

RESILIENZA DEL PATRIMONIO EDILIZIO SCOLASTICO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

a cura di Ludovica Maria Campagna

Dip. DICATECh – Politecnico di Bari

La crisi climatica non è più una minaccia remota, bensì una realtà che il nostro pianeta sta attraversando, con conseguenze che potrebbero compromettere irreversibilmente i sistemi naturali ed umani nel prossimo futuro. Di fronte agli impatti crescenti del cambiamento climatico, migliorare la resilienza dell'ambiente costruito rappresenta una sfida prioritaria per garantire la sostenibilità futura di città ed infrastrutture. Tuttavia, questa necessità richiede un ripensamento delle tradizionali strategie di progettazione e pianificazione, che devono evolversi per adeguarsi a condizioni ambientali mutevoli e sempre più imprevedibili. Infatti, la crisi climatica ha dato origine a nuovi paradigmi di progettazione e pianificazione, volti a creare un ambiente costruito che possa adattarsi e resistere a cambiamenti imprevisi ed improvvisi, come eventi climatici estremi, disastri o crisi, ossia un ambiente "resiliente". Il Gruppo Intergovernativo di Esperti sul Cambiamento Climatico (IPCC), principale organizzazione internazionale in materia, definisce la resilienza come "la capacità di un sistema socio-ecologico di far fronte a un evento pericoloso, o ad anomalie, reagendo o riorganizzandosi in modi che ne preservino le sue funzioni essenziali, l'identità e la struttura, mantenendo tuttavia anche le capacità di adattamento, apprendimento e trasformazione" (IPCC, 2022). Di conseguenza, un ambiente costruito "resiliente" non solo dovrebbe essere in grado di resistere agli impatti climatici, ma bensì garantire la continuità delle sue funzioni fondamentali, anche in presenza di fenomeni estremi. L'ambiente costruito non è interessato in maniera omogenea dagli effetti del cambiamento climatico, ma il rischio dipende dall'interazione di tre fattori principali: il pericolo climatico, l'esposizione del sistema e la sua vulnerabilità. Il pericolo climatico rappresenta l'evento o il fenomeno climatico che ha il potenziale di causare impatti negativi, come la perdita di vita, lesioni o impatti sulla salute, nonché danni o perdite a proprietà, infrastrutture, ecosistemi e risorse ambientali. L'esposizione è invece legata alla

presenza di persone, mezzi di sussistenza, specie o ecosistemi; funzioni, servizi e risorse ambientali, infrastrutture o beni economici, sociali o culturali in luoghi che potrebbero essere influenzati negativamente. Infine, la vulnerabilità rappresenta la propensione o la predisposizione del sistema a subire un danno, a causa di una intrinseca sensibilità o suscettibilità al danno, nonché di una mancata capacità di reagire e adattarsi. Pertanto, da un lato, è fondamentale agire sulle cause del cambiamento climatico, tra le quali le elevate emissioni di gas serra del settore delle costruzioni giocano un ruolo chiave, attraverso opportune strategie di mitigazione. Dall'altro, la riduzione del rischio richiede l'adozione di specifiche strategie di adattamento, che limitino esposizione e vulnerabilità dell'ambiente costruito. Infatti, la sua naturale capacità di adattamento non è sufficiente a fronteggiare gli hazards



Figura 1. Schema rappresentativo dei fattori che concorrono al rischio climatico. (Fonte: Campagna LM)

climatici, spesso complessi e interconnessi, portando inevitabilmente a perdite o danni. Per questo, incrementarne l'adattabilità diventa fondamentale nell'ottica di sostenere uno sviluppo resiliente al clima, che è inevitabilmente destinato a cambiare, indipendentemente dagli sforzi attuati per contrastare tale cambiamento.

All'interno dell'ambiente costruito, gli edifici giocano un ruolo chiave nella crisi climatica, poiché presentano notevoli potenzialità in termini di mitigazione, ma al contempo richiedono l'urgente adozione di misure di adattamento. Secondo l'ultimo Rapporto dell'IPCC, gli impatti del cambiamento climatico sugli edifici possono essere distinti in quattro categorie: impatti sulle strutture (a causa di eventi estremi), degrado dei sistemi a servizio degli edifici, impatti sui materiali da costruzione, impatti sulle condizioni di comfort indoor e sull'utilizzo dell'energia (che saranno quelli più tangibili).

