

Gli effetti dell'introduzione di una nuova mappa di pericolosità sulla valutazione del rischio sismico in Italia

Helen Crowley¹, Rui Pinho², Marta Faravelli², Valentina Montaldo³, Carlo Meletti³, Gian Michele Calvi², Massimiliano Stucchi³

¹European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering, EUCENTRE, Via Ferrata 1, Pavia Italy

²Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Meccanica Strutturale, Via Ferrata 1, Pavia, Italy

³Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Via Bassini 15, Milano, Italy

Keywords: pericolosità, ordinate spettrali, vulnerabilità, rischio sismico, Italia

ABSTRACT:

L'introduzione di una versione aggiornata della mappa di pericolosità sismica, definita per diversi periodi di ritorno e per svariati valori di ordinate spettrali, porta inevitabilmente a dei cambiamenti sul livello di rischio sismico del costruito italiano. Poiché la relazione tra domanda e capacità non è lineare per tutto il range di periodi di vibrazione strutturale, è necessario valutare il cambiamento del livello di rischio sismico calcolando esplicitamente la vulnerabilità sismica di strutture esistenti con diversi periodi di vibrazione, per diversi stati limite e considerando sia la nuova che la precedente definizione di pericolosità. Nel presente lavoro è stato eseguito un primo studio degli effetti che l'introduzione di mappe aggiornate della pericolosità sismica potrebbe avere sulla valutazione dei livelli di rischio sismico nel territorio italiano. Le caratteristiche generali del costruito sono state ricavate dai dati del 14° Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni (I-STAT 2001), mentre una procedura probabilistica di valutazione sismica per edifici esistenti a scala urbana è stata impiegata per stimare la capacità. Sono stati considerati tutti i tre stati limite prescritti dall'Ordinanza (danno lieve, danno severo, collasso) in corrispondenza dei rispettivi valori di domanda, così come il cambiamento delle forme spettrali in funzione della localizzazione e del periodo di ritorno. I risultati dimostrano che la nuova mappa di pericolosità sismica porta a dei livelli di rischio sismico più realistici e meno allarmanti, rendendo leggermente meno gravoso, anche se non privo di problematiche, il panorama attuale di rischio in Italia.

1 INTRODUZIONE

L'Ordinanza 3724 (OPCM, 2003) prevede la progettazione e valutazione di edifici con una "filosofia" *performance-based*, nella quale diversi livelli di performance devono essere verificati. Per la verifica di edifici esistenti si prendono in considerazione tre stati limite - danno lieve, danno severo e collasso - e si associano a ciascuno di essi azioni sismiche con periodi di ritorno di 72, 475 e 2500 anni rispettivamente. Il primo stato limite, danno lieve, è raggiunto quando la struttura subisce un danno lieve e gli elementi strutturali non presentano significative deformazioni anelastiche. Il secondo stato limite, danno severo, è verificato quando la struttura, pur subendo danni di gravi entità sia agli elementi strutturali che a quelli non strutturali, mantiene una residua resistenza e rigidità nei confronti delle azioni orizzontali e l'intera capacità portante nei confronti dei carichi verticali. L'ultimo stato limite, collasso, è realizzato quando la struttura è pesantemente danneggiata e gli elementi verticali possono appena so-

stenere i carichi gravitazionali e molti elementi non strutturali sono collassati.

Come sopraccitato, la metodologia *performance-based* indicata nell'Ordinanza necessita la definizione delle azioni sismiche corrispondenti ai periodi di ritorno pari a 72, 475 e 2500 anni. In questo articolo sono presentati tre modelli di pericolosità: il primo modello è quello tuttora in uso secondo l'Ordinanza 3274, il secondo consiste nelle nuove mappe di pericolosità in termini di PGA allegate all'OPCM 3519 e sviluppate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e dal Dipartimento di Protezione Civile (INGV-DPC, 2006a) mentre l'ultimo modello è rappresentato dalle mappe proposte recentemente in termini di ordinate spettrali in accelerazione (INGV-DPC, 2006b). In questo studio tutti i tre modi per rappresentare la pericolosità sono stati presi in considerazione per calcolare il danno previsto per i tre periodi di ritorno poiché lo scopo di questo lavoro è mettere in luce, in fase preliminare, le conseguenze che l'adozione degli ultimi aggiornamenti della pericolosità sismica potrebbe portare sulla valutazione del rischio sismico del patrimonio italiano.

2 PERICOLOSITÀ SISMICA

Attualmente l'OPCM 3274 rappresenta l'input sismico con uno spettro di risposta elastico in accelerazione di forma stabilita, uguale per tutti i comuni e per tutti gli stati limite, ancorato alla PGA (accelerazione di picco del suolo) indicata da una mappa di pericolosità allegata alla normativa¹. Tale mappa stabilisce quattro zone sismiche assegnando ad ognuna una PGA con periodo di ritorno pari a 475 anni (Figura 1). Le azioni sismiche con un periodo di ritorno di 72 e 2500 anni sono ottenute scalando con opportuni fattori stabiliti dalla normativa gli spettri per 475 anni (vedi Figura 2), arrivando quindi ai valori riportati nella Tabella 1. Questa descrizione della pericolosità sismica è chiamata nel presente lavoro Modello 1.

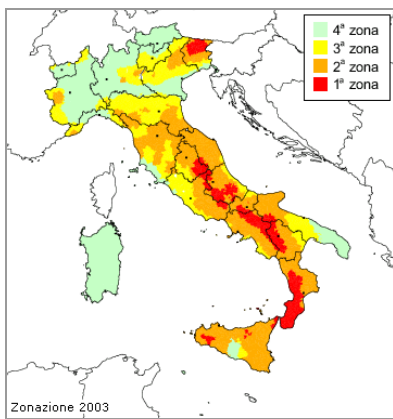


Figura 1. Zone sismiche nell'Ordinanza 3274 (OPCM, 2003)

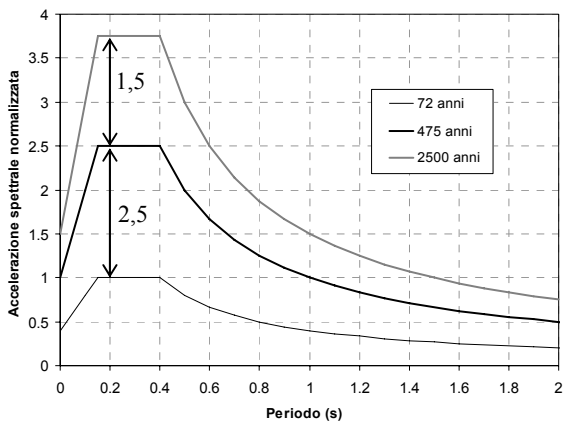


Figura 2. Forma spettrale nell'Ordinanza 3274 (OPCM, 2003) e fattori di scala per i tre stati limite

Recentemente è stato introdotto un nuovo modello di pericolosità sismica per l'Italia (OPCM 3519): una mappa scientificamente aggiornata della pericolosità sismica, con una griglia sia di 0.05° che di 0.02° , in termini di accelerazione attesa sul suolo rigido (categoria A, $V_{S30} > 800\text{m/s}$) per un periodo di ritorno pari a 475 anni. Successivamente sono state prodotte altre mappe di pericolosità per vari periodi di ritorno (da 30 a 2500 anni) (Figura 3) facenti par-

¹ Nel presente lavoro, il termine "normativa" viene usato come riferimento all'OPCM 3274.

te del progetto INGV-DPC S1 (INGV-DPC, 2006a).

