

Procedura semplificata per l'analisi di vulnerabilità sismica di edifici in cemento armato

Alessandro P. Fantilli, Bernardino Chiaia - Politecnico di Torino

Alberto Prataviera

Gianmarco Massucco, Paola Marchiò - CDM DOLMEN Srl

L'analisi di vulnerabilità proposta dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 è una procedura lunga e complicata, oltre ad essere economicamente onerosa. Questa comprende una serie di test di laboratorio e analisi numeriche che richiedono la raccolta di un grande numero di dati, spesso non facilmente ottenibili, se non dopo cospicue tempistiche e un cospicuo esborso di denaro.

Specialmente in questo periodo storico si ha la necessità di effettuare una stima di massima della resistenza sismica di una struttura, propedeutica a successive analisi; per questo un'indagine speditiva che garantisca un accurato livello di precisione può essere utile per i grandi proprietari immobiliari, i quali hanno la necessità di selezionare rapidamente gli edifici con maggiore urgenza di intervento strutturale. In questo panorama si inserisce il metodo proposto nella tesi di Alberto Prataviera al Politecnico di Torino: offrire la possibilità di avere informazioni sulla vulnerabilità di una struttura partendo da pochi ed essenziali dati di partenza, senza la necessità di test intrusivi e di tutto l'iter descritto dalla normativa di riferimento.

La procedura semplificata

Il fine della nuova procedura è la stima della resistenza sismica di una struttura in c.a. esistente.

La metodologia si articola in diverse fasi: il primo step è costituito dalla creazione di un database che rappresenti il cambiamento durante gli anni delle dimensioni geometriche dei vari elementi costruttivi, come per esempio lo spessore delle travi e le dimensioni trasversali dei pilastri. Per la creazione di questo archivio è stato analizzato e campionato un modesto numero di progetti di edifici con caratteristiche simili tra loro, ma appartenenti a differenti epoche storiche, tutti ubicati nel comune di Torino (Figura 1).

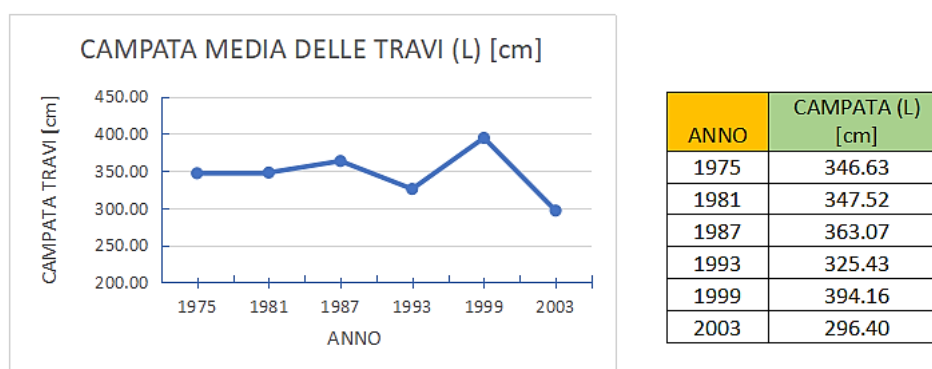


Figura 1 - Variazione della campata delle travi dal 1975 al 2003

Il secondo step consiste, invece, nella modellazione di un telaio virtuale: invece di rappresentare nel software di calcolo utilizzato la struttura reale ricavata dai disegni originali, si procederà con la modellazione di una struttura composta da alcuni elementi della struttura reale insieme ad alcune grandezze prelevate dal database precedentemente compilato. In pratica, partendo da pochissime informazioni sulla struttura, come per esempio le dimensioni in pianta e di volume, la tipologia di fondazioni, la posizioni dei vani ascensore e la data di costruzione del fabbricato, oltre ovviamente ai materiali utilizzati e modellando gli elementi con le dimensioni prelevate dal database, si vuole ottenere una prima valutazione di vulnerabilità sismica della struttura. Si è poi dimostrato, tramite test di

validazione, che le due strutture, che da ora in poi chiameremo reale e virtuale, hanno la medesima risposta all'accelerazione sismica.

Per quanto riguarda le resistenze caratteristiche dei materiali sono stati utilizzati i valori forniti dalla bibliografia sia per il calcestruzzo (Figura 2) che per l'acciaio (Figura 3).

