Politecnico di Torino

Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità

A.A. 2025/2026

Settembre 2026

Oltre l'involucro.
Ripensare il patrimonio scolastico attraverso strategie integrate di riqualificazione
Il caso del Liceo Carlo Cattaneo di Torino

Relatore:
Antonio De Rossi

Correlatori:
Anna Pellegrino
Manuela Rebaudengo

Candidati:
Luca Brazzalotto
Laura Lampis
Vincenzo Giovanni Oliveri

INDICE

0	ABSTRACT			00
1	UNA RISORSA DA RIPENSARE	1.1	Dalla norma alla pratica	1
		1.2	Conoscere le scuole	5
2	NUOVI STUDENTI, VECCHI SPAZI	2.1	Classi a misura di aula?	13
		2.2	Gli studenti di domani	17
3	UNA TRASFORMAZIONE ANCORA INCOMPIUTA	3.1	Il cantiere delle riforme	21
		3.2	I finanziamenti europei	28
4	CASI STUDIO: SELEZIONE E ANALISI COMPARATIVA	4.1	Premessa metodologica	41
		4.2	Lettura critica degli interventi	54
5	METODI E VALUTAZIONE DELLE VERIFICHE DEGLI SCENARI	5.1	Scelta casi studio	59
		5.2	Le fasi di analisi	00
6	IL CASO STUDIO: LICEO CARLO CATTANEO	6.1	Inquadramento storico e territoriale	79
		6.2	Gli spazi e la struttura	00
		6.3	Verifiche fisico-tecniche	00
		6.4	Fabbisogno energetico	00
7	LICEO CARLO CATTANEO: INTERVENTO CMTO	7.1	Obiettivi dell'intervento	149
		7.2	Analisi dell'intervento	00
		7.3	Verifiche fisico-tecniche	00
		7.4	Fabbisogno energetico	00
		7.5	Costo dell'intervento	00
8	LICEO CARLO CATTANEO: PROGETTO DI TESI	8.1	Finalità dell'intervento	211
		8.2	Individuazione delle crticit	00
		8.3	Descrizione scelte architettoniche e funzionali	00
		8.4	Verifiche fisico-tecniche	00
		8.5	Analisi economica dell'intervento	00
9	COMPARAZIONE	9.1	Comparazione delle tre analisi	00
10	CONCLUSIONI	10.1		00

ABSTRACT

Il patrimonio edilizio scolastico italiano, costituto da circa 40.000 edifici, rappresenta un'eredità stratificata e capillarmente diffusa sul territorio nazionale, con caratteri edilizi e stati di conservazione profondamente disomogenei. Realizzato in larga parte durante il "boom" edilizio tra gli anni Sessanta e Ottanta del Novecento per rispondere a una crescente domanda quantitativa, tale patrimonio richiede oggi un ripensamento complessivo in luce dei profondi cambiamenti sociali, demografici e pedagogici avvenuti negli ultimi decenni.

La scuola, intesa non solo come edificio ma anche come spazio educativo e sociale, si confronta con un quadro complesso segnato da obsolescenza edilizia, disuguaglianze territoriali, trasformazioni delle modalità didattiche e da un progressivo calo della popolazione scolastica. In questo contesto preesistente, la pandemia da Covid-19 ha reso evidente come esigenze di flessibilità, sicurezza, comfort e qualità degli ambienti interni siano fondamentali. Sebbene il tema della scuola susciti da sempre una forte sensibilità per il suo valore educativo e simbolico, il dibattito si concentra prevalentemente sulle criticità fisiche degli edifici, la necessità di interventi urgenti, la disponibilità e l'utilizzo dei finanziamenti pubblici dedicati.

La tesi sostenuta nel presente lavoro si fonda sul presupposto che l'attuale approccio alla riqualificazione dell'edilizia scolastica, prevalentemente orientato a micro-interventi di adeguamento normativo ed energetico, sia insufficiente se non inserito all'interno di una visione complessiva, strategica e di lungo periodo.

Attraverso l'analisi di dati nazionali e locali, report istituzionali e riferimenti teorici, si ricostruisce un quadro che mette in relazione lo stato del patrimonio, gli interventi realizzati e l'articolazione dei finanziamenti, proponendo una lettura critica delle politiche recenti e dei principali dati sullo stato dell'edilizia scolastica, approfondendo il rapporto tra la necessità urgente di interventi, le modalità di finanziamento pubblico — in particolare il PNRR — e l'evoluzione delle esigenze didattiche.

Si evidenzia quindi la necessità di superare un approccio esclusivamente normativo ed energetico, promuovendo interventi integrati che considerino l'edificio scolastico come un sistema complesso, in grado di rispondere a esigenze educative, spaziali, ambientali ed economiche nel tempo. Il progetto sviluppato si inserisce in questa prospettiva ed obiettivo, mostrando come una riqualificazione sostenibile e flessibile possa generare benefici duraturi, superando la logica del "micro-intervento" e orientando le risorse pubbliche verso strategie potenzialmente maggiormente efficaci.

1

UNA RISORSA DA RIPENSARE

Questo capitolo ripercorre sinteticamente l'evoluzione dell'edilizia scolastica in Italia, analizzando il ruolo delle trasformazioni normative, politiche e culturali nella definizione degli spazi educativi. Dalle prime rifunzionalizzazioni di edifici esistenti alle grandi campagne costruttive del Novecento, fino alle recenti politiche di riqualificazione, emerge un quadro utile a comprendere le criticità e le potenzialità del patrimonio scolastico attuale.



Foto 1. Prova di maturità nel porticato del Collegio Romano a Roma.

1.1 DALLA NORMA ALLA PRATICA

Il patrimonio edilizio scolastico italiano è il risultato di una lunga e dilatata epoca di costruzioni iniziata nella seconda metà dell'Ottocento e concentratasi tra gli anni Sessanta e Settanta del Novecento. Le diverse stagioni normative, politiche, culturali e tecniche susseguitesi per rispondere ai nuovi bisogni via via emergenti, hanno prodotto un patrimonio edilizio con caratteristiche profondamente eterogenee.

L'istruzione e la scolarizzazione prendono forma nell'Italia Medievale negli spazi esistenti della Chiesa delle aree maggiormente popolate, specialmente nei complessi religiosi e conventi, in cui si sviluppano i primi collegi. In assenza di una specifica tipologia edilizia scolastica, tali strutture venivano adattate e rifunzionalizzate per le attività didattiche, mantenendo poi nel tempo lo scopo educativo[1]. Con l'età moderna, tra la dismissione di edifici esistenti e la definizione di nuove tipologie edilizie, anche altri spazi non originariamente destinati all'istruzione vengono riutilizzati, rendendo il riuso una pratica ricorrente nella storia dell'architettura scolastica.

Al momento dell'unificazione italiana l'istruzione era frammentata, segnata da un diffuso analfabetismo, soprattutto nel Mezzogiorno. La legge Casati (n. 3725 del 13 novembre 1859) riformò l'intero ordinamento scolastico, centralizzandone l'amministrazione a Stato e Comuni, definendone l'articolazione in due gradi e le materie di insegnamento, e sorpattutto sancendo l'obbligatorietà per il primo bienno. La successiva Legge Coppino (n. 3961 del 15 luglio 1877) estese la durata delle scuole elementare da due anni a cinque, rendendo l'isstruzione obbligatoria fino ai 9 anni. Tali cambiamenti politici e culturali trovarono una prima traduzione in termini edilizi nelle *Norme per la costruzione e l'arredamento degli edifici delle scuole municipali elementari*, emanate a Torino nel 1879, prima base per la definizione degli standard di funzionalità, igiene e sicurezza degli ambienti scolastici[2]. L'analfabetismo rimane forte da contrastare, alla Legge Orlando del 1904 che estende l'obbligo scolastico fino ai 12 anni, raddoppiando rapidamente il numero di studenti ma evidenziando tuttavia i limiti delle infrastrutture scolastiche, soprattutto nelle aree più periferiche. Per far fronte a queste difficoltà, la Legge Daneo-Credaro del 1911 trasferì allo Stato la gestione delle scuole comunali, ad eccezione dei capoluoghi di regione, aprendo la strada

[1,3] Fondazione Agnelli, *Rapporto sull'edilizia scolastica*, 2019, pp. 58-60.

[2] *Edilizia scolastica*, MuseoTorino museotorino.it/view/s/637e44460c51400eabc9aed1a944f4ee

[4] Fondazione Agnelli, ***Rapporto sull'edilizia scolastica***, 2019, p. 71.

[5,7] Barioglio, C.; Campobenedetto, D., ***L'infrastruttura della città. Il sistema dell'edilizia scolastica a Torino attraverso i suoi modelli,*** p. 21, 69.

a un'istruzione elementare accessibile anche nei comuni più marginali[3]. La stagione di costruzione di nuovi edifici scolastici aperta in questi primi anni del Novecento, sebbene quantitativamente limitata, è caratterizzata da una significativa sperimentazione pedagogica e da una conseguente disomogeneità, accentuata dalla precarietà del periodo bellico. La prima stagione edilizia significativa si ha nel periodo fascista degli anni Trenta, in cui gli edifici assumono una riconoscibilità architettonica, tradotta in decisa monumentalità[4].



Foto 2. Foto aerea della scuola dell'infanzia "Amedeo Modigliani" a Torino, il cui modello edilizio "Quadrifoglio" è uno dei più ripetuti nella città con un totale di 12 edifici.

[8] Barioglio C., Campobenedetto, D. (a cura di), ***Re-School. Ripensare la scuola a partire dagli spazi,*** p. 43.

La stagione più consistente che ha portato alla formazione del patrimonio edilizio scolastico tutt'ora presente e in uso sul territorio italiano si colloca negli anni Sessanta e Ottanta, nel periodo di forte crescita post bellica. La Legge n. 1859 del 1962 estese infatti l'obbligo scolastico fino ai quattordici anni, istituendo la scuola media unica nella forma ancora oggi conosciuta, generando un immediato e diffuso fabbisogno di nuovi spazi, capaci di accogliere un numero crescente di studenti e di supportare i programmi didattici necessariamente rinnovati. Le municipalità italiane sono per la prima volta chiamate ad organizzare gli spazi necessari per garantire l'accesso all'istruzione a tutti, e alla possibilità di costruire edifici appositamente dedicati a tale scopo[5].

La risposta venne data dalla ricerca di modelli tipologici ripetibili nelle città: modulari, adattabili ed economici, pensati per essere realizzati in tempi contenuti. La diffusione dei sistemi prefabbricati facilitò in maniera decisiva la produzione rapida e standardizzata di nuove scuole, seppur senza sostituire completamente i sistemi costruttivi tradizionali[6]. Esempio significativo Torino: 37 progetti vennero replicati per la realizzazione di 167 edifici di scuole elementari[7] (Foto 2). Questa fase massiccia di costruzione permise di coprire in maniera capillare anche le aree interne e più marginali dove la dotazione scolastica era insufficiente o assente, e potenziare i servizi già esistenti, spesso inadeguati rispetto all'incremento demografico del dopoguerra[8]. Il quadro normativo dell'epoca risultava tuttavia frammentato, caratterizzato da vari provvedimenti parziali – tra cui il D.P.R. 1688/1956, relativo alle scuole materne ed elementari, e il *Regolamento e le Istruzioni tecnico-igieniche sugli edifici scolastici* del 1888, ancora assunto come riferimento. Il D.M. 18 dicembre 1975, *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica*, struttura la normativa raccogliendo e uniformando le disposizioni precedenti, estendendole in modo unitario a tutte le scuole di ogni ordine. Fornisce i criteri essenziali per il dimensionamento, la progettazione, localizzazione, funzionalità degli edifici scolastici e le loro pertinenze esterne, configurandosi come uno strumento tutt'oggi presente e fondamentale nella progettazione qualitativa degli spazi didattici.

Dopo il D.M. del 1975, la normativa italiana si è aperta a un grande ventaglio di strumenti per il perfezionamento del quadro sui diversi aspetti dell'edilizia scolastica. Dal superamento delle barriere architettoniche (D.M. 236/1989 e D.P.R. 503/1996) alle norme antincendio (D.M. 26 agosto 1992), seguite da aggiornamenti continui, fino alla importante *Legge Masini* (n. 23 del 11 gennaio 1996), che introdusse piani triennali e annuali di intervento, affidandone la programmazione e l'attuazione a Regioni ed enti locali.

Il decreto del 1975 fissa alcuni parametri chiave dell'edilizia scolastica, seguiti ancora nella pratica progettuale odierna: superfici minime delle aule in rapporto al numero di alunni, gli spazi didattici necessari obbligatori, requisiti igienico sanitari come il rapporto aero-illuminante minimo degli spazi e le altezze minime dei locali, sicurezza degli elementi di collegamento quali scale e corridoi. Tali criteri hanno plasmato la configurazione degli edifici scolastici oggi esistenti, che rispecchiano l'evoluzione dell'educazione nella società, gli orientamenti normativi vigenti alle diverse epoche di costruzione e le teorie pedagogiche[9]. Questo principio risulta pienamente valido anche nell'attualità, in cui eventi recenti come la pandemia da Covid-19 e l'intensificarsi degli effetti del cambiamento climatico hanno evidenziato ancor di più le criticità di un patrimonio datato, spesso rigido e poco adattabile.

La presa di coscienza di tali criticità emerge già dalle leggi finanziarie del 2007-2009, in cui i finanziamenti ordinari per l'edilizia scolastica sono stati destinati a obiettivi di sicurezza e regolarizzazione normativa. Ulteriore successivo strumento che ha sottolineato pubblicamente il tema è il Piano dell'edilizia scolastica del Governo Renzi (2014), seppur prevedendo ancora e solamente l'adeguamento alle normative di sicurezza e piccoli interventi di manutenzione (cfr. Capitolo 3).

Il tema dell'adattabilità, della sostenibilità ambientale e della riqualificazione dell'esistente è oggi centrale, insieme alla complessità del sistema di finanziamenti necessari per la loro realizzazione[10]. L'emergente consapevolezza delle tematiche ambientali nella società e nella cultura progettuale ha trovato nei tempi recenti traduzione nelle iniziative europee del *Next*Generation EU, tradotto in Italia attraverso il *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. In particolare, la M*issione 4 – Istruzione e Ricerca* promuove interventi di messa in sicurezza, efficientamento energetico e rinnovamento degli spazi educativi, attivando oggi una lunga e complessa catena di azioni volte all'evoluzione degli edifici scolastici, di fronte alle sfide delle nuove metodologie didattiche e ai limiti strutturali esistenti.

[9] Fondazione Agnelli, ***Rapporto sull'edilizia scolastica***, 2019, p. 23.

[6,10] Fianchini M. (a cura di), ***Rinnovare le scuole dall'interno. Scenari e strategie di miglioramento per le infrastrutture scolastiche***, pp. 14, 12.

Foto 3. Scuola elementare "Vincenzo Valente" a Molfetta, arch. M. Sacripanti. Vincitore nel 1970 del concorso-appalto del Ministero della Pubblica Istruzione per la progettazione di prototipi di scuole prefabbricate.



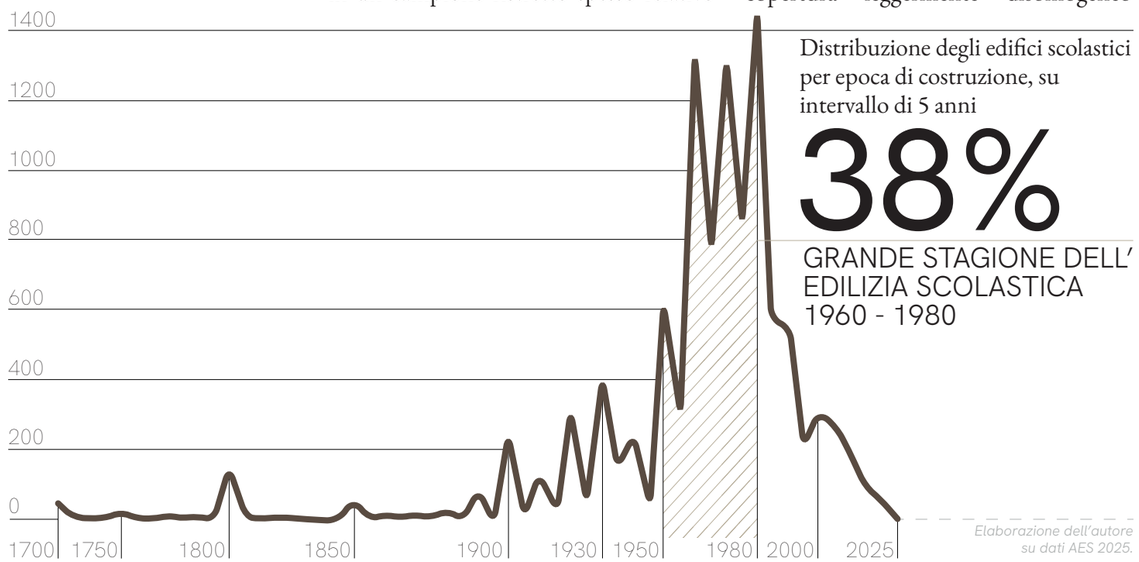
1.2 CONOSCERE LE SCUOLE

La necessaria evoluzione delle strutture scolastiche esistenti può essere compresa appieno solo attraverso una visione dettagliata delle sue caratteristiche, iniziate ad essere archiviate in maniera strutturata e organica dall'*Anagrafe Nazionale dell'Edilizia Scolastica* (*AES*), istituito dalla Legge n. 23/1996. La Legge, prometteva «[...] *un'anagrafe nazionale dell'edilizia scolastica diretta ad accertare la consistenza, la situazione e la funzionalità del patrimonio edilizio scolastico* [...]» al fine di costituire «[...] *lo strumento conoscitivo fondamentale ai fini dei diversi livelli di programmazione degli interventi nel settore*» (art. 7, comma 1). Per diversi anni, infatti, le uniche informazioni accessibili a tutti erano raccolte nei lavori e report annuali delle associazioni *Legambiente* e *Cittadinanza Attiva*[11], anche se non comprendenti l'intero patrimonio ma basati su indagini in un campione ristretto spesso relativo agli edifici dedicati a un unico grado di istruzione.

Nonostante le promesse, l'Anagrafe è ancora incompleto e la qualità delle informazioni non omogenea, in quanto l'inserimento dei dati è competenza affidata alle istituzioni scolastiche, spesso prive di sistemi adeguati, mentre gli organi regionali e ministeriali ne gestiscono solamente il coordinamento operativo e l'elaborazione. Oltre a queste difficoltà, la pubblicazione e accessibilità dei dati è avvenuta decisamente più tardi: prima nelle sue informazioni relative agli istituti con il portale online *Scuola in Chiaro* avviato nel 2010 e reso consultabile nel 2012, successivamente nei suoi dati per l'edilizia scolastica con il *Portale Unico dei Dati della Scuola* reso disponibile nel 2017[12] e continuamente aggiornato.

Ogni realtà regionale gestisce e suddivide in province la raccolta delle informazioni attraverso le *Anagrafi Regionali* (*ARES*), perciò l'Anagrafe trova un tasso di copertura leggermente disomogeneo seppur alto: il 93% degli edifici scolastici presenti nel nostro territorio è censito, e in ogni provincia la copertura supera il 90%[13].

La conoscenza del patrimonio è indispensabile alla definizione non solo del quadro generale delle condizioni, ma soprattutto delle politiche di intervento, al fine di offrire degli spazi educativi di qualità per tutti gli studenti del Paese. Le analisi quantitative e qualitative dei dati permettono di elaborare una visione d'insieme, utile per individuare e quantificare criticità ricorrenti, potenzialità di trasformazione e risorse presenti negli edifici scolastici. Emerge come il patrimonio presenti una fragilità diffusa, seppur con variazioni regionali, soprattutto negli ambiti della sicurezza statica e sismica, la qualità degli spazi e della manutenzione, e gli accorgimenti per la riduzione dei consumi energetici.



Elaborazione dell'autore su dati AES 2025.

ANZIANITÀ* EDILIZIA.** Nell'anno scolastico 2024/25, i 39.049 edifici scolastici (dato AES, 2025) italiani hanno accolto 7.073.587 studenti per un totale di 362.115 classi distribuite in 7.600 istituzioni scolastiche[14]. In termini di distribuzione territoriale, il 43% di tali edifici si concentra nelle regioni del Nord, il 20% nel Centro e il restante 37% nel Sud. L'epoca di costruzione e quindi l'età media risulta la più rilevante nella determinazione dello stato degli edifici: la maggioranza degli edifici, ovvero il 38%, è stato realizzato tra il 1935 e il 1975 durante la *grande stagione dell'edilizia scolastica*, con maggiore intensità nel Nord (18%), seguito dal Sud (13%) e dal Centro (7%); solamente il 4% nei tempi recenti dal 2009 ad oggi. Del 14% degli edifici non si sa nulla, soprattutto al Sud (8%), mentre dei più vecchi si stima – in assenza di dati certi – che il 2,5% sia stato realizzato nell'Ottocento, e l'1,4% prima di tale secolo*. L'età media del patrimonio si aggira sui 52 anni, con variazioni a livello regionale: la Liguria risulta la regione con gli edifici più vecchi (75 anni), seguito dal Piemonte (64 anni)[15]. Rimanendo sul Piemonte, delle 3.767 scuole censite il 76% (2.86 9) presenta un anno di costruzione noto e, tra queste, il 60% è stato realizzato durante la *grande stagione. La provincia torinese si allinea a tale andamento: su 1.362 scuole, il 42% è stato costruito tra il 1935 e il 1975, mentre nel comune di Torino, su 309 edifici, più della metà (54%) risale allo stesso periodo*.

La rilevata anzianità delle strutture comporta inevitabilmente una serie di criticità dovute alle tecnologie costruttive delle varie epoche e agli standard di sicurezza, accessibilità e efficienza energetica oggi vigenti. La maggioranza degli edifici, realizzati con sistemi impiantistici e materiali ormai superati, presentano carenze nella gestione dei consumi energetici, nell'isolamento termico e acustico, e nella flessibilità degli spazi, oltre a difficoltà nel rispondere alle normative attuali su sicurezza, antincendio e abbattimento delle barriere architettoniche.



Foto 5. Istituto tecnico industriale "Amedeo Avogadro" a Torino, fondato nel 1805 e considerato tra i più antichi istituti tecnici d'Italia.

[11] Legambiente è arrivata alla XXV edizione del report "***Ecosistema Scuola***" dedicato alle scuole dell'infanzia, primaria e secondaria di primo grado; Cittadinanza Attiva pubblica annualmente dal 2002 il "***Rapporto sulla sicurezza delle scuole***".

[12] ***"Il MIUR rende disponibili i portali unici dei dati di scuola e università"***, 16 marzo 2017 dati.gov.it

[13,15] Fondazione Agnelli, ***Rapporto sull'edilizia scolastica***, 2019, pp. 6, 7, 19.

[14] Ministero dell'Istruzione e del Merito, ***Focus "Principali dati della scuola – Avvio Anno Scolastico 2024/2025***, settembre 2024, p. 6.

[16] Ministero dell'Istruzione e del Merito, *Focus "Principali dati della scuola – Avvio Anno Scolastico 2024/2025*, settembre 2024, p. 6.

BARRIERE ARCHITETTONICHE. Per i 331.124[16] studenti con disabilità, l'83% degli edifici scolastici italiani risulta dotato di accorgimenti per il superamento delle barriere architettoniche, con la mancanza di informazioni per solamente l'11%. La maggior parte presenta un ingresso accessibile con rampe e porte di larghezza minima adeguata (72%), oltre a percorsi dedicati sia interni che esterni (rispettivamente 61% e 56%). Più della metà delle scuole è inoltre dotata di scale a norma (56%) e di servizi igienici accessibili (69%).



L'accessibilità ai collegamenti verticali mediante sistemi specifici di sollevamento rappresenta l'aspetto più critico: solo il 32% dispone di ascensore e il 15% di piattaforma elevatrice. Questo dato va tuttavia interpretato alla luce delle caratteristiche strutturali specifiche degli edifici scolastici, evidenziando come gli interventi per l'accessibilità siano perlopiù frammentari: solo il 4,6% degli edifici risulta dotato di tutte le misure considerate*.
La provincia di Torino è in una posizione significativamente più avanzata: il 96% degli edifici scolastici risulta dotato degli accorgimenti citati, con valori superiori alla media nazionale anche in relazione alle dotazioni più critiche, ovvero ascensori e piattaforme elevatrici, presenti rispettivamente nel 47% e nel 25% delle strutture. Il Comune copoluogo conferma e rafforza questa tendenza, raggiungendo il 99% di edifici dotati di accorgimenti e distinguendosi per i collegamenti verticali, con il 71% delle scuole dotate di ascensore e il 25% di piattaforma elevatrice*. Le alte percentuali riscontrate per questi fattori possono essere lette come il risultato di un quadro normativo consolidato ormai da tempo, definito dai citati D.M. 236/1989 e D.P.R. 503/1996. Tuttavia, il quadro delineato dai dati AES è solo parzialmente rappresentativo delle effettive condizioni di accessibilità. Dal Report ISTAT sull'inclusione scolastica degli alunni con disabilità (anno 2023/24), solo il 41% degli edifici risulta accessibile agli studenti con disabilità motoria, con forti differenze territoriali. Come in AES, la barriere più diffuse sono la mancanza di ascensori adeguati (50%) e di servo scale (37%), a cui si aggiungono bagni a norma (26%) e rampe interne (25%). Le difficoltà per gli studenti con disabilità sensoriali per non udenti sono ancora più gravi, con segnalazioni visive presenti solo nel 17% delle scuole e percorsi tattili/mappe a rilievo per i non vedenti nell'1%. (ISTAT, 2024).

SICUREZZA. Lo stesso non può dirsi per i diversi aspetti inerenti la sicurezza, per i quali i livelli di attuazione risultano più discontinui per difficoltà non solo organizzative e finanziarie, ma anche di natura burocratica. I dati disponibili consentono di articolare il tema della sicurezza in quattro ambiti principali: amministrativa e documentale, antincendio, strutturale e infine impiantistica. Da questa distinzione si evidenzia come i livelli di attuazione siano differenti in relazione alla loro natura e complessità.
Per la sicurezza amministrativa e documentale, il *Documento di Valutazione dei Rischi*[17] e *Piano di Evacuazione* risultano largamente diffusi (rispettivamente 80% e 82%) grazie all'obbligatorietà prevista dal D.Lgs. 81/2008 "*Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro*". Al contrario, i dati sulla sicurezza strutturale sono più incerti: il *Certificato di Agibilità* è presente sono nel 37% dei casi, e il *Certificato di Collaudo Statico* nel 54%*. I numeri si confermano anche nel caso torinese: il *Certificato di Agibilità* è presente nel 49% delle scuole dell'intera provincia, e per il 40% in quelle presenti nel comune capoluogo**. La diffusione più limitata di questi ultimi strumenti si può dire in parte riconducibile alla constatata vetustà degli edifici, che rende più difficile soddisfare tutti i requisiti normativi e strutturali.
Un ulteriore importante aspetto sulla sicurezza strutturale riguarda la protezione antisismica. Il 31% degli edifici scolastici italiani si trova nelle zone sismiche più a rischio (1 e 2), e la maggioranza (46%) in zone di medio-basso rischio. Nonostante ciò, solo una porzione molto ridotta ha avuto recenti interventi di adeguamento o miglioramento sismico, pari rispettivamente al 4% e al 3,8%*. L'esempio più preoccupante è rappresentato dalla situazione degli studenti dell'Aquila che, a diciassette anni dal terremoto, si trovano ancora oggi tra i banchi dei *M.U.S.P.* (*Moduli ad Uso Scolastico Provvisorio*), poiché le date di consegna delle nuove scuole continuano a slittare di anno in anno[18].
Tali difficoltà si riflettono anche nella scarsa presenza dei documenti per la sicurezza antincendio: 34% per il *Certificato di Prevenzione Incendi*, 15% per la *Segnalazione di Inizio Attività* (*SCIA*) e 12% l'*Attestazione di Rinnovo Periodico**, strumenti necessari per autorizzare l'esercizio, certificare e assicurare il mantenimento nel tempo delle conformità alle normative antincendio. Anche nelle scuole della provincia di Torino la presenza della *Dichiarazione di Conformità Antincendio* è decisamente bassa: 33%*.
A queste criticità burocratiche si aggiungono i casi concreti di cedimenti e crolli. Tra settembre 2024 e settembre 2025, sono stati 71 gli episodi di distacchi di intonaco, crolli di soffitti, controsoffitti, solai, tetti, ma anche cadute di finestre, muri di recinzione e alberi all'interno degli edifici o nella loro prossimità. Numero mai raggiunto negli ultimi 8 anni, e maggiori nel Sud e nelle Isole (41%, contro 32% al Nord e 27% al Centro)[19].

[17] Il *Documento di Valutazione dei Rischi* (*DVR*) identifica e valuta i rischi presenti e definisce le misure preventive e protettive per gli utenti. Riflette quindi il grado di organizzazione e gestione della sicurezza in un edificio.

[18, 19] Cittadinanzattiva, *Osservatorio Civico sulla Sicurezza a Scuola. XXIII Rapporto sulla sicurezza delle scuole*, 2025, p. 28, 43, 44.

SALUBRITÀ. Entrando negli spazi della scuola, emergono altre criticità "silenziose" legate alla salubrità degli ambienti e alla loro qualità fisica, condizioni che non risultano mappate in maniera capillare, non per mancanza di attenzione, ma per la naturale difficoltà della loro rilevazione. Crepe, umidità, muffe o la presenza di materiali nocivi presentano infatti un carattere puntuale e variabile, che rende complesso un loro censimento dettagliato. La loro conoscenza si basa perciò prevalentemente su indagini e sondaggi a campione, fornendo un quadro parziale ma significativo.
Dal sondaggio "*Impararesicuri 2025*" proposto da *Cittadinanzattiva* all'ultima edizione della *Fiera Didacta*[20] a Firenze (12-14 marzo 2025), su 133 risposte il 53% segnala infiltrazioni d'acqua, il 55% distacchi d'intonaco e umidità, il 47% crepe e il 17% abbassamento o cedimento del terreno. Meno rilevabile e più invece la presenza di amianto. Dal 2012, l'*Osservatorio Nazionale Amianto* (*ONA*) ha censito circa 4.800 edifici con materiali contenenti amianto, di cui 2.291 non avevano ancora subito interventi di bonifica al 2021. In molti casi la contaminazione riguarda aree non a diretto contatto con gli occupanti, ma in alcuni plessi talvolta coinvolge anche elementi interni come pavimentazioni datate o impianti elettrici, con Torino (66 edifici), Milano (89) e Genova (154) tra le città più interessate[20].

COMFORT AMBIENTALE. La qualità degli spazi scolastici si valuta anche dall'equilibrio tra temperatura e silenzio all'interno delle aule, elementi determinanti sul benessere e sulla concentrazione degli studenti e dei docenti e quindi l'esperienza didattica.
Tale condizione è strettamente legata alla prestazione energetica dell'edificio, desumibile dall'Attestato di Prestazione Energetica (APE), che ne sintetizza l'efficienza analizzando consumi e qualità di strutture e impianti. Il Report *Ecosistema Scuola* di Legambiente, seppur escluda le scuole secondarie di II grado, consente di costruire un quadro della situazione: tra gli edifici con certificazione, il 30,6% è fermo in classe G mentre solo il 6,5% risulta essere in classe A. Complessivamente, nelle ultime 3 classi energetiche (E, F, G), abbiamo il 66,6% degli edifici scolastici[21].
La situazione piemontese riflette questi dati: su 3.766 edifici scolastici, circa il 90% ha l'attestazione energetica. I dati evidenziano tuttavia una condizione critica, con una netta prevalenza della più bassa classe energetica G, pari al 61%, mentre gli edifici più efficienti di classe A1–A2-A3-A4 sono solo il 5%. Torino conferma ulteriormente questo quadro: su circa 400 edifici scolastici, 332 dispongono di APE e l'80% di questi è in classe G, mentre la classe D è la prevalente tra le restanti, ma raggiunge comunque solo il 9%**.
Questo scenario è dato dalle caratteristiche del sistema edificio-impianto, che incidono direttamente sulle prestazioni energetiche complessive, spesso per una non ottimale integrazione tra involucro e impianti. In molti edifici datati, gli impianti di riscaldamento non sempre garantiscono uniformità e continuità:

[20] La *Fiera Didacta* è la principale fiera annuale italiana dedicata all'innovazione educativa, alla formazione e agli strumenti per la scuola, rivolta a docenti, dirigenti scolastici e operatori del settore.

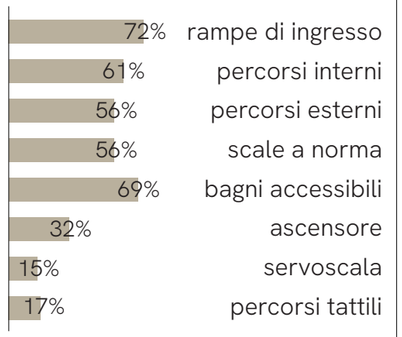
[21] Legambiente, *Ecosistema scuola. XXV Rapporto sulla qualità degli edifici e dei servizi scolastici in Italia*, 2025, p. 25.

QUADRO DEL PATRIMONIO SCOLASTICO

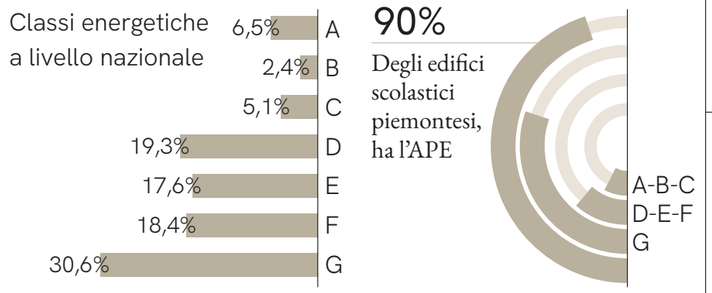
Scuole poco accessibili

331.124
studenti con disabilità

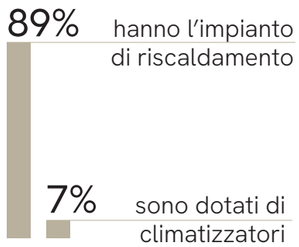
4,6%
degli edifici ha tutti gli accorgimenti per il superamento delle barriere architettoniche



Edifici energivori



Tra caldo, freddo e rumore



Ma non si hanno informazioni puntuali sulla loro efficienza.

L'isolamento termico è presente nel 27% delle coperture e solo nel 17% delle pareti.

Solo il 10% degli edifici è isolato acusticamente verso l'esterno e appena il 5% tra aule e piani.

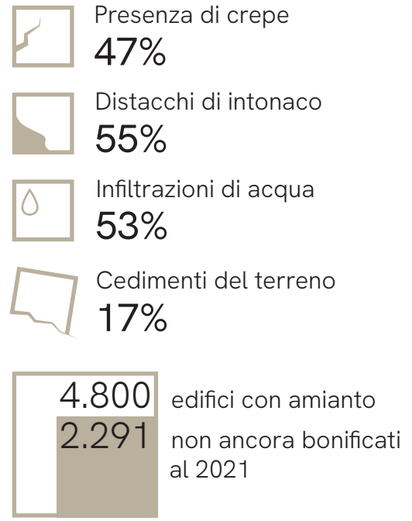
Il 43% delle scuole ha sostituito i vecchi infissi negli ultimi anni.

Sicure solo sulla carta



4%
degli edifici ha avuto recenti interventi di adeguamento o miglioramento sismico

Luoghi salubri per metà



l'89% delle scuole dispone di impianto – ma non si hanno informazioni puntuali sulla loro efficienza – di cui la maggioranza (68%) utilizza come fonte il metano, altri il gasolio (quasi 11%) mentre una piccola quota ricorre al teleriscaldamento (5%) o a combustibili fossili (0,1%), e solo il 2,5% sfrutta fonti solari. Contrariamente, l'impianto di condizionamento è presente solo nel 7% degli edifici, rendendo le seppur poche attività didattiche nei mesi più caldi spesso difficoltose, un problema che con l'allungarsi delle estati dovuto ai cambiamenti climatici tende a intensificarsi. I dati sulla presenza di questi impianti sono abbastanza attendibili: sono indefinite per solo il 9% degli edifici. Le caratteristiche edilizie di isolamento termico risultano invece molto contenute nonostante i recenti strumenti finanziari volti a promuoverne e facilitarne la realizzazione. Le coperture sono coibentate nel 27% degli edifici le pareti solo nel 17%. La sostituzione dei vecchi infissi con nuovi, più performanti e dotati di doppi vetri, rappresenta invece l'intervento più diffuso negli ultimi anni, con una presenza registrata nel 43% delle scuole*.

Il comfort acustico appare altrettanto limitato: l'isolamento verso l'esterno è presente in appena il 10% delle scuole, con una importante propagazione dei rumori soprattutto tra le aule stesse (isolamento presente solo nel 5%) e tra piani (4%)*.

CONCLUSIONI. La molteplicità dei dati disponibili evidenziano criticità diffuse del patrimonio scolastico, causate principalmente dai limiti dati dalla vetustà degli edifici e il conseguente scarso adeguamento delle strutture e degli spazi alle esigenze didattiche, normative, e tecnologiche attuali. Pur con lievi variazioni territoriali, emerge la globale necessità di un approccio più consapevole e organico nella gestione e riqualificazione degli edifici. Comprendere lo stato fisico e funzionale delle scuole, appunto attraverso l'analisi e studio dei dati è solo il primo passo: le future decisioni progettuali dovranno confrontarsi con l'evoluzione non solo delle esigenze didattiche ma anche della dmeografia, ripensando gli spazi non solo per il presente, ma in prospettiva di una scuola più efficiente, inclusiva, ma soprattutto flessibile e resiliente nei confronti delle sfide future.

*,** Dati risultanti da elaborazioni dell'autore su dati AES (*) e ARES (**) 2025.

2

NUOVI STUDENTI, VECCHI SPAZI

La scuola sta vivendo oggi una profonda trasformazione: cambiano gli studenti, le loro caratteristiche e i loro bisogni ma rimangono invariati gli spazi che li accolgono, ancorati a modelli educativi e demografici ormai superati. Il capitolo analizza il divario tra una realtà scolastica in evoluzione e un patrimonio edilizio spesso rigido, mettendo in evidenza le questioni che guideranno la progettazione degli spazi educativi nel futuro.

2.1 CLASSI A MISURA DI AULA?

Considerando il numero di studenti e di sezioni nell'anno scolastico 2024/25, risulta una capienza di circa 19 studenti per classe (cfr. in questo volume, p. 7). Tuttavia, questo dato è fortemente variabile nella distribuzione geografica regionale, con quasi il 2% di aule sovraffollate a livello nazionale. La regione con le aule più fuori norma è l'Emilia-Romagna (3,25%) mentre le meno affollate sono quelle della Sardegna (0,1%)[1]. Un ulteriore fattore di variabilità è il grado scolastico: le scuole secondarie di secondo grado risultano le più affollate. Nell'anno scolastico 2020–21, le classi con più di 26 studenti costituivano l'8% del totale, con un picco nei licei scientifici, dove nel 13% delle classi il numero di alunni superava tale soglia[2]. Inoltre, il valore medio di 19 studenti per classe, pur risultando inferiore ai limiti massimi previsti dalla normativa (27–29 alunni), non è di per sé indicativo dell'adeguatezza degli spazi, che dipende dalla superficie disponibile per ciascun alunno: a parità di studenti, una classe può risultare sottodimensionata in un'aula ampia e, al contrario, sovraffollata in un'aula di dimensioni ridotte.
Tuttavia, le problematiche legate alla densità, alle dotazioni e alle modalità d'uso degli spazi non interessato esclusivamente le scuole sovraffollate ma si hanno frequentemente anche in istituti con un rapporto tra numero di classi e ampiezza delle aule teoricamente adeguato[3]. Questo perché oltre ai numeri, la qualità e la vivibilità degli spazi scolastici si concretizza anche nella loro capacità di rispondere in maniera adeguata ai bisogni delle persone che li "abitano" quotidianamente, ovvero nella loro adattabilità alle attività ordinarie e abituali della didattica.
Pur nel rispetto dei requisiti normativi, risulta infatti complesso definire un equilibrio tra spazi disponibili, classi attive e attività svolte nelle scuole. La questione appare particolarmente rilevante se si considera che, come visto, una quota significativa degli edifici scolastici è stata realizzata prima o in prossimità del DM del 1975. Gli edifici costruiti anteriormente non potevano, per evidenti ragioni temporali e per la non retroattività della norma, rispondere ai requisiti introdotti; analogamente, quelli realizzati negli anni immediatamente successivi all'emanazione mostrano frequentemente un adattamento solo parziale, a causa dei tempi necessari al consolidamento della nuova normativa nella prassi progettuale e regolamentare.
La maggioranza delle scuole è, dal punto di vista numerico, dotata degli spazi necessari alle attività didattiche di base, con differenze negli spazi specifici dell'istituto.
I 3.292 edifici scolastici con i loro 151.210 locali della Regione Piemonte costitui-

[1] MIUR, *"In Italia il 2% delle classi è fuori norma"*, ScuolaWebinar, 26 marzo 2025 https://www.scuolawebinar.it/in-italia-il-2-delle-classi-e-fuori-norma/

[2] Cittadinanzattiva, ***XX Rapporto sulla sicurezza delle scuole***, 2022, p. 56.

[3] Fianchini M. (a cura di), ***Rinnovare le scuole dall'interno. Scenari e strategie di miglioramento per le infrastrutture scolastiche***, p. 93.

scono un campione rappresentativo delle realtà del Paese per distribuzione territoriale ed epoca di costruzione. Dei circa 6.240.000 mq di locali misurati, la porzione più significativa è destinata ad aule ordinarie (1.300.000 mq, pari al 21%), di cui la maggioranza (46%) ha una superficie compresa tra i 40 e i 50 mq, mentre il 32% supera i 50 mq. Un'altra quota rilevante, seppur non utilizzata a fini didattici, è costituita dagli spazi di distribuzione (corridoi e atri) che rappresentano il 24%. A questi si affiancano le superfici di spazio libero nei lotti scolastici, pari al 53% degli oltre 18.000.000 mq complessivi di aree scolastiche; il 41% dei lotti, inoltre, consentirebbe idealmente un ampliamento della scuola già esistente [ARES]. Può quindi sembrare contraddittorio che, nel discorso comune, le scuole siano talvolta percepite come anguste, scomode e prive degli ambienti necessari, perciò, spazi rigidi in cui non è facile sfruttare pienamente le possibilità d'uso. La spiegazione è nella rapida evoluzione, soprattutto recente, dei tempi e modi della didattica e delle relative esigenze spaziali, che ha messo in luce una importante tensione tra modalità d'uso consolidate e nuove necessità.

Nel corso degli anni, sono cambiate le dimensioni delle attrezzature scolastiche, a partire dagli zaini che raramente trovano una collocazione adeguata, fino ai quaderni e ai materiali didattici, più voluminosi rispetto al passato. L'introduzione dei computer e delle LIM nella didattica ordinaria ha ulteriormente aggravato la situazione: queste tecnologie sono state affiancate alle strumentazioni tradizionali senza sostituirle, occupando così spazio aggiuntivo e richiedendo flessibilità nell'uso dell'aula – orientamento, controllo della luminosità, spazi per le postazioni – che le nostre infrastrutture raramente sono in grado di garantire. Gli ambienti risultano così sovraccarichi di persone e materiali, in una insolita e talvolta problematica combinazione di elementi nuovi e datati, condizione aggravata dalla presenza di vincoli strutturali fissi o da configurazioni planimetriche irregolari dovute ad edifici, come visto, datati[4]. Anche all'interno dello stesso complesso scolastico si generano casi di sovraffollamento o sottoutilizzo degli spazi, in particolare di quelli specializzati come i laboratori, a seguito delle frequenti modifiche necessarie per rispondere a nuovi bisogni didattici o a situazioni di emergenza — come il distanziamento imposto dalla pandemia o le diffuse inagibilità temporanee di porzioni degli edifici. È infatti frequente l''utilizzo a turni di palestre e laboratori, talvolta in rientri pomeridiani o momenti tradizionalmente "non scolastici", oppure l'adozione di orari didattici insoliti per alunni e docenti. Paradossalmente, la contrapposta forte richiesta di laboratori si scontra quindi spesso con un utilizzo minimo degli stessi, dovuto a difficoltà organizzative o a problematiche legate alla sicurezza negli spostamenti degli alunni. Esempio sono i laboratori informatici, sviluppati nell'arco di pochissimi anni nei primi 2000 e oggi sempre più spesso in condizioni di sottoutilizzo, con strumentazioni ormai obsolete[5], proiettati verso un probabile e graduale abbandono: se vent'anni fa le tecnologie digitali erano un'innovazione in aule dedicate, poiché ancora estranee alla vita quotidiana e alla didattica ordinaria, oggi sono costantemente presenti nell'intero ambiente scolastico, così come nello studio e insegnamento. Discorso analogo di sottoutilizzo interessa gli spazi "accessori": corridoi, atri, giardini e cortili utilizzati solamente per trascorrere ricreazioni veloci, in quanto spesso privi di arredamenti tali da renderli flessibili per didattica innovativa e/o principali poli di socialità al di fuori della classe.

Ciò che impedisce che lo spazio venga sfruttato a pieno non sono solo le caratteristiche tipologico-distributive citate, ma anche la qualità edilizia delle nostre scuole che, come visto dai numeri presentati nel capitolo precedente, è mediamente piuttosto bassa e gli interventi volti a un loro efficientamento e miglioramento non si possono dire diffusi in maniera omogenea nel territorio nazionale. Nella maggioranza dei casi gli elementi tecnici e impiantistici sono inefficienti a causa di una loro non adeguata integrazione, oltre che di scarsa manutenzione e mancata innovazione; ne derivano così risaputi e frequenti problemi di comfort termico, visivo e acustico.

Le aule sono spesso non omogeneamente riscaldate a causa di elementi radianti puntuali collocati generalmente in un solo lato in corrispondenza delle finestre, con frequenti malfunzionamenti; gli elementi di raffrescamento, invece, sono come visto assenti, generando aule troppo calde soprattutto se orientate a sud e non adeguatamente schermate. Nei tempi recenti, il tema delle schermature risulta ancor più rilevante data la necessità di modulare la luminosità in base alle attività con le strumentazioni digitali di ormai normale uso nella didattica. Infine, i molteplici rumori e vibrazioni tipici di un ambiente scolastico: voci, spostamento di banchi e sedie, movimento di grandi gruppi di persone si propagano tra le aule, laboratori e corridoi, spesso con problematiche di riverbero.

[4, 5] Fianchini M. (a cura di), ***Rinnovare le scuole dall'interno. Scenari e strategie di miglioramento per le infrastrutture scolastiche***, p. 93, 94, 118, 119, 120.

GLI SPAZI DELLA SCUOLA

Fonte: elaborazione dell'autore su dati ARES. Sono esclusi i dati relativi ad altri spazi tecnici o inutilizzati (16%).

3.292
edifici scolastici piemontesi

151.210
tipologie di locali

6.243.220
metri quadri di superficie

Aule
1.560.852 mq
25%

Spazi connettivi (atri, corridoi, scale)
1.300.641 mq
21%

Palestra e relativi spazi accessori
623.497 mq
10%

Aree esterne
419.223 mq
6,7%

Spazi collettivi
362.555 mq
5,8%

Servizi igienici
322.165 mq
5,2%

Spazi amministrativi
308.369 mq
4,9%

Laboratori
284.830 mq
4,6%

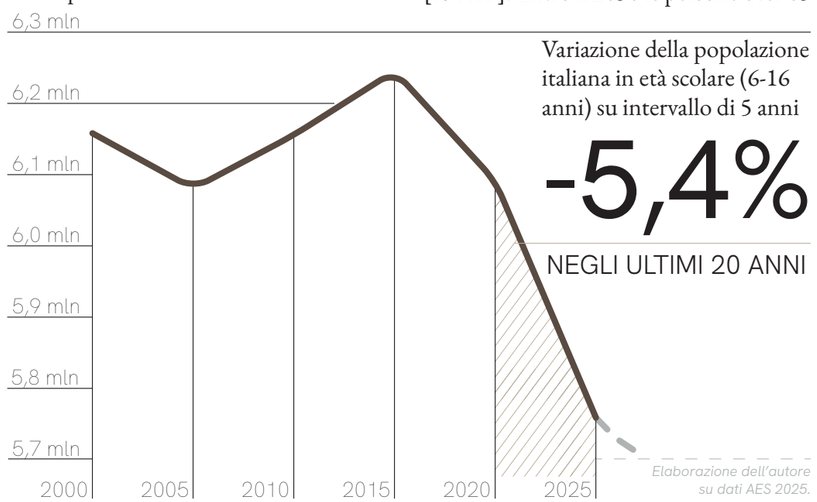
Biblioteche 0,8%

2.2 GLI STUDENTI DI DOMANI

Le attività scolastiche così come i loro protagonisti sono cambiati ed evoluti, ma gli spazi che li ospitano sono invece rimasti congelati in dotazioni standard ormai inadeguate, configurando le scuole come spazi di ripiego poco valorizzati e lontani dal garantire una loro fruizione efficiente e di qualità. Studiare l'architettura scolastica nelle sue caratteristiche dimensionali, tecniche e qualitative è invece fondamentale per far emergere le sue risorse nascoste, fondamentali per il miglioramento sia della didattica che del benessere di chi la vive ogni giorno. Questa analisi non può prescindere dalla considerazione e analisi dell'andamento demografico.

Le tendenze della popolazione in età scolastica determinano infatti la domanda di scuola e la sua distribuzione sul territorio incidendo direttamente sul loro dimensionamento e utilizzo: non è possibile progettare gli edifici del futuro senza considerare dove e quanti saranno i loro prossimi utenti. Dalla consistenza della popolazione giovanile dipendono infatti il numero di classi, il fabbisogno di docenti e di spazi fisici[6].

Da oltre un decennio la popolazione italiana è segnata da consolidato declino demografico: negli ultimi quindici anni, gli italiani sono diminuiti del 2,35% (58,9 milioni nel 2025, 60,3 nel 2015, un crollo di quasi 1,4) [ISTAT]. Secondo le proiezioni ISTAT al 2050 basate sui dati 2024[7] tale declino continuerà in maniera inesorabile, scendendo a 58,5 milioni nel vicino 2030, per poi calare a 54,7 nel 2050 fino a toccare i 45,8 nel 2080: in sintesi, una perdita complessiva di oltre 13 milioni di abitanti in cinquant'anni. Questa trasformazione non sarà solo quantitativa ma anche strutturale con il saldo naturale – ovvero la differenza tra nascite e decessi – che si prospetta segua l'andamento negativo presente da oltre quindici anni e visibile nei numeri attuali: al 1° gennaio 2026 gli over 65 sono infatti 14.820.500 (25% della popolazione), quasi tre volte i 5.064.770 di adolescenti tra gli 11 e i 19 anni, con una di età media di 48,6 anni [ISTAT]. Entro il 2050 le persone over 65



[6] Barioglio C., Campobenedetto, D. (a cura di), *Re School. Ripensare la scuola a partire dagli spazi*, p. 15.

[7, 8] ISTAT, *Previsioni della popolazione residente e delle famiglie. Base 1/1/2024*, 2025, p. 4.

anni saliranno al 34,6% del totale – con un impatto rilevante sull'aspetto socio-economico visti i fabbisogni di questa fetta di popolazione – mentre la fascia 11-19 anni scenderà ad appena il 7,2%[8].

La ragione di questo scenario è il crollo della natalità: tra il 2014 e il 2024 le nascite si sono ridotte del 26% (da 502.596 a 396.944), segnando un ulteriore -3,9% solo nell'ultimo anno tra il 2024 e il 2025 [ISTAT]. In linea con questa dinamica, negli ultimi vent'anni la popolazione residente in età scolare (6-16 anni) è diminuita di circa 325.000 unità [ISTAT]; tale andamento si riflette con buona approssimazione nel numero degli iscritti ai diversi cicli scolastici, seppur con intensità diverse tra le regioni italiane. Il Piemonte, infatti, rappresenta un'eccezione: la popolazione scolastica non ha registrato un calo bensì una crescita, seppure caratterizzata da un progressivo rallentamento (mia rielaborazione, vedi grafico). Ciò è dovuto principalmente alla componente degli stranieri, divenuta ormai strutturale nella società piemontese, sebbene anch'essa mostri un rallentamento dopo il forte incremento registrato nel primo decennio di secolo. Nell'a.s. 2023/24 gli iscritti a scuola con cittadinanza straniera in Piemonte sono stati 80,1 mila pari il 15% del totale, contro gli appena 15 mila dell'a.s. 2000/01[9].

QUESTIONE DI SCELTE. La sola dinamica demografica, tuttavia, non è sufficiente a definire il futuro fabbisogno scolastico. L'utilizzo degli spazi dipende infatti anche da fattori socio-economici, maggiormente variabili nel tempo e poco prevedibili, che influenzano i percorsi formativi e le scelte degli studenti.

Nella cosiddetta "transizione scolastica", ovvero il passaggio da un ordine di scuola a un altro, hanno un ruolo particolarmente rilevante la condizione economica della famiglia e il contesto sociale di riferimento. Nell'indagine bambini e ragazzi del 2023 dell'ISTAT, il 60,3% dei ragazzi che giudicano buona la propria situazione economica famigliare prevede di continuare la scuola superiore, mentre tale quota scende al 34,8% tra i ragazzi che ritengono di non trovarsi in una buona condizione economica[10]. Sempre secondo la stessa indagine, il 34% dei giovani immagina inoltre un futuro all'estero, sia per motivi legati alle prospettive personali che per opportunità formative e professionali[11].

SCENARI GIÀ IN ATTO. Nei prossimi cinque anni si prevede, perciò, che in Italia avremo circa 1.100.000 studenti in meno[12]. Tale contrazione riguarderà l'intero territorio nazionale e non più solamente le regioni meridionali, da decenni soggette a fenomeni di spopolamento, con conseguenze sull'intero sistema: meno studenti, meno classi, meno docenti, meno aule piene. Non si tratta tuttavia di uno scenario futuro: la contrazione della popolazione scolastica è già in corso, come dimostrano le recenti politiche di accorpamento di alcune istituzioni scolastiche sotto un'unica dirigenza[13]. È quindi fondamentale che le scelte di politica scolastica, inclusa la progettazione degli spazi che la riguardano, adottino una prospettiva temporale di lungo periodo, superando la concezione statica dell'edificio scolastico. La qualità degli interventi futuri dovrà quindi essere valutata non solo rispetto alle prestazioni energetiche o tecnologiche, ma anche rispetto alla capacità degli edifici di mantenere la propria utilità e adattabilità lungo l'intero ciclo di vita.

[9] Musto D., Nanni C. (a cura di), *N. 2024/02 - 10 numeri sugli studenti stranieri: quanti sono, cosa fanno*, IRES Piemonte, 2024, p. 2.

[10, 11] ISTAT, *Indagine bambini e ragazzi - Anno 2023*, 2024, p. 6, 10.

[12] Barioglio C., Campobenedetto, D. (a cura di), *Re School. Ripensare la scuola a partire dagli spazi*, p. 28.

[13] Il ri- dimensionamento della rete scolastica rientra nella Riforma 1.3 "Riorganizzazione del sistema scolastico" della Missione 4, Componente 1 del PNRR, approvato nel 2021. La riforma è stata successivamente attuata con provvedimenti nazionali e regionali tra il 2023-2025, con modalità diverse in relazione alle specificità territoriali.



Come visto, il patrimonio scolastico italiano presenta ancora diffuse criticità (cfr. Capitolo 1), e le politiche degli ultimi anni hanno necessariamente concentrato le risorse disponibili sul raggiungimento di condizioni minime di sicurezza e funzionalità degli edifici, ponendo solo recentemente – soprattutto dalla pandemia in poi – l'attenzione sulla qualità e flessibilità degli spazi (cfr. Capitolo 3). Se da un lato questa impostazione risponde a esigenze immediate e non più rinviabili, nel medio-lungo periodo sarà tuttavia necessario affiancare questi interventi a una strategia capace rispondere alle trasformazioni demografiche e pedagogiche in atto.

La riqualificazione deve perseguire un duplice obiettivo: restituire nel breve periodo ambienti sicuri e confortevoli per la didattica, e al tempo stesso predisporre edifici capaci di adattarsi a future trasformazioni e a possibili cambi di destinazione d'uso. In assenza di una tale visione di lungo periodo, il rischio è che le risorse vengano impiegate per migliorare edifici che, per le cause trattate, potrebbero non essere pienamente utilizzati in futuro, senza che siano state considerate possibili strategie di adattamento e riconversione.

[ARES]: dati risultanti da elaborazioni dell'autore su dati ARES 2025.
[ISTAT]: dati risultanti da elaborazioni dell'autore su dati ISTAT (demo.istat.it/).



3

UNA TRASFORMAZIONE ANCORA INCOMPIUTA

L'edilizia scolastica è stata negli ultimi anni interessata da una crescente attenzione politica e da ingenti risorse volte alla riqualificazione di un patrimonio fragile e obsoleto. Il capitolo ricostruisce questo percorso, dai primi strumenti di intervento fino al PNRR, interrogandosi sulla capacità delle politiche messe in campo di superare la semplice risoluzione delle criticità e tradursi in una reale trasformazione della qualità degli ambienti scolastici, che appare ancora incompiuta.

3.1 IL CANTIERE DELLE RIFORME

I temi e le analisi affrontate nei capitoli precedenti hanno messo in luce la profonda fragilità del sistema scolastico italiano: da un lato le criticità strutturali, energetiche e ambientali di un patrimonio edilizio largamente obsoleto, dall'altro la difficoltà di adattare spazi rigidi a nuove forme di apprendimento e a una popolazione studentesca in trasformazione. Questa tensione tra i limiti del contenitore ed evoluzione delle esigenze ha, nell'ultimo decennio, portato al centro della politica e del dibattito pubblico il tema dell'edilizia scolastica, con i suoi obiettivi e problematiche organizzative.

RUOLI E RESPONSABILITÀ. Per comprendere il funzionamento del sistema della politica dell'edilizia scolastica è innanzitutto fondamentale capire come sono distribuiti ruoli e responsabilità nella gestione del patrimonio scolastico. Questi sono definiti dalla Legge n. 23 del 1996, *Norme per l'edilizia scolastica* nota anche come *Legge Masini*, che disciplina la programmazione, il finanziamento e le competenze dei diversi enti istituzionali. La responsabilità della pianificazione e dell'attuazione degli interventi è ripartita tra enti e istituzioni differenti, che non sempre riescono a coordinarsi in modo efficace: competenze, priorità e obiettivi diversi rendono infatti i processi decisionali particolarmente complessi.
Il Governo definisce linee strategiche nazionali, strumenti di conoscenza e gestione del patrimonio, programmazione delle risorse economiche e le loro modalità di erogazione attraverso specifici decreti ministeriali che stabiliscono i criteri di ripartizione tra le Regioni. Le Regioni, sulla base delle risorse a loro assegnate, selezionano le proposte d'intervento presentate dagli enti locali da finanziare. Agli enti locali, ovvero Comuni, Province e Città Metropolitane, spetta il compito di garantire un patrimonio scolastico di qualità in grado di rispondere alle esigenze dei suoi utenti, attraverso sia nuovi interventi che la manutenzione e l'adeguamento, richiedendo i finanziamenti alla Regione ed eventualmente integrandoli con altre risorse o fondi di altra provenienza. La gestione degli edifici scolastici varia, inoltre, in base al grado di istruzione: i Comuni sono proprietari e responsabili delle scuole dell'infanzia, primarie e secondarie di primo grado, mentre le Province e le Città metropolitane sono competenti per le scuole secondarie di secondo grado.
La Legge 23/1996 ha quindi delineato un sistema di governance a cascata in cui le competenze sono distribuite secondo una logica multilivello che da un lato consente di ripartire responsabilità e funzioni,

dall'altro porta a inevitabili complessità nel coordinamento tra gli attori coinvolti che possono tradursi in rallentamenti e frammentazioni nella programmazione e attuazione degli interventi. Proprio queste difficoltà, insieme alla crescente consapevolezza dell'inadeguatezza di una parte consistente del patrimonio edilizio scolastico, hanno contribuito a riportare il tema dell'edilizia scolastica al centro delle politiche negli anni successivi. Questo rinnovato interesse non nasce però improvvisamente con i grandi investimenti che abbiamo visto negli ultimi anni, ma è il risultato di un lungo e ampio processo legato a diversi fattori: la necessità di intervenire su un patrimonio edilizio costruito nella metà del Novecento e quindi vicino al suo fine vita, la maggiore attenzione alla sicurezza e alla sostenibilità degli edifici pubblici e una nuova concezione degli spazi scolastici come elemento integrante dell'apprendimento.

[1] ANSA, *"Vito Scafidi, una vita spezzata simbolo della sicurezza a scuola"*, 28 marzo 2017

Foto 3. L'aula oggetto del crollo del Liceo Darwin a Rivoli.

3



UN PATRIMONIO ALLA FINE. Il patrimonio scolastico italiano è costituito in larga parte da edifici realizzati tra gli anni Sessanta e Settanta del Novecento, progettati per rispondere alle esigenze di quel periodo storico e secondo norme molto diverse dalle attuali sia dal punto di vista strutturale, energetico e funzionale (cfr. Capitolo 1). Dagli anni Duemila in poi, gran parte di questi edifici inizia a raggiungere i quarant'anni di età, entrando in una fase di crescente obsolescenza con la manifestazione sempre più diffusa di criticità strutturali, impiantistiche, energetiche e funzionali. Più che un improvviso deterioramento del patrimonio, è il progressivo raggiungimento di una soglia critica comune a una larga parte delle scuole italiane realizzate in massa nello stesso periodo storico. Questa condizione diventa visibile anche grazie agli strumenti di conoscenza del patrimonio resi operativi intorno al 2010, che hanno consentito non solo di raccoglierne informazioni sistematiche, ma soprattutto di renderne pubbliche le problematiche (cfr. Capitolo 1). Tuttavia, la costruzione di questo quadro conoscitivo non è stata l'unico fattore attraverso cui l'edilizia scolastica è entrata nel dibattito pubblico. Alle criticità emerse dai dati si sono infatti affiancati episodi concreti di degrado e insicurezza che hanno reso tangibile, anche al di fuori degli ambiti tecnici e istituzionali, le grandi fragilità di una parte consistente degli edifici. Uno degli episodi che sconvolse particolarmente fu il crollo, durante l'orario scolastico, di un controsoffitto nel liceo Darwin di Rivoli nel 2008 (Foto 3), in cui perse la vita lo studente diciassettenne Vito Scafidi mentre il suo compagno di banco, Andrea Macrì, riportò gravi lesioni che ne causarono la paraplegia. La rilevanza del caso portò a nuove iniziative di sensibilizzazione sul tema: il 22 novembre, anniversario della tragedia, è stata istituita la Giornata nazionale per la sicurezza nelle scuole, dedicata alla memoria delle vittime degli incidenti avvenuti negli edifici scolastici[1].

Il caso del liceo Darwin rappresentò una delle manifestazioni più emblematiche di una fragilità più ampia già emersa anni prima con il crollo della scuola primaria *Francesco Jovine* di San Giuliano di Puglia (Foto 4) durante il terremoto del Molise (2002), in cui persero la vita ventisette bambini e una maestra[2]. L'evento fu uno dei primi a mettere in luce come la sicurezza degli edifici scolastici non fosse legata soltanto alla manutenzione ordinaria, ma anche alla capacità delle strutture di resistere ai rischi sismici, favorendo una crescente attenzione verso politiche di prevenzione e adeguamento sismico[3].

I successivi terremoti dell'Aquila (2009) e dell'Emilia-Romagna (2012) confermarono che non si trattava di episodi isolati, ma di una vulnerabilità diffusa del patrimonio.

La necessità di evacuare numerosi edifici e di ricorrere a soluzioni temporanee per garantire la prosecuzione delle attività didattiche rese evidente la distanza tra le condizioni degli edifici esistenti e i requisiti di sicurezza richiesti dalla normativa contemporanea, rendendo urgente una politica d'intervento più organica. Nel caso dell'Aquila venne infatti avviato, dalla Protezione Civile, il progetto "Scuola Sicura" finalizzato al ripristino della continuità scolastica attraverso la verifica dell'agibilità degli edifici, gli eventuali interventi di messa in sicurezza e la realizzazione dei *M.U.S.P. (Moduli ad Uso Scolastico Provvisorio)*. Il progetto fu anche accompagnato da attività formative rivolte agli studenti e al personale scolastico sui nuovi piani di sicurezza e sulle procedure di evacuazione[4].

Questi eventi, sempre più frequenti negli anni successivi, evidenziarono – e lo fanno tutt'ora – come la fragilità del patrimonio non può essere risolta esclusivamente attraverso interventi puntuali ed emergenziali, ma richieda una strategia preventiva e programmata a livello nazionale. La successione di episodi concreti di degrado, crolli e vulnerabilità strutturali con conseguenze gravi e come visto talvolta fatali per gli occupanti, ha contribuito sempre più a rafforzare la consapevolezza della necessità di un cambio di approccio.

