

# RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E BENESSERE VISIVO NEGLI EDIFICI SCOLASTICI

a cura di Clara Vite\*, Renata Morbiducci\*, Andrea Morini\*\*

\* Università di Genova, Dipartimento Architettura e Design (DAD)

\*\* Università di Genova, Dipartimento di Ingegneria Navale, Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni (DITEN)

Negli obiettivi dell'Unione Europea per un futuro sostenibile, l'energia e le emissioni di gas serra sono un punto cruciale delle strategie future. Per il 2030 sono stati fissati l'obiettivo di diminuire le emissioni di gas serra del 40% rispetto ai livelli del 1990, da raggiungere principalmente attraverso misure nazionali, e ulteriori obiettivi relativi all'aumento almeno al 27% della quota di energia da fonti rinnovabili consumata nell'UE e al miglioramento dell'efficienza energetica [1]. Con la strategia a lungo termine e, attraverso il Green Deal europeo, l'UE si impegna a diventare climaticamente neutrale entro il 2050 [2]. È possibile vedere sul sito dedicato alle Climate Action il conto alla rovescia alla Climate Neutrality e consultare anche tutte le iniziative promosse e strategie delineate.

Come anticipato il consumo di energia e le relative emissioni di gas serra sono cruciali nelle strategie per il nostro futuro e l'intero settore dell'edilizia è responsabile di circa 720 Mtep/a ovvero circa il 40% dell'intera domanda di energia primaria dell'UE. Per tale motivo ha un ruolo fondamentale e di conseguenza è anche il beneficiario di consistenti investimenti per la sua manutenzione e riqualificazione, anche dal punto di vista energetico.

L'Osservatorio del patrimonio edilizio dell'UE [3] è stato istituito con il compito di fornire informazioni e dati trasparenti e affidabili sul patrimonio edilizio dell'UE, e BUILD UP è il portale europeo per l'efficienza energetica e le energie rinnovabili negli edifici [4]. Sono numerose anche le direttive specifiche per il settore delle costruzioni, ultima di una lunga lista è la "Energy Performance of Buildings Directive" (EPBD) del 2024 [5] che delinea il contributo del settore per l'obiettivo comune della neutralità climatica.

Il patrimonio edilizio è costituito da circa il 75% di edifici ad uso residenziale e il restante 25% è costituito principalmente da edifici per uffici e commercio [6]. Solo il 7% della superficie coperta è costituita da edifici destinati ad uso scolastico [7] ma nonostante questo esiguo valore sono strutture che hanno un impatto profondo sulla vita degli studenti, dei docenti e dell'intera comunità (Figura 1). Sono edifici che possono influenzare la concentrazione, la creatività e l'apprendimento degli studenti, ma sono anche elementi di riferimento per l'intera comunità e il tessuto sociale circostante.

Da notare in figura 1, che la porzione più significativa della superficie coperta ad uso non residenziale è stata

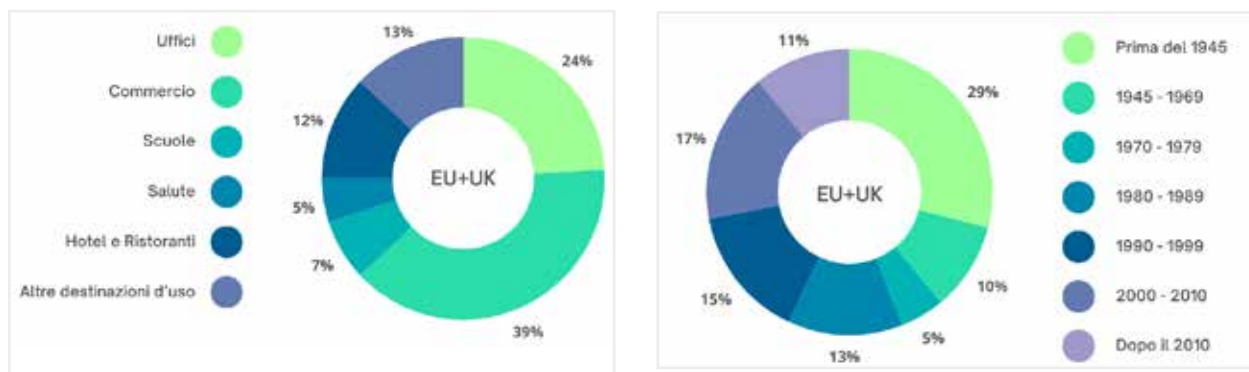


Figura 1. Grafico che mostra la suddivisione della superficie coperta degli edifici non residenziali europei secondo le diverse destinazioni d'uso (a sinistra) e periodi di costruzione (a destra) (© Immagine elaborata da Clara Vite).

