

# MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA "PUCCINI" IN SENIGALLIA

## dalla diagnosi all'intervento

*Enrico Quagliarini, Stefano Lenci, Francesco Clementi, Gianluca Maracchini, Francesco Monni*

Questo articolo riporta l'esperienza dell'intervento progettato ed eseguito sull'edificio scolastico "Puccini" in Senigallia, il quale presenta caratteristiche architettoniche e vulnerabilità sismiche tipiche di edifici scolastici costruiti in Italia nel secondo dopoguerra. La scuola, insieme ad altre localizzate sempre nel Comune di Senigallia, ed aventi caratteristiche simili a livello di materiali e tecnologia costruttiva, è stata oggetto di studio ed analisi approfondite nell'ambito della convenzione di ricerca scientifica stipulata tra l'Università Politecnica delle Marche e il Comune di Senigallia

inerente "La valutazione e la stesura di linee guida per la riduzione del rischio sismico dell'edilizia scolastica del dopo guerra".

La fase di conoscenza

La progettazione e realizzazione dell'intervento è stata preceduta da una approfondita fase di conoscenza dello stato di fatto dell'edificio, in ottemperanza alla già citata convenzione stipulata tra l'Università Politecnica delle Marche e il Comune di Senigallia. In primis, è stata condotta una ispezione visiva volta a rilevare lo stato di conservazione ge-

nerale dell'edificio. In secondo luogo, è stata pianificata e realizzata una vasta campagna sperimentale finalizzata principalmente alla verifica e alla caratterizzazione delle geometrie strutturali, dei dettagli costruttivi e delle proprietà meccaniche dei materiali dichiarate da progetto. I risultati dell'ispezione visiva non hanno evidenziato cedimenti strutturali significativi. Sono state tuttavia riscontrate alcune fessurazioni non più in evoluzione all'estradosso del solaio dell'androne, probabilmente dovute all'assestamento del solaio stesso caratterizzato da una luce di 7,85 m, e diverse



*Porticato d'ingresso prima dell'intervento*

fessurazioni in prossimità degli spigoli degli elementi strutturali dovute al diffuso stato di corrosione delle armature longitudinali. È risultata particolarmente preoccupante, invece, la condizione del controsoffitto "Perret" appeso al solaio di copertura, che si presentava come una vulnerabilità della struttura sia in condizione sismiche, a causa della sua elevata massa (fino a 0,7-0,9 kN/m<sup>2</sup>), che in condizioni statiche. Dai saggi condotti è stato possibile evidenziare come i ganci metallici tramite i quali risultava appeso, si trovassero infatti in precarie condizioni di conservazione a causa del loro avanzato stato di corrosione.

Per quanto concerne la campagna sperimentale, sono state svolte indagini sui suoli (prove penetrometriche statiche CPT, indagine sismica con metodologia MASW, indagine geofisica con tecnica H-VSR), nonché indagini sulle fondazioni e sulle strutture di elevazione. Per quanto riguarda quest'ultime, si è scelto di non eseguire prove distruttive negli elementi strutturali dell'ampliamento in quanto, dati i pochi elementi strutturali presenti,

non risultava possibile agire senza provocare un indebolimento significativo della struttura nel suo insieme. I risultati delle indagini sull'apparato fondale hanno mostrato buona rispondenza tra documentazione di progetto e realizzazione. Le fondazioni risultano costituite da plinti di fondazione per il corpo originario e travi rovesce per l'ampliamento. Difficoltà geometriche significative sono state invece riscontrate nelle strutture di elevazione. In particolare, nel solaio di copertura del corpo di fabbrica originario è stata riscontrata la presenza di 4 travi estradossate non presenti da progetto, caratterizzate da uno spessore costante di 25 cm e altezza variabile. Come già accennato, ad ogni trave è agganciato in mezzera un tirante tubolare di sezione quadrata 3x3 cm utilizzato per sostenere il solaio a sbalzo sull'androne. Relativamente all'ampliamento, è stata riscontrata l'assenza di uno dei sette pilastri previsti da progetto. A causa della mancanza della documentazione relativa alle distinte di armatura, si è proceduto in questo caso alla redazione di un progetto simulato, volto

