

Metodologia per una valutazione, a larga scala, della vulnerabilità sismica. Applicazione alla città di Firenze

Maurizio Ripepe (*), Giorgio Lacanna (*), Pauline Deguy (*),
Mario De Stefano (**), Valentina Mariani (**), Marco Tanganelli (**)

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze, Via La Pira 4, 50121, Firenze, Italy,
maurizio.ripepe@unifi.it, giorgio.lacanna@unifi.it, pauline.deguy@unifi.it

(**) Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, Piazza F. Brunelleschi 6, 50121, Firenze, Italy
mario.destefano@unifi.it, valentina.mariani@unifi.it, marco.tanganelli@unifi.it

Keywords: Vulnerabilità sismica, GIS, centri urbani, Firenze

Abstract

La stima della vulnerabilità sismica delle costruzioni è definita dalle caratteristiche strutturali degli edifici e dalle proprietà geofisiche del sottosuolo. Ricavare tutti questi valori per ogni palazzo, per una statistica su larga scala, rappresenterebbe un obiettivo impossibile da raggiungere. Il presente studio propone quindi una metodologia a campione al fine di definire, per estrapolazione, la vulnerabilità sismica dell'edificato della città di Firenze. Le ricerche sono state basate: sulla definizione delle tipologie costruttive degli edifici relativa all'anno di costruzione ed ai materiali utilizzati (muratura e cemento armato), la creazione di un campione rappresentativo dell'edificato fiorentino, l'analisi delle vibrazioni delle strutture campione e la definizione di un indice di vulnerabilità. I dati ottenuti hanno permesso di trovare una relazione relativa all'area di studio, tra periodo, altezza e tipologia costruttiva; di conoscere il livello di danno probabile in funzione dell'indice di vulnerabilità, dei parametri di costruzioni e dell'accelerazione massima delle onde nel sottosuolo. L'ultima fase del progetto consiste nella creazione di un database GIS capace di raggruppare tutte le informazioni utili per definire la vulnerabilità sismica di un edificio, una zona, un quartiere o di tutta la città.

Introduzione

Il rischio sismico è la valutazione dei danni attesi in un'area e per un tempo definiti. E' basato sul livello sismico (sismicità) del sito, sulla resistenza degli edifici (vulnerabilità) e sul livello di antropizzazione (rischio umano). L'Italia è caratterizzata da un livello sismico medio-alto e da una significativa vulnerabilità sismica con importanti connotazioni storiche. Inoltre lo sviluppo urbanistico ha conosciuto una forte espansione a partire dagli anni 60' (durante il "boom" economico), spesso caratterizzato da una pessima qualità dei materiali e delle tecniche di costruzione [1]. Oltre alla sua vulnerabilità intrinseca e ad una sismicità significativa, l'Italia mostra anche un alto livello di esposizione dovuto ad una densità elevata di popolazione e di opere appartenenti al patrimonio culturale mondiale. Dalla combinazione di tutti questi parametri (sismicità, vulnerabilità e rischio umano) risulta un rischio sismico significativo per quanto riguarda potenziali perdite di vite umane, danni alle strutture e costi diretti/indiretti attesi dopo il passaggio di un terremoto. Alla luce dello scenario di rischio sismico italiano, la valutazione della vulnerabilità sismica alla scala urbana sta diventando, negli ultimi anni, una tematica di ricerca fondamentale, come dimostrato da diversi progetti finanziati sia dai governi nazionali che dall'Unione Europea [2,3,4,5].

Il presente paper propone una metodologia per la valutazione del rischio sismico applicata alla città di Firenze, una delle città più importanti del mondo per quanto riguarda il suo patrimonio culturale.

Metodologia per una valutazione, a larga scala, del rischio sismico

La metodologia sviluppata è basata sulla successione di diversi punti: a) Individuazione di edifici campione scelti in modo omogeneo tra le varie categorie di edificato e significativamente distribuiti rispetto alle altezze; b) rilievi architettonici-strutturali e compilazione della scheda GNDT di 2° livello [4] per gli edifici campione; c) rilievi sismici al fine di misurare i modi di vibrare delle strutture; d) acquisizione d'informazione geologiche allo scopo di definire i fattori di amplificazione delle onde sismiche; e) definizione del livello di danno sulla base dell'indice di vulnerabilità e della sismicità locale; f) estrapolazione dei risultati, dagli edifici campione, all'intero ambiente urbano in accordo con parametri predefiniti correlati alle tipologie strutturali identificate. Tutti questi aspetti portano allo sviluppo di mappe di vulnerabilità ed a scenari di danno potenziale.

a) Edifici campione

La valutazione del rischio sismico è stata svolta su una banca dati di edifici campione e successivamente estrapolata per l'intera città. Ovviamente, la vulnerabilità sismica di un singolo edificio è influenzata da molti fattori e da specifiche condizioni di vulnerabilità che non possono essere singolarmente valutate.

