

# PROBLEMATICHE STRUTTURALI NELLA RIQUALIFICAZIONE DI EDIFICI STORICI

## Il caso di via Principe Amedeo 5 in Milano

La riqualificazione degli edifici storici rappresenta una delle maggiori sfide per l'Ingegneria Italiana del XXI secolo, specialmente nei riguardi dell'azione sismica. La tecnica costruttiva principalmente utilizzata per le strutture verticali degli edifici storici/monumentali fino al secolo XIX, successivamente affiancata da più moderne costruzioni in calcestruzzo armato, acciaio e legno, è la muratura ordinaria (non armata). Affrontare la progettazione di interventi di riqualificazione su tali edifici è un'opera delicata che difficilmente può essere guidata solo da principi generali, essendo le peculiarità di ciascun edificio, della sua struttura e del sito determinanti ai fini dell'inquadramento dell'intervento, che quindi viene a dipendere fortemente dalla sensibilità del progettista. Questo articolo riporta l'esperienza dell'intervento progettato ed eseguito sull'edificio storico/monumentale sito in via Principe Amedeo 5, in centro storico a Milano.

L'edificio si presenta come un complesso con pianta a forma di C di 5 piani fuori terra inclusa la copertura e 1 piano interrato, per un'area di singolo piano di circa 1570 m<sup>2</sup>. L'atto di fabbrica del complesso con cantine voltate, ritti murari, solai leggeri e copertura lignea, risale al 1871. Si segnalano di que-

sto periodo l'imponente facciata monumentale, l'atrio di ingresso ornato di pregevoli stucchi e decorazioni e una soffittatura interna in vetro piombato con motivi liberty. L'edificio è stato poi notevolmente rimaneggiato in epoca compresa tra le guerre mondiali, con la demolizione/ricostruzione dei muri interni e la realizzazione di solette in putrelle metalliche e tavelloni.

Un ulteriore importante rimaneggiamento è avvenuto nei primi anni '80 del secolo passato, con il conglobamento delle putrelle metalliche delle solette in travetti in calcestruzzo armato con soletta collaborante alternati da pignatte in laterizio, con la sostituzione della copertura lignea con una in calcestruzzo armato e con la realizzazione di breccie per i passaggi impiantistici.

### Fasi di studio e inquadramento dell'intervento

L'inquadramento dell'intervento è avvenuto in seguito ad un'analisi dello stato di fatto dell'edificio. Un'ispezione visiva generale ha rivelato un buono stato di conservazione dell'edificio, con assenza di panorami fessurativi evidenti. È stata quindi pianificata e realizzata una campagna sperimentale