[2] RaiNews, *"San Giuliano di Puglia, 20 anni fa il crollo della scuola Jovine: morirono 27 bambini e una maestra"*, 31 ottobre 2022

[3] Dal 2002, la Regione Toscana ha promosso opere di adeguamento e ricostruzione negli edifici situati nei comuni a maggiore rischio sismico, su circa 160 scuole per un investimento complessivo di 63 milioni di euro. Sono state inoltre attivate iniziative di sensibilizzazione e memoria, tra cui intitolazioni di nuovi plessi scolastici alle vittime della scuola Jovine.

4



Foto 4. Le macerie della scuola Jovine.

I PRIMI STRUMENTI. Fino alla metà degli anni 2010 gli interventi di edilizia scolastica si sono sviluppati attraverso una pluralità di programmi e fonti di finanziamento spesso attivati in risposta a specifiche esigenze territoriali o situazioni emergenziali. Pur consentendo la realizzazione degli interventi necessari, questo approccio risultava frammentato, con procedure talvolta complesse, tempi di attuazione lunghi, e soprattutto non sufficiente a definire una strategia organica e continuativa per la riqualificazione del patrimonio nazionale. Tale difficoltà era inoltre legata

[4] Dipartimento della Protezione Civile, *Ritorno a scuola, sezione "Terremoto Abruzzo 2009"*; emergenze.protezionecivile.gov.it/it/sismiche/terremoto-abruzzo-2009/ritorno-scuola/

alla progressiva costruzione di un quadro conoscitivo del patrimonio scolastico: la pubblicazione dell'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica rappresentò uno strumento fondamentale per superare la frammentarietà delle informazioni disponibili (cfr. Capitolo 1) e porre le basi per una programmazione più strutturata degli interventi. Il primo tentativo fu il Piano #ItaliaSICURA per l'edilizia scolastica, lanciato nel 2014 dal Governo Renzi. Nell'ambito del Piano venne introdotto un nuovo modello di governance centrale attraverso l'istituzione della *Struttura di missione per il coordinamento e impulso nell'attuazione di interventi di riqualificazione dell'edilizia scolastica*[5], con il compito di favorire il coordinamento tra le amministrazioni coinvolte, supportare la programmazione degli interventi, monitorarne l'attuazione e avanzamento. Il Piano rappresentò un cambio di scala rispetto gli interventi precedenti, prevedendo investimenti complessivi per oltre 1 miliardo di euro distribuiti nelle regioni, articolati in tre principali linee di intervento: #scuoleSICURE dedicata alla messa in sicurezza, adeguamento sismico e messa a norma degli edifici; #scuoleBELLE con manutenzioni leggere, opere di decoro e di ripristino funzionale; #scuoleNUOVE finalizzata alla realizzazione di oltre 400 nuove scuole per un valore di 244 milioni.

Nonostante il Piano si ponesse come un importante cambio di rotta, gli obiettivi principali perseguiti erano ancora fortemente legati alla necessità di recuperare le carenze accumulate negli anni precedenti, intervenendo sulle situazioni più critiche, garantendo la conformità normativa e colmando i ritardi nella manutenzione del patrimonio esistente. Pur avendo quindi come finalità prioritaria quella di rendere gli edifici più sicuri e funzionali, il Piano stimolò una riflessione più ampia sulla qualità dello spazio scolastico, non solo strutturale ma anche dal punto di vista architettonico e pedagogico.

La successiva legge 107/2015 nota come "La Buona Scuola" mise in moto questa prospettiva, affiancando agli interventi di riqualificazione e messa in sicurezza il filone delle #scuoleINNOVATIVE, destinato alla costruzione di scuole "*innovative dal punto di vista architettonico, impiantistico, tecnologico, dell'efficienza energetica e della sicurezza strutturale e antisismica, caratterizzate dalla presenza di nuovi ambienti di apprendimento e dall'apertura al territorio*". Per il programma furono stanziati 300 milioni di euro nel triennio 2015-2017, ripartiti tra le regioni[6].

Il percorso avviato dal Piano venne consolidato da nuovi stanziamenti destinati alla prosecuzione degli interventi, tra cui i diversi strumenti di programmazione e finanziamento per il triennio 2017-2020 del governo Gentiloni. Il Decreto Legge 24 aprile 2017, n. 50 stanziò, a favore di Province e Città Metropolitane, circa 321 milioni di euro per ulteriori interventi di adeguamento sismico e messa in sicurezza, seguiti da oltre 1 miliardo destinati ai comuni dal D.P.R del 21 luglio 2017[7]. Questi strumenti confermarono la necessità di mantenere una strategia continuativa e pluriennale per l'edilizia scolastica, consolidando un modello di intervento basato sulla programmazione delle risorse, la definizione delle priorità e il monitoraggio degli interventi, che tutt'ora è il principale approccio nella riqualificazione del patrimonio.


5

Foto 5. Polo scolastico di Via Goldoni, Cernusco sul Naviglio (MI), 2017, arch. Consalez-Rossi con Enrico Scaramellini. Realizzato nell'ambito del programma #scuoleNUOVE, con criteri di sostenibilità e flessibilità degli spazi educativi.

UNA NUOVA IDEA DI SCUOLA. Se la prima stagione di interventi in Italia fu principalmente orientata al recupero delle criticità accumulate del patrimonio esistente, negli stessi anni si iniziò progressivamente ad affermarsi una riflessione più ampia sul ruolo dello spazio scolastico, soprattutto a livello europeo. L'edificio iniziò a non essere più considerato soltanto come il contenitore fisico delle attività didattiche, ma come una componente attiva del processo educativo, capace di influenzare le modalità di insegnamento e apprendimento, l'inclusione e il benessere degli studenti.

Tale prospettiva è stata promossa da numerosi organismi internazionali di ricerca come il Centre for Effective Learning Environments (CELE) dell'OCSE (Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico), che dal 2005 sviluppa ricerche, valutazioni e linee guida sulla qualità degli ambienti di apprendimento, coinvolgendo le comunità scolastiche, i progettisti e decisori politici. In occasione dei suoi 40 anni di attività, nel 2011 il CELE ha pubblicato il volume *Designing for Education: Compendium of Exemplary Educational Facilities*, che raccoglie casi di nuove pratiche di progetti di ristrutturazione di edifici scolastici[8]. Il lavoro del CELE è stato poi ampliato e approfondito con l'avvio, nel 2013, del *Learning Environments Evaluation Programme* (LEEP), che studia la relazione tra caratteristiche degli ambienti scolastici, investimenti realizzati e risultati ottenuti, valutando come la loro interconnessione possano contribuire non solo al rendimento scolastico, ma anche al benessere e alla qualità delle relazioni sociali degli utenti. La sua missione è fornire dati, strumenti e indicazioni utili a dirigenti scolastici, ricercatori, progettisti

Foto 6. Interni della Hazelwood School, Glasgow. Caso studio in Designing for Education: Compendium of Exemplary Educational Facilities e realizzata nel 2007, è progettata per studenti con disabilità multiple e deficit sensoriali.

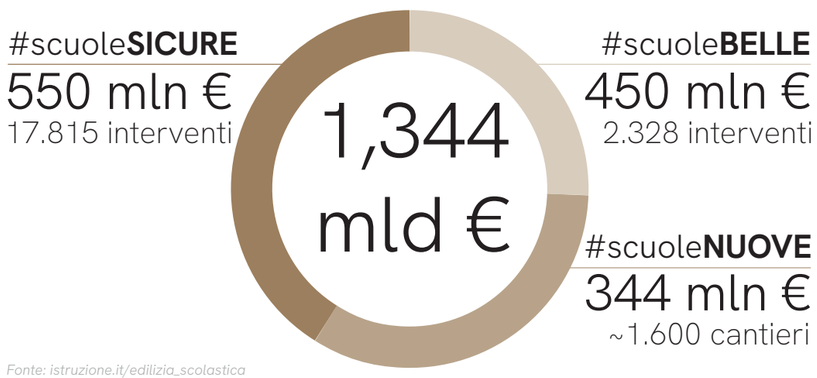

6

[5] Le *strutture di missione* sono uffici temporanei istituiti presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri per lo svolgimento di particolari compiti, il raggiungimento di risultati determinati o la realizzazione di specifici programmi, introdotte con l'art. 7 del D.lgs. 303/1999. La citata Struttura è stata istituita con DPCM del 24 maggio 2014.

[6] Legge 13 luglio 2015, n. 107, ***Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione e delega per il riordino delle disposizioni legislative vigenti***, art. 1, comma 153 e 158.

[7] Ministero dell'Istruzione, ***Fondo comma 140 – Interventi di edilizia scolastica***; istruzione.it/edilizia_scolastica/fin-comma-140.shtml

Piano #ItaliaSICURA per l'edilizia scolastica



Fonte: istruzione.it/edilizia_scolastica

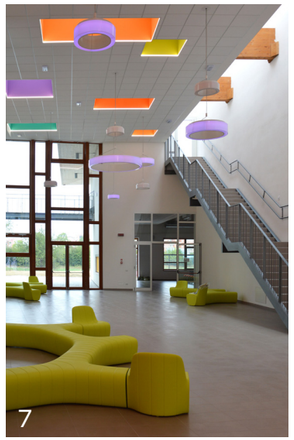


Foto 7. Scuola secondaria di I grado "P. Mattarella" di Modena, 2016, Arteas Progetti. Tra i casi studio del volume "Architetture Educative" pubblicato da INDIRE nel 2022.

e decisori pubblici, contribuendo a orientare la progettazione delle scuole[9].
In Italia, un ruolo rilevante nella ricerca è svolto da INDIRE (*Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa*), ente di ricerca del Ministero dell'Istruzione e del Merito fondato nel 1925, che nel 2012 ha avviato una specifica linea di ricerca sulle architetture scolastiche denominata "*Struttura di Ricerca 3 – Ambienti per l'apprendimento*". Nella ricerca lo spazio della scuola è studiato e documentato nella sua evoluzione temporale: dalla progettazione, all'utilizzo in termini pedagogico-didattici, fino alla riflessione sulle scelte e le pratiche messe in atto dopo la sua occupazione[10]. Le attività di INDIRE, in Italia, hanno contribuito alla diffusione del concetto di spazio di apprendimento e alla diffusione di modelli didattici innovativi in cui l'organizzazione dello spazio è parte integrante del progetto educativo.
Parallelamente, tra il 2010-2014 l'Unione Europa ha progressivamente definito un quadro comune di misure volto al miglioramento energetico degli edifici, quindi alla riduzione dei consumi e alla riqualificazione dell'esistente. La Direttiva 2010/31/UE (EPBD) ha introdotto i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici, e il concetto di *nearly Zero Energy Buildings*, mentre la successiva Direttiva 2012/27/UE ha ampliato questa prospettiva richiedendo agli Stati membri l'adozione di strategie a lungo termine per la riqualificazione dell'esistente, attribuendo agli edifici pubblici un ruolo di esempio. In Italia, questa seconda Direttiva fu recepita con il D.Lgs. 102/2014, che tuttavia ne applicò le disposizioni ai soli immobili della Pubblica Amministrazione centrale, senza estenderli in modo vincolante al patrimonio scolastico[11]. Il quadro europeo è stato poi successivamente arricchito dalle Direttive 2018/844/UE e 2018/2002/UE, che hanno fissato obiettivi di decarbonizzazione e miglioramento dell'efficienza energetica su diversi settori.
La crescente consapevolezza dell'impatto delle attività antropiche sui cambiamenti climatici ha portato, nel dicembre 2019, alla presentazione dell'European Green Deal, un programma strategico volto a trasformare l'Unione Europea in un'economia climaticamente neutrale entro il 2050, attraverso una transizione che mira al miglioramento della qualità della vita dei cittadini europei, la tutela dell'ambiente e la costruzione di un modello economico sostenibile. Interessando diversi settori – mobilità, industria, energia – il Green Deal ha fissato l'obiettivo di ridurre le emissioni nette di gas serra dell'Unione Europea di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990.
Il settore edilizio è una delle priorità: gli edifici sono infatti responsabili di circa il 40% dei consumi energetici dell'Unione Europea e il 75% presenta basse prestazioni energetiche. Tra le linee d'azione, "*Building and renovating in an energy and resource efficient way*" sostiene i processi di riqualificazione urbana e ristrutturazione, attraverso l'avvio della *Renovation Wave Strategy*, finalizzata ad accelerare il ritmo degli interventi sull'esistente, con particolare attenzione agli edifici pubblici, tra cui quelli scolastici e ospedalieri[12].
In questo contesto, si svilupparono diversi programmi di ricerca e finanziamento sovralocali, che hanno rappresentato un'importante risorsa economica per le amministrazioni locali. Programmi europei avviati tra il 2007 e il 2014 come il Settimo Programma Quadro e Horizon 2020 hanno permesso di sviluppare progetti dedicati non solo alla sicurezza ma anche all'efficienza energetica degli edifici, alla sperimentazione di nuove tecnologie costruttive e modelli progettuali volti a una innovazione delle strutture e dell'ambiente di apprendimento.
Tra i progetti europei sviluppati in questo ambito, alcuni hanno riguardato principalmente l'analisi delle prestazioni energetiche degli edifici scolastici e l'individuazione di strategie di riqualificazione, come *Renew School* (2009-2012), *Teenergy School* (2009-2012), *School of the Future* (2009-2012) e *ZEMedS* (2013-2016). Altri hanno invece sviluppato strumenti per supportare la programmazione degli interventi sulla base di analisi costi-benefici e valutazioni del ciclo di vita, come *Energy Concept Adviser for Educational Buildings* (2009-2012) e *VERYSchool* (2012-2015)[13]. Queste esperienze hanno contribuito a consolidare una maggiore attenzione verso la conoscenza del patrimonio esistente e la pianificazione degli interventi, anticipando molti dei principi che diventeranno centrali nelle successive e attuali politiche di riqualificazione scolastica.

[8, 9] Fianchini M. (a cura di), ***Rinnovare le scuole dall'interno. Scenari e strategie di migliora mento per le infrastrutture scolastiche***, p. 24, 25, 26.

[10] INDIRE, ***Struttura di Ricerca 3 – Ambienti per l'apprendimento***, indire.it/strutture-di-ricerca/struttura-di-ricerca-3-ambienti-per-lapprendimento/

[11] Boarin P., Davoli P., ***"Riqualificazione profonda del patrimonio edilizio scolastico: l'opportunità offerta dall'Europa e la strategia adottata dall'Italia"***, TECHNE. Journal of Technology for Architecture and Environment, n. 9, 2015, pp. 96-105.

[12] Barbaro S., Giuffrida S., Napoli G., Trovato M. R., "***Smart cities ed efficientamento energetico: opportunità e sfide dall'European Green Deal e dai programmi europei"***, LaborEst. Città Metropolitane, Aree interne, n. 20, giugno 2020, pp. 92-98.

[13] Gallo P., Romano R., "***Studiare in una scuola di 'classe'. L'efficienza energetica per salvare il settore dell'edilizia scolastica***", TECHNE. Journal of Technology for Architecture and Environment, n. 9, aprile 2015, pp. 274-287.



3.2 I FINANZIAMENTI EUROPEI

Gli investimenti per l'attuazione dei programmi di ricerca e le direttive dell'Unione Europea avvengono attraverso la politica di coesione, finalizzata a ridurre le disparità economiche, sociali e territoriali tra i territori e a promuovere uno sviluppo più equilibrato. Tale politica trova fondamento nei principi europei di coesione e si concretizza finanziando piani, programmi e progetti promossi a livello nazionale, regionale e locale, coinvolgendo i diversi livelli di governo e il partenariato economico e sociale. La politica di coesione è sostenuta dall'UE dalla fine degli anni Ottanta attraverso una molteplicità di Fondi strutturali, organizzati in cicli di programmazione pluriennale nei quali vengono definiti obiettivi, priorità e modalità di investimento. Tali strumenti operano attraverso una gestione condivisa tra la Commissione e gli Stati membri, in cui le risorse europee vengono integrate da quote di cofinanziamento nazionale e sono erogate sulla base della realizzazione e della rendicontazione degli interventi previsti[14].

I principali Fondi strutturali che sostengono la politica di coesione sono il Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale (FESR) e il Fondo Sociale Europeo (FSE). Il primo sostiene principalmente investimenti materiali e infrastrutturali per la crescita economica, la competitività, e innovazione dei territori; il secondo è invece rivolto prevalentemente ad aspetti sociali, occupazionali e formativi, con azioni per lo sviluppo delle competenze, l'inclusione e il miglioramento dell'accesso al mercato del lavoro. A questi si aggiungono i fondi nazionali per la coesione, tra cui il Fondo di rotazione per l'attuazione delle politiche comunitarie che eroga le quote di cofinanziamento nazionale, e il Fondo Sviluppo e Coesione (FSC), che sostituisce precedenti fondi con finalità analoghe[15].

Queste risorse vengono utilizzate in settori diversi dagli Stati Membri attraverso specifici strumenti di programmazione, che in Italia sono i Programmi Operativi Nazionali (PON) gestiti dallo Stato per affrontare le tematiche di interesse nazionale, e i Programmi Operativi Regionali (POR) elaborati invece dalle Regioni per rispondere alle esigenze territoriali.

Tra questi, nell'ambito della programmazione settennale 2014-2020, il settore dell'istruzione è stato uno dei protagonisti con il PON "Per la Scuola – Competenze e ambienti per l'apprendimento", offrendo alle scuole l'opportunità di accedere a risorse comunitarie aggiuntive rispetto a quelle già stabilite dalla "Buona Scuola". Il programma, suddiviso in sette assi di azione, ha sostenuto tantissimi interventi sia sul piano della formazione e dello sviluppo, che per il miglioramento degli edifici scolastici.



[14] Dipartimento per le politiche di coesione, ***Politica di coesione*** politichecoesione.governo.it/it/politica-di-coesione/

[15] Dipartimento per le politiche di coesione, ***I fondi della Politica di Coesione*** politichecoesione.governo.it/it/politica-di-coesione/i-fondi-della-politica-di-coesione/

Foto X. La Scuola primaria "A. Sabin" in C.so Vercelli a Torino, oggetto di intervento nell'ambito del PON Metro.

Il budget complessivo superava i 3 miliardi di euro, di cui 800 milioni dedicati al potenziamento delle infrastrutture scolastiche con laboratori, attrezzature digitali e interventi di edilizia[16]. Nella stessa programmazione venne avviato anche il PON "Città Metropolitane", detto anche PON "Metro", rivolto allo sviluppo urbano sostenibile e al miglioramento della qualità dei servizi delle 14 città metropolitane italiane, con una dotazione iniziale di circa 1,9 miliardi di euro per l'innovazione digitale, la mobilità sostenibile, l'inclusione sociale e l'efficientamento energetico del patrimonio pubblico[17]. In questo ultimo punto, erano ammissibili anche interventi di riqualificazione energetica degli edifici scolastici di proprietà comunali, realizzati in diverse città, tra cui Torino, dove furono destinati circa 3 milioni di euro di risorse solamente per questi lavori[18].

La programmazione 2014-2020, ha rappresentato uno dei principali strumenti per sostenere lo sviluppo territoriale e l'innovazione dei servizi pubblici. La crisi sanitaria del 2020 provocata dalla pandemia ha tuttavia modificato le priorità delle politiche europee, rendendo necessario sia il rafforzamento degli strumenti già esistenti della politica di coesione, sia la definizione di nuovi strumenti straordinari finalizzati alla ripresa economica. La pandemia ha colpito l'Italia più duramente rispetto ad altri Paesi europei: nel 2020 il prodotto interno lordo nazionale si è ridotto dell'8,9%, a fronte di una contrazione media dell'Unione Europea del 6,2% (PNRR 2021 pag. 2). Questa crisi si è abbattuta su un Paese già fragile, caratterizzato da uno storico ritardo nella crescita della produttività e da un grave deficit di digitalizzazione sia nel settore produttivo che nella pubblica amministrazione: prima della pandemia il 98,9% dei dipendenti non aveva mai utilizzato il lavoro agile (PNRR 2021 pp. 2, 3).

[16] Ministero dell'Istruzione e del Merito, ***Il PON: cos'è*** istruzione.it/pon/ilpon.html



Foto X. La scuola primaria "Aurora" e la scuola secondaria di primo grado "Morelli" in Via Cecchi a Torino, oggetto di intervento nell'ambito del PON Metro e del PNRR.

NEXT GENERATION EU. A tale scopo il programma Next Generation EU (NGEU), istituito nel 2020, ha destinato risorse straordinarie agli Stati membri per sostenere l'uscita dalla crisi pandemica e interventi volti resilienza, sostenibilità e innovazione in diversi settori. L'iniziativa canalizza risorse verso Paesi che sono stati maggiormente colpiti dalla pandemia e che, seppur caratterizzati da livelli di reddito pro capite in linea con la media UE, hanno recentemente sofferto di bassa crescita economica ed elevata disoccupazione (PNRR 2021, p. 10). Il programma comprende due strumenti di sostegno finanziario: il REACT-EU, concepito in un'ottica più di breve termine (2021-2022) e il Dispositivo per la Ripresa e la Resilienza (*Recovery and Resilience Facility* – RRF) di durata di sei anni, dal 2021 al 2026.

REACT-EU. Il REACT-EU (Recovery Assistance for Cohesion and the Territories of Europe), ha avuto il compito di accompagnare la prima fase di rilancio

[17] Dipartimento per le politiche di coesione, ***Pon Città Metropolitane 2014-2020: cos'è in breve*** ponmetro.it/home-2/programma/cosa-e/in-breve/

[18] Città di Torino, ***Piano Operativo Città di Torino***, dicembre 2023, p. 559.

delle economie nazionali (PNRR 2021 p. 10) e rafforzare la politica di coesione, assegnando risorse aggiuntive ai Programmi Operativi del ciclo 2014-2020 già avviati, così da garantirne la continuità e fare da ponte con quella 2021-2027. All'Italia furono destinate risorse europee per circa 14,4 miliardi di euro, integrate da 186,4 milioni di euro di cofinanziamento nazionale[19, 20]. Nell'ambito del REACT-EU la scuola ha assunto un ruolo prioritario: la pandemia ha evidenziato criticità già presenti, soprattutto il ritardo nella digitalizzazione della didattica, nonché le carenze strutturali del patrimonio edilizio e l'obsolescenza di arredi e attrezzature. Le risorse aggiuntive furono destinate non solo a dare una risposta immediata all'emergenza garantendo la continuità delle attività didattiche, ma anche ad avviare un più ampio processo di ammodernamento digitale delle scuole. Tra gli interventi principali rientravano il completamento del cablaggio degli edifici, il potenziamento delle dotazioni digitali e la realizzazione di laboratori dedicati all'educazione ambientale e alla sostenibilità[21].

[19] Dipartimento per le politiche di coesione, ***REACT-EU*** politichecoesione.governo.it/it/politica-di-coesione/strategie-tematiche-e-territoriali/strategie-tematiche/strategia-per-il-contrasto-all-emergenza-covid-19-con-le-politiche-di-coesione/react-eu/

[20,21] Dipartimento per le politiche di coesione, ***Programmazione delle Risorse REACT-EU: quadro generale, linee di intervento e risorse,*** aprile 2021, pp. 1-4, 12-14.

3.3 L'OPPORTUNITÀ DEL PNRR

Il Dispositivo per la Ripresa e la Resilienza (*Recovery and Resilience Facility* – RRF) è lo strumento centrale di finanziamento del programma NGEU, con una durata più di lungo periodo dal 2021 al 2026 e una dotazione complessiva di 672,5 miliardi di euro (PNRR 2021 pag. 10). Per accedere alle risorse, ogni Stato Membro ha dovuto elaborare un piano nazionale di interventi, riforme, investimenti ed obiettivi da raggiungere entro il 2026 in linea con le priorità europee, tra cui la destinazione di almeno il 37% delle risorse alla transizione ecologica e il 20% alla trasformazione digitale. Il meccanismo di finanziamento del Next Generation EU è basato, come per i Fondi strutturali, sul raggiungimento di risultati: l'erogazione delle risorse avviene in seguito del conseguimento effettivo dei traguardi (*milestone*) e obiettivi (*target*) dei piani nazionali. Gli Stati possono inoltre rivedere e modificare i loro piani, se in grado di dimostrare le circostanze oggettive che rendono impraticabile l'attuazione di determinati traguardi e obiettivi[22].

L'Italia è risultata la principale beneficiaria in valore assoluto degli strumenti NGEU, ricevendo risorse sia attraverso il RRF che il REACT-EU (PNRR 2021, p. 3). Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) intitolato *Italia Domani*, approvato nel 2021 disponeva inizialmente di una dotazione finanziaria di 191,4 miliardi di euro[23]. Il Piano è stato successivamente revisionato per sette volte, con la rimodulazione di parte delle misure per adeguarlo al contesto macroeconomico, raggiungendo una dotazione finale di 194,4 miliardi di euro (PNRR 2021, pp. 3, 22, 23)[24].

[22] Commissione Europea, ***Dispositivo per la ripresa e la resilienza***, 2020 commission.europa.eu/business-economy-euro/economic-recovery/recovery-and-resilience-facility_it

[23] Consiglio dell'Unione europea, ***Decisione di esecuzione del Consiglio relativa all'approvazione della valutazione del piano per la ripresa e la resilienza dell'Italia***, documento 10160/21 ADD 1 REV 2, Bruxelles, 13 luglio 2021

[24] Consiglio dell'Unione europea, ***Decisione di esecuzione del Consiglio che modifica la decisione di esecuzione del 13 luglio 2021 relativa all'approvazione della valutazione del piano per la ripresa e la resilienza dell'Italia***, documento 7138/26 ADD 1, Bruxelles, 20 marzo 2026

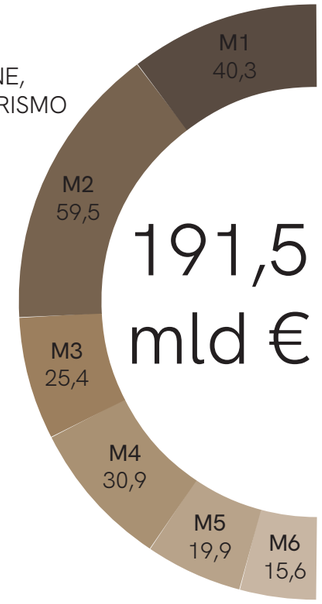
STRUTTURA DEL PNRR. Il PNRR si articola su tre assi strategici condivisi a livello europeo — *digitalizzazione e innovazione, transizione ecologica e inclusione sociale* — e si sviluppa in 16 Componenti raggruppate in 6 Missioni (PNRR 2021 pp. 14-16) che condividono tra loro priorità trasversali relative alle pari opportunità generazionali, di genere e territoriali. Dalla revisione del Piano del 2023 è stata successivamente aggiunta la Missione 7 – REPowerEU, dedicata al rafforzamento della transizione energetica, alla riduzione della dipendenza energetica e all'accelerazione della produzione da fonti rinnovabili.

Le Missioni rappresentano gli ambiti strategici attraverso cui sono organizzati gli investimenti e le riforme previste, mentre le Componenti costituiscono le articolazioni interne alle singole Missioni, nelle quali vengono organizzati gli investimenti e le riforme necessari al raggiungimento degli obiettivi programmati (PNRR 2021 14-16). Queste sono affiancate da un sistema di riforme volte a facilitare l'attuazione del piano, distinte in tre tipologie: *orizzontali*, per l'innovazione strutturale dell'ordinamento e d'interesse trasversale a tutte le Missioni; *abilitanti*, per rimuovere gli ostacoli amministrativi, regolatori e procedurali; *settoriali*, contenute all'interno delle Missioni, per l'innovazione normativa dei specifici ambiti (PNRR 2021 pag. 35, 47).

Nell'ambito del patrimonio edilizio scolastico, il PNRR prevede diversi Investimenti in Missioni differenti, evidenziando la natura trasversale del tema scuola. La Missione 2 – Rivoluzione verde e transizione ecologica affronta il tema degli edifici scolastici principalmente sotto il profilo della sostenibilità ambientale e dell'efficienza energetica

6 MISSIONI

- **M1** DIGITALIZZAZIONE, INNOVAZIONE, COMPETITIVITÀ, CULTURA E TURISMO
- **M2** RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA
- **M3** INFRASTRUTTURE PER UNA MOBILITÀ SOSTENIBILE
- **M4** ISTRUZIONE E RICERCA
- **M5** INCLUSIONE E COESIONE
- **M6** SALUTE



PER L'EDILIZIA SCOLASTICA

M2C3

EFFICIENZA ENERGETICA E RIQUALIFICAZIONE DEGLI EDIFICI — 15,36 mld €

Investimento 1.1

Piano di sostituzione di edifici scolastici e di riqualificazione energetica — 800 mln €

→ 195 edifici efficientati, riducendo il consumo di energia del 50%

M4C1

POTENZIAMENTO DELL'OFFERTA DEI SERVIZI DI ISTRUZIONE — 19,44 mld €

Investimento 3.3

Piano di messa in sicurezza e riqualificazione dell'edilizia scolastica — 3,90 mld €

→ 2,4 mln mq di edifici scolastici ristrutturati

attraverso la Componente 3 – Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici (M2C3), con una dotazione complessiva di 15,36 miliardi di euro. All'interno di questa componente, l'Investimento 1.1 – Piano di sostituzione di edifici scolastici e di riqualificazione energetica, a cui sono destinati 800 milioni di euro, si concentra sulla progressiva sostituzione degli edifici scolastici obsoleti nel caso in cui l'adeguamento non risulti tecnicamente ed economicamente conveniente, favorendo la realizzazione di nuove strutture più sicure, sostenibili ed innovative. L'Investimento prevede interventi su circa 195 edifici scolastici, per oltre 410 mila mq complessivi, con una riduzione dei consumi di energia di almeno il 50% (PNRR 2021 pp. 143, 144).

Il settore dell'istruzione viene affrontato in maniera più ampia dalla Missione 4 – Istruzione e ricerca, che interviene sul rafforzamento del sistema educativo nazionale e sulla qualità degli ambienti di apprendimento, con una dotazione complessiva di 30,88 miliardi di euro. Nella Componente 1 (M4C1), l'Investimento 3.3 – Piano di messa in sicurezza e riqualificazione dell'edilizia scolastica destina 3,90 miliardi di euro al miglioramento delle classi energetiche e all'aumento di sicurezza strutturale degli edifici esistenti. Con l'obiettivo di contrastare gli squilibri economici e sociali soprattutto nelle aree più svantaggiate, il piano mira a ristrutturare una superficie complessiva di 2,4 milioni di mq di edifici scolastici (PNRR 2021 p. 190). L'attuazione dei vari interventi per l'istruzione è stata supportata anche da strumenti operativi dedicati, tra cui il sito "FUTURA" finalizzato alla gestione, monitoraggio e rendicontazione delle iniziative, oltre che alla consultazione accessibile di informazioni e notizie.

3.4 LUCI E OMBRE DEL PNRR

Gli strumenti normativi precedentemente citati – dalla Legge Masini al Piano del Governo Renzi, fino alla "Buona Scuola" – hanno inaugurato diverse stagioni di intervento volte prevalentemente alla riqualificazione strutturale degli edifici scolastici e alla progressiva risoluzione delle criticità tecniche accumulate nel corso degli anni. Tuttavia, la mancanza, per lungo tempo, di una strategia nazionale basata su un piano organico e continuativo ha determinato una disponibilità di risorse scarsa e discontinua, non sufficiente a rispondere alla grande e pressante esigenza di adeguamento di un patrimonio vetusto e ormai fortemente degradato (cfr. Capitolo 1). La molteplicità dei canali di finanziamento e la sovrapposizione delle competenze tra i diversi livelli di governo hanno inoltre reso difficile ricomporre un quadro unitario delle risorse disponibili e costruire una programmazione coerente degli interventi. Come evidenziato da studi specifici, "l'articolazione dei finanziamenti è talmente frammentata, sia in termini di fonti di finanziamento che di livelli di governo coinvolti, da non consentire la ricomposizione di un quadro finanziario unitario delle risorse disponibili"[26].

Inoltre, i vincoli di spesa imposti alle amministrazioni locali e la prolungata crisi economica del Paese hanno ulteriormente favorito strategie orientate all'attuazione di *micro-interventi*, che consentono di intervenire in modo più rapido e diffuso, anche con risorse limitate, su un numero consistente di scuole e senza necessità di trasferire o sospendere le attività. Di contro, la frammentazione degli interventi ne limita la coerenza complessiva, senza considerarne le reciproche relazioni, e rischia di trascurare la qualità degli ambienti di apprendimento, concentrandosi prevalentemente sulla risoluzione delle emergenze strutturali e tecniche[27]. Le scuole si trovano così con infissi nuovi ma impianti di riscaldamento ancora inadeguati; isolate termicamente grazie alla realizzazione del cappotto ma con vecchi banchi e sedie; dotate di LIM in ogni aula, ma con porzioni dell'edificio inagibili.

Negli ultimi anni, il tema dell'edilizia scolastica è quindi tornato al centro delle politiche pubbliche, soprattutto grazie alle consistenti risorse del PNRR, che hanno rappresentato un'opportunità senza precedenti per intervenire in maniera più diffusa e organica su un patrimonio caratterizzato da criticità accumulate nel corso di decenni. La consistenza delle risorse stanziate e la strutturazione secondo obiettivi e scadenze definite a livello europeo, hanno permesso di accelerare investimenti che, in condizioni ordinarie, non sarebbero stati possibili o avrebbero richiesto tempi molto più lunghi.

Pur consentendo di intervenire su una parte significativa degli edifici, tali investimenti si sono tuttavia rivelati ancora una volta insufficienti per colmare in modo complessivo le problematiche di un patrimonio molto esteso e fortemente differenziato. L'attuazione del Piano ha infatti evidenziato alcuni dei limiti già emersi nei precedenti strumenti di programmazione. La frammentazione delle competenze e delle fonti di finanziamento, insieme alla difficoltà di costruire strategie di intervento coordinate e di lungo periodo, hanno continuato a favorire una prevalenza di interventi puntuali, orientati sulla risoluzione delle emergenze tecniche. La maggioranza di risorse disponibili non sempre si è quindi tradotto in una strategia organica di riqualificazione e trasformazione del patrimonio, capace di integrare in modo coerente e diffuso le esigenze di adeguamento, manutenzione e innovazione. In parallelo, il calo demografico in atto (cfr. Capitolo 2) solleva interrogativi rilevanti sull'opportunità di investire risorse significative in edifici destinati, in molti casi, a un sottoutilizzo futuro, senza una riflessione sulla loro adattabilità e riconversione.

[26] Cittadinanzattiva, *Osservatorio Civico sulla Sicurezza a Scuola. XXIII Rapporto sulla sicurezza delle scuole*, 2025, p. 5.

[27] Fianchini M. (a cura di), *Rinnovare le scuole dall'interno. Scenari e strategie di miglioramento per le infrastrutture scolastiche*, p. 18.

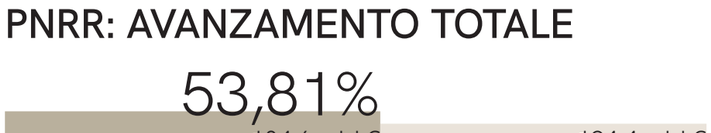
Questa continuità risulta particolarmente rilevante alla luce dei dati relativi all'attuazione del Piano, che permettono di valutare più concretamente la capacità del PNRR di tradurre le risorse stanziate negli obiettivi effettivamente realizzati, consultabili liberamente sulla piattaforma OpenPNRR. L'analisi dei finanziamenti e del loro stato di attuazione consente inoltre di evidenziare alcune criticità specifiche del Piano, tra cui il mancato utilizzo di una parte delle risorse e la progressiva riduzione di quelle destinate al settore dell'istruzione.

LA REALTÀ DELL'ATTUAZIONE E I RITARDI. Dai dati OpenPNRR aggiornati a febbraio 2026, l'avanzamento complessivo del Piano rispetto alla scadenza di giugno 2026 risulta ancora in ritardo: sono stati spesi 104,6 miliardi di euro sui 194,4 inizialmente previsti, ovvero il 53,81%.

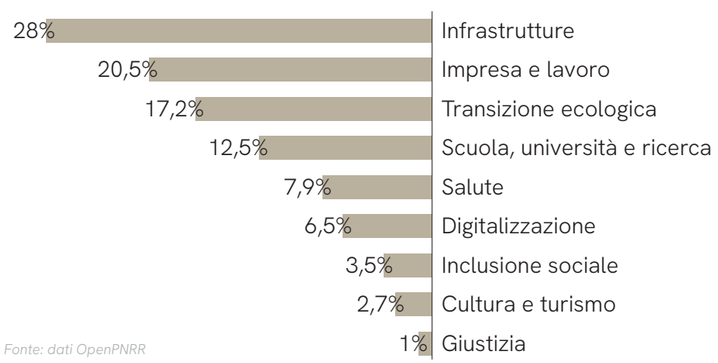
Per le 6 misure dell'ambito dell'Istruzione sono stati spesi 17 miliardi di euro, pari al 59,6% dei 28,5 previsti; le strutture scolastiche sono l'ambito in cui sono state destinate maggiori risorse: 12,1 miliardi di euro, ovvero il 41,8% del totale per l'istruzione[28]. Per la costruzione di nuove scuole mediante la sostituzione delle esistenti sono stati spesi il 58% delle risorse dedicate, ovvero 464,2 milioni di euro sui 1,01 miliardi stanziati, per un totale di 208 progetti realizzati. Il piano di messa in sicurezza e riqualificazione degli edifici esistenti ha raggiunto invece il 61,8%, pari a 2,6 miliardi sui 4,40 iniziali, con 3.104 progetti realizzati. L'avanzamento maggiore nell'Istruzione riguarda invece la misura dedicata all'innovazione delle aule didattiche e dei laboratori, per la quale è stato speso circa l'80% delle risorse disponibili, ovvero a 1,7 miliardi sui 2,10 iniziali[29].

Il quadro di avanzamento risulta tuttavia più dinamico se si considera l'andamento degli ultimi mesi. Come evidenziato dal focus sull'avanzamento sviluppato da Fondazione Agnelli basato sui dati Italia Domani aggiornati a febbraio 2026, tra ottobre 2025 e febbraio 2026 la spesa complessiva del Piano ha registrato una importante accelerazione, dal 38,9% al 55,6% (+16,7). Nello stesso periodo, la spesa relativa all'ambito dell'Istruzione è aumentata di 9 punti, passando dal 36,6% al 48,1%. L'accelerazione ha riguardato in particolare l'edilizia scolastica: la misura relativa alla costruzione di nuove scuole è cresciuta di 16,4 punti percentuali (da 31,7% a 48,1%), mentre la messa in sicurezza e riqualificazione degli edifici è aumentata di 13,4 punti (da 44,8% a 58,2%)[30]. Nonostante questa accelerazione, i livelli di spesa risultano ancora lontani dal completamento delle risorse previste fissato.

PNRR: AVANZAMENTO TOTALE



SPESA PER SETTORE



Fonte: dati OpenPNRR

[28] OpenPNRR, ***Scuola, università e ricerca***, Openpolis, aggiornamento dei dati al 26 febbraio 2026 openpnrr.it/tema/scuola-universita-e-ricerca

[29] OpenPNRR, ***Misure - Strutture scolastiche***, Openpolis, aggiornamento dei dati al 26 febbraio 2026 openpnrr.it/misure/?tags=14

[30,31] R. Secomandi, A. Zanardi, A. Gavosto, ***Il PNRR per l'Istruzione: a che punto siamo? Terzo focus sulla base dei dati Italia Domani (aggiornamento al 26 febbraio 2026)***, Fondazione Agnelli, giugno 2026

È inoltre necessario sottolineare che i dati di monitoraggio non restituiscono un quadro aggiornato dello stato effettivo di attuazione: in alcuni casi le spese sono già state sostenute ma non risultano ancora registrate dagli enti locali nelle piattaforme di monitoraggio. Le informazioni disponibili sui singoli progetti possono quindi essere incomplete e non consentire una valutazione precisa dello stato di avanzamento né una stima affidabile dei tempi necessari per la loro conclusione[31].

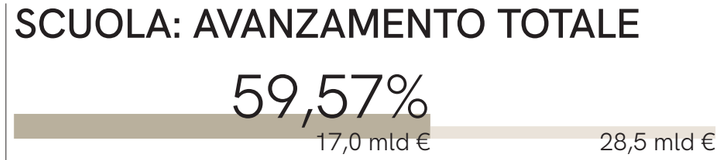
Oltre allo stato effettivo della spesa, è tuttavia necessario considerare anche l'evoluzione degli obiettivi inizialmente previsti dal Piano. Le modifiche approvate a novembre 2025 hanno interessato anche alcune delle misure dedicate all'edilizia scolastica, determinando una rimodulazione dei target originari. Per il Piano di sostituzione di edifici scolastici e di riqualificazione energetica (M2C3 Investimento 1.1), il numero di nuove scuole da realizzare è stato ridotto da 195 a 166 e, rispetto alle revisioni precedenti, è stato eliminato il riferimento alla superficie minima di intervento da raggiungere.

Anche il Piano di messa in sicurezza e riqualificazione dell'edilizia scolastica (M4C1 Investimento 3.3) ha subito una progressiva ridefinizione: dopo la riduzione della superficie da ricostruire o rinnovare da 2,784 a 2,6 milioni di mq e l'eliminazione del target di 2.100 edifici, la revisione del novembre 2025 ha eliminato anche il riferimento alla superficie, riducendo il nuovamente un numero minimo di edifici su cui intervenire, pari a 1.400.

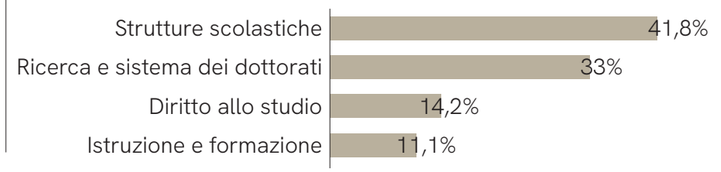
Se da un lato il PNRR ha permesso di mobilitare risorse ingenti e di accelerare gli investimenti, dall'altro la revisione dei suoi obiettivi evidenzia come, nel corso della sua attuazione, alcune delle ambizioni iniziali siano state progressivamente ridimensionate o rimodulate sulla base delle risorse e soprattutto la fattibilità degli interventi[32].

[32] R. Secomandi, A. Zanardi, A. Gavosto, ***Il PNRR per l'Istruzione: a che punto siamo? Focus sulla base dei dati Italia Domani (aggiornamento al 14 ottobre 2025)***, Fondazione Agnelli, dicembre 2025

SCUOLA: AVANZAMENTO TOTALE



SPESA PER SETTORE



FOCUS: STRUTTURE SCOLASTICHE



M2C3 - Investimento 1.1

Piano di sostituzione di edifici scolastici e di riqualificazione energetica



→208 progetti di demolizione e ricostruzione, nuova costruzione

M4C1 - Investimento 3.3

Piano di messa in sicurezza e riqualificazione dell'edilizia scolastica



→3.104 progetti di riqualificazione e messa in sicurezza

Fonte: dati OpenPNRR

3.5 OLTRE LA TECNICA

Seppur tutte le esperienze maturate attraverso i molteplici strumenti citati abbiano progressivamente portato a modificare il modo di intendere l'intervento sull'edilizia scolastica introducendo una prospettiva più ampia rispetto alla sola messa a norma dell'edificio, la maggior parte delle risorse pubbliche destinate al settore è rimasta orientata alla risoluzione delle criticità accumulate. Gli obiettivi di qualità architettonica, innovazione didattica e sostenibilità ambientale affermatisi tra il 2010 e il 2020 hanno trovato per lungo tempo un'applicazione limitata, rimanendo spesso circoscritti all'ambito della ricerca e alla sperimentazione di casi isolati – tra l'altro frequentemente portati avanti da soggetti privati o attraverso forme di partenariato.

La dimensione e l'urgenza dei problemi legati alla sicurezza, alla manutenzione, all'adeguamento normativo e, più recentemente, alla prestazione energetica hanno continuato a orientare gran parte delle risorse e delle priorità di intervento anche di grandi programmi di finanziamento successivi, come il PNRR. La riqualificazione è stata quindi spesso interpretata come una successione di interventi necessari e non più rimandabili, più che come un processo di trasformazione del sistema edilizio scolastico.

Questo approccio è particolarmente evidente nel caso degli interventi sull'esistente, dove la necessità di agire si scontra con le complesse caratteristiche proprie dell'edificio e con una serie di vincoli tecnici, economici e procedurali.

Gli edifici scolastici presentano infatti caratteristiche costruttive e tecniche differenti, nonché livelli di conservazione e di prestazione molto variabili, che rendono difficile integrare interventi rivolti contemporaneamente alla sicurezza, all'efficienza energetica, alla qualità degli spazi e all'adeguamento funzionale. Inoltre, la ripartizione delle risorse su un numero molto elevato di scuole, se da un lato ha consentito di intervenire in maniera più diffusa e capillare, dall'altro ha comportato una disponibilità finanziaria ridotta e spesso insufficiente alla realizzazione di riqualificazioni integrali, favorendo la realizzazione di opere puntuali e circoscritte, prevalentemente orientate alla risoluzione delle criticità tecniche più immediate.

A questi fattori si aggiungono i rallentamenti di procedurali legati al frequente cambiamento delle dirigenze scolastiche e delle amministrazioni locali, che hanno reso più difficile garantire la continuità alle strategie di intervento. Un ulteriore vincolo è legato alla necessità di garantire la continuità delle attività didattiche. Gli interventi integrali possono richiedere la temporanea chiusura dell'edificio e il trasferimento degli studenti in altre sedi, con conseguenti difficoltà organizzative e disagi sia per le famiglie che per il personale scolastico. si tende perciò a privilegiare i piccoli interventi necessari articolati per fasi successive, che consentano di mantenere scuola in funzione durante i lavori, generando una sommatoria di singole decisioni scollegate tra loro che rendono difficoltosa una riqualificazione complessiva dell'edificio.

La problematica centrale di questo approccio risiede quindi nel rischio di non intendere l'edificio scolastico come un sistema nelle sue componenti fisiche e immateriali, limitando l'intervento alla necessaria risoluzione delle criticità, all'adeguamento normativo e alla riqualificazione energetica. La prestazione energetica, pur rappresentando un elemento strategico sempre più rilevante delle politiche pubbliche e ambientali, costituisce infatti soltanto uno degli aspetti da considerare all'interno di un processo di trasformazione più ampio. Una riqualificazione profonda dovrebbe comprendere contemporaneamente il miglioramento antisismico, l'abbattimento delle barriere architettoniche, la sicurezza antincendio, le condizioni igienico-sanitarie, il comfort e, soprattutto, l'efficacia d'uso degli spazi rispetto alle esigenze degli utenti e della comunità locale[33]. La sostituzione di un impianto, il miglioramento dell'involucro, l'adeguamento strutturale o l'introduzione di nuove dotazioni possono risolvere singole criticità senza necessariamente migliorare il funzionamento dell'edificio nel suo insieme. Dimensionamento, comfort termico e acustico, organizzazione degli spazi e capacità di adattamento alle nuove esigenze della didattica sono, oggi, componenti altrettanto importanti della qualità dell'ambiente scolastico. È perciò evidente come non siano sufficienti i comuni interventi di manutenzione e adeguamento, per rendere le scuole esistenti dei luoghi davvero in grado di soddisfare i bisogni di insegnati e studenti, nonché per supportare modi d'uso in continua evoluzione[34]. Il problema non risiede quindi nell'intervento puntuale in sé, spesso indispensabile, ma nel rischio che questo venga concepito e realizzato indipendentemente dalle altre componenti dell'edificio, senza inserirsi all'interno di una visione complessiva del suo funzionamento.

Questo limite evidenzia la necessità di concepire e valutare l'edificio come un sistema complesso nel quale aspetti tecnici, ambientali, funzionali e didattici siano considerati congiuntamente. La questione appare ancora più rilevante considerando che il patrimonio scolastico è destinato a un profondo cambiamento che impone di considerare la capacità di adattamento come una componente fondamentale della qualità progettuale. Intervenire oggi su una scuola non dovrebbe quindi significare soltanto risolvere le criticità presenti, ma garantire la possibilità che l'edificio continui a rispondere, nel tempo, a esigenze differenti e in continua evoluzione.

L'edilizia scolastica italiana si trova quindi oggi di fronte a un ulteriore passaggio. Dopo una lunga fase nella quale la priorità è stata necessariamente quella di recuperare le carenze di un patrimonio invecchiato, e dopo una stagione di investimenti straordinari che ha permesso di accelerare il processo di adeguamento e riqualificazione, è necessario interrogarsi sulla reale capacità di questi interventi di produrre una trasformazione qualitativa. Il tema non è più soltanto quanto si investe e su quanti edifici, ma soprattutto in che modo questi incidano sul modo in cui la scuola viene abitata e utilizzata.

L'aumento delle problematiche legate all'edilizia scolastica fino ad oggi, ha reso sempre più complesso il processo di intervento e più difficile mantenere una visione progettuale d'insieme capace di

[33] Boarin P., Davoli P., *"Riqualificazione profonda del patrimonio edilizio scolastico: l'opportunità offerta dall'Europa e la strategia adottata dall'Italia"*, TECHNE. Journal of Technology for Architecture and Environment, n. 9, 2015, pp. 96-105.

[34] Fianchini M. (a cura di), *Rinnovare le scuole dall'interno. Scenari e strategie di miglioramento per le infrastrutture scolastiche*, p. 18, 113, 114.

integrare le diverse dimensioni dell'edificio scolastico citate. È perciò fondamentale ricostruire un rapporto più stretto tra pensiero tecnico e pedagogico, riportando al centro un approccio progettuale multidisciplinare e partecipato, capace di coinvolgere anche gli "abitanti" delle scuole. La trasformazione degli edifici scolastici non deve esaurirsi nel miglioramento delle loro prestazioni, ma tenere conto del loro ruolo educativo e delle condizioni reali di utilizzo, in rapporto allo stato del patrimonio, le risorse disponibili e i modelli procedurali in cui gli interventi si sviluppano. L'obiettivo è quindi quello di superare le comuni prospettive di intervento, per ridefinire luoghi capaci di supportare e determinare veri "ambienti educativi", in linea con l'evoluzione dei modelli didattici e delle modalità di sviluppo dei progetti educativi[35].

[35] Fianchini M. (a cura di), *Rinnovare le scuole dall'interno. Scenari e strategie di miglioramento per le infrastrutture scolastiche*, p. 6, 7, 8.

4

CASI STUDIO: SELEZIONE E ANALISI COMPARATIVA

A partire dal quadro delle politiche e delle strategie di intervento delineato precedentemente, l'attenzione si sposta sulla loro traduzione concreta nel patrimonio scolastico esistente. Attraverso la selezione e il confronto di quattro interventi conclusi nella città di Torino, vengono analizzate le modalità con cui esigenze analoghe di riqualificazione sono state affrontate da diversi soggetti pubblici e attraverso diverse forme di finanziamento. Dal confronto emergono ricorrenze, differenze, potenzialità e criticità utili a orientare la scelta del caso studio approfondito progettualmente nella tesi.

4.1 PREMESSA METODOLOGICA

Come evidenziato nei capitoli precedenti, il patrimonio edilizio scolastico italiano si trova oggi al centro di un processo di trasformazione che coinvolge tanto gli aspetti prestazionali ed energetici degli edifici quanto le modalità di finanziamento e di attuazione degli interventi. Gran parte di questi complessi, realizzati nel trentennio successivo al secondo dopoguerra, riflette le logiche costruttive dell'epoca, caratterizzate da una scarsa attenzione al contenimento dei consumi energetici e al comfort termo-igrometrico indoor.
L'elevata disomogeneità materica, l'obsolescenza degli impianti e l'inefficienza termofisica dell'involucro rendono oggi queste strutture tra i principali vettori di spreco energetico nel settore pubblico.
L'esigenza di affrontare queste diffuse criticità ha orientato le recenti politiche pubbliche verso un'intensificazione degli interventi sul patrimonio scolastico, con lo sviluppo di importanti strumenti di finanziamento come il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. La significativa disponibilità di risorse ha tuttavia reso necessario interrogarsi non solo sulla quantità degli interventi realizzati, ma anche sulla loro natura, strategie adottate e capacità di rispondere alle esigenze attuali e future degli edifici scolastici.

In questo contesto, il presente capitolo propone una lettura comparativa di quattro interventi di riqualificazione realizzati su alcuni edifici scolastici della città di Torino, al fine di indagare approcci metodologici, progettuali e finanziari differenti per il recupero del costruito. La selezione dei casi studio non è stata effettuata sulla base della loro eccezionalità, ma attraverso alcuni criteri volti a costruire un campione significativo e confrontabile, rappresentativo delle modalità con cui il patrimonio scolastico pubblico è stato recentemente oggetto di riqualificazione. I criteri di selezione considerati riguardano la ricorrenza tipologica degli edifici nel territorio torinese, il soggetto pubblico competente, la fonte di finanziamento e lo stato di conclusione degli interventi.

TIPOLOGIE EDILIZIE. Come evidenziato, la città di Torino è stata interessata, nel periodo del boom dell'edilizia scolastica, dalla realizzazione di numerosi nuovi edifici scolastici basati su modelli tipologici ripetibili (cfr. Capitolo 2).
La scelta di edifici appartenenti a queste tipologie ripetute consente di leggere gli interventi non come episodi isolati, ma come strategie potenzialmente replicabili. In questo senso, i casi studio diventano rappresentativi di una più ampia categoria di edifici con analoghe condizioni costruttive, distributive e prestazionali, permettendo di evidenziare metodologie di intervento che, pur declinate sulle specificità del singolo edificio, possono essere interpretate come modelli operativi applicabili a un patrimonio scolastico diffuso e ricorrente.

ENTE RESPONSABILE. I quattro casi comprendono due edifici di competenza del Comune di Torino e due della Città Metropolitana di Torino. Il confronto tra i due enti consente di osservare come amministrazioni differenti abbiano affrontato esigenze analoghe di riqualificazione del patrimonio scolastico, con particolare riferimento alle modalità di finanziamento, all'impiego delle risorse, alle strategie di intervento adottate e il risultato concreto.

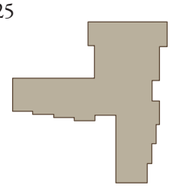
FONTE DI FINANZIAMENTO. Gli interventi analizzati sono stati realizzati prevalentemente grazie a finanziamenti pubblici, tra cui il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), REACT-EU e il Programma Operativo Nazionale (PON). Il confronto tra le diverse fonti di finanziamento consente di leggere gli interventi alla luce del quadro economico e programmatico in cui sono stati sviluppati, verificando anche l'eventuale integrazione con risorse proprie degli enti. L'analisi di questo aspetto risulta particolarmente significativa per comprendere le modalità attraverso cui i fondi pubblici vengono effettivamente impiegati e per valutare in che misura le ambizioni e gli obiettivi definiti a livello nazionale dai diversi programmi di finanziamento si traducano in interventi concreti sul patrimonio costruito.

STATO DI ATTUAZIONE. Sono stati considerati esclusivamente interventi già conclusi al momento della selezione. Tale criterio consente di superare la dimensione della previsione progettuale e di analizzare opere effettivamente realizzate, per le quali è possibile osservare e valutare le strategie di intervento adottate e, ove disponibili. La lettura comparativa può così fondarsi non soltanto sulle intenzioni progettuali e sulle risorse stanziate, ma anche sugli esiti concreti degli interventi.

CASI STUDIO. Sulla base dei criteri sopra descritti, sono stati selezionati quattro edifici scolastici situati nel territorio della città di Torino, che pur presentando caratteristiche tipologiche e dimensionali differenti, consentono di costruire un campione rappresentativo di interventi recentemente realizzati sul patrimonio scolastico pubblico torinese.

I CASI STUDIO

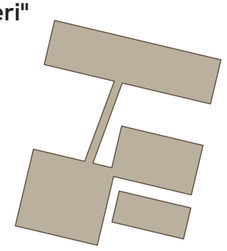
Scuola secondaria di I grado "Ignazio Vian"
Via Ettore Stampini, 25



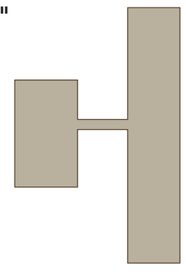
Scuola primaria "Emilio Salgari"
Via Lussimpiccolo, 36a



Liceo Classico "Vittorio Alfieri"
Corso Dante, 80



Sede Liceo Scientifico "Carlo Cattaneo"
Via Sostegno, 41/10





C.1 SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO "IGNAZIO VIAN"



Localizzazione	Madonna di Campagna Via Stampini, 35
Ente responsabile	Comune di Torino
Anno di costruzione	1982
Anno di intervento	2023 - 2025
Piani	Piano seminterrato 3 piani fuori terra
Superficie utile riscaldata	7.069,68 m^2
Volume lordo riscaldato	34.613,65 m^3

L'edificio è plesso dell'Istituto Comprensivo Parri-Vian, costituito nel 2017 dall'accorpamento della scuola Vian e dalla scuola primaria "Ferruccio Parri" in Strada Lanzo 147/11, che ne costituisce la sede.
L'edificio appartiene alla tipologia edilizia “Bardonecchia”, dal nome della scuola “Bernardino Drovetti” in Via Bardonecchia, e si ripete nella città in X edifici scolastici. È caratterizzato da un grande corpo aule a forma di T, con una particolare facciata a gradoni, collegato alla palestra da un corridoio esterno coperto.



STATO ATTUALE



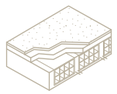
PRIMA DELL'INTERVENTO

LO STATO DI FATTO

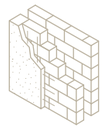
CARATTERISTICHE STRUTTURALI



Struttura
Telaio in calcestruzzo armato a travi e pilastri



Partizioni orizzontali
Solai in laterocemento e copertura piana praticabile



Muri di tamponamento
In laterizio semipieno con intercapedine vuota, finitura con paramento in cemento armato a vista

SERRAMENTI



Doppio vetro con vetrocamera con specchiatura traslucida esterna

Infisso senza taglio termico

SISTEMI IMPIANTISTICI

Centrale termica a metano

Emissione su radiatori nelle aule, aerotermi in palestra

Impianto fotovoltaico installato nel 2006, non funzionante dal 2019

Impianto di ventilazione forzata

L’INTERVENTO

MACRO-LAVORAZIONI



Efficientamento involucro edilizio
Sostituzione infissi esterni
Cappotto termico nei muri perimetrali
Coibentazione e impermeabilizzazione della copertura del corpo aule
Rifacimento manto di copertura della palestra
Rifacimento degli elementi di facciata



Rifacimento ambienti interni
Rinnovamento dei bagni e spogliatoi con nuovo apparecchio idrico e sostituzione dei sanitari
Rifacimento pavimenti e finiture interne di bagni, aule e corridoi



Aree esterne
Ripristino cancelli pedonabili e carrabili esterni



Adeguamento antincendio
Sostituzione porte di sicurezza

VARIAZIONE CLASSE ENERGETICA

D › › › B

SPESA E FONTE DI FINANZIAMENTO

3.850.000,00 €

opere edili 86%
spese tecniche 5%
oneri per la sicurezza 9%

PNRR

C.2 SCUOLA PRIMARIA "EMILIO SALGARI"



Localizzazione	Borgo San Paolo Via Lussimpiccolo, 36a
Ente responsabile	Comune di Torino
Anno di costruzione	1980
Anno di intervento	2021 - 2023
Piani	Piano interrato 4 piani fuori terra
Superficie utile riscaldata	5304,84 m^2
Volume lordo riscaldato	19837,37 m^3

L'edificio è uno dei plessi dell'ampio Istituto Comprensivo Alberi-Salgari, con sede in Via Tolmino, fondato recentemente nel 2020 dall'accorpamento di cinque plessi suddivisi in otto edifici, comprendenti scuola dell'infanzia, primaria, e secondaria di I° grado.
L'edificio appartiene alla tipologia edilizia dei “Cubi di Bacco”, presente in altri X edifici scolastici della città. Il volume comprende anche la palestra al piano terra, e deve il il suo nome alla configurazione planimetrica basata sull'incastro di volumi cubici e stanze quadrate.



STATO ATTUALE



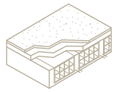
PRIMA DELL'INTERVENTO

LO STATO DI FATTO

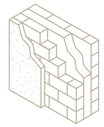
CARATTERISTICHE STRUTTURALI



Struttura
Telaio in calcestruzzo armato a travi e pilastri



Partizioni orizzontali
Solai in laterocemento e copertura piana con guaina bituminosa non praticabile



Muri di tamponamento
In laterizio con intercapedine coibentata, finitura con pannelli di facciata in calcestruzzo armato prefabbricato faccia a vista

SERRAMENTI



Vetro singolo con specchiatura traslucida esterna

Infisso senza taglio termico

SISTEMI IMPIANTISTICI

Teleriscaldamento

Emissione su radiatori nelle aule, aerotermi in palestra

Impianto fotovoltaico installato nel 2006

Impianto di ventilazione forzata

L'INTERVENTO

MACRO-LAVORAZIONI



Efficientamento involucro edilizio
Sostituzione infissi esterni
Cappotto termico nei muri perimetrali
Coibentazione e impermealibizzazione della copertura
Rifacimento degli elementi di facciata



Riqualificazione impianto di riscaldamento
Sostituzione componenti centrale termica
Sostituzione di radiatori e aerotermi
Installazione di sistemi di contabilizzazione dei consumi



Riqualificazione impianto elettrico
Sostituzione dei corpi illuminanti con LED
Installazione di sistema di gestione e controllo
Adeguamento delle linee elettriche



Adeguamento antincendio
Compartimentazioni, installazione porte di sicurezza e sistemi di evacuazione del fumo

VARIAZIONE CLASSE ENERGETICA

E › › › B

SPESA E FONTE DI FINANZIAMENTO

2.647.350,00 €

opere edili 78%
spese tecniche 13%
oneri per la sicurezza 9%

PON Metro
+
REACT EU

C.3 LICEO CLASSICO "VITTORIO ALFIERI"

Localizzazione	San Salvario Corso Dante, 80
Ente responsabile	Città Metropolitana di Torino
Anno di costruzione	1970
Anno di intervento	2022 - 2023
Piani	6 piani fuori terra
Superficie utile riscaldata	8073,29 m^2
Volume lordo riscaldato	34.496,87 m^3

Il liceo classico "Vittorio Alfieri" è nato nel 1904 come sezione staccata del liceo "D'Azeglio" sita in via Giacosa. La scuola occupa l'attuale edificio dall'anno scolastico 1968/69.
L'edificio è un caso unico in città e si distingue per le dimensioni: un corpo aule di sei piani, due palestre e un corpo per laboratori e uffici. È stato tuttavia scelto per la completezza dei documenti messi a disposizione, che hanno permesso di ricostruirne il quadro generale e di verificare se l'approccio alla riqualificazione emerso venisse applicato anche a casi edilizi unici.



STATO ATTUALE



PRIMA DELL'INTERVENTO

LO STATO DI FATTO

CARATTERISTICHE STRUTTURALI

Struttura
Telaio in calcestruzzo armato a travi e pilastri

Partizioni orizzontali
Solai in laterocemento e copertura a falda con finitura in lamiera

Muri di tamponamento
In laterizio forato con intercapedine, finitura esterna in mattoni paramano faccia a vista

SERRAMENTI

Vetro singolo con specchiatura traslucida esterna

Infisso senza taglio termico

SISTEMI IMPIANTISTICI

Teleriscaldamento

Emissione su radiatori nelle aule, aerotermi in palestra

Impianto di ventilazione forzata

L'INTERVENTO

MACRO-LAVORAZIONI

Efficientamento involucro edilizio
Sostituzione infissi esterni
Cappotto termico nei muri perimetrali
Rifacimento manto di copertura
Rifacimento degli elementi di facciata

Riqualificazione impianto di riscaldamento
Sostituzione di radiatori e aerotermi

Ampliamento ambienti interni
Chiusura dei balconi per aumentare la superficie delle aule

Riqualificazione impianto di illuminazione
Sostituzione dei corpi illuminanti con LED già realizzato in precedente appalto

VARIAZIONE CLASSE ENERGETICA

E >>> B

SPESA E FONTE DI FINANZIAMENTO

2.001.608,35 €

opere edili 76%
spese tecniche 22%
oneri per la sicurezza 1%

REACT EU

C.4 SEDE LICEO SCIENTIFICO "CARLO CATTANEO"

Localizzazione	Parella Via Sostegno, 41/10
Ente responsabile	Città Metropolitana di Torino
Anno di costruzione	1982
Anno di intervento	2022 - 2023
Piani	Piano seminterrato 3 piani fuori terra
Superficie utile riscaldata	3.877,70 m^2
Volume lordo riscaldato	45.364,09 m^3

Il Liceo è strutturato in due edifici: la sede, in Via Sostegno, e la succursale sita in Via Postumia 57/60.
La tipologia edilizia si ripete in altri otto edifici scolastici, di cui uno a Settimo Torinese e due a Nichelino. È caratterizzata da un grande corpo aule rettangolare e da una palestra collegata alla scuola da un corridoio esterno coperto. Seppur con lievi differenze, gli edifici presentano la stessa caratterizzazione di facciata, con pannelli prefabbricati modulari con motivi in rilievo nei primi tre piani fuori terra, e sagomati al secondo piano.