Tabella 1. Valori di PGA nelle quattro zone sismiche per i tre stati limite considerati²

Stato Limite	Zona Sismica	PGA (g)
Danno Lieve $T_R = 72$ anni	1	0.14
	2	0.10
	3	0.06
	4	0.02
Danno severo, $T_R = 475$ anni	1	0.35
	2	0.25
	3	0.15
	4	0.05
Collasso, $T_R = 2500$ anni	1	0.525
	2	0.375
	3	0.225
	4	0.075

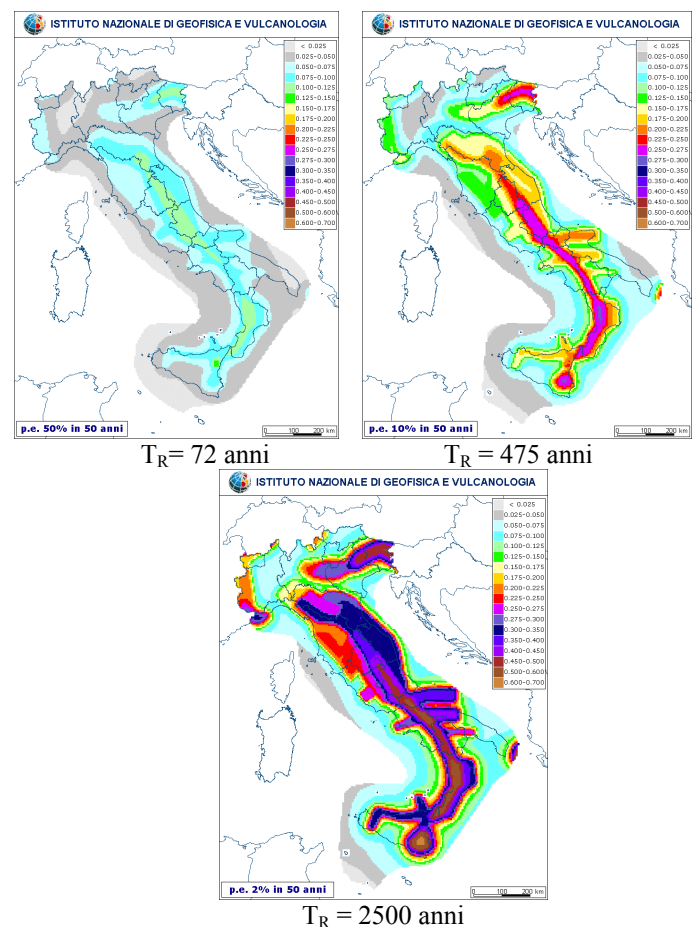


Figura 3. Valori di PGA per i tre periodi di ritorno (INGV-DPC, 2006a)

Per ogni elaborazione sono state prodotte le carte che rappresentano la mediana (50mo percentile), il 16mo e l'84mo percentile della distribuzione di 16 valori di PGA corrispondenti ad altrettanti rami di un albero logico che prende in considerazione le incertezze epistemiche (nella legge di attenuazione, nel magnitudo massima, ecc.). Nel presente studio

² Si fa notare che la scelta dei valori di PGA associati alle quattro zone sismiche definite nell'OPCM 3274, è dipesa anche da fattori non unicamente tecnico-scientifici; questo va quindi preso in considerazione nell'interpretazione dei confronti successivi.

sono state considerate solo le mappe mediane poiché l'Ordinanza 3519 tiene conto solo della mediana.

La Figura 4 mostra la percentuale dei comuni in cui si ha un valore di PGA più grande con queste nuove mappe di pericolosità rispetto alle precedenti, distribuita fra le quattro zone sismiche.

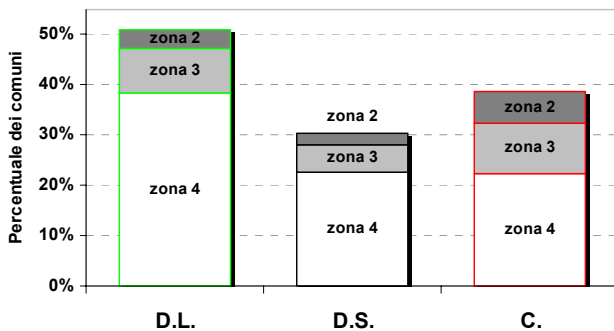


Figura 4. Percentuale dei comuni dove la pericolosità delle mappe di Figura 3 sono più alte della pericolosità nell'OCPM 3274 e distribuzione fra le quattro zone (Gavridou *et al.*, 2006)

Si nota che la pericolosità è diminuita in tutti i comuni appartenenti alla zona 1 mentre è aumentata dei comuni della zona 4. I valori di PGA per tutti i comuni e per tutti i tre stati limite possono essere ancorati alla forma spettrale dell'OPCM 3274, considerando che non c'è più bisogno di utilizzare i fattori di scala per i diversi periodi di ritorno; la pericolosità così descritta è chiamata Modello 2.

La Figura 5 mostra le aree in cui il nuovo valore di PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportato nella nuova mappa allegata all'OPCM 3519 (Figura 3) è più elevato rispetto al valore indicato dalla mappa allegata all'OPCM 3274 (Figura 1). La Figura 5 potrebbe indicare le aree che dovrebbero subire livelli di danno più basso (in bianco) e più alto (colorato).³, tuttavia non è così perché questa rappresentazione non prende in considerazione il rapporto tra il contenuto in frequenza dello scuotimento e il periodo di vibrazione degli edifici. Per considerare la frequenza è quindi necessario calcolare il danno con uno spettro di risposta. Lo spettro di risposta prescritto dalla normativa non è uno spettro di pericolosità uniforme ('uniform hazard spectrum') perché la forma è costante senza tener conto del periodo di ritorno e della sismicità della regione (vedi per es. Bommer, 2006). Pertanto, un'ulteriore aggiornamento della pericolosità Italiana è stato eseguito recentemente per calcolare gli spettri di pericolosità uniforme a livello nazionale sempre all'interno del Progetto INGV-DPC S1 (INGV-DPC, 2006a).

Il progetto INGV-DPC S1 ha prodotto delle mappe con una griglia di 0.05° indicanti le ordinate spettrali in accelerazione per vari periodi che vanno da

0.1 s a 2 s, sempre per i periodi di ritorno di interesse. E' quindi possibile costruire gli spettri per punti e non è più necessario utilizzare la forma indicata dalla normativa. Quest'ultima rappresentazione è chiamata nel presente studio Modello 3.

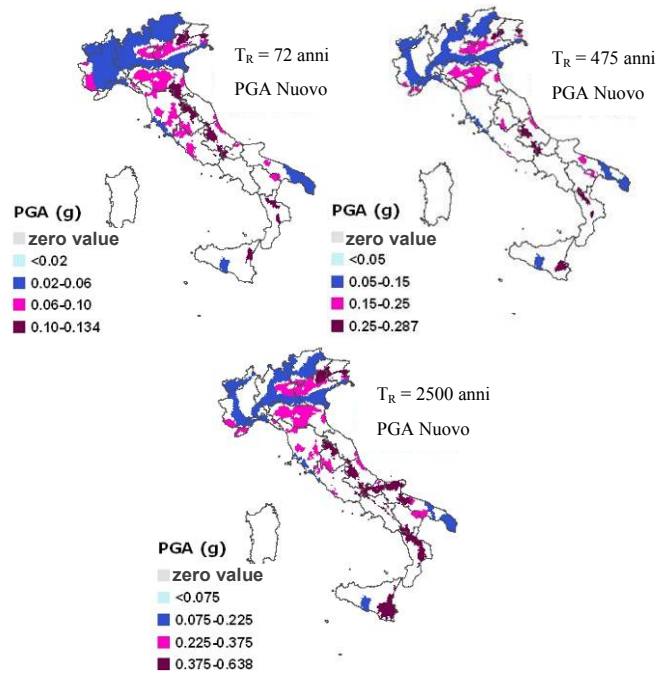


Figura 5. Comuni in cui il valore di PGA è più elevato nella mappa allegata all'OPCM 3519 rispetto al valore indicato nella mappa di pericolosità dell'OPCM 3274

Una volta ottenuti gli spettri mediani in accelerazione per i tre stati limite con i tre modelli di pericolosità descritti, sono stati trasformati in spettri in spostamento con la seguente espressione:

$$S_{De}(T) = S_{Ae}(T) \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (1)$$

dove S_{De} è la risposta elastica in spostamento, S_{Ae} è la risposta elastica in accelerazione e T è il periodo in secondi. Si ipotizza un andamento piatto per lo spettro di risposta elastico dello spostamento per valori del periodo superiori a 2 secondi. Si nota che gli spettri sono stati calcolati per un suolo di tipo A, cioè suolo rigido, non essendo a conoscenza del tipo di suolo di ogni comune.