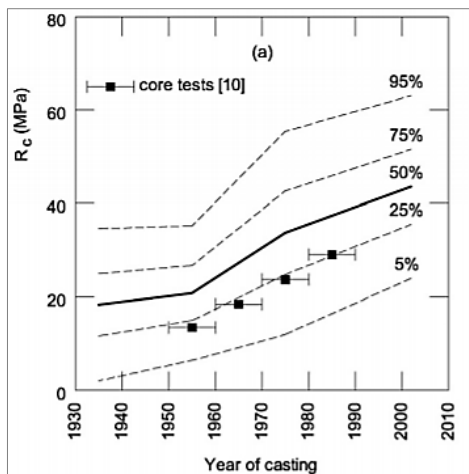


Figura 2 - Variazione della resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo

Type of steel	Yield strength – f_y MPa (ksi)	Tensile strength – f_u MPa (ksi)
Common steel	-	280 ~ 500 (40.6 ~ 72.5)
Aq.42	≥ 230 (≥ 33.4)	420 ~ 500 (60.9 ~ 72.5)
Aq.50	≥ 270 (≥ 39.2)	500 ~ 600 (72.5 ~ 87.0)
Aq.60	≥ 310 (≥ 45.0)	600 ~ 700 (87.0 ~ 102)
FeB32	≥ 320 (≥ 46.4)	≥ 500 (≥ 72.5)
FeB38	≥ 380 (≥ 55.1)	≥ 460 (≥ 66.7)
FeB44	≥ 440 (≥ 63.8)	≥ 550 (≥ 79.8)

Figura 3 - Variazione della resistenza caratteristica a trazione dell'acciaio

Il caso studio

L'ufficio del Genio Civile di Torino ha procurato, ai fini della tesi, il progetto di un condominio risalente all'anno 1987, si tratta di un edificio situato a Torino, di sei piani fuori terra più un piano interrato; i calcoli della struttura sono riferiti alla normativa di riferimento dell'epoca, ovvero la legge del 5 novembre 1971, n.1086. Il fabbricato presenta una pianta di forma rettangolare, con dimensioni pari circa a 30,8 x 11,4 m e un'altezza complessiva dal piano campagna di 17,85 m più il tetto. La struttura è costituita da telai di pilastri e travi in calcestruzzo armato gettati in opera di dimensioni variabili, collegati tra loro mediante solette in laterocemento infinitamente rigide aventi spessore pari a 25 cm; gli organismi sismo resistenti (telai) sono tre e sono presenti in una sola direzione, non collegati tra di loro nella direzione ortogonale a quella principale. Questo fattore è usuale per le costruzioni dell'epoca, dal momento che non era ancora obbligatoria l'unione di tutti gli elementi resistenti, data l'arretratezza delle leggi sismiche dell'epoca.

Sono presenti due vani ascensore costituiti da due muri in calcestruzzo armato di spessore 20 cm, in posizione simmetrica rispetto al centro. L'altezza dei pilastri varia a seconda dei piani, è uguale a 3,30 m per il piano terreno, 3,00 m per il primo e 2,95 m per quelli soprastanti. Le fondazioni sono di tipo superficiale, costituite da plinti separati e lungo i tratti perimetrali sono presenti pareti in calcestruzzo armato di spessore 30 cm per contenere la spinta della terra.

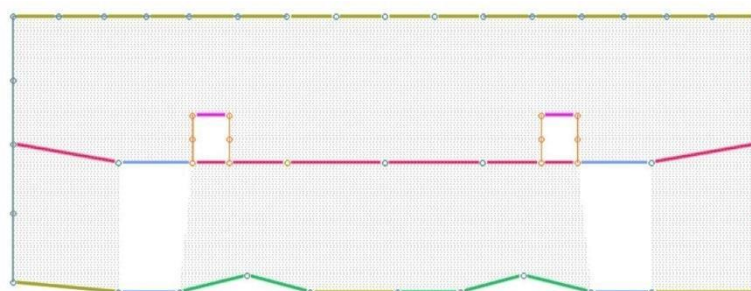


Figura 4 - Planimetria struttura reale a quota 0 m

La modellazione della struttura reale è stata effettuata con DOLMEN, software di calcolo strutturale che utilizza il metodo degli elementi finiti, prodotto e distribuito da CDM DOLMEN srl di Torino.