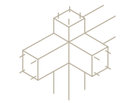
STATO ATTUALE



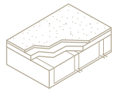
PRIMA DELL'INTERVENTO

LO STATO DI FATTO

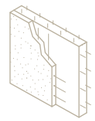
CARATTERISTICHE STRUTTURALI



Struttura
Telaio in calcestruzzo armato a travi e pilastri

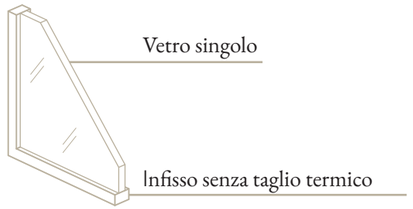


Partizioni orizzontali
Solai prefabbricato tipo predalles e copertura a falde con struttura reticolare e lamiera



Muri di tamponamento
In calcestruzzo armato, finitura con pannelli di facciata in calcestruzzo armato prefabbricato

SERRAMENTI



SISTEMI IMPIANTISTICI



Centrale termica a metano



Emissione su radiatori nelle aule, aerotermi in palestra

L'INTERVENTO

MACRO-LAVORAZIONI



Efficientamento involucro edilizio
Sostituzione infissi esterni
Cappotto termico nei muri perimetrali
Coibentazione sottotetto della copertura
Rifacimento degli elementi di facciata



Riqualificazione impianto elettrico
Integrazione dei corpi illuminanti esistenti
Adeguamento delle linee elettriche
Nuovi cablaggi e canalizzazioni per impianti elettrici e speciali



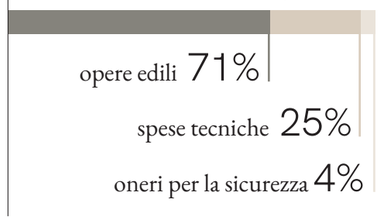
Adeguamento antincendio
Installazione di illuminazione d'emergenza e impianto di rivelazione incendi

VARIAZIONE CLASSE ENERGETICA



SPESA E FONTE DI FINANZIAMENTO

2.501.823,11 €



REACT EU

QUADRO DI SINTESI COMPARATIVA

CASO STUDIO	DIMENSIONE INDICATIVA	INVESTIMENTO COMPLESSIVO	ISOLAMENTO TERMICO	RIQUALIFICAZIONE IMPIANTISTICA	MIGLIORAMENTO ENERGETICO	TRASFORMAZIONE SPAZIALE	ASPETTI IRRISOLTI
Scuola secondaria "Ignazio Vian" 	Superficie 7.070 m² Volume 34.600 m³	3,85 mln € 544,55 €/m² Fonte di finanziamento: PNRR	Cappotto termico Coibentazione della copertura corpo aule Rifacimento manto di copertura palestra Sostituzione dei serramenti <u>corpo aule + palestra</u>	Assente	D → B	<u>Limitata</u>: rifacimento delle finiture e dei servizi, senza modifica della distribuzione interna.	Nessun intervento sull'impianto Fotovoltaico esistente non rimesso in funzione
Scuola primaria "Emilio Salgari" 	Superficie 6.345 m² Volume 20.265 m³	2,65 mln € 417,20€/m² Fonte di finanziamento: PON Metro REACT-EU	Cappotto Coibentazione della copertura Sostituzione serramenti Risanamento elementi di facciata <u>intero volume</u>	Sostituzione elementi centrale termica, radiatori e aeroermi Sostituzione corpi illuminanti con LED Adeguamento linee elettriche Sistemi di gestione dei consumi	E → B *Il confronto diretto con l'APE ante operam non è pienamente omogeneo.*	<u>Assente</u>: finiture e distribuzione interna degli ambienti restano invariate.	Mancanza di schermature solari efficaci, raffrescamento e ventilazione meccanica; nessun ripensamento degli spazi didattici e comuni.
Liceo classico "Vittorio Alfieri" 	Intero complesso Superficie 8.075 m² Volume 34.495 m³	2,00 mln € 247,90 €/m² Fonte di finanziamento: REACT-EU	Cappotto Nuovo manto di copertura Sostituzione dei serramenti Rifacimento elementi di facciata <u>solo corpo aule</u>	Sostituzione radiatori e aerotermi Corpi illuminanti già sostituiti in precedente intervento	E → B	<u>Puntuale</u>: chiusura dei balconi e lieve ampliamento delle aule, senza revisione della distribuzione interna generale.	Intervento concentrato sul corpo aule: corpo uffici e laboratori, palestre non sono coinvolti in una strategia unitaria.
Sede Liceo scientifico "Carlo Cattaneo" 	Intero complesso Superficie 12.135 m² Volume 45.950 m³ Corpo aule Superficie 8.450 m² Volume 34.695 m³	2,50 mln € 296,10 €/m² Fonte di finanziamento: REACT-EU	Cappotto Coibentazione della copertura Sostituzione serramenti Risanamento elementi di facciata <u>solo corpo aule</u>	Integrazione dei corpi illuminanti Nuovi cablaggi Adeguamento linee elettriche	C → A1	<u>Assente</u>: finiture e distribuzione interna degli ambienti restano invariate.	Prestazioni disomogenee dell'involucro Assenza di sistema di ventilazione Sedi separate e carenza di spazi comuni e flessibili.

4.2 LETTURA CRITICA DEGLI INTERVENTI

Il confronto tra i tre casi studio evidenzia una strategia di riqualificazione prevalentemente orientata al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio, attraverso interventi ricorrenti quali la realizzazione del cappotto termico, la coibentazione o il rifacimento delle coperture, la sostituzione dei serramenti e il risanamento degli elementi di facciata. A tali interventi si affiancano, con intensità differente, opere di riqualificazione degli impianti di riscaldamento ed elettrici, mentre risulta complessivamente limitata la trasformazione più organica degli spazi scolastici, limitandosi a un rifacimento delle finiture interne.

Nel confronto emergono alcuni elementi particolarmente significativi, che permettono di leggere le differenze tra gli interventi non soltanto in termini di opere realizzate, ma anche in relazione alle risorse impiegate e agli esiti raggiunti. In particolare, il rapporto tra investimento e superficie, il miglioramento della prestazione energetica, il livello di riqualificazione impiantistica e il grado di trasformazione degli spazi evidenziano modalità di intervento differenti, mostrando al contempo alcuni aspetti che rimangono ancora irrisolti.

COSTO UNITARIO. Un primo elemento di interesse riguarda la relazione tra la dimensione degli edifici e le risorse economiche investite, il cui confronto evidenzia come l'entità dell'investimento non sia direttamente proporzionale alla superficie dell'edificio, ma dipenda dall'estensione e dalla complessità delle opere realizzate.

Il caso della scuola "Vian" è particolarmente significativo: a fronte di una superficie inferiore rispetto a quella degli altri casi, presenta l'investimento complessivo e il costo unitario più elevati, pari a 544,55 €/m². L'intervento, oltre a interessare in maniera estesa l'involucro edilizio, ha compreso infatti anche il rifacimento delle finiture e dei servizi igienici interni, non presenti negli altri casi analizzati, oltre alla riqualificazione delle coperture sia del corpo aule che della palestra.
Negli altri casi gli investimenti sono invece maggiormente concentrati sulla riqualificazione dell'involucro di un solo corpo edilizio, ovvero il corpo aule, attraverso la realizzazione del cappotto termico, la coibentazione delle coperture, la sostituzione dei serramenti e il risanamento delle facciate, escludendo la palestra.
Il dato del costo per unità di superficie deve tuttavia essere considerato con cautela nel caso del liceo "Alfieri", poiché l'intervento interessa il solo corpo aule, mentre la superficie di riferimento disponibile nella documentazione è riferita all'intero complesso. Il costo unitario comprende quindi anche superfici non direttamente interessate dai lavori, per le quali non è stato possibile ottenere uno scorporo. Il costo per unità di superficie di questo caso studio è pertanto sottostimato.
La presenza di interventi sulle finiture, sui servizi e su più componenti dell'edificio può incidere significativamente sull'investimento complessivo, mentre una strategia prevalentemente concentrata sull'involucro tende a contenere il costo unitario. Il dato economico è pertanto significativo se letto congiuntamente alla natura degli interventi, piuttosto che utilizzato come indicatore autonomo di efficacia o convenienza.

PRESTAZIONE ENERGETICA. Il cambio di classe energetica testimonia l'effetto degli interventi di riqualificazione dell'involucro, comuni a tutti i casi, a cui si aggiungono, con modalità differenti, interventi sugli impianti di riscaldamento ed elettrici.
Il confronto tra le classi energetiche deve tuttavia essere interpretato con cautela, poiché in alcuni casi le condizioni e i parametri utilizzati per definire lo stato ante e post operam non sono direttamente confrontabili, presentando criticità che incidono sulla possibilità di attribuire il miglioramento esclusivamente alle opere realizzate.
Nel caso della scuola "Salgari", ad esempio, nel confronto diretto tra gli APE ante e post operam emergono differenze tra i parametri geometrici e impiantistici utilizzati nella modellazione energetica. Il passaggio dalla classe E alla B costituisce pertanto un risultato documentato, ma non consente di quantificare e determinare in modo preciso il miglioramento ottenuto attraverso il solo intervento di riqualificazione.
Anche nel caso del liceo "Cattaneo", nell'analisi della classe energetica dello stato di fatto le caratteristiche strutturali delle murature sono state ipotizzate senza indagini approfondite, adottando valori di trasmittanza inferiori rispetto a quelli reali. Lo stato ante operam risulta quindi potenzialmente più performante rispetto alle condizioni reali dell'edificio, rendendo il passaggio dalla classe C alla A1 non pienamente rappresentativo dell'effettivo miglioramento ottenuto con l'intervento.

Il salto di classe energetica rappresenta quindi un dato significativo ma non sufficiente per valutare e confrontare l'efficacia delle riqualificazioni. Per una lettura più completa sarebbe necessario considerare anche le condizioni reali dello stato di fatto, le caratteristiche dell'involucro, i consumi, gli impianti e i parametri utilizzati per la costruzione dei diversi APE. Emerge quindi l'importanza di condurre le analisi energetiche con particolare accuratezza, adottando parametri di riferimento coerenti tra stato ante e post operam, soprattutto per gli aspetti chiave quali superfici, volumi, caratteristiche dell'involucro e dotazioni impiantistiche. La corretta definizione di questi parametri costituisce una condizione necessaria per ottenere risultati attendibili e confrontabili.

RIQUALIFICAZIONE IMPIANTISTICA. Le differenze più importanti negli interventi tra i quattro casi studio riguardano gli impianti di riscaldamento ed elettrici. Nella scuola "Vian" tali interventi non sono stati realizzati, nonostante il consistente investimento; mentre nella scuola "Salgari" è stato particolarmente significativo, interessando anche gli elementi della centrale termica e l'introduzione di sistemi di gestione dei consumi.
Dal confronto emergono strategie molto differenti nel rapporto tra involucro e impianti, tra scuole in cui non è stato realizzato alcun intervento, altre in cui gli impianti sono stati solamente adeguati puntualmente e altre ancora in cui sono stati oggetto di un intervento completo. La componente impiantistica appare quindi in secondo piano rispetto alla riqualificazione dell'involucro, nonostante il suo ruolo sia fondamentale non solo per l'efficienza energetica, ma anche per garantire adeguate condizioni di comfort e di utilizzo degli ambienti scolastici. Il controllo della temperatura, il

ricambio dell'aria e una corretta illuminazione contribuiscono infatti alla qualità degli spazi per l'apprendimento, mentre l'adeguamento degli impianti elettrici e dei sistemi di cablaggio assume un'importanza crescente in relazione alla progressiva integrazione delle tecnologie digitali nella didattica. La limitata attenzione verso questi aspetti evidenzia quindi come gli interventi analizzati tendano a privilegiare l'efficientamento energetico, senza sempre coniugarlo con un adeguato miglioramento delle condizioni di comfort e di utilizzo degli spazi scolastici.

TRASFORMAZIONE SPAZIALE. Un elemento che accomuna i casi analizzati è la limitata trasformazione degli spazi interni, soprattutto se confrontata con l'entità degli interventi realizzati sull'involucro. Le opere hanno interessato prevalentemente le prestazioni fisiche ed energetiche dell'edificio, mentre la distribuzione interna e l'organizzazione degli ambienti sono rimaste in gran parte invariate. È il caso, ad esempio, della scuola "Vian", dove il rifacimento delle finiture e dei servizi igienici non ha comportato modifiche alla distribuzione, e del "Salgari" e del "Cattaneo", nei quali gli spazi interni non sono stati oggetto di interventi e sono rimasti sostanzialmente invariati. Anche nel "Vittorio Alfieri", dove sono state introdotte modifiche puntuali con la chiusura dei balconi e il lieve ampliamento delle aule, non si è arrivati a una revisione complessiva dell'organizzazione spaziale. Pertanto, anche laddove sono stati realizzati interventi interni, questi non hanno comportato un ripensamento complessivo degli spazi didattici, dei servizi e degli ambienti comuni.
Un altro elemento significativo è il fatto che, nei casi dell'"Alfieri" e del "Cattaneo", la riqualificazione sia stata circoscritta al solo corpo aule, lasciando esclusi gli altri corpi edilizi e determinando quindi condizioni differenti di degrado, vetustà e prestazione all'interno dello stesso complesso. Questa modalità di intervento limita la possibilità di affrontare l'edificio scolastico come un sistema complesso, nel quale aule, laboratori, uffici, palestre e spazi comuni concorrono alla definizione della qualità complessiva e dell'identità unitaria dell'ambiente scolastico.

La prevalenza della componente prestazionale rispetto a quella spaziale e funzionale evidenzia un approccio alla riqualificazione ancora fortemente orientato al miglioramento tecnico ed energetico dell'edificio. Il raggiungimento di una migliore classe energetica assume un ruolo prioritario, mentre la qualità degli spazi interni e la loro capacità di rispondere alle esigenze della didattica contemporanea rimangono sostanzialmente invariate. Il rischio è quindi quello di considerare la riqualificazione dell'edificio come raggiunta una volta ottenuto un miglioramento delle prestazioni energetiche, senza interrogarsi con la stessa attenzione sulla qualità architettonica, spaziale e didattica degli ambienti. Una scuola, tuttavia, non è soltanto un involucro da rendere più efficiente: le prestazioni energetiche costituiscono una componente fondamentale della qualità dell'edificio, ma devono essere integrate con le condizioni di comfort, la qualità degli spazi, la flessibilità e le esigenze della didattica.

5

METODO DI VALUTAZIONE E VERIFICA DEGLI SCENARI

Il capitolo approfondisce il caso studio del Liceo scientifico "Carlo Cattaneo" andando ad analizzare tutte le componenti architettoniche e tecnologiche. Partendo dal contesto, l'evoluzione storica e utilizzando materiale di archivio fornito della Città Metropolitana di Torino e il rilievo diretto si è svolta un'analisi dell'edificio così da pianificarne un intervento mirato.

5.1 DAI CASI STUDIO ALLA METODOLOGIA DI ANALISI

L'analisi dei casi studio presentati nel capitolo precedente ha permesso di individuare alcune modalità ricorrenti attraverso cui gli interventi di riqualificazione dell'edilizia scolastica vengono descritti e valutati. In molti casi, l'efficacia della trasformazione viene espressa prevalentemente attraverso indicatori di carattere energetico, quali il miglioramento della classe energetica, la riduzione dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile, la diminuzione dei consumi stimati e l'incremento delle prestazioni dell'involucro edilizio.

Tali parametri costituiscono strumenti fondamentali per valutare l'efficacia degli interventi sotto il profilo energetico e ambientale. Nel caso degli edifici scolastici, tuttavia, la sola prestazione energetica non è sufficiente a restituire in modo completo la qualità della trasformazione. La scuola è infatti un organismo edilizio caratterizzato da un'elevata intensità e continuità d'uso, nel quale studenti, docenti e personale trascorrono quotidianamente periodi prolungati; la qualità degli ambienti interni assume pertanto un ruolo centrale nella valutazione complessiva dell'edificio.

Accanto al contenimento dei consumi energetici, risulta quindi necessario considerare le prestazioni acustiche e illuminotecniche e, nell'ambito della valutazione energetica, il comportamento termico e igrotermico dell'involucro. A partire dalle considerazioni emerse dall'analisi dei casi studio, la tesi adotta pertanto un metodo di valutazione multidimensionale, volto a mettere in relazione configurazione architettonica, caratteristiche tecnologiche, qualità ambientale interna e fabbisogno energetico.

Il metodo viene applicato attraverso la lettura comparata di tre configurazioni del caso studio selezionato: la configurazione originaria dell'edificio, riferita al 1970; il progetto di riqualificazione sviluppato dalla Città Metropolitana nel 2022; e la proposta progettuale elaborata nell'ambito della presente tesi.

Le tre configurazioni vengono analizzate attraverso un insieme comune di indicatori, così da rendere possibile un confronto omogeneo tra le differenti condizioni dell'edificio. La reiterazione delle medesime procedure di verifica consente di leggere in termini quantitativi l'evoluzione delle prestazioni e di mettere in relazione le trasformazioni architettoniche e tecnologiche introdotte nei diversi scenari con i relativi effetti sulle condizioni ambientali interne e sul fabbisogno energetico.

Il presente capitolo definisce la metodologia assunta per le verifiche, specificando per ciascun ambito gli indicatori, i riferimenti normativi e i criteri di valutazione. La sua applicazione viene sviluppata nei capitoli successivi secondo le tre fasi individuate: il Capitolo 6 è dedicato all'analisi della configurazione originaria, il Capitolo 7 alla valutazione dell'intervento di riqualificazione della Città Metropolitana e il Capitolo 8 alla verifica della proposta progettuale elaborata nella tesi. Ciascuna fase riprende pertanto gli stessi ambiti e le stesse procedure definiti nel presente capitolo, adattandone l'applicazione alla specifica configurazione analizzata.

[1,3] Fondazione Agnelli, ***Rapporto sull'edilizia scolastica***, 2019, pp. 58-60.

[2] ***Edilizia scolastica***, MuseoTorino, consultato il 7 gennaio 2026, https://www.museotorino.it/view/s/637e44460c51400eabc9aed1a9

5.2 LE TRE FASI DI ANALISI: QUADRO NORMATIVO E CRITERI DI CONFRONTO

Il percorso metodologico si articola in tre fasi, corrispondenti alle tre configurazioni considerate nella tesi. Pur essendo sottoposti agli stessi ambiti di verifica, i tre scenari vengono analizzati con finalità differenti: diagnostica nel caso della configurazione originaria, valutativa nel caso dell'intervento di riqualificazione e di controllo progettuale nel caso della proposta sviluppata nella tesi.

Configurazione originaria (1970). L'analisi ha lo scopo di ricostruire le condizioni prestazionali iniziali e di individuare le principali criticità dell'organismo edilizio. Le verifiche traducono in dati quantitativi problematiche riconducibili all'involucro, alla qualità acustica e illuminotecnica e al fabbisogno energetico, costruendo il riferimento rispetto al quale valutare le trasformazioni successive.

Intervento della Città Metropolitana (2022). L'obiettivo consiste nel quantificare gli effetti delle soluzioni previste e nel verificare in quale misura gli interventi sull'involucro, sui serramenti e sulle altre componenti edilizie incidano sulle prestazioni complessive. Poiché il sistema di generazione non viene modificato, la variazione delle prestazioni energetiche tra stato originario e intervento 2022 è ricondotta prevalentemente alle opere sull'involucro. Il confronto consente inoltre di evidenziare eventuali criticità non direttamente affrontate dalla riqualificazione.

Proposta progettuale di tesi. Le verifiche assumono una funzione di controllo e validazione delle scelte progettuali. Il confronto con gli scenari precedenti permette di valutare se le modifiche architettoniche, distributive, tecnologiche e impiantistiche introdotte rispondano alle criticità individuate e producano un miglioramento misurabile delle condizioni ambientali e delle prestazioni energetiche. L'applicazione del medesimo protocollo alle tre configurazioni costruisce quindi una sequenza comparativa coerente: la condizione originaria definisce il quadro di partenza, l'intervento del 2022 misura gli effetti della riqualificazione prevista, mentre la proposta di tesi rappresenta una successiva ipotesi di trasformazione sottoposta a verifica prestazionale. Il confronto non è finalizzato esclusivamente a stabilire quale configurazione presenti i valori migliori, ma a comprendere quali scelte progettuali e tecnologiche determinino le variazioni osservate.

La valutazione delle tre configurazioni viene condotta attraverso un insieme comune di indicatori prestazionali, assunto come base per il confronto delle condizioni ambientali e del comportamento energetico dell'edificio. L'applicabilità dei riferimenti normativi viene invece definita in relazione alla natura e alla collocazione temporale di ciascuna configurazione.

L'obiettivo non è ricostruire la conformità dell'edificio originario rispetto alle disposizioni vigenti al momento della sua realizzazione, quanto piuttosto individuare e quantificare le criticità presenti e valutarne l'evoluzione nelle configurazioni successive. L'eventuale confronto della condizione del 1970 con requisiti e criteri prestazionali successivi non assume quindi valore di verifica retroattiva della conformità, ma costituisce uno strumento diagnostico.

Il progetto della Città Metropolitana viene invece valutato considerando, oltre agli indicatori comuni utilizzati per il confronto, i requisiti direttamente applicabili all'intervento nel periodo della sua approvazione. La proposta progettuale di tesi viene analogamente verificata rispetto al quadro normativo e tecnico vigente al momento della presente elaborazione.

La conformità normativa viene pertanto mantenuta distinta dal confronto prestazionale: uno stesso indicatore può essere utilizzato per descrivere l'evoluzione delle prestazioni nelle tre configurazioni, mentre il relativo valore limite assume carattere cogente soltanto nei casi in cui la disposizione risulti effettivamente applicabile all'intervento considerato. Il metodo consente così di distinguere tra il semplice raggiungimento di un requisito minimo e l'effettivo miglioramento prodotto dalla trasformazione.

Nei paragrafi successivi il metodo viene articolato secondo tre ambiti principali: qualità illuminotecnica, prestazioni acustiche e prestazione energetica, comprendendo in quest'ultima le verifiche termiche e igrotermiche dell'involucro. Per ciascun ambito vengono definiti gli indicatori, i riferimenti normativi pertinenti e i criteri di lettura dei risultati.

5.3 VERIFICHE ILLUMINOTECNICHE

La valutazione illuminotecnica degli ambienti scolastici è finalizzata a verificare che la disponibilità di luce naturale garantisca adeguate condizioni di comfort visivo e di fruibilità degli spazi durante le attività didattiche. La qualità dell'illuminazione naturale non dipende infatti soltanto dalla quantità di luce disponibile sul piano di lavoro, ma anche dalla sua distribuzione nell'ambiente, dalla variazione nel tempo, dalla possibilità di mantenere un rapporto visivo con l'esterno e dal controllo dell'eccessiva esposizione solare e dell'abbagliamento. Tali aspetti sono oggi ricompresi nell'impostazione della UNI EN 17037:2022 [16].

Le verifiche vengono sviluppate sulle tre configurazioni considerate nella tesi, tenendo conto della loro diversa collocazione temporale. Per l'intervento della Città Metropolitana viene assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 11 ottobre 2017 [11], vigente nel periodo di approvazione del progetto. Il criterio relativo all'illuminazione naturale prevedeva, nei locali regolarmente occupati, un fattore medio di luce diurna superiore al 2% e richiedeva inoltre soluzioni finalizzate al direzionamento della luce e al controllo dell'abbagliamento. Il medesimo indicatore viene applicato alla configurazione originaria con finalità esclusivamente diagnostica e comparativa, senza attribuirgli valore di verifica retroattiva della conformità normativa.

Per la proposta progettuale viene invece assunto il quadro normativo vigente, costituito dai CAM di cui al D.M. 24 novembre 2025 [12], integrato dalla UNI EN 17037:2022. La valutazione viene pertanto estesa oltre il solo fattore medio di luce diurna, considerando anche la disponibilità di luce naturale, la vista verso l'esterno, l'esposizione alla luce solare e il controllo dell'abbagliamento [16].

Accanto ai parametri direttamente riconducibili ai riferimenti normativi e tecnici vengono infine utilizzati alcuni indicatori dinamici integrativi, tra cui l'Annual Sunlight Exposure (ASE) e l'Useful Daylight Illuminance (UDI). Tali metriche consentono di approfondire il comportamento annuale degli ambienti rispetto,

[1] DECRETO LEGISLATIVO 19 AGOSTO 2005, n. 192, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE*

[2] Ministero dello Sviluppo Economico, *Decreto 26 giugno 2015, Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*

[3] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, *Decreto 28 ottobre 2025, Aggiornamento del decreto 26 giugno 2015, recante «Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici»*

[4] UNI, UNI EN ISO 6946:2018 – *Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodi di calcolo*

rispettivamente, all'eccessiva esposizione alla radiazione solare e alla disponibilità di livelli utili di illuminamento naturale, completando la lettura statica fornita dal fattore medio di luce diurna.

FDL_m - FATTORE MEDIO DI LUCE DIURNA. Il fattore medio di luce diurna FLD_m esprime il rapporto percentuale tra l'illuminamento medio prodotto dalla sola luce naturale all'interno di un ambiente e l'illuminamento contemporaneamente disponibile all'esterno su una superficie orizzontale esposta alla volta celeste, in assenza di irraggiamento solare diretto. È definito come:

$$FLD_m = (E_{m,int} / E_{ext}) \cdot 100$$

dove E_m,int rappresenta l'illuminamento medio interno dovuto alla luce naturale ed Eext l'illuminamento esterno di riferimento.

I CAM 2017 richiedevano, nei locali regolarmente occupati, un fattore medio di luce diurna maggiore del ***2%***, facendo salve le prescrizioni previste per specifiche tipologie edilizie[10]. Per gli ambienti ad uso didattico il D.M. 18 dicembre 1975 assume un valore pari a 0,03 [16]. Ai fini del presente confronto viene pertanto adottato, quale riferimento prestazionale più cautelativo per le aule:

$$FLD_m \geq 3\%$$

Il medesimo indicatore viene applicato alla configurazione originaria con funzione esclusivamente diagnostica. Trattandosi di una metrica statica, il FLD_m viene inoltre affiancato, nella proposta progettuale, da verifiche dinamiche in grado di rappresentare la variabilità della luce naturale nel corso dell'anno.

DISPONIBILITÀ DI LUCE NATURALE. La UNI EN 17037:2022 valuta la disponibilità di luce naturale mediante il raggiungimento di determinati livelli di illuminamento sulla superficie di riferimento per almeno il 50% delle ore di luce diurna. La norma distingue differenti livelli prestazionali, definiti attraverso un valore di illuminamento target, da raggiungere su almeno il 50% della superficie di riferimento, e un valore minimo, da garantire su almeno il 95% della stessa superficie.

Nel presente studio vengono adottati livelli differenti in relazione alla destinazione d'uso degli ambienti. Per le aule, caratterizzate dallo svolgimento continuativo di attività visive quali lettura e scrittura, viene assunto il livello prestazionale medio; per la palestra viene invece assunto il livello minimo come criterio di riferimento. Tale distinzione costituisce una scelta metodologica della presente analisi e non una diversa prescrizione della norma in funzione della destinazione d'uso.

Ambiente	Sup.	Illum.
Aule – livello medio	≥ 50%	E ≥ 500 lx
	≥ 95%	E≥300 lx
Palestra – livello minimo	≥ 50%	E ≥ 300 lx
	≥ 95%	E ≥ 100 lx

La verifica consente quindi di valutare non soltanto la quantità di luce naturale disponibile, ma anche la sua distribuzione all'interno dell'ambiente, individuando eventuali porzioni caratterizzate da livelli insufficienti di illuminamento. Il FLD_m viene mantenuto come indicatore comune alle tre configurazioni per consentire il confronto diretto tra gli scenari, mentre l'analisi dinamica secondo la UNI EN 17037:2022 viene utilizzata per approfondire le prestazioni illuminotecniche.

VIEW OUT ANALYSIS. La UNI EN 17037:2022 considera la vista verso l'esterno una componente autonoma della qualità dell'ambiente visivo. La verifica non riguarda la quantità di luce naturale che entra nel locale, ma la possibilità per gli occupanti di mantenere un contatto visivo efficace con l'ambiente esterno attraverso le superfici finestrate.

La qualità della vista viene valutata considerando tre aspetti principali: l'ampiezza della porzione di ambiente esterno visibile, espressa attraverso l'angolo orizzontale di visuale; la distanza fino agli elementi esterni osservabili, che consente di distinguere una vista ravvicinata e limitata da una più profonda; e la varietà degli elementi visibili, verificando la possibilità di percepire differenti livelli del campo visivo esterno, riconducibili al cielo, al paesaggio o agli elementi posti all'altezza dell'orizzonte e al terreno.

Una superficie finestrata di grandi dimensioni non garantisce quindi automaticamente una buona vista verso l'esterno: la prestazione dipende anche dalla posizione e dalla geometria dell'apertura, dalla profondità dell'ambiente e dalla presenza di eventuali ostacoli esterni che possono limitare il campo visivo.

Nel presente studio la verifica viene utilizzata come indicatore complementare alla disponibilità di luce naturale, al fine di valutare in quale misura le diverse configurazioni dell'edificio garantiscano agli utenti una relazione visiva con il contesto esterno.

DAYLIGHT GLARE PROBABILITY (DGP). La Daylight Glare Probability (DGP) è una metrica redatta nel 2006 da Wienold, J., e Christoffersen, J., che valuta la "*percentuale di utenti disturbati da una condizione di abbagliamento da luce naturale.*". L'abbagliamento da luce naturale si verifica in presenza di sorgenti o superfici caratterizzate da luminanze elevate o da forti contrasti rispetto al campo visivo circostante. Negli ambienti scolastici tale fenomeno può compromettere il comfort visivo e interferire con attività quali lettura, scrittura e utilizzo di dispositivi digitali.

La UNI EN 17037:2022 considera la limitazione dell'abbagliamento tra gli aspetti fondamentali della progettazione della luce naturale [16]. Nel presente studio la verifica viene sviluppata mediante il Daylight Glare Probability (DGP), indice adimensionale che esprime la probabilità di percezione dell'abbagliamento da parte dell'occupante [15, 16].
Ai fini della valutazione vengono considerati i seguenti livelli prestazionali:

Livello prestazionale	DGP
Minimo	DGP ≤ 0,45
Medio	DGP ≤ 0,40
Elevato	DGP ≤ 0,35

La verifica viene sviluppata in forma dinamica, considerando il comportamento dell'ambiente durante il periodo di utilizzo e la frequenza con cui i valori di riferimento vengono eventualmente superati.

[5] UNI, UNI EN ISO 10077-1:2018 – *Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti – Calcolo della trasmittanza termica*

[6] UNI, UNI EN ISO 13786:2018 – *Prestazione termica dei componenti per edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche*

Ai fini del confronto tra le configurazioni analizzate viene assunto, in via cautelativa, il livello prestazionale elevato:

$$DGP \leq 0{,}35$$

Tale valore non viene interpretato come autonomo requisito CAM per l'edificio scolastico, ma come criterio prestazionale finalizzato ad approfondire la qualità visiva degli ambienti e l'efficacia dei sistemi di schermatura. La verifica dell'abbagliamento viene pertanto letta congiuntamente a quella relativa alla disponibilità di luce naturale, così da valutare il rapporto tra incremento dell'illuminazione naturale e controllo delle condizioni potenzialmente disturbanti.

ANNUAL SUNLIGHT EXPOSURE (ASE). L'Annual Sunlight Exposure (ASE) è una metrica dinamica finalizzata a valutare l'eccessiva esposizione degli ambienti alla luce solare diretta nel corso dell'anno. L'indicatore esprime la percentuale della superficie orizzontale di riferimento che supera un determinato livello di illuminamento prodotto dalla componente solare diretta per un numero prefissato di ore annuali.

Nel presente studio viene utilizzato l'indicatore:

$$ASE_{1000,250}$$

che rappresenta la percentuale della superficie di analisi sulla quale l'illuminamento dovuto alla luce solare diretta supera 1000 lx per più di 250 ore all'anno. Valori elevati evidenziano quindi una maggiore esposizione prolungata alla radiazione solare diretta e possono indicare la necessità di un più efficace controllo mediante schermature.

L'ASE viene utilizzato come indicatore prestazionale integrativo per confrontare il comportamento delle diverse configurazioni e valutare l'efficacia dei sistemi di protezione solare.

USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE (UDI). L'Useful Daylight Illuminance (UDI) è una metrica dinamica introdotta da Nabil e Mardaljevic per descrivere la frequenza con cui, nel corso dell'anno, i livelli di illuminamento naturale presenti su un punto o su una superficie di riferimento ricadono entro un intervallo considerato utile per lo svolgimento delle attività visive. A differenza del fattore medio di luce diurna, la UDI si basa quindi su una serie temporale annuale di valori assoluti di illuminamento.

Nella formulazione originaria della metrica, l'intervallo utile era individuato tra 100 e 2000 lx. Nella presente analisi viene invece adottato l'intervallo 100–3000 lx, coerentemente con l'impostazione utilizzata nelle simulazioni, distinguendo tra condizioni di illuminamento insufficiente, utile ed elevato o potenzialmente eccessivo.

Intervallo di illum.	Interpretazione
E < 100 lx	Illuminamento naturale insufficiente
100 lx ≤ E ≤ 3000 lx	Illuminamento naturale utile
E > 3000 lx	Illuminamento elevato o potenzialmente eccessivo

La UDI viene quindi utilizzata come indicatore comparativo della distribuzione temporale della luce naturale, permettendo di individuare sia le condizioni in cui l'apporto naturale risulta insufficiente sia quelle caratterizzate da livelli molto elevati. L'indicatore non viene assunto come requisito normativo autonomo, ma come metrica integrativa per approfondire il comportamento annuale degli ambienti.

5.3 VERIFICHE ACUSTICHE

La valutazione acustica degli ambienti scolastici è finalizzata a verificare sia la capacità dell'edificio di proteggere gli utenti dai rumori provenienti dall'esterno e dagli ambienti adiacenti, sia la qualità della propagazione sonora all'interno degli spazi destinati alle attività didattiche. Questi due aspetti, pur essendo strettamente correlati, descrivono fenomeni differenti: i requisiti acustici passivi riguardano prevalentemente la capacità delle partizioni e dell'involucro di limitare la trasmissione del rumore, mentre il comfort acustico interno dipende dal comportamento del campo sonoro nell'ambiente e dalla possibilità di garantire un'adeguata intelligibilità della comunicazione verbale.

Negli edifici scolastici tale distinzione assume particolare rilevanza. La presenza di rumore proveniente dall'esterno, dai corridoi, dagli ambienti adiacenti o dai piani sovrapposti può interferire con la concentrazione e con lo svolgimento delle attività; allo stesso tempo, un ambiente caratterizzato da eccessiva riverberazione può rendere difficoltosa la comprensione del parlato anche in presenza di un buon isolamento rispetto alle sorgenti esterne.

Il riferimento legislativo generale per i requisiti acustici passivi è costituito dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997, che determina i requisiti degli edifici e dei loro componenti in opera ai fini della riduzione dell'esposizione al rumore [9]. Per l'intervento della Città Metropolitana viene inoltre assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 11 ottobre 2017 [10], vigente nel periodo considerato. Il criterio 2.3.5.6 richiedeva per le scuole il livello di prestazione superiore della UNI 11367 per i requisiti acustici passivi e il rispetto dei descrittori relativi all'acustica interna definiti dalla UNI 11532. Per la proposta progettuale il quadro viene aggiornato considerando i CAM attualmente vigenti, adottati con D.M. 24 novembre 2025 [11], e la UNI 11532-2:2020 [13], specificamente riferita anche al settore scolastico.

ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA. La protezione degli ambienti rispetto al rumore proveniente dall'esterno viene valutata mediante l'indice di isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$, espresso in decibel. Il parametro rappresenta la prestazione della facciata nel suo complesso e dipende dal comportamento congiunto delle strutture opache, dei serramenti, dei giunti e degli eventuali elementi deboli presenti nell'involucro.

Per gli edifici scolastici il D.P.C.M. 5 dicembre 1997 stabilisce:

$$D_{2m,nT,w} \geq 48\ dB^{9}$$

Per l'intervento della Città Metropolitana, il quadro dei CAM 2017 richiede per le scuole il livello di prestazione superiore definito dal prospetto A.1 della UNI 11367 [10, 12], al quale corrisponde:

$$D_{2m,nT,w} \geq 43\ dB$$

Per la proposta progettuale, i CAM 2025 mantengono il principio secondo cui i requisiti acustici devono essere verificati congiuntamente alle disposizioni del D.P.C.M. 5 dicembre 1997 e alle norme tecniche richiamate; per gli ambienti scolastici il riferimento specifico è inol-

tre costituito dalla UNI 11532-2:2020. Il livello prestazionale riconducibile alla UNI 11367 per la facciata risulta pari a:

$$D_{2m,nT,w} \geq 43\ dB$$

Poiché, quando i riferimenti applicabili prevedono valori differenti per lo stesso indicatore, deve essere rispettata la prestazione più restrittiva, nella presente analisi viene assunto:

$$D_{2m,nT,w} \geq 48\ dB$$

Nel presente studio questo valore viene assunto come criterio di riferimento per il confronto tra le tre configurazioni. Per la configurazione originaria consente di quantificare la criticità della facciata esistente; per l'intervento della Città Metropolitana permette di valutare l'effetto della sostituzione dei serramenti e delle opere sull'involucro; per la proposta progettuale consente infine di verificare il comportamento della nuova configurazione di facciata.

La lettura del parametro risulta particolarmente significativa perché permette di evidenziare come il miglioramento della sola componente opaca non determini necessariamente un incremento equivalente della prestazione complessiva: in presenza di serramenti o giunti caratterizzati da prestazioni inferiori, questi ultimi possono infatti condizionare il comportamento dell'intera facciata.

ISOLAMENTO PER VIA AEREA TRA AMBIENTI. La seconda verifica riguarda la trasmissione del rumore aereo tra ambienti interni. La prestazione viene descritta mediante grandezze differenti in funzione della relazione tra gli spazi considerati.

Il potere fonoisolante apparente R'_w, espresso in decibel, caratterizza la prestazione in opera di un elemento di separazione, considerando sia la trasmissione diretta attraverso la partizione sia i contributi dovuti alle trasmissioni laterali. Il D.P.C.M. 5 dicembre 1997 assume, per gli elementi di separazione tra distinte unità immobiliari degli edifici scolastici:

$$R'_w \geq 50\ dB$$

Nel caso di ambienti appartenenti alla medesima unità immobiliare, come avviene per la maggior parte delle aule e degli spazi scolastici analizzati, viene invece utilizzato l'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione $D_{nT,w}$. Il parametro esprime la differenza di livello sonoro tra ambiente emittente e ambiente ricevente, normalizzata rispetto alle caratteristiche acustiche di quest'ultimo.

Per l'intervento della Città Metropolitana, valutato secondo i CAM 2017, il criterio 2.3.5.6 richiedeva per gli edifici scolastici il livello di prestazione superiore definito dalla UNI 11367 [10, 12]. Ne derivano i seguenti valori:

Configurazione		CAM 2017
Ambienti principali adiacenti della stessa unità	DnT,w	≥ 50 dB
Ambienti principali sovrapposti della stessa	DnT,w	≥ 55 dB
Separazioni tra differenti unità immobiliari	R'w	≥ 56 dB

Il requisito CAM2017 risulta quindi più restrittivo del valore dB previsto dal D.P.C.M. per le separazioni tra differenti unità immobiliari; per l'intervento del 2022 viene pertanto assunto:

$$R'_w \geq 56\ dB$$

Per la proposta progettuale viene assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 24 novembre 2025, attualmente vigente. Il criterio relativo alle prestazioni e al comfort acustico richiede che i requisiti acustici passivi rispettino almeno la classe II della UNI 11367, facendo comunque salvi i requisiti più restrittivi stabiliti dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997. Per gli edifici scolastici viene inoltre mantenuto il riferimento specifico alla UNI 11532-2:2020 [11, 13]. La UNI 11532-2:2020 assume, per i requisiti acustici passivi degli edifici scolastici, i valori della prestazione superiore della UNI 11367. Per i descrittori considerati risultano pertanto:

$$D_{nT,w} \geq 50\ dB$$

per ambienti principali adiacenti della stessa unità immobiliare

$$D_{nT,w} \geq 55\ dB$$

per ambienti principali sovrapposti della stessa unità immobiliare

$$R'_w \geq 56\ dB$$

per partizioni tra differenti unità immobiliari

I valori di riferimento adottati per l'intervento del 2022 e per la proposta progettuale risultano quindi, per questi specifici descrittori, sostanzialmente coincidenti, pur derivando da quadri normativi temporalmente differenti.

Ai fini della presente analisi, il descrittore viene scelto in funzione della relazione effettiva tra gli ambienti:

$$D_{nT,w} \geq 50\ dB$$

pambienti principali adiacenti della stessa unità immobiliare;

$$D_{nT,w} \geq 55\ dB$$

ambienti principali sovrapposti della stessa unità immobiliare;

$$R'_w \geq 56\ dB$$

partizioni tra differenti unità immobiliari.

ISOLAMENTO DAI RUMORI DA CALPESTIO. La terza verifica riguarda la trasmissione dei rumori di tipo impattivo attraverso le strutture orizzontali. Negli edifici scolastici tali rumori possono essere generati dal calpestio, dallo spostamento di sedie e arredi e, più in generale, dalle attività svolte negli ambienti sovrastanti.

La prestazione viene valutata mediante il livello di pressione sonora di calpestio normalizzato L'n,w, espresso in decibel. Il parametro rappresenta il livello sonoro rilevato nell'ambiente ricevente quando il solaio viene sollecitato mediante una sorgente normalizzata e tiene conto del comportamento complessivo della struttura nelle condizioni reali di posa.

A differenza degli indici di isolamento per via aerea, nei quali valori più elevati indicano una maggiore capacità isolante, per il rumore da calpestio la prestazione migliora al diminuire di L'n,w: un valore inferiore corrisponde quindi a una minore trasmissione del rumore impattivo verso l'ambiente sottostante. Il D.P.C.M. 5

dicembre 1997 classifica gli edifici adibiti ad attività scolastiche nella categoria E e stabilisce per il livello di rumore di calpestio:

$$L'_{n,w} \leq 58\ dB$$

Tale valore costituisce il requisito legislativo generale di riferimento per gli edifici scolastici.

Intervento della Città Metropolitana - CAM 2017

Per l'intervento della Città Metropolitana, approvato nel 2022, viene assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 11 ottobre 2017. Per gli edifici scolastici il criterio relativo al comfort acustico richiedeva il livello di «prestazione superiore» dell'Appendice A della UNI 11367:2010 [10, 12].

$$L'_{n,w} \leq 53\ dB$$

Per la proposta progettuale viene assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 24 novembre 2025 [11]. Il criterio relativo alle prestazioni e al comfort acustico richiede, in termini generali, prestazioni almeno corrispondenti alla classe II della UNI 11367, facendo salvi i requisiti più restrittivi del D.P.C.M. 5 dicembre 1997; per gli edifici scolastici viene inoltre mantenuto il riferimento specifico alla UNI 11532-2:2020 [13].

Per gli edifici scolastici, il riferimento della UNI 11532-2 conduce, per il livello di calpestio, al valore della prestazione superiore della UNI 11367:

$$L'n,w \leq 53\ dB$$

Il valore si applica alle separazioni orizzontali pertinenti, in particolare tra ambienti sovrapposti appartenenti alla stessa unità immobiliare scolastica e, ove ricorra, tra differenti unità immobiliari.

Anche per la proposta progettuale il valore di 53 dB risulta quindi più restrittivo rispetto al limite di 58 dB stabilito dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997.

Ai fini del confronto tra le tre configurazioni viene pertanto assunto:

$$L'_{n,w} \leq 53\ dB$$

La configurazione originaria viene valutata mediante il medesimo indicatore esclusivamente con funzione diagnostica e comparativa, senza attribuire al valore limite introdotto successivamente carattere di verifica retroattiva.

La verifica viene applicata alle separazioni orizzontali tra ambienti sovrapposti; non viene invece attribuito un requisito di L'n,w alle partizioni tra ambienti semplicemente adiacenti sullo stesso piano, per le quali il fenomeno di riferimento è principalmente la trasmissione del rumore per via aerea.

COMFORT ACUSTICO INTERNO

Le verifiche di acustica interna riguardano la qualità del campo sonoro all'interno dei singoli ambienti e, nel caso degli edifici scolastici, sono finalizzate principalmente a garantire condizioni adeguate per la comunicazione verbale e la comprensione del parlato.

A differenza dei requisiti acustici passivi, che valutano la trasmissione del rumore attraverso facciate, pareti e solai, l'acustica interna considera il comportamento del suono all'interno dell'ambiente, con particolare riferimento alla riverberazione e all'intelligibilità della comunicazione verbale.

Nel quadro assunto come riferimento per l'intervento della Città Metropolitana, i CAM 2017 estendevano la valutazione del comfort acustico interno oltre i requisiti previsti dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997, richiamando la UNI 11532 e indicando almeno il tempo di riverberazione e lo Speech Transmission Index (STI) tra i descrittori da considerare [11]. La successiva pubblicazione della UNI 11532-2:2020, specificamente dedicata al settore scolastico, ha definito in maniera più articolata i descrittori e i relativi valori di riferimento [14]. La stessa norma costituisce il riferimento tecnico assunto per le verifiche della proposta progettuale secondo il quadro CAM attualmente vigente [12].

Nel presente studio il comfort acustico interno viene pertanto analizzato attraverso tre descrittori principali: il tempo di riverberazione T, la chiarezza del parlato C50 e lo Speech Transmission Index (STI).

TEMPO DI RIVERBERAZIONE. Il tempo di riverberazione T, espresso in Il tempo di riverberazione T, espresso in secondi, rappresenta il tempo necessario affinché il livello di pressione sonora presente in un ambiente diminuisca di 60 dB dopo l'interruzione della sorgente sonora. Il parametro dipende dal volume del locale e dalle caratteristiche di assorbimento delle superfici, degli arredi e degli altri elementi presenti. Negli ambienti scolastici assume particolare rilevanza poiché una riverberazione eccessiva determina una maggiore persistenza delle riflessioni sonore, con effetti negativi sulla chiarezza e sull'intelligibilità del parlato.

Nel quadro legislativo nazionale, il D.P.C.M. 5 dicembre 1997 include il tempo di riverberazione tra le grandezze acustiche di riferimento e richiama, per l'edilizia scolastica, la Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 3150 del 22 maggio 1967 [9, 14]. La Circolare stabilisce che, nelle aule arredate e con la presenza di non più di due persone, la media dei tempi di riverberazione misurati alle frequenze di 250, 500, 1000 e 2000 Hz non debba superare:

Tmedio,250-2000 Hz ≤ 1,2 s

Per le palestre scolastiche non destinate anche ad auditorium, il corrispondente valore medio è invece:

Tmedio,250-2000 Hz ≤ 2,2 s

I due valori sono riferiti alla media delle quattro bande di frequenza considerate e non dipendono dal volume dell'ambiente.

Intervento della Città Metropolitana - CAM 2017

Per l'intervento della Città Metropolitana, approvato nel 2022, viene assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 11 ottobre 2017 [10]. Il criterio relativo al comfort acustico richiedeva, oltre ai requisiti acustici passivi, la valutazione della qualità acustica interna degli ambienti scolastici mediante i descrittori pertinenti. Nel periodo considerato la norma tecnica specifica per il settore scolastico era già la UNI 11532-2:2020 [13].

Verifica secondo UNI 11532-2:2020

La UNI 11532-2:2020 introduce una valutazione più articolata rispetto al limite medio della Circolare, differenziando i criteri in funzione della destinazione d'uso e del volume dell'ambiente. Per le aule didattiche ordinarie, ricondotte alla categoria A3, il tempo di riverberazione ottimale viene determinato mediante:

Tott = 0,32 log10(V) - 0,17

dove V rappresenta il volume dell'ambiente espresso in m^3. Il criterio è riferito a una condizione convenzionale di ambiente occupato all'80% della capienza. La verifica non consiste quindi nel semplice confronto con un unico valore massimo, ma nel controllo dell'andamento del tempo di riverberazione alle

diverse frequenze rispetto all'intervallo di conformità definito a partire da Tott [13].

Proposta progettuale - CAM 2025

Per la proposta progettuale viene assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 24 novembre 2025 [11], mantenendo per gli ambienti scolastici il riferimento alla UNI 11532-2:2020. La verifica della proposta viene pertanto sviluppata secondo il criterio prestazionale della norma tecnica, mantenendo parallelamente il confronto con i valori della Circolare n. 3150/1967.

Criteri assunti nel confronto

Nel presente studio vengono quindi mantenuti distinti due livelli di valutazione. Il primo riguarda il criterio derivante dal quadro legislativo storico, verificato attraverso la media dei valori alle frequenze di 250, 500, 1000 e 2000 Hz:

Ambiente Criterio
Aula scolastica Tmedio ≤ 1,2 s
Palestra non adibita ad auditorium Tmedio ≤ 2,2 s

Il secondo riguarda la UNI 11532-2:2020, per la quale il tempo di riverberazione viene valutato alle singole frequenze rispetto al valore ottimale e al relativo intervallo di conformità previsto per la categoria dell'ambiente.

Le due verifiche sono quindi complementari ma non direttamente sovrapponibili, poiché differiscono sia per le condizioni convenzionali di occupazione sia per la modalità di elaborazione del parametro. La prima consente di mantenere il confronto con il limite storico previsto per l'edilizia scolastica; la seconda permette una valutazione più articolata della qualità acustica dell'ambiente in relazione al volume e alla destinazione d'uso.

CHIAREZZA DEL PARLATO C50. La chiarezza del parlato C50, espressa in decibel, descrive il rapporto tra l'energia sonora che raggiunge l'ascoltatore nei primi 50 ms e quella che arriva successivamente. La componente precoce contribuisce positivamente alla percezione del parlato, mentre l'energia tardiva è associata alla riverberazione e può ridurne la chiarezza. Valori più elevati di C50 corrispondono pertanto a condizioni più favorevoli alla comunicazione verbale.

Il D.P.C.M. 5 dicembre 1997 non individua uno specifico requisito relativo al C50. Per gli ambienti scolastici il riferimento viene pertanto assunto dalla UNI 11532-2:2020 [14].

Per le aule didattiche con volume:
$V < 250\ m^3$
in assenza di un impianto di amplificazione, oppure in presenza di un impianto non utilizzato nelle normali condizioni di esercizio, il valore di riferimento assunto è [14]:
$C50 \geq 2$ dB

La verifica è riferita alla condizione di ambiente arredato con la presenza di non più di due persone e, ai fini della determinazione del valore rappresentativo, vengono considerate le bande di ottava centrate a 500, 1000 e 2000 Hz [14].

Il requisito deve essere considerato distinto da quello relativo al tempo di riverberazione: mentre quest'ultimo descrive la persistenza complessiva del suono nell'ambiente, il C50 valuta specificamente il rapporto tra energia sonora precoce e tardiva e fornisce quindi un'indicazione più direttamente legata alla chiarezza della comunicazione verbale.

INTELLIGIBILITÀ DEL PARLATO – STI. Lo Speech Transmission Index (STI) è un indice adimensionale compreso tra 0 e 1, utilizzato per valutare la qualità della trasmissione del parlato all'interno di un ambiente. Il parametro tiene conto degli effetti della riverberazione e del rumore di fondo sul segnale vocale; valori più elevati corrispondono pertanto a una migliore intelligibilità del parlato.

Anche per lo STI il D.P.C.M. 5 dicembre 1997 non individua uno specifico requisito, mentre i valori di riferimento per gli ambienti scolastici vengono assunti dalla UNI 11532-2:2020 [14].

Per gli ambienti privi di un sistema di amplificazione utilizzato nelle normali condizioni di esercizio, la norma distingue il requisito in funzione del volume.

Per ambienti con:
$V < 250\ m^3$
viene assunto:
$STI \geq 0{,}55$

mentre per ambienti con:
$V \geq 250\ m^3$
il valore di riferimento è:
$STI \geq 0{,}50$

In presenza di un impianto di amplificazione utilizzato nelle normali condizioni di esercizio, il requisito assunto è invece [14]:
$STI \geq 0{,}60$

La verifica viene riferita alla condizione di ambiente arredato con la presenza di non più di due persone [14].

Lo STI e il C50 descrivono entrambi la qualità della comunicazione verbale, ma attraverso approcci differenti. Il C50 valuta il rapporto tra energia sonora precoce e tardiva, mentre lo STI considera anche l'effetto del rumore di fondo e fornisce pertanto una valutazione più complessiva dell'intelligibilità del parlato. Per gli ambienti con volume inferiore a 250 m^3, la UNI 11532-2 consente l'utilizzo del C50 in alternativa allo STI; per ambienti di volume maggiore la verifica dell'intelligibilità viene invece effettuata mediante STI [14].

Nel presente studio, quando i dati disponibili lo consentono, i due descrittori vengono comunque considerati congiuntamente, in modo da fornire una lettura più completa delle condizioni acustiche interne e dell'effettivo miglioramento prodotto dagli interventi analizzati.

Verifica	D.P.C.M. 5/12/1997	CAM / riferimento scolastico
$D_{2m,nT,w}$ - Isolamento acustico di facciata	⩾ 48dB	⩾ 43dB
R'_w - Separazione tra distinte unità immobiliari	⩾ 50dB	⩾ 56dB
$D_{nT,w}$ - Ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare	—	⩾ 50dB
$D_{nT,w}$ - Ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare	—	⩾ 55dB
$L'_{n,w}$ - Rumore da calpestio	⩽ 58dB	⩽ 53dB

TRASMITTANZA TERMICA DELL'INVOLUCRO La prima caratterizzazione delle prestazioni dell'involucro riguarda la trasmittanza termica U, espressa in W/(m²K), che rappresenta il flusso termico che attraversa un elemento edilizio per unità di superficie e per una differenza unitaria di temperatura tra gli ambienti da esso separati. A valori inferiori corrisponde pertanto una maggiore capacità della componente di limitare gli scambi termici.
Per gli elementi opachi la trasmittanza viene determinata a partire dalla stratigrafia, dagli spessori e dalle caratteristiche termo-fisiche dei materiali; per le chiusure trasparenti viene invece considerata la trasmittanza termica complessiva del serramento Uw, comprensiva del contributo della componente vetrata, del telaio e delle relative interazioni.
Le modalità con cui tale parametro assume valore prescrittivo dipendono dalla categoria di intervento considerata. Per l'intervento realizzato dalla Città Metropolitana, ricondotto alla ristrutturazione importante di secondo livello e valutato secondo il D.M. 26 giugno 2015, il controllo viene effettuato sulle componenti dell'involucro effettivamente interessate dalle opere[2].
Nel caso specifico le verifiche riguardano principalmente pareti perimetrali, copertura e serramenti. Il decreto prevede inoltre che, per le strutture opache, la valutazione tenga conto dell'incidenza dei ponti termici compresi nella superficie oggetto di intervento[2].
Per la proposta progettuale, il corpo aule esistente e la palestra sono invece ricondotti alla ristrutturazione importante di primo livello, mentre l'ampliamento viene assimilato a nuova costruzione. Per tali categorie il D.M. 28 ottobre 2025 introduce una verifica complessiva della prestazione dell'edificio, basata sul confronto con un edificio di riferimento avente la stessa geometria, orientamento, ubicazione, destinazione d'uso e condizioni al contorno dell'edificio reale [3].
Le trasmittanze attribuite alle componenti dell'edificio di riferimento non costituiscono quindi autonomi valori limite da applicare direttamente alle singole stratigrafie di progetto, ma parametri convenzionali utilizzati per determinare le prestazioni energetiche di riferimento. Le trasmittanze delle soluzioni progettuali vengono comunque considerate nell'analisi, poiché consentono di descrivere la qualità termo-fisica dell'involucro e di interpretarne il contributo alla prestazione energetica complessiva.

Tipologia di intervento	Elemento	Valore [W/(m²K)]
Ristrutturazione importante di I livello	Pareti verticali	~~0,26~~
	Coperture	~~0,22~~
	Pavimenti	~~0,26~~
	Serramenti	~~1,40~~
Nuova costruzione	Pareti verticali	~~0,26~~
	Coperture	~~0,22~~
	Pavimenti	~~0,26~~
	Serramenti	~~1,40~~

Il D.M. 28 ottobre 2025 conferma, per la zona climatica E, i valori di trasmittanza già previsti dal D.M. 26 giugno 2015 nella fase a regime dal 2021, introducendo tuttavia aggiornamenti nelle modalità di verifica dell'involucro e, in particolare, nella valutazione dei ponti termici.

[333] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, D.M. 28 ottobre 2025, aggiornamento del D.M. 26 giugno 2015 in materia di metodologie di calcolo, prescrizioni e requisiti minimi degli edifici.

[22222222222] Ministero dello Sviluppo Economico, D.M. 26 giugno 2015, "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".

COMPORTAMENTO TERMICO DINAMICO DELLE COMPONENTI OPACHE La trasmittanza termica descrive il comportamento dell'involucro in condizioni sostanzialmente stazionarie, ma non rappresenta completamente la risposta delle strutture alle variazioni periodiche della temperatura esterna e dell'irraggiamento solare. Per questo motivo, la caratterizzazione delle componenti opache viene integrata mediante alcuni parametri relativi al comportamento termico dinamico, particolarmente significativi nel periodo estivo.
Le grandezze vengono determinate secondo la *UNI EN ISO 13786:2018* [6] e, per la proposta progettuale, considerando anche l'Appendice Nazionale *UNI EN ISO 13786:2018/NA:2025*.
Per le principali stratigrafie vengono analizzate la massa superficiale M_s, la trasmittanza termica periodica Y_{IE}, lo sfasamento e il fattore di attenuazione.
La **MASSA SUPERFICIALE**, espressa in kg/m², rappresenta un indicatore dell'inerzia termica della componente, mentre la **TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA**, espressa in W/(m²K), descrive la capacità della struttura di attenuare la propagazione verso l'ambiente interno delle sollecitazioni termiche periodiche. Lo **SFASAMENTO** indica il ritardo temporale con cui l'onda termica esterna produce i propri effetti sul lato interno, mentre il fattore di attenuazione ne esprime la riduzione di ampiezza. Il D.M. 28 ottobre 2025 [3], in continuità con quanto già previsto dal D.M. 26 giugno 2015 [2], stabilisce specifiche verifiche per il contenimento dei fabbisogni estivi negli edifici di nuova costruzione e negli interventi soggetti ai relativi requisiti.
Tali controlli si applicano, con esclusione delle categorie E.6 ed E.8 e della zona climatica F, nelle località in cui il valore medio mensile dell'irradianza solare sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione estiva risulti:

$$I_{m,s} \geq 290\ W/m^2$$

In tali condizioni, per le pareti verticali opache, ad eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest, nord e nord-est, deve essere soddisfatta almeno una delle seguenti condizioni:

$$M_s > 230\ kg/m^2$$

oppure

$$Y_{ie} < 0{,}10\ W/(m^2K)$$

Per le strutture opache orizzontali e inclinate deve invece risultare:

$$Y_{ie} < 0{,}18\ W/(m^2K)$$

Per l'edificio oggetto di studio, localizzato a Torino, il valore dell'irradianza solare media mensile sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione è di circa 272 W/m² ,quindi, inferiore alla soglia di 290 W/m² prevista dalla normativa. Le verifiche relative alla massa superficiale e alla trasmittanza termica periodica non risultano quindi applicabili. Tali grandezze, insieme allo sfasamento e al fattore di attenuazione, vengono comunque considerate nell'analisi come indicatori prestazionali, al fine di confrontare il comportamento estivo delle differenti soluzioni di involucro [2][3].

[666] UNI EN ISO 13786:2018, Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo; Appendice Nazionale UNI EN ISO 13786:2018/NA:2025.

VERIFICHE IGROTERMICHE DELL'INVOLUCRO La caratterizzazione delle componenti opache viene completata mediante le verifiche igrotermiche, finalizzate a individuare eventuali condizioni critiche connesse alla temperatura superficiale e alla diffusione del vapore attraverso le stratigrafie.

Il principale riferimento tecnico è costituito dalla UNI EN ISO 13788:2013 [7], che definisce i metodi di calcolo per la valutazione del rischio di formazione di muffe e di condensazione superficiale, nonché per l'analisi della condensazione interstiziale.

Il rischio di formazione di muffe viene valutato attraverso il controllo della temperatura superficiale interna e può essere espresso mediante il fattore di temperatura superficiale fRsi:

$$fRsi = (\theta si - \theta e) / (\theta i - \theta e)$$

dove θsi rappresenta la temperatura superficiale interna, θi la temperatura dell'aria interna e θe quella esterna. La verifica risulta soddisfatta quando:

$$fRsi \geq fRsi,min$$

Il valore minimo richiesto viene determinato in funzione delle condizioni climatiche e termo-igrometriche secondo la procedura prevista dalla UNI EN ISO 13788 [7].

La verifica della condensazione interstiziale analizza invece la diffusione del vapore attraverso i diversi strati della componente, valutando l'eventuale formazione e successiva evaporazione dell'acqua condensata nel corso del ciclo annuale.

Per l'intervento della Città Metropolitana viene assunto il quadro normativo del D.M. 26 giugno 2015 [2], che richiede la verifica dell'assenza del rischio di formazione di muffe e di condensazioni interstiziali secondo la UNI EN ISO 13788.

Per la proposta progettuale, valutata secondo il D.M. 28 ottobre 2025 [3], le verifiche devono essere estese sia alla sezione corrente delle componenti sia ai principali ponti termici, facendo riferimento congiuntamente alla UNI EN ISO 13788 e alla UNI EN ISO 10211:2018 [8]. Quest'ultima consente di determinare i flussi termici e le temperature superficiali minime nei nodi costruttivi, necessarie per valutarne il comportamento igrotermico. Il controllo della condensazione interstiziale risulta soddisfatto quando l'eventuale quantità di condensa non supera il valore massimo ammissibile previsto dal metodo di calcolo e non permane alcun residuo al termine del ciclo annuale [3].

Le verifiche igrotermiche vengono pertanto utilizzate come controlli di conformità, finalizzati ad accertare che le soluzioni di involucro e i relativi nodi costruttivi non determinino condizioni critiche di condensazione o formazione di muffe.

PRESTAZIONE ENERGETICA COMPLESSIVA Per gli interventi di ristrutturazione importante di primo livello e per le nuove costruzioni, il D.M. 28 ottobre 2025 prevede una valutazione integrata della prestazione energetica dell'edificio, effettuata mediante il confronto con un corrispondente edificio di riferimento, avente le medesime caratteristiche geometriche, climatiche e funzionali ma prestazioni termo-fisiche e impiantistiche convenzionali definite dalla normativa [3].

Non è pertanto individuato un unico valore massimo di consumo, espresso in kWh/m²anno, valido per tutti gli edifici appartenenti alla stessa categoria d'uso: i valori limite vengono determinati specificamente per l'edificio analizzato attraverso il modello di riferimento. Tra i parametri oggetto di verifica rientra il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione H'T, che esprime il comportamento complessivo dell'involucro considerando sia le componenti opache e trasparenti sia l'incidenza dei ponti termici.

Per gli edifici di nuova costruzione, il valore massimo ammissibile di H'T viene individuato in funzione della zona climatica e del rapporto di forma S/V:

$$S/V = superficie\ disperdente / volume\ climatizzato$$

Il rapporto S/V costituisce quindi un indicatore della compattezza dell'edificio e non rappresenta, di per sé, un requisito soggetto a un valore massimo. Per la zona climatica E, il limite di H'T varia da 0,75 a 0,50 W/(m²K) in funzione del rapporto di forma [3].

Nel caso delle ristrutturazioni importanti di primo livello, il limite di H'T viene invece determinato in funzione della zona climatica e del rapporto ex ante tra la superficie dei componenti vetrati e la superficie complessiva dell'involucro interessato dall'intervento [3].

Un'ulteriore verifica riguarda il rapporto tra l'area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e la superficie utile:

$$A_{sol,est} / A_{sup,utile}$$

Tale parametro tiene conto delle caratteristiche delle superfici trasparenti, delle schermature e dell'esposizione solare ed è finalizzato al contenimento degli apporti solari nel periodo estivo. Per gli edifici scolastici il rapporto deve risultare:

$$A_{sol,est} / A_{sup,utile} < 0{,}040$$

La verifica della prestazione energetica viene infine completata attraverso gli indici di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale e per quella estiva, rispettivamente EPH,nd ed EPC,nd, e attraverso l'indice di prestazione energetica globale in energia primaria totale EPgl,tot.

$$EP_{H,nd} < EP_{H,nd,limite}$$

$$EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite}$$

$$EP_{gl,tot} < EP_{gl,tot,limite}$$

I valori limite sono determinati a partire dal corrispondente edificio di riferimento [3].

PRESTAZIONE ED EFFICIENZA DEGLI IMPIANTI

La valutazione energetica viene completata mediante l'analisi dei sistemi impiantistici, così da distinguere il contributo derivante dal miglioramento dell'involucro da quello associato all'efficienza dei sistemi di climatizzazione.

Per la configurazione originaria e per l'intervento della Città Metropolitana vengono assunti i dati impiantistici riportati nell'analisi energetica di riferimento. Poiché l'intervento realizzato nel 2022 non ha comportato modifiche sostanziali agli impianti di climatizzazione, la variazione delle prestazioni energetiche rispetto allo stato originario è riconducibile prevalentemente agli interventi effettuati sull'involucro.