a calcolare la quantità di armatura presenti negli elementi utilizzando i criteri e metodi di calcolo propri del periodo di costruzione dell'edificio. In particolare, per il calcolo delle sollecitazioni è stato utilizzato il metodo di Cross per i carichi gravitazionali ed il cosiddetto metodo di Cross-Pozzati per l'azione sismica. Per quanto concerne i solai, risultano realizzati in latero-cemento (16+5 cm) per entrambe le strutture con interasse dei travetti di circa 33 cm.

Data la maggiore luce, il solaio a sbalzo del primo piano presenta uno spessore più elevato (20+6 cm). La soletta in calcestruzzo non risulta armata in nessun caso, per cui non è stato possibile considerare l'impalcato come infinitamente rigido nella successiva fase di modellazione numerica. Oltre all'avanzato stato di degrado delle armature, che in alcuni casi si trovano addirittura in uno "stato fossile" a causa dell'elevata ossidazione, e alla scarsa qualità del calcestruzzo verificata con le prove di laboratorio, l'indagine in situ ha permesso di verificare la presenza di ulteriori problematiche strutturali, quali ad esempio la presenza



2. Fessurazioni in prossimità degli spigoli degli elementi strutturali verticali che denotano la corrosione delle armature longitudinali.  
3. Controsoffitto di tipo "Perret" (immagine ripresa durante l'esecuzione dei lavori).



di pilastri "corti", suscettibili di collassi fragili e principalmente dovuti alla presenza di travi a ginocchio nei corpi scala, nonché l'inefficacia del giunto tecnico tra i due corpi. Di concerto con la committenza si è quindi ritenuta necessaria la valutazione della sicurezza a causa del significativo degrado in cui versa la struttura. Si è quindi proceduto alla realizzazione di un modello numerico dell'edificio. L'analisi effettuata è stata di tipo statico non lineare per il plesso originario e modale con spettro di progetto per l'ampliamento. Al termine dell'analisi di vulnerabilità sismica, l'edificio è risultato non idoneo a sostenere i carichi sismici da normativa. In particolare, quando soggetta ad azione sismica, la struttura del corpo di fabbrica originario presenta un diffuso danneggiamento a flessione degli elementi strutturali, ed in particolare dei pilastri, nella parte centrale dell'edificio. Tale condizione di "pilastro debole-trave forte" è usuale per strutture intelaiate progettate in que-

sto periodo, ed in particolar modo per quelle strutture progettate ai soli carichi verticali, dove le sezioni dei pilastri risultano fortemente sottodimensionate e vi è carenza di armatura longitudinale. Per quanto riguarda il corpo di fabbrica dell'ampliamento, invece, l'analisi modale con spettro di risposta ha mostrato una struttura sufficientemente sollecitata nei vari elementi. Alla luce di tali risultati, si è deciso di intervenire al fine di incrementare la resistenza degli elementi strutturali adottando provvedimenti volti a impedire la formazione di tutte le potenziali cerniere plastiche nei pilastri con l'obiettivo di ricondurre la struttura intelaiata ad una situazione di "pilastro forte-trave debole". Inoltre, oltre a ridurre le vulnerabilità "globali", è risultato necessario e improcrastinabile eliminare le vulnerabilità "locali", come ad esempio la sostituzione del pesante controsoffitto "Perret" all'intradosso del solaio di copertura con un sistema più leggero avente medesime funzioni ed il

rinforzo dei tiranti in acciaio a sostegno del ballatoio sull'atrio. La messa in opera di tali interventi non poteva ovviamente prescindere da una generale bonifica delle condizioni di degrado in cui versavano le porzioni in calcestruzzo armato, generalmente legate allo stato di ossidazione delle armature in acciaio.

