

MISURA DEI PERIODI FONDAMENTALI DI EDIFICI IN C.A. DANNEGGIATI DAL SISMA DI L'AQUILA DEL 2009

R. Ditommaso ¹, M. R. Gallipoli ², M. Mucciarelli ¹, M. Vona ¹

¹ DiSGG, Università della Basilicata, Potenza, Italia

² IMAA-CNR, Tito Scalo – PZ, Italia

Gli effetti dell'azione sismica sugli edifici sono ben noti in termini di danneggiamento. Un livello di attenzione inferiore è stato spesso dedicato allo studio dell'influenza dei terremoti sulle caratteristiche dinamiche delle strutture. Infatti, negli ultimi anni molti ricercatori hanno focalizzato i loro studi su indagini numeriche e sperimentali sulle caratteristiche dinamiche degli edifici integri con particolare riferimento al periodo del modo di vibrare fondamentale. In tale ambito, il nostro gruppo di ricerca ha ampiamente indagato le proprietà dinamiche di grandi insiemi di edifici in c.a. nell'Europa meridionale (Gallipoli et al. 2009, Mucciarelli et al. 2009), ottenendo risultati poi confermati anche da altri ricercatori (Oliveira e Navarro 2010, Gallipoli et al. 2010). Questi studi hanno messo in luce la forte differenza tra i valori sperimentali e le relazioni empiriche periodo – altezza fornite dai più recenti codici di progettazione (ad esempio ATC 1978, BSSC 2003, CEN 2003, NZSEE 2006). Deve essere ricordato che tali relazioni sono state definite per la progettazione di nuove strutture antisismiche, ma sono adottate anche nella valutazione della capacità degli edifici esistenti in c.a.. Tale semplificazione non rende giustizia alla grande importanza che il reale comportamento dinamico degli edifici esistenti in cemento armato (in particolare l'allungamento del periodo fondamentale) assume durante e dopo forti eventi sismici. Anche in tale caso, alcuni studi sono stati condotti sui pochi casi e dati disponibili dal nostro gruppo di ricerca (Mucciarelli et al. 2004, Masi e Vona 2009, Mucciarelli et al. 2010).

Descrizione delle caratteristiche costruttive e di danno degli edifici. Nei mesi successivi al sisma aquilano del 2009 sono state effettuate misure su edifici in cemento armato, finalizzate all'individuazione del periodo fondamentale. Le strutture oggetto dell'indagine sono state selezionate a caso nella città di L'Aquila e nei paesi vicini con l'obiettivo di coprire un arco ampio di caratteristiche quali la tipologia di progettazione, l'età di costruzione, l'altezza e, in particolare, tutti i livelli di danno, classificati secondo la EMS 98 (Grünthal, 1998). L'età di costruzione varia tra il 1950 ed il 2000 mentre per quanto riguarda il livello di progettazione antisismica, si deve ricordare che L'Aquila è stata classificata similmente dopo il terremoto di Avezzano del 1903. Per tale ragione, tutti gli edifici sono stati progettati tenendo conto delle varie normative sismiche italiane vigenti al momento della costruzione. A tal proposito, è stato constatato che il danno valutato in sede di rilievo post sisma non si discosta molto da quanto atteso per edifici in cemento armato progettati per resistere a soli carichi verticali. Gli edifici (di cui in questo lavoro si riportano i risultati preliminari relativi delle indagini condotte su 45 di essi) sono stati selezionati per avere altezze variabili da 11 a 27m. È stata quindi individuata una relazione tra periodo fondamentale e altezza degli edifici in una gamma paragonabile a quella utilizzata per gli edifici italiani non danneggiati studiati in Gallipoli et al. 2009. Gli edifici in c.a. studiati hanno riportato danni diversi in modo da poter studiare la reale influenza di un forte evento sismico sul periodo fondamentale e quindi confrontare tali risultati con quelli ottenuti per gli edifici non danneggiati. I livelli di danno sono compresi tra $L_d = 1$ (nessun danno strutturale) e $L_d = 4$ (pesanti danni strutturali), come definiti nella EMS 98.