3 ESPOSIZIONE

Le caratteristiche generali del costruito sono state ricavate dai dati del 14° Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni (ISTAT 2001). Per ogni comune italiano tale fonte ha fornito il numero di edifici in muratura portante, in cemento armato e in altro materiale (che molto probabilmente include acciaio, legno, ecc.), il numero di edifici totali ad uso abitativo (cioè non divisi in base al materiale di costruzione) per epoca di costruzione e il numero totale degli edifici con n piani fuori terra ($n = 1, 2, 3,$

³ E' necessario precisare che non si sono presi in considerazione i comuni della Sardegna in quanto la nuova mappa di pericolosità non è ancora stata estesa a questa regione.

più di 3). Per costruire un database sufficientemente dettagliato per uno studio di rischio sismico a livello nazionale, è necessario avere informazioni sul numero degli edifici con n piani fuori terra per epoca di costruzione e tipo di materiale in ogni comune; purtroppo questi dati non sono attualmente disponibili ed è quindi stato necessario fare delle ipotesi per ottenere i dati nel formato richiesto. Il numero degli edifici costruiti divisi per epoca di costruzione e tipo di materiale è disponibile a livello provinciale e quindi la percentuale degli edifici costruiti in cemento armato e muratura in ciascuna epoca è stata calcolata per le province e poi estesa ai comuni. Per calcolare il numero di edifici con n piani fuori terra per tipo di materiale è stato necessario introdurre un'ipotesi nel presente lavoro: la distribuzione è uguale per la muratura e per il cemento armato ed è quella riportata per ogni comune per tutti gli edifici. Poiché la maggioranza del costruito italiano è in muratura portante (Figura 6), questa ipotesi dovrebbe essere ragionevole per questo tipo di edifici. Per gli edifici in cemento armato invece la distribuzione in altezza è sicuramente diversa, con una concentrazione degli edifici con più di 3 piani. Tuttavia, poiché nel presente lavoro i risultati sono presentati per il patrimonio totale, l'influenza di questa ipotesi dovrebbe essere minima visto che la percentuale degli edifici in cemento armato è molto inferiore alla percentuale di quelli in muratura. Nonostante ciò, l'influenza della distribuzione in altezza sui risultati per il solo cemento armato potrebbe essere notevole, ed è quindi stata presa in considerazione un'altra ipotesi per gli edifici in cemento armato, che sarà presentata successivamente.

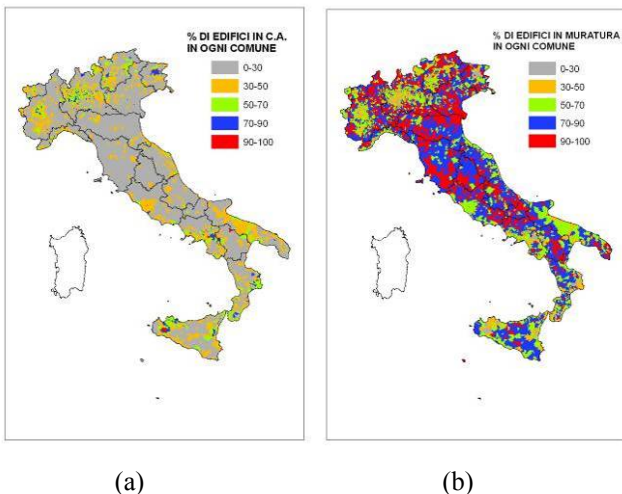


Figura 6. Percentuale di edifici in (a) cemento armato e (b) muratura in ogni comune.

Per gli edifici in muratura, sono state identificate quattro classi in funzione del numero di piani, mentre per il cemento armato le classi sono state definite considerando il numero di piani, l'anno di costruzione e l'anno di classificazione per ciascun comune per dividere gli edifici non-progettati da quelli progettati sismicamente e per considerare i cambiamenti nelle tecniche di progettazione che influiscono sul

tipo di acciaio utilizzato e sul livello di confinamento raggiunto (per ulteriori informazioni vedi Faraveli, 2006). Si è quindi calcolato il numero di edifici che appartengono ad ogni classe in ogni comune italiano.

4 VULNERABILITÀ SISMICA

La vulnerabilità sismica è stata elaborata tramite la procedura DBELA (Displacement-Based Earthquake Loss Assessment) che utilizza un metodo probabilistico di valutazione della vulnerabilità basato sugli spostamenti (Crowley *et al.*, 2004) per gli edifici in cemento armato. Per quanto riguarda gli edifici in muratura, la procedura proposta da Calvi (1999) è stata implementata con ulteriori sviluppi proposti da Restrepo-Velez e Magenes (2004). Questi approcci basati sugli spostamenti utilizzano un legame tra il periodo di vibrazione e la capacità in spostamento per confrontare quest'ultima con la domanda in spostamento. Il periodo di vibrazione viene stimato con una relazione semplificata in funzione dell'altezza degli edifici (Crowley and Pinho, 2004; 2006). La capacità in spostamento è derivata modellando l'edificio come un sistema ad un grado di libertà con una certa deformata che dipende dal meccanismo di collasso: si ipotizza che gli edifici in cemento armato ben progettati mostrino un meccanismo di collasso a colonna forte e trave debole (vedi Figura 7a) mentre gli edifici in cemento armato progettati solo per le forze di gravità siano soggetti più probabilmente ad un meccanismo di piano o danno concentrato, come illustrato nella Figura 7b.

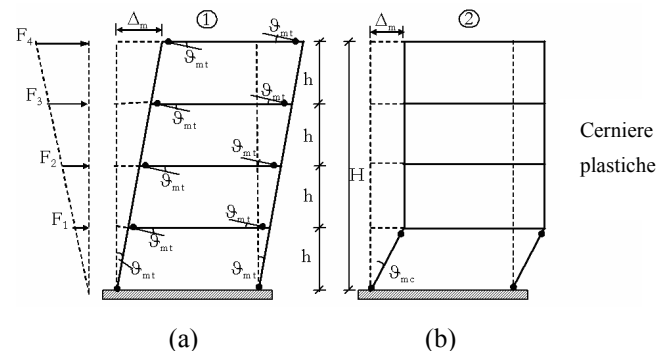


Figura 7. (a) Meccanismo di danno distribuito (b) Meccanismo di danno concentrato per gli edifici in cemento armato

Le formule che esprimono la capacità in spostamento per i due meccanismi necessitano di dati di input che descrivano le proprietà geometriche e dei materiali, come illustrato nell'Eq. (2) che riporta la capacità in spostamento per il primo stato limite, Δ_y , (snervamento) per un edificio con un meccanismo di danno distribuito:

$$\Delta_y = 0.5e_{fh}H\varepsilon_y \frac{l_b}{h_b} \quad (2)$$

dove e_{fn} è il coefficiente di altezza efficace, H è l'altezza totale, e_y è la deformazione a snervamento dell'acciaio, l_b è la lunghezza della trave, h_b è l'altezza della sezione di trave.

