

# INDAGINI SPEDITIVE DI IDENTIFICAZIONE DINAMICA PER L'INDIVIDUAZIONE DI ZONE CRITICHE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

A. Masi, M. Mucciarelli, M. Vona, R. Ditommaso

(1) DiSGG, Università degli studi della Basilicata, Potenza

Lo studio e la caratterizzazione dei materiali costituenti gli edifici in c.a., con particolare riferimento alla resistenza in situ, è un elemento di fondamentale importanza sia nelle operazioni di valutazione e accertamento delle capacità degli stessi che ai fini di più ampie indagini di vulnerabilità. L'accertamento di tali caratteristiche avviene, secondo le più recenti indicazioni normative mutuata dalla continua evoluzione tecnico – scientifica, mediante prove in situ ed in laboratorio di tipo non distruttivo e distruttivo. Le prime sono di semplice applicazione ma, stimando in modo indiretto le proprietà meccaniche del calcestruzzo, sono condizionate da numerosi fattori ed il loro utilizzo esclusivo può determinare risultati poco affidabili (Masi 2005, Masi et al. 2007). Le seconde sono tecnicamente più delicate da eseguire ed onerose in termini di disturbo arrecato alle parti strutturali. Per tali ragioni sono in genere possibili solo un numero limitato di prelievi ed i risultati ottenuti potrebbero non essere rappresentativi delle caratteristiche globali della struttura ai fini della stima della resistenza di calcolo. Nella pratica applicazione delle diverse metodologie, anche le indagini non distruttive sono fortemente invasive, in particolare rispetto alle parti non strutturali, determinando complessivamente costi paragonabili a quelli delle prove distruttive, se non addirittura in alcuni casi superiori. Anche per tali ragioni nella pianificazione delle indagini sarebbe molto utile poter indirizzare le stesse in modo mirato in zone dell'edificio in cui siano presenti delle criticità delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo, ossia zone meritevoli di essere indagate con particolare attenzione.

Nel presente lavoro sono riportati i risultati di una procedura in fase di validazione che, grazie a indagini speditive, economiche e non intrusive, potrebbe essere in grado di individuare a priori eventuali zone critiche nelle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo ai differenti livelli di un edificio. La procedura si propone di individuare, oltre alle frequenze fondamentali dell'edificio in esame, anche le forme modali. Queste ultime sono legate alla rigidità degli elementi in c.a. e quindi, indirettamente, anche alla resistenza del calcestruzzo. Pertanto potrebbero fornire indicazioni rispetto a tale grandezza ed, in particolare, alle sue variazioni ai diversi livelli dell'edificio, consentendo quindi di orientare e concentrare le indagini laddove, lungo la verticale dell'edificio, appaiono esser presenti delle criticità evidenziate da singolarità nell'andamento della forma modale.

Si fa riferimento, per la messa a punto della metodologia, ai dati ottenuti nell'ambito di una convenzione tra Regione Basilicata e DiSGG – Università di Basilicata grazie alla quale è stata condotta un'estesa campagna di misure finalizzate alla valutazione delle proprietà meccaniche dei materiali e delle caratteristiche dinamiche di alcuni edifici in c.a. situati nel comune di Melfi (Potenza), da sottoporre a valutazione di vulnerabilità. Le proprietà dei materiali sono state indagate con prove distruttive e non distruttive ampiamente diffuse sia in pianta che in elevazione (Fig. 1).