Caratteristiche dinamiche degli edifici. Al fine di caratterizzare il comportamento degli edifici, è possibile utilizzare diversi tipi di strumentazione e tecniche differenti (Ditommaso et al. 2010a,

Ditommaso et al. 2010b). In questo lavoro, i periodi fondamentali sono stati stimati utilizzando rumore ambientale registrato da un tromometro portatile tri-direzionali (TROMINO - Micromed). Grazie alla semplicità di esecuzione è possibile effettuare diverse misurazioni all'interno di ogni edificio in punti diversi. La posizione dello strumento, sia in pianta sia in elevazione, e le misure effettuate sono state ovviamente condizionate dall'accessibilità e dallo stato di danno dell'edificio. In molti dei casi riportati in questo lavoro, è stata effettuata una sola misura all'impalcato più alto raggiungibile ed in corrispondenza del vano scala. La posizione di quest'ultimo è generalmente centrale e simmetrica rispetto alla direzione corta dell'edificio. Generalmente lo strumento è stato posizionato con la sua direzione principale (NS) lungo la direzione longitudinale dell'edificio, utilizzata convenzionalmente come direzione a 0 gradi. Le misurazioni sono state eseguite considerando una finestra temporale di 6 – 10 minuti e con una frequenza di campionamento pari a 256 Hz. Tutti le registrazioni sono state corrette utilizzando una correzione di linea base e un filtro passa – banda nella gamma di frequenze 0.1 – 30 Hz; gli spettri sono stati valutati dividendo il rumore sismico in finestre mobili di 10 secondi con il 50% di sovrapposizione e quindi mediando sull'intera durata della registrazione. Per stimare le frequenze degli edifici è stata usata la tecnica HVSR. In Gallipoli et al. (2009 e 2010) e Ditommaso et al. (2009) sono state messe a confronto diverse tecniche di identificazione dinamica strutturale basate sulla registrazione di rumore ambientale e il risultato è stato che in questi casi la tecnica HVSR è uno strumento molto utile per caratterizzare la frequenza fondamentale e le relative forme modali. In tal modo è facile comprendere il comportamento dell'edificio, valutare la frequenza fondamentale e fare alcune considerazioni circa la presenza di eventuali modi rotazionali.

Risultati. I periodi fondamentali degli edifici sono riportati in Fig. 1 nella quale i risultati sono confrontati con quelli ottenuti per gli edifici integri (Gallipoli et al., 2010). Inoltre, i risultati sono stati confrontati con l'equazione fornita dall'Eurocodice EC8.