Per questo studio, le proprietà degli edifici (per es. lunghezza della trave, altezza interpiano, deformazione dell'acciaio, ecc.) sono stati ricavati da Marino (2005); Marino ha raccolto i dati necessari utilizzando un campione di 82 edifici in Liguria e ha riportato la variabilità di ogni parametro. Perciò, per ogni gruppo di edifici in cemento armato, la variabilità dei diversi parametri è stata combinata (con metodi di affidabilità) per calcolare la variabilità della capacità in spostamento.

Per gli edifici in muratura, il meccanismo di collasso considerato nello studio attuale è un meccanismo di piano che si manifesta a piano terra (Figura 8). Restrepo-Velez e Magenes (2004) hanno considerato altri meccanismi di collasso che si verificano in altri piani dell'edificio ma, nell'assenza di una raccolta di dati più dettagliati sul costruito, non è stato possibile prevedere *a priori* la percentuale di edifici con questi ulteriori meccanismi. I dati di input per le formule di capacità in spostamento sono l'altezza interpiano, l'altezza del maschio murario e la capacità di rotazione inter-piano.

La variabilità di questi parametri è stata ricavata dal lavoro di Restrepo-Velez e Magenes (2004) ed è quindi stato possibile calcolare la variabilità nella capacità di spostamento dei diversi gruppi di edifici in muratura.

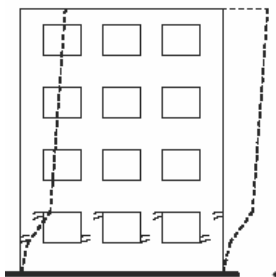


Figura 8. Meccanismo di collasso considerato per gli edifici in muratura (Restrepo-Velez and Magenes, 2004)

5 SCENARI DI DANNO

Le componenti di rischio sismico (pericolosità sismica, esposizione e vulnerabilità) descritte in precedenza, possono essere combinate per calcolare il rischio sismico. In questo lavoro, sono stati invece calcolati scenari di danno o livelli di rischio condizionato, poiché dipendono dal periodo di ritorno

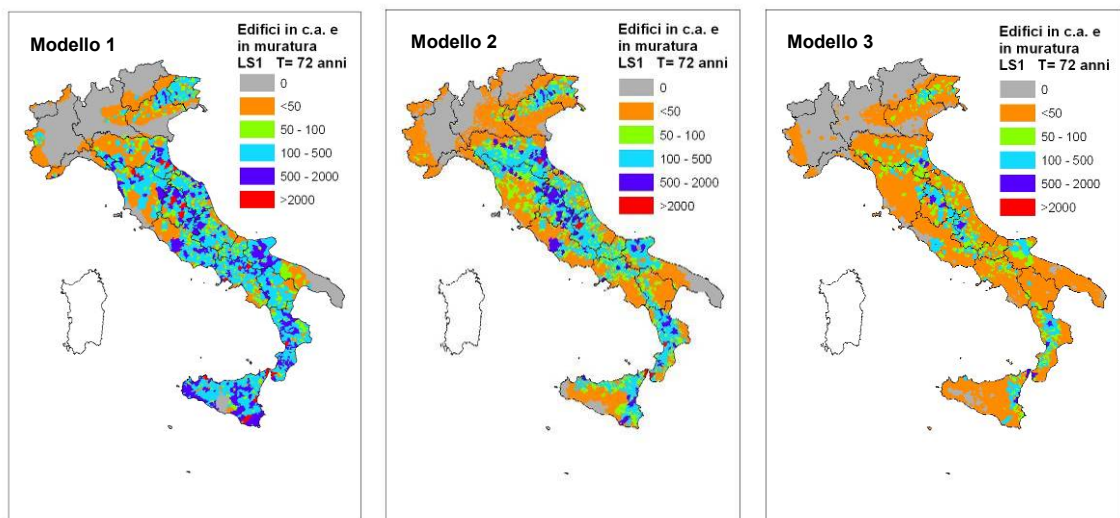
preso in considerazione. Per calcolare questi scenari di danno, la variabilità della capacità è abbinata allo spettro di risposta (che è considerato deterministico) per calcolare la percentuale degli edifici che supera lo stato limite in esame per ogni comune italiano e per ogni classe di edifici. Questa percentuale viene moltiplicata per il numero di edifici appartenenti ad ogni gruppo e sommando i risultati per tutti i gruppi si arriva ad avere per ogni comune italiano il numero di edifici che superano i tre stati limite in esame: danno lieve, danno severo e collasso. I risultati ottenuti con i tre modi di pericolosità e per i tre stati limite sono presentati nella Figura 9.

Lo scopo del presente lavoro è di mettere in evidenza l'influenza che le nuove mappe di pericolosità potrebbero avere sul rischio sismico a livello nazionale. Il presente è uno studio preliminare che dipende dalle ipotesi descritte in precedenza, perciò non sono rilevanti i numeri assoluti presentati, bensì l'andamento da un modello ad un'altro. Infatti, la rappresentazione in Figura 10 è più significativa perché riporta la differenza tra il numero di edifici calcolato con due modi diversi: da queste mappe si può ricavare la percentuale dei comuni con una riduzione, un aumento e con nessun cambiamento nel numero di edifici che superano lo stato limite passando da un modello di pericolosità ad un'altro (Figura 11).

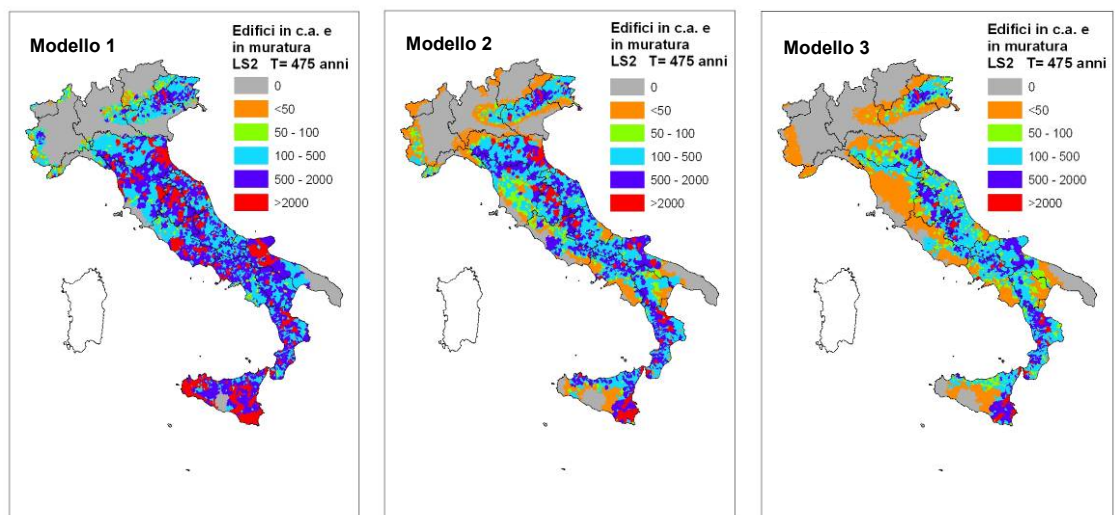
La differenza tra Modello 1 e Modello 2 mostra l'influenza della più aggiornata descrizione della PGA per i diversi stati limite: si nota che nella maggioranza dei comuni c'è una diminuzione o nessuna differenza nel numero di edifici che superano gli stati limite. La differenza tra Modello 2 e Modello 3 mostra invece l'influenza della forma spettrale per i diversi stati limite insieme all'utilizzo dei nuovi valori di PGA: questa figura mette in evidenza la forte influenza che la forma spettrale ha sui risultati, dimostrando che la forma spettrale attualmente in vigore porta ad una sovrastima del danno in una gran parte del paese.

