizio danno per tutte e tre le classificazioni analizzate.

	Probabilità di eccedenza dell'accelerazione di Collasso		
	Val. massimo	Val. minimo	Val. medio
zona 1	0.0752	0.0095	0.0234
zona 2	0.0344	0.0060	0.0178
zona 3	0.0797	0.0006	0.0262
zona 4	0.0314	0.0000	0.0017

Tab. 5: valori massimi, minimi, medi della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di collasso calcolati per i comuni appartenenti alle zone sismiche ottenute dai criteri proposti nel presente lavoro

	Probabilità di eccedenza dell'accelerazione di In. Danno		
	Val. massimo	Val. minimo	Val. medio
zona 1	0.5136	0.1551	0.3696
zona 2	0.7899	0.2808	0.4983
zona 3	0.9004	0.3951	0.6137
zona 4	0.3949	0.0000	0.1329

Tab. 6: valori massimi, minimi, medi della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di inizio danno calcolati per i comuni appartenenti alle zone sismiche ottenute dai criteri proposti nel presente lavoro

	Probabilità di eccedenza dell'accelerazione di Collasso		
	Val. massimo	Val. minimo	Val. medio
zona 1	0.0752	0.0003	0.0239
zona 2	0.0525	0.0000	0.0130
zona 3	0.0984	0.0000	0.0179
zona 4	0.0191	0.0000	0.0016

Tab. 7: valori massimi, minimi, medi della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di collasso calcolati per i comuni relativi alle zone definite nell'Ordinanza

	Probabilità di eccedenza dell'accelerazione di In. Danno		
	Val. massimo	Val. minimo	Val. medio
zona 1	0.5061	0.0545	0.3846
zona 2	0.7900	0.0023	0.3779
zona 3	0.9110	0.1117	0.5114
zona 4	0.6325	0.0000	0.1236

Tab. 8: valori massimi, minimi, medi della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di inizio danno calcolati per i comuni relativi alle zone definite nell'Ordinanza