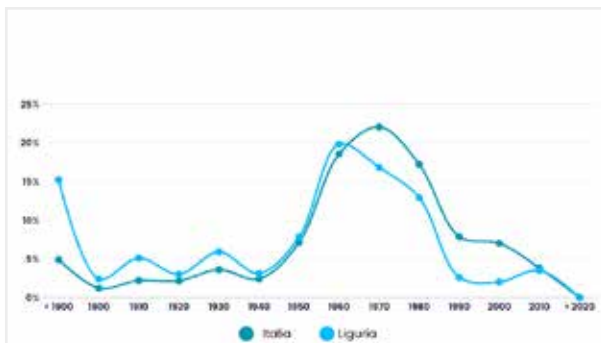


Figura 2. Grafico che mostra la distribuzione degli edifici scolastici per anno di costruzione in Italia e in Liguria (© Immagine elaborata da Clara Vite).

realizzata prima del 1945, ovvero il 29%, mentre quella realizzata dopo il 2010 è solamente l'11% [7].

Nel contesto italiano, il patrimonio degli edifici scolastici attivi nell'anno scolastico 2022-2023, secondo l'anagrafe dell'edilizia scolastica del Ministero dell'Istruzione, è costituito da oltre 40.000 edifici, pari a circa 150 milioni m<sup>2</sup> che ogni giorno sono utilizzati da quasi 10 milioni di persone. Tale patrimonio è distribuito in modo capillare su tutto il territorio nazionale e, come già anticipato, nonostante la sua importanza, presenta numerose criticità dovute soprattutto all'età degli edifici e alla loro inadeguatezza rispetto alle nuove esigenze educative e sociali. Oltre il 60% delle scuole italiane è stata costruita nel periodo tra la fine della Seconda guerra mondiale gli anni '90, con un picco negli anni '70 quando sono state realizzate solo in quel decennio circa il 22% delle scuole italiane. Significativo è rilevare che circa il 15% delle scuole sono edifici costruiti prima della Seconda guerra mondiale di cui un terzo risale a prima dell'inizio del secolo scorso. Infine, si può notare che le scuole realizzate dal 2010 ad oggi sono meno del 4% (Figura 2).

Importante è analizzare questi dati correlandoli con le norme emanate per l'edilizia scolastica. È proprio negli anni '70 che viene approvato il Decreto Ministeriale che definisce le norme tecniche relative all'edilizia scolastica. Gli anni '90 sono cruciali per l'emanazione della Legge 11 gennaio 1996, n. 23 che ha l'obiettivo principale di garantire uno sviluppo qualitativo delle strutture scolastiche, adeguandole alle continue evoluzioni delle dinamiche formative, culturali, economiche e sociali; sono anni anche dell'introduzione di indicazioni per le infrastrutture scolastiche, dal superamento delle barriere architettoniche sino alle norme antincendio e più in generale per il settore delle costruzioni di indicazioni relative

all'energia. Nel nuovo millennio si fa poi un ulteriore passo avanti con l'introduzione delle Direttive comunitarie sul rendimento energetico nell'edilizia, con le nuove disposizioni sulla normativa antincendio e più recentemente, nel 2022, con il documento "Progettare, costruire e abitare la scuola" [8], si ha una linea guida elaborata da esperti nominati dal Ministero dell'Istruzione italiano con l'obiettivo di definire i criteri per la progettazione e la realizzazione delle nuove scuole, in particolare quelle finanziate dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) [9].