L'ultimo confronto riportato in Figura 11 illustra la differenza tra il Modello 1, in cui si utilizza l'input sismico proposto dall'OPCM 3274, e la nuova rappresentazione della pericolosità sismica che include sia i nuovi valori di PGA per i diversi periodi di ritorno sia le ordinate spettrali che descrivono una forma spettrale che cambia da comune a comune e che dipende dal periodo di ritorno. L'influenza cumulativa di questi fattori porta ad un livello di danno ridotto nella maggioranza dei comuni per tutti i tre stati limite considerati.

Danno Lieve



Danno Severo



Collasso

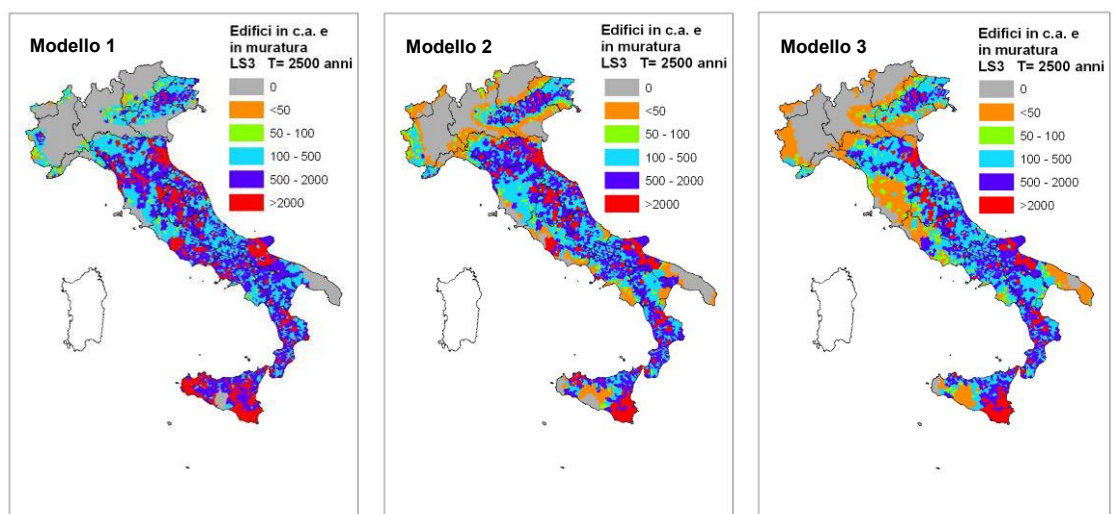


Figure 9. Scenari di danno per i tre modelli di pericolosità per i tre stati limite (danno lieve, danno severo, collasso). Si fa notare che questi valori sono validi solo a scopo di confronto.

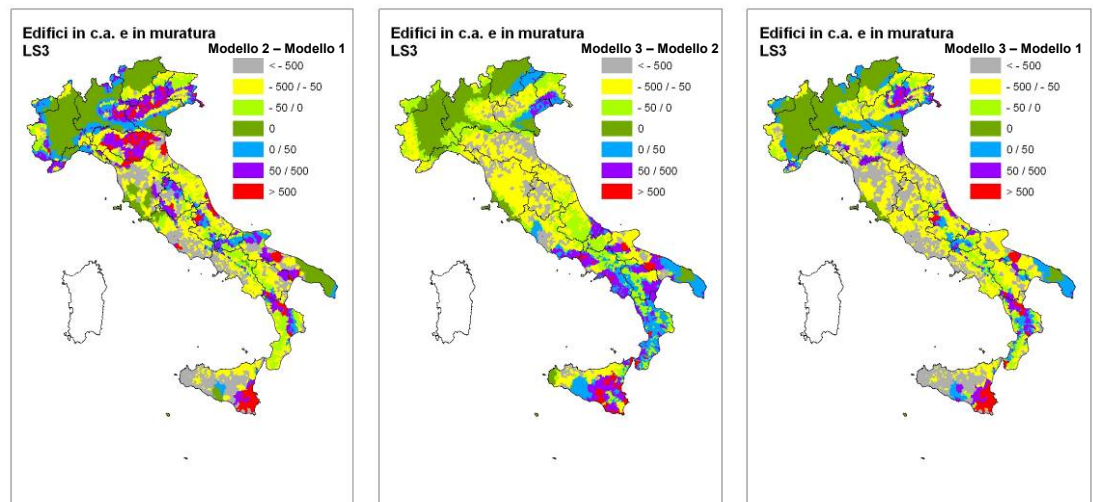
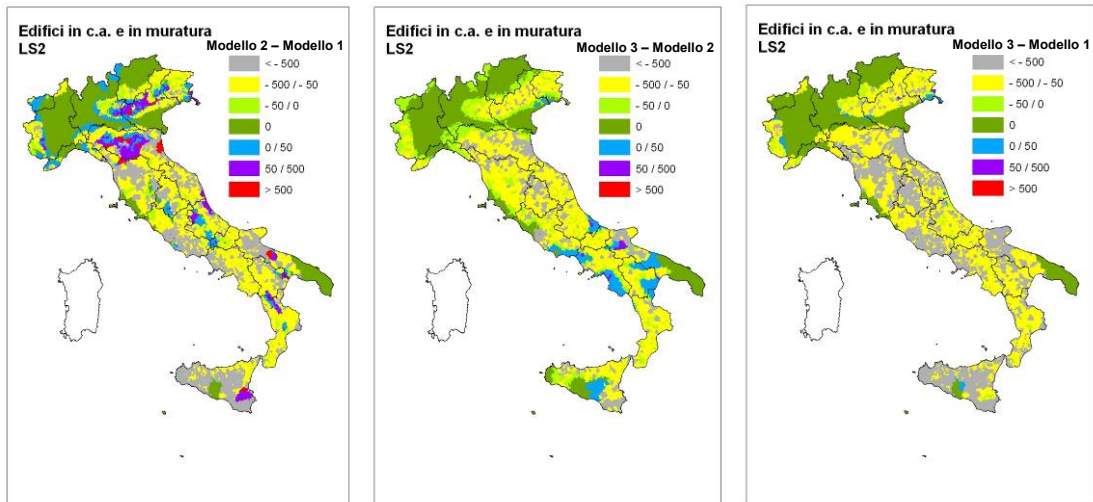
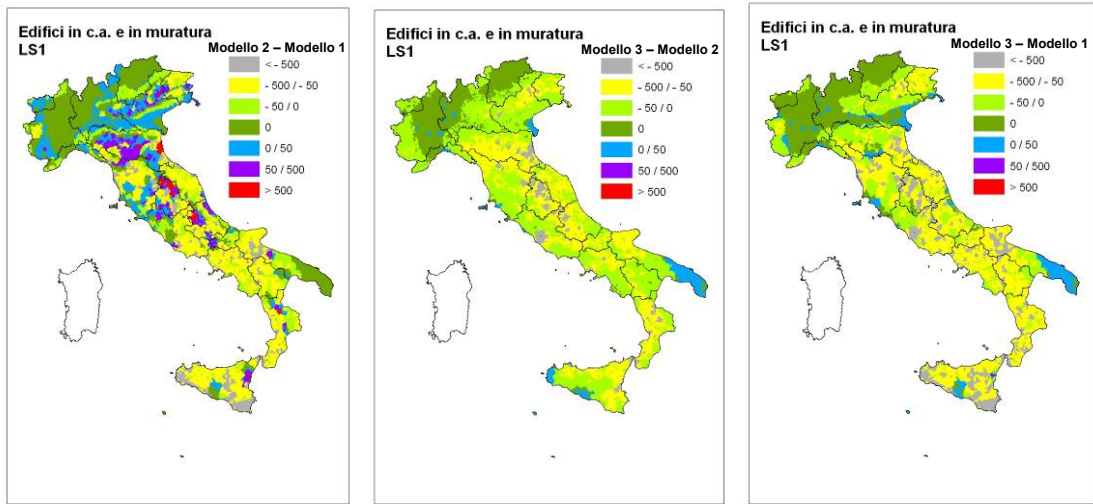


Figure 10. Mappe che mostrano la differenza tra il numero di edifici che superano lo stato limite passando da un modello ad un'altro. Si fa notare che questi valori sono validi solo a scopo di confronto.