**Proposta di classificazione sismica
in base ai criteri del presente lavoro**

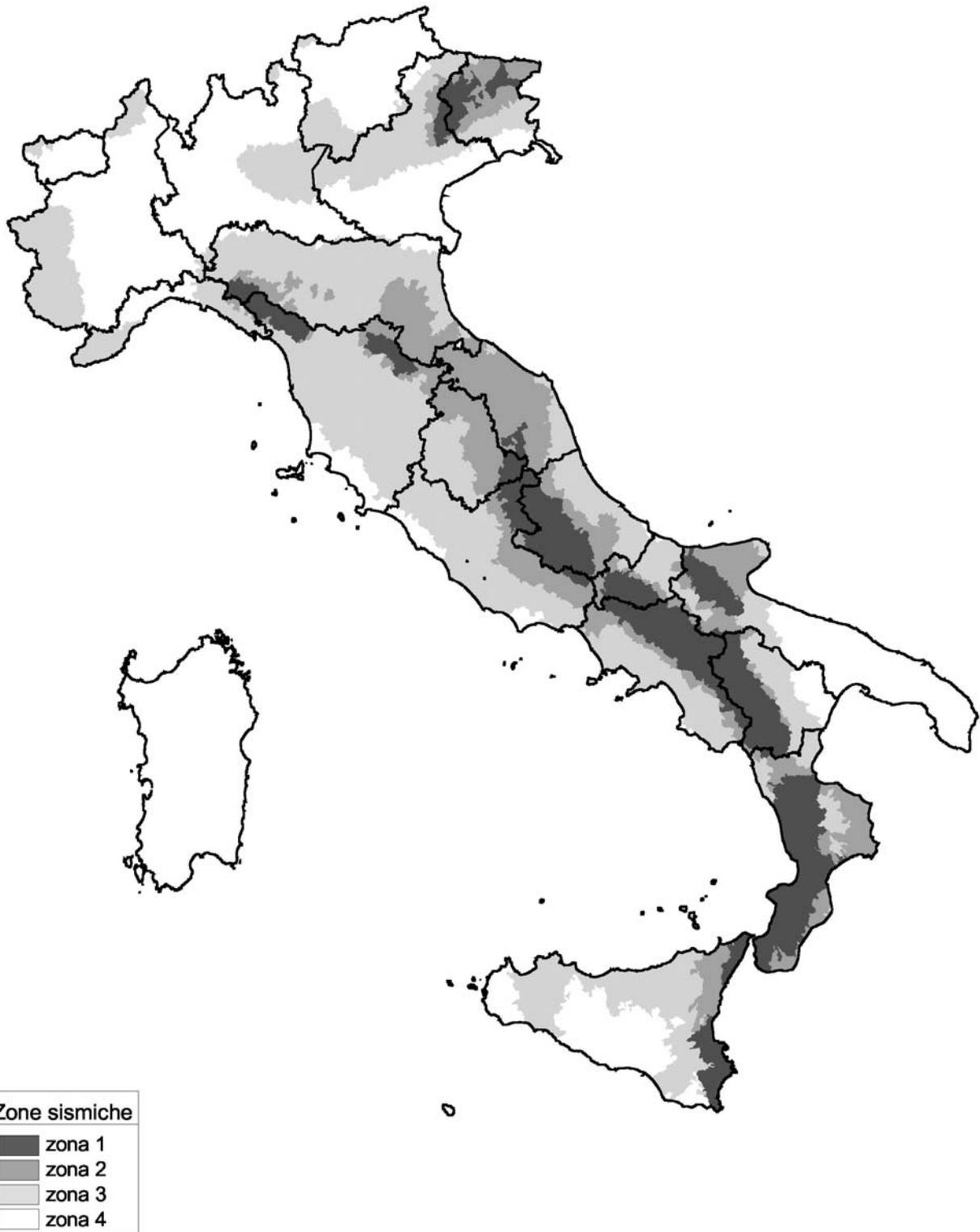


Fig. 3: ipotesi di classificazione sismica ottenibile con l'applicazione dei criteri proposti nel presente lavoro

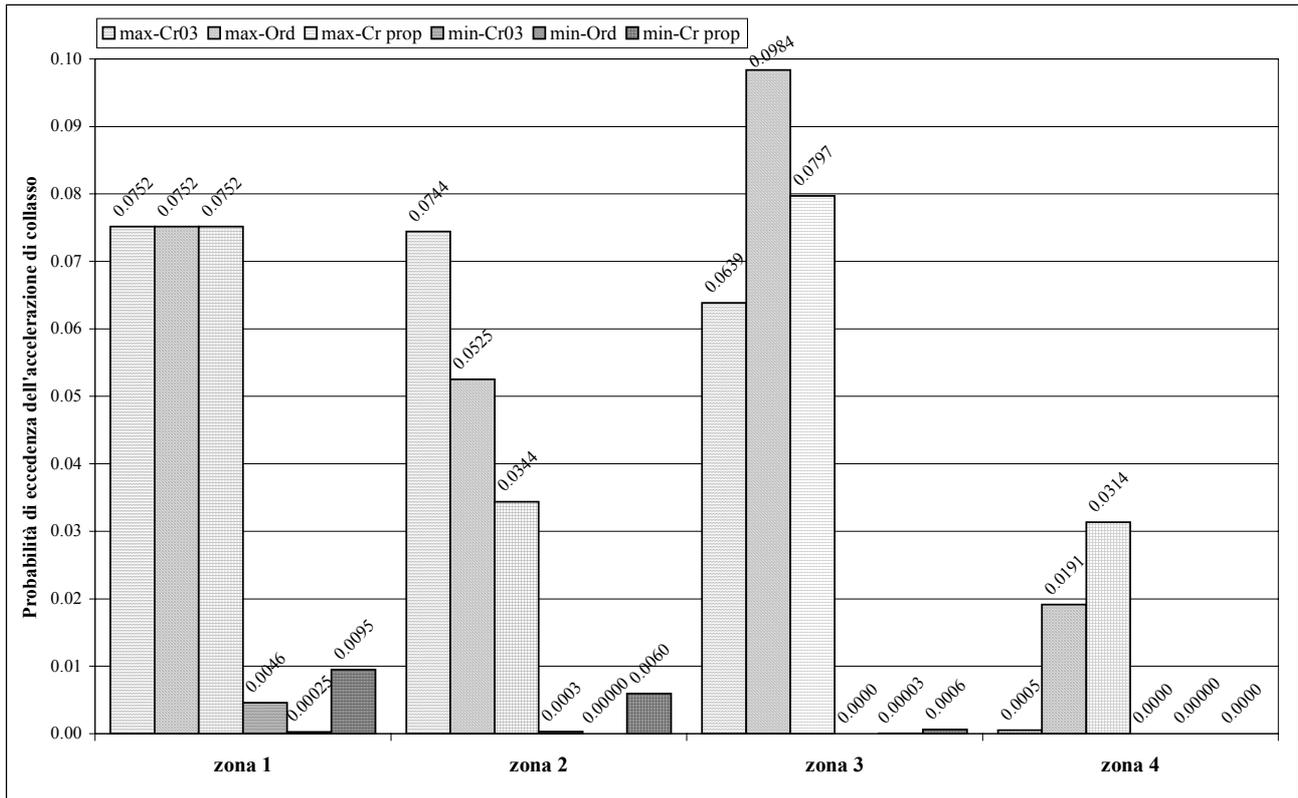


Fig. 4: Valori massimi e minimi della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di collasso per le diverse zone sismiche, relativi alle tre diverse classificazioni analizzate (criteri 2003 applicati ai valori di PGA 2001, Ordinanza 2003, nuovi criteri proposti)