La proposta progettuale prevede invece una riqualificazione complessiva del sistema impiantistico, con sostituzione della generazione alimentata a gas mediante pompe di calore, adeguamento dei terminali di emissione e introduzione dei sistemi di ventilazione meccanica previsti dal progetto. I nuovi impianti vengono pertanto modellati direttamente in EC700 di EdilClima sulla base delle caratteristiche delle apparecchiature e delle relative condizioni di funzionamento.

Per gli interventi di ristrutturazione importante di primo livello e per le nuove costruzioni, il D.M. 28 ottobre 2025 richiede la verifica delle efficienze medie stagionali dei servizi di climatizzazione invernale, climatizzazione estiva e produzione di acqua calda sanitaria, ove presente. Tali efficienze sono determinate come rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile del servizio e il corrispondente fabbisogno di energia primaria totale e devono risultare superiori ai valori ottenuti per il corrispondente edificio di riferimento [3].

Devono pertanto essere verificate le condizioni:

$$\eta H > \eta H,lim$$

$$\eta C > \eta C,lim$$

e, per la produzione di acqua calda sanitaria, ove presente:

$$\eta W > \eta W,lim$$

I valori limite non rappresentano rendimenti minimi attribuiti alle singole apparecchiature, ma derivano dalle caratteristiche convenzionali dei sistemi impiantistici associati all'edificio di riferimento [3].

Nel confronto tra le diverse configurazioni, l'analisi delle efficienze stagionali e degli indici di energia primaria consente quindi di valutare l'incidenza della trasformazione del sistema impiantistico sulla prestazione energetica complessiva dell'edificio, distinguendola dagli effetti direttamente riconducibili al miglioramento dell'involucro.

6

CASO STUDIO: IL LICEO "C. CATTANEO"

Il capitolo approfondisce il caso studio del Liceo Scientifico Statale “Carlo Cattaneo” andando ad analizzarne tutte le componenti architettoniche e tecnologiche. Partendo dall'inquadramento nel contesto, la sua evoluzione storica, il materiale di archivio fornito della Città Metropolitana di Torino e il rilievo diretto accompagnato dalle verifiche prestazionalli, si è svolta un'analisi dell'edificio in modo da costruirne il quadro di partenza per la progettazione di un intervento mirato.



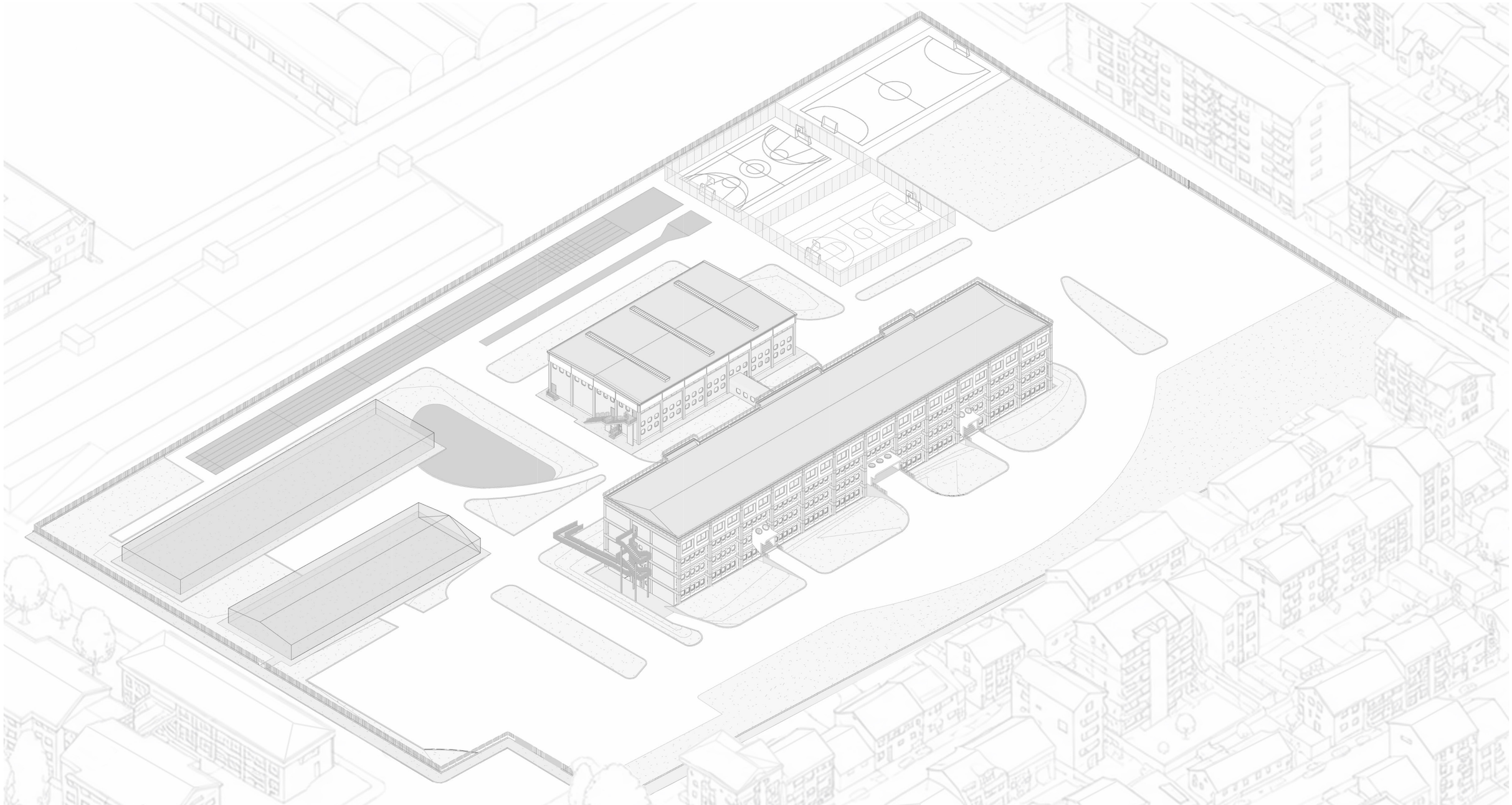
6.1 CONTESTO, STORIA, ORGANIZZAZIONE

IL CONTESTO URBANO. Il Liceo Scientifico Statale “Carlo Cattaneo” si suddivide in due sedi: la sede centrale, situata in via Sostegno 41/10, e la succursale, in via Postumia 57/60. La sede centrale si inserisce nel tessuto urbano consolidato e prevalentemente residenziale del quartiere Parella, caratterizzato attività commerciali, servizi, spazi pubblici e altre strutture scolastiche, oltre che dalla vicinanza agli importanti assi viari di corso Marche e corso Francia e alla linea della metropolitana. Questi elementi contribuiscono a rendere l’istituto un punto di riferimento per un bacino di utenza particolarmente ampio, in quanto facilmente raggiungibile sia dagli studenti residenti nelle diverse zone della città sia da quelli provenienti dai comuni della prima cintura dell’area metropolitana[1].
La sede centrale si trova in un’area caratterizzata dalla presenza di importanti infrastrutture urbane. La vicinanza a piazza Massaua costituisce un elemento significativo, sia per la riconoscibilità del luogo sia per la facilità di accesso con il trasporto pubblico soprattutto alla linea 1 della metropolitana, con le fermate Massaua e Marche, e da diverse linee di superficie che garantiscono i collegamenti con il centro cittadino e le zone limitrofe. L’accessibilità costituisce uno degli elementi principali del rapporto tra la scuola e il territorio. Da un lato, la posizione dell’istituto facilita gli spostamenti quotidiani tra casa e scuola; dall’altro, tuttavia, l’elevata intensità d’uso dello spazio urbano determina una notevole pressione sugli ingressi, sugli spazi aperti e sulle aree destinate alla sosta, soprattutto nei momenti di maggiore afflusso legati all’ingresso e all’uscita degli studenti.

La sede succursale di via Postumia testimonia la crescita dell’istituto nel tempo e il progressivo ampliamento del suo bacino di riferimento. Allo stesso tempo, questa articolazione introduce una discontinuità spaziale che incide sull’organizzazione delle attività quotidiane: la distribuzione delle funzioni su luoghi distinti richiede infatti la gestione degli spostamenti di studenti e docenti, il coordinamento degli orari e l’organizzazione delle attività, oltre a incidere sulla percezione dell’istituto come realtà unitaria. La relazione tra i due edifici evidenzia quindi la necessità di una maggiore integrazione tra gli spazi, superando la logica di due sedi separate e frammentate per arrivare a una configurazione più unitaria e coerente, nella quale le diverse funzioni scolastiche possano essere percepite e gestite come parte di un unico sistema.

Nel complesso, l’analisi del contesto evidenzia una duplice condizione. Il Liceo Cattaneo beneficia di una collocazione favorevole, ben collegata con il resto della città e facilmente accessibile da un territorio esteso. Tuttavia, l’articolazione dell’istituto su più sedi, insieme all’elevata intensità d’uso degli spazi, rende necessario affrontare il progetto attraverso una visione più ampia, capace di considerare in modo integrato gli aspetti funzionali, organizzativi e urbani. Il rapporto tra le due sedi, la mobilità dell’utenza e le caratteristiche del contesto costituiscono quindi elementi fondamentali per comprendere le esigenze dell’istituto e orientare le successive scelte progettuali.

[1] Liceo Carlo Cattaneo, *Il contesto* liceocattaneotorino.edu.it/il-contesto



[2, 3] Liceo Carlo Cattaneo, *La storia*
liceocattaneotorino.edu.it/la-scuola/la-storia

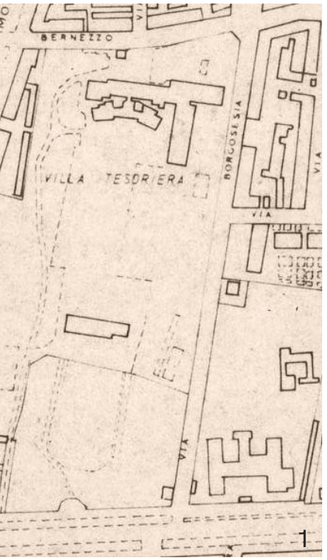


Foto 1. Pianta di Torino, 1974. Cascina di villa Sartirana detta "La Tesoriera".

[4] MuseoTorino, *Liceo Scientifico Carlo Cattaneo*
museotorino.it/view/s/6f47794da47241b8bc1c4a3f388cd060

LA STORIA. La storia del Liceo Scientifico Statale "Carlo Cattaneo" inizia nell'anno scolastico 1973-1974, quando l'istituto nasce con la denominazione di VII Liceo Scientifico. Già nell'anno successivo assume il nome di VIII Liceo Scientifico, mentre il 5 maggio 1978 viene ufficialmente intitolato a Carlo Cattaneo, filosofo e politico dell'Ottocento. Fin dalle origini, quindi, il liceo si inserisce nel panorama scolastico torinese come una realtà in progressiva definizione, destinata a crescere insieme alla domanda formativa del territorio.

Una fase particolarmente significativa della storia dell'istituto è legata alla sua prima sede, situata nell'area del parco della Tesoriera, lungo via Asinari di Bernezzo, inaugurata ufficialmente il 16 aprile 1980, dal professor Norberto Bobbio, grande filosofo torinese[3]. La collocazione all'interno del parco conferiva all'istituto un rapporto particolare con un contesto urbano e paesaggistico di valore, segnato dalla presenza della storica Villa Sartirana, conosciuta come "La Tesoriera".

Nonostante l'area di pregio, la sede scolastica non coincideva con la villa storica, ma con un edificio prefabbricato dotato di palestra annessa, accessibile dal civico 21A di via Asinari di Bernezzo. Questo edificio ha ospitato per diversi anni la sede centrale del liceo, rappresentando il primo riferimento stabile dell'istituto.

Con il passare degli anni, la crescita della popolazione scolastica dovuta all'evoluzione della normativa scolastica (cfr. Capitolo 1), rese sempre più evidente la necessità di disporre di spazi più ampi e adeguati. In questo processo si inserisce l'acquisizione della succursale di via Postumia nell'anno scolastico 1988-1989[3], che permise all'istituto di ampliare la propria capacità ricettiva e di rispondere alle nuove esigenze organizzative. Questa scelta, seppur necessaria, introduceva già una configurazione distribuita su più sedi, destinata a incidere sul funzionamento quotidiano della scuola.

Un ulteriore passaggio fondamentale avviene nell'anno scolastico 1996-1997, quando il liceo trasferisce la propria sede centrale nell'attuale edificio di via Sostegno. Dopo il trasferimento, il fabbricato della sede storica venne demolito e l'area risulta oggi occupata da un campo da bocce[4]. Il trasferimento segna il passaggio da una sede collocata in un contesto storico-paesaggistico, ma progressivamente non più sufficiente dal punto di vista funzionale e dimensionale, a una struttura più ampia e maggiormente orientata all'uso scolastico.

L'evoluzione del Liceo Cattaneo mostra quindi una scuola cresciuta attraverso successivi adattamenti logistici: dalla prima sede nel parco della Tesoriera, alla succursale di via Postumia, fino all'attuale sede di via Sostegno. Questa sequenza evidenzia come il tema della disponibilità, della qualità e dell'organizzazione degli spazi abbia accompagnato la storia dell'istituto fin dalle sue origini, diventando ancora oggi uno degli aspetti centrali della riflessione progettuale.

Foto 2. Norberto Bobbio (1909-2004).

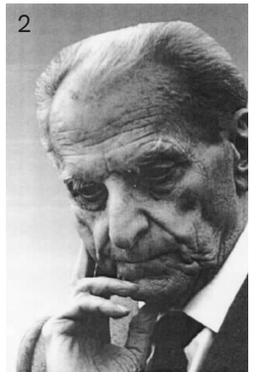






Foto 5. La Sede Succursale in Via Postumia 57/60.

LA SCUOLA. L'organizzazione del Liceo Scientifico Carlo Cattaneo riflette la complessità di un istituto di grandi dimensioni, articolato su due sedi e caratterizzato da un'ampia offerta formativa. Questa configurazione, nata per rispondere alla crescita della popolazione scolastica e alla necessità di maggiori spazi, è oggi uno degli aspetti più rilevanti nella lettura del funzionamento complessivo della scuola.
L'identità formativa dell'istituto si fonda sulla natura liceale e scientifica del percorso di studi, con un modello educativo che affianca la cultura umanistica a quella scientifica, con particolare attenzione alla matematica, alle discipline fisiche, chimiche e biologiche e ai rispettivi metodi di indagine. L'offerta formativa comprende il Liceo Scientifico di ordinamento, il Liceo Scientifico opzione Scienze Applicate e il percorso Esabac.

Il liceo ha una consistenza numerica rilevante nel panorama torinese: conta 1489 alunni distribuiti in 66 classi, con una media di circa 22 studenti per classe. A questi dati si affianca la presenza di 27 docenti, con un rapporto medio di circa 30 studenti per insegnante[5]. Una comunità scolastica di queste dimensioni richiede una dotazione spaziale articolata, capace di rispondere non solo alle esigenze della didattica ordinaria, ma anche alle diverse attività laboratoriali, collettive e ricreative che fanno parte della quotidianità dell'istituto.

La sede centrale dispone infatti di una palestra e di diversi laboratori dedicati alla fisica, alla chimica, all'informatica e alle lingue, oltre a un'aula polivalente, una biblioteca, un auditorium, una sala stampa, un'infermeria, e spazi esterni attrezzati per le attività sportive. Anche la succursale di via Postumia ha una propria dotazione di spazi didattici e di servizio, tra cui auditorium, palestra, laboratori, biblioteca, sala stampa, infermeria, aula video polivalente e spazi verdi attrezzati. La presenza di servizi e attrezzature in entrambe le sedi consente quindi di svolgere gran parte delle attività senza richiedere continui spostamenti degli studenti tra i due edifici, garantendo a ciascuna sede una propria autonomia funzionale.

La presenza della succursale costituisce, da questo punto di vista, un elemento ambivalente. Da un lato ha permesso alla scuola di ampliare la propria capacità ricettiva, dall'altro, la separazione fisica tra le sedi introduce una frammentazione funzionale che incide sulla quotidianità dell'istituto. Se per gli studenti la dotazione autonoma delle due sedi riduce la necessità di spostamento, per docenti e personale scolastico la gestione rimane più complessa, soprattutto in relazione agli orari e alla necessità di muoversi tra i due edifici. Questi spostamenti introducono infatti tempi di trasferimento, difficoltà nel coordinamento delle attività e una minore continuità nell'uso degli ambienti scolastici. La distanza tra le due sedi non rappresenta quindi soltanto una questione spaziale, ma incide anche sulla gestione dei tempi e sulle relazioni tra le diverse componenti della comunità scolastica, rendendo più complessa una gestione pienamente unitaria dell'istituto.

Alla luce di questi elementi, il Liceo Cattaneo si presenta tuttavia come una scuola solida in crescita, riconosciuta e dotata di una forte identità culturale, ma al tempo stesso segnata da criticità spaziali legate alla divisione su più sedi. Il progetto sviluppato nell'ambito del presente lavoro di tesi si inserisce in questo quadro con l'obiettivo prioritario di rafforzare l'unitarietà dell'istituto, attraverso un ampliamento volto a riunire le attività in un unico edificio e la riqualificazione della sede centrale, intervenendo sugli spazi esistenti per renderli più efficienti ed adeguati alle attuali esigenze della scuola.

[5] Liceo Carlo Cattaneo, *I numeri della Scuola - la scuola in numeri* liceocattaneotorino.edu.it/la-scuola/i-numeri-della-scuola

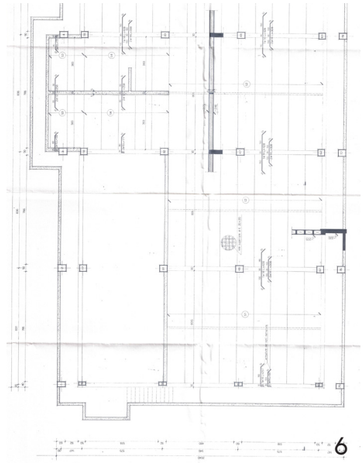


Foto 6. Estratto tavola d'archivio inerente il collaudo strutturale dei pilastri.

Foto 8. Estratto tavola d'archivio della planimetria del lotto, maggio 1981.

6.2 IL CORPO AULE

L'edificio della sede centrale, realizzato nei primi anni Settanta quindi agli inizi del boom dell'edilizia scolastica (cfr. Capitolo 1), è uno degli otto edifici gemelli realizzati a Torino secondo il medesimo modello tipologico e costruttivo, caratterizzato da un corpo lineare rettangolare con annessa palestra collegata da un corridoio esterni coperto. L'organizzazione dell'edificio segue un'impostazione interna tipica dell'edilizia scolastica del periodo, nella quale chiarezza distributiva e regolarità costruttiva costituiscono i principi ordinatori dell'intero organismo.

L'edificio si sviluppa in quattro livelli, organizzati internamente dalla logica chiara e razionale "a pettine" in cui gli spazi, quali aule, laboratori e servizi, si dispongono lungo le fasce laterali dell'edificio, mentre un corridoio centrale è il principale asse distributivo interno insieme ai tre vani scala. Questa sequenza di spazi serviti e spazi serventi, espressione della ripetibilità e standardizzazione che caratterizza il modello tipologico, pur restituendo un edificio facilmente leggibile e altamente funzionale, determina tuttavia una forte serialità degli ambienti, determinata dalla modularità degli elementi strutturali.

Foto 7. Prospetto dell'edificio con l'ingresso principale.



La natura costruttiva dell'edificio, è infatti caratterizzata da una struttura principale a telaio in calcestruzzo armato che si sviluppa secondo una maglia regolare di pilastri, alla quale si associano solai prefabbricati di tipo alveolare e pannelli di facciata sempre in calcestruzzo armato prefabbricato. La regolarità della struttura non è quindi soltanto un dato tecnico, ma contribuisce direttamente alla definizione degli spazi interni e del ritmo compositivo dei prospetti.
Il sistema di facciata rende leggibile questa struttura anche all'esterno. Nei piani seminterrato, rialzato e primo, i tamponamenti risultano arretrati rispetto al filo dei pilastri, lasciando questi ultimi a vista e creando una fascia di profondità tra la struttura e il piano della facciata, in cui la scansione regolare è accompagnata dai pannelli prefabbricati di finitura. Al secondo piano, invece, il rapporto tra struttura e tamponamento cambia: la facciata si porta in avanti fino al filo dei pilastri, che risultano così inglobati nel prospetto, dando origine a una fascia continua, tuttavia movimentata dalla maggiore sporgenza dei pannelli prefabbricati di finitura, caratterizzati da una conformazione più plastica, quasi trapezoidale, che conferisce profondità e rilievo alla parte superiore dell'edificio (Foto X). La ripetizione delle aperture, dei pannelli prefabbricati e degli elementi strutturali, insieme alla fascia conclusiva del secondo piano, determina un'immagine architettonica ordinata e riconoscibile, nella quale struttura, distribuzione interna e involucro risultano strettamente connessi.

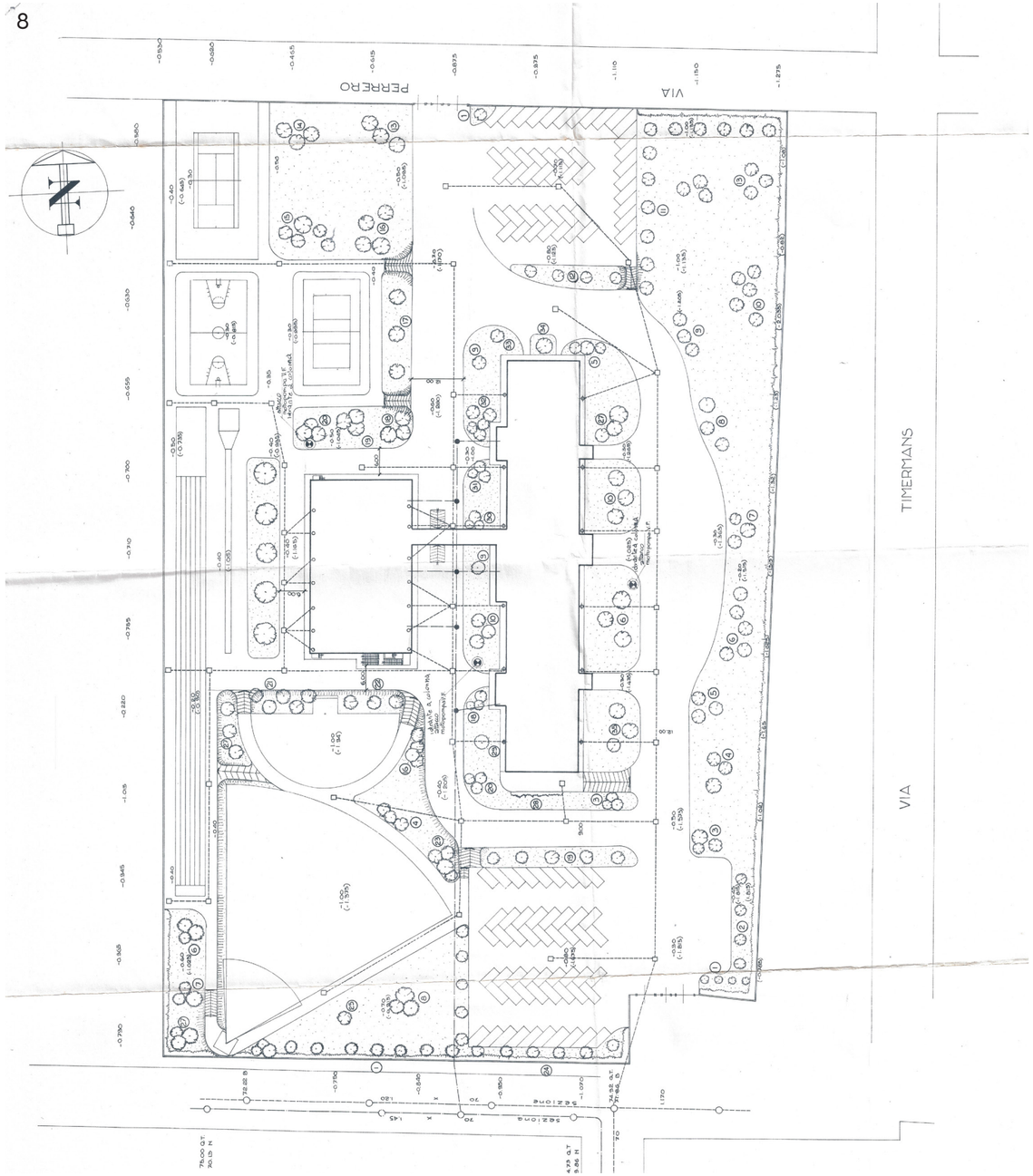


Foto X. Il cancello di ingresso dallo spazio pubblico della strada.



ACCESSI, SOGLIE URBANE E FLUSSI. Il lotto della sede centrale del Liceo Carlo Cattaneo si estende per una superficie di circa XXX mq e l'edificio, collocato in posizione pressoché centrale e arretrato rispetto il limite stradale, risulta circondato da un'ampia area libera. L'accesso avviene da via Sostegno attraverso un varco unico, utilizzato sia come ingresso pedonale sia che come ingresso carrabile. Il cancello segna il passaggio tra lo spazio pubblico della strada e l'area di pertinenza scolastica, introducendo a un ampio spazio esterno prevalentemente asfaltato che precede l'edificio, che genera una soglia facilmente riconoscibile.
Questo grande spazio svolge però funzioni diverse e in parte sovrapposte: accesso degli studenti, sosta, transito e manovra dei veicoli e motocicli, collegamento verso l'ingresso principale. La sua natura è quindi soprattutto funzionale, più che propriamente collettiva o rappresentativa. La sovrapposizione di queste funzioni diventa particolarmente evidente nelle fasce orarie di maggiore affluenza, quando l'elevata concentrazione di persone e mezzi rende meno definita la gerarchia degli spazi e dei percorsi. Ne deriva una condizione poco ordinata, nella quale gli ambiti destinati al transito e alla sosta risultano scarsamente distinti, con ricadute sulla leggibilità complessiva dello spazio e sulla sicurezza percepita.

L'ingresso principale dell'edificio, collocato oltre l'area esterna, è segnato da una pensilina e da un fronte vetrato, ed è affiancato da due ingressi laterali con scalinate, anch'essi coperti da pensilina. Pur risultando riconoscibile, non è preceduto da uno spazio di filtro chiaramente dedicato agli studenti, per cui il passaggio dall'area esterna all'edificio avviene senza una soglia spaziale definita.
Nel complesso, la sequenza di accesso risulta quindi leggibile, ma priva di una gerarchia spaziale dei flussi marcata. L'ampia area antistante costituisce una risorsa importante per il funzionamento della scuola, ma il suo attuale carattere prevalentemente funzionale non valorizza pienamente il rapporto tra lo spazio esterno e l'ingresso dell'edificio.

ATRIO, DISTRIBUZIONE INTERNA E CORRIDOI. Superato l'ingresso principale, l'atrio costituisce il primo spazio interno della sede centrale. Si presenta come un ambiente ampio e facilmente leggibile, posto in continuità con il fronte vetrato e con i principali collegamenti interni. La presenza degli accessi agli uffici, dei collegamenti verticali e dei corridoi lo configura come il principale nodo distributivo del piano, ulteriormente definito dalla cartellonistica e dalla disposizione degli elementi di servizio. La sua qualità spaziale risiede quindi soprattutto nella chiarezza e nell'efficienza dell'organizzazione, mentre appare meno caratterizzato come luogo di sosta, incontro o relazione.

Questo carattere prevalentemente distributivo prosegue nei corridoi, che costituiscono il principale sistema di connessione tra i diversi ambienti dell'edificio. La loro conformazione risponde al modello distributivo aula-corridoio-aula, con percorsi lunghi e rettilinei lungo i quali gli accessi ai diversi ambienti si susseguono secondo un ritmo regolare, definendo una sequenza continua e ripetitiva di porte. La ripetitività della sequenza garantisce un'organizzazione facilmente comprensibile, ma limita al contempo la possibilità di attribuire ai corridoi funzioni ulteriori rispetto al semplice collegamento. Sebbene in alcuni tratti le dimensioni siano generose, bacheche, avvisi, tavoli e attrezzature puntuali non sono sufficienti a configurare veri e propri luoghi di permanenza, socialità, pausa o studio informale. I corridoi risultano quindi spazi intensamente utilizzati, ma prevalentemente come luoghi di attraversamento, lasciando inespresse le loro potenzialità come spazi relazionali.
Inoltre, la loro posizione interna alla pianta ne determina il carattere prevalentemente chiuso: non presentano infatti aperture verso l'esterno, così come le testate sui lati corti, dove la presenza delle porte di accesso alle scale di sicurezza esterne sostituisce le aperture finestrate.
Gli spazi di distribuzione, pur risultando efficaci nel garantire orientamento e connessione tra le diverse funzioni, presentano quindi una limitata capacità di configurarsi come luoghi autonomi di permanenza e relazione. Ne emerge un sistema prevalentemente funzionale, nel quale la chiarezza organizzativa e la regolarità prevalgono sulla qualità dei potenziali spazi collettivi.



Foto X. Il corridoio del secondo piano.

Foto X. L'atrio con la scala centrale, a sinistra il corridoio degli uffici amministrativi, a destra per l'auditorium e locali di archivio.





Foto X. Aula del primo piano.

SEMINTERRATO. Le aule e i laboratori sono distribuiti lungo i fronti del corpo di fabbrica e direttamente accessibili dai corridoi longitudinali, e seguono una disposizione regolare coerente con la maglia modulare della struttura. Sebbene presentino dimensioni differenti, gli spazi didattici mantengono un'impostazione prevalentemente tradizionale, nella quale la disposizione degli arredi e il rapporto frontale tra cattedra e banchi definiscono in larga misura l'organizzazione dell'aula. Questa configurazione garantisce semplicità d'uso e chiarezza distributiva, ma lascia margini limitati alla riconfigurazione degli ambienti in funzione di attività differenti. Anche le aule di maggiori dimensioni, infatti, non corrispondono necessariamente a una maggiore flessibilità, poiché la disposizione degli arredi, la posizione della cattedra e la necessità di accogliere gruppi numerosi condizionano la possibilità di utilizzare lo spazio secondo modalità diverse.

Foto X. Ostruzione visiva in un'aula del piano seminterrato.

I laboratori presentano un grado maggiore di specializzazione, legato alle specifiche attività che vi si svolgono, ma sono inseriti all'interno della medesima struttura distributiva delle aule. La differenziazione funzionale degli ambienti non si traduce quindi in una sostanziale variazione dell'organizzazione spaziale, che risponda alle specifiche esigenze delle attività che vi si svolgono. La varietà delle attività ospitate non trova quindi piena corrispondenza nella configurazione spaziale degli ambienti, che rimane fortemente condizionata dalla struttura distributiva e modulare dell'edificio.

Una condizione distinta riguarda il piano seminterrato, dove, accanto ad archivi e locali tecnici, sono presenti anche gli ambienti destinati alle attività didattiche e laboratoriali. Il rapporto con l'esterno è qui più limitato rispetto ai livelli superiori: le aperture, collocate a quota ribassata, risultano in alcuni casi parzialmente schermate dai dislivelli e dalla vegetazione, oltre che ad altri elementi esterni o altre ostruzioni poste in prossimità dell'edificio. Ne deriva una condizione di maggiore chiusura e una disponibilità di luce naturale generalmente più ridotta, che incide sulla qualità percettiva e sul carattere degli ambienti, distinguendoli sensibilmente da quelli dei livelli superiori.

Foto X. Laboratorio di chimica al secondo piano.



Foto X. L'auditorium al piano rialzato.

Foto X. Nelle aule del secondo piano sono presenti dei lucernari circolari che portano luce zenitale.



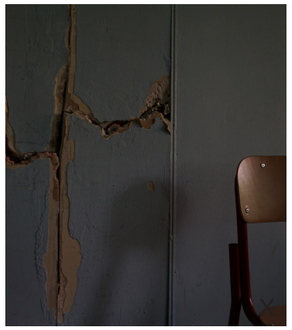


Foto X. Partizione tra aule danneggiata.

Foto X. Interruzione della partizione tra aula e corridoio, per il passaggio delle tubazioni.



PARTIZIONI, FINITURE E IMPIANTI A VISTA. Il rilievo fotografico evidenzia un'immagine disomogenea dello stato attuale, con diverse criticità diffuse in tutti gli ambienti interni dell'edificio, relative soprattutto allo stato delle partizioni, la qualità delle finiture e la grande presenza a vista delle tubazioni degli impianti. Questi elementi, seppur non interessando la struttura portante dell'edificio, incidono sulle prestazioni e sulla qualità percettiva degli ambienti.

Le pareti interne mostrano i segni dell'uso quotidiano e di interventi manutentivi puntuali, evidenti in superfici danneggiate, distacchi di intonaco, rappezzi e discontinuità materiche. La stratificazione di questi interventi nel tempo ha prodotto una finitura non uniforme, nella quale le diverse riparazioni e integrazioni risultano ancora chiaramente leggibili. Questa condizione è stata facilitata dalla modesta qualità dei materiali di finitura, particolarmente evidente negli ambienti igienici e negli spazi maggiormente sottoposti a usura. Un materiale particolarmente ricorrente nell'edificio è la pavimentazione in gomma a bolli, utilizzata in diversi ambienti molto frequentati e con funzioni differenti: scale, servizi igienici, corridoi degli spogliatoi, scale interne e gradoni degli spalti della palestra. La sua presenza così estesa lo rende uno degli elementi materici più riconoscibili dell'edificio. Tuttavia, pur garantendo una certa resistenza all'usura, la sua superficie goffrata rende più difficili le operazioni di pulizia e in presenza di acqua può risultare scivolosa, condizioni poco compatibili con l'impiego del materiale nei servizi igienici e sulle scale.
Nei servizi igienici, inoltre, sono presenti controsoffitti modulari, i cui pannelli in diversi punti non sono correttamente riposizionati o disallineati, contribuendo ulteriormente alla percezione di una ambiente trascurato, la cui manutenzione non è omogenea.

L'elemento visivamente più impattante è la diffusa presenza degli impianti a vista, che risultano numerosi e articolati, e il cui passaggio ha comportato modifiche puntuali alle partizioni o agli elementi di chiusura, come porte parzialmente tagliate o interrotte per consentire l'attraversamento delle tubazioni tra i corridoi e le aule. Tali interventi non incidono soltanto sull'aspetto estetico delle partizioni, ma ne compromettono anche le prestazioni acustiche, riducendo l'isolamento tra gli ambienti. Tra alcune aule e corridoi si ha quindi una propagazione dei suoni e rumori che rende più difficoltoso lo svolgimento delle attività didattiche.
Al piano seminterrato queste tubazioni e canalizzazioni occupano in modo significativo la parte superiore dei corridoi, arrivando a costituirne visivamente il principale elemento di soffitto. La loro disposizione e rilevante quantità rendono inoltre difficoltosa una loro eventuale protezione e copertura mediante controsoffittatura, in quanto comporterebbe un abbassamento della quota del soffitto al di sotto dei 2,70 m. La presenza diffusa restituisce l'immagine di un edificio progressivamente adattato a esigenze tecniche successive alla configurazione originaria. Gli impianti sono infatti sovrapposti all'architettura esistente più che integrati in essa, alterandone la percezione unitaria e rendendo evidente la distanza tra la chiarezza dell'impianto originario e le esigenze tecniche maturate nel tempo.



Foto X. Distacco e rappezzo improvvisato delle crepe nella finitura negli spogliatoi della palestra.

Foto X. Servizi igienici al secondo piano.



Foto X. Corridoio del piano seminterrato. Gli impianti rappresentano il principale elemento visivo del soffitto.





Foto X. Attraversamento di tubazioni e disomogeneità delle finiture delle partizioni in un aula del primo piano.

Foto X. Le aule del secondo piano hanno dimensioni lievemente maggiori e presentano delle condizioni migliori rispetto gli altri piani, sia nello stato delle partizioni che nella presenza ridotta di tubazioni di passaggio.



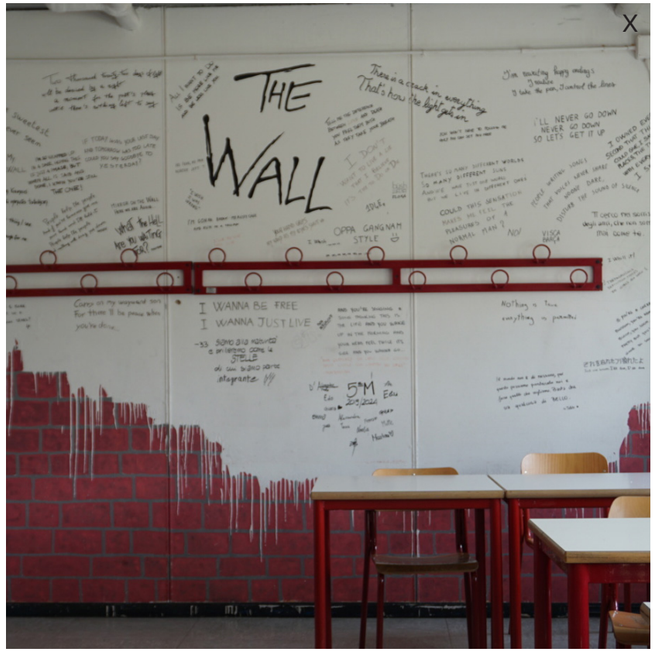


Foto X. Le partizioni delle aule, soprattutto del piano rialzato e del primo piano, sono caratterizzate da diversi murales realizzati dagli studenti nel 2014 e che continuano ad essere personalizzate da ogni classe.



Foto X. Rappezzi e disomogeneità nella finitura delle partizioni e dei solai, per l'attraversamento di tubazioni e impianti e vecchie manutenzioni.

6.3 LA PALESTRA

L'organizzazione tipologica dell'edificio si basa sulla separazione tra il corpo delle aule e la palestra, concepita come un volume autonomo e dotato di propri servizi, collegato all'edificio principale mediante un corridoio esterno coperto.

La palestra presenta la stessa struttura del corpo aule, costituita da un telaio in calcestruzzo armato organizzato secondo una maglia regolare di pilastri. La principale differenza costruttiva tra i due corpi edilizi risiede nel ricorso, nella palestra, a un impiego maggiore di elementi prefabbricati. Sono infatti prefabbricati i plinti di fondazione, le travi a doppia T della copertura e i muri perimetrali di tamponamento. Le partizioni interne sono invece realizzate in laterizio, l'intera struttura delle scale di collegamento verticale e i gradoni degli spalti sono in calcestruzzo armato.

Foto X. Vista della palestra da un aula del secondo piano.

X



La configurazione rettangolare della palestra è articolata internamente secondo una suddivisione longitudinale dello spazio, con una porzione, corrispondente a circa un terzo della superficie, destinata ai servizi igienici e ai locali accessori. In quest'area trovano posto gli spogliatoi suddivisi in uno per i ragazzi e uno per le ragazze, l'infermeria, il magazzino e il locale tecnico destinato alla cabina di termoventilazione dell'impianto di riscaldamento. Al di sopra di questi ambienti si sviluppa il primo piano, in cui vi sono i gradoni degli spalti e un piccolo sgabuzzino.
Lo spazio interno destinato all'attività sportiva risulta piuttosto contenuto in rapporto all'utenza prevista. La palestra dispone di due campi di gioco: il primo è attrezzato per il minibasket e il calcio a cinque, con le relative segnature sovrapposte, mentre il secondo è destinato alla pallavolo e, più in generale, agli sport con rete. Le dimensioni ridotte dell'area di gioco rendono necessario un utilizzo a turni della struttura, con una sola classe alla volta, che in alcuni casi interessa anche durante l'orario pomeridiano.

All'esterno, la palestra è affiancata da diverse attrezzature sportive, tra cui una pista di atletica, una pista per il salto in lungo attualmente dismessa, due campi da basket e un campo da calcio. È presente anche una piattaforma destinata al getto del peso, anch'essa attualmente non utilizzata.

CORRIDOIO DI ACCESSO. L'accesso alla palestra avviene attraverso il corridoio esterno coperto che la collega al corpo principale della scuola. Tale spazio costituisce un elemento di connessione e, al tempo stesso, una vera e propria soglia tra i due corpi edilizi, consentendo di raggiungere la palestra direttamente dall'edificio scolastico.
L'accesso al corridoio dal corpo aule avviene attraverso una porta di sicurezza, così come quello dal corridoio alla palestra; dall'area di gioco si aprono altre due uscite di sicurezza direttamente verso l'esterno, mentre al primo piano vi è una terza uscita che conduce alla scala di emergenza esterna.

Il corridoio, pur svolgendo una sola funzione di collegamento, mantiene una configurazione di filtro a diretto contatto con l'esterno, grazie alle due aperture laterali e all'illuminazione naturale garantita dalle finestre e da un piccolo lucernario. La presenza di queste aperture contribuisce a definire il carattere intermedio dello spazio, distinguendolo dagli ambienti distributivi completamente interni del corpo aule e rafforzandone la funzione di transizione tra i due edifici.

Dal punto di vista costruttivo, il corridoio si distingue dal resto dell'edificio per la struttura in calcestruzzo armato lasciato a vista, caratterizzato da angoli stondati che conferiscono continuità visiva e strutturale. Questa particolare configurazione, presente esclusivamentein questo corpo edilizio, ne rafforza la riconoscibilità come elemento di collegamento, distinguendolo dalla geometria più regolare degli ambienti interni. Al suo interno, il corridoio non presenta intonaci né ulteriori rivestimenti: le superfici in calcestruzzo sono lasciate a vista come all'esterno, mentre la pavimentazione ha una finitura in gomma a bolli, materiale ricorrente negli spazi di servizio del corpo aule, quali le scale e i servizi igienici.



X

Foto X. L'interno del corridoio esterno coperto.

La natura di spazio esterno coperto, associata all'assenza di isolamento termico e di impianti di riscaldamento, determina tuttavia condizioni interne di comfort limitate, soprattutto durante i mesi invernali, in cui il corridoio si presenta come uno spazio particolarmente freddo. Questa condizione ne rafforza la percezione come luogo esclusivamente di passaggio: il transito da un ambiente interno riscaldato a un altro attraverso uno spazio più freddo e privo di ulteriori funzioni, rende infatti immediatamente percepibile la sua natura di soglia e di collegamento.
L'esperienza spaziale del corridoio è quindi legata non solo alla sua configurazione funzionale, costruttiva e materica, ma anche alla variazione delle condizioni ambientali che accompagna il passaggio tra il corpo aule e la palestra.



Foto X. Ingresso alla palestra.



Foto X. Spogliatoio dei ragazzi.

LOCALI ACCESSORI. I locali di servizio della palestra, tra cui spogliatoi, infermeria, magazzini e locali tecnici per la termoventilazione, si sviluppano lungo uno dei lati maggiori del corpo rettangolare della palestra.

Appena entrati nella palestra, sulla sinistra si apre il corridoio di accesso agli spogliatoi, mentre frontalmente si trova la scala che conduce al primo piano, dove sono collocati i gradoni degli spalti.
A destra della scala, una grande porta vetrata introduce a uno spazio filtro dal quale, attraverso due ulteriori porte vetrate, si accede alle due principali aree di gioco. La distribuzione degli spazi accessori si organizza quindi intorno a questo nodo centrale, dal quale si raggiungono le diverse funzioni della palestra.

I locali di servizio risultano distinti in relazione ai due spazi di gioco. In corrispondenza dell'area destinata alla pallavolo si affacciano l'infermeria, un piccolo magazzino e un locale tecnico destinato alla termoventilazione; sul lato rivolto verso i campi da calcio e basket si trovano invece i due spogliatoi, un ulteriore magazzino e un secondo locale tecnico. Questa organizzazione concentra le funzioni di supporto lungo il perimetro della palestra, mantenendo libera e continua la superficie centrale destinata alle attività sportive.

Dal corridoio sulla sinistra si accede ai due spogliatoi, dai quali è possibile raggiungere direttamente l'area di gioco principale. L'interno degli spogliatoi è organizzato in uno spazio principale destinato al cambio e in un ambiente separato per i servizi igienici. La loro configurazione è inoltre condizionata dalla presenza dei gradoni degli spalti al piano superiore, che determina una porzione di solaio inclinata e un'altezza interna variabile. L'illuminazione naturale differisce tra i due spogliatoi: quello delle ragazze riceve luce in maniera indiretta, attraverso una sorta di soppalco posto nella parte superiore dell'ambiente, sul quale si affacciano le finestre dei muri perimetrali, protette da una griglia metallica; quello dei ragazzi, invece, è illuminato direttamente dalle finestre affacciate verso l'esterno.

L'organizzazione originaria degli spogliatoi risulta tuttavia oggi parzialmente compromessa: i servizi igienici dello spogliatoio delle ragazze è infatti inagibile e non viene utilizzato, rendendo necessario il ricorso a quelli presenti al piano seminterrato del corpo aule.

AREA DA GIOCO. Entrando nella palestra, lo spazio destinato al gioco appare immediatamente contenuto rispetto alle esigenze dell'utenza scolastica. La superficie disponibile è organizzata per ospitare attività differenti attraverso la sovrapposizione dei campi di calcio e basket e la separazione del campo di pallavolo mediante una rete. Sebbene la sovrapposizione dei campi costituisca una soluzione comune nelle palestre scolastiche e consenta di utilizzare lo stesso ambiente per più discipline, in questo caso le dimensioni ridotte dello spazio ne limitano l'utilizzo contemporaneo da parte di più classi o gruppi, rendendo necessario un uso prevalentemente alternato.

Anche le attrezzature riflettono questa condizione: le porte da calcio a cinque sono mobili, mentre i canestri sono fissi e ancorati alla copertura. La possibilità di rimuovere alcune attrezzature consente di adattare lo spazio alle diverse attività, ma non risolve il limite dimensionale dell'area di gioco.

La qualità percettiva dell'ambiente è inoltre influenzata dal rapporto con la luce naturale. Le aperture finestrate, di dimensioni relativamente ridotte, sono collocate nella parte alta delle pareti, in prossimità della copertura, integrate da una serie di lucernari trasversali disposti come fasce continue. La luce proveniente dall'alto contribuisce a illuminare in modo abbastanza uniforme l'area di gioco, ma la posizione delle finestre limita il rapporto visivo diretto con l'esterno, rendendo la palestra uno spazio prevalentemente introverso.
L'ampio volume interno e le superfici dure determinano inoltre un certo livello di riverbero, percepibile soprattutto durante le attività sportive.

Direttamente sull'area di gioco si affaccia il primo piano costituito dagli spalti a gradoni rivestiti in gomma a bolli con dei pannelli lignei sulle superfici destinate alla seduta, che ne distinguono la funzione dal piano di appoggio dei piedi. La gomma a bolli, pur garantendo continuità materica con la scala e una buona resistenza all'usura, può presentare alcune criticità soprattutto in uno spazio altamete frequentato come una palestra: la superficie goffrata può infatti risultare scivolosa in presenza di acqua e rende più difficoltose le operazioni di pulizia.
Il piano degli spalti beneficia di una maggiore disponibilità di luce naturale grazie alla presenza di una finestratura continua costituita da elementi scorrevoli.



Foto X. Area da gioco.

DEGRADO E USURA. Le condizioni attuali della palestra evidenziano un generale stato di usura delle finiture, riconducibile all'età dell'edificio all'intensità d'uso degli spazi e a una scarsa manutenzione e cura. Le superfici intonacate presentano in diversi punti porzioni mancanti, distacchi e discontinuità, dovuto anche all'impatto dei palloni durante le attività.
La pavimentazione dell'area di gioco presenta numerosi graffi e segni di usura, mentre negli spalti la superficie goffrata della gomma a bolli è in diversi punti fortemente consumata, con numerosi rilievi ormai appiattiti. Anche i pannelli lignei delle sedute degli spalti mostrano segni di usura e di utilizzo improprio, con scritte e incisioni lasciate dagli studenti, oltre a una generale difficoltà di pulizia legata alla natura porosa e alla conformazione della superficie.

Una condizione di scarsa manutenzione è particolarmente evidente nelle parti alte



Foto X. Parte alta della palestra in prossimità della copertura.

della palestra. Le travi della copertura, i lucernari e le finestre hanno accumuli di polvere, lanuggine e ragnatele, difficili da raggiungere durante le normali operazioni di pulizia. Alcune finestre risultano inoltre parzialmente oscurate mediante una verniciatura nera applicata sui vetri, presumibilmente per limitare l'ingresso della luce naturale. Gli infissi scorrevoli del primo piano sono anch'essi datati e presentano problemi di scorrimento, che ne limitano la piena funzionalità. La posizione elevata delle aperture e l'assenza di sistemi di apertura facilmente accessibili limitano non solo la manutenzione e pulizia, ma anche la possibilità di ricorrere alla ventilazione naturale.

Si aggiuge, inoltre, una presenza diffusa di attrezzature sportive depositate direttamente all'interno dello spazio di gioco o negli spazi distributivi. Materassini, porte da calcio e aste utilizzate per esercizi di equilibrio, e altri materiali, sono distirbuiti in maniera non organizzata nella palestra, suggerendo una capacità di deposito non sufficiente rispetto alla quantità di attrezzature necessarie alle attività, contribuendo a rendere meno ordinato lo spazio.

Anche alcuni elementi legati alla sicurezza mostrano modalità di gestione improprie. Le porte di emergenza dell'area di gioco vengono infatti talvolta mantenute chiuse mediante l'inserimento di una sedia nella maniglia antipanico, una soluzione provvisoria che sembra compensare l'assenza o il malfunzionamento di un sistema di autochiusura della porta.

Negli spogliatoi le condizioni delle finiture risultano altrettanto compromesse. I rivestimenti ceramici delle pareti presentano crepe, distacchi e discontinuità, in alcuni casi riparati mediante interventi provvisori con nastro adesivo, rendendo evidente una manutenzione puntuale e non risolutiva. Le porte mostrano diversi segni di usura e danneggiamento: alcune non garantiscono una corretta chiusura, mentre altre presentano ammaccature e deformazioni dei pannelli, oltre a maniglie danneggiate. Anche le finestre degli spogliatoi presentano condizioni analoghe a quelle dell'area di gioco, con accumuli di polvere, lanuggine e ragnatele, oltre a difficoltà di apertura che, insieme alla loro posizione, limitano la possibilità di garantire un adeguato ricambio naturale dell'aria.

Particolarmente critica è la condizione dei servizi igienici dello spogliatoio femminile, attualmente inagibili. Gli ambienti risultano scarsamente manutenuti e presentano condizioni di pulizia insufficienti: alcuni servizi sono privi di porta, mentre altri presentano ante danneggiate o prive di maniglia. La condizione complessiva evidenzia quindi un livello di manutenzione particolarmente ridotto, che ha reso questi ambienti non più utilizzabili.

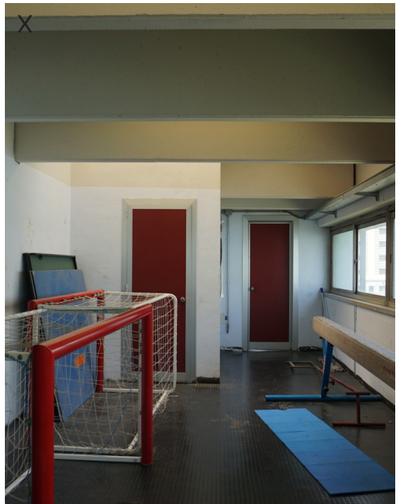


Foto X. Attrezzature disposte in maniera non organizzata nel primo piano.

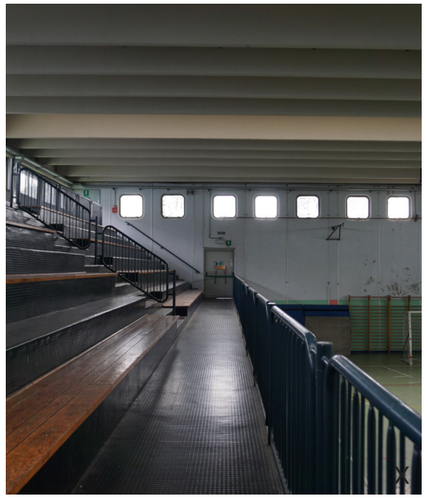
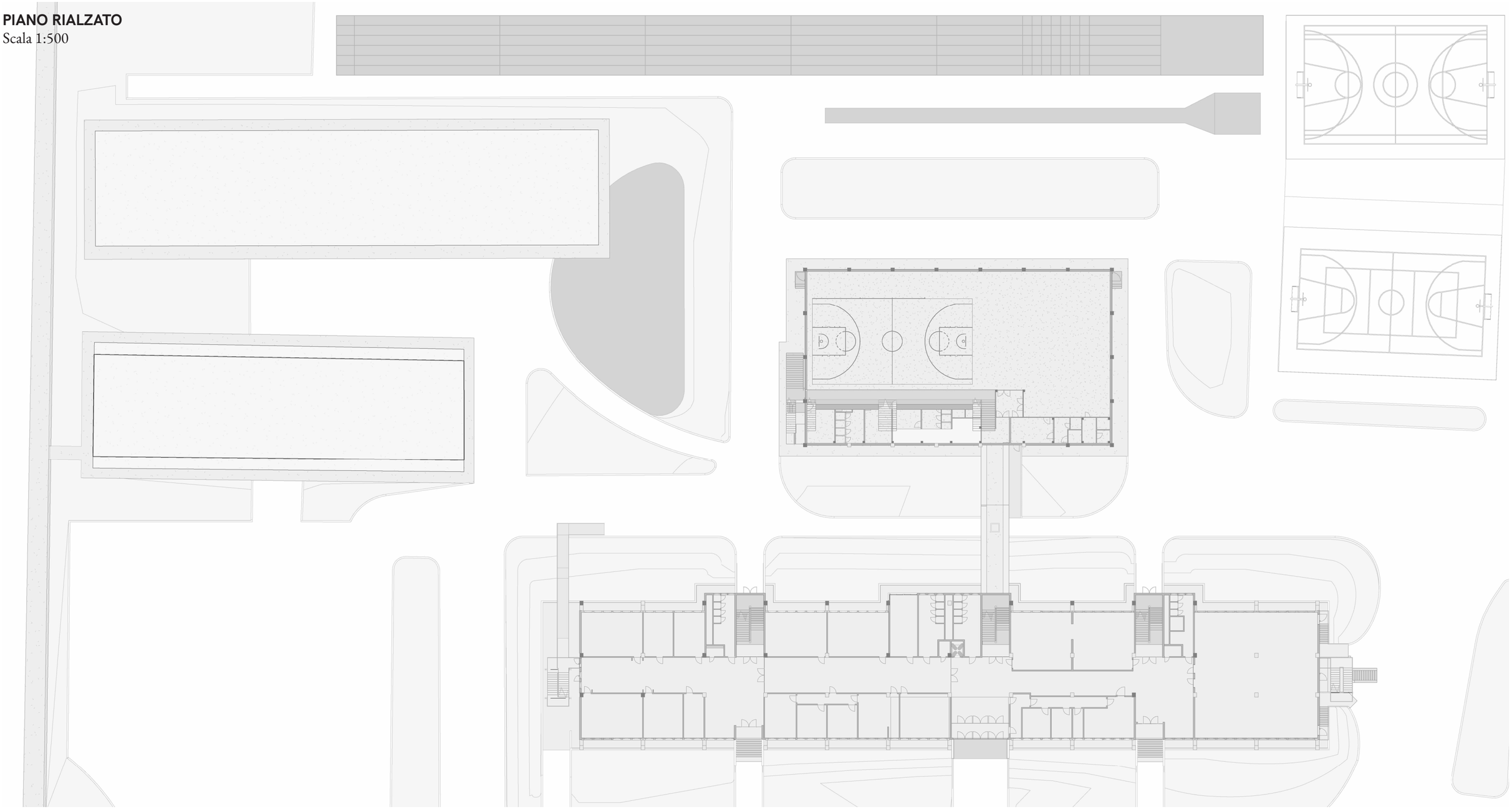


Foto X. Gli spalti sulla area di gioco.

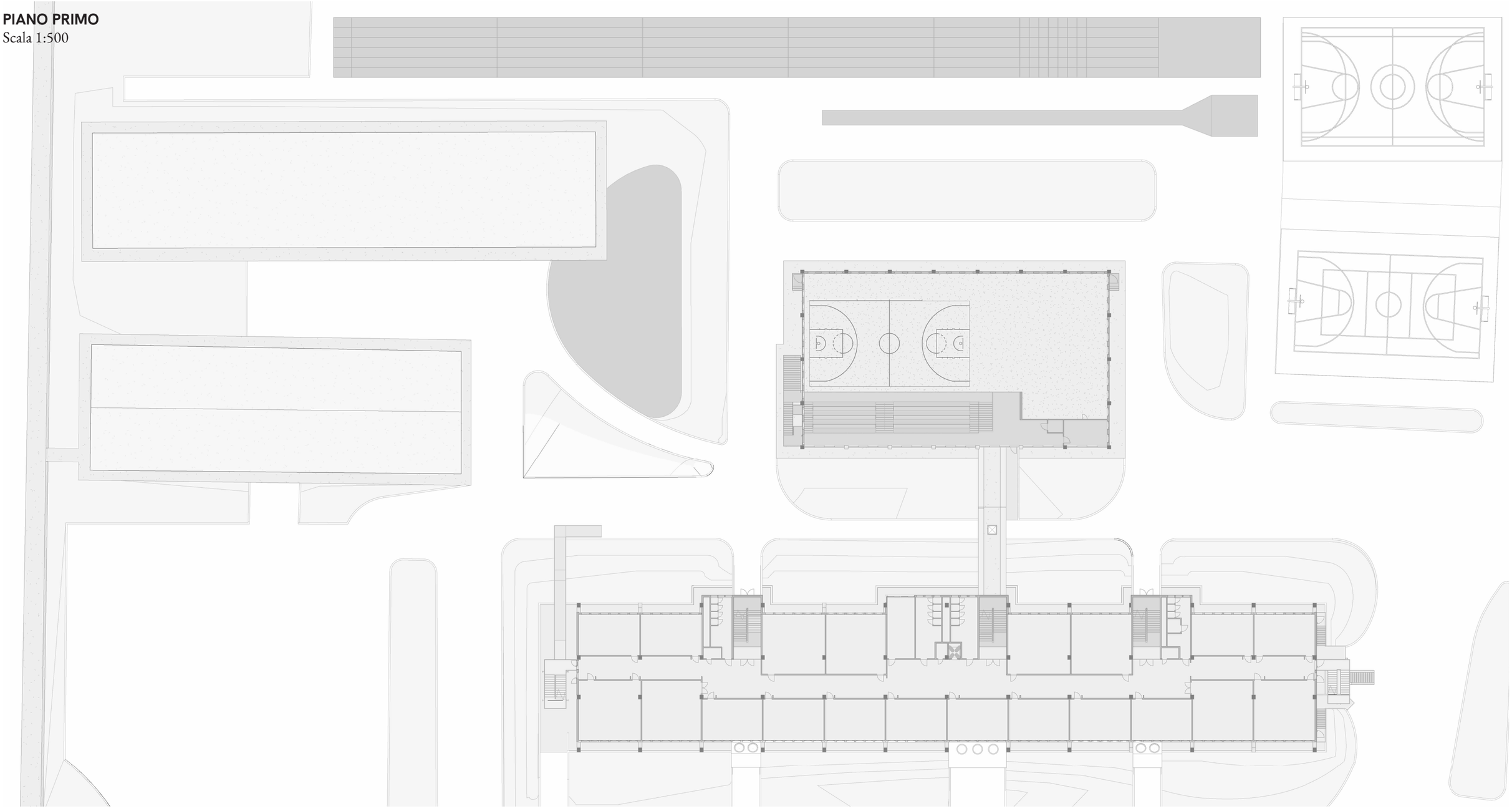
Foto X. I bagni inagibili dello spogliatoio delle ragazze.



PIANO RIALZATO
Scala 1:500



PIANO PRIMO
Scala 1:500



PIANO SECONDO
Scala 1:500

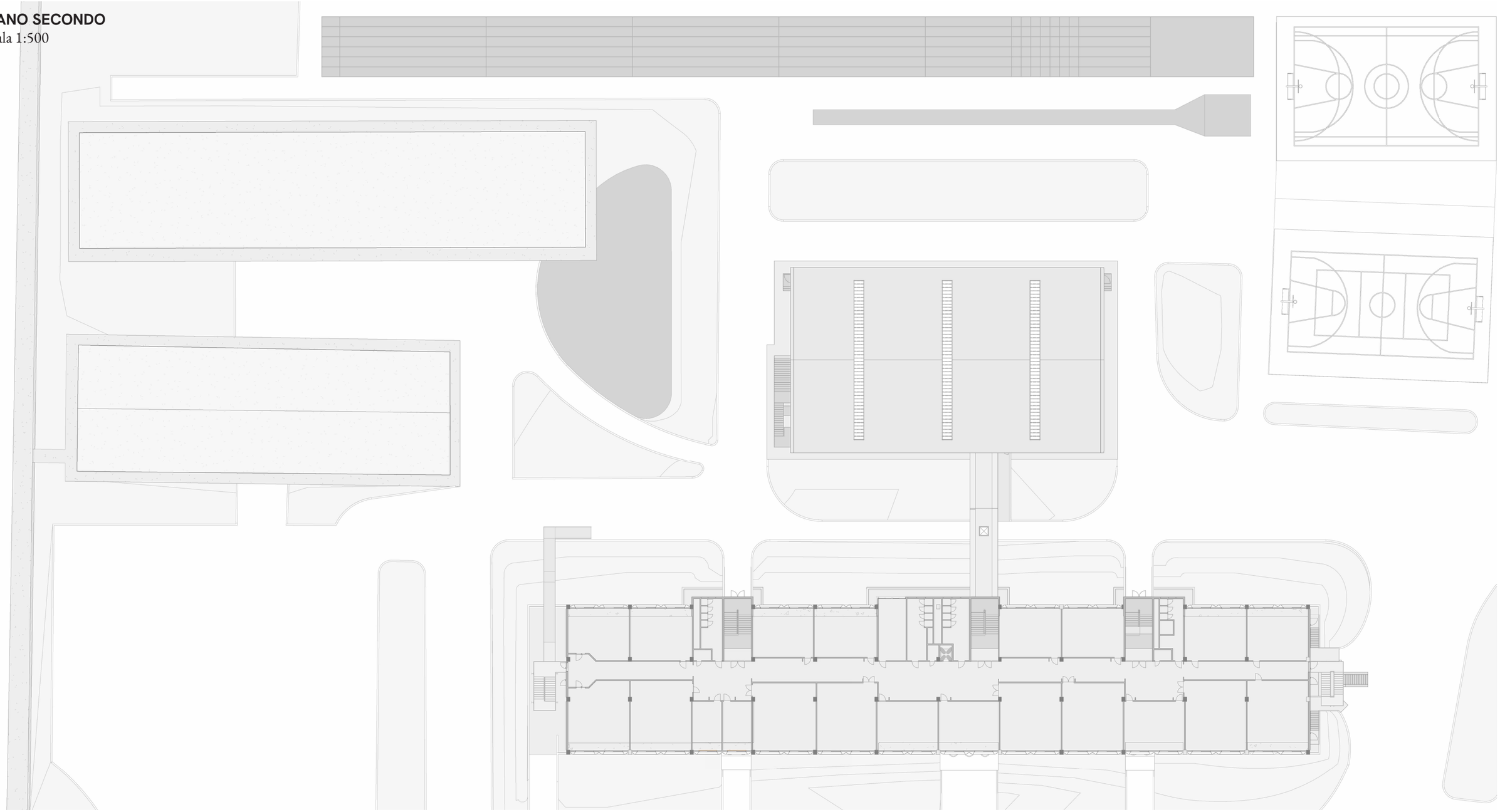




Foto X. Prospetto Est.

6.4 VERIFICHE PRESTAZIONALI

L'analisi prestazionale dello stato di fatto è stata condotta con l'obiettivo di definire le condizioni di partenza dell'edificio scolastico, considerando le caratteristiche del progetto originario e il contesto storico e progettuale nel quale esso è stato concepito. Realizzato negli anni Settanta, l'edificio risponde infatti a criteri costruttivi e prestazionali propri dell'epoca, in un periodo nel quale le tematiche relative all'efficienza energetica, al comfort ambientale e alla qualità degli spazi interni erano affrontate secondo esigenze e criteri differenti rispetto a quelli attuali, o ancora non sviluppate affatto.
La lettura delle prestazioni esistenti consente quindi di inquadrare le caratteristiche originarie dell'edificio e di comprenderne le ricadute sulle condizioni ambientali ed energetiche degli spazi scolastici, considerando le attuali esigenze da un punto di vista sia prestazionale che didattico.

La valutazione è stata articolata nei tre ambiti di verifica determinanti le condizioni di comfort ambientale e di prestazione energetica: illuminotecnico, acustico e fabbisogno energetico, con l'obiettivo di caratterizzare le condizioni esistenti e mettere in evidenza i principali aspetti che influenzano le prestazioni energetiche dell'edificio, nonchè la qualità e il comfort degli ambienti interni. L'analisi restituisce così un quadro complessivo dello stato originario dell'edificio, prendendone in esame porzioni rappresentative, che vengono riproposte nei capitoli successivi al fine di permettere un confronto tra le condizioni ante e post riqualificazione.