Chiaramente, le diverse tipologie edilizie presentano diversi gradi di vulnerabilità ed esposizione al cambiamento climatico: alcune, per loro natura, sono particolarmente a rischio. È il caso degli edifici scolastici, notoriamente caratterizzati da problematiche strutturali ed energetiche, che li rendono particolarmente vulnerabili agli hazards climatici, amplificandone la sensibilità al pericolo e riducendone la capacità di adattamento. Inoltre, per loro natura, questi edifici presentano un elevato grado di esposizione ai pericoli climatici, a causa dell'importante ruolo sociale che svolgono. Ospitando bambini e ragazzi, le scuole de-

vono fornire spazi sicuri, in grado di resistere agli eventi estremi, ma anche garantire la presenza di spazi confortevoli nel lungo periodo, indipendentemente dalle variazioni climatiche.

Le scuole costituiscono una parte significativa dell'edilizia pubblica italiana, collocandosi al primo posto tra gli edifici pubblici per superficie totale occupata, con quasi 98 milioni di m² di aree dedicate agli spazi scolastici (MEF, 2018). Sebbene la stima precisa resti incerta, i dati più recenti del Portale Unico dei Dati della Scuola, aggiornati all'anno scolastico 2023/2024, indicano l'esistenza di circa 46.000 edifici scolastici statali, escludendo la Valle D'Aosta e il Trentino-Alto Adige per i quali non sono disponibili dei dati. Tuttavia, un aspetto è chiaro riguardo le scuole italiane: esse costituiscono un patrimonio edilizio obsoleto, totalmente inadeguato agli standard attuali, sia dal punto di vista energetico che strutturale. Infatti, quasi la metà degli edifici (40%) risulta costruito prima del 1976, ovvero prima dell'entrata in vigore della prima legge nazionale sul contenimento dei consumi energetici (Legge 373/1976). Un ulteriore 21% è stato edificato tra il 1976 e il 1992, mentre solo il 12% è sorto dopo il 1992, anno dell'entrata in vigore della Legge 10/1991, una delle prime leggi ad affrontare il tema del risparmio energetico. Infine, per ben il 27% degli edifici non sono disponibili dati riguardanti l'anno di costruzione.

La costruzione delle scuole, effettuata in larga parte prima dell'adozione di normative energetiche che definissero standard prestazionali minimi, si traduce in scarse prestazioni energetiche. Infatti, esse sono tipicamente caratterizzate da notevoli livelli di dispersione termica e scarsa capacità di isolamento, che causano elevati dispendi di energia e inadeguati livelli di comfort indoor. Non a caso, un'indagine condotta da Legambiente su un campione di 6343 scuole, ha rivelato che – tra le 1950 scuole che dispongono di un attestato di prestazione energetica – soltanto il 5.4% si trova in classe energetica A, mentre ben il 73% ricade nelle classi energetiche E, F e G. Chiaramente, l'epoca di costruzione si riflette anche sulle caratteristiche strutturali delle scuole, note per le

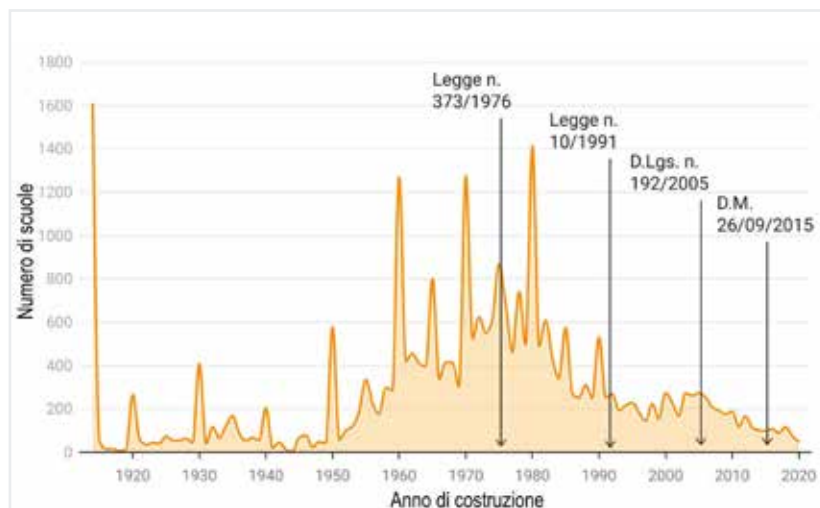


Figura 2. Distribuzione degli edifici scolastici italiani per anno di costruzione, con indicazione delle principali normative nazionali in materia di efficienza energetica. (Fonte: Campagna LM)