Nonostante la netta riduzione del numero di edifici che superano gli stati limite a livello nazionale, le mappe riportate in Figura 10 mostrano anche i co-

muni in cui il nuovo modello di pericolosità potrebbe portare ad un aumento del numero di edifici. Confrontando la Figura 10 con la Figura 5, si vede

che la maggioranza delle aree che mostrano un aumento della PGA in Figura 5 presentano in Figura 10 un aumento del numero di edifici che superano lo stato limite quando si passa dal Modello 2 al Modello 1, ma questa correlazione diminuisce quando si osservano i risultati ottenuti con il Modello 3 dove è considerata anche la variazione della forma spettrale. In Puglia si verifica un aumento della PGA (Figura 5), ma questo aumento non porta ad un aumento del numero di edifici che superano lo stato limite quando si considera lo stesso spettro (cioè da Modello 2 a Modello 1), invece con l'utilizzo degli spettri di pericolosità uniforme (Modello 3) per il primo e l'ultimo stato limite il numero di edifici aumenta dimostrando l'importanza dell'influenza della forma spettrale.

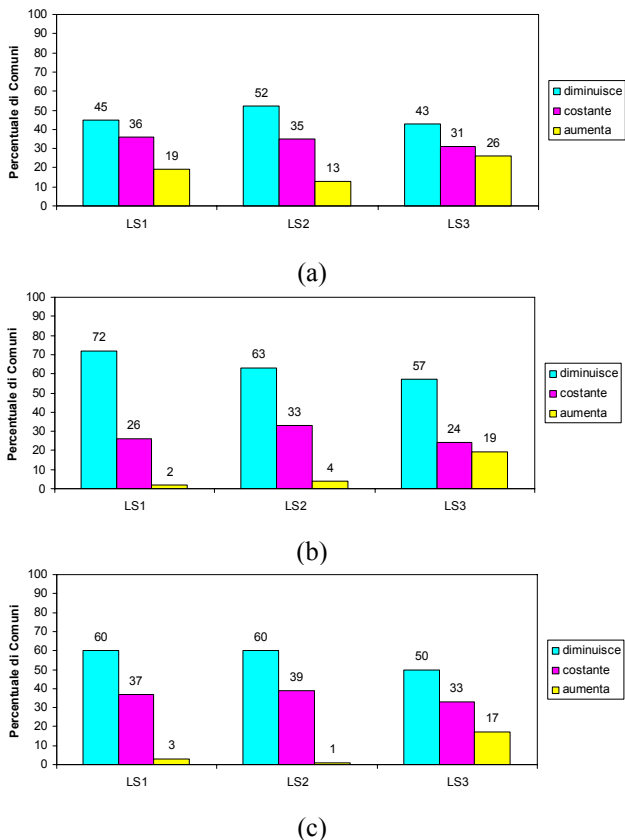


Figura 11. Edifici in c.a. e in muratura: confronto tra il percentuale di comuni dove il numero di edifici diminuisce, rimane costante o aumenta per i tre stati limite e per i tre tipi di input sismico (a) tra Modello 1 e Modello 2, (b) tra Modello 2 e Modello 3 e (c) Modello 1 e Modello 3.

6 STUDIO PARAMETRICO SULLA DISTRIBUZIONE IN ALTEZZA

I risultati presentati nelle precedenti figure sono stati ottenuti con un'ipotesi sulla distribuzione in altezza che si chiamerà "Assumption A": gli edifici in cemento armato sono raggruppati nelle quattro categorie considerate dall'ISTAT: 1 piano, 2 piani, 3 piani, 4 e più piani. La quantità di edifici per ogni numero di piani, espressa come percentuale del numero totale di edifici nel comune in esame, è calco-

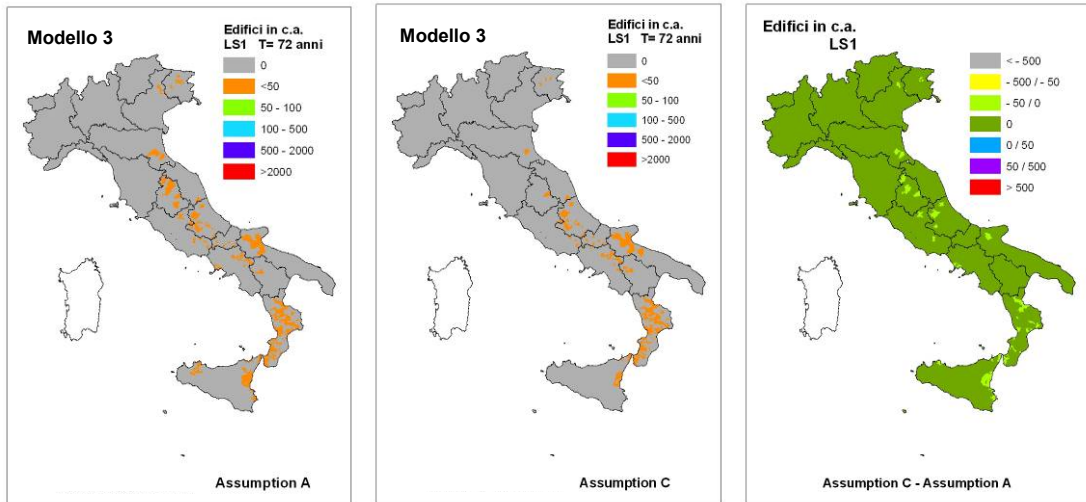
lata utilizzando i dati dell'ISTAT ed è la stessa applicata ad ogni tipo di costruzione. Ad esempio, se in un certo comune il 50% della totalità degli edifici è a 2 piani, allora si assume che il 50% degli edifici in cemento armato in quel Comune sono a 2 piani e lo stesso vale per il 50% degli edifici in muratura.

Come accennato prima, questa ipotesi è poco significativa per gli edifici in cemento armato che solitamente presentano un maggior numero di piani rispetto agli edifici in muratura. Perciò è stata introdotta una nuova distribuzione delle altezze che si nominerà "Assumption C"⁴ e che si basa su un concetto diverso: si ritiene che la percentuale di edifici in cemento armato con n piani in ogni comune vari a seconda del numero degli edifici in cemento armato presenti in quel comune. Gli edifici in cemento armato sono raggruppati in tre categorie: 1 piano, 2 piani, 3&4 piani, più di 4 piani. In ogni comune il numero di edifici in cemento armato per ogni categoria dipende dalla dimensione del comune espressa in termini del numero totale di edifici in cemento armato presenti nel comune stesso. Sono stati considerati quattro diversi intervalli: meno di 100 edifici, tra 100 e 500 edifici, tra 500 e 1000 edifici, più di 1000 edifici. Secondo i dati dell'ISTAT sono 553 i comuni in Italia in cui non vi sono edifici in cemento armato e la cui esposizione risulta quindi nulla.