ILLUMINOTECNICA. L'analisi illuminotecnica dello stato di fatto è stata condotta su alcune aule campione collocate ai piani fuori terra della sede centrale. Il piano seminterrato, pur presentando criticità evidenti in termini di luce naturale, non è stato assunto come caso principale di verifica, in quanto la sua posizione parzialmente interrata e la presenza di ostruzioni esterne rendono infatti prevedibile una condizione sfavorevole. L'analisi dei piani superiori consente invece di verificare se problematiche legate alla quantità, alla distribuzione o al controllo della luce emergano anche negli ambienti teoricamente più favorevoli.

I locali oggetto d'analisi sono stati selezionati con l'obiettivo di rappresentare l'ambiente tipo, quindi il funzionamento quotidiano dell'edificio e le condizioni ordinarie della didattica, considerandone l'orientamento, le dimensioni e le caratteristiche tecnico-fisiche degli infissi e delle relative superfici trasparenti.
L'orientamento Est-Ovest dell'edificio ha costituito un criterio determinante nella selezione, in quanto determina condizioni di illuminazione molto diverse tra i due fronti principali dell'edificio. Le aule esposte a Est sono maggiormente interessate, nelle ore del mattino e quindi durante l'orario scolastico, dalla presenza di luce solare diretta e radente, con un conseguente incremento del rischio di abbagliamento. Le aule esposte ad Ovest, invece, ricevono radiazione solare diretta nelle ore pomeridiane; per tali ambienti si verifica la capacità di garantire adeguati livelli di illuminamento e il rispetto dei limiti prestazionali anche in condizioni di esposizione alla radiazione solare diretta al di fuori dell'orario scolastico.

Le verifiche sono state quindi effettuate sia al primo che al secondo piano, considerando complessivamente quattro aule: due al primo piano, rispettivamente esposte a Est e a Ovest, e due al secondo piano, anch'esse rispettivamente esposte a Est e a Ovest.

Per ciascuna aula sono stati considerati gli elementi che incidono maggiormente sul comportamento luminoso dello spazio: orientamento, profondità dell'ambiente, dimensione e posizione delle aperture, caratteristiche dei serramenti, materiali e colori delle superfici interne. Le caratteristiche di trasmittanza luminosa di pareti, soffitti, pavimenti e vetri contribuiscono infatti alla distribuzione della luce e alla sua percezione, influenzando sia i livelli di illuminamento sia l'eventuale presenza di contrasti o fenomeni di abbagliamento.
Tali elementi sono stati messi in relazione, al fine di valutare l'influenza di tutti gli elementi dell'involucro edilizio sulle condizioni di illuminazione naturale. Le principali superfici dell'aula sono state infatti identificate attraverso un sistema di codici, che ha consentito di metterne in relazione le rispettive caratteristiche materiche e luminose. Nelle tabelle riportate nelle pagine successive sono raccolti i relativi valori, permettendo di associare ciascun elemento ai propri parametri e di evidenziarne il contributo al comportamento illuminotecnico dello spazio.

I parametri utili a descrivere la disponibilità di luce diurna e il comfort visivo determinati nell'analisi, tra cui il *View Out Analysis*, che misura la qualità e la quantità della vista verso l'esterno; la verifica del raggiungimento di 300 lux sul 95% della superficie e di 500 lux sul 50% della superficie, richiesta dai protocolli di sostenibilità energetico-ambientale quali i Criteri Ambientali Minimi (CAM); l'*Annual Sunlight Exposure* (ASE), l'*Useful Daylight Illuminance* (UDI) e il *Daylight Glare Probability* (DGP), quest'ultimo utilizzato per la valutazione del rischio di abbagliamento. Questi parametri sono stati calcolati secondo una griglia di calcolo posta a 80 cm dal piano di calpestio, quota corrispondente indicativamente al piano di lavoro dei banchi scolastici, sui quali vengono svolte le principali attività visive, quali leggere, scrivere e consultare materiali didattici. La valutazione dell'abbagliamento è stata invece effettuata considerando il punto di osservazione più sfavorevole, posto a un'altezza di 120 cm dal piano di calpestio, così da rappresentare una condizione cautelativa rispetto alla posizione dell'utente durante le normali attività all'interno dell'aula.

I risultati delle verifiche sono organizzate in schede dedicate alle singole aule, nelle quali le rappresentazioni tridimensionali, le tabelle delle superfici e gli indicatori illuminotecnici forniscono un'immediata lettura della configurazione spaziale e illuminotecnica. Questa impostazione permette di confrontare ambienti diversi mantenendo una struttura di analisi omogenea: ogni aula viene descritta attraverso la stessa sequenza di informazioni, rendendo più chiara la relazione tra configurazione fisica, caratteristiche dell'involucro e risultati della verifica.

Foto X. Sistema di ombreggiamento interno in un'aula orientata ad Est.









	PROPRIETÀ GEOMETRICHE					PROPRIETÀ TERMOFISICHE							
	Aw,p [m^2]	Ag [m^2]	Af [m^2]	Ff	lg [m]	Uw [W/m^2K]	Uw+shut [W/m^2K]	ggl	ggl+sh	ε	Ug [W/m^2K]	Uf [W/m^2K]	ψ [W/mK]
\ F01	1,13	0,87	0,26	0,23	3,52	6,08	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0
\\ F02	1,13	0,87	0,26	0,23	3,52	1,2	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036
\ F03	3,86	3	0,85	0,221	9,84	6,07	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0
\ F04	8,55	6,08	2,47	0,288	24,04	6,15	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0
\ F05	0,81	0,61	0,2	0,247	2,96	6,1	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0
\ P_f01	26,86	15,2	11,66	0,434	74,54	6,32	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0
\ P_f02	14,06	7,44	6,62	0,471	37,14	6,37	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0
\ P_f03	11,47	6,69	4,78	0,417	40,05	6,3	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0

PROPRIETÀ GEOMETRICHE		PROPRIETÀ TERMOFISICHE			
Aw,p [m^2]	Area totale del serramento	**Uw [W/m^2K]**	Trasmittanza del serramento	**Ug [W/m^2K]**	Trasmittanza del vetro
Ag [m^2]	Area vetrata	**Uw+shut [W/m^2K]**	Trasmittanza con chiusura oscurante	**Uf [W/m^2K]**	Trasmittanza del telaio
Af [m^2]	Area del telaio	**ggl**	Fattore solare del vetro	**ψ [W/mK]**	Trasmittanza lineare vetro–telaio
Ff	Rapporto Af / Aw,p	**ggl+sh**	Fattore solare vetro + schermatura	**/**	Vetro singolo
lg [m]	Perimetro del vetro	**ε**	Emissività superficiale esterna	**//**	Vetro doppio

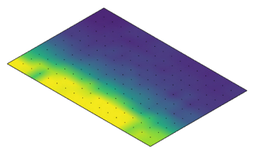
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



Elemento	Area [m²]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	45,9	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	43,03	Finitura	Grigio chiaro	0,55
Travi	10,01	C.a. a vista	Grigio scuro	0,15
Parete sud	16,83	Intonaco	Celeste	0,43
Parete ovest	24,96	Intonaco	Giallo	0,70
Parete nord	16,83	Intonaco	Bianco sporco	0,70
Parete est	18,16	Intonaco	Giallo	0,70
Porta	2,99	Alluminio	Verde scuro	0,18
Serramenti				F01

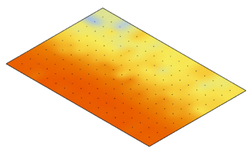
Parametro	Valore
Superficie utile	45,90 m²
Superficie vetrata	5,22 m²
WFR	14,80%
Riflettanza media (ρ_m)	0,46

FDLm



2,1%

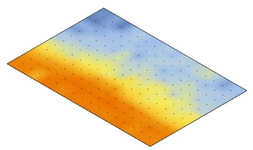
300lux sul 95% della superficie (EN 17037)



38,4% del tempo



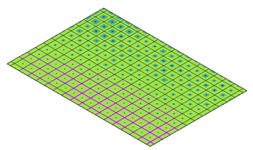
500lux sul 50% della superficie (EN 17037)



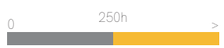
45,7% del tempo



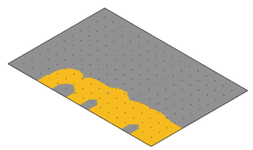
avg UDIA



69,3%



ASE 1000/250



22,2%



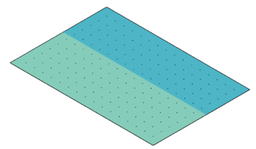
DPG



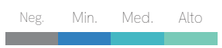
20,0%



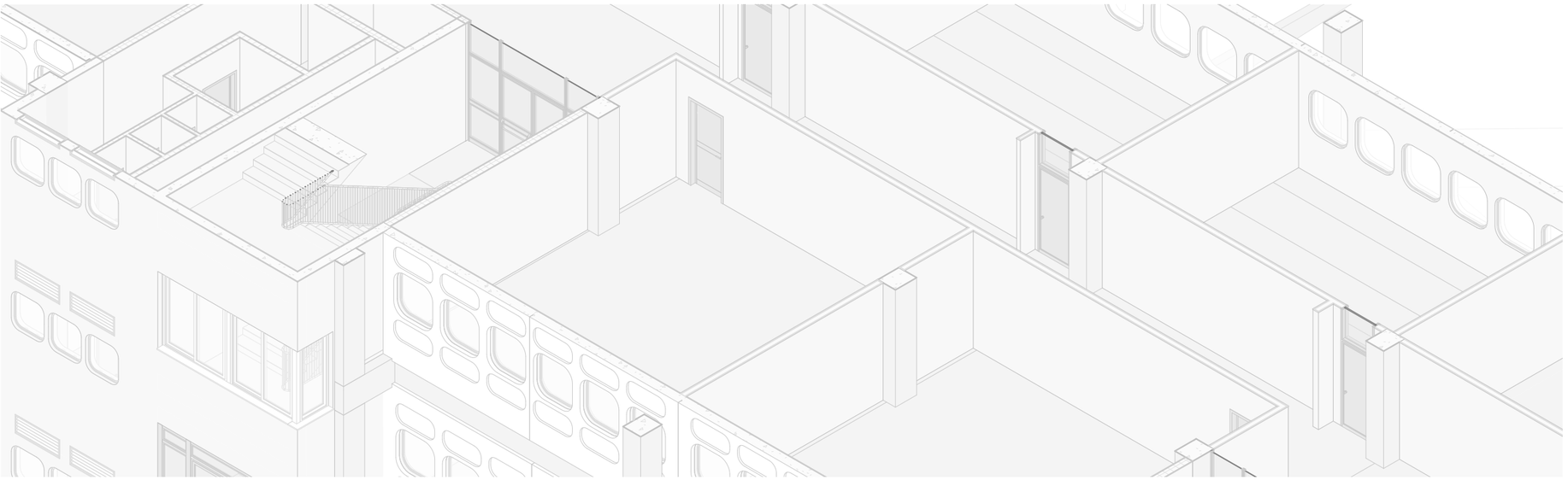
View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%



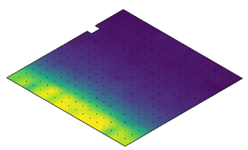
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA OVEST



Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	67,40	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	62,00	Finitura	Grigio chiaro	0,55
Travi	13,88	C.a. a vista	Grigio scuro	0,15
Parete sud	20,85	Intonaco	Celeste	0,43
Parete ovest	28,72	Intonaco	Giallo	0,70
Parete nord	16,93	Intonaco	Bianco sporco	0,70
Parete est	25,78	Intonaco	Giallo	0,70
Porta	4,65	Alluminio	Verde scuro	0,18
Serramenti				F01

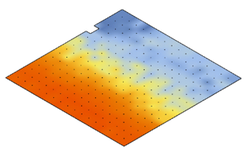
Parametro	Valore
Superficie utile	67,40 m^2
Superficie vetrata	5,22 m^2
WFR	7,70%
Riflettanza media (ρ_m)	0,44

FDLm



1,4%

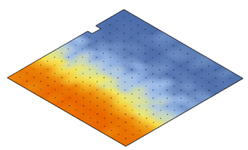
300lux sul 95% della superficie (EN 17037)



6,6% del tempo



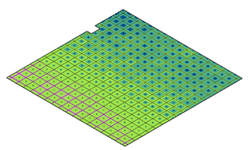
500lux sul 50% della superficie (EN 17037)



21,5% del tempo



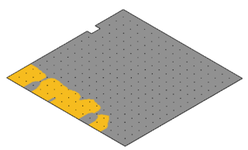
avg UDIA



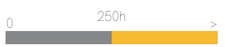
43,7%



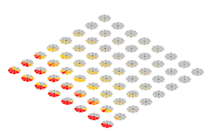
ASE 1000/250



11,0%



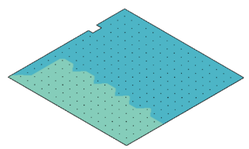
DPG



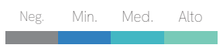
8,6%



View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%



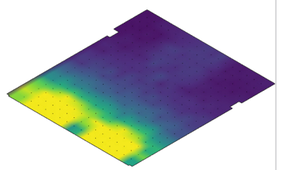
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



Elemento	Area [m²]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	78,1	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	71,87	Finitura	Grigio chiaro	0,55
Travi	16,13	C.a. a vista	Grigio scuro	0,15
Parete sud	28,25	Intonaco	Azzurro	0,43
Parete ovest	28,21	Intonaco	Giallo	0,70
Parete nord	29,74	Intonaco	Bianco sporco	0,70
Parete est	14,74	Intonaco	Giallo	0,70
Porta	2,01	Alluminio	Verde scuro	0,18
Serramenti				F02

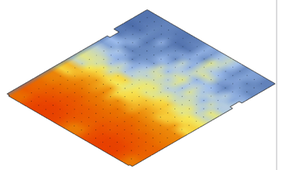
Parametro	Valore
Superficie utile	78,10 m²
Superficie vetrata	6,00 m²
WFR	7,70%
Riflettanza media (ρ_m)	0,43

FDLm



2,2%

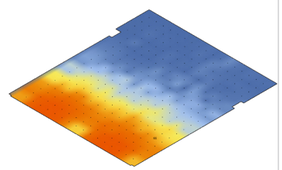
300lux sul 95% della superficie (EN 17037)



9,5% del tempo



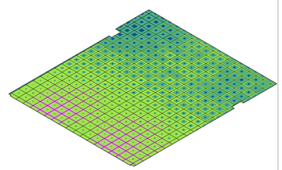
500lux sul 50% della superficie (EN 17037)



31,7% del tempo



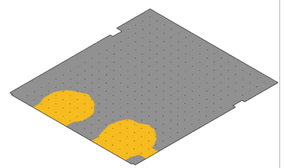
avg UDIA



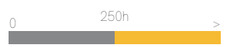
47,7%



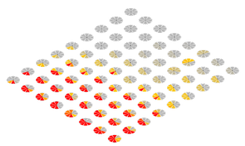
ASE 1000/250



16,7%



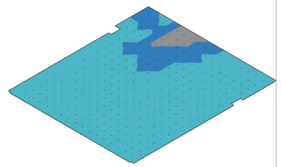
DPG



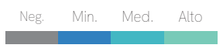
16,1%



View Out Analysis (EN 17037)



Med 84,3%
Min 12,7%
Neg 2,9%



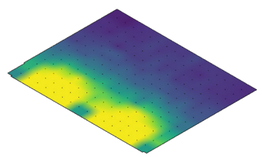
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA OVEST



ELEMENTO	AREA [M^2]	MATERIALE	COLORE	ρ/RIF.
Pavimento	54,72	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	49,75	Finitura soffitto	Grigio chiaro	0,55
Travi	13,16	C.a. a vista	Grigio scuro	0,15
Parete sud	20,13	Intonaco	Azzurro	0,43
Parete ovest	26,2	Intonaco	Giallo	0,70
Parete nord	20,13	Intonaco	Bianco sporco	0,70
Parete est	14,74	Intonaco	Giallo	0,70
Porta	2,01	Alluminio	Verde scuro	0,18
Serramenti				F02

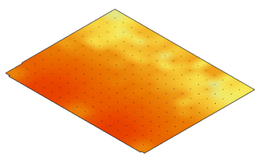
PARAMETRO	VALORE
Superficie utile	54,72 m²
Superficie vetrata	6,00 m²
WFR	11,00%
Riflettanza media (ρ_m)	0,45

FDLm



2,7%

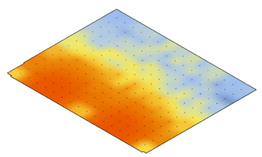
300lux sul 95% della superficie (EN 17037)



45,1% del tempo



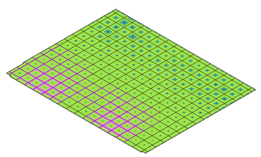
500lux sul 50% della superficie (EN 17037)



59,9% del tempo



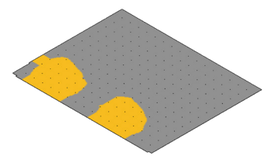
avg UDIA



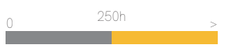
72,6%



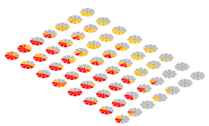
ASE 1000/250



19,2%



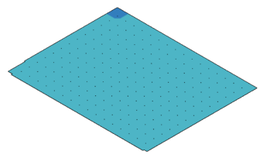
DPG



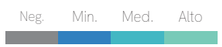
20,8%



View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%



ACUSTICA. La verifica acustica dello stato di fatto è stata condotta con l'obiettivo di ricostruire le condizioni prestazionali originarie dell'edificio e di individuare i principali elementi che ne determinano il comportamento acustico. Al momento della costruzione erano già presenti riferimenti normativi relativi agli edifici scolastici; il quadro regolamentare dell'epoca risultava tuttavia meno articolato rispetto a quello successivamente sviluppato, sia per quanto riguarda l'isolamento acustico sia per gli aspetti connessi al comfort interno degli ambienti destinati alla didattica.

Ai fini della verifica sono state selezionate tre aule campione, rappresentative di differenti configurazioni ricorrenti all'interno dell'edificio. La scelta ha tenuto conto delle dimensioni degli ambienti, della geometria e dell'estensione delle superfici finestrate e della configurazione dei serramenti, così da valutare l'incidenza di tali variabili sui principali parametri di isolamento acustico passivo. Le stesse aule sono state successivamente utilizzate per l'analisi dello scenario di riqualificazione, consentendo un confronto diretto tra le condizioni precedenti e successive all'intervento.

Per ciascun ambiente sono stati analizzati i principali componenti che ne definiscono l'involucro e le separazioni verso gli spazi adiacenti, considerando pareti interne ed esterne, solai, serramenti e porte. A ciascun elemento sono state associate le relative caratteristiche acustiche sulla base delle stratigrafie e delle soluzioni costruttive ricostruite, così da valutarne il contributo al comportamento complessivo dell'aula.

Le prestazioni nei confronti del rumore esterno risultano condizionate soprattutto dall'involucro originario. Le pareti di tamponamento, costituite da pannelli prefabbricati in calcestruzzo alleggerito con argilla espansa, non presentano una stratigrafia specificamente finalizzata all'isolamento acustico. A queste si aggiungono i serramenti originali, caratterizzati da vetro singolo, telai metallici e sistemi di chiusura e tenuta ormai datati, che rappresentano uno degli elementi più deboli della facciata dal punto di vista della trasmissione sonora.

Criticità analoghe interessano le separazioni interne. Le partizioni verticali leggere e i solai esistenti presentano prestazioni non sempre adeguate alle esigenze contemporanee degli spazi scolastici. In particolare, il comportamento delle pareti a secco dipende fortemente dalla composizione della stratigrafia, dalla continuità dell'isolante e dalla qualità dei raccordi con le strutture adiacenti. L'assenza di specifici sistemi resilienti nei pavimenti può inoltre favorire la trasmissione dei rumori da calpestio tra ambienti sovrapposti.

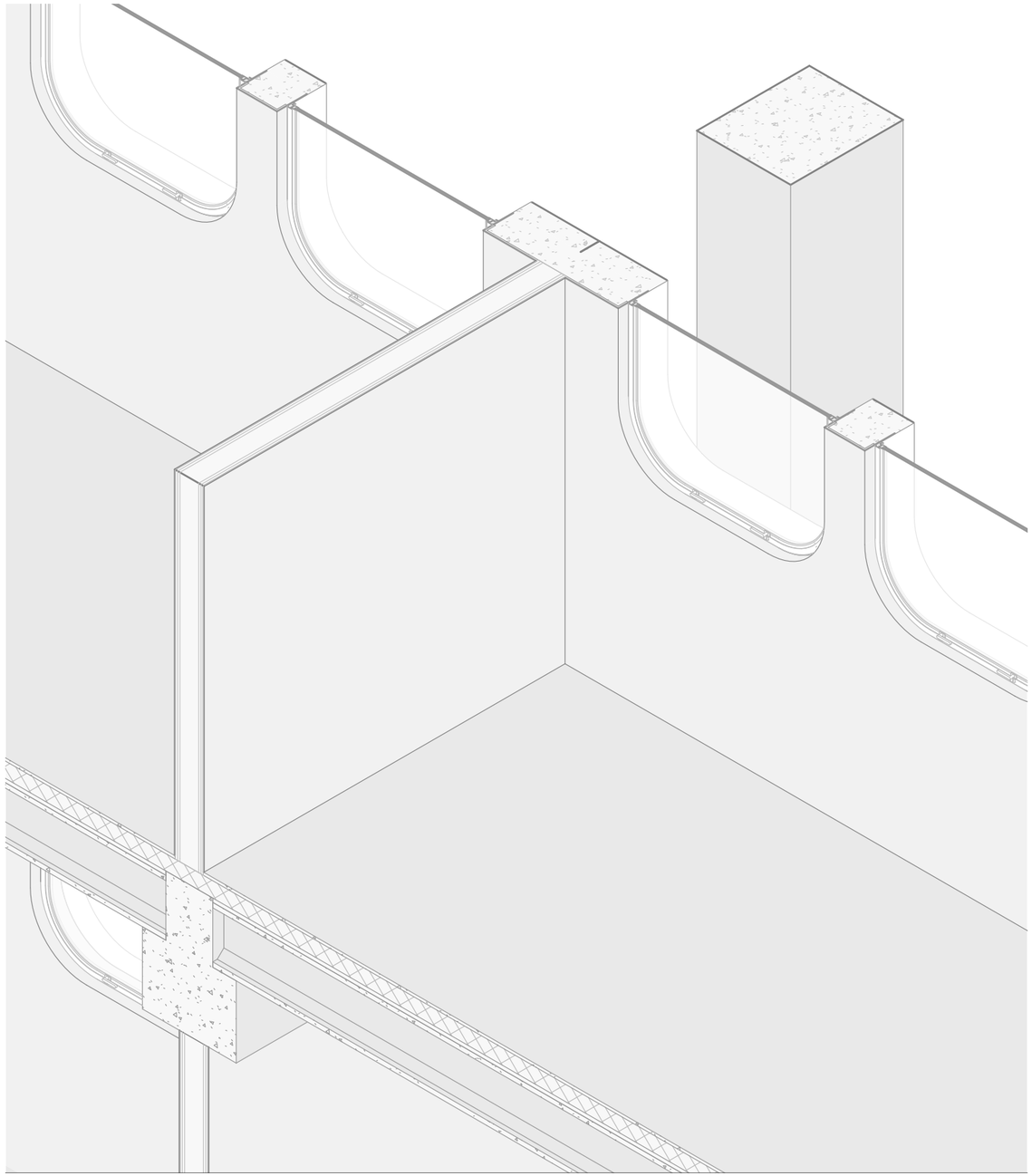
A tali aspetti si sommano gli effetti delle trasformazioni e degli interventi manutentivi realizzati nel tempo. Come evidenziato nel capitolo precedente, l'installazione e il successivo adeguamento degli impianti a vista hanno richiesto in diversi punti tagli, attraversamenti e adattamenti delle partizioni. Queste discontinuità possono creare percorsi preferenziali per la trasmissione sonora, riducendo l'efficacia degli elementi divisori tra aule, corridoi e ambienti adiacenti.

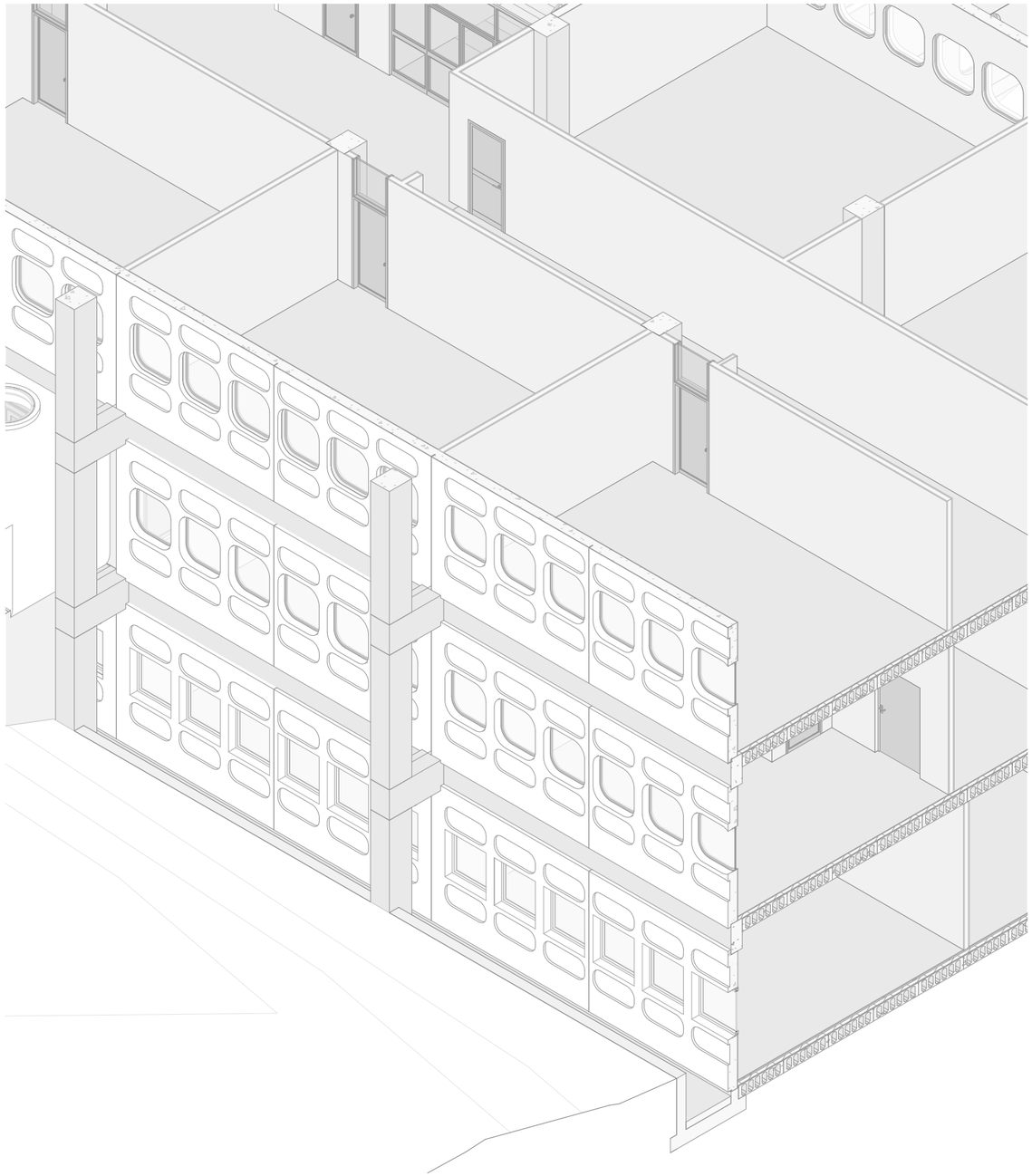
Il comfort acustico interno è inoltre influenzato dalla geometria degli ambienti e dalle proprietà fonoassorbenti delle superfici. Pavimenti, pareti e soffitti sono costituiti prevalentemente da materiali con limitata capacità di assorbimento e non risultano presenti trattamenti specificamente finalizzati al controllo della riverberazione. Ne possono derivare tempi di riverberazione elevati e una riduzione della chiarezza del parlato, aspetto particolarmente rilevante negli spazi destinati alla didattica.

Nel complesso, l'analisi restituisce un edificio caratterizzato da prestazioni inferiori ai livelli oggi assunti come riferimento per gli ambienti scolastici. Le criticità derivano dalla combinazione tra configurazione originaria dell'involucro e delle partizioni, prestazioni dei serramenti, assenza di specifici sistemi per il controllo dei rumori impattivi e della riverberazione e successive modifiche introdotte nel corso del tempo. Lo stato di fatto evidenzia quindi la necessità di interventi mirati qualora si intenda raggiungere livelli di isolamento e comfort acustico coerenti con gli standard contemporanei.



Foto X. Interruzione della partizione tra aula e corridoio, per il passaggio delle tubazioni.





ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)

Parete perimetrale	A = 26,68m²	$D_{2m,nT,w}$ = 33,1dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	VERIFICATO
	Rw = 49dB	R'w = 31,1dB	CAM 2017 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	
Serramenti	A = 6 * 1m²			
	Rw = 25dB			

ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$ - R'_w)

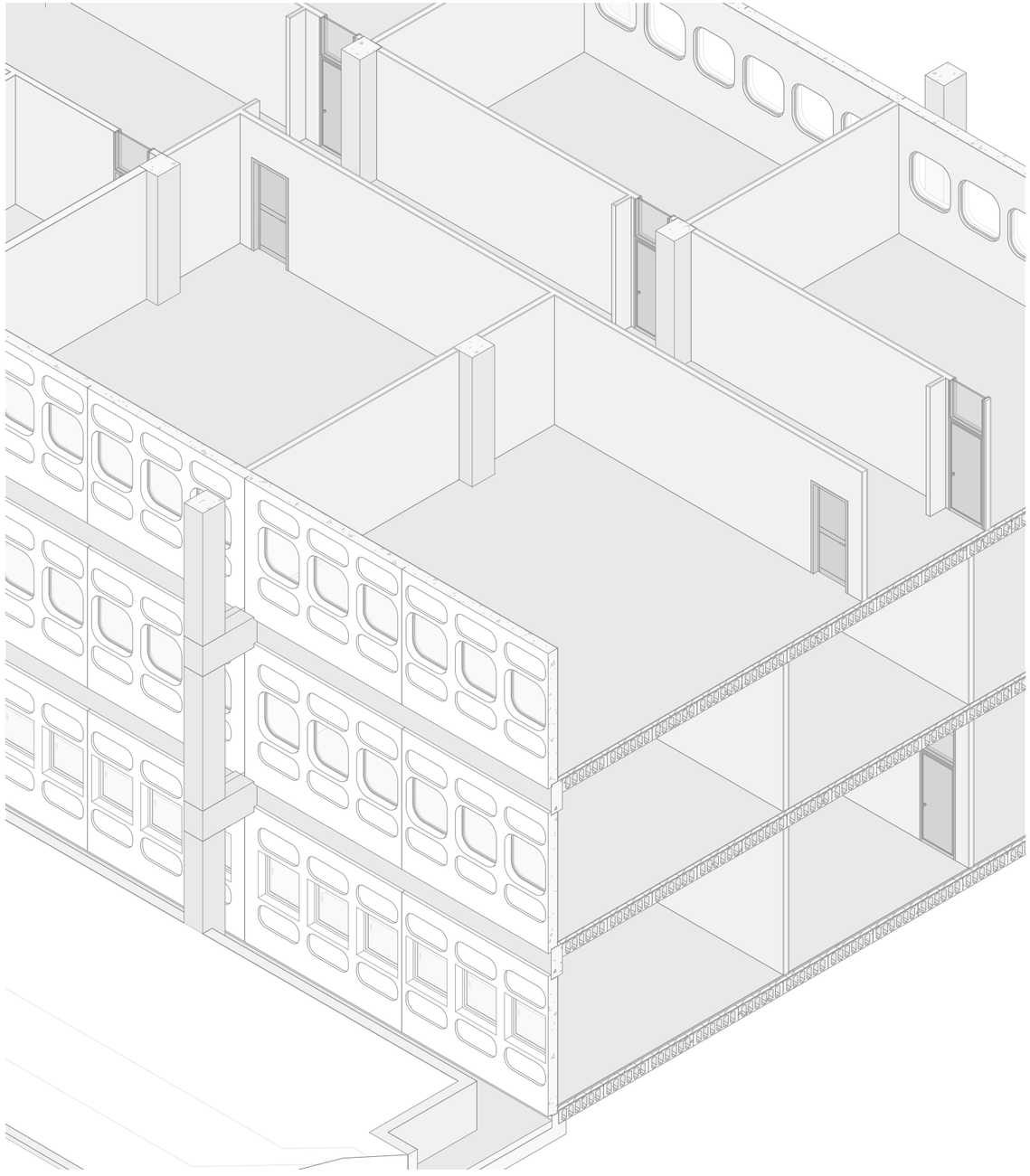
Divisorio	A = 16,85m²	$D_{nT,w}$ = 43,0dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	NON VERIFICATO
	Rw = 40dB	R'w = 39,0dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
Locale ricevente	V = 137,7m³			
Incertezza	3,53dB			

ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Area divisorio	45,9m²	$D_{nT,w}$ = 52,5dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	VERIFICATO
Volume locale	137,7m³	R'w = 52,8dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	NON VERIFICATO
R_w solaio base	54,1dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$ - $L'_{nT,w}$)

Area divisorio	45,9m²	$L'_{n,w}$ = 74,8dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq$ 58 dB	NON VERIFICATO
Volume locale	137,7m³	$L'_{nT,w}$ = 68,1dB	CAM 2017 $L'_{n,w} \leq$ 53 dB	
$L_{n,eq,0,w}$	74,3dB			
ΔL_w	0dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)

			LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
Parete perimetrale	A = 27,93m²	$D_{2m,nT,w}$ = 34,9dB	DPCM 5/12/97 ≥ 48dB	NON VERIFICATO
	Rw = 49dB	R'_w = 31,1dB		
Serramenti	A = 6 * 1,13m²		CAM 2022 ≥ 48dB	
	Rw = 25dB			

ISOLAMENTO PARETI ($R'w - D_{nT,w}$)

			LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
Divisorio	A = 24,23m²	$D_{nT,w}$ = 21,8dB	DPCM 5/12/97 ≥ 50dB	NON VERIFICATO
	Rw = 18dB	R'_w = 17,6dB		
Locale ricevente	V = 207,3m³		CAM 2022 R'w ≥ 53dB $D_{nT,w}$ ≥ 55dB	
Incertezza	3,35dB			

ISOLAMENTO SOLAIO ($R'_w - D_{nT,w}$)

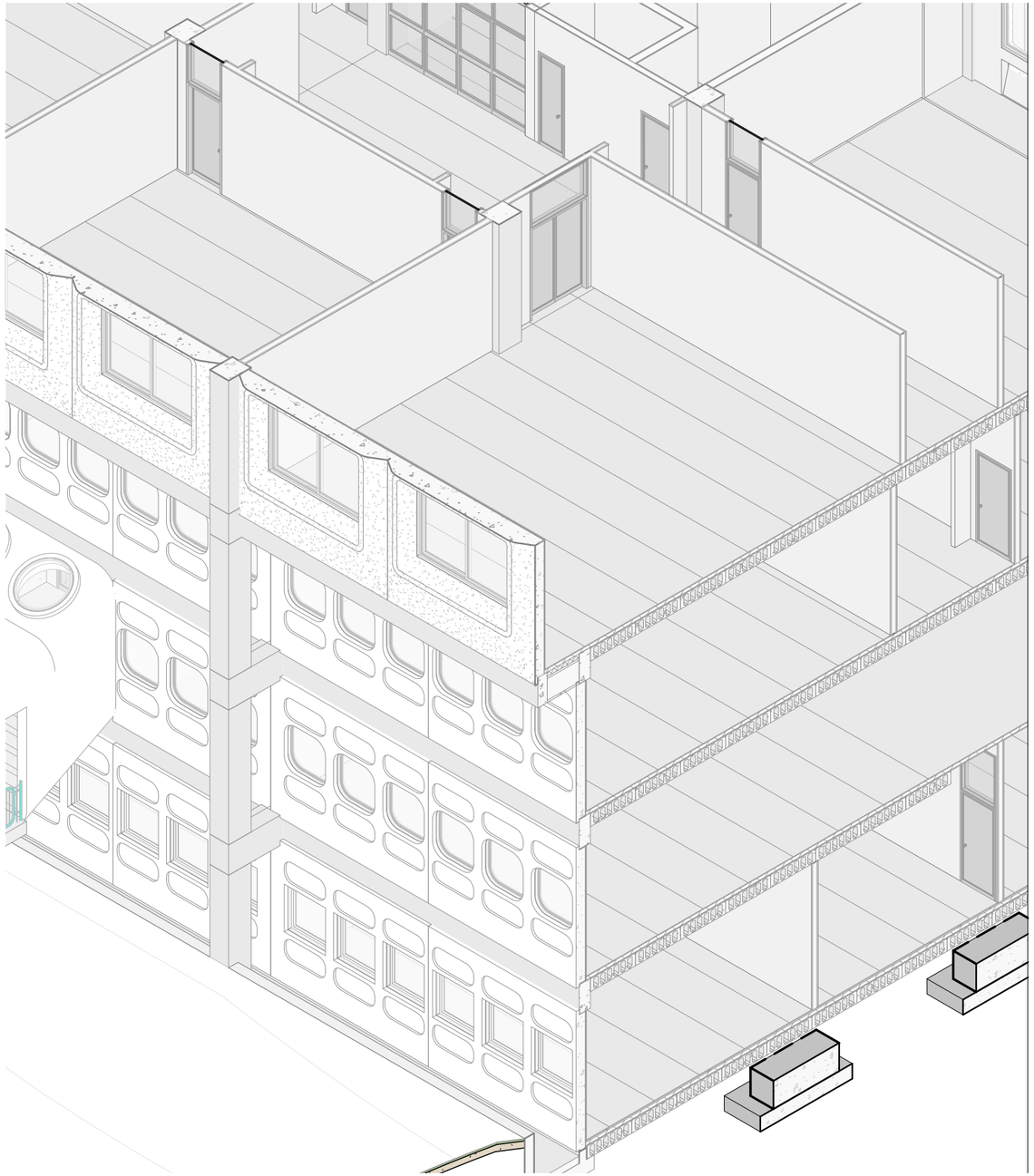
			LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
Area divisorio	69,1m²	$D_{nT,w}$ = 47,5dB	DPCM 5/12/97 ≥50 dB	NON VERIFICATO
Volume locale	207,3m³	R'_w = 47,8dB		
R_w solaio base	54,1dB		CAM 2022 R'w ≥ 53 dB $D_{nT,w}$ ≥55 dB	
ΔR_w strati agg.	0dB			

LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w} - L'_{nT,w}$)

			LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
Area divisorio	69,1m²	$L'_{n,w}$=75,5dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w}$ ≤ 58 dB	NON VERIFICATO
Volume locale	207,3m³	$L'_{nT,w}$ = 67,1dB		
$L_{n,eq,0,w}$	74,3dB		CAM 2022 $L'_{n,w}$ ≤ 53 dB	
ΔL_w	0dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (C50 - T)

	LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz 1,12s	T massimo valore medio 250Hz - 2Khz 1,2s	NON CONFORME
C50 medio 0,3	C50 minimo 2	



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)

			LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
Parete perimetrale	A = 27,66m²	$D_{2m,nT,w}$ = 38,6dB	DPCM 5/12/97 ≥ 48dB	NON VERIFICATO
	Rw = 49dB	R'_w = 34,4dB		
Serramenti	A = 2 * 3,93m²		CAM 2022 ≥ 48dB	
	Rw = 29dB			

ISOLAMENTO PARETI ($R'w - D_{nT,w}$)

			LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
Divisorio	A = 27,51m²	$D_{nT,w}$ = 21,7dB	DPCM 5/12/97 ≥ 50dB	NON VERIFICATO
	Rw = 18dB	R'_w = 17,6dB		
Locale ricevente	V = 227,1m³		CAM 2022 R'w ≥ 53dB $D_{nT,w}$ ≥ 55dB	
Incertezza	3,38dB			

ISOLAMENTO SOLAIO ($R'_w - D_{nT,w}$)

			LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
Area divisorio	75,7m²	$D_{nT,w}$ = 47,5dB	DPCM 5/12/97 ≥50 dB	NON VERIFICATO
Volume locale	227,1m³	R'_w = 47,7dB		
R_w solaio base	54,1dB		CAM 2022 R'w ≥ 53 dB $D_{nT,w}$ ≥55 dB	
ΔR_w strati agg.	0dB			

LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w} - L'_{nT,w}$)

			LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
Area divisorio	75,7m²	$L'_{n,w}$ = 75,5dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w}$ ≤ 58 dB	NON VERIFICATO
Volume locale	227,1m³	$L'_{nT,w}$ = 66,7dB		
$L_{n,eq,0,w}$	74,3dB		CAM 2022 $L'_{n,w}$ ≤ 53 dB	
ΔL_w	0dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (C50 - T)

		LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz	T massimo valore medio 250Hz - 2Khz		
1,12s	1,2s		NON CONFORME
C50 medio	C50 minimo		
0,3	2		

FABBISOGNO E CONSUMO ENERGETICO. Il comportamento energetico dell'edificio nello stato di fatto è strettamente condizionato dal quadro normativo in materia di prestazioni energetiche dell'epoca della sua costruzione, sostanzialmente non ancora presente, a differenza di oggi. La progettazione degli elementi dell'involucro non era ancora orientata al raggiungimento degli attuali livelli di isolamento termico e di controllo delle dispersioni, determinando una struttura caratterizzata da prestazioni energetiche che oggi risultano insufficienti e non rispondenti agli attuali requisiti prestazionali della normativa vigente.

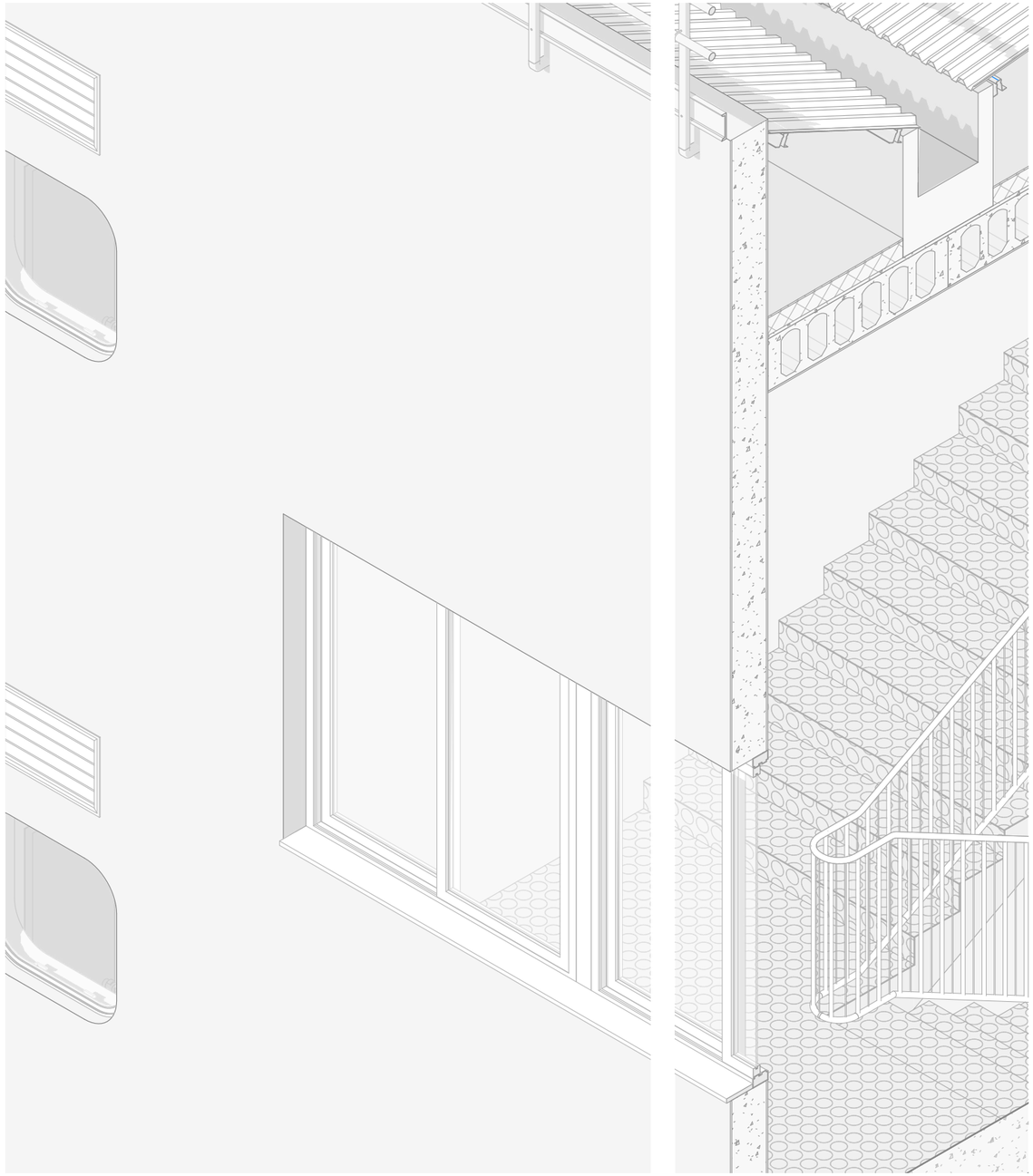
Le limitate caratteristiche di isolamento delle componenti opache esistenti determinano dispersioni termiche rilevanti durante la stagione invernale, alle quali si aggiunge il contributo dei serramenti esistenti, caratterizzati da prestazioni inferiori e obsolete rispetto agli standard attuali. Anche le discontinuità costruttive presenti in corrispondenza delle connessioni tra elementi strutturali, tamponamenti e finestre possono determinare condizioni di maggiore dispersione locale, con la presenza di ponti termici che influenzano ulteriormente il comportamento dell'involucro.

L'analisi dello stato di fatto è stata finalizzata alla definizione delle caratteristiche costruttive e termo-fisiche degli elementi che compongono l'involucro edilizio, consentendo di valutare le prestazioni delle strutture esistenti e il loro contributo al comportamento energetico complessivo dell'edificio. Sono state quindi individuate e analizzate le stratigrafie delle principali partizioni orizzontali e verticali, considerando gli spessori e le principali caratteristiche termo-fisiche dei materiali che le compongono e verificando i valori di trasmittanza termica e il rispetto dei limiti prestazionali previsti dalla normativa. Sono state inoltre considerate le condizioni termoigrometriche delle strutture, con particolare attenzione all'eventuale presenza di condensa interstiziale e alle condizioni favorevoli alla formazione di muffa.

I risultati delle verifiche sono illustrati nelle pagine successive attraverso una serie di assonometrie, che individuano ciascun elemento analizzato e consentono di visualizzare la disposizione dei diversi materiali che ne definiscono la stratigrafia. Ogni stratigrafia è corredata da una tabella contenente i materiali che la costituiscono, le loro caratteristiche dimensionali e termo-fisiche e gli esiti delle verifiche relative alla trasmittanza e al comportamento termoigrometrico. La restituzione consente così di mettere in relazione le caratteristiche costruttive dell'edificio esistente con le prestazioni dell'involucro e con il comportamento energetico complessivo dello stato di fatto, fornendo il quadro prestazionale di riferimento sul quale valutare gli effetti degli interventi di riqualificazione previsti.

Foto X. Stato di degrado degli infissi del corridoio coperto per la palestra.





C1 - SOLAIO COPERTURA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
C.l.s. di sabbia e ghiaia	3,00	2400	96	1000	1,91
C.l.s isolante FOANCEM	8,00	350	7	1000	0,084
Solaio tipo alveolare	32,00	1394	9	840	0,889
TOTALE	27,50				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,681 W/m^{2}K	546,0 kg/m^2	0,095 W/m^{2}K	12 h 33’	0,14

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

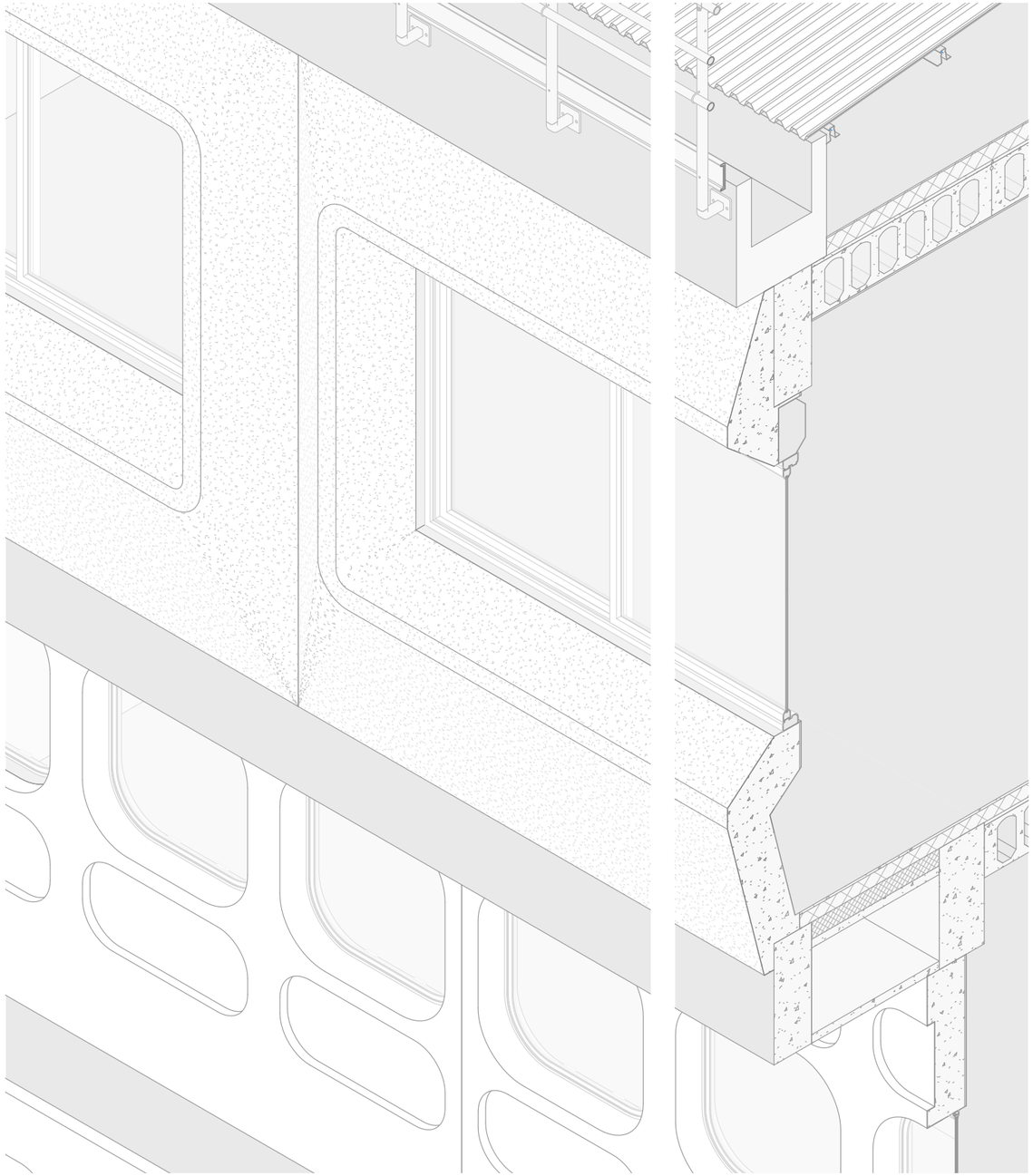
V1 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Intonaco di calce e gesso	1,00	1400	10	1000	0,700
C.l.s. sabbia e ghiaia	25,00	2000	96	1000	1,260
Intonaco plastico	1,00	1400	10	840	0,400
TOTALE	27,00				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
1,260 W/m^{2}K	306,0 kg/m^2	0,405 W/m^{2}K	9 h 13’	0,33

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗



V2 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Malta di calce o di calce e cemento	1	1800	22	1000	0,9
C.l.s. LECA	25,00	1100	10	1000	0,260
Intonaco di gesso	1	1300	10	1000	0,57
TOTALE	27,50				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,889 W/m^{2}K	339,0 kg/m^2	0,197 W/m^{2}K	11 h 39’	0,23

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

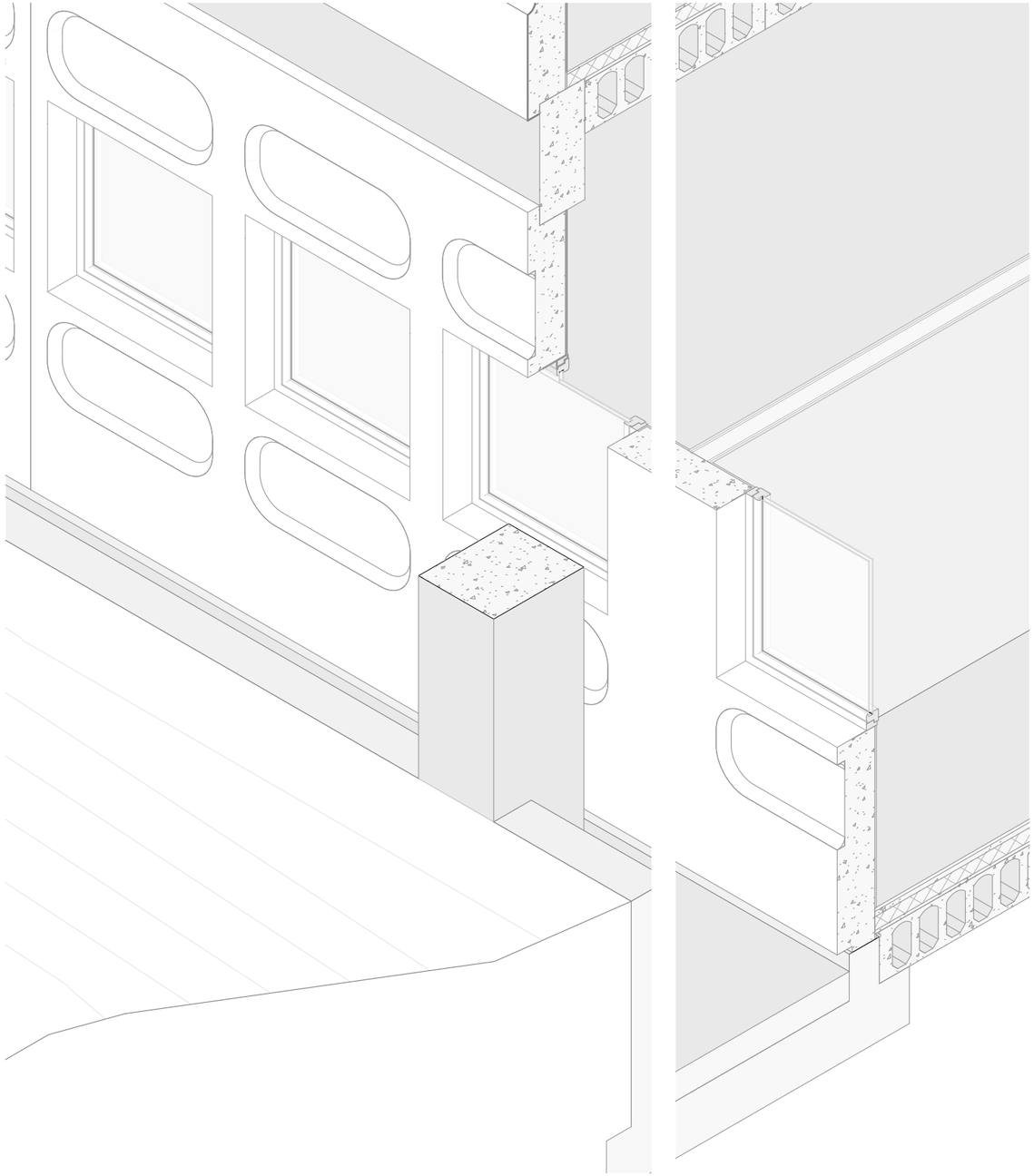
S2 - SOLAIO AGGETTANTE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Pavimentazione in linoleum	0,20	1150	10000	1300	0,16
Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	8,00	2200	70	880	1,49
Sismicilma - Blocchi muratura portante no...	10,00	350	7	1000	0,084
C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	5,00	2200	96	1000	1,48
Intercapedine non ventilata Av<500 mm^2/m	50,00	—	—	—	2,0833
C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	5,00	2000	96	1000	1,26
TOTALE	78,20				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,562 W/m^{2}K	423,0 kg/m^2	0,071 W/m^{2}K	13 h 00’	0,13

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓



V3 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Malta di calce o di calce e cemento	1	1800	22	1000	0,9
C.l.s. LECA	25,00	1100	10	1000	0,260
Intonaco di gesso	1	1300	10	1000	0,57
TOTALE	27,50				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,889 W/m^{2}K	339,0 kg/m^2	0,197 W/m^{2}K	11 h 39’	0,23

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

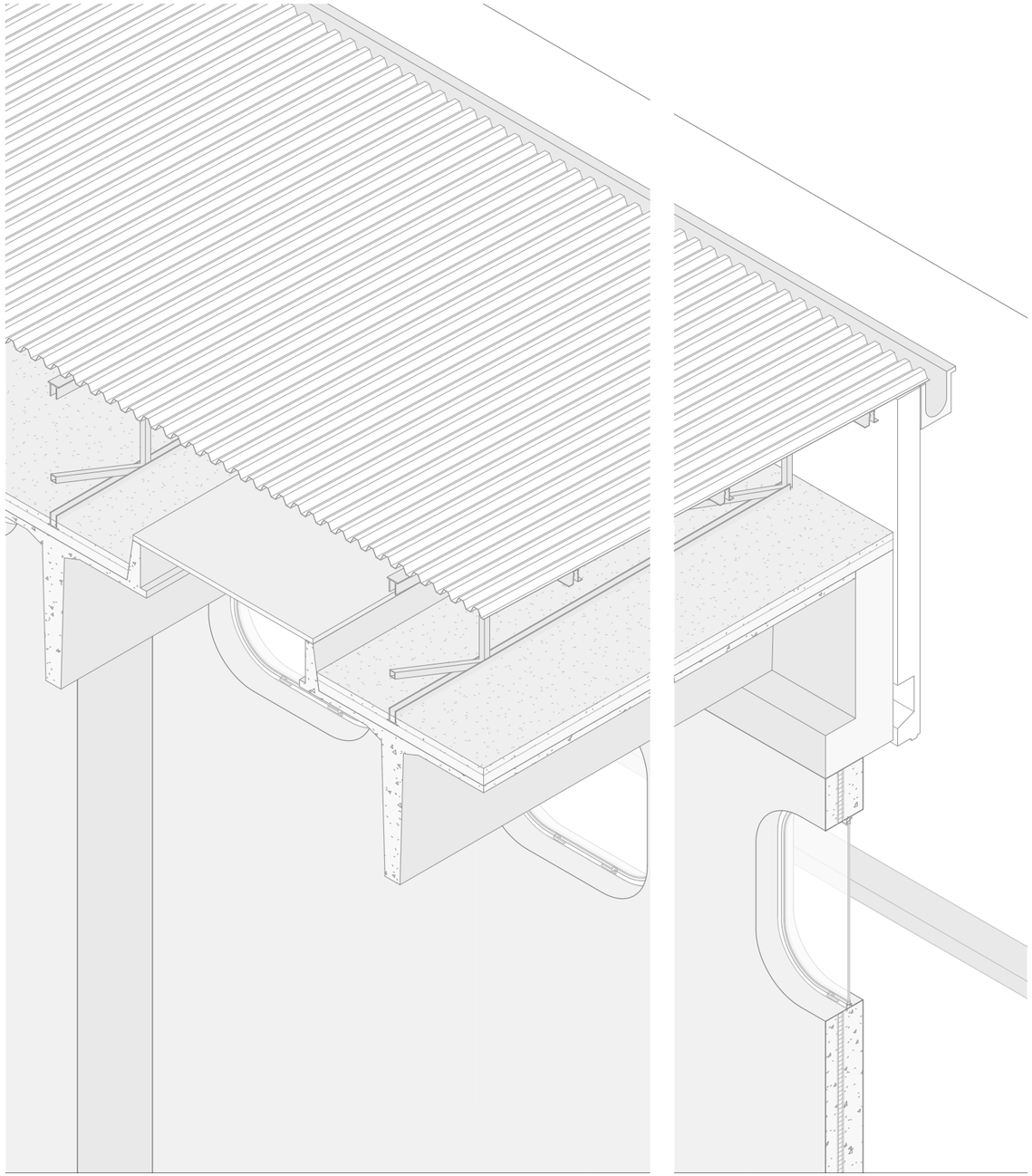
S2 - SOLAIO CONTROTERRA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Pavimentazione in linoleum	0,20	1150	10000	1300	0,16
Sottofondo in c.l.s. alleggerito	3,00	250	7	1000	0,14
C.l.s isolante FOANCEM	8,00	350	7	1000	0,084
C.l.s. di sabbia e ghiaia	5,00	2000	96	1000	1,26
Intercapedine non ventilata Av<500 mm^2/m	20,00	—	—	—	0,8889
C.l.s. di sabbia e ghiaia	5,00	2000	96	1000	1,26
TOTALE	41,20				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,569 W/m^{2}K	302,0 kg/m^2	0,193 W/m^{2}K	9 h 50’	0,34

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗



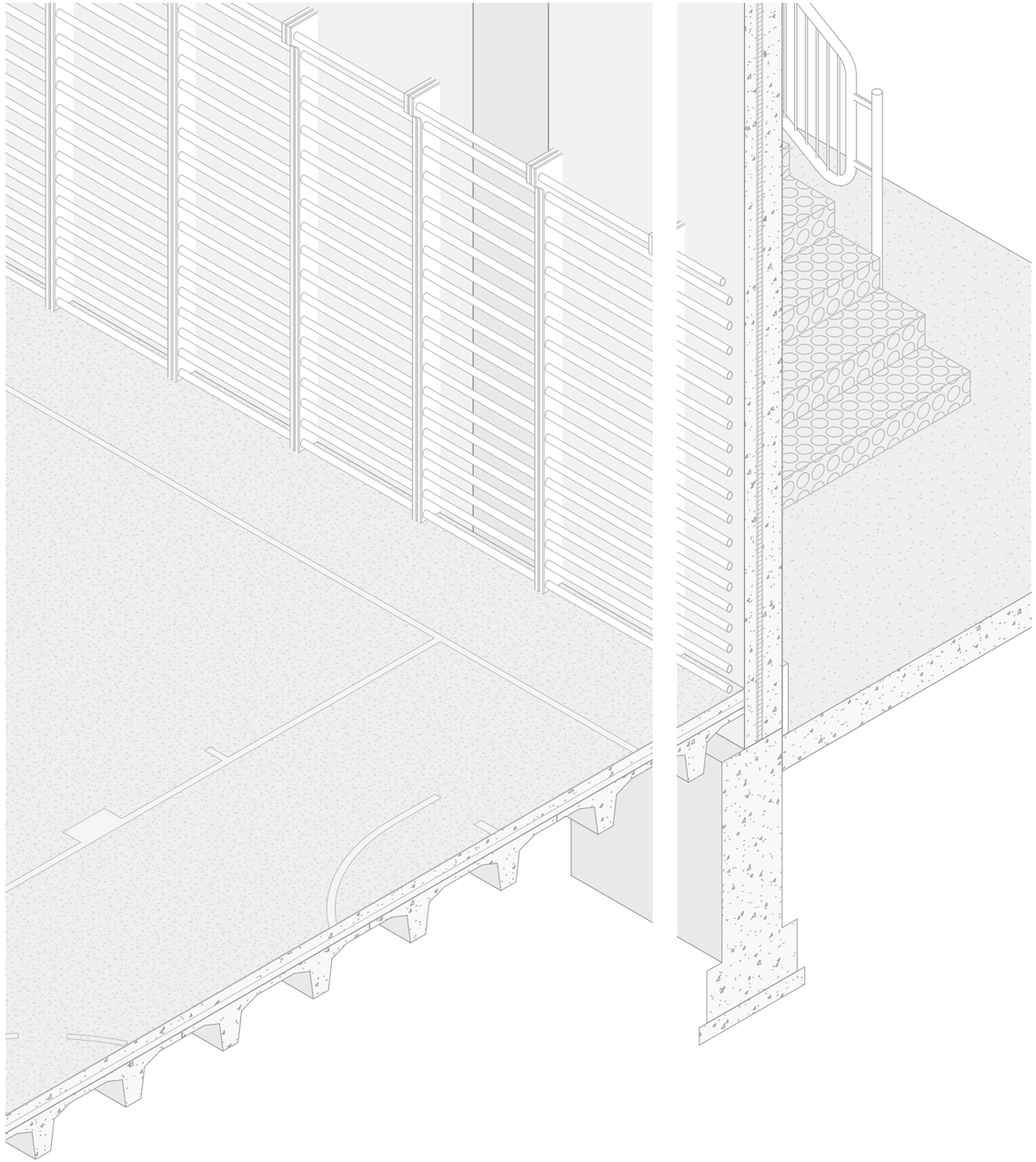
C1 - SOLAIO COPERTURA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Ghiaia grossa per zavorramento	4,00	1700	5	1000	1,2
Barriera vapore in fogli di P.V.C.	0,20	1390	500000	900	0,16
Pannello in lana di vetro	6,00	85	1	1030	0,032
Barriera vapore in bitume	0,20	1050	500000	1000	0,17
C.l.s. prefabbricato di sabbia e ghiaia	5,00	2400	96	1000	2,15
TOTALE	15,40				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,477 W/m^{2}K	180,0 kg/m^2	0,318 W/m^{2}K	5 h 00’	0,68

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓



V4 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Intonaco in gesso	1,00	1500	10	1000	0,56
C.l.s. di sabbia e ghiaia	13,00	2000	96	1000	1,26
Polistirolo estruso	4,00	130	5	1810	0,04
C.l.s. di sabbia e ghiaia	8,00	2400	96	1000	2,15
Intonaco di cemento e sabbia	1,00	1800	10	1000	1
TOTALE	27,00				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,747 W/m^{2}K	490,0 kg/m^2	0,135 W/m^{2}K	10 h 21’	0,19

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

S3 - SOLAIO CONTROTERRA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Pavimentazione in linoleum	0,20	1150	10000	1300	0,16
Sottofondo in c.l.s. alleggerito	3,00	250	7	1000	0,14
C.l.s isolante FOANCEM	8,00	350	7	1000	0,084
C.l.s. di sabbia e ghiaia	5,00	2000	96	1000	1,26
Intercapedine non ventilata Av<500 mm^2/m	20,00	—	—	—	0,8889
C.l.s. di sabbia e ghiaia	5,00	2000	96	1000	1,26
TOTALE	41,20				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,569 W/m^{2}K	302,0 kg/m^2	0,193 W/m^{2}K	9 h 50’	0,34

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

La relazione energetica ante operam, redatta dalla Città Metropolitana nell'ambito dell'intervento di riqualificazione realizzato nel 2022 e descritto nel capitolo successivo, delinea un quadro prestazionale di riferimento, individuando l'incidenza dei diversi servizi energetici e le principali criticità. L'analisi è articolata in tre sezioni: una riferita all'intero complesso, comprendente sia l'edificio scolastico sia la palestra, e due specifiche dedicate rispettivamente ai due corpi edilizi, in considerazione delle loro differenti caratteristiche geometriche, comportamento energetico e modalità di utilizzo.