Tra tutte le regioni italiane la Liguria ha il primato degli edifici scolastici con l'età media più elevata, pari a circa 85 anni, mentre il Molise quella più bassa, pari a circa 43 anni. Se si analizzano i dati per la sola regione Liguria si può notare che rispetto alla media nazionale sono maggiori gli edifici costruiti prima del 1900, circa il 15%, e più in generale la media è superiore sino agli anni '60, anni di picco per la regione che così anticipa di un decennio il picco nazionale. A partire dagli anni '70 il numero di edifici costruiti è inferiore rispetto alla media nazionale sino a riallinearsi a partire dal decennio scorso (Figura 2).

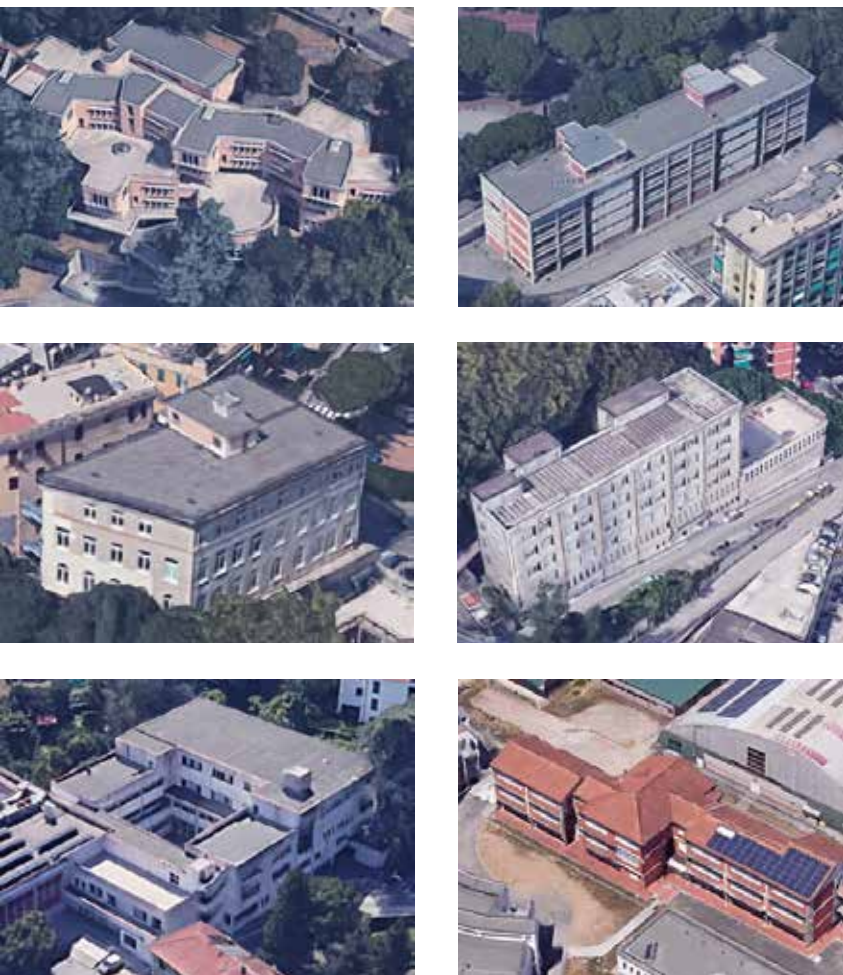


### *I casi studio situati in Liguria*

A partire da tali considerazioni è stato condotto uno studio su un set di edifici rappresentativi del patrimonio edilizio scolastico del territorio ligure, situati nel Comune di Genova e nella provincia della Spezia, al fine di studiarne lo stato di fatto e identificare delle possibili strategie di riqualificazione. I casi studio scelti per questa analisi sono (Figura 3):

1. Scuola "Barabino" realizzata a Genova nel XVII secolo;
2. Scuola "Gianelli" realizzata a Genova nel 1890;
3. Scuola "Don Milani" realizzata a Genova nel 1916;
4. Scuola "Garrone" e "S. Quirico" realizzata a Genova nel 1930;
5. Scuola "Casaregis" realizzata a Genova nel 1963;
6. Scuola "Palli-Strozzi" realizzata a Genova nel 1965;
7. Scuola "Taviani" realizzata a Genova nel 1975;
8. Scuola "Fanciulli" e "Cambiaso" realizzata a Genova nel 1976;
9. Scuola "Bertani" realizzata a Genova nel 1976;

Figura 3. Viste aeree delle 12 scuole liguri oggetto di studio (© Immagini da Google Earth).