*Inserimento di martinetti piatti nella muratura*



*Esecuzione di carotaggi nelle solette*



*Muratura perimetrale in condivisione con edifici adiacenti*

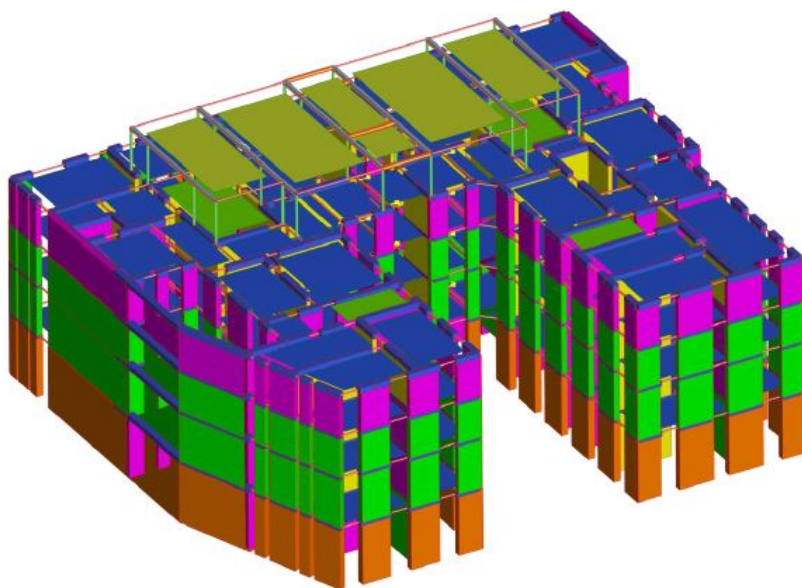


rivolta alla caratterizzazione delle geometrie strutturali (prove penetrometriche del terreno, saggi fondazionali, endoscopie, carotaggi, ispezioni termografiche) e delle proprietà meccaniche dei materiali (prove penetrometriche, MASW e georadar del terreno, martinetti piatti singoli e doppi su muratura, SON-REB e distruttive a compressione su carote su calcestruzzo, durezza LEEB e distruttive a trazione su spezzoni di acciaio). I risultati hanno delineato delle buone proprietà del terreno, in linea con le aspettative per il sito di Milano, un'esecuzione a regola d'arte della muratura con materiali di buona qualità, valori in linea con le aspettative per calcestruzzo e acciaio nelle solette. Si è quindi proceduto alla costruzione di un

modello numerico dell'edificio. L'analisi effettuata è stata di tipo dinamico lineare con spettro di risposta. Si è scelto di evitare analisi di tipo statico non lineare a causa dell'irregolarità della struttura, della sua complessità e del contributo dei modi superiori di vibrare. La condivisione dei muri perimetrali perpendicolari alla facciata con gli edifici adiacenti ha costituito una fonte di incertezza sul comportamento dinamico del complesso, in quanto non erano disponibili informazioni dettagliate su tali edifici.

Questo problema, tipico degli aggregati urbani dei centri storici, è stato risolto con un'analisi probabilistica semplificata considerando l'effetto dell'interazione dinamica al variare dei

*Modello numerico ad elementi finiti della struttura dell'edificio (stato di progetto)*





parametri di massa e rigidità degli edifici adiacenti in un intervallo del 20% intorno a valori medi stimati con formule semplificate. È stato poi considerato il caso più penalizzante di tale analisi probabilistica attraverso l'attribuzione di un coefficiente di interazione che diminuisce il coefficiente di vulnerabilità sismica ottenuto. Si segnala inoltre che il getto di una cappa collaborante armata effettuato durante il rimaneggiamento degli anni '80 ha consentito di poter considerare i diaframmi di piano come rigidi e di minimizzare il rischio di collasso locale fuori piano dei maschi murari. D'altronde, il medesimo intervento ha aggiunto massa vibrante all'edificio e l'apertura di passaggi per impianti voluminosi ha indebolito gli archi di collegamento dei muri interni presenti nei corridoi, fattore di cui si è tenuto conto nella modellazione dettagliata degli elementi.

Al termine dell'analisi di vulnerabilità, è risultato che l'edificio appariva quasi idoneo nei confronti dei carichi statici ma lontano dall'idoneità nei confronti dei carichi sismici, per i quali risultava critica la resistenza a taglio delle murature. Questo risultato è tipico di edifici in muratura storici, dove la corretta architettura del sistema murario e la realizzazione a regola d'arte della muratura con materiali di qualità comporta un buon comportamento sotto carichi statici anche orizzontali, ad esempio indotti dal vento, mentre l'enorme massa vibrante (11200 tonnellate in combinazione sismica per l'edificio in oggetto), composta in maniera preponderante dai muri medesimi, comporta grandi forze orizzontali che possono

indurre crisi anche in presenza di accelerazioni sismiche di progetto relativamente basse. Alla luce di questi risultati, ci si è posti dinnanzi al quesito se rinforzare o meno tutta la struttura dell'edificio, tenendo presente che, essendo i tassi di lavoro dei muri ad ogni piano molto simili in virtù di una progettazione razionale, gli interventi avrebbero dovuto essere generalizzati e, di conseguenza, estremamente invasivi e con costi proibitivi.

Dopo un'attenta riflessione, si è quindi scelto di inquadrare gli interventi strutturali come segue, al fine di rendere la struttura idonea a sopportare i carichi statici e di effettuare un miglioramento del comportamento sismico, rinunciando ad un completo adeguamento: a) riduzione della massa permanente non strutturale e variabile a tutti i piani intermedi, b) demolizione della copertura pesante in calcestruzzo armato e parziale ricostruzione con strutture leggere in acciaio, c) razionalizzazione delle aperture nei maschi murari con interventi di cucì/scuci.