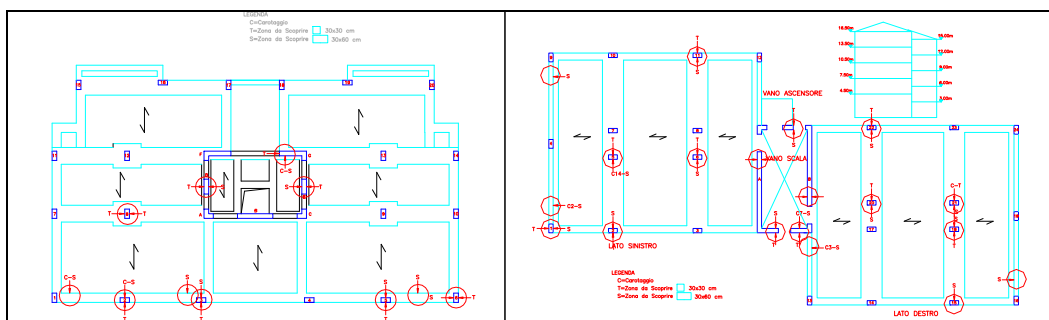
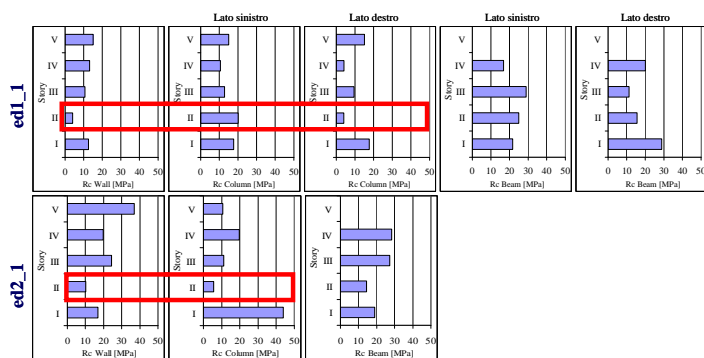


Fig. 1 – Distribuzione sul piano tipo delle indagini in situ di tipo PND e PD per due differenti tipologie edilizie presenti nel complesso residenziale in esame

Dall'elaborazione dei risultati delle prove in situ ed in laboratorio risulta evidente che, nei 4 edifici analizzati, è presente almeno uno, se non due, livelli in cui la resistenza a compressione del calcestruzzo, in particolare dei pilastri, assume valori estremamente bassi (Fig. 2). I valori più bassi sono stati generalmente riscontrati tra il secondo ed il quarto livello con casi limite di resistenze bassissime sia come valori medi che come valori minimi al punto di non essere riusciti, in alcuni elementi strutturali, ad estrarre campioni integri dalla struttura, a causa delle scadentissime caratteristiche meccaniche del calcestruzzo, fino a situazioni limite in cui addirittura non è stato possibile fissare l'apparecchio carotatore all'elemento stesso.



**Fig. 2** – Distribuzione delle resistenze medie lungo ai vari livelli per le differenti tipologie di elementi strutturali per due degli edifici in esame.

Per l'individuazione della frequenza fondamentale degli edifici, sono state impiegate due differenti metodologie, la tecnica HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) (Castro et al., 1998; Gallipoli et al., 2004; Di Giulio et al., 2005) e la funzione SSR (Standard Spectral Ratio) (Parolai et al 2005) utilizzando dati di terremoti e di rumore ambientale. Il confronto tra le due tecniche, utilizzando i diversi tipi di dati, è stato effettuato su due edifici campione rappresentativi delle due tipologie edilizie di base. Le registrazioni dei terremoti sono state eseguite con una coppia di accelerometri Kinematics Etna posizionati rispettivamente al livello del piano terra e dell'ultimo piano. Sul primo edificio, nel limitato tempo a disposizione non si sono registrati terremoti, ma alcune intense raffiche di vento hanno consentito la registrazione di accelerazioni dell'ordine dei millesimi di g. Sul secondo edificio sono stati registrati, contemporaneamente al piano terra ed al piano più alto, alcuni terremoti locali di bassa magnitudo che hanno raggiunto accelerazioni dell'ordine dei centesimi di g in testa all'edificio. Le misure di rumore ambientale sono state condotte con un tromometro digitale (Tromino) negli stessi siti di posizionamento degli accelerometri. Il confronto dei risultati ottenuti da dati di terremoti con quelli ottenuti dalle misure ambientali ha consentito la validazione dei risultati ottenuti con le misure di microtremiti e di estendere questo tipo di misure, più speditive e di facile esecuzione, ad ogni piano lungo la stessa verticale e, all'ultimo piano, in punti diversi. Le misure effettuate hanno evidenziato delle variazioni dell'ampiezza della forma modale fondamentale ai livelli intermedi attribuibili sia alle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo, estremamente variabili da un livello all'altro come mostrato in Fig. 2, che alla distribuzione delle tamponature ed alla loro interazione con la struttura intelaiata.