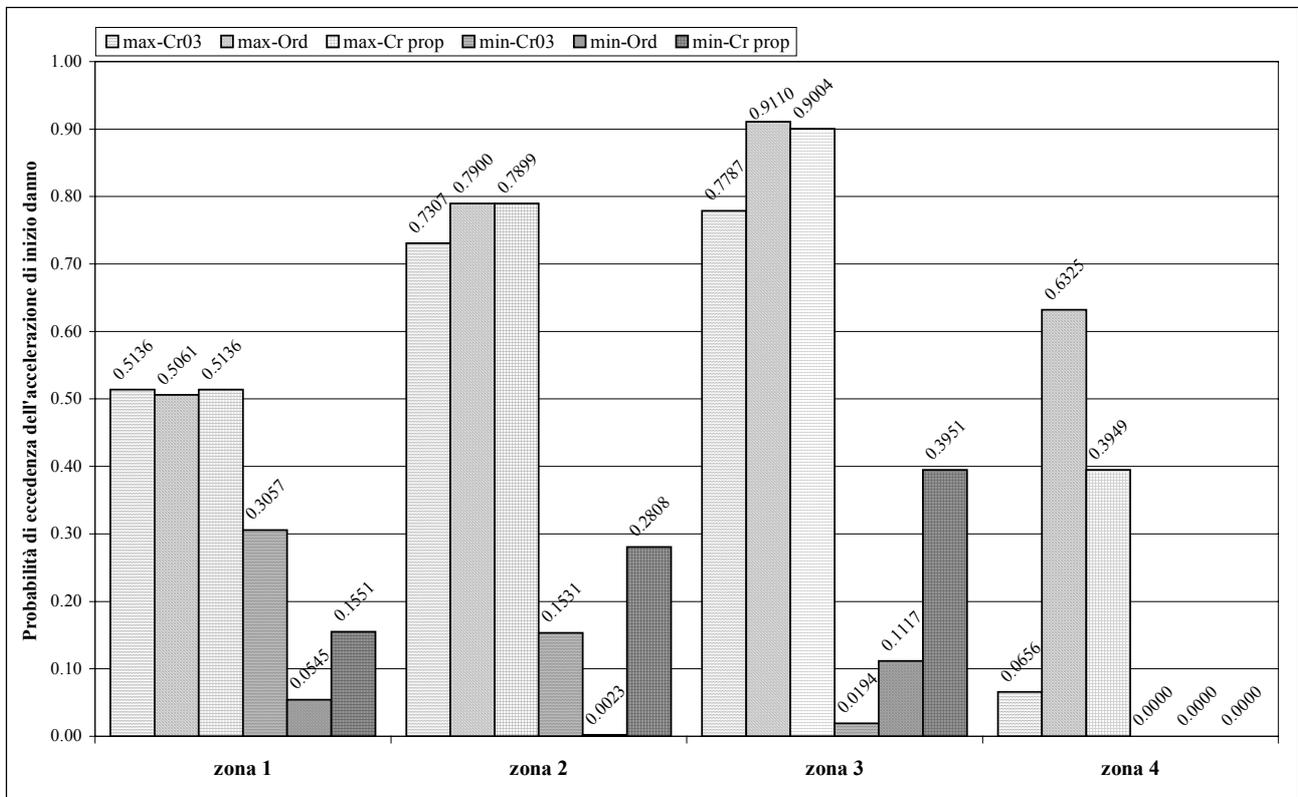


Fig. 5: Valori massimi e minimi della probabilità di eccedenza dell'accelerazione di inizio danno, per le diverse zone sismiche, relativi alle tre diverse classificazioni analizzate (criteri 2003 applicati ai valori di PGA 2001, Ordinanza 2003, nuovi criteri proposti)