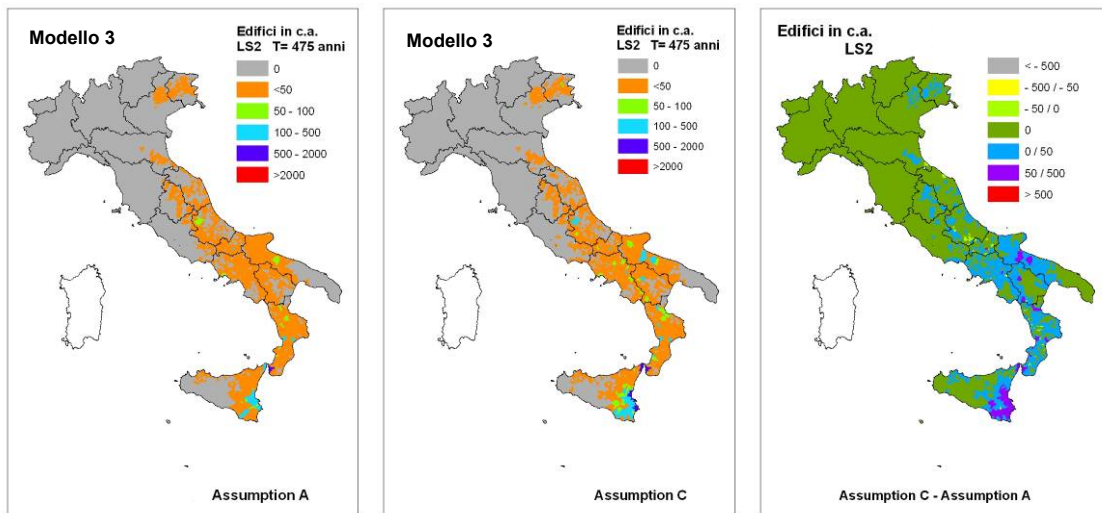
La Tabella 2 mostra il numero di comuni in cemento armato e le percentuali di edifici per ogni categoria. Dopo aver quindi ricalcolato il numero di edifici in cemento armato appartenenti ad ognuno dei gruppi con la distribuzione in altezza Assumption C per ogni comune italiano, si è moltiplicato tale numero per la percentuale di edifici di quel tipo che superano lo stato limite in esame. Si sono così ottenuti i risultati per il solo cemento armato. Alcuni risultati sono mostrati nelle seguenti mappe (Figura 12) e confrontati con i risultati ottenuti con Assumption A: si riportano le mappe per i tre stati limite con una pericolosità di tipo Modello 3. Per il primo stato limite i risultati, se pur molto bassi e poco differenziati all'interno di ogni mappa, mostrano una lieve diminuzione del numero degli edifici utilizzando la distribuzione delle altezze Assumption C. Per il secondo e il terzo stato limite si verifica invece un aumento del numero con la nuova distribuzione, principalmente nel sud Italia.

⁴ Assumption B non è stata considerata nel presente lavoro ma è descritta in Gavridou (2006)

Danno Lieve



Danno Severo



Collasso

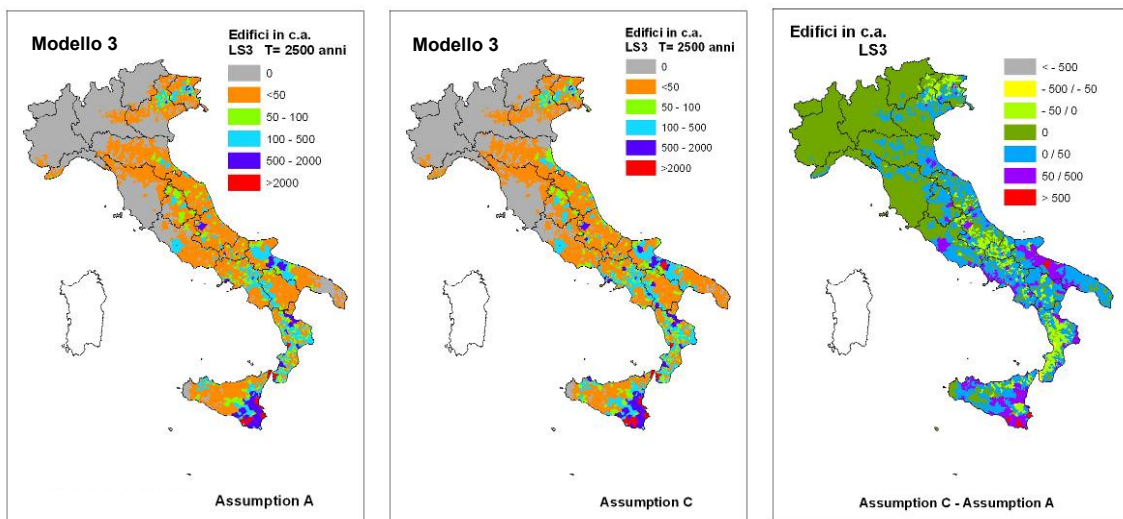


Figure 12. Confronto tra Assumption C e A per i tre stati limite con un input sismico di tipo Modello 3. Si fa notare che questi valori sono validi solo a scopo di confronto.

Tabella 2. Distribuzione delle altezze per gli edifici in cemento armato secondo Assumption C

Numero di edifici in cemento armato in ogni comune	% di edifici con 1 piano	% di edifici con 2 piani	% di edifici con 3-4 piani	% di edifici con > 4 piani
<100	32.5%	32.5%	30%	5%
100-500	22.5%	22.5%	40%	5%
500-1000	15%	15%	45%	25%
>1000	5%	5%	35%	55%

La Figura 13 mostra in un istogramma la percentuale dei comuni in cui si verifica una diminuzione, un aumento o nessun cambiamento con l'introduzione della nuova distribuzione in altezza (Assumption C) per il tipo di input sismico Modello 3. Si vede che per tutti i tre stati limite la maggioranza dei comuni non mostra un cambiamento nel numero di edifici che superano lo stato limite, ma che questa percentuale diminuisce progressivamente passando dal primo all'ultimo stato limite. Invece, la percentuale di comuni in cui il numero di edifici che superano lo stato limite aumenta, cresce passando dal primo all'ultimo stato limite.

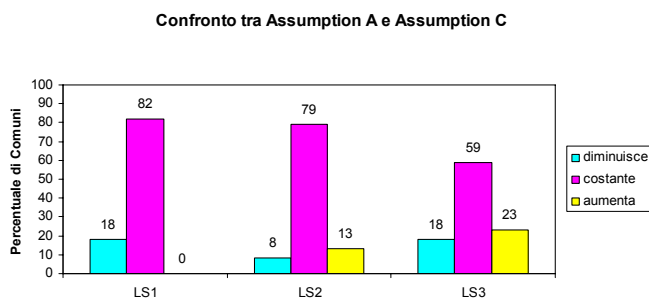


Figure 13. Edifici in c.a. e in muratura: confronto tra le due ipotesi sulla distribuzione in altezza per i tre stati limite, per l'input sismico Modello 3

In generale, i risultati evidenziano che la distribuzione in altezza ha un'influenza notevole sui livelli di danno e quindi è indispensabile che l'ISTAT fornisca i dati dal prossimo Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni con il numero degli edifici con n piani fuori terra diviso per epoca di costruzione e tipo di materiale in ogni comune.

7 CONCLUSIONI

Scopo di questo articolo è stato quello di compiere uno studio preliminare sugli effetti che l'introduzione di una nuova mappa di pericolosità per l'Italia produce nella valutazione del rischio sismico per gli edifici in cemento armato e in muratura. In queste pagine è stato presentato il confronto tra il nuovo modello di pericolosità elaborato dall'INGV-DPC e il modello adottato ad oggi nell'OPCM 3274 per rappresentare l'azione sismica.