10. Scuola "Gallino" realizzata a Genova nel 1980;
11. Scuola "Don Orenco" realizzata a Genova nel 1980;
12. Scuola "Alessandro Manzoni" realizzata a Bolano (SP) nel 1987.

Lo stato di fatto di tutti gli edifici è stato studiato seguendo tre progressivi livelli di analisi: ambientale, tipologica e di dettaglio. Nelle sezioni seguenti verranno presentati i risultati ottenuti dall'analisi dello stato di fatto degli edifici e nel successivo paragrafo le proposte di intervento studiate, con particolare rilievo al benessere visivo.

### *Analisi dello stato di fatto*

I casi studio selezionati per questa analisi sono rappresentativi del patrimonio edilizio scolastico ligure, poiché, pur trattandosi di un campione ridotto, coprono non solo diversi periodi di costruzione, dai secoli passati fino alla fine degli anni '80, ma anche una varietà di tipologie edilizie, riflettendo così le principali fasi e caratteristiche costruttive che hanno segnato l'evoluzione degli edifici scolastici in Liguria.

I primi quattro casi studio scelti sono edifici storici costruiti prima della Seconda guerra mondiale, non tutti realizzati con lo scopo di essere destinati alla funzione di scuola. In particolare, la Scuola Secondaria Barabino è una villa alessiana che è stata commissionata all'inizio del 1600 quale sede di un palazzo di grande magnificenza per la villeggiatura. Nei secoli successivi l'edificio ha subito diverse trasformazioni e cambi di destinazione d'uso: nell'Ottocento è diventato la sede del primo ospedale cittadino, nella prima metà del secolo scorso è diventato sede di un collegio femminile e poi di una biblioteca. Nel 1957, l'edificio viene destinato ad ospitare una scuola, funzione che mantiene tutt'oggi. Gli altri casi studio sono edificazioni più recenti che coprono i periodi degli anni di maggiore attività e presentano le tipiche caratteristiche costruttive che si possono riscontrare negli edifici realizzati nel secondo dopo guerra.

Il primo passo dello studio dello stato di fatto è stata l'analisi ambientale, finalizzata a comprendere il contesto in cui si trovano gli edifici e il suo impatto diretto sul benessere abitativo all'interno delle strutture conducendo un'analisi dettagliata delle caratteristiche climatiche dei siti. È importante sottolineare che tutti gli edifici analizzati condividono condizioni climatiche simili, poiché tutti situati nel territorio ligure in prossimità

mità della costa. In particolare, sia il Comune di Genova che il Comune di Bolano rientrano nella zona climatica D con rispettivamente 1435 GG e 1819 GG. Il clima di queste aree è caratterizzato da inverni miti e piovosi ed estati calde e asciutte. Le precipitazioni sono abbondanti, soprattutto concentrate in autunno e inverno. Un aspetto rilevante è il regime dei venti, spesso significativo a causa della conformazione territoriale, con venti invernali provenienti da Nord e venti estivi da Sud.

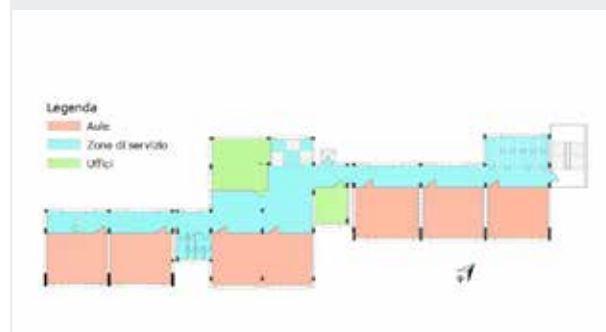
Il secondo passo nello studio è stato quello di analizzare il rapporto edificio-ambiente ovvero l'analisi tipologica con l'analisi dell'orientamento della costruzione e la forma dell'edificio.