I risultati dell'intera campagna sperimentale sono riportati in un lavoro precedente (Masi et al., 2007) mentre nel seguito si descrivono alcuni miglioramenti apportati alla procedura. Alla luce dei risultati non completamente soddisfacenti ottenuti in precedenza basati su misure effettuate separatamente ai singoli piani, si è ritenuto di perfezionare le procedure di identificazione delle caratteristiche dinamiche effettuando misure che consentono la definizione degli spostamenti di piano normalizzati ad un riferimento fisso alla base dell'edificio. In tal modo è possibile evitare di incorrere in eventuali effetti di amplificazione relativa dovuti alla non contemporaneità delle azioni. In questo upgrade della procedura sono state utilizzate due stazioni di registrazione, la prima posizionata all'esterno della struttura e la seconda collocata di volta in volta ai vari impalcati, lungo la stessa verticale dell'edificio. A ciascun livello è stata eseguita una registrazione della durata di 8 minuti. Ovviamente le registrazioni delle due stazioni, quella di riferimento alla base e quella al generico piano, sono state avviate contemporaneamente. Tale procedura ha permesso di caratterizzare le ampiezze spettrali depurando il segnale da eventuali transienti di rumore che avrebbero potuto falsare la misura. La procedura presenta alcune incertezze in merito alla normalizzazione del moto di ciascuna singola

stazione condotta con riferimento alla stazione alla base rispetto ad una normalizzazione assoluta in virtù della variazione del moto istante per istante. Per tale ragione, a rigore, dovrebbero essere definite le forme modali applicando la metodologia proposta mediante misurazioni contemporanee a tutti i livelli. Tale procedura di identificazione richiederebbe però la disponibilità di un numero di strumenti pari al numero di impalcati presenti nell'edificio e per tale ragione risulterebbe estremamente onerosa. Una possibile procedura alternativa, in fase di ulteriore validazione, è quella di ricavare la prima forma modale utilizzando i rapporti di amplificazione normalizzati rispetto al valore massimo di spostamento posto pari ad 1. In tal caso, le misure sono condotte utilizzando due sole stazioni di registrazione poste di volta in volta a 2 piani consecutivi. Il rapporto spettrale di ciascuna registrazione permette di ricavare il coefficiente di amplificazione geometrico, costante tra due livelli consecutivi, ricavando quindi la forma modale.

#### **Bibliografia**

- Castro R.R., Mucciarelli M., Pacor F., Federici P., Zaninetti A., 1998. *Determination of the characteristic frequency of two dams located in the region of Calabria, Italy*, Bull. Seism. Soc. Am., 88, 2, 503-511.
- Di Giulio G., R. M. Azzara, G. Cultrera, M. S. Giammarinaro, P. Vallone, A. Rovelli 2005. *Effect of local geology on ground motion in the city of Palermo, Italy, as inferred from aftershocks of the 6 September 2002 Mw 5.9 earthquake*, Bull. Seism. Soc. Am., 95, 2328–2341.
- Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Castro R.R., Monachesi G., Contri P., 2004. *Structure, soil-structure response and effects of damage based on observations of horizontal-to-vertical spectral ratio of microtremors*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 6, 487-495.
- Masi A., 2005. *La stima della resistenza del calcestruzzo in situ mediante prove distruttive e non distruttive*, Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica, n. 1, 2005.
- Masi A., Dolce M., Vona M., Nigro D., Pace G., Ferrini M., 2007. *Indagini sperimentali su elementi strutturali estratti da una scuola esistente in c.a.*, Atti del XII Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, giugno 2007, Pisa.
- Masi A., Mucciarelli M., Gallipoli M.R., Vona M.; 2007 *Indagini speditive sulle caratteristiche dinamiche degli edifici in c.a. a supporto di valutazioni del comportamento strutturale*, Conferenza Nazionale sulle PnD, Monitoraggio e Diagnostica, 12° Congresso Nazionale dell'AiPnD, Biennale PnD-MD, Milano, 11 – 13 ottobre 2007.
- Parolai S., Fäcke A., Richwalski S.M., Stempniwski L., 2005. *Assessing the Vibrational Frequencies of the Holweide Hospital in the City of Cologne (Germany) by Means of Ambient Seismic Noise Analysis and FE modelling*, Earthquake Spectra, 34, 2, 217-230.