Lo studio considera in modo integrato le caratteristiche geometriche e termo-fisiche dell'involucro edilizio, la configurazione degli impianti e i servizi energetici presenti, ponendo in relazione tali elementi con le condizioni di esercizio dell'edificio. Tale approccio consente di restituire in maniera coerente i fabbisogni di energia utile e primaria, i consumi convenzionali e i principali indici di prestazione energetica, fornendo così un quadro complessivo delle prestazioni energetiche dello stato ante operam e delle relative criticità su cui si basano le successive valutazioni di intervento.
La relazione è sviluppata sulla base dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE), della diagnosi energetica e della relativa relazione di calcolo, utilizzando il modello energetico elaborato mediante il software Edilclima EC700. Pur nella loro complementarità, è opportuno distinguere le diverse finalità degli strumenti utilizzati. L'APE restituisce la prestazione energetica convenzionale dell'intero complesso sulla base di condizioni standard di clima e utilizzo e consente l'attribuzione della relativa classe energetica. La diagnosi energetica è invece finalizzata alla costruzione di un modello rappresentativo del funzionamento dell'edificio, utile alla comprensione delle cause dei consumi e alla valutazione delle opportunità di efficientamento; utilizza pertanto parametri maggiormente aderenti alle effettive condizioni di esercizio.
Le condizioni climatiche adottate nel modello sono le medesime per il corpo aule e per la palestra, in quanto i due edifici sono ubicati nella stessa località e risultano pertanto soggetti agli stessi dati climatici di riferimento, che costituiscono le condizioni al contorno esterne assunte per il calcolo degli scambi termici e per la determinazione dei fabbisogni energetici di riscaldamento e raffrescamento.

DATI CLIMATICI

Dati località	
Zona climatica	E
Gradi giorno	2617GG
Dati invernali	
Temperatura esterna	-8°C
Stagione di riscaldamento	15 ottobre - 15 aprile
Dati estivi	
T a bulbo asciutto	31°C
T bulbo umido	22,7°C
Umidità relativa	50%
Escursione termica giornaliera	11°C

La distinzione tra il corpo aule e la palestra consente di tenere conto delle differenti dimensioni, comportamento energetico e modalità di utilizzo dei due corpi edilizi. La palestra, infatti, presenta un rapporto tra superficie disperdente e volume climatizzato superiore rispetto al corpo aule, condizione riconducibile alla configurazione degli spazi sportivi, caratterizzati da ambienti di maggiore altezza e da una diversa proporzione tra involucro e volume interno. Questo parametro suggerisce una maggiore esposizione agli scambi termici, anche se la prestazione effettiva dipende congiuntamente dalle caratteristiche costruttive dell'involucro, dai ricambi d'aria e dalle condizioni di utilizzo.

Le caratteristiche dell'involucro del corpo aule evidenziano valori di trasmittanza termica media che, per la maggior parte degli elementi analizzati, non risultano conformi alla normativa di riferimento per i requisiti minimi egli edifici, ovvero il D.M. 26 giugno 2015. Solamente la trasmittanza media dei pavimenti, pari a 0,256, non supera il valore minimo di 0,31 definito dal testo del 2015 e il limite più restrittivo di 0,29 definito dall'aggiornamento della norma nel 2021.

I valori evidenziano quindi prestazioni dell'involucro differenziate tra le diverse componenti, con criticità riconducibili principalmente agli elementi caratterizzati da una maggiore trasmittanza termica. Tali caratteristiche contribuiscono alle dispersioni attraverso l'involucro e incidono sul fabbisogno energetico necessario al mantenimento delle condizioni interne durante la stagione invernale. Il comportamento energetico del complesso è determinato dall'interazione tra le prestazioni dell'involucro e un sistema impiantistico destinato principalmente al riscaldamento invernale e alla produzione di acqua calda sanitaria, in assenza di un sistema di climatizzazione estiva.
Il riscaldamento è garantito da un impianto idronico centralizzato alimentato a gas naturale, ovvero metano. La generazione del calore è affidata a due caldaie a condensazione, ciascuna con una potenza utile nominale pari a

DATI DIMENSIONALI

	Volume [m³]	Superficie [m²]	Superficie utile [m²]	Fattore di forma S/V
Corpo aule	34.695,96	8.451,90	7.089,85	0,24
Palestra	11.255,45	3.683,77	1.285,85	0,33
Intero complesso	45.951,41	12.135,67	8.375,70	0,26



TRASMITTANZE TERMICHE MEDIE CORPO AULE

	Volume [m³]	Limite 2015	Limite 2021	
Muri	tra 0,604 e 1,219	tra 0,3 e 0,5	tra 0,28 e 0,467	Non conforme
Pavimenti	0,256	0,310	0,29	Conforme
Copertura	0,877	0,26	0,24	Non conforme
Componenti finestrati	tra 2,841 e 3,036	1,4	2,617	Non conforme



Foto X. I radiatori verticali a parete.

593 kW, per una potenza complessiva di circa 1.186 kW. Il vettore termico viene distribuito attraverso tubazioni di mandata e ritorno in acciaio, mentre l'emissione negli ambienti è affidata a radiatori verticali a parete. La regolazione avviene mediante una centralina climatica collocata nella centrale termica, che modifica la temperatura di mandata in funzione delle condizioni esterne attraverso un'elettrovalvola. Non sono presenti sistemi di accumulo termico né dispositivi per la contabilizzazione dei consumi delle singole utenze, per cui la gestione dell'energia termica avviene in maniera centralizzata. L'assenza della contabilizzazione limita la possibilità di mettere direttamente in relazione i consumi con l'uso effettivo delle differenti zone del complesso.

La ventilazione meccanica non è presente tra i servizi presenti nello stato di fatto; il rinnovo dell'aria non comporta quindi un consumo energetico impiantistico specifico ed è affidato prevalentemente all'apertura dei serramenti. Questo aspetto non indica l'assenza della necessità di ventilare gli ambienti, ma evidenzia che il ricambio dell'aria non è regolato da un sistema controllato ed è affidato esclusivamente all'apertura delle finestre. Analogamente, l'edificio non dispone di climatizzazione estiva né di impianti solari termici o fotovoltaici: il bilancio energetico dipende pertanto essenzialmente dal gas naturale impiegato per gli usi termici e dall'energia elettrica prelevata dalla rete.

La valutazione dei consumi evidenzia infatti, in condizioni standard di utilizzo, una netta prevalenza dei consumi di gas naturale del riscaldamento invernale e alla produzione di acqua calda sanitaria, con un consumo annuo pari a 110.927 Sm^3 annui, con una emissione di 219.498 kg di CO_2 e un indice di prestazione energetica EP_{tot} di 155,88 kWh/mq, pari al 61,7% del totale. Il consumo di energia elettrico per il riscaldamento e l'ACS è più contenuto, con 3.820 kWh annui e 1.756 kg di CO_2 emessa. L'energia elettrica è usata soprattutto per l'illuminazione gli impianti di trasporto interno, con un consumo di 282.562 kWh per un'emissione di 129.458 kg di CO2. A tale consumo corrisponde un indice di prestazione energetica EP_{tot} di 96,03 kWh/mq, pari al 38% del totale.

CONFIGURAZIONE IMPIANTI

Riscaldamento	Impianto centralizzato a gas naturale
Generazione di calore	Caldaie a condensazione
Acqua calda sanitaria	Produzione mediante scambiatori di calore
Distribuzione	Tubazioni di mandata e ritorno in acciaio
Emissione	Radiatori
Regolazione	Centralina climatica in centrale termica
Ventilazione	Assente
Raffrescamento	Assente

Non è presente alcuna produzione locale di energia da fonti rinnovabili: riscaldamento e illuminazione rappresentano, quindi, circa il 99,7% dell'energia primaria non rinnovabile dell'edificio. La struttura dei consumi individua due ambiti distinti: da un lato, il fabbisogno termico legato alla climatizzazione invernale e alle dispersioni del sistema edificio-impianto; dall'altro, il rilevante assorbimento elettrico associato all'illuminazione degli ambienti scolastici. Gli altri servizi incidono in misura pressoché trascurabile.
È infine opportuno precisare che i valori riportati rappresentano consumi convenzionali, calcolati sulla base di condizioni climatiche e profili d'uso standardizzati, e non corrispondono ai consumi reali rilevati attraverso le bollette. La loro funzione è restituire un quadro omogeneo della prestazione energetica dell'edificio e consentire il confronto con le successive configurazioni analizzate.

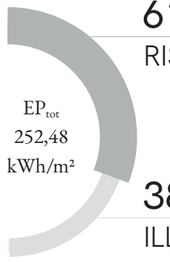
Le caratteristiche dell'involucro, il sistema impiantistico e i consumi analizzati, trovano sintesi nella classificazione energetica, basata sull'indice di prestazione energetica non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) l'indice di prestazione energetica rinnovabile ($EP_{gl,ren}$) e il consumi di CO2 per metro quadro annuo. Per il corpo aule, l'indice $EP_{gl,nren}$ pari a 233,50 kWh/mq annui, ne determina la classificazione in classe C, così come l'intero complesso. Mentre la palestra, valutata separatamente, raggiunge la classe D con un indice $EP_{gl,nren}$ di a 248,51 kWh/mq annui. La classe energetica rappresenta quindi la restituzione sintetica delle prestazioni del sistema edificio-impianto e delle criticità emerse, costituendo il quadro di riferimento per il progetto sviluppato nell'ambito di questo lavoro di tesi.

CONSUMI ENERGETICI ANNUI

METANO 110.927 Sm^3
219.498 kg CO_2 emessa

ENERGIA ELETTRICA 286.382 kWh
131.736 kg CO_2 emessa

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA TOTALE



61,7% 155,88 kWh/m²
RISCALDAMENTO

38% 96,03 kWh/m²
ILLUMINAZIONE

CLASSE ENERGETICA

C COMPLESSO

CO_2	$EP_{gl,nren}$	$EP_{gl,ren}$
49,92 kg/m² anno	235,80 kWh/m² anno	18,47 kWh/m² anno

C CORPO AULE

CO_2	$EP_{gl,nren}$	$EP_{gl,ren}$
49,54 kg/m² anno	233,50 kWh/m² anno	18,98 kWh/m² anno

D PALESTRA

CO_2	$EP_{gl,nren}$	$EP_{gl,ren}$
52,03 kg/m² anno	248,51 kWh/m² anno	15,66 kWh/m² anno

7

IL LICEO "C. CATTANEO" DOPO IL 2022

Il presente capitolo analizza l'intervento sull'edificio della sede centrale del liceo, realizzato nel 2022 dalla Città Metropolitana di Torino, finanziato nell'ambito del programma PON Metro REACT-EU.
La sua analisi è fondamentale per comprendere lo stato aggiornato dell'edificio e per distinguere chiaramente ciò che è stato già oggetto di riqualificazione da ciò che rimane invece aperto a ulteriori trasformazioni.



7.1 OBIETTIVI

L'intervento della Città Metropolitana è stato realizzato nel 2022 nell'ambito delle politiche di efficientamento energetico del patrimonio pubblico finanziate dal PON "Metro" con in aggiunta ulteriori risorse economiche provenienti dal REACT-EU (cfr. Capitolo 3). L'intero intervento ha utilizzato 2,5 milioni di euro, di cui 1,88 per i lavori edilizi e 618 mila per le altre spese burocatriche e di urbanizzazione[1], con una tempistica stimata di 270 giorni consecutivi di lavoro.

L'obiettivo principale è il miglioramento del comportamento energetico dell'edificio, riducendo le dispersioni termiche nel periodo invernale e limitando il surriscaldamento durante la stagione estiva. Il progetto interessa esclusivamente il corpo aule, escludendo la palestra, e si configura come un intervento di riqualificazione edilizia e prestazionale degli elementi d'involucro quali pareti perimetrali, copertura e infissi, e di manutenzione degli impianti elettrici e speciali interni, senza interessare l'assetto distirbutivo interno che rimane invariato. Gli interventi mirano al miglioramento del comfort degli ambienti didattici attraverso la riduzione delle trasmittanze termiche, e il controllo della radiazione solare, articolandosi in cinque azioni principali:

- isolamento termico a cappotto delle porzioni opache dell'involucro, dal piano seminterrato al primo piano fuori terra compreso;
- coibentazione della copertura mediante isolamento del sottotetto;
- sostituzione degli infissi esterni non interessati da precedenti interventi, ovvero in tutti i piani esclusi il seminterrato;
- risanamento conservativo delle parti in calcestruzzo a vista e dei pannelli prefabbricati del secondo piano;
- riqualificazione degli impianti elettrici e speciali interni[2].

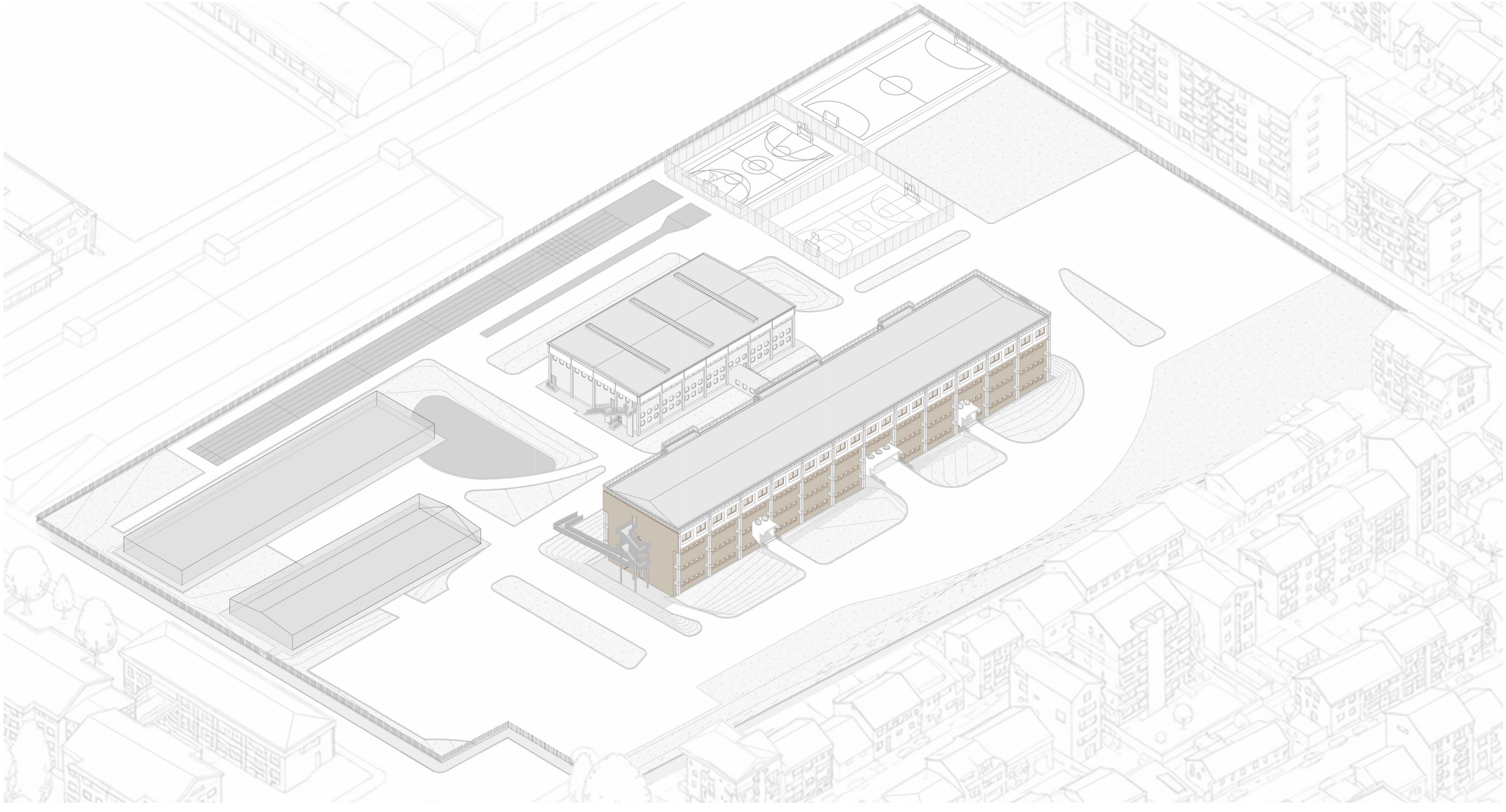
Nel complesso, l'intervento rappresenta un miglioramento significativo delle prestazioni dell'edificio, ma la sua portata rimane circoscritta agli aspetti energetici e conservativi. Restano infatti aperte le questioni legate alla qualità e all'organizzazione degli spazi scolastici, che non sono state assolutamente risolte e si presentano oggi come delinato nel capitolo precedente, e che richiederebbero interventi di carattere più ampio per rispondere pienamente alle esigenze attuali della scuola.

[1] Città Metropolitana di Torino, Dipartimento Edilizia scolastica, *Riqualificazione energetica del corpo aule - L.S. Carlo Cattaneo, Torino. MD.001 Quadro economico*, aprile 2022

[2] Città Metropolitana di Torino, Dipartimento Edilizia scolastica, *Riqualificazione energetica del corpo aule - L.S. Carlo Cattaneo, Torino. MD.005 Relazione generale opere architettoniche*, aprile 2022



Foto X. Il corridoio coperto di accesso alla palestra non oggetto della riqualificazione, dove sono evidenti le differenze tra i due edifici nello stato di conservazione e nella qualità di finiture e infissi.



7.2 ANALISI DELL'INTERVENTO

CAPPOTTO TERMICO. L'intervento più significativo riguarda l'aggiunta dell'isolamento termico a cappotto sulle strutture verticali opache dell'edificio, in particolare del piano seminterrato, rialzato e primo. Sul secondo piano l'intervento non è stato previsto poiché dalle analisi sono emersi valori di trasmittanza termica già adeguati, rendendo quindi non necessario un ulteriore intervento sull'involucro; a ciò si aggiunge la particolare conformazione sagomata dei pannelli di facciata, che avrebbe reso più complesso l'adattamento del sistema di isolamento.

L'intervento risponde alla necessità di ridurre le dispersioni attraverso le pareti perimetrali e di correggere, per quanto possibile, i ponti termici generati dalla struttura esistente, costituita da dei muri di tamponamento in calcestruzzo Leca.

Foto X. Il prospetto Est.



Il sistema a cappotto consente di collocare lo strato isolante sul lato esterno della parete, proteggendo la struttura dalle escursioni termiche e migliorando la continuità dell'involucro. In questo modo, la massa dell'edificio tende a mantenere condizioni stabili: più calde durante l'inverno e meno soggette a surriscaldamento durante l'estate. La soluzione contribuisce inoltre a ridurre il rischio di condensazioni superficiali e interstiziali, migliorando il comportamento igrotermico della parete.

Il cappotto è stato realizzato con pannelli in lana di roccia di spessori pari a 12 cm, posizionati sopra i pannelli prefabbricati esistenti. Sono inoltre previsti pannelli da 5 cm per compensare i motivi in bassorilievo presenti sulle facciate e ottenere una superficie continua. La conducibilità termica del materiale isolante è pari a $\lambda = 0{,}036$ W/mK.

Questa soluzione, seppur necessaria e dal punto di vista energetico, tuttavia modifica la lettura materica e compositiva dei prospetti, perché introduce un nuovo strato esterno che regolarizza la superficie, prima scandita dai pannelli prefabbricati di larghezza modulare e decorati con motivi in bassorilievo che riprendevano il ritmo e la forma delle aperture. Dal punto di vista architettonico, l'intervento non si limita quindi a un aggiornamento invisibile, ma modifica concretamente la percezione della facciata. Altro aspetto da considerare riguarda l'aumento dello spessore complessivo dell'involucro, che modifica la profondità dei vani finestra; questo tema sarà ripreso nelle verifiche illuminotecniche e nella lettura critica dell'intervento, in relazione all'ingresso della luce naturale negli ambienti interni.



X

Foto X. Il sottotetto. Si nota la limitata altezza e le estrusioni dei lucernari del secondo piano.

COIBENTAZIONE DEL SOTTOTETTO. La coibentazione ha riguardato anche il sottotetto. Il corpo aule presenta una superficie disperdente superiore significativa, pari a circa 2.100 mq, che costituisce una delle principali vie di dispersione del calore durante il periodo invernale. La coibentazione della copertura assume un ruolo centrale anche nel comportamento estivo dell'edificio: la riduzione della trasmittanza e il miglioramento del comportamento dinamico dell'elemento orizzontale contribuiscono infatti a limitare il passaggio del calore verso gli ambienti sottostanti, migliorando le condizioni interne durante i mesi più caldi.

La copertura dell'edificio è formata da un tetto a falde in lamiera metallica, sorretto da capriate metalliche ancorate all'estradosso dell'ultimo solaio. L'intervento non prevede la sostituzione complessiva della copertura, ma l'isolamento del sottotetto mediante posa di materiale coibente sull'estradosso dell'ultimo impalcato, con pannelli in lana di roccia di spessore pari a 12 cm, con conducibilità termica $\lambda = 0{,}036$ W/mK.
La scelta di intervenire sull'estradosso dell'ultimo solaio consente di migliorare la prestazione termica dell'elemento orizzontale superiore, senza idealmente dover sostituire l'intero manto di copertura.
Tuttavia, la ridotta altezza utile del sottotetto, pari a circa 1,60 m, non consente lavorazioni agevoli, per cui le operazioni hanno previsto una procedura per fasce, con smontaggio progressivo della lamiera grecata, posa dell'isolante e successivo rimontaggio della copertura. Tale scelta mostra come l'intervento energetico debba confrontarsi non solo con obiettivi prestazionali, ma anche con vincoli costruttivi e di cantiere derivanti dalla configurazione esistente.

SOSTITUZIONE DEI SERRAMENTI ESTERNI. La sostituzione dei serramenti esterni è la seconda lavorazione più rilevante dell'intervento. Ha riguardato i serramenti esterni non ancora sostituiti nel precedente lotto di lavori, che aveva già interessato alcune aperture del piano seminterrato, e completa quindi la riqualificazione dell'intero sistema dei serramenti del corpo aule, includendo diverse tipologie di aperture: finestre delle aule, degli uffici, dei servizi igienici, dei corpi scala, aperture dei blocchi di collegamento, porte delle uscite di sicurezza e degli ingressi al fabbricato.

La loro sostituzione si è resa necessaria sia per il miglioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro sia per adeguare le condizioni d'uso quotidiano degli ambienti scolastici. I serramenti esistenti presentavano infatti prestazioni non più adeguate agli attuali requisiti energetici, con ricadute sulle dispersioni termiche, sulla tenuta all'aria e sul comfort acustico. Il nuovo intervento non incide quindi esclusivamente sulla riduzione



Foto X. Il prospetto Ovest. Nei volumi estrusi dei bagni non sono state effettuate le opere murarie complementari di taglio degli angoli stondati dei vecchi infissi.

delle dispersioni, ma modifica anche le modalità di apertura e di ventilazione naturale degli ambienti: in assenza di un impianto di ventilazione meccanica, tutte le finestre sono state sostituite con infissi a battente, aumentando quindi la superficie effettivamente apribile e consentire un maggiore ricambio d'aria naturale. Nello stato di fatto, infatti, le finestre del secondo piano erano di tipo scorrevole, mentre quelle degli altri piani erano apribili esclusivamente a vasistas, con quindi una superficie di apertura particolarmente limitata e meno possibilità di ricambio d'aria degli ambienti.

I nuovi serramenti sono in lega di alluminio 6060 a taglio termico, con sezione minima del telaio pari a 72 mm e sezione minima dell'anta pari a 80 mm. Sono dotati di vetrocamera con doppio vetro e intercapedine riempita ad argon. La trasmittanza complessiva prevista risulta inferiore ai limiti di legge per la zona climatica E, con riferimento al valore limite Ulim = 1,40 W/m²K. Oltre alla prestazione termica, i nuovi serramenti presentano caratteristiche migliorative rispetto alla tenuta e al comfort: permeabilità all'aria in classe 4, tenuta all'acqua in classe E1200, resistenza al vento in classe C5 e isolamento acustico minimo pari a 45 dB.

In alcuni casi, la posa dei nuovi serramenti ha richiesto anche opere complementari di adattamento dei vani. Il computo prevede infatti la rettifica dei vani serramento, con taglio degli angoli stondati delle pareti perimetrali prefabbricate e successiva riquadratura del vano per l'alloggiamento dei nuovi serramenti con spigoli a 90 gradi. Questo elemento mostra come la sostituzione dei serramenti non sia un'operazione esclusivamente di finitura, ma comporti un intervento diretto sulla geometria dei pannelli prefabbricati esistenti.

Il miglioramento della tenuta all'aria se da un lato rappresenta un obiettivo coerente con la riqualificazione energetica dell'involucro, dall'altro assume particolare importanza in un edificio privo di ventilazione meccanica controllata. La maggiore tenuta dell'involucro rende infatti il ricambio d'aria maggiormente dipendente dall'apertura manuale delle finestre. In questo senso, la scelta di infissi a battente in alcune porzioni dell'edificio incide sulla possibilità di garantire il ricambio d'aria attraverso la ventilazione naturale. Il rapporto tra maggiore tenuta dell'involucro e necessità di ventilazione sarà pertanto ripreso nelle successive verifiche prestazionali e nella lettura critica dell'intervento.

RISANAMENTO DELLE FACCIATE. Accanto agli interventi di efficientamento energetico, il progetto prevede opere di risanamento conservativo delle facciate.
Queste lavorazioni riguardano sia gli elementi in calcestruzzo a vista sia i pannelli prefabbricati del piano secondo.

Il risanamento degli elementi in calcestruzzo a vista risponde alla necessità di intervenire su parti esposte al degrado, in particolare pilastri, travi, cordoli e componenti di facciata. Le lavorazioni comprendono la rimozione delle parti ammalorate, il trattamento delle armature esistenti con prodotti convertitori o passivanti, il ripristino delle superfici e l'applicazione di trattamenti protettivi. L'obiettivo è prolungare la vita utile degli elementi, proteggendoli dagli agenti atmosferici e riducendo il rischio di ulteriore deterioramento.
Un'attenzione specifica è dedicata ai pannelli prefabbricati del secondo piano, maggiormente esposti alle intemperie. A differenza delle altre porzioni opache dell'involucro, questi pannelli non sono interessati dalla posa del cappotto termico a causa della loro particolare conformazione sagomata, che ne rende più complesso l'adattamento al sistema di isolamento. Si interviene pertanto sul loro stato di conservazione attraverso un ciclo di lavorazione articolato: raschiatura preventiva della superficie, spicconatura delle porzioni in fase di distacco, rasatura con malta cementizia fibrorinforzata, posa di una rete in fibra di vetro resistente agli alcali e applicazione di una finitura acrilica in pasta ad effetto rustico.
In corrispondenza dei vani finestra, dove il pannello prefabbricato risulta più ammalorato, è prevista la posa di uno scatolare in alluminio con funzione di ripristino della squadratura e del piano d'appoggio per i successivi strati del ciclo di risanamento. Questo dettaglio evidenzia il rapporto stretto tra intervento sui serramenti e intervento sulle facciate: la sostituzione degli infissi richiede infatti un trattamento coerente dei bordi, dei vani e delle superfici di supporto.
Il risanamento delle facciate svolge quindi una funzione duplice. Da un lato consente di proteggere e consolidare le componenti edilizie esistenti; dall'altro contribuisce a restituire un'immagine più ordinata e omogenea dell'edificio, in coerenza con il nuovo sistema di involucro.



Foto X. Ingresso laterale del prospetto Est.

RIQUALIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI. A differenza delle opere sull'involucro, che incidono direttamente sulla prestazione energetica dell'edificio, questa parte dell'intervento riguarda soprattutto la sicurezza, l'adeguamento funzionale e l'aggiornamento delle dotazioni tecniche. Le lavorazioni interessano l'edificio nel suo complesso, ad eccezione delle aree già oggetto di interventi precedenti e complete di certificazioni. Tra le opere previste rientrano l'allacciamento alla

rete di distribuzione in bassa tensione, la formazione delle reti di collegamento di potenza, la realizzazione dei sistemi di sgancio d'emergenza dell'alimentazione elettrica, le reti primarie e secondarie di distribuzione, gli impianti di forza motrice, l'impianto di terra e protezione contro i contatti indiretti e la protezione contro le sovratensioni.
È inoltre realizzata l'integrazione degli impianti di illuminazione ordinaria e di emergenza, la realizzazione dell'impianto di rivelazione incendi, dell'impianto EVAC per la diffusione di messaggi vocali di allarme, degli impianti telefonici e di cablaggio strutturato limitatamente ai componenti passivi del piano terreno, degli impianti di chiamata di soccorso nei WC disabili, dell'impianto videocitofonico e della rete di canalizzazioni per linee elettriche, cablaggio e impianti speciali. Questa componente dell'intervento assume un ruolo importante nella gestione quotidiana e delle emergenze dell'edificio. Pur non modificando la distribuzione degli spazi, l'aggiornamento degli impianti contribuisce a rendere l'edificio più sicuro, più controllabile e più rispondente alle esigenze funzionali attuali.

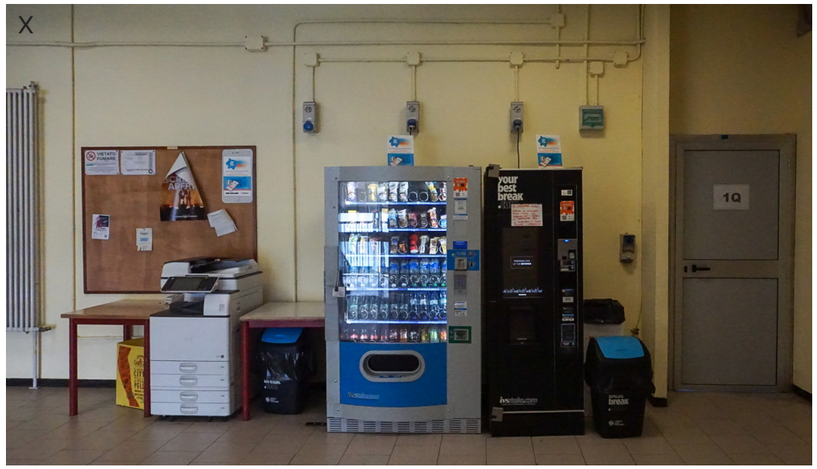


Foto X. Area break al secondo piano: le numerose scatole di derivazione restituiscono la complessità e la ramificazione dell'impianto elettrico.

7.3 VERIFICHE PRESTAZIONALI

Le opere descritte nei paragrafi precedenti determinano variazioni nelle prestazioni energetiche e ambientali degli edifici scolastici, incidendo sulle condizioni di qualità e comfort degli spazi interni. Lo scenario di riqualificazione viene pertanto analizzato attraverso gli stessi tre ambiti di verifica applicati allo stato di fatto: illuminotecnico, acustico e fabbisogno energetico.
L'obiettivo è individuare i principali miglioramenti introdotti e, al contempo, evidenziare eventuali criticità residue per le quali sarebbero risultati necessari ulteriori interventi migliorativi, consentendo una lettura complessiva degli effetti della riqualificazione sulle prestazioni ambientali dell'edificio.

ILLUMINOTECNICA. L'intervento prevede la sostituzione di tutti gli infissi dell'edificio, comportando una lieve variazione delle condizioni di illuminazione naturale degli ambienti principali rispetto alla configurazione originaria. Le analisi illuminotecniche hanno pertanto l'obiettivo di valutare le condizioni di illuminamento e di comfort visivo conseguenti alla nuova configurazione, fornendo un quadro complessivo delle condizioni di illuminazione naturale della scuola.

I locali analizzati sono i medesimi dell'analisi illuminotecnica dello stato di fatto presentata nel capitolo precedente, in modo da poter valutare le variazioni. Sono quindi considerate quattro aule: due al primo piano, rispettivamente esposte a Est e a Ovest, e due al secondo piano, anch'esse con lo stesso orientamento.

Le verifiche sono state sviluppate secondo la stessa metolodogia del capitolo precedente e i risultati sono presentati nelle schede dedicate alle singole aule nelle pagine successive, con la rappresentazione trimensionale dello spazio e la presentazione dei parametri di illuminazione analizzati. Sono quindi indicati i vari risultati relativi ai parametri di *View Out Analysis*, che misura la qualità e la quantità della vista verso l'esterno; la verifica del raggiungimento di 300 lux sul 95% della superficie e di 500 lux sul 50% della superficie, richiesta dai protocolli di sostenibilità energetico-ambientale quali i Criteri Ambientali Minimi (CAM); l'*Annual Sunlight Exposure* (ASE), l'*Useful Daylight Illuminance* (UDI) e il *Daylight Glare Probability* (DGP), quest'ultimo utilizzato per la valutazione del rischio di abbagliamento.

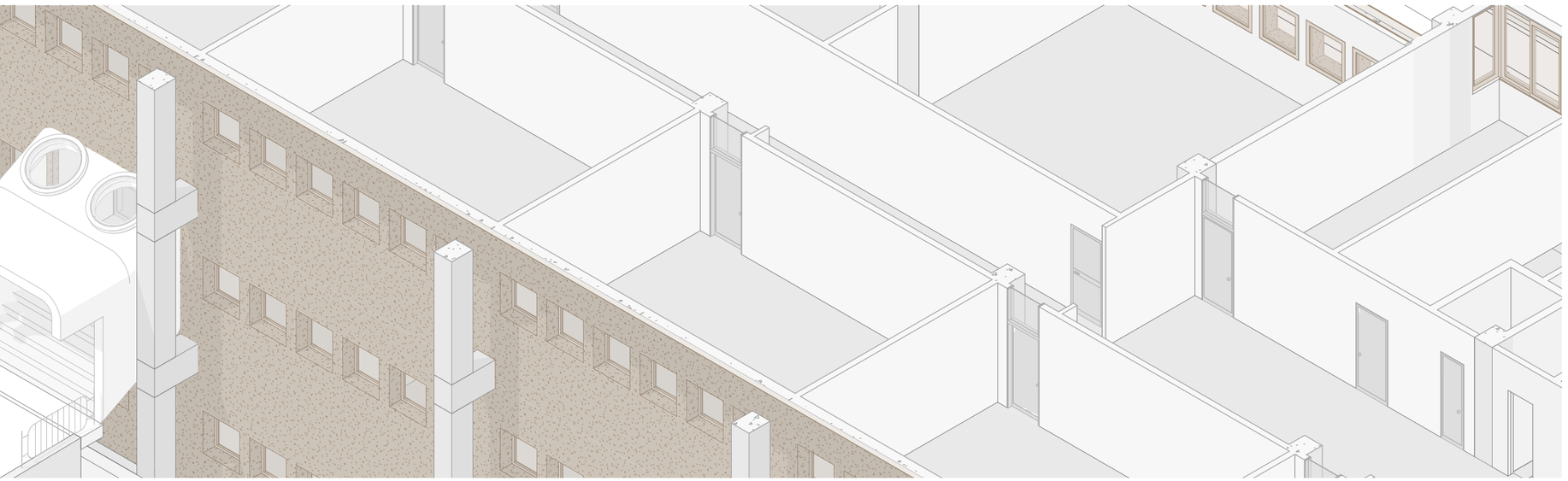


Foto X. Radiazione solare nelle ore pomeridiane in un'aula del secondo piano orientata ad Ovest.

	PROPRIETÀ GEOMETRICHE					PROPRIETÀ TERMOFISICHE							
	Aw,p [m^2]	Ag [m^2]	Af [m^2]	Ff	lg [m]	Uw [W/m^2K]	Uw+shut [W/m^2K]	ggl	ggl+sh	ε	Ug [W/m^2K]	Uf [W/m^2K]	ψ [W/mK]
\\ F01	1,13	0,87	0,26	0,23	3,52	1,2	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036
\\ F02	3,86	3	0,85	0,22	9,84	1,18	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036
\\ F03	8,55	6,08	2,47	0,289	24,04	1,22	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036
\\F04	0,81	0,61	0,2	0,247	2,96	1,23	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036
\\ P_f01	26,86	15,2	11,66	0,434	74,54	1,27	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036
\\ P_f02	14,06	7,44	6,62	0,471	37,14	1,28	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036
\\ P_f03	11,47	6,69	4,78	0,417	40,05	1,29	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036

PROPRIETÀ GEOMETRICHE		PROPRIETÀ TERMOFISICHE			
Aw,p [m^2]	Area totale del serramento	**Uw [W/m^2K]**	Trasmittanza del serramento	**Ug [W/m^2K]**	Trasmittanza del vetro
Ag [m^2]	Area vetrata	**Uw+shut [W/m^2K]**	Trasmittanza con chiusura oscurante	**Uf [W/m^2K]**	Trasmittanza del telaio
Af [m^2]	Area del telaio	**ggl**	Fattore solare del vetro	**ψ [W/mK]**	Trasmittanza lineare vetro–telaio
Ff	Rapporto Af / Aw,p	**ggl+sh**	Fattore solare vetro + schermatura	/	Vetro singolo
lg [m]	Perimetro del vetro	**ε**	Emissività superficiale esterna	//	Vetro doppio

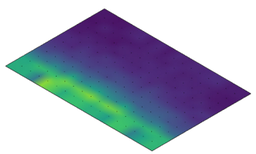
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	45,90	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	43,03	Finitura	Grigio chiaro	0,55
Travi	10,01	C.a a vista	Grigio scuro	0,15
Parete sud	16,83	Intonaco	Celeste	0,43
Parete ovest	24,96	Intonaco	Giallo	0,70
Parete nord	16,83	Intonaco	Bianco sporco	0,70
Parete est	17,14	Intonaco	Giallo	0,70
Porta	2,99	Alluminio	Verde scuro	0,18
Serramenti				F02

Parametro	Valore
Superficie utile	45,90 m²
Superficie vetrata	4,20 m²
WFR	17,00%
Riflettanza media (ρ_m)	0,46

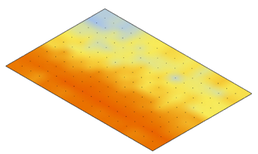
FDLm



1,4%

0% 5%

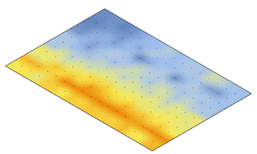
300lux sul 95% della superficie (EN 17037)



36,1% del tempo

0lux 3000lux

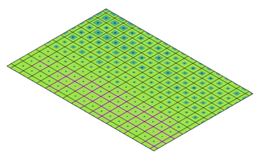
500lux sul 50% della superficie (EN 17037)



28,4% del tempo

0lux 3000lux

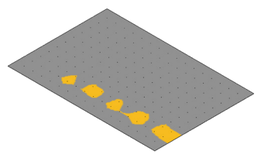
avg UDIA



65,9%

0 250h >

ASE 1000/250



8,5%

100 300 3000lux

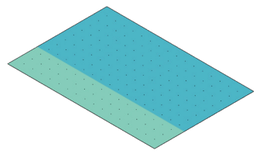
DPG



15,0%

0 %Disturbing 5

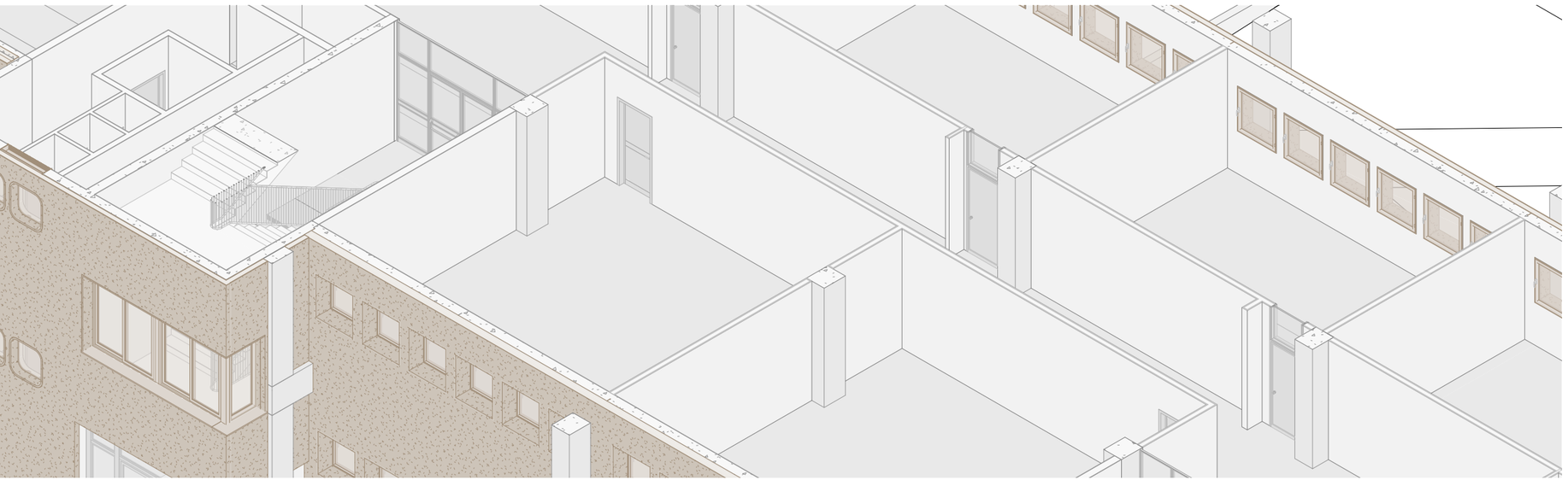
View Out Analysis (EN 17037)



Alto 27,3%
Medio 72,7%

Neg. Min. Med. Alto

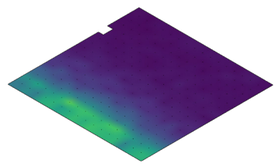
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA OVEST



Elemento	Area [m²]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	67,40	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	62,00	Finitura	Grigio chiaro	0,55
Travi	13,88	C.a. a vista	Grigio scuro	0,15
Parete sud	20,85	Intonaco	Celeste	0,43
Parete ovest	28,72	Intonaco	Giallo	0,70
Parete nord	16,93	Intonaco	Bianco sporco	0,70
Parete est	25,78	Intonaco	Giallo	0,70
Porta	4,65	Alluminio	Verde scuro	0,18
Serramenti				F02

Parametro	Valore
Superficie utile	67,40 m²
Superficie vetrata	4,20 m²
WFR	6,20%
Riflettanza media (ρ_m)	0,46

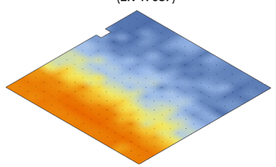
FDLm



0,9%



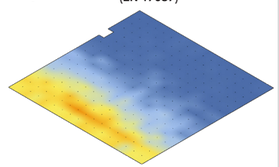
300lux sul 95% della superficie (EN 17037)



0,0% del tempo



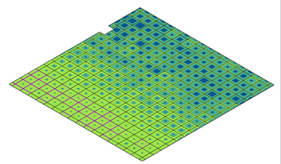
500lux sul 50% della superficie (EN 17037)



9,2% del tempo



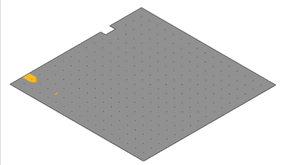
avg UDIA



69,3%



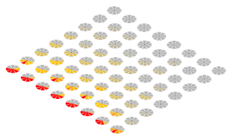
ASE 1000/250



1,2%



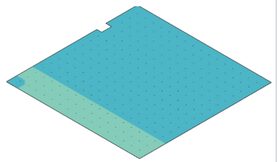
DPG



5,1%



View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%



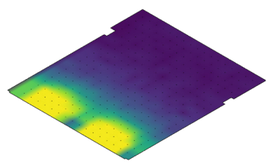
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	78,1	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	71,87	Finitura	Grigio chiaro	0,55
Travi	16,13	C.a. a vista	Grigio scuro	0,15
Parete sud	28,25	Intonaco	Azzurro	0,43
Parete ovest	28,21	Intonaco	Giallo	0,70
Parete nord	29,74	Intonaco	Bianco sporco	0,70
Parete est	14,74	Intonaco	Giallo	0,70
Porta	2,01	Alluminio	Verde scuro	0,18
Serramenti				F02

Parametro	Valore
Superficie utile	78,10 m²
Superficie vetrata	6,00 m²
WFR	7,70%
Riflettanza media (ρ_m)	0,43

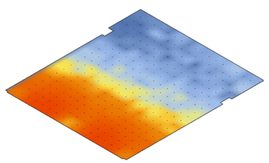
FDLm



1,4%



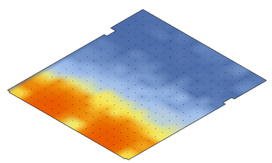
300lux sul 95% della superficie (EN 17037)



5,2% del tempo



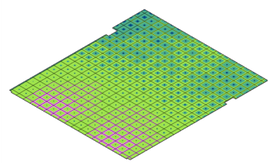
500lux sul 50% della superficie (EN 17037)



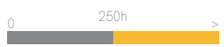
16,3% del tempo



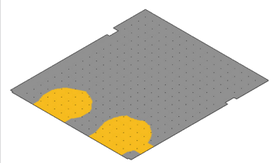
avg UDIA



53,2%



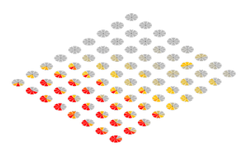
ASE 1000/250



16,7%



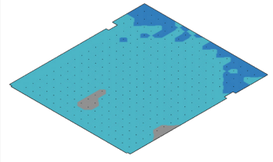
DPG



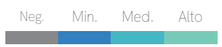
14,6%



View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%



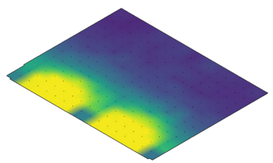
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



ELEMENTO	AREA [M^2]	MATERIALE	COLORE	ρ/RIF.
Pavimento	54,72	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	49,75	Finitura soffitto	Grigio chiaro	0,55
Travi	13,16	C.a. a vista	Grigio scuro	0,15
Parete sud	20,13	Intonaco	Azzurro	0,43
Parete ovest	26,2	Intonaco	Giallo	0,70
Parete nord	20,13	Intonaco	Bianco sporco	0,70
Parete est	14,74	Intonaco	Giallo	0,70
Porta	2,01	Alluminio	Verde scuro	0,18
Serramenti				F02

PARAMETRO	VALORE
Superficie utile	54,72 m²
Superficie vetrata	6,00 m²
WFR	11,00%
Riflettanza media (ρ_m)	0,45

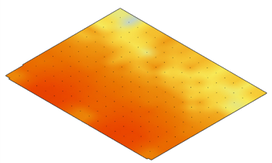
FDLm



2,5%

0% 5%

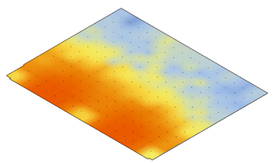
300lux sul 95% della superficie (EN 17037)



46,16% del tempo

0lux 3000lux

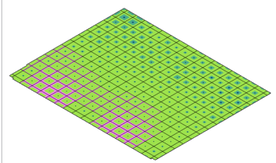
500lux sul 50% della superficie (EN 17037)



57,5% del tempo

0lux 3000lux

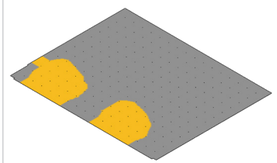
avg UDIA



72,2%

0 250h >

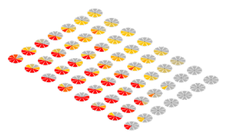
ASE 1000/250



18,7%

100 300 3000lux

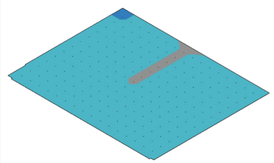
DPG



19,4%

0 %Disturbing 5

View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%

Neg. Min. Med. Alto

ACUSTICA. La verifica acustica dello scenario di riqualificazione è finalizzata a confrontare le prestazioni successive all'intervento con quelle rilevate nello stato di fatto, mettendo in evidenza le variazioni dei principali parametri considerati. L'analisi consente di distinguere due effetti differenti, direttamente riconducibili alla natura dell'intervento, concentrato prevalentemente sulla riqualificazione della facciata: da un lato, il miglioramento della protezione nei confronti del rumore proveniente dall'esterno, dovuto principalmente alla sostituzione dei serramenti; dall'altro, la sostanziale permanenza delle criticità relative al comfort acustico interno delle aule.

Ai fini del confronto sono state analizzate le stesse tre aule campione già considerate nel capitolo precedente, in modo da garantire una lettura diretta e coerente degli effetti prodotti dall'intervento rispetto allo stato di fatto. Le tre aule sono state selezionate perché rappresentative di differenti configurazioni geometriche presenti nell'edificio, tenendo conto sia delle dimensioni degli ambienti sia della forma, dell'estensione e della configurazione delle superfici finestrate. Tale scelta permette di valutare l'incidenza di queste variabili sui principali parametri di isolamento acustico passivo e di verificare se il miglioramento introdotto dalla riqualificazione assuma un peso differente al variare delle caratteristiche dell'aula considerata.

Per ciascun ambiente sono stati inoltre analizzati i principali elementi costruttivi che ne definiscono l'involucro e le separazioni verso gli spazi adiacenti, considerando pareti interne ed esterne, solai, serramenti e porte. A ciascun componente sono state associate le relative caratteristiche acustiche sulla base delle stratigrafie e delle caratteristiche costruttive individuate. Questo approccio consente di ricostruire il comportamento acustico complessivo delle aule e, soprattutto, di distinguere il contributo degli elementi effettivamente interessati dall'intervento da quello dei componenti rimasti invariati.

Il confronto tra lo stato di fatto e lo scenario riqualificato evidenzia infatti come le variazioni più significative delle prestazioni acustiche siano riconducibili agli elementi di facciata oggetto di intervento, mentre il comportamento acustico interno degli ambienti rimane pressoché invariato. Non essendo previste modifiche alle partizioni interne, alle finiture superficiali o ai materiali presenti negli ambienti, le criticità riscontrate nello stato di fatto continuano a caratterizzare anche lo scenario successivo alla riqualificazione. Tali condizioni risultano inoltre influenzate dallo stato di conservazione degli elementi esistenti e dalle situazioni di vetustà, degrado e scarsa manutenzione evidenziate nel capitolo precedente.

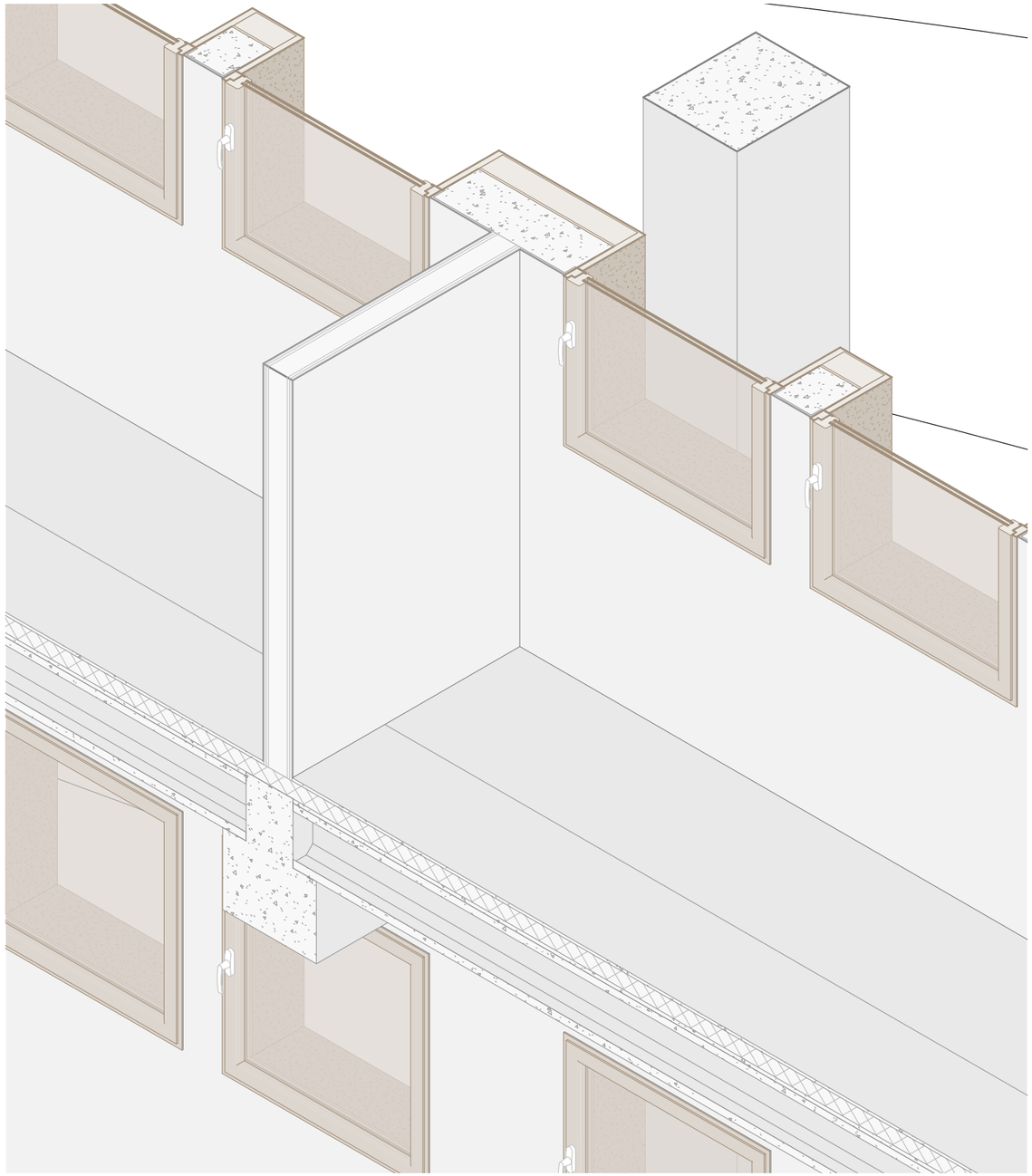
Il comfort acustico interno dipende infatti non soltanto dalle prestazioni di isolamento tra ambienti, ma anche dalla geometria dei locali e dalle caratteristiche fonoassorbenti delle superfici che li delimitano e li arredano, quali pavimenti, soffitti, pareti, rivestimenti e arredi. In assenza di interventi specifici su tali componenti, le condizioni di assorbimento acustico rimangono sostanzialmente inalterate e possono quindi permanere condizioni di riverberazione non ottimali per lo svolgimento delle attività didattiche.

Un miglioramento più evidente riguarda invece l'isolamento nei confronti del rumore esterno. I nuovi serramenti, caratterizzati da migliori prestazioni di tenuta e da un potere fonoisolante dichiarato non inferiore a 45 dB, contribuiscono a limitare la trasmissione sonora attraverso la facciata. Tale aspetto assume particolare rilevanza nel caso di un edificio scolastico inserito in un contesto urbano, nel quale il rumore derivante dal traffico veicolare e dalle attività circostanti può interferire con lo svolgimento delle lezioni e con le condizioni di concentrazione all'interno delle aule.

L'effettiva prestazione acustica della facciata risulta tuttavia strettamente correlata alle modalità di utilizzo dei serramenti. Il beneficio garantito dai nuovi infissi è infatti significativo quando le finestre rimangono chiuse; al contrario, la loro apertura manuale, necessaria per assicurare il ricambio d'aria in assenza di un sistema di ventilazione meccanica, determina una discontinuità dell'involucro e costituisce una via diretta di ingresso del rumore esterno, riducendo sensibilmente l'isolamento acustico complessivo della facciata. Tale condizione mette quindi in evidenza una relazione diretta tra qualità acustica e strategia di ventilazione degli ambienti, particolarmente significativa nelle aule scolastiche, nelle quali è necessario garantire frequenti ricambi d'aria durante l'occupazione.

La verifica evidenzia pertanto come l'intervento di riqualificazione sia in grado di migliorare la protezione degli ambienti rispetto al rumore proveniente dall'esterno, senza tuttavia incidere in maniera sostanziale sulle condizioni di comfort acustico interno. Questo aspetto sarà ripreso nella successiva lettura critica dell'intervento, poiché rappresenta uno dei principali limiti di una strategia di riqualificazione concentrata prevalentemente sulle prestazioni dell'involucro e non accompagnata da interventi specificamente rivolti alla qualità ambientale interna degli spazi didattici.