La valutazione dell'orientamento è stata fatta sulla base di tre diversi fattori ambientali: la radiazione solare, il regime del vento e la morfologia del sito. Le informazioni raccolte in questa fase di studio per un edificio esistente sono rilevanti poiché aiutano a comprendere il rapporto tra l'edificio e il contesto e come le scelte fatte in fase di costruzione possano influenzare il benessere abitativo. Dato che tutti gli edifici si trovano in zone edificate, rilevante è l'influenza che edifici adiacenti possono portare in termini di riduzione dell'irraggiamento solare o di variazione del regime dei venti. O ancora, la scelta di un orientamento in base all'assetto urbanistico circostante può aver ridotto la possibilità di avere un maggior apporto solare o di beneficiare di venti estivi per il raffrescamento naturale o di proteggere l'edificio da venti invernali che peggiorano il comfort interno.

All'interno di questa fase di analisi è interessante anche approfondire l'impianto costruttivo degli edifici e la distribuzione degli spazi interni. In linea generale per dove sono situati gli edifici studiati, è solito prevedere che i locali in cui si svolgono la maggior parte delle attività, in questo caso le aule, siano disposti verso Sud, per lasciare a Nord i locali di servizio. Ad eccezione dei primi due casi studio, che non sono stati progettati con l'intento di essere destinati ad uso scolastico, gli altri edifici presentano una distribuzione degli spazi interni simile: i servizi, i corridoi e le scale sono disposti a Nord e le aule sono orientate a Sud, Ovest ed Est (Figura 3).

È stata poi studiato anche il rapporto tra superficie disperdente (S) e volume lordo (V) che si attesta su valori compresi tra 0,28 e 0,49 e indica che si tratta di edifici piuttosto compatti; da rilevare è anche che la superficie trasparente è tra il 12% e il 34% rispetto a

Figura 3. Pianta tipo della scuola "Alessandro Manzoni" con indicate le differenti destinazioni d'uso dei locali interni (© Immagini rielaborate da Clara Vite).



quella complessiva totale, ovvero un valore relativamente basso per edifici scolastici dove la luce è un elemento importante per il benessere interno.

L'ultima fase è quella dell'analisi di dettaglio delle caratteristiche dell'edificio. Il campione di edifici studiati si può suddividere in due macro categorie: i primi quattro casi studio, costruiti tra il XVII secolo e i primi anni del XX secolo, presentano le caratteristiche costruttive tipiche di quel periodo, ovvero muratura portante in pietra, solai lignei e coperture inclinate con struttura in legno e con il manto di rivestimento in ardesia; gli altri casi studio presentano invece le caratteristiche costruttive dell'edilizia del dopo guerra con una struttura di travi e pilastri in calcestruzzo armato, i tamponamenti verticali opachi sono principalmente costituiti da pareti in laterizio con intercapedine d'aria con finitura ad intonaco o con il mattone faccia a vista e le coperture sono piane non praticabili con la guaina bituminosa come finitura esterna. Fa eccezione la scuola "Palli-Strozzi" situata Genova che è stata realizzata con tamponamenti verticali prefabbricati e solai con struttura metallica (Figura 4).

Tutti gli elementi dell'involucro edilizio sono stati analizzati attraverso la raccolta di informazioni e sopralluoghi, seguiti dalle necessarie verifiche energetiche in conformità alla normativa vigente. Dalle valutazioni della trasmittanza media degli elementi verticali opachi è emerso che i valori risultano ampiamente superiori ai limiti prescritti, e anche per gli elementi trasparenti, ad eccezione di alcuni già rinnovati, i requisiti normativi non vengono rispettati.

È stato inoltre approfondito il tema del benessere



Figura 4. Vista di dettaglio: della struttura in legno della copertura inclinata della scuola "Gianelli" (a), della copertura piana della scuola "Natale Gallino" (b), della struttura in c.a. e del mattone faccia a vista della scuola "Alessandro Manzoni" (c), facciata realizzata in pannelli prefabbricati della scuola "Palli-Strozzi" (d) (© Immagini rielaborate da Clara Vite).



visivo all'interno degli edifici, considerando la loro particolare destinazione d'uso. A tal fine, è stato condotto uno studio illuminotecnico su aule campione, analizzando sia l'illuminazione naturale che quella artificiale, con l'obiettivo di valutare la qualità dell'ambiente interno e i livelli di comfort visivo sulla base delle prescrizioni della normativa tecnica in materia. Tale indagine si è resa necessaria a seguito delle criticità riscontrate durante i sopralluoghi, in particolare riguardo all'eccessivo irraggiamento o abbagliamento che creano condizioni di discomfort termico e visivo all'interno dei locali. Per ovviare a questi problemi, gli utenti sono costretti spesso a far ricorso ai sistemi oscuranti, con conseguente necessità di utilizzare l'illuminazione artificiale in orario diurno.