significative problematiche strutturali e di inadeguatezza alle normative antisismiche. Ancora una volta, l'indagine rivela che oltre la metà delle scuole esaminate non sia in possesso del certificato di collaudo statico, a cui si aggiunge un ulteriore 50% sprovvisto del certificato di agibilità e di quello di prevenzione incendi.

Queste debolezze intrinseche amplificano la vulnerabilità degli edifici scolastici ai cambiamenti climatici, i cui effetti aggravano le inefficienze preesistenti, rendendole sempre più difficili da gestire. Inoltre, la natura stessa degli edifici scolastici contribuisce ad incrementare tale vulnerabilità, in particolar modo nei confronti del rischio di surriscaldamento. Le scuole, con tassi di occupazione elevatissimi e attività concentrate nelle ore più calde, risultano particolarmente sensibili al rischio di surriscaldamento, aggravato dalle scarse prestazioni degli involucri edilizi, storicamente non progettati per affrontare le esigenze estive. Ricordiamo che il periodo di costruzione degli edifici scolastici si riflette chiaramente nella progettazione, concepita principalmente per soddisfare i fabbisogni di riscaldamento, rendendoli inadeguati a fronteggiare le crescenti necessità di raffrescamento. Infatti, l'attenzione nei confronti dei fabbisogni estivi è stata introdotta soltanto dalle normative più recenti (a partire dal D.Lgs. 192/2005), ma gli esempi di scuole costruite dopo questa data sono estremamente limitati rispetto all'intero parco edilizio scolastico. A complicare questo quadro, la maggior parte delle scuole risulta priva di impianti di climatizzazione estiva negli spazi didattici, rendendole impreparate ad affrontare il rischio di surriscaldamento nel lungo periodo. In questo contesto, gli interventi di rinnovamento rappresentano un'urgente necessità per adeguare gli edifici scolastici agli standard attuali. A tal proposito, le statistiche rivelano una tendenza a dare priorità agli interventi di natura strutturale rispetto a quelli di natura energetica, poiché tipicamente le amministrazioni appaiono più sensibilizzate ai problemi di sicurezza strutturale. Non a caso, i tassi di rinnovamento energetico appaiono ancora insufficienti: l'indagine di Legambiente ha rivelato che soltanto il 12,7% degli edifici è stato interessato da interventi di rinnovamento negli ultimi cinque anni. Le barriere al rinnovamento sono molteplici: l'elevata frammentarietà del patrimonio edilizio scolastico, che coinvolge numerosi attori, ma anche la mancanza di risorse finanziarie. Tuttavia, queste necessità di rinnovamento offrono l'ottima opportunità di integrare soluzioni che rispondano non solo alle attuali esigenze di progettazione, ma anche alle nuove esigenze derivanti dalle inevitabili variazioni climatiche

Figura 3. Confronto dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento negli scenari climatici attuale e futuro all'interno di una scuola sita nella Regione Puglia. (Fonte: Campagna LM)



future. Ad esempio, studi recenti hanno mostrato che - nonostante le scuole siano quasi inoccupate durante il periodo estivo - il cambiamento climatico determinerà un significativo incremento della domanda di raffrescamento, che non sarà compensato dalla diminuzione dei fabbisogni di riscaldamento, conducendo complessivamente ad un aumento di consumi. Infatti, a differenza del passato, anche nelle stagioni intermedie, come nei mesi di maggio e settembre, sarà molto probabile assistere ad una richiesta di raffrescamento degli ambienti scolastici. Considerate le condizioni critiche in cui versa il patrimonio edilizio scolastico, esistono significative potenzialità di rinnovamento per trasformare queste strutture in edifici resilienti, capaci di adattarsi ai cambiamenti climatici e di rispondere alle esigenze future in termini di efficienza energetica, comfort e sicurezza.