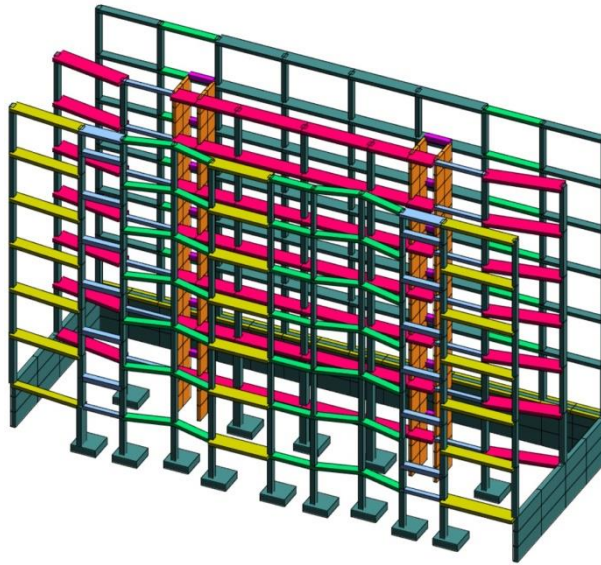


Figura 5 - Assonometria del modello reale

La grande novità introdotta da questo metodo è la creazione di un modello digitale che sia complementare a quello originale, quindi che mantenga l'involucro esterno e il comportamento strutturale di quello reale, ma che si riferisca anche al database creato, cioè che vada a prelevare alcune grandezze geometriche dai dati precedentemente raccolti e collezionati, in maniera tale da creare al suo interno un telaio di base che in alcuni casi sarà totalmente diverso da quello originale, in altri sarà simile. Le misure in pianta sono uguali al progetto reale, così come l'altezza interpiano dei pilastri. Le grandezze caratteristiche degli elementi strutturali fondamentali sono estrapolate dal database, conoscendo l'anno di costruzione del manufatto si ottiene la rispettiva grandezza.

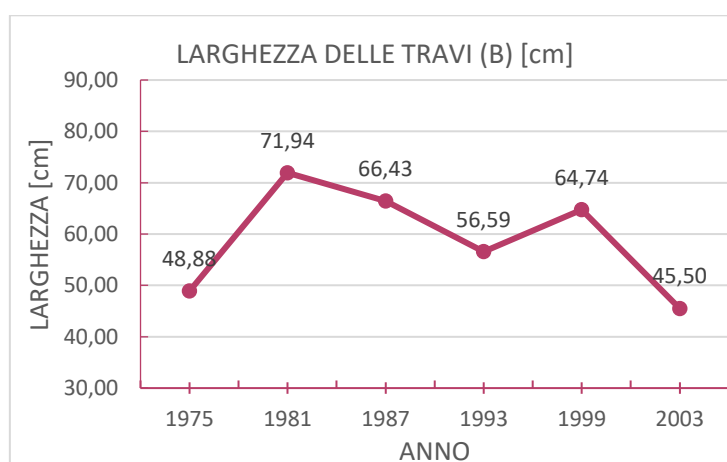


Figura 6 - Come sono state selezionate le grandezze degli elementi strutturali

Un telaio di base, creato come dimostrato, comporrà l'intero scheletro in calcestruzzo armato della struttura, che sarà quindi estremamente regolare sia in pianta che in altezza, mantenendo la luce delle travi sempre costante, così come la loro larghezza e il loro spessore, e come le due dimensioni dei pilastri, i quali saranno semplicemente differenziati in base alla loro posizione in pianta: centrale o perimetrale. La

fondazione è mantenuta uguale all'originale così come il muro controterra al livello del piano interrato; anche la posizione dei due vani ascensore è la stessa e viene mantenuta l'assenza di telai di collegamento.