Sono stati studiati i requisiti di illuminazione artificiale, quali i valori di illuminamento orizzontale e di abbagliamento e l'indice di resa del colore, e i requisiti di illuminazione naturale, ovvero il fatto medio di luce diurna e l'abbagliamento.

Si riporta a titolo esemplificativo lo studio condotto su un'aula al secondo piano della scuola "Alessandro Manzoni" di 42 m<sup>2</sup> dove sono disposte 3 file di banchi e una cattedra e la parete esposta verso SE è caratterizzata da un'ampia finestra di 12 m<sup>2</sup> sprovvista di sistemi di ombreggiamento ma dotata solo di sistemi oscuranti. Dai risultati della simulazione della luce naturale condotti è possibile vedere che nella porzione di aula adiacente alla finestra vi è una quantità di luce molto sopra ai livelli richiesti da normativa, indicati nella legenda da una linea rossa, come riportato in Figura 5a, mentre per la restante parte dell'aula colorata in blu si ha il quantitativo di luce richiesto dalla normativa. Per quanto riguarda i risultati ottenuti sulla simulazione della luce artificiale riportati in Figura 5b, è possibile vedere che la maggior parte dei piani di lavoro sono in verde che corrisponde, secondo la legenda riportata, a valori sotto la soglia di 300 lux diurni e 500 lux serali richiesti dalla normativa.

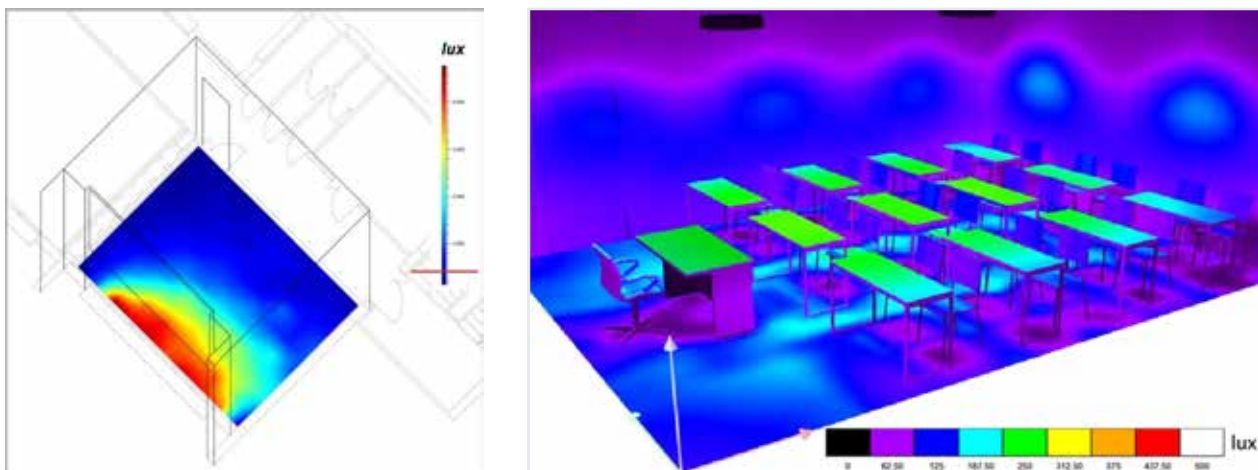


Figura 5. Simulazione della luce naturale nell'aula nel giorno 21 dicembre alle ore 12 (a) e simulazione della luce artificiale con il sistema di illuminazione esistente. (© Immagini rielaborate da Clara Vite).