V3 - PARETE PERIMETRALE

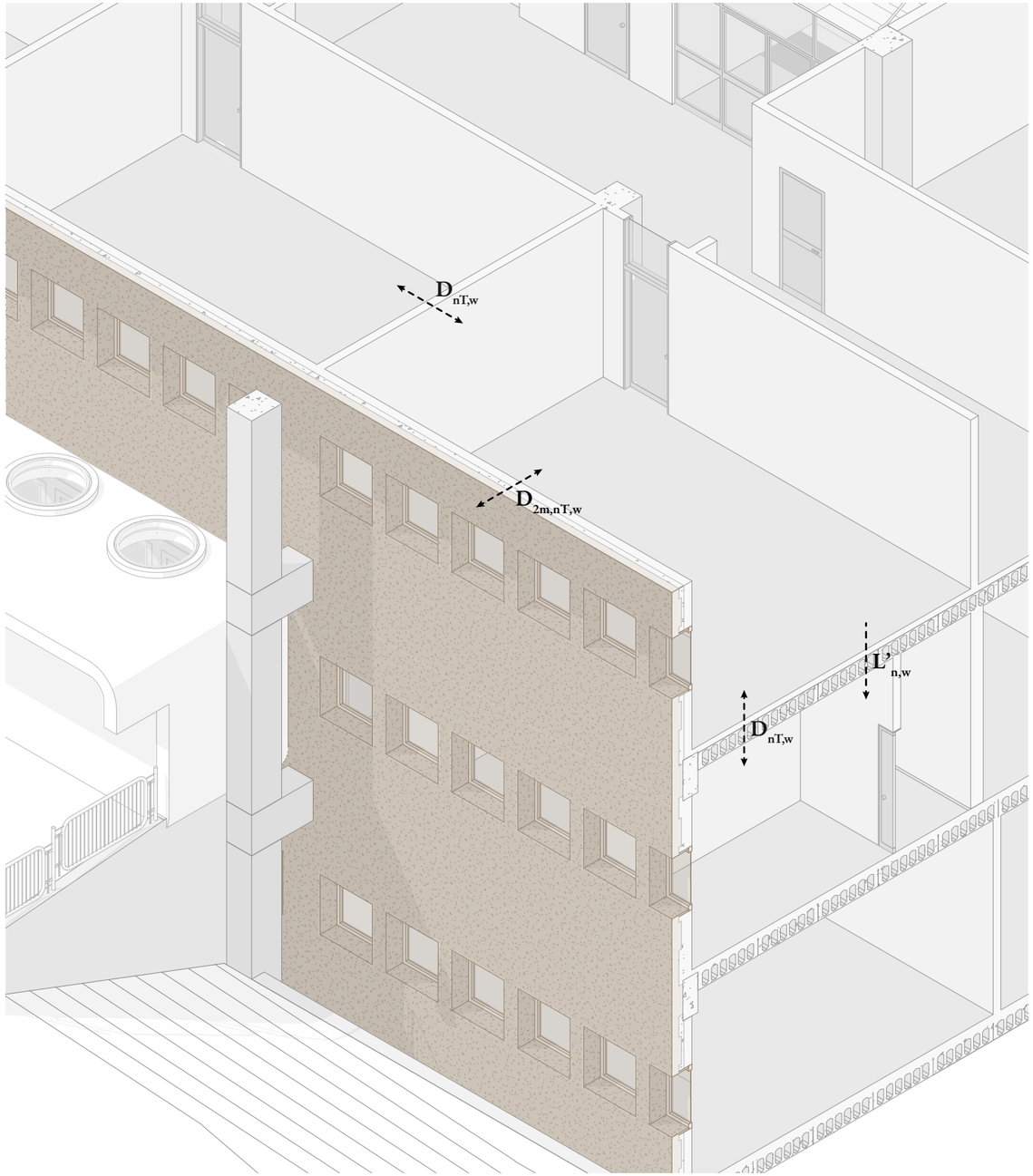
STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Intonaco di calce e gesso	2,00	1.400	8,50
Pannelli prefabbricati cls LECA	25,00	1.100	250,00
Malta di calce o di calce e cemento	2,00	1.800	9,00
Isolamento - lana di roccia TECHNOFACADE 34	12,00	110	13,20
Intonaco plastico	0,50	1.400	7,00
TOTALE	41,50		359,2

D1 - PARTIZIONE VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Calce, sabbia	0,50	1.600	8,00
Cartongesso (densità 700 kg/m^3)	1,30	700	8,80
Lana di vetro - pannelli - standard	8,00	50	4,00
Camera non ventilata	2,00	1	0,00
Cartongesso (densità 700 kg/m^3)	1,30	700	8,80
Calce, sabbia	0,50	1.600	8,00
TOTALE	13,50		37,5

O1 - PARTIZIONE ORIZZONTALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Pavimentazione in gomma	2,00	1.200	24,00
Massetto calcestruzzo alleggerito	8,00	900	27,00
Calcestruzzo	3 ,00	2400	120,00
Solaio alveolare	30,00	1.210	363,0
Gesso, sabbia	0,50	1.600	8,00
TOTALE	43,50		416,0



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)

Parete perimetrale	A = 26,68m²	$D_{2m,nT,w}$ = 52,1dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq 48dB$	VERIFICATO
	Rw = 48,5dB	R'w = 50,2dB	CAM 2017 $D_{2m,nT,w} \geq 48dB$	
Serramenti	A = 6 * 1m²			
	Rw = 45dB			

ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Divisorio	A = 16,85m²	$D_{nT,w}$ = 43,2dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq 50dB$	NON VERIFICATO
	Rw = 40dB	R'w = 39,1dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq 55dB$	
Locale ricevente	V = 137,7m³			
Incertezza	3,14dB			

ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

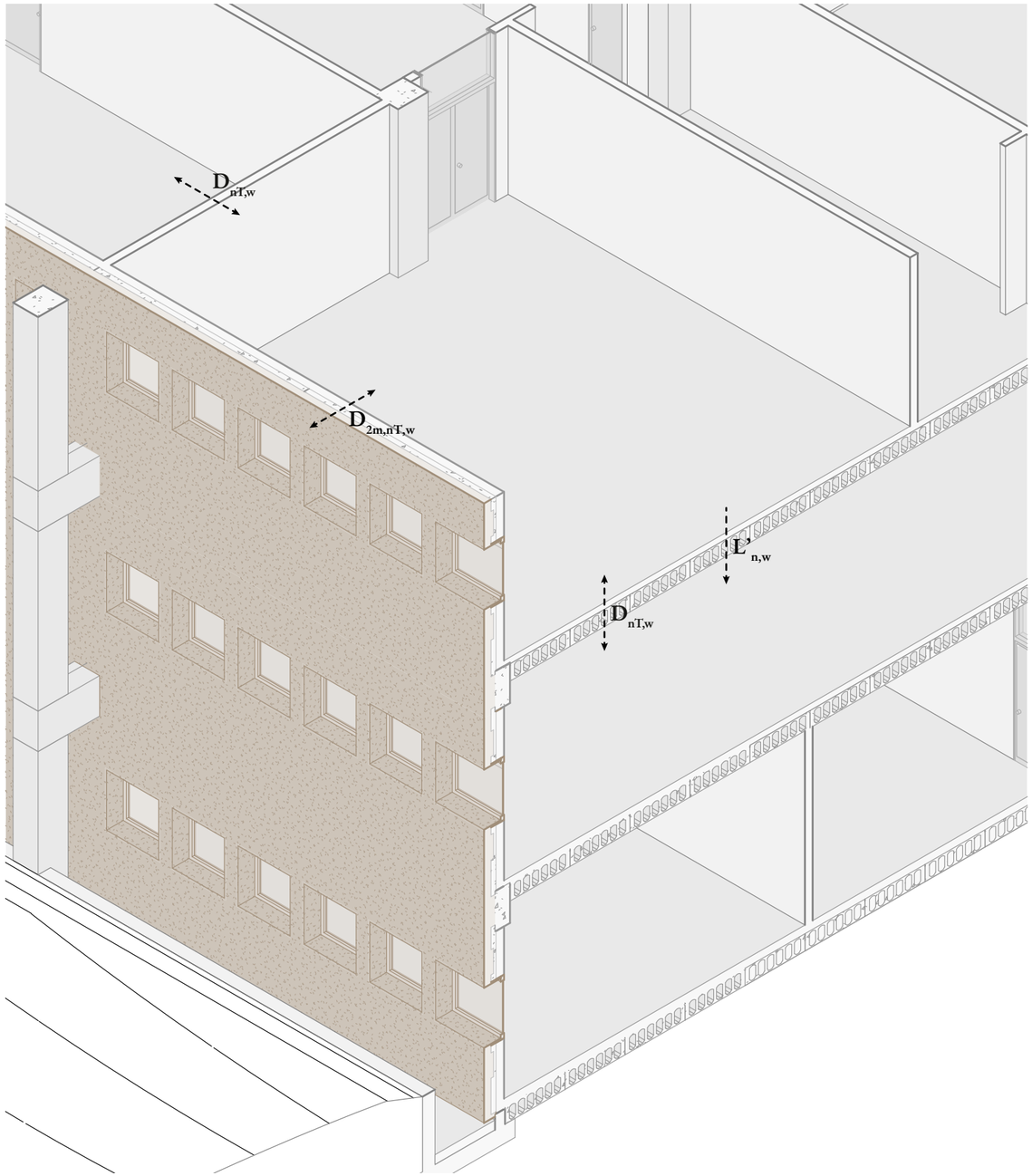
Area divisorio	45,9m²	$D_{nT,w}$ = 52,7dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq 50dB$	VERIFICATO
Volume locale	137,7m³	R'w = 53,0dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq 55dB$	NON VERIFICATO
R_w solaio base	54,1dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$ - $L'_{nT,w}$)

Area divisorio	45,9m²	$L'_{n,w}$ = 74,4dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq 58$ dB	NON VERIFICATO
Volume locale	137,7m³	L'nT,w = 67,8dB	CAM 2017 $L'_{n,w} \leq 53$ dB	
$L_{n,eq,0,w}$	74,3dB			
ΔL_w	0dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (C50 - T)

T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz 1,12s C50 medio 0,3		NON CONFORME



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)

Parete perimetrale	A = 27,93m²	$D_{2m,nT,w}$ = 53,9dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	VERIFICATO
	Rw = 48,5dB			
Serramenti	A = 6 * 1,13m²	R'w = 50,2dB	CAM 2017 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	
	Rw = 45dB			

ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Divisorio	A = 24,23m²	$D_{nT,w}$ = 43,1dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	NON VERIFICATO
	Rw = 40dB			
Locale ricevente	V = 207,3m³	R'w = 39,3dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
Incertezza	3,35dB			

ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

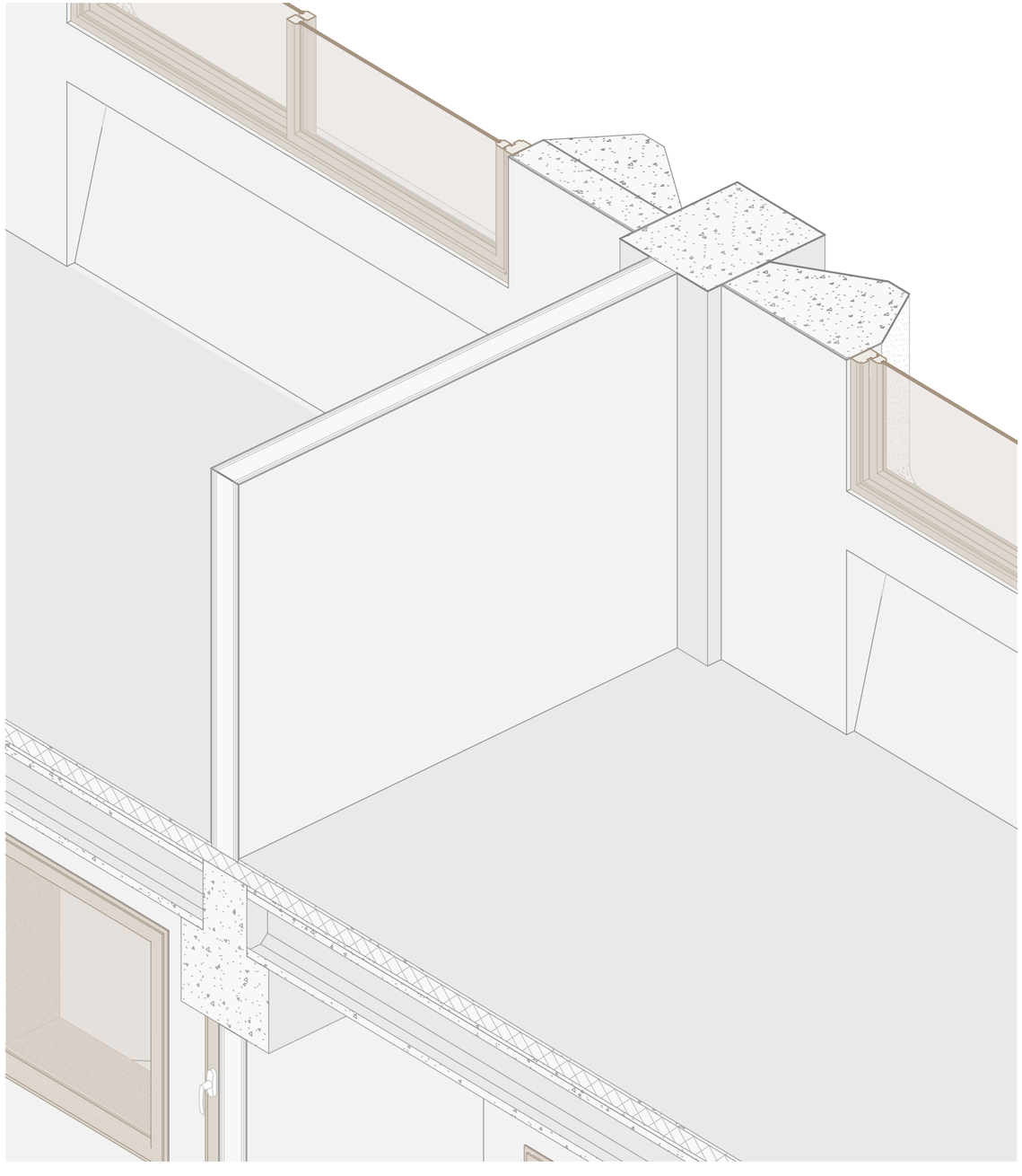
Area divisorio	69,1m²	$D_{nT,w}$ = 52,9dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	VERIFICATO
Volume locale	207,3m³			
R_w solaio base	54,1dB	R'w = 53,2dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	NON VERIFICATO
ΔR_w strati agg.	0dB			

LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$ - $L'_{nT,w}$)

Area divisorio	69,1m²	$L'_{n,w}$ = 74,6dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq$ 58 dB	NON VERIFICATO
Volume locale	207,3m³			
$L_{n,eq,0,w}$	74,3dB	$L'_{nT,w}$ = 66,2dB	CAM 2017 $L'_{n,w} \leq$ 53 dB	
ΔL_w	0dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (C50 - T)

	LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz 1,12s	T massimo valore medio 250Hz - 2Khz 1,2s	NON CONFORME
C50 medio 0,3	C50 minimo 2	



V3 - PARETE PERIMETRALE

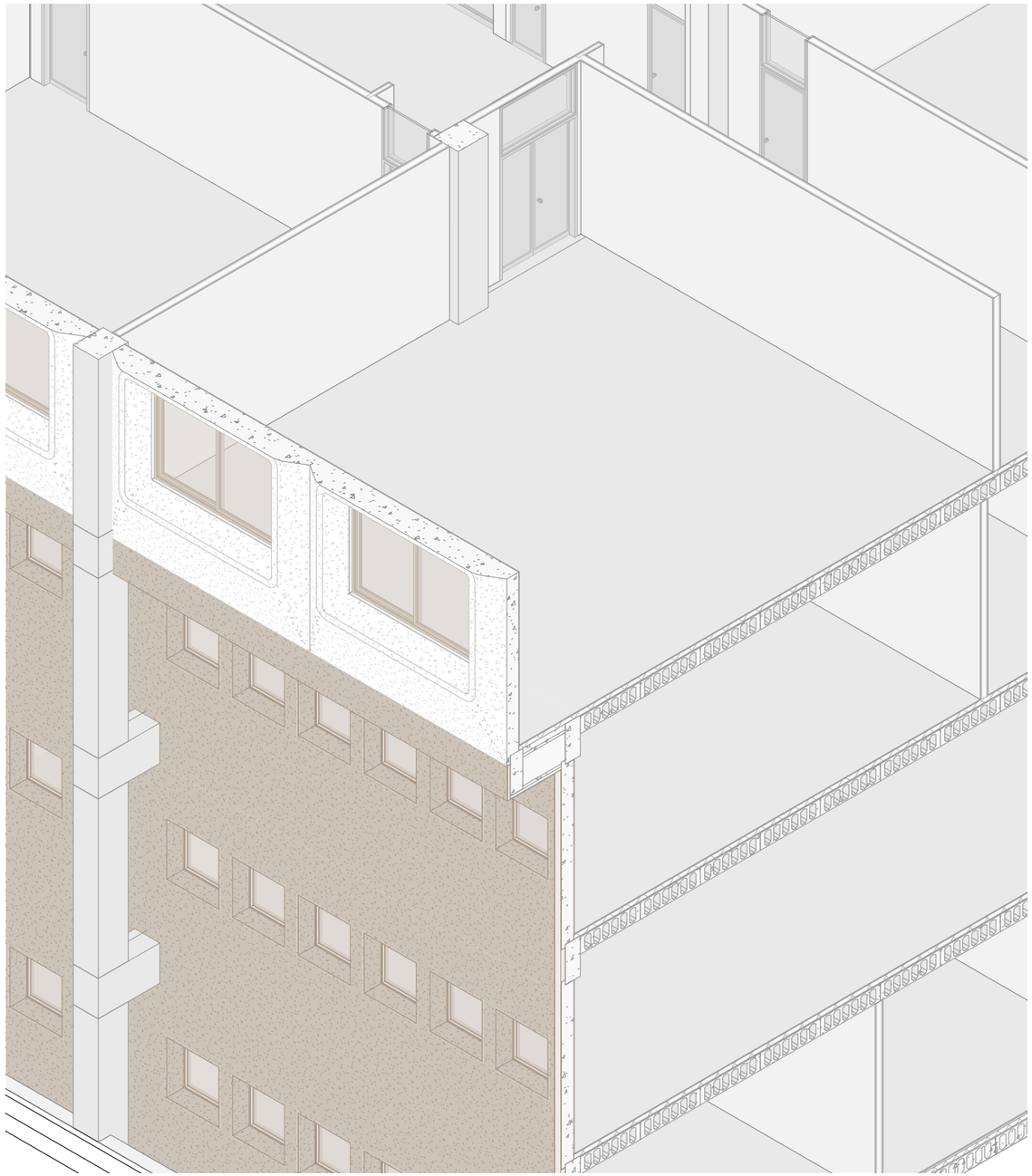
STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Intonaco di calce e gesso	2,00	1.400	8,50
Pannelli prefabbricati cls LECA	25,00	1.100	250,00
Malta di calce o di calce e cemento	2,00	1.800	9,00
TOTALE	26,00		267,5

D1 - PARTIZIONE VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Calce, sabbia	0,50	1.600	8,00
Cartongesso (densità 700 kg/m^3)	1,30	700	8,80
Lana di vetro - pannelli - standard	8,00	50	4,00
Camera non ventilata	2,00	1	0,00
Cartongesso (densità 700 kg/m^3)	1,30	700	8,80
Calce, sabbia	0,50	1.600	8,00
TOTALE	13,50		37,5

O1 - PARTIZIONE ORIZZONTALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Pavimentazione in gomma	2,00	1.200	24,00
Massetto calcestruzzo alleggerito	8,00	900	27,00
Calcestruzzo	3 ,00	2.400	120,00
Solaio alveolare	30,00	800	240,00
Gesso, sabbia	0,50	1.600	8,00
TOTALE	43,50		416,0



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)

Parete perimetrale	A = 27,66m²	$D_{2m,nT,w}$ = 51,7dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq 48dB$	VERIFICATO
	Rw = 49dB	R'w = 47,5dB	CAM 2017 $D_{2m,nT,w} \geq 48dB$	
Serramenti	A = 2 * 3,93m²			
	Rw = 45dB			

ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Divisorio	A = 27,51m²	$D_{nT,w}$ = 40,8dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq 50dB$	NON VERIFICATO
	Rw = 40dB	R'w = 36,7dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq 55dB$	
Locale ricevente	V = 227,1m³			
Incertezza	3,35dB			

ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Area divisorio	75,7m²	$D_{nT,w}$ = 53,0dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq 50dB$	VERIFICATO
Volume locale	227,1m³	R'w = 53,3dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq 55dB$	NON VERIFICATO
R_w solaio base	54,1dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$ - $L'_{nT,w}$)

Area divisorio	75,7m²	$L'_{n,w}$ = 74,6dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq 58$ dB	NON VERIFICATO
Volume locale	227,1m³	$L'_{nT,w}$ = 65,8dB	CAM 2017 $L'_{n,w} \leq 53$ dB	
$L_{n,eq,0,w}$	74,3dB			
ΔL_w	0dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (C50 - T)

	T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz	LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
	1,12s	T massimo valore medio 250Hz - 2Khz 1,2s	NON CONFORME
	C50 medio 0,3	C50 minimo 2	



FABBISOGNO E CONSUMO ENERGETICO. L'intervento rappresenta un importante aggiornamento energetico e manutentivo dell'edificio, e manutentivo dell'edificio esistente volto al miglioramento delle prestazioni dell'edificio.
Le opere incidono in particolare sulla riduzione delle dispersioni termiche: l'isolamento a cappotto, la coibentazione della copertura e la sostituzione dei serramenti migliorano il comportamento delle strutture, contribuendo a contenere il fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale. Tali interventi determinano inoltre un'evoluzione delle condizioni termoigrometriche degli elementi costruttivi, con effetti più stabili sugli scambi termici tra ambiente interno ed esterno.

Per approfondire gli effetti dell'intervento sull'involucro edilizio è stata condotta, come per lo stato di fatto, un'analisi delle principali stratigrafie dell'involucro edilizio, con l'obiettivo di approfondire le caratteristiche costruttive e il nuovo comportamento termoigrometrico. Le caratteristiche termo-fisiche dei nuovi materiali e la loro disposizione all'interno degli elementi costruttivi determinano delle variazioni nei valori di trasmittanza precedenti, contribuendo alla ridefinizione del fabbisogno energetico dell'edificio.
L'analisi ha quindi riguardato le medesime stratigrafie oggetto di analisi nello stato di fatto, in modo da consentire una comparazione ed evidenziare le variazioni.

I risultati delle verifiche sono illustrati nelle pagine successive attraverso una serie di assonometrie, che evidenziano le modifiche e le aggiunte rispetto allo configurazione di partenza. La restituzione consente così di mettere in relazione gli elementi vecchi e nuovi, sottolineando i loro effetti sul comportamento energetico dell'edificio.



C1 - SOLAIO COPERTURA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Isolamento - lana di roccia TECHNOFACADE 34	12,00	110	1	1.030	0,034
C.l.s. di sabbia e ghiaia	3,00	2.400	96	1.000	1,91
C.l.s isolante FOANCEM	8,00	350	7	1.000	0,084
Solaio tipo alveolare	32,00	1.394	9	840	0,889
TOTALE	40,00				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,200 W/m^{2}K	563,0 kg/m^2	0,004 W/m^{2}K	19 h 00’	0,02

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

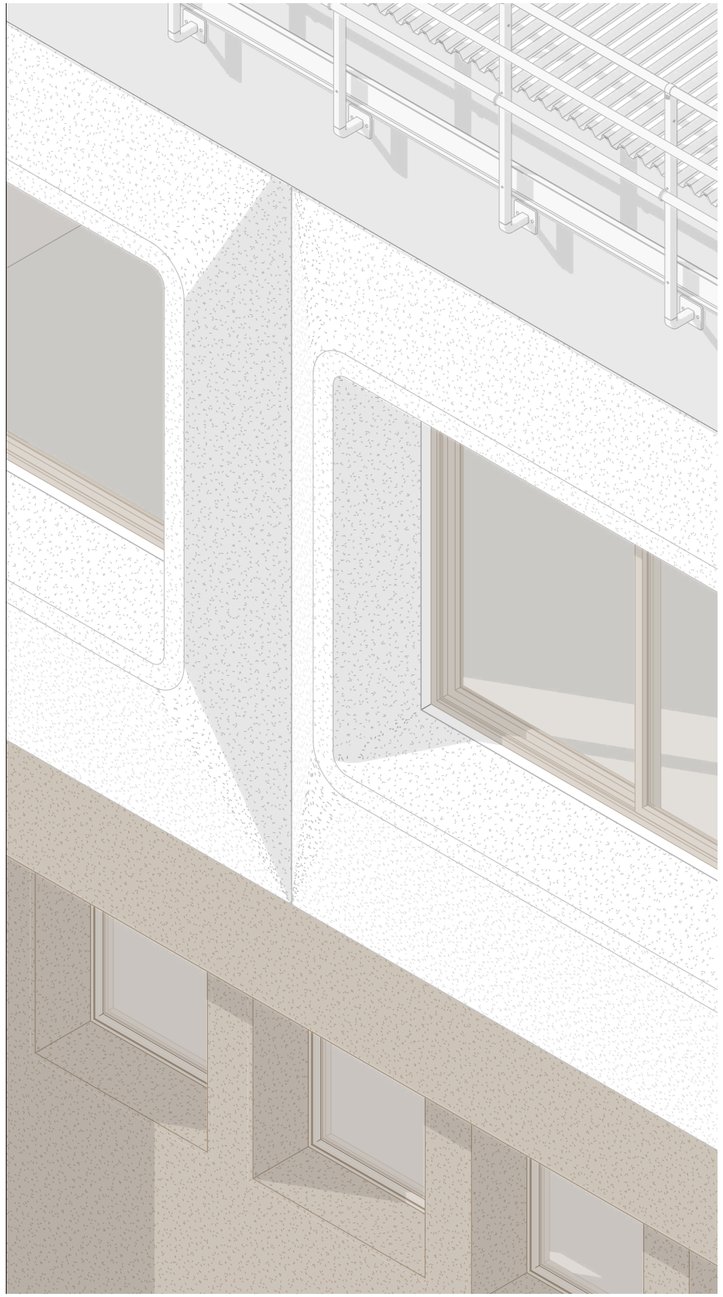
V1 - PARETE PERIMETRALE

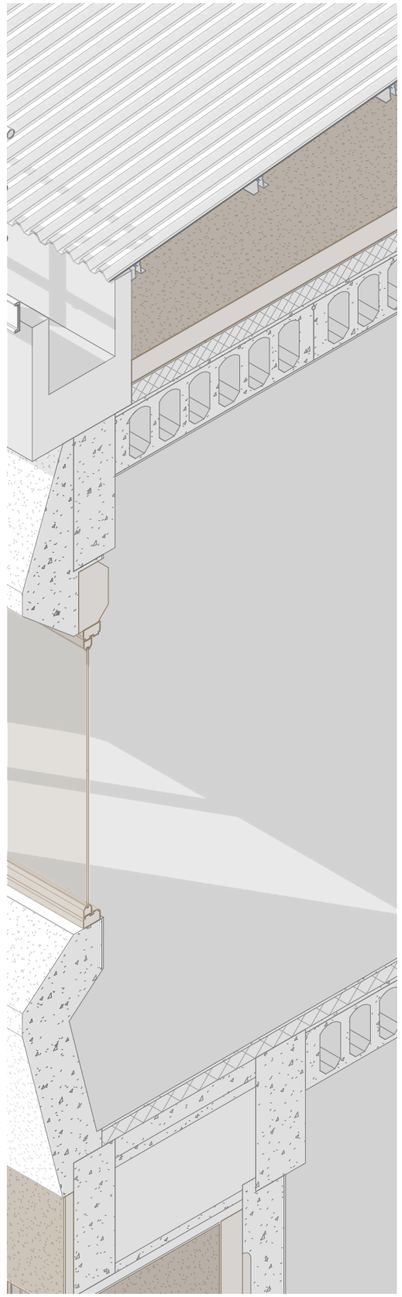
STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Intonaco di calce e gesso	1,00	1.400	10	1.000	0,700
C.l.s. sabbia e ghiaia	25,00	2.000	96	1.000	1,260
Intonaco plastico	1,00	1.400	10	840	0,400
Isolamento - lana di roccia TECHNOFACADE 34	12,00	110	1	1.030	0,034
Intonaco plastico per cappotto	0,50	1.400	150	840	0,400
TOTALE	40,00				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,231 W/m^{2}K	337,0 kg/m^2	0,020 W/m^{2}K	14 h 40’	0,09

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗





V2 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Malta di calce o di calce e cemento	1	1.800	22	1.000	0,9
C.l.s. LECA	25,00	1.100	10	1.000	0,260
Intonaco di gesso	1	1.300	10	1.000	0,57
TOTALE	27,50				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,889 W/m^{2}K	339,0 kg/m^2	0,197 W/m^{2}K	11 h 39’	0,23

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

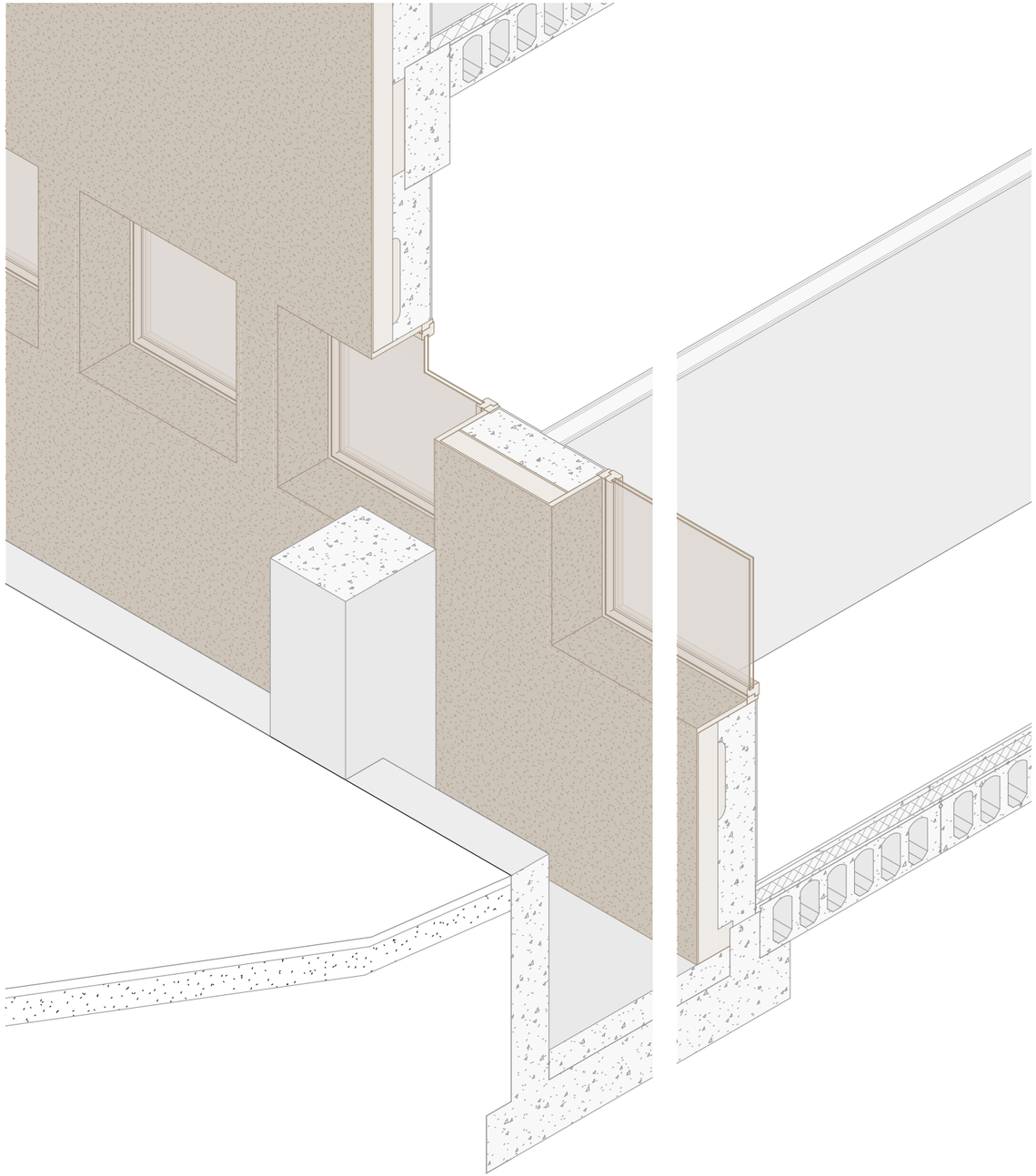
S2 - SOLAIO AGGETTANTE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Pavimentazione in linoleum	0,20	1.150	10.000	1.300	0,16
Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	8,00	2.200	70	880	1,49
Sismicilma - Blocchi muratura portante no...	10,00	350	7	1.000	0,084
C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	5,00	2.200	96	1.000	1,48
Intercapedine non ventilata Av<500 mm^2/m	50,00	—	—	—	2,0833
C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	5,00	2.000	96	1.000	1,26
Isolamento - lana di roccia TECHNOFACADE 34	12,00	110	1	1.030	0,034
Intonaco plastico	0,50	1.400	150	840	0,400
TOTALE	91,20				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,188 W/m^{2}K	455,0 kg/m^2	0,003 W/m^{2}K	18 h 52’	0,01

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓



V3 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Intonaco di calce e gesso	2,00	1.400	10	1.000	0,700
Pannelli prefabbricati cls LECA	25,00	1.100	10	1.000	0,260
Malta di calce o di calce e cemento	2,00	1.800	22	1.000	0,900
Isolamento - lana di roccia TECHNOFACADE 34	12,00	110	1	1.030	0,034
Intonaco plastico	0,50	1.400	150	840	0,400
TOTALE	41,50				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,212 W/m^{2}K	359,2 kg/m^2	0,009 W/m^{2}K	17 h 09’	0,04

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

S2 - SOLAIO CONTROTERRA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Pavimentazione in linoleum	0,20	1.150	10.000	1.300	0,16
Sottofondo in c.l.s. alleggerito	3,00	250	7	1.000	0,14
C.l.s isolante FOANCEM	8,00	350	7	1.000	0,084
C.l.s. di sabbia e ghiaia	5,00	2.000	96	1.000	1,26
Intercapedine non ventilata Av<500 mm^2/m	20,00	—	—	—	0,8889
C.l.s. di sabbia e ghiaia	5,00	2.000	96	1.000	1,26
TOTALE	41,20				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Y_{ie}	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,569 W/m^{2}K	302,0 kg/m^2	0,193 W/m^{2}K	9 h 50’	0,34

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

Le modifiche apportate all'involucro hanno determinato un importante miglioramento del comportamento dell'edificio, analizzato anche nella relazione energetica post operam sviluppata dalla Città Metropolitana, che valuta gli effetti stimati dell'intervento dal punto di vista delle prestazioni energetiche e termoigrometriche.
È opportuno precisare che nel calcolo complessivo è considerata anche la palestra, sebbene quest'ultima non sia stata oggetto di riqualificazione nell'intervento; i dati presentati sono perciò relativi all'intero complesso devono pertanto essere letti tenendo conto di tale inclusione. Il corpo liceo presenta, un volume pari a 34.695,96 mc, una superficie disperdente di 5.613,25 mq, una superficie utile di 7.089,85 mq, e un rapporto S/V pari a 0,24. Considerando anche la palestra, il complesso ha un volume lordo di 45.951,41 mc, una superficie disperdente di 8.179,59 mq, una superficie utile di 8.375,70 mq e un rapporto S/V pari a 0,26.
L'edificio si trova in zona climatica E, con 2.617 gradi giorno, temperatura esterna minima di progetto pari a -8 °C e temperatura massima estiva di progetto pari a 31 °C.

Le verifiche dell'involucro risultano positive. La parete perimetrale del corpo liceo presenta una trasmittanza media pari a 0,237 W/mqK, inferiore al limite di 0,280 W/mqK, mentre la copertura presenta una trasmittanza pari a 0,224 W/mqK, inferiore al limite di 0,240 W/mqK. I serramenti presentano valori di trasmittanza compresi indicativamente tra 0,995 e 1,088 W/mqK, inferiori al limite di 1,400 W/mqK. Anche il fattore di trasmissione solare totale risulta verificato, con valori pari a circa 0,34 rispetto al limite di 0,35.
L'indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale, EPH,nd, passa da 110,10 kWh/mq anno nello stato ante operam a 74,65 kWh/mq anno nello stato post operam. La riduzione è pari a circa il 32%, confermando l'efficacia delle opere sull'involucro edilizio. Anche la trasmittanza termica periodica YIE migliora sensibilmente, passando da 0,1503 W/mqK a 0,0254 W/mqK. Il dato evidenzia un significativo miglioramento del comportamento estivo delle strutture opache, coerente con l'obiettivo di ridurre non solo le dispersioni invernali, ma anche gli apporti termici indesiderati durante la stagione calda.
L'indice EPgl,nren (indice di prestazione energetica globale non rinnovabile) si riduce da 235,80 kWh/m² anno a 172,00 kWh/m² anno, con una diminuzione pari a 63,80 kWh/m² anno, corrispondente a circa il 27%, evidenziando una significativa riduzione del fabbisogno energetico complessivo dell'edificio e quindi un miglioramento dell'efficienza energetica globale.
La riduzione più evidente riguarda il consumo di gas naturale, che passa da 127.765 m³/anno a 76.913 m³/anno, con una diminuzione di circa il 40%. Il consumo di energia elettrica rimane invece sostanzialmente invariato, passando da 329.233 kWh/anno a 327.138 kWh/anno. I dati mostrano quindi come l'intervento agisca prevalentemente sull'involucro edilizio e sulla climatizzazione invernale, mentre incide in misura più limitata sui consumi elettrici legati all'illuminazione, al trasporto interno e agli altri servizi.

Il miglioramento complessivo delle prestazioni energetiche trova infine riscontro nel confronto tra APE ante operam e post operam, che evidenzia il passaggio dalla classe energetica C alla classe energetica A1.



Foto X. Connessione tra il corpo aule, oggetto di intervento, e il corridoio coperto di accesso alla palestra, non interessato dalla riqualificazione, dove è evidente la differenza nello stato di conservazione e nella qualità di finiture e infissi precedenti.

7.4 ANALISI CRITICA DELL'INTERVENTO

L'intervento realizzato, pur rappresentando un'importante riqualificazione, la sua efficacia deve essere valutata oltre il semplice confronto tra i valori energetici ante e post operam.
Le opere realizzate intervengono in modo coerente sulle principali criticità preesistenti, concentrandosi sull'involucro edilizio, la copertura, la sostituzione dei serramenti e sull'adeguamento degli impianti elettrici.

Il passaggio dalla classe energetica C alla classe A1 è uno degli esiti più rilevanti dell'intervento, insieme alla riduzione dei consumi energetici, che mostrano un miglioramento significativo delle prestazioni dell'involucro e confermano la coerenza delle scelte progettuali rispetto all'obiettivo di riduzione delle dispersioni. Il dato della classe energetica deve essere tuttavia interpretato con cautela, in quanto basato su una stima progettuale e non definito da una valutazione energetica effettiva dello stato realizzato post intervento. La classe energetica effettiva è quindi probabile che sia diversa; questo eventuale scostamento non mette in discussione l'utilità delle opere realizzate, ma invita a considerare la prestazione energetica non come un risultato esclusivamente determinato dalle caratteristiche tecniche dei materiali, bensì come l'esito dell'interazione tra involucro, impianti, condizioni d'uso e comportamento degli occupanti. La classe energetica prevista dal progetto costituisce pertanto un obiettivo prestazionale, ma non può essere assunta da sola come misura dell'efficacia complessiva della riqualificazione.

La distribuzione economica dell'intervento restituisce una lettura operativa delle scelte progettuali, evidenziando su quali componenti si è concretamente concentrato l'investimento. A fronte di un importo complessivo dei lavori pari a 1.881.717,78 €, la sostituzione degli infissi rappresenta la spesa maggiore ovvero 656.882,33 €, pari al 34,9% della spesa totale, insieme alla realizzazione del cappotto sull'involucro, costato 334.857,25 € (17,8%), poco di più rispetto al rifacimento dell'impianto elettrico, costato 329503,88 € (17,5%). Le restanti quote sono relative al risanamento degli elementi di facciata (143.780,54, pari al 7,6% del totale), la coibentazione del sottotetto (139.327,00 €, il 7,4%), le opere murarie complementari (129.212,30 €, il 6,9%) e infine le spese di cantiere relative ai noli e la sicurezza.

La distribuzione della spesa conferma la natura specifica dell'intervento, orientato alla riqualificazione energetica e manutentiva dell'edificio. La mancata trasformazione degli spazi interni non può essere considerata una carenza rispetto agli obiettivi originari del progetto, che non prevedeva una rifunzionalizzazione complessiva della scuola. Tuttavia, proprio questa delimitazione del campo di intervento apre una riflessione sul fatto che, pur non essendo prevista una trasformazione funzionale degli spazi, la riqualificazione avrebbe potuto instaurare un rapporto più integrato con le condizioni ambientali e percettive dell'edificio, contribuendo a una maggiore coerenza tra miglioramento energetico e qualità dell'esperienza spaziale. È tuttavia proprio questa delimitazione del campo di intervento a evidenziare la distanza tra una riqualificazione energetica dell'edificio e una sua più ampia riqualificazione architettonica e funzionale.

Un primo elemento riguarda la luce naturale. L'applicazione del cappotto termico ha aumentato lo spessore dell'involucro senza modificare in maniera significativa la posizione dei serramenti rispetto al nuovo filo esterno della facciata. Le aperture risultano quindi maggiormente arretrate e il vano finestra assume una profondità superiore rispetto alla configurazione originaria. L'intervento, progettato per migliorare la prestazione termica della parete, introduce così una conseguenza sulla relazione tra involucro e illuminazione naturale: l'aumento della profondità del vano può incrementare l'auto-ombreggiamento dell'apertura e ridurre l'ingresso della luce, soprattutto nelle condizioni di incidenza più laterale. Questo aspetto assume particolare rilevanza nel caso in esame, dove la luce naturale rappresenta non soltanto un requisito prestazionale, ma una componente essenziale della qualità dell'ambiente didattico, soprattutto alla luce delle condizioni di partenza già critiche evidenziate nel capitolo precedente. Le verifiche illuminotecniche sviluppate mostrano infatti l'importanza di leggere l'intervento non soltanto attraverso la riduzione della trasmittanza termica, ma considerando contemporaneamente questo rapporto tra isolamento, dimensione delle aperture, profondità dei vani e disponibilità di luce diurna.

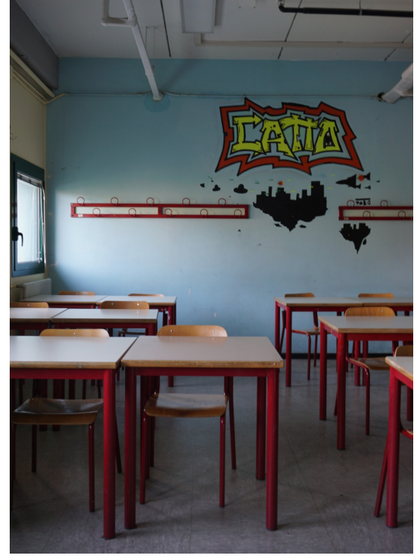
Un ulteriore elemento di criticità emerge dal rapporto tra l'incremento della tenuta dell'involucro e la qualità dell'aria interna, già evidenziato nell'analisi dei serramenti. In assenza di un sistema di ventilazione meccanica controllata, il ricambio d'aria rimane infatti affidato prevalentemente all'apertura delle finestre e, quindi, alle modalità di utilizzo degli ambienti. Questa condizione assume particolare rilevanza nei piani seminterrato, rialzato e primo, dove i serramenti sono a battente e la loro apertura può risultare meno agevole, rendendo più complessa un'aerazione frequente e regolare degli ambienti.

Il risultato generale dell'intervento è un edificio più efficiente e tecnicamente aggiornato sotto diversi aspetti, ma non necessariamente più capace di rispondere alle trasformazioni del modo di abitare e utilizzare la scuola, mostrando come una prestazione energetica positiva non coincida necessariamente con una migliore prestazione ambientale complessiva. L'efficacia reale dipende infatti dalla capacità di mettere in relazione il comportamento termico con l'illuminazione naturale, la ventilazione, il comfort acustico e le modalità quotidiane di utilizzo degli ambienti.



Il progetto interviene in maniera consistente sulla pelle dell'edificio, modificandone sia il comportamento fisico sia la percezione dei prospetti, senza costruire una relazione più integrata tra involucro e spazi della scuola. Questa scelta, pur rispondendo alla necessità di risolvere le emergenze tecniche dell'edificio e alle risorse economiche disponibili, diventa un limite se si considera la riqualificazione come un'occasione per adeguare l'edificio alle esigenze contemporanee della didattica.

L'intervento può pertanto essere interpretato come un primo livello di trasformazione, il cui valore sta nell'aver migliorato le prestazioni e lo stato edilizio di una scuola datata e molto usurata. Il passaggio successivo richiederebbe di superare una concezione della riqualificazione centrata sull'efficientamento energetico e di considerare l'edificio scolastico come un sistema nel quale le prestazioni, il comfort ambientale, la qualità architettonica e l'organizzazione degli spazi devono essere affrontati in maniera integrata. Le questioni relative alla qualità, all'organizzazione e alla flessibilità degli spazi scolastici rimangono pertanto aperte e costituiscono il possibile campo per interventi successivi.





3.12 Analisi economica dell’intervento

7.3 ANALISI ECONOMICA

Il computo metrico estimativo consente di leggere l’intervento anche dal punto di vista economico, evidenziando il peso delle diverse categorie di lavorazione. L’importo complessivo dei lavori a misura è pari a **1.881.717,78 €**.

Le categorie principali sono:

Ripartizione economica delle principali categorie di intervento**

Categoria	Importo	Incidenza
OG1 — Opere edili in genere	747.177,08 €	39,707%
OS6 — Sostituzione serramenti esterni	656.882,33 €	34,909%
OG11 — Impianti tecnologici	329.503,88 €	17,511%
Sicurezza di cantiere	110.588,94 €	5,877%
Noli / ponteggi	37.565,55 €	1,996%
Totale	**1.881.717,78 €**	**100%**

La lettura della distribuzione economica mostra come l’intervento sia fortemente concentrato sull’involucro edilizio. Le opere edili e la sostituzione dei serramenti costituiscono insieme la parte prevalente dell’investimento. Questo dato è coerente con la natura dell’intervento, orientato principalmente alla riduzione delle dispersioni termiche e al miglioramento delle prestazioni dei componenti opachi e trasparenti.

All’interno delle opere edili assumono particolare rilievo l’isolamento esterno dell’involucro opaco, l’isolamento dell’estradosso del solaio del piano secondo e il risanamento conservativo degli elementi di facciata. La sostituzione dei serramenti rappresenta invece una categoria autonoma molto consistente, pari a oltre un terzo dell’importo complessivo. Ciò conferma il ruolo centrale degli infissi nella strategia di riqualificazione energetica del corpo aule.

Gli impianti tecnologici rappresentano una quota rilevante, ma inferiore rispetto alle opere sull’involucro. Questo conferma che il progetto non si configura come una sostituzione complessiva del sistema impiantistico termico, ma come un intervento che lavora principalmente sulla componente passiva dell’edificio, integrando al contempo adeguamenti elettrici e speciali necessari alla sicurezza e al funzionamento dell’immobile.

La valutazione economica consente quindi di interpretare l’intervento come una riqualificazione prevalentemente edilizia ed energetica, nella quale il costo maggiore è assorbito da opere capaci di incidere direttamente sul comportamento dell’edificio: cappotto, copertura, serramenti e risanamenti di facciata.

3.14 Lettura critica dell’intervento

L’intervento della Città Metropolitana sul Liceo Cattaneo rappresenta un’azione significativa di aggiornamento energetico e manutentivo del patrimonio scolastico esistente. La scelta di intervenire sull’involucro opaco, sulla copertura e sui serramenti risponde in modo coerente alle criticità individuate dalla diagnosi energetica. Dal punto di vista progettuale, si ha un miglioramento rilevante della prestazione energetica, con il passaggio dalla classe C alla classe A1 e una riduzione dell’indice EPgl,nren da 235,80 a 172,00 kWh/m² anno.

Tuttavia, tale risultato deve essere letto con cautela. La Città Metropolitana ha dichiarato infatti che la classe A1 indicata nella documentazione energetica post operam non è stata effettivamente raggiunta nella condizione reale dell’edificio. Questo scostamento evidenzia una questione rilevante nella valutazione degli interventi di riqualificazione energetica: la differenza tra prestazione prevista in fase progettuale e prestazione effettivamente conseguita dopo la realizzazione delle opere.

La mancata corrispondenza tra dato atteso e risultato reale non annulla il valore dell’intervento, ma ne ridimensiona la lettura. Le opere realizzate rimangono coerenti con gli obiettivi di riduzione delle dispersioni e di miglioramento del comportamento dell’involucro; tuttavia, il raggiungimento della classe A1 non può essere assunto come esito certo dell’operazione, ma come obiettivo previsto dalla simulazione energetica e dalla documentazione progettuale.
Un ulteriore aspetto critico riguarda il rapporto tra efficientamento energetico e qualità luminosa degli ambienti interni. L’applicazione dell’isolamento a cappotto ha comportato un aumento dello spessore complessivo delle pareti esterne; tuttavia, la posizione dei serramenti rispetto al filo dell’involucro non risulta essere stata modificata in modo tale da compensare tale incremento. Di conseguenza, il vano finestra assume una maggiore profondità e genera un effetto di imbottitura più marcato.

Questa condizione può determinare una riduzione dell’apporto di luce

naturale negli ambienti interni. Il maggiore spessore della parete aumenta infatti l'auto-ombreggiamento dell'apertura e riduce l'angolo di ingresso della luce, soprattutto nelle ore in cui la radiazione solare arriva con inclinazioni più laterali. Il miglioramento energetico dell'involucro produce quindi un possibile effetto collaterale sulla qualità luminosa delle aule, già caratterizzate da superfici finestrate relativamente contenute rispetto alla dimensione degli ambienti.

Un secondo nodo critico riguarda il rapporto tra maggiore tenuta dell'involucro e qualità dell'aria interna. L'intervento ha migliorato la continuità prestazionale dell'edificio attraverso cappotto, nuovi serramenti e maggiore sigillatura dei punti disperdenti. Tuttavia, questa trasformazione si inserisce in un edificio che non dispone più del sistema originario di trattamento dell'aria e che, nella configurazione attuale, non risulta dotato di ventilazione meccanica controllata.

La maggiore ermeticità dell'involucro riduce le dispersioni termiche, ma riduce anche le infiltrazioni d'aria non controllate che, pur rappresentando una perdita energetica, contribuivano in parte al ricambio d'aria degli ambienti. In assenza di un sistema meccanico di ventilazione, il ricambio d'aria viene quindi demandato quasi interamente all'apertura manuale delle finestre.

Nelle aule scolastiche, caratterizzate da elevata densità di occupazione e permanenze prolungate, questa condizione può incidere negativamente sul comfort e sulla qualità dell'aria interna. Se le finestre vengono aperte poco, il rischio è un insufficiente ricambio d'aria; se invece vengono aperte frequentemente, soprattutto durante il periodo invernale, si produce una perdita di calore che riduce l'efficacia reale dell'intervento di efficientamento energetico.

Si genera quindi una contraddizione tra prestazione energetica teorica e funzionamento reale dell'edificio. La riqualificazione dell'involucro riduce le dispersioni e migliora i dati di calcolo, ma l'assenza di una strategia integrata per la ventilazione obbliga gli utenti a compensare manualmente il deficit di ricambio d'aria. In questo modo, una parte del beneficio energetico ottenuto attraverso cappotto e nuovi serramenti può essere compromessa dalle necessità quotidiane di aerazione degli ambienti.

Dal punto di vista architettonico e funzionale, l'intervento agisce soprattutto sulla pelle dell'edificio. La trasformazione dell'involucro modifica l'immagine dei prospetti e aggiorna l'aspetto del corpo aule, ma non interviene sull'impianto distributivo, sulla configurazione degli spazi didattici o sulla relazione tra ambienti interni ed esterni. La scuola mantiene quindi la propria organizzazione originaria, basata sul corridoio longitudinale e sulla successione di aule e servizi.

Questa caratteristica rappresenta al tempo stesso un limite e una precisa scelta progettuale. L'obiettivo dell'intervento non è ripensare l'organismo scolastico nel suo complesso, ma migliorarne le prestazioni energetiche e lo stato di conservazione. Per questo motivo, le criticità legate alla disponibilità di spazi, alla qualità degli ambienti comuni, alla presenza di corpi accessori e alla necessità di una più ampia rifunzionalizzazione restano aperte.

L'intervento della Città Metropolitana deve quindi essere letto come un passaggio necessario, ma non conclusivo, nel processo di trasformazione della scuola. Esso aggiorna l'edificio sotto il profilo energetico e tecnico, ma mostra i limiti di una riqualificazione energetica fondata prevalentemente sulla riduzione delle dispersioni, senza una valutazione altrettanto integrata dei temi della luce naturale, della ventilazione e della qualità ambientale interna. Proprio questa distanza tra prestazione energetica prevista e funzionamento reale dell'edificio apre lo spazio per una riflessione progettuale più ampia, dedicata non solo al contenimento dei consumi, ma anche alla qualità d'uso degli spazi scolastici.

3.15 Sintesi

Il progetto di riqualificazione energetica del corpo aule del Liceo Scientifico Carlo Cattaneo costituisce un intervento significativo sul patrimonio scolastico esistente della Città Metropolitana di Torino. Finanziato nell'ambito del programma PON Metro REACT-EU, esso si concentra sull'aggiornamento prestazionale dell'edificio attraverso opere sull'involucro, sulla copertura, sui serramenti, sulle facciate e sugli impianti elettrici e speciali.

L'analisi dello stato ante operam evidenziava un edificio in classe energetica C, con consumi rilevanti e un involucro non più adeguato agli attuali standard prestazionali. La diagnosi energetica individuava come prioritari gli interventi su cappotto, copertura, serramenti e regolazione dei terminali. Il progetto della Città Metropolitana recepisce questa impostazione e la traduce in un insieme coordinato di lavorazioni.

Il confronto ante/post operam mostra un miglioramento evidente: l'edificio raggiunge la classe A1, l'indice EPgl,nren si riduce da 235,80 a

172,00 kWh/m² anno, il consumo di gas naturale diminuisce di circa il 40% e le emissioni di CO_2 passano da 50 a 37 kg/m² anno. Questi risultati confermano l'efficacia dell'intervento nel ridurre il fabbisogno energetico e nel migliorare il comportamento dell'involucro.

Allo stesso tempo, l'intervento mantiene un carattere prevalentemente tecnico-prestazionale. Non modifica la struttura distributiva dell'edificio, non introduce nuovi spazi didattici e non risolve le questioni funzionali più ampie emerse nell'uso quotidiano della scuola. Per questo motivo, la riqualificazione della Città Metropolitana può essere considerata un punto di partenza: un intervento necessario e importante, sul quale innestare una riflessione progettuale più ampia dedicata alla qualità degli spazi, alla flessibilità didattica e al futuro dell'edificio scolastico come infrastruttura collettiva.

FABBISOGNO

SCORPORARE LA PALESTRA O FARE APPUNTO SULLA PALESTRA

La relazione energetica post operam consente di valutare gli effetti dell'intervento in termini prestazionali. Il progetto viene inquadrato come **riqualificazione energetica del sistema edificio** e rientra tra le ristrutturazioni importanti di secondo livello, poiché interessa elementi dell'involucro edilizio che delimitano il volume climatizzato e componenti impiantistiche con proprio consumo energetico.

SI ANALIZZANO LE STRATIGRAFIE PER VEDERE SE È A LIMITE DI LEGGE… SE PRESENTANO PROBLEMATICHE A LIVELLO DI CONDENZA INTERSTIZIALE E PRESENZA DI MUFFA…. UTILI PER I CALCOLI ENERGETICI. I LFABBSOGNO È DETTATO DAI MATERIALI COSTITUENTI LA STRATIGRAFIA….

Dal punto di vista climatico, l'edificio si trova in zona climatica **E**, con **2.617 gradi giorno**, temperatura esterna minima di progetto pari a **-8 °C** e temperatura massima estiva di progetto pari a **31 °C**. Il corpo liceo presenta, nella relazione post operam, un volume pari a **34.695,96 m³**, una superficie disperdente di **8.451,90 m²**, una superficie utile di **7.089,85 m²** e un rapporto S/V pari a **0,24**. L'intero complesso, comprendente anche la palestra, presenta invece un volume lordo di **45.951,41 m³**, una superficie disperdente di **12.135,67 m²**, una superficie utile di **8.375,70 m²** e un rapporto S/V pari a **0,26**.

Le verifiche dell'involucro risultano positive. La parete perimetrale presenta una trasmittanza media pari a **0,237 W/m²K**, inferiore al limite di **0,280 W/m²K**; la copertura presenta una trasmittanza pari a **0,224 W/m²K**, inferiore al limite di **0,240 W/m²K**. I serramenti presentano valori di trasmittanza compresi indicativamente tra **0,995 e 1,088 W/m²K**, inferiori al limite di **1,400 W/m²K**. Anche il fattore di trasmissione solare totale risulta verificato, con valori pari a circa **0,34** rispetto al limite di **0,35**.

L'indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale, **EPH,nd**, passa da **110,10 kWh/m² anno** nello stato ante operam a **74,65 kWh/m² anno** nello stato post operam. La riduzione è pari a circa il **32%**, confermando l'efficacia delle opere sull'involucro edilizio. Anche la trasmittanza termica periodica **YIE** migliora sensibilmente, passando da **0,1503 W/m²K** a **0,0254 W/m²K**. Questo dato segnala un miglioramento importante del comportamento estivo delle strutture opache, coerente con la volontà di ridurre non solo le dispersioni invernali, ma anche gli apporti termici indesiderati durante la stagione calda.

Il confronto tra APE ante operam e post operam evidenzia il risultato più significativo dell'intervento: il passaggio dalla **classe energetica C** alla **classe energetica A1**. L'indice EPgl,nren si riduce da **235,80 kWh/m² anno** a **172,00 kWh/m² anno**, con una diminuzione pari a **63,80 kWh/m² anno**, corrispondente a circa il **27%**.

La riduzione più evidente riguarda il consumo di gas naturale, che passa da **127.765 m³/anno** a **76.913 m³/anno**, con una diminuzione di circa il **40%**. Il consumo di energia elettrica rimane invece sostanzialmente invariato, passando da **329.233 kWh/anno** a **327.138 kWh/anno**. Questo dato conferma che l'intervento agisce prevalentemente sulla climatizzazione invernale e sull'involucro, mentre incide in misura molto più limitata sui consumi elettrici legati all'illuminazione, al trasporto interno e agli altri servizi.

Anche le emissioni di CO_2 si riducono in modo significativo, passando da **50 kg/m² anno** a **37 kg/m² anno**, con una diminuzione di circa il **26%**.

Tabella 3.2 — Confronto APE ante operam e post operam

Indicatore	Ante operam	Post operam	Variazione
Classe energetica	C	A1	miglioramento di classe
EPgl,nren	235,80 kWh/m² anno	172,00 kWh/m² anno	-63,80 kWh/m² anno
Riduzione EPgl,nren	—	—	circa -27%
EPgl,ren	18,47 kWh/m² anno	18,36 kWh/m² anno	sostanzialmente invariato
Emissioni CO_2	50 kg/m² anno	37 kg/m² anno	circa -26%
Gas naturale	127.765 m³/anno	76.913 m³/anno	circa -40%
Energia elettrica	329.233 kWh/anno	327.138 kWh/anno	

circa -0,6% |
| EPH,nd | 110,10 kWh/m² anno | 74,65 kWh/m² anno |
circa -32% |
| YIE | 0,1503 W/m²K | 0,0254 W/m²K | forte migliora-
mento estivo |

Nel complesso, i risultati energetici confermano la coerenza tra diagnosi, progetto e prestazione finale. L'intervento riduce in modo consistente il fabbisogno per la climatizzazione invernale e migliora il comportamento dell'involucro, ottenendo un avanzamento significativo della classe energetica.

ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)

Parete perimetrale	A = 27,66m²
	Rw = 48,5dB
Serramenti	A = 2 * 3,93m²
	Rw = 29dB

$D_{2m,nT,w}$ = 38,5dB

R'w = 34,3dB

LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
DPCM 5/12/97 ≥ 48dB	NON VERIFICATO
CAM 2022 ≥ 48dB	

ISOLAMENTO PARETI ($R'w - D_{nT,w}$)

Divisorio	A = 27,51m²
	Rw = 18dB
Locale ricevente	V = 227,1m³
Incertezza	3,53dB

R'w = 17,6dB

$D_{nT,w}$ = 21,7dB

LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
DPCM 5/12/97 ≥ 50dB	NON VERIFICATO
CAM 2022 R'w ≥ 53dB $D_{nT,w}$ ≥ 55dB	

ISOLAMENTO SOLAIO ($R'_w - D_{nT,w}$)

Area divisorio	55,0m²
Volume locale	164,9m³
R_w solaio base	54,1dB
ΔR_w strati agg.	0dB

R'w= 47,7dB

$D_{nT,w}$ = 47,5dB

LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
DPCM 5/12/97 ≥50 dB	NON VERIFICATO
CAM 2022 R'w ≥ 53 dB $D_{nT,w}$ ≥55 dB	

LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w} - L'_{nT,w}$)

Area divisorio	55,0m²
Volume locale	164,7m³
$L_{n,eq,0,w}$	74,3dB
ΔL_w	0dB
ΔR_w strati agg.	0dB

$L'_{n,w}$ = 75,5dB

$L'_{nT,w}$ = 66,7dB

LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
DPCM 5/12/97 $L'_{n,w}$ ≤ 58 dB	NON VERIFICATO
CAM 2022 $L'_{n,w}$ ≤ 53 dB	

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (C50 - T)

T calcolato
valore medio
250Hz - 2Khz

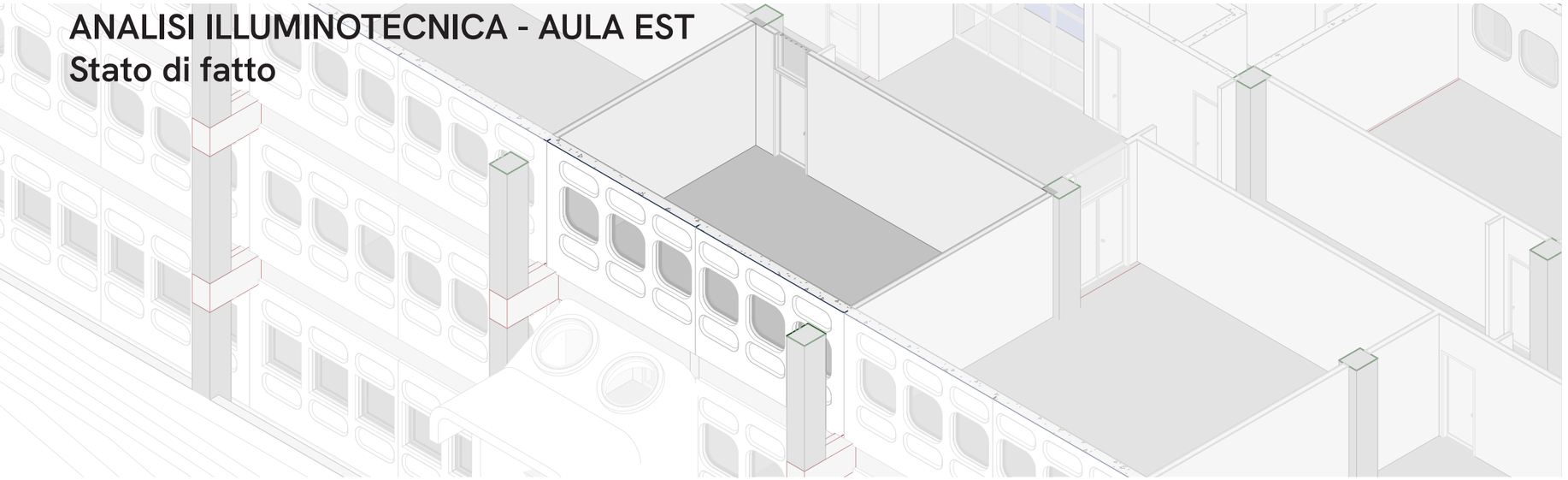
1,12s

C50 medio

-2

LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
T massimo valore medio 250Hz - 2Khz 1,2s	NON CONFORME
C50 minimo 2	

ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST
Stato di fatto



Stratigrafia	Area lorda m^2	Tipologia apertura	Area apertura m^2	n. aperture	Area totale aperture m^2	Area netta parete (m^2)	Fattore di trasmittività
Area pavimento	45,9				0,00	45,90	4,59
Area soffitto	43,03				0,00	43,03	37,65
Area travi	10,01				0,00	10,01	3,25
Parete sud	16,83				0,00	16,83	7,15
Parete ovest	27,95	Porta	2,99	1	2,70	24,96	17,47
Parete nord	16,83				0,00	16,83	14,73
Parete est	24,94	Finestre	2,13	6	6,30	18,16	12,71
TOT	185,50				9,00	175,72	
						$r_{l,m}$	0,56
						FDLm	2,10%

View Out Analysis (EN 17037)

Alto 37,4%
Medio 62,6%



300lux sul 95% della superficie (EN 17037)

33,2% del tempo



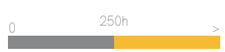
500lux 50% della superficie (EN 17037)

42,2% del tempo



ASE 1000/250

22,2%



avg UDIA

67,3% del tempo



DPG

19,7%



Alto 37,4%
Medio 62,6%

0,0% del tempo

2,5% del tempo

0,0% del tempo

25,6% del tempo

0,0%

8

LICEO CARLO CATTANEO: IL PROGETTO

Il capitolo approfondisce da una parte l'intervento svolto con i fondi REACT da parte della Città Metropolitana di Torino dall'altra un progetto parallelo andando a mettere in confronto i risultati in ambito fisico tecnico e di impatto dell'intervento.

8.1 OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto di riqualificazione e ampliamento del Liceo Scientifico "Carlo Cattaneo" ha l'obiettivo di superare una lettura dell'intervento limitata al solo miglioramento prestazionale dell'edificio. Le opere realizzate sull'involucro dalla Città Metropolitana hanno rappresentato un passaggio importante per il miglioramento energetico della sede esistente; tuttavia, un'azione concentrata prevalentemente sulle prestazioni tecniche non è sufficiente, da sola, a rispondere alle criticità spaziali, funzionali e organizzative emerse dall'analisi dello stato di fatto.

Il progetto sviluppato nell'ambito di questa tesi è concepito come autonomo e parallelo rispetto all'intervento della Città Metropolitana, assumendo quindi come riferimento lo stesso stato di fatto iniziale. A partire da questa condizione comune, il progetto affronta anche i temi non sviluppati nell'intervento realizzato, estendendo la riflessione agli aspetti spaziali, distributivi, funzionali e relazionali, concependo la riqualificazione come un'occasione per una trasformazione complessiva del complesso scolastico.

L'analisi dello stato di fatto ha evidenziato come la configurazione dell'edificio risponda in maniera funzionale alle principali esigenze della didattica ordinaria, mediante una struttura spaziale molto rigida legata al modello aula-corridoio.
Gli spazi di distribuzione sono prevalentemente luoghi di passaggio, e sono limitati gli ambienti destinati alla socialità, lo studio informale, e le altre attività che si svolgono al di fuori della lezione frontale.
A questo si aggiunge la frammentazione tra sede centrale e succursale, che richiede una maggiore complessità nella gestione quotidiana delle attività e rende meno riconoscibile l'identità unitaria dell'istituto. Un'ulteriore risorsa è rappresentata dalle potenzialità del lotto, che offre ampie superfici libere e aree verdi, tuttavia allo stato attuale usate prevalentemente come parcheggio.

Emergono quindi una molteplicità di esigenze principali: aumentare gli spazi così da riunificare le attività oggi distribuite in due sedi; superare la rigidità dell'organizzazione aula-corridoio introducendo ambienti più flessibili e spazi per la socialità; migliorare la leggibilità e sicurezza degli accessi; aprire la scuola ad attività non scolastiche e a nuovi utenti; riqualificare dal punto di vista energetico e tecnico l'edificio; valorizzare gli spazi aperti. Il progetto non mira quindi al semplice incremento della superficie costruita, al ripensamento complessivo della scuola, secondo una strategia in cui riqualificazione, ampliamento e riorganizzazione degli spazi esterni determinano un nuovo organismo scolastico unitario, flessibile e adattabile a diversi usi e utenze.

UN'UNICA SEDE. L'ampliamento della sede centrale costituisce quindi l'occasione per riunire in un unico complesso le attività oggi distribuite tra le due sedi. L'obiettivo non è soltanto ottenere la superficie necessaria a ospitare il maggior numero di utenti e funzioni, ma costruire una scuola nella quale le diverse attività possano essere organizzate secondo una struttura spaziale più coerente e facilmente leggibile. L'ampliamento non è pertanto solo una semplice aggiunta volumetrica, ma il completamento dell'edificio esistente e occasione di riorganizzazione dell'intero complesso.

CORRIDOI SOCIALI. La scuola non è costituita esclusivamente da aule e laboratori: una parte significativa della vita scolastica si svolge durante gli intervalli, nei cambi d'ora, nei momenti di attesa, nello studio individuale e nelle attività informali. Allo stato attuale, tuttavia, gli spazi al di fuori dell'aula sono costituiti prevalentemente da corridoi e atri, concepiti principalmente per garantire la distribuzione e l'organizzazione dei flussi, ma raramente dotati di una vera dimensione di permanenza.
Il progetto intende considerare questi spazi distributivi come parte integrante dell'esperienza scolastica, trasformandoli da luoghi di passaggio ad ambienti abitabili, con sedute, tavoli, armadietti e postazioni per lo studio informale. Gli spazi intermedi diventano così luoghi nei quali è possibile fermarsi, incontrarsi, studiare e svolgere attività diverse dalla didattica tradizionale, superando la rigida distinzione tra spazi destinati al movimento e spazi destinati alla ricreazione.

AULE FLESSIBILI. La didattica contemporanea è caratterizzata da una varietà di attività in continua evoluzione: lavori di gruppo, attività interdisciplinari, laboratori e incontri collettivi, che non trovano il loro spazio nelle dimensioni e funzioni tradizionali dell'edificio attuale. Il progetto, attraverso partizioni modificabili ed arredi mobili, introduce ambienti capaci di assumere configurazioni differenti, così da superare la rigida corrispondenza tra un ambiente e una sola funzione, costruendo una scuola maggiormente adattabile alle esigenze attuali e future.

SCUOLA APERTA. La scuola non deve essere necessariamente abitata solo durante l'orario scolastico, ma può estendere il proprio ruolo oltre la didattica, mettendo a disposizione alcuni dei suoi spazi collettivi anche per attività esterne. L'introduzione di spazi ibridi, utilizzabili sia dagli studenti che da utenti esterni, ovvero la caffetteria, il teatro e il parco, permette di mantenere attiva la scuola anche al di fuori del suo utilizzo tradizionale, accogliendo non solo le attività scolastiche, ma anche momenti di socialità, incontro ed eventi del quartiere.
Questa apertura viene resa possibile dalla concentrazione degli spazi collettivi in prossimità degli ingressi e dalla loro separazione dalle aree didattiche, consentendo di mantenere accessibili alcune parti dell'edificio senza coinvolgere l'intero complesso. La scuola diventa così un organismo capace di accogliere diversi usi nel corso della giornata, costruendo una relazione più diretta con i cittadini e mantenendo al tempo stesso la propria identità scolastica.

