

ABSTRACT

Tesi: *“I caso studio delle Procuratie Vecchie di Venezia: un esempio di recupero di un bene architettonico vincolato con valutazioni sulla rigidità di piano”*

Candidato: Sonia Bellin

Nello scenario sismico italiano hanno acquisito sempre più importanza nel campo ingegneristico gli interventi su edifici esistenti mirati alla valutazione e alla riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, secondo quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni e dal DPCM 9 febbraio 2011. La presente tesi di Laurea, focalizzata su una parte dei lavori di restauro iniziati nel novembre 2017 e attualmente in corso nella fabbrica delle Procuratie Vecchie in Piazza San Marco a Venezia, propone una metodologia di studio del comportamento sismico di un edificio storico vincolato dalla Soprintendenza, con particolare attenzione all'intervento di consolidamento e recupero dei solai lignei presenti.

A partire dall'acquisizione del rilievo geometrico ed architettonico della fabbrica e dall'esecuzione di indagini in situ per la caratterizzazione dei materiali, è stato possibile ricostruire il sistema resistente con l'ausilio di un modello globale agli elementi finiti per lo studio del comportamento statico e dinamico dell'intero edificio. Si è scelto di condurre analisi di tipo lineare per la disponibilità di limitate informazioni sui materiali, a causa del vincolo di tutela della Soprintendenza, e per mantenere un discreto controllo sui risultati offerti dal modello di calcolo. Verifiche statiche e sismiche condotte sugli allineamenti murari, seguendo le indicazioni di normativa, hanno permesso di individuare le vulnerabilità della fabbrica, e di proporre la risoluzione con interventi di consolidamento della compagine muraria, eliminazione dei meccanismi locali di collasso e consolidamento dei solai lignei, sia dal punto di vista della rigidità che della resistenza, in modo da renderli capaci di accogliere il maggior carico richiesto dal cambiamento di destinazione funzionale, previsto dalla committenza, e allo stesso tempo di contrastare le forze sismiche orizzontali, garantendo il trasferimento di tali forze alle pareti di controvento in muratura. Con riferimento al caso studio, tenuto conto delle reali restrizioni progettuali in merito alla completa reversibilità dell'intervento e al basso grado di invasività sull'esistente, è stata proposta una tecnica di consolidamento dei solai lignei che prevede: il riutilizzo delle travi principali di legno presenti; la sostituzione del tavolato esistente con uno nuovo di caratteristiche meccaniche migliori; la cerchiatura di ciascun solaio con un profilo metallico di sezione a L, connesso alla muratura mediante opportuni tasselli dimensionati per trasferire le azioni taglianti alle pareti di controvento e infine, per garantire il comportamento di insieme a diaframma di piano, il posizionamento di una serie di bandelle metalliche di larghezza 80mm e spessore

1,5mm, disposte con andamento incrociato e inclinato a 45° rispetto alla direzione di orditura del tavolato e solidarizzate a questo mediante connettori meccanici a chiodo. Questo genere di intervento è stato studiato sia dal punto di vista teorico che da quello di calcolo e di modellazione mediante lo sviluppo di una procedura metodologica che si avvale della costruzione di alcuni modelli locali agli elementi finiti di una porzione delle Procuratie Vecchie. L'obiettivo è quello di fornire una valutazione, anche approssimata, innanzitutto della rigidezza degli elementi murari resistenti, nel piano e nel fuori piano; quindi, della rigidezza complessiva del modello locale e, infine, di quella dei solai lignei presenti in situazione *pre* e *post*- intervento, arrivando a stabilire l'adeguatezza dell'intervento.

Lo studio di cinque modelli locali, che differiscono per schematizzazione dei solai, ha permesso di affrontare i problemi della modellazione strutturale agli elementi finiti proponendo una possibile soluzione per l'intervento di consolidamento analizzato, che può essere utilizzata anche nella prassi professionale. In particolare, la procedura proposta per la valutazione della rigidezza dei solai lignei, in rapporto a quella del sistema resistente murario, vede il confronto degli spostamenti ottenuti in sezioni verticali delle pareti per azioni sismiche agenti nelle due direzioni in pianta. L'andamento di tali spostamenti consente infatti di stimare la rigidezza dei vari tronchi di muratura come rapporto tra il taglio di piano e il *drift* di interpiano. Operando in questo modo, è possibile interpretare in maniera più accurata il comportamento del modello di calcolo, associando spostamenti di elevata entità e fenomeni di riduzione di rigidezza alla presenza di porte o finestre e di porticati con pilastri poco resistenti alle azioni orizzontali. Simili considerazioni permettono anche di comprendere quanto la rigidezza delle pareti murarie sia influenzata dalla presenza dei vincoli interni dei solai e, contemporaneamente, quanto sia rilevante la corretta modellazione di tutti gli elementi costituenti ciascun solaio. Infatti, nel caso studio delle Procuratie Vecchie si è dimostrato come l'introduzione nella modellazione dei travetti del solaio incrementi mediamente del 46% la rigidezza fuori piano delle pareti murarie; da questo si evince che intervenendo nei solai di piano si può agire in maniera benefica per migliorare il comportamento dell'edificio, riducendone gli spostamenti orizzontali senza intervenire in maniera troppo invasiva sullo stesso.

Da una prima valutazione sulla rigidezza dei singoli paramenti si è passati dunque alla stima della rigidezza del sistema locale complessivo, in modo tale da fornire al progettista una migliore conoscenza del comportamento statico e dinamico della struttura e delle rigidezze che essa è in grado di mettere in gioco complessivamente. Per fare ciò si è scelto di utilizzare un'analisi delle frequenze e dei modi di vibrare sui diversi modelli realizzati; nota infatti la relazione che restituisce la frequenza circolare del sistema in funzione della sua rigidezza secante e della sua massa, è possibile ricavare la rigidezza globale della porzione di edificio analizzata nelle direzioni ritenute più significative per il comportamento sismico.

Una successiva fase di studio si è prefissata lo scopo di dimostrare che l'intervento di irrigidimento scelto per i solai lignei non può dirsi sufficiente a ritenere il solaio consolidato come infinitamente rigido, ma possa essere classificata come **irrigidimento limitato**, secondo quanto indicato dall'Allegato alla Circolare n°617 2/02/2009 al paragrafo C8.A.5.3. Sono state dunque proposte alcune procedure per la valutazione della rigidezza nel piano degli orizzontamenti di questo tipo, valutando la deformata tagliante di ciascuno di essi nelle due direzioni di lavoro, mediante la costruzione di funzioni di scorrimento angolare.

In conclusione, il percorso delineato vuole essere una guida per il progettista che si trovi a dover studiare una soluzione efficace per un edificio storico, eventualmente con vincolo di tutela, a fronte di un cambiamento funzionale di destinazione d'uso dei suoi locali interni e di un miglioramento sismico dello stesso. A partire dal reperimento dei dati sulla struttura e sui materiali che la costituiscono, fino agli schemi di calcolo dell'intervento vero e proprio, passando per le verifiche statiche e sismiche e la valutazione del rischio associato al bene storico, il lavoro svolto fornisce considerazioni utili per guidare la progettazione degli interventi mirati alla conservazione del patrimonio culturale esistente.