### Strategie per la riqualificazione degli edifici

Questo studio si propone di individuare strategie per la riqualificazione energetica degli edifici scolastici e stimare i potenziali risparmi derivanti. Sebbene esistano già numerosi riferimenti in letteratura, l'obiettivo dello studio è stato quello di definire soluzioni focalizzandosi sulle tipologie costruttive presenti nella regione italiana con gli edifici scolastici con l'età media più alta di tutta Italia. L'analisi si è concentrata sugli interventi energetici più comuni applicabili all'involucro edilizio, selezionando quelli che non alterano la con-

figurazione interna. Inoltre, sono state esplorate soluzioni mirate a migliorare il benessere visivo all'interno degli spazi sulla base delle maggiori problematiche emerse dai sopralluoghi e dai dialoghi con gli utenti. Le soluzioni proposte per l'involucro edilizio, identificate per raggiungere il limite di trasmittanza vigente, si concentrano sull'isolamento degli elementi opachi (copertura, pareti verticali e primo solaio) e la sostituzione dei serramenti esterni. Nello specifico attraverso queste strategie è possibile quasi dimezzare il fabbisogno di energia, come riportato in Tabella 1. Occorre sottolineare che tali risultati sono stati ottenuti attraverso la simulazione dei singoli interventi in ciascun caso studio e per costruire gli intervalli riportati sono stati esclusi i valori estremi ottenuti a causa di peculiarità dell'edificio. Inoltre, la messa in opera di alcuni interventi scelti non è possibile per tutti gli edifici a causa delle caratteristiche costruttive dell'involucro edilizio, quali ad esempio l'isolamento in intercapedine per le murature portanti.

	Risparmi energetici
[%]	
Isolamento della copertura	6 – 33
Isolamento termico all'esterno delle pareti	16 – 47
Isolamento termico in intercapedine delle pareti	8 – 24
Isolamento termico del primo solaio	3 – 13
Sostituzione dei serramenti	11 – 23
Inserimento di pellicole basso-emissive	1 – 8

Tabella 1. Range % dei risparmi energetici ottenibili suddivisi nei diversi interventi di riqualificazione valutati sul campione di edifici analizzato.

Per quanto riguarda l'incremento del comfort visivo sono state proposte tre differenti soluzioni: l'applicazione di pellicole basso-emissive sugli elementi trasparenti, l'inserimento di sistemi di ombreggiamento e la modifica o implementazione del sistema di illuminazione artificiale. A titolo esemplificativo si riporta in Figura 6 i risultati ottenuti dalla simulazione dei livelli di lux sul piano di lavoro nella scuola "Alessandro Manzoni" dopo la sostituzione degli apparecchi illuminanti con nuovi elementi a LED che, oltre a consentire

di raggiungere i limiti normativi permettono anche il risparmio sul consumo di energia.

La riqualificazione energetica degli edifici scolastici in Liguria rappresenta un'opportunità cruciale per migliorare l'efficienza energetica e il benessere degli ambienti, soprattutto in un contesto di risorse limitate. Questo studio, basato su simulazioni calibrate sui consumi reali di undici edifici, ha fornito utili benchmark per orientare le scelte progettuali nella fase preliminare degli interventi. Inoltre, gli investimenti previsti in questo specifico ambito possono giocare un ruolo fondamentale nel supportare tali iniziative, garantendo risorse necessarie per realizzare progetti di riqualificazione sostenibili e innovativi.

#### Riferimenti bibliografici

- [1] Council of the European Union, 2014. EU policy framework for climate and energy (2020 to 2030).  
 [2] European Commission, 2019. The European Green Deal. COM/2019/640 final, 11 Dicembre 2019  
 [3] European Commission, 2016. EU Building Stock Observatory. Online: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/eu-building-stock-observatory\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/eu-building-stock-observatory_en)

[4] European Commission, 2009. Build Up. Online: <https://build-up.ec.europa.eu/en/home>

[5] European Union, 2024. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings.

[6] Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2011. Europe's buildings under the microscope.

[7] Eurac Research, 2021. European Building Stock Analysis. Pluristamp, Brixen (BZ).