L'OPCM 3274 prevede di rappresentare l'input sismico con uno spettro di risposta elastico in accelerazione di forma stabilita, uguale per tutti i comuni e per tutti gli stati limite e indipendente dall'intensità dello scuotimento, partendo dalla PGA indicata nella mappa di pericolosità allegata all'OPCM. Tale mappa stabilisce quattro zone sismiche assegnando ad ognuna una PGA per un livello di scuotimento con periodo di ritorno pari a 475 anni. Le azioni sismiche con un periodo di ritorno di 72 e 2500 anni sono ottenute scalando con opportuni fattori stabiliti nell'OPCM gli spettri per 475 anni. La forma dello spettro di risposta elastico è quindi indipendente dal livello di pericolosità e cambia solo in funzione della zona sismica in esame.

Il nuovo modello di pericolosità è una rappresentazione più precisa e quindi più realistica dell'azione sismica: sono infatti stati calcolati i valori di PGA e le accelerazioni spettrali per vari periodi fino a 2 secondi, per tutti i comuni italiani (7723 su 8101 in quanto non è stata considerata la Sardegna) e per i periodi di ritorno di 72, 475 e 2500 anni. I fattori di scala 1,5 e 2,5 suggeriti nell'OPCM rappresentano il rapporto tra i valori delle ordinate spettrali che si ottengono rispettivamente per un periodo di ritorno di 2500 e 72 anni rispetto a quelle per 475 anni. Gli spettri costruiti con i nuovi dati mostrano che tali fattori di scala non forniscono una buona stima di questo rapporto che in realtà cambia di luogo in luogo e in funzione del periodo (Gavridou *et al.*, 2006).

Per valutare l'entità delle implicazioni prodotte dall'utilizzo della nuova mappa di pericolosità sulla valutazione dello scenario di danno per gli edifici in cemento armato e in muratura, sono stati definiti un certo numero di gruppi di edifici accomunati da caratteristiche fisiche e geometriche, quali il numero di piani, il materiale da costruzione, il livello di confinamento del calcestruzzo e il probabile meccanismo di collasso, ed è stata valutata la loro performance sismica usando un metodo probabilistico basato sugli spostamenti e sulla trasformazione in un sistema ad un grado di libertà. È stato calcolato per tutti i Comuni il numero di edifici appartenenti ad ogni gruppo ed è stato poi moltiplicato per la percentuale degli edifici di quel gruppo che superano i tre stati limite.

Lo studio è stato fatto separatamente per gli edifici in cemento armato e per quelli in muratura, ma per entrambi si è adottata la distribuzione delle altezze presa dall'ISTAT per il numero totale di edifici. Per gli edifici in muratura portante tale distribuzione è da ritenersi realistica perché sono la maggioranza degli edifici presenti sul territorio italiano, non lo stesso può dirsi per quelli in c.a. che invece costituiscono una netta minoranza. Si è deciso quindi di ripetere il calcolo per questi ultimi utilizzando una nuova distribuzione delle altezze che tenesse conto del numero di edifici in cemento armato presenti in ogni comune italiano. I risultati ottenuti con questa seconda ipotesi mostrano in generale un numero più elevato di edifici che superano gli stati limite.

In generale si è trovato che per la maggioranza dei comuni il numero degli edifici che superano gli

stati limite è più basso quando la domanda sismica è rappresentata con i dati derivanti dal nuovo modello di pericolosità anziché con i dati dell'OPCM 3274. Quando si è usata la nuova mappa di pericolosità gli spettri sono stati costruiti in due modi: ancorando i nuovi valori di PGA alla forma spettrale dell'OPCM oppure utilizzando il nuovo spettro costruito per punti conoscendo le ordinate spettrali per vari periodi fino a 2 secondi e in funzione del periodo di ritorno. L'ultimo metodo ha mostrato i valori più bassi del numero degli edifici che superano gli stati limite: l'introduzione di un nuovo modello di pericolosità ha portato quindi alla definizione di un diverso e meno allarmante panorama di rischio sismico in Italia, con un margine più elevato nei confronti del collasso.

Questo risultato è molto positivo perché la sovrastima del rischio data dall'utilizzo del modello di pericolosità proposto dall'OPCM 3274 potrebbe portare ad un effetto controproducente: l'insufficienza di risorse disponibili per contrastare livelli così alti di rischio potrebbe indurre infatti ad un rinvio delle politiche di mitigazione.

Lo studio svolto è stato definito di tipo "preliminare" perché non tiene conto di importanti fattori che influiscono sui risultati finali. Uno sviluppo di questo lavoro consiste quindi nel prendere in considerazione anche l'effetto delle tamponature, definire ulteriori gruppi di edifici in muratura, nell'utilizzare gli spettri per i suoli B, C, D, E per considerare gli effetti del sito in ogni comune e usufruire dell'esatta distribuzione delle altezze per gli edifici in cemento armato e in muratura, in modo da poter avere risultati più realistici.

L'input sismico utilizzato per valutare il rischio in queste pagine è lo spettro elastico in spostamento calcolato partendo dall'accelerazione spettrale. Attualmente è in corso il Progetto S5 (INGV-DPC, 2006b) che ha lo scopo di calcolare gli spettri direttamente in spostamento, in funzione del periodo di ritorno. Un futuro sviluppo sarà quello di considerare la domanda di spostamento direttamente dagli spettri in spostamento e confrontare i risultati così ottenuti con quelli qui presentati.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il supporto del Dipartimento della Protezione Civile, tramite il finanziamento del progetto S1 nell'ambito della Convenzione INGV-DPC 2004-06.

BIBLIOGRAFIA

- Calvi, G.M., 1999. A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of building. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 3, No. 3, pp. 411-438.
- Crowley, H., Pinho, R., Bommer, J.J., 2004. A probabilistic displacement-based vulnerability assessment procedure for earthquake loss estimation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 2, No. 2, 173-219.

- Crowley, H., Pinho, R., 2004. Period-height relationship for existing European reinforced concrete buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 8, Special Issue 1, pp. 93-119.
- Crowley, H., Pinho, R., 2006. Simplified equations for estimating the period of vibration of existing buildings. *Proceedings of the 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland, Paper no. 1122.
- Faravelli, M., 2006. Studio preliminare degli effetti sui livelli di rischio sismico derivanti dall'introduzione di una nuova mappa di pericolosità. *Tesi di Laurea, Università degli Studi di Pavia*, Italia.
- Gavidou, S. (2006). Preliminary study on the impact of the introduction of an updated seismic hazard model for Italy. *MSc Dissertation, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School)*, Pavia, Italia.
- Gavidou, S., Pinho, R., Crowley, H., Calvi, G.M., Montaldo, V., Meletti C., Stucchi, M. (2007). Preliminary study on the impact of the introduction of an updated seismic hazard model for Italy. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 11, Special Issue 1, *in stampa*.
- INGV-DPC S1 (2006a). Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi. <http://esse1.mi.ingv.it>
- INGV-DPC S5 (2006b). Definizione dell'input sismico sulla base degli spostamenti attesi. Available from URL: http://www.ingv.it/progettiSV/Progetti/Sismologici/sismologici_con_frame.htm
- ISTAT 2001. Consultazione dati del 14° Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni, Istituto Nazionale di Statistica, Roma, Available from URL: <http://www.dawinci.istat.it>
- Marino, S. 2005. Rilievo ed elaborazioni statistiche delle caratteristiche di edifici esistenti in cemento armato ai fini della valutazione di scenari di danno, *Tesi di Laurea, Università degli Studi di Pavia*, Italia.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 2006. Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. Ordinanza n. 3519 del 28 aprile 2006.
- Restrepo-Velez, L. e Magenes, G., 2004. Simplified procedure for the seismic risk assessment of unreinforced masonry buildings, *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, paper n. 2561.