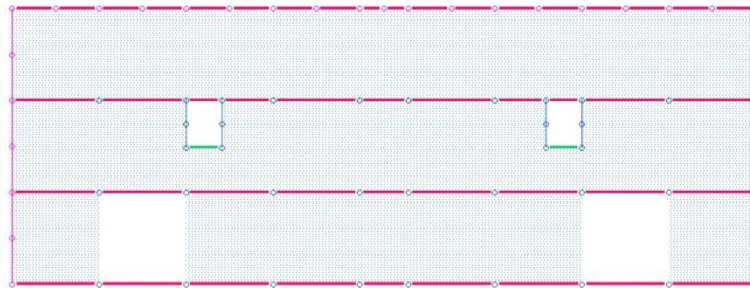


Figura 7 - Planimetria struttura virtuale a quota 0 m

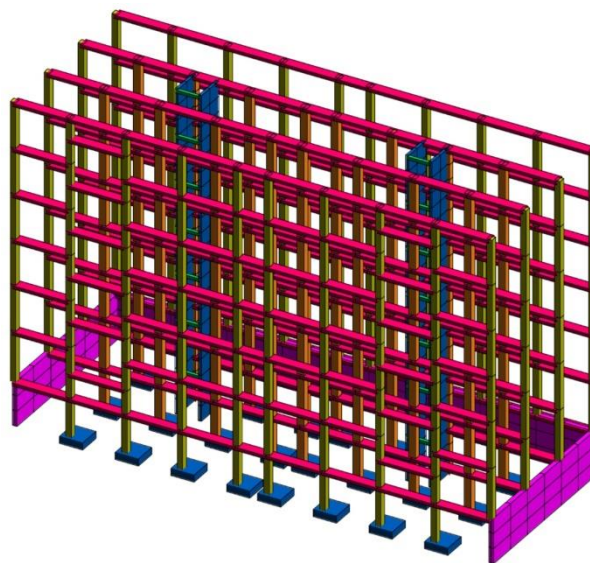


Figura 8 - Assonometria del modello virtuale

Analisi dei risultati

Per impostare il confronto tra i due modelli occorre che siano rispettate alcune condizioni al contorno, in primis bisogna assicurare che le due strutture siano complementari e simili dal punto di vista strutturale e geometrico, perché altrimenti l'utilità del metodo andrebbe perduta; l'altra condizione necessaria è che i due modelli abbiano la stessa resistenza e risposta nei confronti di un'identica accelerazione esterna, in pratica che rispondano allo stesso modo al sisma. Solo dimostrando di possedere queste due condizioni il metodo risulterà esser funzionante.

L'ipotesi numero uno, la similarità tra i due modelli, viene validata da diversi fattori, come per esempio:

- le dimensioni in pianta e in elevazione sono identiche nei due modelli,
- le due strutture sono state modellate con i medesimi valori di resistenza caratteristica dei materiali,
- i carichi imposti hanno i medesimi valori,
- le semplificazioni strutturali per la modellazione sono basate sugli stessi principi e uguali nei due progetti (scale, balconi, tetto),
- il pacchetto di fondazione è stato modellato allo stesso modo, cioè quello reale trovato sui disegni originali,

- è stata mantenuta nel modello virtuale l'impostazione a telai separati, quindi l'assenza di travi di collegamento, con telai presenti in un'unica direzione,
- la posizione dei setti in calcestruzzo armato è stata mantenuta uguale al progetto originale,
- i solai sono stati modellati nella medesima condizione,
- medesime condizioni sismiche tra i due modelli.

In pratica gli unici elementi di distinzione tra i due modelli sono le dimensioni degli elementi strutturali travi e pilastri, che rimangono costanti per l'intera costruzione. La differenza di luce tra le travi originali e quelle "virtuali" comporterà una variazione del numero di telai nelle due direzioni; le dimensioni dei pilastri saranno differenziate solamente in relazione alla loro posizione, perimetrale o centrale. E' come se si costituisse un'unità di base composta da quattro pilastri, quattro travi e un solaio e che questa venisse ripetuta per l'intera volumetria della costruzione.

Confronto delle analisi modali

Per quanto riguarda, invece, la seconda delle condizioni necessarie, l'identica risposta al sisma è stata provata grazie all'analisi dinamica modale condotta con il software di calcolo DOLMEN; una volta indicate le condizioni sismiche da utilizzare, identiche nei due casi, il programma calcola i risultati dell'analisi sismica: i vari modi di vibrare associati ai periodi propri della struttura, le sue frequenze, le masse attivate ad ogni diverso modo di vibrare e i coefficienti di correlazione. Quello che è di maggior interesse per il caso studio, oltre al fatto che le condizioni di partenza siano identiche, è il fattore ζ_E ovvero l'indice di vulnerabilità sismica che è dato dal rapporto tra l'accelerazione che la struttura è in grado di sopportare e l'accelerazione a cui dovrebbe resistere in caso di progetto di una nuova costruzione.

I due coefficienti di vulnerabilità sismica calcolati per le due differenti strutture sono, non soltanto simili, ma addirittura identici, entrambi i modelli hanno restituito un $\zeta_E = 0,73$.

Questa condizione, unita alla similitudine strutturale tra i due modelli, è sufficiente a dimostrare l'attendibilità della procedura semplificata per l'analisi di vulnerabilità sismica proposta.

Conclusioni

L'urgenza di un miglioramento e un adeguamento sismico delle strutture sul territorio italiano è imposta dalla vetustà del patrimonio immobiliare, la necessità primaria dell'Italia nei prossimi decenni non è la costruzione di nuovi fabbricati ad uso residenziale e civile, bensì il mantenimento di quelli che già sono presenti, sia per la protezione delle bellezze artistiche nazionali che per la sicurezza dei cittadini, oltre che per l'ecosostenibilità del ciclo produttivo dell'industria delle costruzioni.

La metodologia proposta in questo articolo offre uno strumento che dà la possibilità di conoscere lo stato strutturale senza un esborso economico e temporale eccessivo, così da poter individuare le strutture sulle quali vi è maggiore urgenza di intervento. Non è un metodo che possa sostituire quello indicato dalla normativa, ma è una procedura da affiancare a quelle già in vigore.