[8] Ministero dell'Istruzione, 2022. Progettare, costruire e abitare la scuola. Online: <https://www.miur.gov.it/documents/20182/6739250/Linee+guida.pdf/d859a07d-6aad-baef-32b7-9d0c929dda-a5?t=1651501306679>

[9] Governo italiano, 2021. Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Online: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>

#### Ringraziamenti

Il contributo qui illustrato è il frutto del lavoro grazie alla collaborazione degli autori con il Comune di Genova e la provincia della Spezia. Si ringraziano inoltre i ricercatori, collaboratori, tesisti e studenti che hanno contribuito a portare avanti questo filone di ricerca.

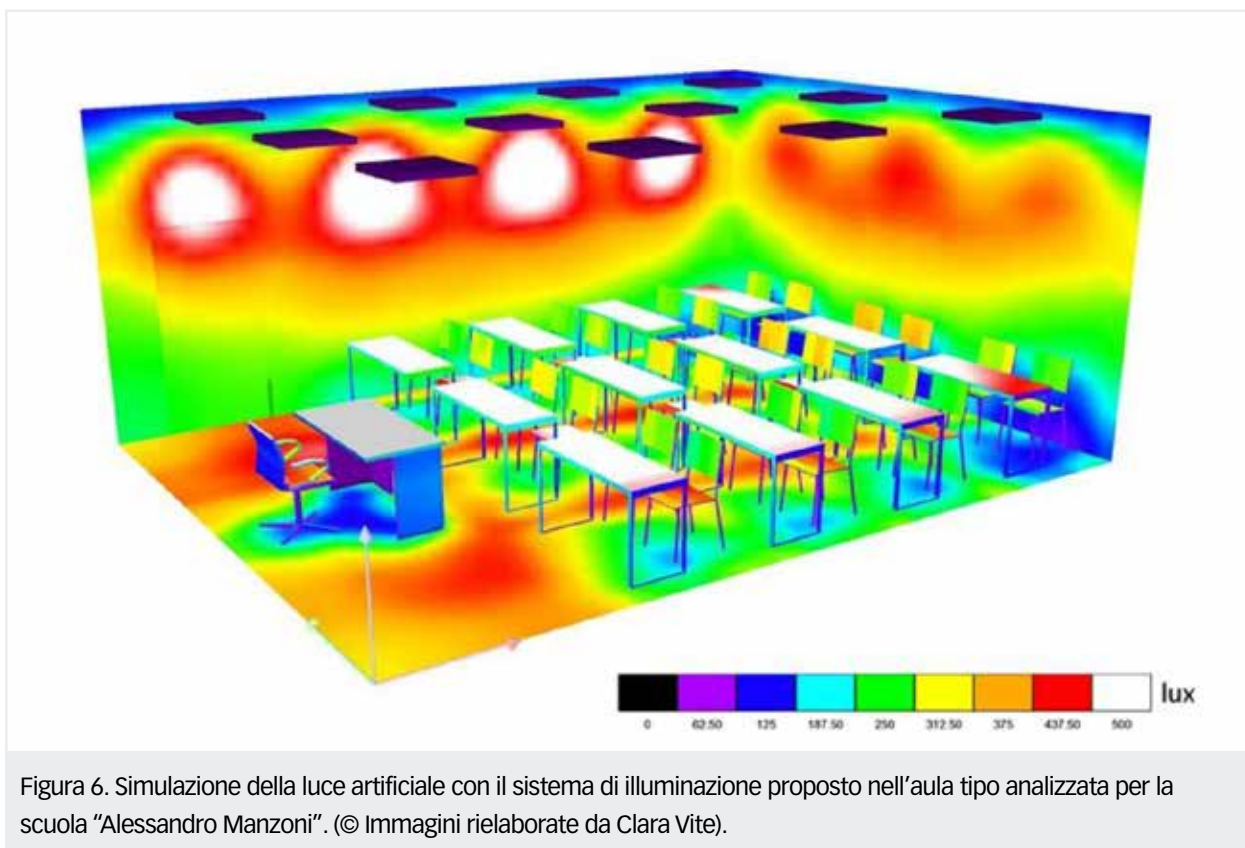


Figura 6. Simulazione della luce artificiale con il sistema di illuminazione proposto nell'aula tipo analizzata per la scuola "Alessandro Manzoni". (© Immagini rielaborate da Clara Vite).