



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

*Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del
Recupero Edilizio ed Urbano*

IX Ciclo N.S. (2007-2010)

ABSTRACT

**CAPACITY MODELS FOR BEAM-TO-COLUMN
JOINTS IN RC FRAMES UNDER SEISMIC
ACTIONS**

Carmine Lima

Il Tutor
Prof. Enzo Martinelli

Il Coordinatore
Prof. Ciro Faella

ABSTRACT

(ITALIANO)

Le strutture in cemento armato realizzate intorno agli anni '60 e '70 rappresentano, ad oggi, la maggior parte del patrimonio edilizio esistente in Italia. Inoltre, esse sono spesso strutture strategiche ai fini della gestione delle emergenze in quanto ospitano scuole ed ospedali. Tali edifici, nonostante l'importanza strategica, risultano nella maggioranza dei casi vulnerabili rispetto agli eventi sismici a causa dell'insufficiente capacità in termini di resistenza e duttilità, generalmente dovuti all'eccessivo passo delle staffe nei pilastri e all'assenza di rinforzo trasversale nei nodi trave-colonna.

Alla luce dei danni osservati nel corso dei recenti eventi sismici di Assisi (1996), Molise (2002) e l'Aquila (2009), gli studi sulla vulnerabilità sismica delle strutture sono stati intensificati nell'ultimo ventennio. I report che descrivono i danni osservati sulle strutture esistenti mettono in risalto il ruolo chiave dei nodi trave-colonna sul comportamento globale delle strutture in cemento armato. Numerose formulazioni teoriche ed analitiche sono state proposte nel corso degli anni per valutare la resistenza a taglio di tali componenti strutturali. La presente tesi raccoglie le formulazioni attualmente disponibili in letteratura e nelle principali normative antisismiche per stimare la resistenza a taglio dei nodi esterni ed interni.

All'interno della tesi è riportato uno studio dettagliato sul comportamento dei nodi trave-colonna nelle strutture in cemento armato. Essi rappresentano una delle zone più critiche nelle strutture intelaiate in cemento armato.

Il lavoro è organizzato in dieci capitoli. Il primo presenta gli aspetti generali inerenti i nodi trave-colonna nelle strutture intelaiate in cemento armato.

Il secondo capitolo raccoglie le formulazioni normative e i modelli di capacità attualmente disponibili in letteratura per valutare la resistenza a taglio di nodi esterni ed interni. Alcuni autori hanno proposto modelli validi per valutare la resistenza di soli nodi esterni o interni, mentre altri hanno sviluppato formulazioni che consentono di determinare la resistenza di nodi generici (sia interni che esterni). Inoltre, viene considerata la differenza tra formulazioni teoriche e formulazioni analitiche specificando se il modello di capacità è stato derivato dagli autori rispettivamente considerando leggi di equilibrio, compatibilità e legami costitutivi o attraverso la calibrazione di dati sperimentali.

Per ogni modello la procedura per la determinazione della resistenza a taglio della connessione è spiegata passo passo attraverso dei diagrammi di flusso.

Nel capitolo 3 I modelli esposti nel capitolo precedente vengono analizzati parametricamente allo scopo di testarne la sensitività rispetto ai parametrici meccanici e geometrici che influenzano sensibilmente la capacità dei nodi trave-colonna.

Nel capitolo 4 è raccolto un ampio database di prove sperimentali. Il database è suddiviso in nodi interni ed esterni.

Il confronto tra i risultati sperimentali raccolti nel database e la resistenza teorica valutata con i vari modelli è riportato nel capitolo 5 al fine di analizzare e validare i modelli di capacità presentati.

Nel capitolo 6, considerando i risultati sperimentali raccolti nel database, i modelli vengono ricalibrati e, considerando la crescente importanza delle analisi probabilistiche di affidabilità sismica, vengono determinati i fattori rilevanti che descrivono l'errore medio e la dispersione dei vari modelli. Inoltre, viene proposta una nuova formulazione per la valutazione della resistenza a taglio dei nodi esterni trave-colonna.

