

Modellazione FEM multi-scala di sistemi di rinforzo in CLT per strutture esistenti in muratura: analisi di sensitività per l'intervento integrato e applicazione al complesso "Cattedra" di Canove di Roana (VI)

Tesi di laurea di Tommaso Pizziol

Relatrice Chiar.ma Prof.ssa Maria Rosa Valluzzi - Correlatore Ing. Matteo Salvalaggio

ABSTRACT

Il rinforzo sismico delle strutture esistenti è uno dei temi di maggiore rilevanza nell'attuale panorama dell'ingegneria strutturale italiana. Gran parte del patrimonio edilizio nazionale, specie quello caratterizzato da valori storico-artistici considerevoli, è costituito in muratura. Il comportamento sismico delle strutture realizzate con tale tecnica costruttiva risulta piuttosto complesso da analizzare, è invece certa l'elevata vulnerabilità che le contraddistingue, come evidenziato dalle conseguenze dei principali terremoti avvenuti nella nostra penisola.

Per ridurre le vulnerabilità sismiche delle strutture in muratura, sono state sviluppate svariate tecniche di intervento. Alcune tecniche, tuttavia, si sono dimostrate spesso strutturalmente poco efficaci, se non dannose, mentre altre soluzioni d'intervento richiedono variazioni estetico-architettoniche impattanti, contrarie ai principi di conservazione.

Da queste problematiche deriva la necessità di sviluppare soluzioni che siano in grado di condurre ad un effettivo miglioramento sismico e che siano tali da rispettare i caratteri storico-artistici dei beni cui vengono applicate.

In questo contesto si inserisce la proposta di intervenire per mezzo dei pannelli in CLT (*Cross Laminated Timber*), elementi strutturali costituiti da strati di tavole di legno, incrociati e incollati l'uno sull'altro. La tecnologia costruttiva in oggetto, negli ultimi due decenni, ha subito una rilevante espansione nel mercato edilizio delle nuove costruzioni, grazie alle eccellenti prestazioni sismiche, alla prefabbricazione che permette un assemblaggio rapido delle strutture, all'ecosostenibilità relativa alla produzione del materiale ed alle ottime proprietà termiche dello stesso.

La tecnica d'intervento proposta prevede il collegamento dei pannelli in CLT alle strutture murarie per mezzo di fissaggi metallici, rappresentando pertanto una soluzione adeguatamente reversibile. Il rinforzo può essere applicato lungo un solo lato delle pareti murarie, permettendo così di conservare l'aspetto delle facciate esterne. Il sistema in questione comporta miglioramenti notevoli anche dal punto di vista energetico, essenziali nell'ottica di un intervento integrato, soprattutto alla luce delle scarse prestazioni energetiche che caratterizzano gran parte del patrimonio edilizio esistente.

Il lavoro di tesi si è concentrato sulla valutazione sismica della soluzione indagata, ovvero sulla quantificazione del miglioramento apportato dalla tecnica stessa, inteso come l'incremento delle prestazioni sismiche rispetto alla struttura muraria originaria non rinforzata.

Per poter valutare e quantificare il miglioramento apportato è stato indispensabile il supporto di apposite simulazioni numeriche, svolte con il software agli elementi finiti *Diana Fea*.

In considerazione del fatto che i modelli numerici, per essere efficaci, devono soddisfare un requisito semplice ma fondamentale, ovvero essere rappresentativi del comportamento reale delle strutture, la prima fase del lavoro di tesi ha previsto la calibrazione della modellazione sulla base dei risultati della principale campagna sperimentale disponibile, svolta nel 2021 da un gruppo di ricerca dell'Università degli Studi di Trento.

Una volta calibrata la tecnica di modellazione, è stato condotto un insieme di analisi di sensitività, al fine di quantificare l'influenza dei principali parametri del sistema in oggetto: la tipologia muraria, la geometria della parete, la quantità di connessioni tra il supporto murario ed il pannello in CLT, lo spessore del pannello, la tipologia degli *hold down* e degli *angle bracket*. Le analisi sono state svolte assumendo due differenti schemi statici, in modo tale da condurre a due tipologie di rottura preferenziali, corrispondenti ai principali meccanismi di collasso dei maschi murari nel piano: fessurazione diagonale da taglio e pressoflessione (*rocking*).

Definito il funzionamento locale del sistema di rinforzo è stato possibile svolgere analisi strutturali su scala globale. A tal fine si è preso in considerazione il caso studio della "Cattedra" di Canove di Roana, un edificio realizzato alla fine del XVI secolo in muratura di pietrame, oggetto di un intervento di recupero reso possibile dal programma "CORE-WOOD", promosso dalla Regione Veneto, in fase di realizzazione durante la redazione della tesi.

Il progetto strutturale era stato elaborato dalla società di ingegneria SPC di Padova in collaborazione con l'Università degli Studi di Padova, e prevedeva fondamentalmente l'inserimento di un nucleo in CLT all'interno dell'edificio a partire dal primo piano, previa demolizione dei solai in laterocemento e del muro di spina.

L'obiettivo principale della tesi consiste nella valutazione di diverse soluzioni d'intervento a base di rinforzi in CLT, al fine di definirne vantaggi e svantaggi, nell'ottica di estendere i risultati a possibili interventi analoghi, pur nella consapevolezza della specificità di ogni struttura esistente e della conseguente necessità dell'accurata analisi che ciascun intervento di restauro strutturale richiede.

Tra le soluzioni prese in esame sono state considerate due differenti tipologie di nucleo in CLT, tali da escludere o includere il piano terra dall'intervento; sono stati inoltre studiati altri aspetti quali la combinazione con l'esecuzione di iniezioni di consolidamento e l'influenza delle connessioni tra le pareti murarie ed i pannelli in CLT.

Analisi statiche non lineari (*pushover*) hanno permesso di valutare tali soluzioni, dimostrando che il sistema di rinforzo può apportare miglioramenti significativi in termini di sismo-resistenza, consentendo al contempo di ridurre la massa sismica della struttura (mediante la sostituzione di solai in laterocemento con solai in CLT). La riduzione di massa rappresenta un aspetto di fondamentale

importanza, in quanto le sollecitazioni sismiche sono di carattere inerziale, ovvero proporzionali alla massa stessa.

L'influenza del sistema di rinforzo in fase elastica si è dimostrata trascurabile, costituendo in tal senso un aspetto positivo, in quanto l'intervento stesso non comporta uno stravolgimento del comportamento proprio della struttura muraria, permettendole così di mantenere il comportamento deformativo e fessurativo naturale. Dopo l'instaurarsi delle prime fessurazioni, il sistema di rinforzo garantisce un danneggiamento della muratura più diffuso, riducendo la gravosità dei meccanismi di rottura principali e dissipando in maniera più proficua l'energia impressa dal sisma. In altri termini, per mezzo delle connessioni metalliche, i pannelli in CLT permettono alla muratura di assolvere a risorse strutturali proprie che altrimenti non sarebbero impiegate.

La tecnica d'intervento, valutata fondamentalmente come rinforzo sismico delle strutture murarie nel loro piano, ha evidenziato pertanto risultati promettenti, che potranno essere approfonditi nel corso di ulteriori studi di ricerca.