Tuttavia alcuni parametri possono essere indentificati come essenziali per definire il comportamento delle strutture in conseguenza di un sisma: l'anno di costruzione, la tipologia costruttiva, l'altezza o numero di piani, le dimensioni planimetriche. Perciò, gli edifici campione sono stati scelti al fine di rappresentare le diverse tipologie di questi parametri chiave.

b) Indice di vulnerabilità

La valutazione della vulnerabilità sismica e, di conseguenza, il calcolo dell'indice di vulnerabilità I_v , di ogni unità strutturale viene eseguita tramite una procedura basata sulla compilazione della scheda GNDT di 2° livello. L'indice di vulnerabilità è definito secondo 11 parametri rilevanti per caratterizzare il comportamento sismico di un edificio [6]: Tipo ed organizzazione del sistema resistente, qualità sistema resistente, resistenza convenzionale, posizione edificio e fondazioni, orizzontamenti, configurazione planimetrica, configurazione in elevazione, distanza massima tra le murature (collegamenti ed elementi critici per gli edifici in cemento armato), copertura (Elementi con bassa duttilità per gli edifici in cemento armato), elementi non strutturali e stato di fatto.

Ognuno degli 11 parametri è valutato ed associato a differenti classi che identificano la qualità della struttura rispetto alla caratteristica descritta dal parametro considerato. Ad ogni classe corrisponde un punteggio V_i e un peso P_i . L'indice di vulnerabilità I_v , è dato dalla somma pesata dei punteggi dei parametri individuali, come nella seguente equazione:

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} V_i \cdot P_i \quad (1)$$

Per gli edifici in cemento armato il peso è sempre uguale ad 1. Per poter avere dei valori paragonabili con quelli degli edifici in muratura, in una scala 0-100, si operano le seguenti conversioni proposte dalla Regione Marche:

$$\text{if } I_v^* > -6.5 \Rightarrow I_v = -10.07I_v^* + 2.5175 \quad (2)$$

$$\text{if } I_v^* < -6.5 \Rightarrow I_v = -1.731I_v^* + 56.72$$

Questa valutazione della vulnerabilità può essere considerata come un approccio speditivo applicabile ad un'area urbana. È stata basata sulla raccolta di dati ottenuti da sopralluoghi e da piante cartacee delle strutture campione.

c) Rilievi sismici

Per ogni edificio sono state installate 2 stazioni sismiche. L'analisi del comportamento dinamico è stata effettuata utilizzando la tecnica Output-Only, nota come BFD (Basic Frequency Domain) una

tecnica d'identificazione dinamica basata su analisi spettrali. La ricerca del picco di energia associato ad una frequenza strutturale è effettuata direttamente sugli autospettri e sui cross-spettri. Nel caso dei cross-spettri si tratta delle combinazioni delle FFT (Fast Fourier Transform) di due segnali di output. Il loro prodotto tende quindi ad esaltare le frequenze comuni con maggiore livello di energia mentre tende a minimizzare i picchi associati a frequenze non comuni.

d) Sismicità locale

La conoscenza dell'azione sismicità locale è fondamentale per definire il rischio sismico dell'area urbana di Firenze. Perciò il trend del fattore di amplificazione delle onde sismiche deve essere determinato per conoscere l'effetto al sito.

e) Indice di danno

Il livello di vulnerabilità è stato convertito in livello potenziale di danno a partire dal calcolo di un indice di danno I_D . Questo indice traduce la probabilità di subire un danno secondo una determinata accelerazione al suolo. I valori di a_i e a_c sono stati ottenuti in modo empirico, attraverso correlazioni tra I_v e danno osservato d per gli edifici danneggiati dal sisma del Friuli (1976) e dell'Abruzzo (1984). a_i e a_c rappresentano rispettivamente l'accelerazione che produce l'inizio del danno e l'accelerazione che porta al collasso. Dalle elaborazioni empiriche (Corsanego 1986, Grandori 1976, 1982) sono state proposte le seguenti espressioni [6]:

$$a_i = \alpha_i \exp(-\beta_i \cdot I_v) \quad (3)$$

$$a_c = (\alpha_c + \beta_c \cdot I_v^\gamma)^{-1} \quad (4)$$

con $\alpha_i=0.08$, $\beta_i=0.0195$, $\alpha_c=1$, $\beta_c=0.00191$ e $\gamma=1.8$.

f) Estrapolazione dei dati

Una volta valutati la vulnerabilità e l'indice di danno per altri edifici campione, rappresentativi delle diverse tipologie costruttive caratteristiche dell'ambiente urbano, i risultati potranno essere estrapolati per tutto l'edificato fiorentino secondo i precedenti parametri, allo scopo di ottenere una mappa della vulnerabilità potenziale e degli scenari di danno.

Riferimenti

- [1] M. De Stefano, M. Tanganelli, S. Viti, Variability in concrete mechanical properties as a source of in-plan irregularity for existing RC framed structures, *Engineering Structures* 59 (2014) 161-172.
- [2] T.M. Ferreira, R. Vicente, J.A.R. Mendes da Silva, H. Varum, A. Costa, Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: case study of the old city centre in Seixal, Portugal, *Bulletin of Earthquake Engineering* 11:5 (2013) 1753-1773.
- [3] R.V. Whitman, J.W. Reed, S.T. Hong, Earthquake Damage Probability Matrices, Proc. of 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, 1973 Vol. II pp. 2531-2540.
- [4] D. Benedetti, V. Petrini, Vulnerability of masonry buildings: proposal of a method of assessment (in Italian), *L'industriale delle Costruzioni*. 149:1 (1984) 66-74.
- [5] G. Achs, C. Adam, Rapid seismic evaluation of historic brick-masonry buildings in Vienna (Austria) based on visual screening, *Bulletin of Earthquake Engineering* 10 (2012) 1833-1856.
- [6] Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - GNDT-SSN, Scheda di esposizione e vulnerabilità e di rilevamento danni di primo e secondo livello (murata e cemento armato). Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Rome GNDT, 1994.