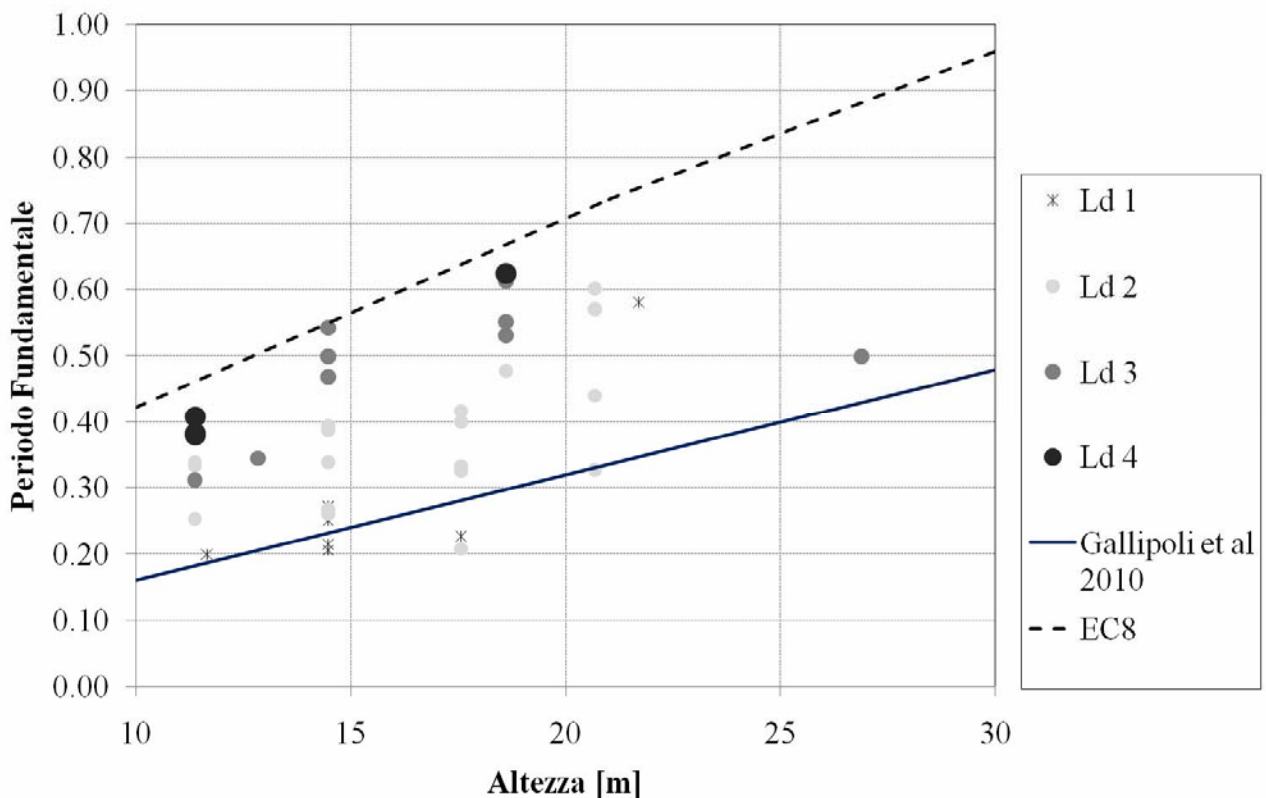


Fig. 1. Correlazione Altezza – Periodo Fondamentale – Livello di Danno

È interessante notare che l'equazione teorica fornita dall'EC8 restituisce una sovrastima dei periodi degli edifici anche rispetto al più alto livello di danno ($L_d = 4$) rilevato. Supponendo che gli edifici a L'Aquila prima del danneggiamento avessero periodi tali da coincidere con la linea più in basso (edifici italiani ed europei integri), l'incremento di periodo causato dal danno non supera mai il 50%, in accordo con quanto osservato nell'unico edificio italiano il cui comportamento dinamico è stato osservato durante il terremoto in Molise del 2002 (Mucciarelli et al, 2004) e come riportato anche in Masi e Vona (2009). È da notare che i livelli di danno maggiore ($L_d = 3$, $L_d = 4$) sono spesso localizzati solo in uno o due piani ed in alcuni casi solo su pochi elementi. Queste osservazioni confermano che le normative sismiche ipotizzano un danno diffuso sulle strutture come nella realtà non è stato mai osservato sulle strutture esistenti.

BIBLIOGRAFIA

ATC, (1978). Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings, Report N. ATC3-06, Applied Technology Council, California.

BSSC, (2003). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450), 2003 Edition, Building Seismic Safety Council, Washington D.C.

CEN, (2003). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft (December 2003), Comite Europeen de Normalisation, Brussels.

CEN, (2004). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, Draft n. 7 (June 2005), Comite Europeen de Normalisation, Brussels.

Oliveira C.S. and Navarro M. (2010). Fundamental periods of vibration of RC buildings in Portugal from in-situ experimental and numerical techniques. *Bulletin of Earthquake Engineering*. DOI: 10.1007/s10518-009-9162-1.

Ditommaso, R., Parolai, S., Mucciarelli, M., Eggert, S., Sobiesiak, M. and Zschau, J. (2010). Monitoring the response and the back-radiated energy of a building subjected to ambient vibration and impulsive action: the Falkenhof Tower (Potsdam, Germany). *Bulletin of Earthquake Engineering*. DOI: 10.1007/s10518-009-9151-4.

Ditommaso R., Vona M., Mucciarelli M., Masi A., Identification of building rotational modes using an ambient vibration technique. 14th European Conference on Earthquake Engineering, August 30 – 3 September, Ohrid, Republic of Macedonia 2010.

Gallipoli M. R., Mucciarelli M. and Vona M., (2009). Empirical estimate of fundamental frequencies and damping for Italian buildings, *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 38, pages: 973-988

Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Šket-Motnikar B., Zupančić P., Gosar A., Prevolnik S., Herak M., Stipčević J., Herak D., Milutinović Z., Olumčeva T., (2010). Empirical estimates of dynamic parameters on a large set of European buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8, pages: 593 – 607.

Grünthal, G. (editor), 1998. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). European Seismological Commission, sub commission on Engineering Seismology, working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, volume 15, Luxembourg.

Masi, A. and Vona M., 2009. Experimental and numerical evaluation of the fundamental period of undamaged and damaged RC buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering, Special Issue Ambient Noise*, DOI: 10.1007/s10518-009-9136-3.

Mucciarelli M., Masi A., Gallipoli M.R., Harabaglia P., Vona M., Ponzo F., Dolce M., (2004). Analysis of RC Building Dynamic Response and Soil-Building Resonance Based on Data Recorded during a Damaging Earthquake (Molise, Italy, 2002), *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 94, No. 5, pp. 1943–1953, October 2004. DOI: 10.1785/012003186.

Mucciarelli M., Bianca M., Ditommaso R., Gallipoli M.R., Masi A., Parolai S., Picozzi M., Milkereit C., Vona M., (2010). Far field damage on rc buildings: the case study of Navelli during the L'Aquila (Italy) seismic sequence. Submitted to *Bulletin of Earthquake Engineering*.

NZSEE, (2006). Assessment and improvement of the Structural Performance of Buildings in Earthquakes, Recommendations of a NZSEE Study Group on Earthquake Risk Buildings.