### Realizzazioni

L'intervento di diminuzione di massa è stato effettuato demolendo tutti i massetti impiantistici esistenti realizzati in calcestruzzo di sottofondo e sostituendoli con un pavimento tecnico rialzato leggero. Inoltre, la copertura pesante in calcestruzzo armato è stata demolita e parzialmente sostituita con una struttura metallica. Il telaio metallico della porzione ricostruita di copertura è stato concepito con una serie di

*Nodo di sommità del telaio metallico della nuova copertura incastrato nelle due direzioni*



*Intervento di cucì/scuci su muratura al fine di allineare le aperture in verticale*





portali non controventati con pilastri incernierati alla base e incastrati alle travi in sommità. Questa scelta ha la duplice funzione di non concentrare sforzi di trazione indotti da azioni orizzontali in punti localizzati della muratura sottostante, che riuscirebbe ad assorbirli solamente con ulteriori rinforzi, e di minimizzare le sollecitazioni indotti dall'interazione dinamica in caso di sisma, avendo impostato uno schema statico relativamente flessibile e caratterizzato da un periodo di vibrare lontano da quello della sottostruttura. Interventi locali sulle murature hanno riguardato operazioni di cucì/scucì finalizzate ad allineare le aperture ai diversi piani laddove non già allineate e quindi a rinforzare i maschi murari principali. Zone di aggravio di carico, come quella della chiusura di un cavedio esistente con realizzazione di nuove solette, sono sempre state realizzate in carpenteria metallica gravanti su pilastri in calcestruzzo armato ricavati entro le murature perimetrali. Altri interventi locali di rinforzo hanno riguardato, ad esempio, il controventamento di un timpano in muratura risultato isolato in conseguenza della demolizione della copertura esistente, particolarmente fragile a causa di numerose cavità presenti al suo interno utilizzate in precedenza per lo scarico dei fumi da camino.

### Riflessioni conclusive

A valle del progetto e della sua realizzazione, è possibile trarre alcune riflessioni di carattere generale sul problema della riqualificazione degli edifici monumentali in muratura. È significativo che un edificio storico con struttura in muratura razionalmente concepita e realizzata ad arte con materiali di qualità, in generale buono stato di conservazione senza profili fessurativi significativi, abbia problemi di resistenza sotto azione sismica nonostante sia localizzato in una delle zone a minor

sismicità d'Italia, per giunta con un terreno di buona qualità. Il motivo di questo risultato è la combinazione di una massa vibrante particolarmente alta in combinazione sismica con la scarsa resistenza a taglio-trazione della muratura ordinaria. In questo progetto, però, il livello di sicurezza era comunque tale da poter giustificare un intervento di miglioramento sismico, realizzato principalmente attraverso la diminuzione della massa vibrante. L'esperienza derivante da altri interventi suggerisce però che tale condizione sarebbe difficilmente stata raggiunta se: a) il medesimo edificio si fosse trovato in una zona a media o alta sismicità sul territorio nazionale; b) la progettazione strutturale originale non fosse stata condotta con raziocinio; c) la messa in opera della muratura non fosse stata eseguita a regola d'arte con materiali di buona qualità; d) l'architettura muraria avesse subito importanti aperture postume al piano terra effettuate con rinforzi progettati per i soli carichi verticali. Purtroppo, la maggior parte degli edifici in muratura di carattere storico sparsi sul territorio nazionale non soddisfano tutti questi requisiti, e la loro riqualificazione antisismica appare di notevole complessità, spesso volte neppure affrontabile. Alla luce delle precedenti considerazioni, la soluzione più razionale per ridurre efficacemente il rischio sismico sul territorio nazionale sembra essere pertanto la generalizzata demolizione e ricostruzione di quegli edifici in muratura ordinaria che non presentano carattere di monumentalità o particolare pregio artistico, riservando per questi ultimi le risorse per i costosi interventi di miglioramento/adeguamento.

Bruno Dal Lago · Alberto Dal Lago · Alessandro Rocci  
DLC CONSULTING