Dal punto di vista strutturale, le scuole devono indubbiamente assicurare elevati standard di sicurezza, dato il ruolo sociale che svolgono. In questo contesto, l'IPCC suggerisce che l'aumento della resilienza e la riduzione dell'esposizione al rischio di eventi estremi possano essere raggiunti rafforzando le strutture edilizie - che attualmente soffrono di significative carenze strutturali -, ma anche riadattandole in modo strategico.

Dal punto di vista energetico, la resilienza può essere migliorata riducendo i fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento, ed assicurando che essi vengano sopperiti da fonti di energia rinnovabile, rendendo l'edificio più adat-

Figura 4. Esempio di tetto verde realizzato nel Liceo Keplero di Roma, primo esempio di copertura verde realizzata in un edificio scolastico, nell'anno 2016. (Fonte: <https://www.greenroofs.com>, crediti fotografici: Roberto Casalini)



tabile e meno vulnerabile alle fluttuazioni climatiche. Anche in questo caso, è l'IPCC a fornire delle linee guida per migliorare la resilienza energetica, le quali tuttavia non hanno ancora trovato una precisa traduzione in termini normativi. In generale, le strategie di adattamento degli edifici scolastici non differiscono da quelle efficaci per le altre tipologie edilizie, includendo diverse tecniche di intervento, che si declinano in misure passive (riguardanti l'involucro edilizio) e misure attive (riguardanti gli impianti a servizio dell'edificio). Tra le misure passive più utilizzate figurano l'aumento della resistenza termica dell'involucro, il miglioramento della protezione solare e l'incremento della ventilazione naturale: strategie che contribuiscono da un lato a migliorare le attuali criticità delle scuole e dall'altro a migliorarne la resilienza.

Data la scarsa efficienza degli involucri edilizi delle scuole, uno degli interventi più diffusi consiste proprio nel miglioramento delle sue prestazioni termiche. Infatti, l'involucro edilizio funge da barriera tra ambiente esterno e spazio interno, svolgendo un ruolo cruciale negli scambi di calore ed influenzando fabbisogni energetici e comfort degli utenti. In quest'ottica, migliorarne la resistenza termica (ossia la capacità di opporsi al flusso di calore) rappresenta un passo fondamentale per minimizzare gli scambi di

calore con l'ambiente esterno, riducendo le necessità di riscaldamento e raffrescamento. L'incremento della resistenza termica avviene principalmente attraverso interventi di isolamento delle pareti esterne, delle coperture e la sostituzione degli infissi; al contrario, interventi più invasivi, come l'isolamento dei pavimenti contro terra, vengono spesso evitati per limitare le interruzioni delle attività scolastiche.

Accanto ai tradizionali interventi di isolamento, la realizzazione di facciate e tetti verdi rappresenta un'ulteriore strategia per migliorare l'efficienza energetica delle scuole, incrementandone significativamente la resilienza. Brevemente, questa tecnologia costruttiva prevede l'inserimento di un impianto vegetale come "finitura", posto su un substrato di sostegno impermeabile, orizzontale nel caso dei tetti e verticale nel caso delle pareti. Queste soluzioni non solo incrementano il potere isolante dell'involucro, migliorando il funzionamento della chiusura in regime invernale, ma offrono numerosi vantaggi in regime estivo. Infatti, lo strato di coltura incrementa l'inerzia termica, mentre l'evapotraspirazione dell'acqua riduce la temperatura della chiusura, migliorando le condizioni di comfort interno. Numerosi sono anche i vantaggi a livello urbano. Ad esempio, i tetti verdi riducono la vulnerabili-