L'intervento di miglioramento sismico L'obiettivo dell'intervento è stato quello di aumentare la sicurezza sismica della struttura senza però pregiudicarne la fruibilità o alterarne in maniera eccessiva le particolari caratteristiche architettoniche, tenendo in debito conto la possibilità di rendere adeguabile in futuro la struttura nei confronti dell'azione del fuoco senza che ciò comportasse eccessivi oneri aggiuntivi. Il miglioramento delle prestazioni sismiche dell'edificio è stato perseguito principalmente attraverso sette azioni di intervento:

- incamiciatura delle pilastrate con l'uso di calcestruzzo armato ad alte prestazioni ed inserimento di ulteriori barre



4. Inserimento di nuove barre longitudinali e trasversali.



5. Pilastrata tipo al termine dei lavori di incamiciatura e riconnessione delle tamponature.



5. Rinforzo a taglio delle travi tramite fasciatura a completo avvolgimento in FRP in fibra di carbonio

longitudinali e trasversali di armatura per tutto lo sviluppo verticale;

- rinforzo a taglio delle travi mediante l'applicazione di materiale composito in fibra di carbonio (CFRP) in prossimità dei nodi;

- inserimento di elementi resistenti in acciaio accoppiati ad alcune travi per incrementare la resistenza a taglio di quest'ultime;

- creazione di alcuni setti in calcestruzzo armato in corrispondenza di alcune travi particolarmente corte ("tozze") ed alcuni punti strategici della struttura per regolarizzarne il comportamento globale;

- demolizione del portico di ingresso in cemento armato e sostituzione dello stesso con una struttura in acciaio analoga dal punto di vista funzionale ma scollegata dalla struttura scolastica;

- demolizione del controsoffitto "Perret" e sostituzione dello stesso con uno analogo di minor peso;

- rinforzo dei tiranti in acciaio a sostegno del ballatoio mediante l'accoppiamento degli stessi con nuovi elementi resistenti.

Relativamente al rinforzo degli elementi strutturali, i pilastri sono stati rinforzati mediante incamiciatura. Nel dettaglio, il pilastro è stato inizialmente liberato

di tutte le porzioni non strutturali quali finiture, tramezzi, tamponature, ecc. che ne rendevano inaccessibile il perimetro. Successivamente, si è proceduto alla pulizia superficiale del pilastro con rimozione del copriferro ammalorato ed al trattamento delle barre di armatura ossidate. Dopo il posizionamento delle barre di armatura aggiuntive (inghisate con resina epossidica nel plinto di fondazione) e delle relative staffe, è stato effettuato un getto di calcestruzzo, avente elevate caratteristiche meccaniche e buone proprietà di adesione al substrato. Gli elementi strutturali orizzontali sono stati rinforzati mediante fasciature in prossimità dei nodi con materiali composti in fibra di carbonio. Anche in questo caso, limitatamente alla zona da rinforzare, la trave è stata preventivamente liberata di tutte le porzioni non strutturali che ne rendevano inaccessibile il perimetro e alla successiva rimozione del copriferro e al trattamento delle barre di armatura ossidate. Si è quindi proceduto alla riprofilatura della trave con malte apposite ad elevate prestazioni e alla posa del composito. In alcuni casi, ovvero per quelle travi che, per geometria o collocazione, risultavano particolarmente sollecitate dal punto di vista sismico, è stato ag-

giunto all'intradosso un ulteriore elemento resistente di rinforzo. Infine, sono state eseguite alcune opere di manutenzione straordinaria o propedeutiche a adeguamenti successivi. In particolare, contestualmente alla demolizione del portico di ingresso, è stata ricostruita la gradinata esterna, munita di apposita rampa per consentire l'accesso ai diversamente abili. Inoltre, per consentire alla committenza di procedere successivamente con il percorso di riqualificazione e adeguamento normativo dello stabile, si è fatta attenzione affinché le modifiche introdotte dall'intervento non si trovasse in contrasto con quanto richiesto dalle diverse disposizioni legislative per la sicurezza nei confronti dell'azione del fuoco, ed è stata prevista la collocazione al piano primo di una porta di evacuazione in posizione tale da poter poi essere agevolmente collegata ad una scala esterna antincendio.