Negli ultimi capitoli si passa ad analizzare il comportamento dei nodi trave-colonna in cemento armato sottoposti a carichi ciclici e viene proposto un semplice modello di nodo per analisi dinamiche non lineari. In particolare, nel capitolo 7 la resistenza a taglio dei nodi sottoposti a carichi ciclici è valutata a partire dalla resistenza monotona valutata con i modelli di capacità menzionati e considerando il numero di cicli di carico e scarico avvalendosi della teoria della fatica oligociclica.

Nel capitolo 8 vengono presentati i principali modelli attualmente disponibili nella letteratura scientifica per simulare il comportamento ciclico dei nodi trave-colonna nelle strutture in cemento armato. Viene calibrato e validato un semplice modello che potrà essere facilmente utilizzato nelle analisi sismiche di strutture intelaiate in cemento armato per simulare il comportamento dei nodi e tenerne conto del danneggiamento.

Nel capitolo 9 sono riportate ulteriori applicazioni circa l'analisi sismica delle strutture esistenti in c.a. includendo il danneggiamento nodale simulato attraverso il modello calibrato nel capitolo 8.

Infine, il capitolo 10 include la sintesi dei risultati principali e le conclusioni.

ABSTRACT

(ENGLISH)

Reinforced concrete (RC) buildings designed during the 1960s and 1970s still widely exist in Italy. Furthermore, they are often strategic structures such as schools or hospitals which are vulnerable to seismic events due to insufficient capacity in terms of either strength or ductility, namely due to widely spaced column ties, and little or no transverse reinforcement within beam-column joint regions.

The studies on seismic vulnerability of structures have been intensified in the last two decades by considering the damage observed after the recent earthquakes of Assisi (1996), Molise (2002) and L'Aquila (2009). The reports of damage observed on existing structures pointed out the key importance of beam-to-column joints on the global performance of RC structures. Several theoretical and analytical formulations have been proposed for evaluating the shear strength of beam-to-column joints. The present thesis deals with the formulations for evaluating the shear strength of exterior and interior connections currently available in both the scientific literature and the main seismic codes.

This thesis reports a detailed study on the behaviour of beam-to-column joints in reinforced concrete (RC) structures. They represent one of the most critical regions in frame structures under seismic actions.

The work is organised in ten chapters. In the first one general aspects about beam-to-column joints in RC structures are presented.

The second chapter collects the code formulations and the capacity models currently available in the scientific literature for evaluating the shear strength of both exterior and interior joints. Some authors have provided models for evaluating the shear capacity of only exterior or interior joints, while other ones have developed formulations for determining the strength of generic joints (both interior and exterior). Furthermore, the difference between theoretical and analytical models is specified by considering if the model has been developed by the authors through equilibrium, compatibility and constitutive laws or through calibration of experimental evidence, respectively. For each model the procedure for evaluating the capacity is explained through some flow-charts.

In the third chapter the models outlined in the previous chapter are analysed through a parametric assessment with the aim of pointing out the sensitivity of the various models to the relevant mechanical parameters.

In chapter 4 a wide experimental database has been collected. The database is subdivided in interior and exterior subassemblies.

The comparison between the experimental results collected in the database and the theoretical shear strength is made in chapter 5 for assessing the presented models.

In chapter 6, by considering the experimental results collected in the database, the models have been recalibrated and, by considering the increasing importance of probabilistic analyses in seismic assessment, the relevant coefficients describing the average error and the dispersion of the models have been evaluated. Furthermore, a new formulation for evaluating the shear strength of exterior joints is proposed.

In the last sections the behaviour of reinforced concrete beam-to-column joints under cyclic loading is analysed and a simple model for dynamic non-linear analyses is proposed. In particular, in chapter 7 the shear strength of joints under cyclic loading is evaluated starting from the monotonic strength evaluated through the mentioned capacity models and considering the number of cycles of load and unload with the low fatigue theory.

In chapter 8 the main models currently available in the scientific literature for simulating the cyclic behaviour of RC joints in frame structures are presented. A model that can be easily used in seismic assessment of RC frames for taking into account the damage of beam-to-column joint is calibrated and assessed.

In chapter 9 further applications are reported about seismic assessment of existing RC structures including joint damage simulated through the model calibrated in chapter 8.

Finally, chapter 10 includes the resume of the main results and the conclusions.