tà alle precipitazioni intense, poiché dilatano i tempi di deflusso delle acque meteoriche verso i sistemi di smaltimento, evitando picchi idrici e alleviando il carico sui sistemi di drenaggio urbano. Inoltre, essi contribuiscono a mitigare l'effetto isola di calore urbano all'interno delle città, migliorando al contempo la qualità dell'aria. Nonostante i benefici di queste tecnologie, l'attuale approccio progettuale preferisce ancora soluzioni di isolamento tradizionale, probabilmente a causa di una maggiore familiarità con queste tecniche di intervento, nonché minori costi di investimento iniziale. Tuttavia, sebbene l'approccio tradizionale presenti indubbi vantaggi, alcuni studi ne rilevano delle criticità. In particolare, in climi più caldi e soggetti a crescenti ondate di calore, l'incremento eccessivo dei livelli di isolamento potrebbe determinare effetti controproducenti, incrementando i fabbisogni di raffrescamento e rendendo le scuole più vulnerabili al rischio di surriscaldamento nei mesi più caldi. Questo

Figura 5. Esempio di sistemi di schermatura installati nella scuola internazionale francese di Pechino, Jacques Ferrier Architecture. (Crediti Fotografici: Luc Boegly)



suggerisce che affidarsi esclusivamente all'aumento della resistenza termica non sia sufficiente a garantire resilienza, ma è necessario che a queste strategie vengano affiancate misure specificatamente volte alla riduzione dei fabbisogni per raffrescamento.

Tra queste, la protezione solare dell'involucro rappresenta indubbiamente una strategia progettuale efficace: essa mira a ridurre l'impatto della radiazione solare durante i mesi estivi, in modo da ridurre i guadagni solari, limitando così il rischio di surriscaldamento degli ambienti. Le principali tecniche per realizzare questa strategia prevedono l'introduzione di sistemi di ombreggiamento dell'edificio o l'aggiunta di schermature solari, che possano schermare gli infissi dalla radiazione solare diretta. Spesso, nel contesto dell'edilizia scolastica, l'ombreggiamento è parzialmente garantito dalla presenza di alberi, tipicamente piantati nei cortili delle scuole, i quali offrono una protezione naturale nei confronti della radiazione solare. Tuttavia, con l'inevitabile incremento delle temperature dovuto ai cambiamenti climatici, si renderà necessaria l'integrazione di sistemi più specifici, come le schermature solari. Le tipologie di schermature solari sono molteplici: interne o esterne, fisse o mobili, con meccanismi di funzionamento manuale o automatico. Tuttavia, affinché possano garantire un funzionamento ottimale, l'integrazione delle schermature richiede un'opportuna progettazione. Infatti, delle schermature efficaci dovrebbero massimizzare l'ingresso della radiazione solare nei mesi invernali (in cui i guadagni solari risultano benefici per ridurre la domanda di riscaldamento), bloccandola nei mesi estivi per prevenire il surriscaldamento. Pertanto, la loro disposizione va adeguata all'esposizione delle facciate sulle quali verranno applicate: ad esempio, schermature orizzontali risultano più efficaci su facciate esposte a sud, mentre schermature verticali su facciate esposte ad est o ad ovest. Inoltre, non va dimenticato che, soprattutto nel caso delle scuole, la presenza delle schermature non deve compromettere i livelli di illuminamento richiesti negli ambienti. Al fine di migliorare la protezione solare dell'involucro, un'ulteriore misura è rappresentata dall'impiego di vetri dal ridotto fattore solare. Il fattore solare misura la quantità di energia termica che viene trasmessa attraverso il sistema vetrato, rispetto a quella incidente sul vetro. L'utilizzo di vetri a basso fattore solare può significativamente limitare la quantità di energia trasmessa all'interno dell'ambiente, quindi i carichi solari, contribuendo a prevenire il surriscaldamento degli spazi interni. Efficace nei mesi estivi, questa soluzione comporta degli svantag-

gi durante i mesi invernali, nei quali i guadagni di calore sono vantaggiosi per ridurre i fabbisogni di riscaldamento. Ancora una volta, le esigenze di riscaldamento e raffreddamento devono essere opportunamente bilanciate, in modo che l'utilizzo di questa soluzione non comprometta globalmente l'efficienza energetica dell'edificio nel corso dell'intero anno. Inoltre, le modalità di produzione – che richiedono l'applicazione di opportuni rivestimenti (coating) applicati sulla superficie del vetro – determinano una parziale riduzione della trasmissione luminosa, di cui occorre tener conto per mantenere il benessere visivo fondamentale negli ambienti scolastici.