Dal confronto dei risultati ottenuti per le tre diverse classificazioni, emerge una serie di differenze, sia considerando parallelamente le stesse zone nei tre casi esaminati, sia considerando, per ognuno di questi, i valori ottenuti per le diverse zone. Con l'applicazione dei criteri proposti nel presente lavoro, si compie sicuramente un passo avanti nella direzione di una maggiore equità per i comuni appartenenti ad un'unica zona, fatto che si nota particolarmente per le zone 2 e 3 per quanto riguarda la probabilità di eccedenza dell'accelerazione di collasso, per rendersi conto degli ordini di grandezza delle variazioni riscontrate, basta osservare come con i criteri dell'Ordinanza si ha una variazione tra i valori massimi e minimi superiore a 10^2 per la zona 2 e superiore a 10^4 (con valori minimi tendenti a zero) per la zona 3. Con la classificazione dell'Ordinanza, per la zona 2 la variazione è superiore a 10^4 (anche in questo caso con valori minimi tendenti a zero) e per la zona 3 a 10^3 . Osservando invece quanto ottenuto con i criteri proposti, si nota che si ha una variazione inferiore a 10 per la zona 2 e dell'ordine di 10^2 per la zona 3. Per quanto riguarda la zona 1, la situazione peggiore è relativa alla classificazione dell'Ordinanza, dove il rapporto tra valore massimo e minimo è pari circa a 10^2 rispetto alle altre due dove tale rapporto si aggira al massimo intorno a 10, comunque con una maggiore regolarità nel caso dei nuovi criteri proposti nel presente lavoro. La zona 4 presenta, come atteso, valori di probabilità di accelerazione di collasso minimi, e valori di inizio danno comunque inferiori a quelli delle altre zone in tutti e tre i casi.

La probabilità di eccedenza dell'accelerazione di inizio danno, invece si mantiene abbastanza costante nella maggior parte dei casi, con un rapporto massimo/minimo inferiore a 10; fanno però eccezione la zona 2 della classificazione dell'Ordinanza (rapporto > 300) e la zona 3 ottenuta dall'applicazione dei criteri dell'Ordinanza (rapporto > 40); questi valori sono una ulteriore conferma delle perplessità sui criteri di assegnazione dei comuni alle diverse zone.

Un commento particolare si impone per la zona 4: il metodo di analisi utilizzato per determinare la pericolosità sismica, assunta come base per queste considerazioni, comporta che un elevato numero di comuni, circa 450, compresi nella zona 4 sia caratterizzato da distribuzioni di probabilità di superamento di un assegnato valore di accelerazione identicamente uguali a zero. Questo fatto, unitamente alla scelta di includere in zona 4 tutti i comuni non classificati nelle altre, spiega la presenza di valori minimi nulli e valori medi molto bassi per la probabilità di eccedenza della accelerazione di collasso e di inizio danno in tutte e tre le ipotesi di classificazione. La stessa osservazione fa pensare che sarebbe opportuno rivedere i metodi di calcolo della pericolosità.

3. Conclusioni

Da tutte le considerazioni sopra esposte, emerge chiaramente che una classificazione basata su criteri troppo semplificati (PGA per 475 anni di periodo di ritorno) porta inevitabilmente a eccessi-

ve disparità, anche tra comuni appartenenti alla stessa zona, nei livelli di rischio residuo accettato. Un certo miglioramento si ottiene applicando criteri più articolati come quelli sopra descritti.

Tuttavia, per una soluzione più convincente, sarebbe necessario definire un processo di classificazione che tenga conto di due esigenze.

La prima è quella di riportare nella sede propria, quella politica, la scelta dei livelli di rischio residuo che si ritiene di dover accettare: il compito del momento tecnico scientifico dovrebbe essere quello di fornire una gamma di possibili alternative tra le quali scegliere, evidenziando tutte le incertezze insite nelle analisi di pericolosità e lasciando a chi ha la responsabilità di rappresentare i cittadini il momento della scelta.

La seconda è quella di rendere esplicito sia il rischio di danneggiamento sia il rischio di collasso che si intende accettare e di rendere possibile la decisione in merito a quanto contare sulla resistenza e quanto contare sulla duttilità; una unica classificazione e un rapporto fisso per tutti i comuni tra l'accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta per lo stato limite ultimo e quella dello spettro per lo stato limite di danno conduce inevitabilmente a differenze di protezione tra comune e comune o nel danneggiamento atteso o nel rischio di collasso. Si può risolvere questa incongruenza prevedendo un doppio livello di classificazione, uno rispetto al rischio di collasso l'altro rispetto alla limitazione dei danni attesi; ne seguirebbe, ovviamente, che un comune potrebbe essere incluso in zone diverse nelle due mappe.

4. Bibliografia

- /1/ Servizio Sismico Nazionale, Rischio sismico 2001, Ingegneria Sismica, vol.1 2001 e CD-rom allegato
- /2/ Gruppo di Lavoro 1998: Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale. *Ingegneria Sismica*, 14/1, 1999 disponibile sul sito internet:
www.serviziosismico.it/PROG/1999/proposta_riclass/index_f.html
- /3/ Sabetta F., Pugliese A., Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86, 1996, pp. 337-352
- /4/ Ambraseys N. N., Simpson K. A., Bommer J.J., Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 25, 1996, pp 371-400