In generale, un'altra strategia utile a migliorare la resilienza delle scuole al cambiamento climatico è rappresentata dall'incremento della ventilazione naturale degli ambienti. Essa rappresenta una strategia di raffreddamento passivo, che consente di eliminare il calore attraverso un fluido termovettore (l'aria). Tuttavia, nell'ambito dell'edilizia scolastica, l'applicazione di questa tecnica presenta notevoli complessità. Gli ambienti scolastici, infatti, soffrono di problemi legati alla qualità dell'aria interna, minata dall'affollamento elevato e dall'attività intensa all'interno degli ambienti, causa di accumulo di inquinanti. Alla luce di questo, una ventilazione naturale mal progettata può non solo risultare inefficace nel ridurre il fabbisogno di raffreddamento, ma anche compromettere la salute e il benessere degli occupanti. In questo senso, ottime potenzialità vengono offerte dalle tecniche di ventilazione naturale durante le ore notturne, che possono ridurre in modo significativo i carichi termici accumulati durante il giorno. Tuttavia, la loro efficacia dipende fortemente dalle caratteristiche dell'edificio, rendendo l'implementazione in edifici scolastici esistenti spesso difficoltosa e poco

efficiente. Inoltre, anche le condizioni climatiche locali influenzano l'efficacia della ventilazione naturale, i cui benefici nel lungo termine potrebbero essere irrimediabilmente compromessi dall'incremento medio delle temperature esterne.

Gli studi dimostrano che l'approccio progettuale basato su strategie di rinnovamento passivo offra delle soluzioni efficaci nel medio termine, contribuendo a garantire ridotti fabbisogni termici e adeguate condizioni di comfort. Tuttavia, queste soluzioni potrebbero non essere sufficienti a fronte dell'incremento delle temperature previsto nel lungo termine. Infatti, gli edifici saranno sottoposti a condizioni climatiche sempre più critiche, che supereranno la capacità delle soluzioni passive di garantire adeguate condizioni di comfort indoor, rendendo necessaria l'adozione di sistemi di raffreddamento attivo. L'introduzione di tali sistemi richiede cautela, in quanto rischia di aumentare i consumi energetici dell'edificio, nonché le relative emissioni di gas serra. Questo paradosso, in cui una strategia di adattamento (volta a migliorare il comfort interno a fronte dell'aumento delle temperature) contribuisce a intensificare le cause stesse del cambiamento climatico, è un chiaro esempio di 'maladattamento'. Pertanto, l'introduzione dei sistemi attivi dovrebbe avvenire soltanto a seguito della riduzione dei fabbisogni energetici attraverso le misure passive. In questo contesto, studi recenti suggeriscono che la sostituzione degli impianti di riscaldamento esistenti con sistemi a pompe di calore per il riscaldamento e per il raffreddamento, alimentati da fonti di energia rinnovabile, possano rappresentare un adeguato compromesso.

In conclusione, è evidente che molteplici strategie possano essere adottate per migliorare la resilienza degli edifici scolastici, tra le quali sono state riportate soltanto le più diffuse. Tuttavia, la loro corretta applicazione rimane ancora un tema aperto e dibattuto. Le inarrestabili evoluzioni climatiche sollevano numerosi interrogativi circa l'efficacia di queste soluzioni, soprattutto nel lungo periodo. Non a caso, la scelta delle tecniche di intervento da applicare (singolarmente o in combinazione), nonché la scelta dei valori prestazionali da raggiungere, dovrebbero essere effettuate in relazione non solo al contesto climatico attuale, ma anche a quello futuro, la cui valutazione resta incerta. Tuttavia, nonostante i numerosi ostacoli presenti, investire nella resilienza degli edifici scolastici è ormai un imperativo al quale le pubbliche amministrazioni non possono più sottrarsi, necessario a creare spazi sicuri e confortevoli in cui le generazioni future possano crescere.



Figura 6. Schema della strategia di ventilazione naturale implementata nella Lamener and Sacred Heart School di Londra. (Fonte: <https://consiliumeducation.com/itm/2021/01/15/looking-forward/>)