ACCESSI E FLUSSI. L'ingresso a scuola concentra quotidianamente una grande quantità di persone in un arco di tempo molto ristretto. Studenti, docenti e personale raggiungono contemporaneamente l'edificio, mentre automobili e mezzi di servizio attraversano le stesse aree di accesso e sosta. In questa condizione, la sovrapposizione dei flussi può rendere meno leggibile l'ingresso e compromettere la sicurezza proprio nel momento di maggiore affluenza.
Il progetto assume quindi la separazione, sicurezza e leggibilità dei flussi come alcuni dei criteri principali per la riorganizzazione del lotto. I percorsi pedonali vengono resi continui e riconoscibili, accompagnando l'utente dalla strada fino all'ingresso dell'edificio, mentre le aree carrabili e di sosta vengono organizzate in modo da ridurre le interferenze con gli spazi destinati alla comunità scolastica. L'accesso non viene quindi considerato come un semplice punto di ingresso, ma come una sequenza spaziale capace di ordinare i diversi movimenti e costruire una soglia più chiara tra la città e la scuola.

RIQUALIFICAZIONE. Nel progetto, l'edificio esistente non viene considerato come un elemento da sostituire, ma bensì una risorsa da reinterpretare, a partire dalla struttura portante in calcestruzzo armato e dalla sua maglia regolare. La strategia non prevede quindi la sostituzione dell'edificio, ma la conservazione della struttura portante e la rimozione selettiva degli elementi che ne limitano la trasformazione. I tamponamenti perimetrali e le principali partizioni interne vengono quindi rimossi, lasciando leggibile la matrice strutturale e permettendo una nuova organizzazione degli spazi.
I nuovi muri di tamponamento vengono sostituiti con un nuovo involucro caratterizzato da prestazioni energetiche più elevate, migliorando l'isolamento dell'edificio e riducendo il fabbisogno energetico, le dispersioni termiche e limitandone le emissioni.
La maglia esistente diventa in questo modo il principio generatore sia della riqualificazione della manica esistente sia dell'ampliamento. Il progetto mantiene così la razionalità dell'impianto originario, reinterpretandola per costruire una scuola più articolata, flessibile e aperta, nella quale la struttura esistente non rappresenta un vincolo, ma il punto di partenza del nuovo edificio.

PARCO ABITATO. Il lotto della scuola rappresenta una grande risorsa spaziale per dimensioni e quantità di aree libere, ma nello stato attuale il verde rimane in gran parte uno spazio residuale attorno all'edificio, senza assumere un ruolo preciso nella vita quotidiana della scuola.
Il progetto ribalta questa condizione, considerando il parco non come semplice spazio libero, ma come un'estensione degli ambienti scolastici, con percorsi, aree verdi, sedute e superfici attrezzate in continuità con gli spazi interni. Sedute, tavoli e aree di sosta si relazionano con le funzioni collettive del piano terreno, come biblioteca, caffetteria e teatro-auditorium, creando una continuità tra gli spazi interni ed esterni. La relazione con l'esterno viene inoltre estesa alla strada, attraverso un disegno del parco capace di accompagnare gradualmente il passaggio tra la quota stradale e quella dell'edificio. Tale dislivello viene integrato nel sistema dei percorsi, caratterizzati da una pendenza lieve e progressiva, costruendo una sequenza continua tra strada, parco ed edificio.





8.2 ASCOLTARE LA SCUOLA

Gli elaborati grafici, le descrizioni e le valutazioni prestazionali presentate nei capitoli precedenti restituiscono misure, distribuzione, accessi, rapporti tra pieni e vuoti, condizioni di comfort, illuminazione ed energetiche. Allo stesso tempo, la lettura architettonica dello stato di fatto, arricchita dall'esperienza diretta di chi vive quotidianamente la scuola, ha permesso di individuare criticità, esigenze e potenzialità dell'edificio e del suo lotto.
La rigidità della distribuzione, la scarsità di spazi per la permanenza, il potenziale del grande lotto e la possibilità di attribuire alla scuola un ruolo più aperto hanno quindi costituito sin dall'inizio le principali direzioni del progetto. Queste considerazioni hanno trovato un ulteriore riscontro nel punto di vista degli studenti, attraverso un questionario digitale sottoposto nel corso dell'anno scolastico 2025/26, quindi in una fase successiva all'intervento di riqualificazione energetica promosso dalla Città Metropolitana (cfr. Capitolo 7), che ha permesso di confrontare le esigenze individuate nel progetto con l'esperienza quotidiana degli spazi da parte degli studenti.

Le domande si sono concentrate sugli ambienti comuni, gli spazi per lo studio, i luoghi di sosta, le aree esterne e la possibilità di utilizzare la scuola anche oltre l'orario delle lezioni. Non interessava soltanto sapere quali spazi fossero giudicati insufficienti, ma capire dove gli studenti si fermano, quali ambienti evitano, quali usano in modo improprio e quali, invece, vorrebbero poter utilizzare di più.

Il questionario conferma i temi già emersi nell'analisi dello stato di fatto: l'edificio funziona, ma non sempre offre luoghi adeguati alla permanenza. La distribuzione è chiara, i corridoi permettono di raggiungere le aule, l'atrio accoglie i flussi principali, ma molti di questi spazi restano legati quasi esclusivamente al movimento: sono attraversati più che abitati. Emerge quindi la grande esigenza degli studenti di di vivere la scuola anche al di fuori dell'aula, in spazi di qualità dedicati attrezzati per la sosta, lo studio, l'incontro e le attività informali.

Il confronto con gli studenti conferma quindi alcune delle direzioni già individuate dal progetto, mostrando come le esigenze emerse dalla lettura dell'edificio trovino corrispondenza anche nell'esperienza quotidiana di chi lo abita. Il questionario diventa così un momento di verifica delle scelte progettuali, rafforzando il ruolo degli spazi comuni, del parco e delle funzioni collettive all'interno del nuovo organismo scolastico.

156 STUDENTI

~10,5%
DELLA POPOLAZIONE SCOLASTICA

SPAZI DA ABITARE

87,7% spazi interni

74,1% spazi esterni

sono considerati assenti o migliorabili.

OLTRE L'AULA

74,2% vive i corridoi come spazio d'incontro.

66,7% trova gli spazi non adatti a modalità didattiche diverse.

COMFORT PERCEPITO

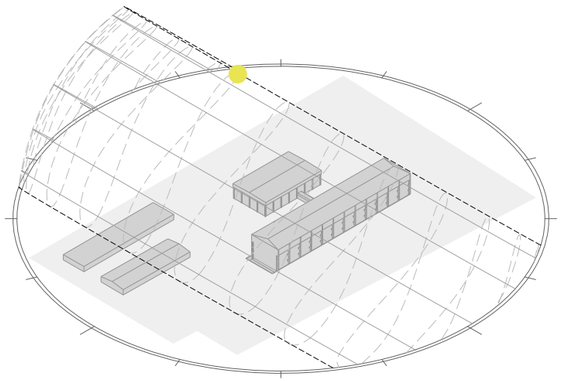


NUOVI SPAZI

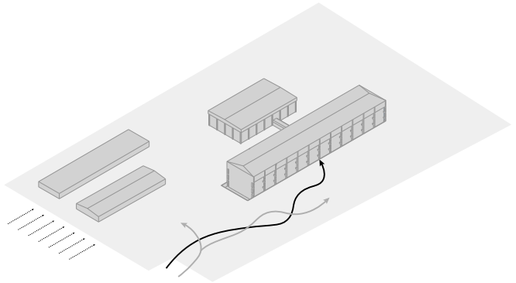
91,4% vorrebbe più spazi verdi

77,8% usufruirebbe della caffetteria

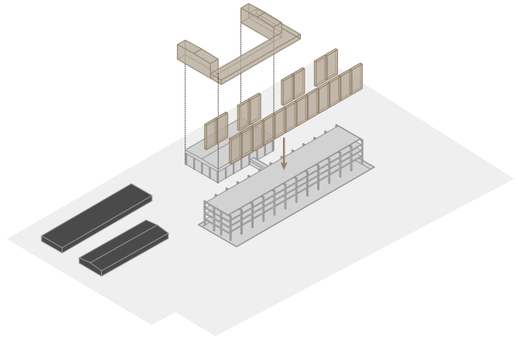
1. STUDIO SOLARE



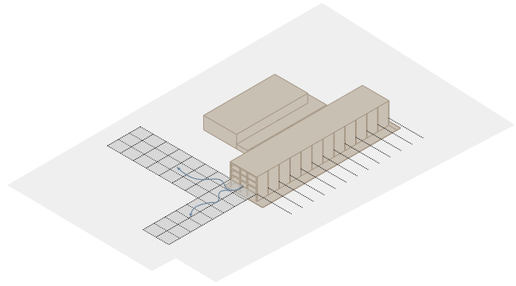
2. FLUSSI



3. RIQUALIFICAZIONE



4. MODULO DI PROGETTO



8.3 STEP PROGETTUALI

Le strategie individuate nella fase di analisi vengono tradotte in una sequenza di operazioni progettuali, in cui condizioni ambientali, funzionali e strutturali hanno concorso progressivamente alla definizione della nuova configurazione del complesso.

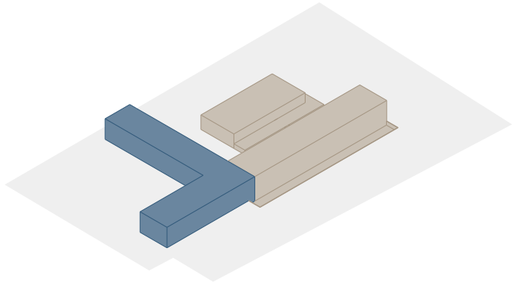
STUDIO SOLARE. Lo studio delle condizioni progettuali di partenza è iniziato dall'analisi dell'illuminazione naturale dell'edificio, con l'obiettivo di valutare il comportamento delle diverse facciate della manica esistente e di simulare le ombre di diverse configurazioni volumetriche del nuovo edificio dell'ampliamento. Sono state quindi confrontate diverse ipotesi, valutando le reciproche condizioni di ombreggiamento tra i corpi edilizi e il loro impatto sulla manica esistente e sugli spazi aperti del lotto, al fine di determinare la configurazione del nuovo volume. L'analisi ha infine guidato la definizione dei sistemi di schermatura delle facciate, mettendo in relazione le esigenze degli ambienti interni con le diverse esposizioni dei fronti dell'edificio.

FLUSSI. Lo studio degli accessi al complesso scolastico è partito dall'analisi dei diversi flussi che quotidianamente attraversano il lotto. Sono stati considerati i percorsi degli studenti e del personale, gli accessi all'edificio, i flussi carrabili e le aree per la sosta e la manovra, individuandone le interferenze e sovrapposizioni. L'analisi ha permesso di comprendere la relazione tra il complesso scolastico e la strada antistante, al fine di definire la posizione dei nuovi accessi in relazione ai diversi utenti previsti dal progetto. La presenza di funzioni aperte anche a utenti esterni ha infatti reso necessario studiare una maggiore distinzione tra gli ingressi e i relativi percorsi, valutando come limitare l'interferenza tra i diversi flussi senza perdere la relazione diretta tra la scuola, il parco e la strada.

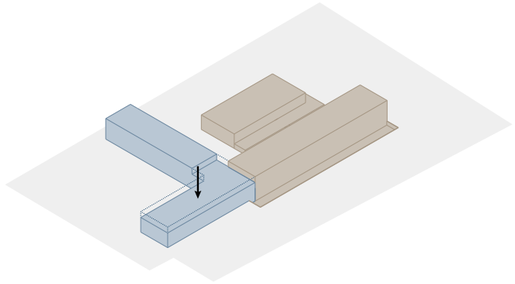
RIQUALIFICAZIONE. La risoluzione delle condizioni tecniche ed energetiche dell'edificio esistente costituisce la prima azione progettuale definita, attraverso il quale migliorare le prestazioni dell'edificio conservando il telaio strutturale che ne costituisce la matrice. La riqualificazione viene però affrontata come occasione per migliorare le condizioni spaziali interne, riorganizzando gli interni con l'obiettivo di ampliare le aule e renderle maggiormente rispondenti alle esigenze della didattica, e trasformando i corridoi da semplici spazi distributivi in luoghi di permanenza, incontro e socialità. Lo stesso principio viene applicato alla palestra, la cui attuale dimensione e dotazione di servizi igienici limitano la possibilità di utilizzarla contemporaneamente per più classi. Il progetto ne prevede quindi l'ampliamento e l'integrazione dei servizi, permettendo di accogliere più classi nello stesso momento e superando l'attuale utilizzo a turni. La riqualificazione diventa così il primo passaggio per intervenire contemporaneamente sulle prestazioni energetiche e sulla qualità spaziale dell'edificio esistente.

MODULO DI PROGETTO. Il ripensamento della manica esistente e l'ampliamento non vengono concepiti come interventi nuovi e indipendenti, ma prendono origine dalla struttura dell'edificio esistente. La maglia regolare definita dalla struttura portante viene assunta come modulo di progetto e diventa la traccia geometrica attraverso cui organizzare gli spazi, permettendo di mantenere un rapporto di continuità con l'edificio esistente e, al tempo stesso, di garantire una struttura sufficientemente flessibile per accogliere funzioni differenti. Aule, spazi collettivi, ambienti di servizio e grandi volumi sono così organizzati all'interno di un sistema comune, nel quale la regolarità strutturale diventa uno strumento per controllare dimensioni, proporzioni e relazioni tra le diverse parti del nuovo complesso.

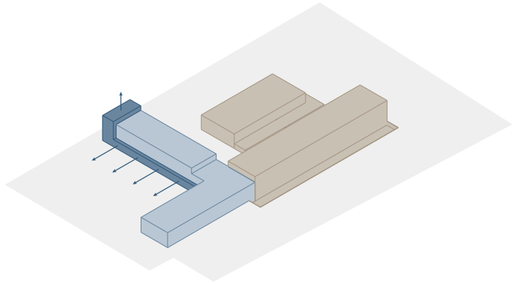
5. AMPLIAMENTO



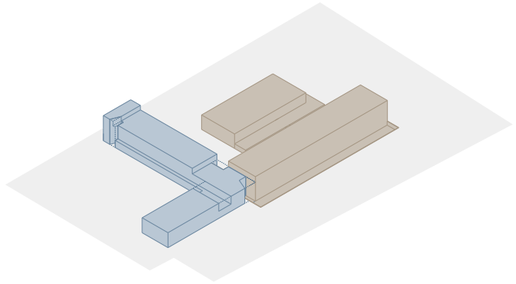
6. CONTROLLO DELLE ALTEZZE



7. ESTRUSIONI



8. SOTTRAZIONI

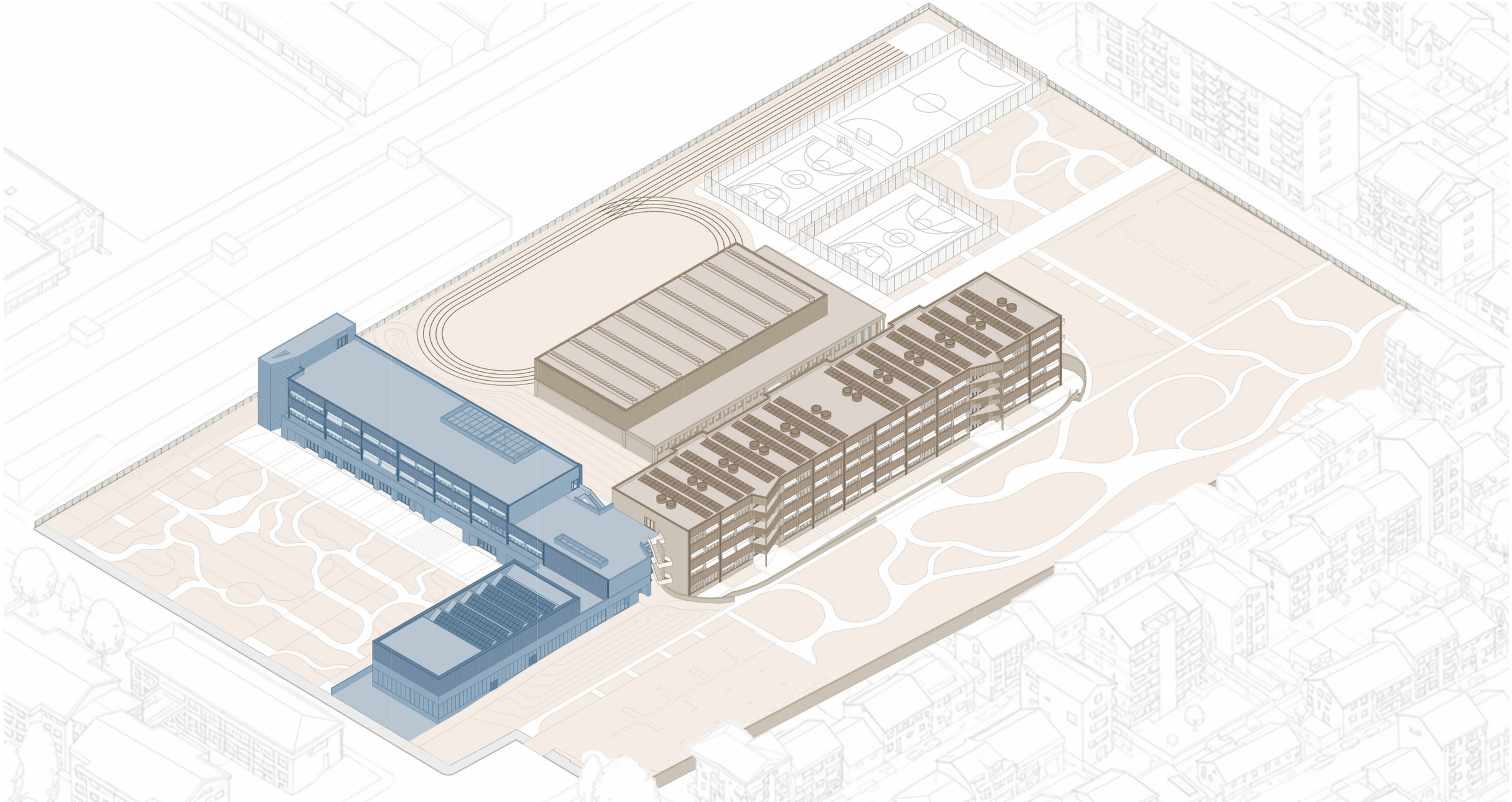


AMPLIAMENTO. I grandi spazi aperti e liberi del lotto hanno offerto sin da subito la possibilità di pensare un ampliamento, capace di completare la struttura esistente riunendo le funzioni oggi distribuite in due sedi, e di costruire una relazione tra la scuola, gli spazi aperti e il quartiere.
La posizione dell'ampliamento viene definita anche in relazione alla strada antistante, verso la quale il nuovo edificio si orienta costruendo un fronte più riconoscibile rispetto alla condizione attuale. I Il volume, anticipato dal parco, definisce così una nuova soglia di accesso alla scuola e rende maggiormente leggibile la presenza della scuola dalla strada, oggi invece arretrato e poco visibile. Il grande parco conferisce inoltre unità all'intero complesso, mettendo in relazione le diverse parti dell'edificio attraverso uno spazio aperto comune. L'ampliamento non è quindi una semplice aggiunta alla manica esistente, ma un elemento capace di completare il complesso e stabilire un nuovo rapporto tra scuola, spazio aperto e città.

CONTROLLO DELLE ALTEZZE. La definizione della nuova volumetria ha introdotto nuove condizioni di ombreggiamento, determinate dall'orientamento dell'edificio esistente e dal rapporto tra i diversi corpi di fabbrica. È stato quindi necessario studiare diverse configurazioni e verificarne il comportamento nelle diverse ore della giornata, valutando l'impatto delle nuove volumetrie sulla manica esistente e sugli spazi aperti. In particolare, il volume destinato al teatro-auditorium viene abbassato rispetto alla restante parte dell'ampliamento, poiché la sua altezza avrebbe generato maggiori ombreggiamenti sulla manica esistente. La variazione di quota permette così di mantenere adeguate condizioni di illuminazione naturale negli ambienti esistenti e di controllare il rapporto tra i diversi corpi edilizi, oltre che rendere leggibile la diversa funziona più pubblica del teatro, distinguendosi volumetrica dagli spazi scolastici. Il controllo delle altezze diventa quindi uno strumento per calibrare il rapporto tra le diverse parti del complesso e costruire una volumetria più equilibrata.

ESTRUSIONI. La presenza di funzioni maggiormente aperte e condivise ha portato a distinguere questi spazi anche attraverso la forma dell'edificio, rendendone più riconoscibile il carattere agli utenti esterni. Il piano terra dell'ampliamento, in cui sono concentrate le funzioni pubbliche della biblioteca, della caffetteria, del teatro e gli uffici della scuola, viene quindi articolato attraverso alcune estrusioni, che evidenziano i volumi destinati alle funzioni più collettive. Questi spazi, posti in relazione diretta con il parco e con i nuovi accessi, diventano così maggiormente accessibili e riconoscibili, rendendo più leggibile l'organizzazione dell'edificio e rafforzando il rapporto tra edificio e spazio aperto. L'estrusione diventa quindi uno strumento per dare forma e riconoscibilità alle funzioni collettive, distinguendole dagli ambienti prevalentemente destinati alla didattica.

SOTTRAZIONI. La volumetria viene infine modificata attraverso alcune sottrazioni puntuali, necessarie a definire gli accessi secondari e le uscite di emergenza dell'edificio. Questi interventi interrompono la continuità del volume nei punti in cui è necessario stabilire un rapporto più diretto tra gli spazi interni e il sistema dei percorsi esterni, rendendo riconoscibili i diversi punti di ingresso e uscita. Le sottrazioni contribuiscono inoltre a introdurre una maggiore permeabilità al piano terreno e a costruire una relazione più articolata tra il nuovo edificio e gli spazi aperti. La volumetria finale risulta così definita non soltanto dalla massa costruita, ma anche dai vuoti che ne regolano gli accessi, i percorsi e le relazioni con il parco.



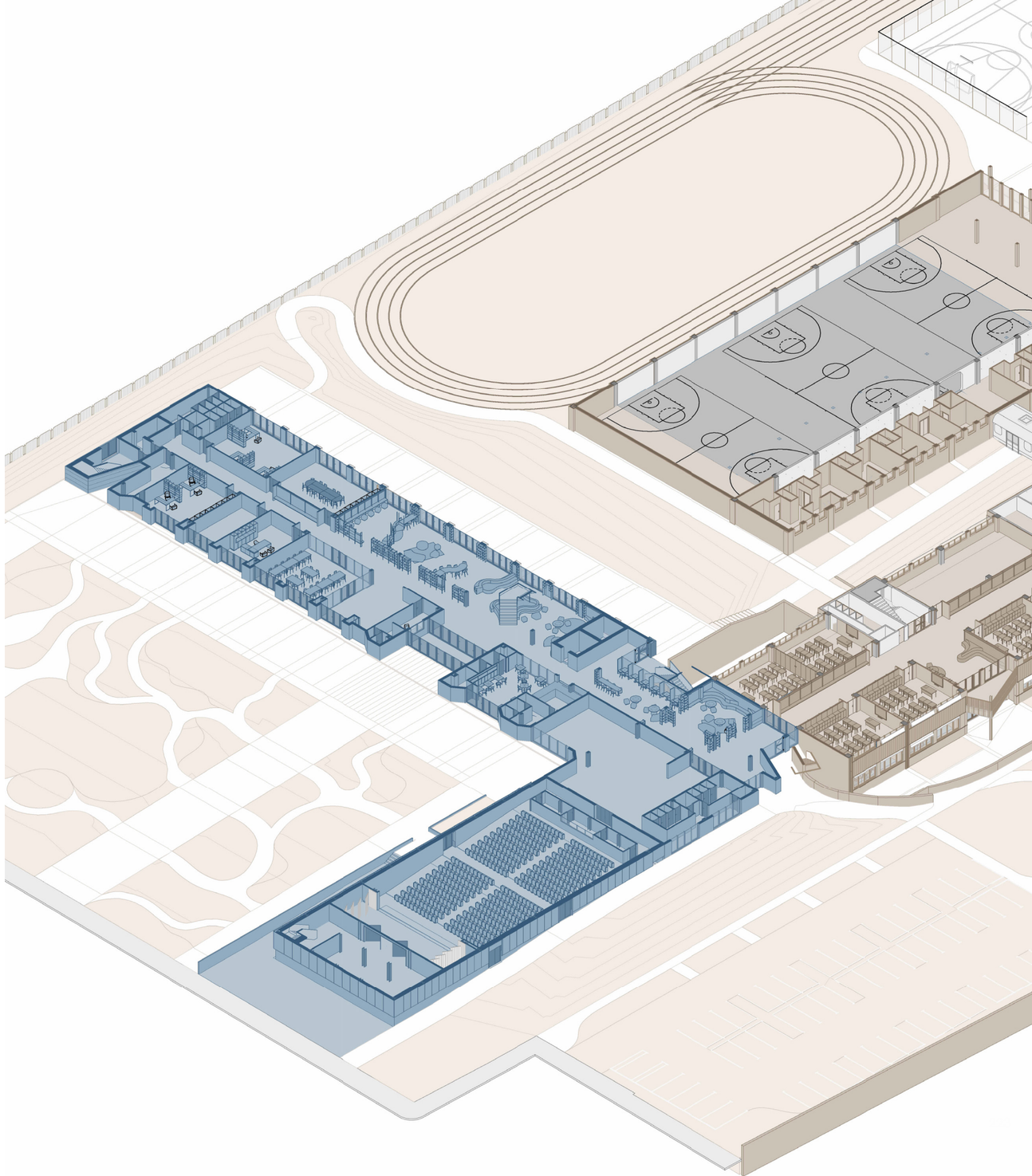
8.2 LE FUNZIONI

Le scelte architettoniche del progetto derivano dalla volontà di trasformare la scuola a partire dalla sua struttura esistente, superando il semplice incremento della superficie attraverso un intervento fondato sulla relazione tra nuovo e vecchio edificio, nuovi utenti e spazio aperto, per dar forma a un nuovo complesso unitario di forte identità. La composizione del nuovo complesso si fonda perciò su tre fattori: l'esistente, la grande potenzialità rappresentata dallo spazio del lotto e le esigenze sia degli studenti che del quartiere. L'obiettivo finale è costruire un modello di scuola più aperto, adattabile e capace di accogliere attività diverse nel corso della giornata e non solo nell'orario scolastico.

Questa opportunità è data soprattutto dalla nuova manica, che amplia la superficie disponibile e introduce funzioni prima assenti o insufficientemente dimensionate, costruendo un nuovo legame con la grande area del lotto. Il nuovo volume non si limita quindi ad aggiungersi all'edificio esistente, ma ne completa l'organizzazione, definendo un sistema unitario nel quale corpi edilizi, spazi collettivi e spazi aperti sono messi in relazione secondo una struttura spaziale comune.

All'interno del nuovo complesso si susseguono e si intrecciano gli ambiti principali della nuova scuola: gli spazi pubblici della caffetteria e del teatro-auditorium, le aree scolastiche comuni dell'atrio-biblioteca, i corridoi e le aule della didattica, la palestra e gli spazi aperti. La loro disposizione non è casuale, ma segue una gerarchia spaziale basata sui diversi gradi di apertura e accessibilità degli spazi: quelli maggiormente pubblici si affacciano in prossimità del parco e degli ingressi, mentre gli ambienti didattici si sviluppano progressivamente verso le parti più interne e riservate dell'edificio. Le diverse funzioni sono quindi disposte secondo una sequenza di soglie e passaggi, nella quale il percorso coincide con un graduale cambiamento del carattere degli spazi: dalla città al parco, dal parco agli ambienti collettivi, dagli spazi di incontro alle aree della didattica, fino agli ambienti più specifici e protetti della vita scolastica.

La presenza di funzioni destinate a utenze differenti è un forte criterio nella composizione architettonica del complesso, che rende necessaria una chiara separazione dei flussi. Studenti, personale scolastico e utenti esterni devono poter raggiungere le rispettive destinazioni senza interferire tra loro e permettendo alla scuola di rimanere utilizzabile anche oltre l'orario scolastico senza comprometterne la sicurezza e il controllo. La distribuzione degli ingressi viene quindi definita in relazione alle diverse funzioni, rendendo autonomi gli accessi agli spazi maggiormente pubblici.
L'accesso principale alla scuola avviene dal parco antistante e conduce all'atrio-biblioteca, mentre la caffetteria e il teatro-auditorium dispongono di ingressi rivolti verso lo spazio aperto, consentendo alla cittadinanza di accedere senza attraversare le aree scolastiche. La palestra è invece dotata di un accesso autonomo sul lato nord del lotto, direttamente collegato ai campi sportivi esterni. La distribuzione degli ingressi permette così di rendere indipendenti le principali funzioni collettive, mantenendo al tempo stesso il parco come elemento comune di orientamento e connessione tra le diverse parti del complesso.



La riorganizzazione delle aree esterne completa la trasformazione del complesso, organizzando la superficie del lotto attraverso una distinzione più chiara tra parco, percorsi pedonali, accessi, aree sportive e spazi destinati alla sosta e alla manovra dei veicoli. All'interno di questa organizzazione, le aree verdi assumono caratteri differenti in relazione alla posizione dei due corpi di fabbrica.

PARCO DELLA NUOVA MANICA. Il grande parco frontale alla nuova manica è il primo spazio di attraversamento nell'avvicinamento all'edificio, costruendo una soglia tra la città e la scuola. I percorsi e le aiuole si pongono in contrasto con la geometria regolare dell'edificio e della sua maglia strutturale, attraverso un disegno fluido e sinuoso che collega i diversi accessi e le funzioni del piano terra. Il parco è inoltre articolato attraverso aree di sosta e superfici attrezzate in prossimità degli spazi collettivi. In prossimità degli spazi pubblici, ovvero caffetteria, teatro e atrio della scuola, il giardino diventa una naturale estensione degli ambienti interni, con aree di sosta e superfici attrezzate, permettendo di svolgere all'aperto alcune delle attività di permanenza e socialità della scuola.



PARCO MANICA ESISTENTE. Lo spazio verde di relazione della manica esistente è caratterizzato dalla presenza di un dislivello tra il terreno e il piano seminterrato. La differenza di quota viene integrata nel disegno del parco attraverso un sistema di rampe e scale che collega i diversi livelli e rende accessibile anche lo spazio esterno a servizio del piano inferiore. La sistemazione, oltre a fornire anche il piano seminterrato di una propria area esterna per la ricreazione, consente di migliorare le condizioni di illuminazione naturale degli ambienti a questa quota, che sarebbero altrimenti svantaggiati sotto questo aspetto. La distribuzione delle funzioni al piano seminterrato è stata infatti definita anche sulla base delle condizioni di illuminazione naturale dei due fronti dell'edificio. Sul fronte est, maggiormente esposto alla luce diretta, vengono collocate le aule, mentre sul fronte ovest, caratterizzato da condizioni di illuminazione più limitate, sono collocati i laboratori e alcuni ambienti di servizio, tra cui la centrale termica e l'archivio, che non necessitano di un apporto significativo di luce naturale. La distribuzione funzionale diventa così uno strumento per mettere in relazione le caratteristiche ambientali dei diversi affacci con le esigenze specifiche degli ambienti.ni, possono assumere un ruolo condiviso anche oltre l'orario scolastico, mantenendo comunque una chiara separazione tra ambiti pubblici e aree riservate alla didattica. L'intervento mira così a costruire un organismo scolastico più efficiente e riconoscibile, ma anche maggiormente integrato con il contesto urbano in cui si inserisce.





LA SCUOLA. Gli spazi scolastici sono organizzati attorno a tre principali sistemi spaziali: l'atrio-biblioteca, i corridoi e le aule. A questi si aggiunge la palestra, che costituisce un ambito specializzato integrato nel sistema delle attività dell'istituto.

ATRIO-BIBLIOTECA. L'atrio-biblioteca è il nuovo grande spazio di ingresso ed accoglienza della scuola, spostato rispetto alla configurazione esistente e posizionato sul centro dell'ampliamento, rivolto verso il parco e così visibile e riconoscibile dalla strada pubblica antistante. L'ingresso principale non è quindi più un ingresso laterale arretrato e poco riconoscibile, ma si pone come punto di arrivo alla fine di un percorso che dalla strada attraversa il parco. Una volta attraversato l'ingresso, la grande scala di distribuzione si pone immediatamente di fronte all'utente, costituendo il primo elemento di riconoscibilità e orientamento all'interno dell'edificio. La sua posizione centrale è ulteriormente rafforzata dall'uso del colore blu, che la distingue dal resto degli ambienti e la trasforma in un elemento segnaletico oltre che distributivo. La sua riconoscibilità visiva permette di individuare immediatamente il principale nodo di collegamento tra i diversi livelli della scuola. La relazione diretta con l'atrio ne amplia inoltre il carattere oltre la sola funzione di collegamento verticale: il sistema della scala si integra con lo spazio di accoglienza e di sosta, contribuendo a definire il carattere più informale e collettivo dell'ingresso.

L'atrio-biblioteca si sviluppa attorno alla grande scala centrale e occupa la maggioranza del piano terra della parte scolastica della nuova manica. Il nuovo atrio si differenzia dalla configurazione di quello esistente, caratterizzato dalla semplice funzione distributiva, configurandosi invece come un grande ambiente comune di permanenza e incontro, grazie alla presenza di sedute, tavoli e arredi per lo studio informale e i momenti di pausa. Il carattere collettivo dello spazio è inoltre dato dal suo sviluppo a tutta altezza, che crea un grande vuoto centrale attorno al quale si affacciano i piani superiori, mettendoli così in relazione visiva diretta.
Il vuoto, oltre a garantire continuità e relazione tra i diversi livelli, amplia la percezione dello spazio dell'atrio e ne favorisce l'illuminazione e la ventilazione naturale.
La superficie vetrata della parete e, soprattutto, il lucernario posto in sommità del vuoto permettono di compensare la limitata illuminazione naturale dovuta all'orientamento a nord di questo spazio, portando la luce all'interno del cuore dell'edificio e contribuendo così a illuminare i corridoi dei piani superiori.

L'atrio costituisce inoltre il principale nodo distributivo del piano terra, dal quale si articolano i percorsi verso gli uffici amministrativi, l'area della caffetteria dedicata agli studenti e l'accesso interno al teatro-auditorium. Nel progetto, l'atrio passa così da spazio anonimo ed esclusivamente distributivo a principale spazio collettivo, di relazione e distribuzione dell'edificio, nel quale si concentrano l'accoglienza, l'orientamento, l'incontro e la sosta.



La composizione del progetto si fonda quindi sulla distribuzione delle diverse funzioni e le loro relazioni. Spazi pubblici, ambienti comuni, aree didattiche, palestra sono organizzati secondo differenti gradi di accessibilità, permettendo lo svolgimento simultaneo delle loro diverse attività senza sovrapporre le loro diverse utenze. Il parco e il sistema dei percorsi esterni costituiscono l'elemento di connessione di questa struttura, mettendo in continuità edificio, spazio aperto e città.



GLI SPAZI PUBBLICI. Gli spazi pubblici della caffetteria e del teatro-auditorium costituiscono i principali ambienti collettivi aperti anche a un'utenza esterna e sono distribuiti al piano terra della nuova manica di ampliamento, in una relazione diretta con lo spazio aperto.

CAFFETTERIA. La caffetteria riprende una funzione in passato presente nella scuola, ma dismessa negli ultimi anni, in una nuova configurazione che permette di servire sia la popolazione scolastica che gli utenti esterni, attraverso due modalità di accesso distinte. Il locale è infatti direttamente raggiungibile dal parco, mentre nella partizione verso l'interno della scuola è presente un'apertura che consente agli studenti di usufruire del servizio direttamente dagli spazi interni, senza entrare nel locale e senza miscelarsi con l'utenza pubblica.

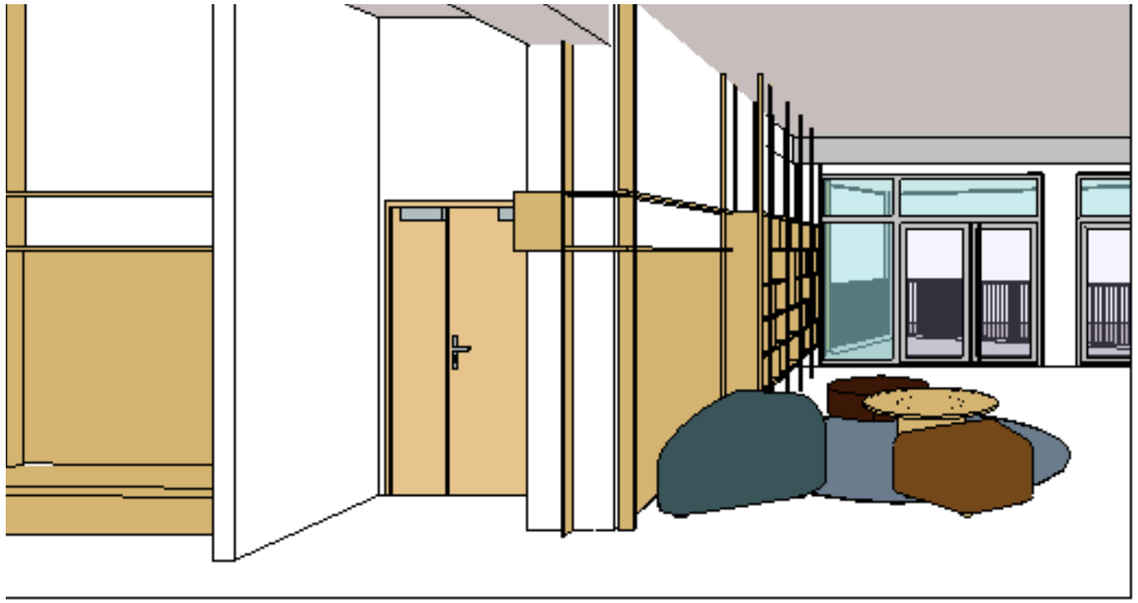
Il rapporto tra la caffetteria e gli spazi della scuola è definito dalla parete che separa i due ambienti, nella quale delle aperture basculanti permettono agli studenti di affacciarsi e di interagire con il personale della caffetteria per usufruire del servizio. La parete non costituisce quindi una semplice separazione tra due ambienti, ma è un elemento attivo di relazione e di scambio tra la caffetteria e la vita quotidiana della scuola. L'area in corrispondenza delle aperture è inoltre attrezzata con tavoli e sedute per la permanenza degli studenti, illuminata dalla grande superficie vetrata verso il parco più interno della scuola. Questa zona assume così il carattere di spazio per la ricreazione, nel quale il servizio bar, la permanenza degli studenti e il rapporto con il giardino vengono messi in continuità.



La caffetteria mantiene così un rapporto contemporaneo con le utenze, affacciandosi sia verso il parco che direttamente alla scuola, mantenendo la separazione tra i flussi. Il fronte verso il giardino è inoltre accompagnato da uno spazio esterno attrezzato con sedute, che permette di estendere la permanenza all'aperto e di utilizzare il parco come naturale prolungamento della caffetteria.

TEATRO. Il teatro-auditorium costituisce il principale spazio collettivo dell'ampliamento ed è destinato sia alle attività dell'istituto sia a spettacoli, incontri ed eventi aperti alla comunità. Anche in questo caso si hanno due accessi distinti per le tue tipologie di utenza, con un ingresso direttamente dal parco e una porta interna alla scuola, che consentono di raggiungere l'atrio del teatro.
La sala del teatro ha una configurazione rettangolare, con la platea organizzata su un piano inclinato continuo privo di gradoni, in modo da garantire maggiore continuità e accessibilità allo spazio soprattutto per le persone con mobilità ridotta evitando la necessità di percorsi separati.
Alla sala sono affiancati gli spazi necessari al suo funzionamento: la regia nella parte posteriore della platea, e gli ambienti di servizio al palco, ovvero camerini, spogliatoi e magazzini, disposti alle spalle del palco e distribuiti su due livelli.
Le esigenze strutturali dovute alle notevoli dimensioni della sala hanno portato a concepire il teatro come un volume autonomo rispetto alla restante parte dell'ampliamento, con una configurazione distinta che rende riconoscibile il carattere particolare e pubblico dell'edificio all'interno del complesso edilizio scolastico. Le specifiche esigenze della sala hanno inoltre determinato la progettazione della copertura secondo una soluzione a shed, che consente di limitare la luce diretta potenzialmente interferente con gli spettacoli. Le falde interne, costituite da una superficie inclinata opaca e da una porzione verticale vetrata, consente di avere un ingresso indiretto della luce naturale, che viene modulato grazie all'affiancamento di un sistema centralizzato di ombreggiamento di tende interne per l'ombreggiamento.





CORRIDOI SOCIALI. Sia nell'ampliamento che nella manica esistente, i corridoi vengono ripensati come spazi intermedi tra le aule e le aree comuni, ampliandone la funzione oltre il semplice attraversamento. I corridoi vengono infatti attrezzati con panche continue che consentono una distribuzione delle aree di ricreazione lungo tutti i piani e nelle immediate vicinanze delle aule. I momenti di pausa possono così distribuirsi lungo l'intero edificio, riducendo gli spostamenti durante gli intervalli e permettendo agli studenti di utilizzare gli spazi immediatamente prossimi alle proprie aule come luoghi di incontro, sosta e socialità.
Nella manica esistente, i corridoi sono intervallati da aree comuni di maggiore dimensione direttamente collegate ai balconi, che interrompono la continuità del percorso e ne ampliano localmente la superficie, creando zone per la ricreazione in vicinanza delle aule, offrendo agli studenti un contatto con l'esterno e contribuendo a portare luce naturale all'interno degli ambienti distributivi.
Nella nuova manica, invece, la continuità dei corridoi viene interrotta in corrispondenza degli arrivi della grande scala centrale, che costituiscono una sorta di estensione dell'atrio-biblioteca ai piani superiori con sedute e tavoli.

In questo modo il sistema dei corridoi assume un carattere più articolato, nel quale il percorso si alterna a luoghi di sosta e di incontro, trasformando la distribuzione in una parte attiva della vita quotidiana della scuola.

L'AULA. Le aule mantengono una configurazione prevalentemente tradizionale, ma vengono modificate nelle dimensioni, condizioni di illuminazione e organizzazione degli arredi.

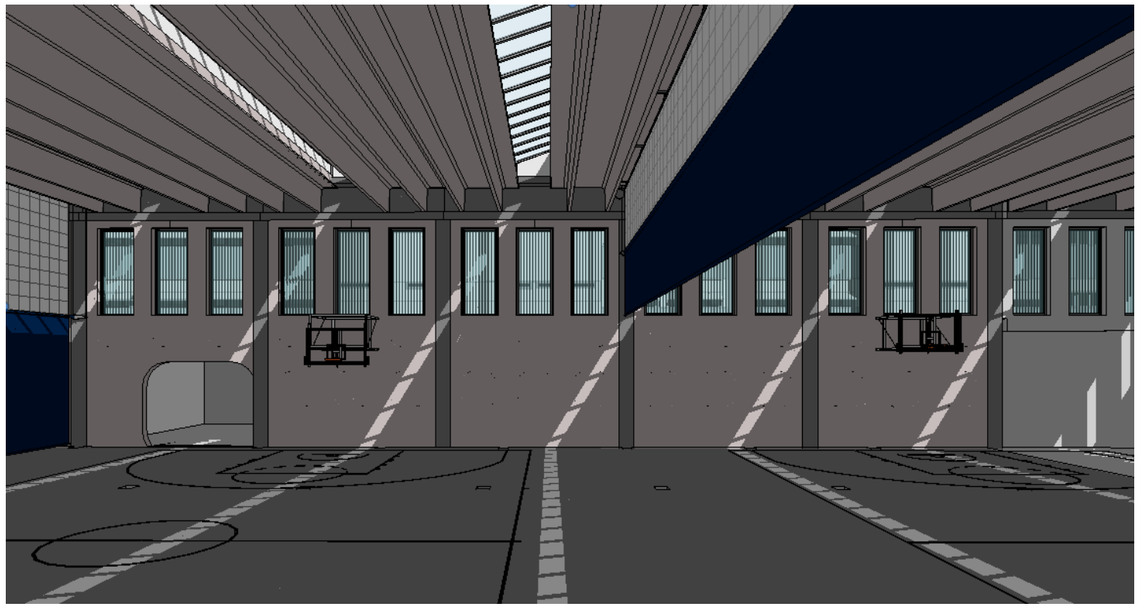
Le aule della manica esistente erano infatti caratterizzate da delle differenze dimensionali soprattutto tra il secondo piano e gli altri piani; la riqualificazione amplia le aule dei piani sottostanti in modo da uniformare le dimensioni di tutte le aule e quindi ridurre le condizioni di sovraffollamento o sottoaffollamento all'interno dello stesso edificio.

Altra importante riqualificazione riguarda l'aumento della superficie vetrata, che permette di aumentare l'apporto di luce naturale, i cui rischi di abbagliamento sono mitigati da schermature esterne di tipo markisolette. Questa tipologia di schermatura, caratterizzata da una porzione inclinata e una verticale, consente di limitare l'irraggiamento diretto mantenendo al tempo stesso la visuale verso l'esterno, potendo così controllare le condizioni luminose dell'aula senza interrompere il rapporto visivo con il paesaggio.

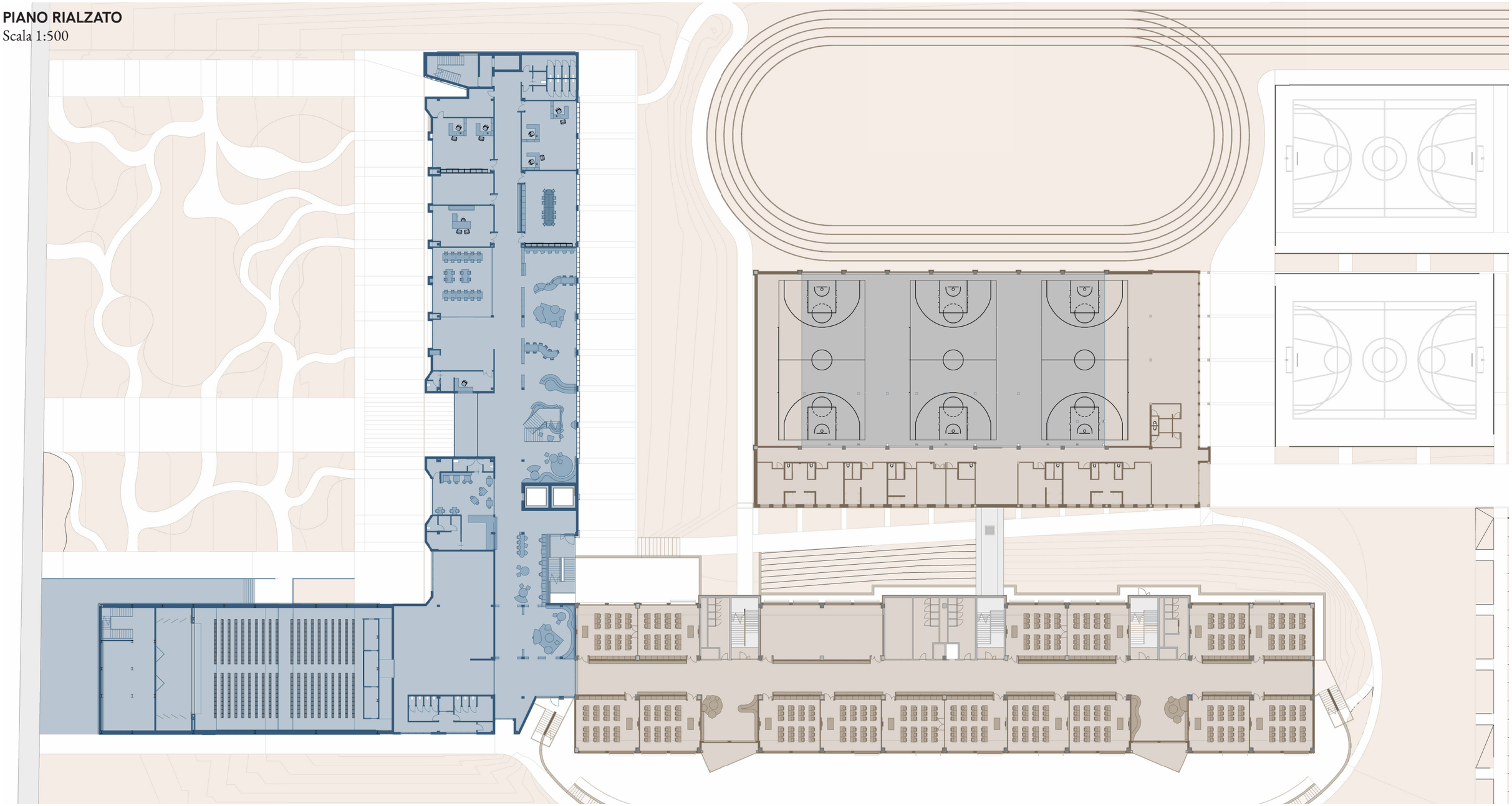
Le attrezzature delle aule sono state poi ripensate secondo un sistema integrato per cui ogni aula dispone di una parete destinata alla raccolta degli oggetti personali e didattici, composta da armadietti e da una lunga bacheca in sughero personalizzabile dagli studenti. Alcune aule sono inoltre organizzate in coppie comunicanti attraverso una parete completamente apribile. Quando chiusa, la partizione mantiene l'autonomia dei due ambienti e garantisce le necessarie condizioni di isolamento acustico; quando aperta, permette invece di utilizzare le due aule come un unico spazio di dimensioni maggiori. Questa soluzione consente quindi di modificare temporaneamente la dimensione dell'aula adattandola ad attività laboratoriali, lavori di gruppo o altre esigenze didattiche.



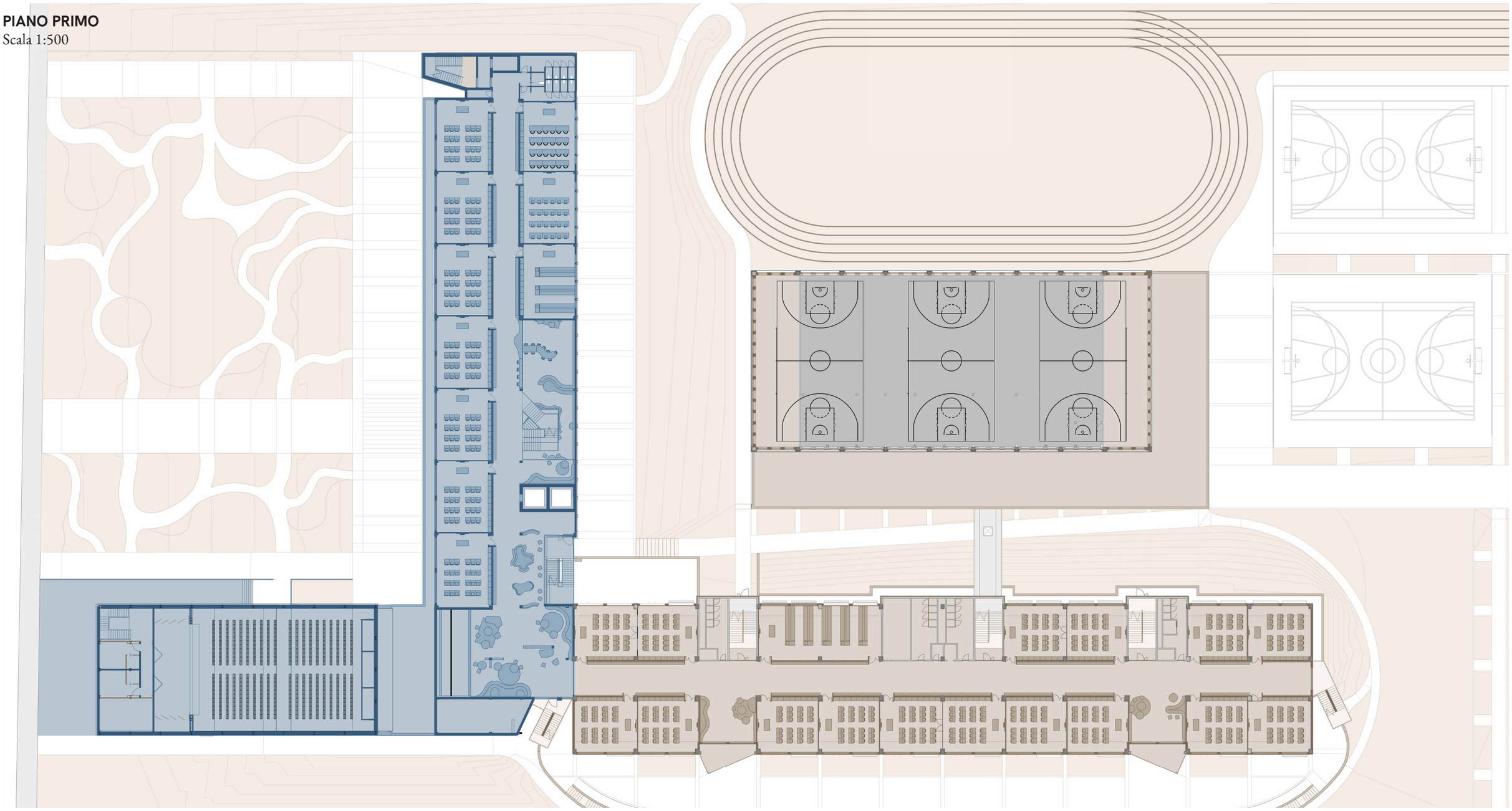
PALESTRA. La palestra è l'altro edificio del complesso che viene ripensato e rinnovato con un ampliamento sia nella superficie destinata all'attività sportiva sia negli spazi di servizio, aumentando la capacità complessiva dell'impianto, attualmente insufficiente.
L'area di gioco viene infatti ampliata grazie alla riorganizzazione degli spogliatoi esistenti, la cui volumetria viene spostata al di fuori del perimetro esistente. I nuovi servizi vengono ampliati, potendo così comprendere tre spogliatoi per le ragazze e tre per i ragazzi, uno per docenti e allenatori, un locale per l'infermeria e un magazzino, necessari al funzionamento dell'impianto.
Lo spostamento degli spogliatoi e l'aggiunta di tre campate corrispondenti al passo strutturale esistente hanno permesso l'ingrandimento dell'area di gioco, consentendo di ospitare tre campi distinti, separabili attraverso tende mobili a discesa verticale azionate da un sistema centralizzato. Lo spazio può quindi essere utilizzato come un unico ambiente oppure suddiviso in più campi indipendenti, consentendo lo svolgimento simultaneo delle attività di tre classi.
L'ingresso alla palestra è collocato sul lato nord del lotto, in relazione diretta con i campi sportivi esterni. Un piccolo atrio distribuisce verso il corridoio degli spogliatoi e verso l'area di gioco, dotata di ulteriori servizi igienici accessibili a un'utenza più ampia. All'interno, l'illuminazione naturale viene garantita dalle grandi aperture laterali e dai lucernari della copertura, che riprendono l'edificio esistente. Le aperture laterali sono protette da una lamiera forata esterna, in modo da filtrare la luce diretta e limitare l'abbagliamento e il surriscaldamento dell'ambiente interno.



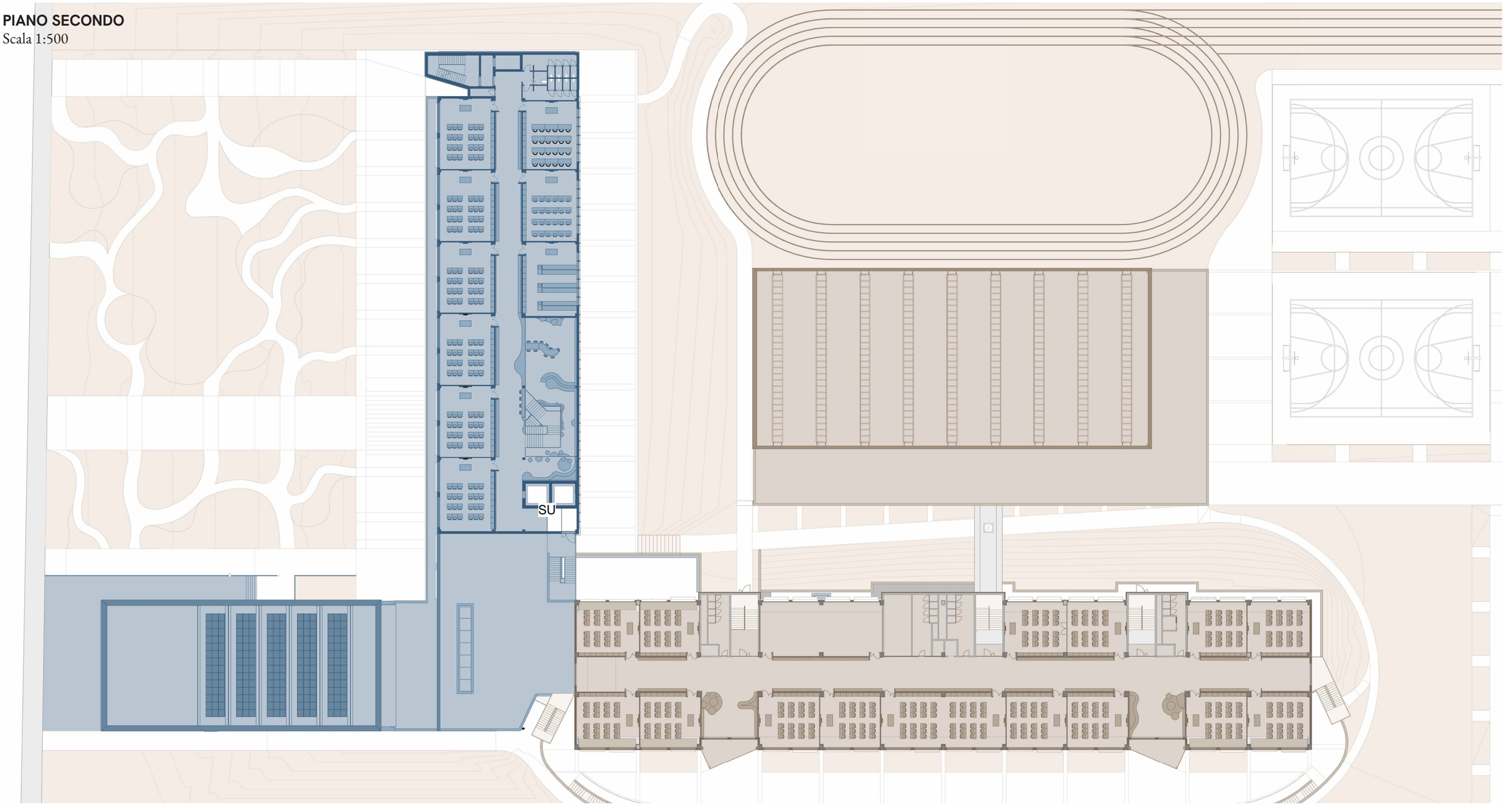
PIANO RIALZATO
Scala 1:500



PIANO PRIMO
Scala 1:500



PIANO SECONDO
Scala 1:500



VERIFICA ILLUMINOTECNICA DEGLI AMBIENTI DIDATTICI La verifica illuminotecnica è finalizzata a valutare la qualità della luce naturale all'interno degli ambienti didattici, considerando non soltanto il livello di illuminamento raggiunto, ma anche la sua distribuzione nello spazio, la continuità della disponibilità luminosa nel corso dell'anno e le eventuali condizioni di sovraesposizione o abbagliamento. La qualità dell'illuminazione naturale assume infatti particolare rilevanza negli spazi scolastici, nei quali il comfort visivo e la corretta percezione dell'ambiente contribuiscono direttamente alla fruibilità degli spazi e alle condizioni di benessere degli utenti.

Le analisi tengono conto della geometria delle aule, della posizione e dimensione delle superfici finestrate, dell'orientamento delle facciate e della presenza dei sistemi di schermatura. Per rappresentare le principali condizioni presenti nel progetto sono state selezionate tre aule con esposizione rispettivamente Est, Sud e Ovest, così da evidenziare l'influenza dell'orientamento sulla disponibilità di luce naturale e sull'incidenza della radiazione solare diretta.

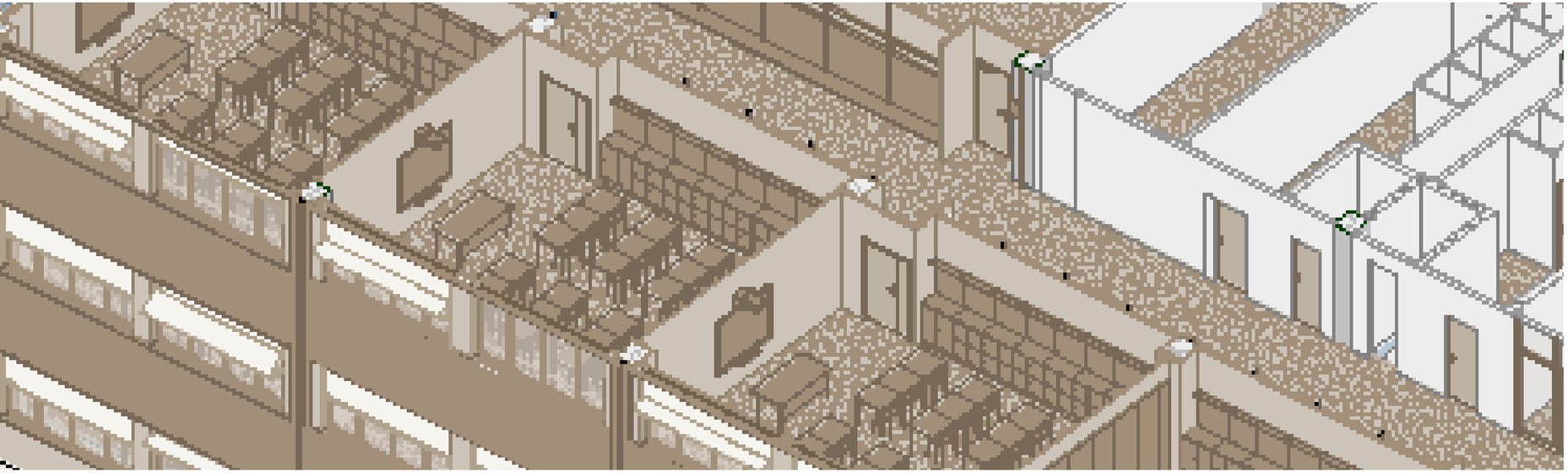
Per ciascun ambiente vengono verificati i livelli di illuminamento naturale sulla superficie di riferimento e la loro permanenza nel tempo, integrando la lettura con indicatori relativi alla vista verso l'esterno, alla distribuzione annuale della luce e al controllo del rischio di abbagliamento. In particolare, le analisi consentono di distinguere le condizioni in cui la luce naturale risulta insufficiente da quelle in cui un'eccessiva esposizione può determinare fenomeni di sovrailluminazione e surriscaldamento. Le simulazioni sono effettuate sia in assenza sia in presenza dei sistemi di schermatura, così da valutarne l'effetto sul comportamento dell'ambiente. Il confronto tra le due condizioni permette di mettere in evidenza il necessario equilibrio tra massimizzazione dell'apporto di luce naturale e controllo della radiazione solare, evitando che il miglioramento di una prestazione determini il peggioramento dell'altra.

I risultati vengono infine confrontati con i criteri prestazionali definiti nel quadro normativo e metodologico e controllati anche rispetto ai riferimenti attualmente vigenti. La verifica consente così di leggere in modo unitario il comportamento luminoso degli ambienti e di valutare la capacità della soluzione progettuale di garantire condizioni adeguate di comfort visivo nelle differenti esposizioni considerate.

	PROPRIETÀ GEOMETRICHE					PROPRIETÀ TERMOFISICHE							
	Aw,p [m^2]	Ag [m^2]	Af [m^2]	Ff	lg [m]	Uw [W/m^2K]	Uw+shut [W/m^2K]	ggl	ggl+sh	ε	Ug [W/m^2K]	Uf [W/m^2K]	ψ [W/mK]
\ F01	1,13	0,87	0,26	0,23	3,52	6,08	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0
\ F02	3,86	3	0,85	0,221	9,84	6,07	n.d.	0,88	n.d.	0,89	5,80	7,00	0
\ F03	8,55	6,08	2,47	0,288	24,04	6,15	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0
\ F04	0,81	0,61	0,2	0,247	2,96	6,1	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0
\ P_f01	26,86	15,2	11,66	0,434	74,54	6,32	—	0,88	—	**0,89**	5,80	7,00	**0**
\ P_f02	14,06	7,44	6,62	0,471	37,14	6,37	—	0,88	—	**0,89**	5,80	7,00	**0**
\ P_f03	11,47	6,69	4,78	0,417	40,05	6,3	—	0,88	—	0,89	5,80	7,00	0

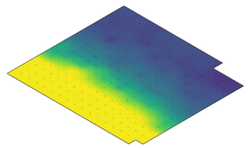
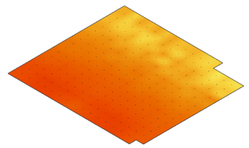
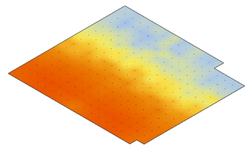
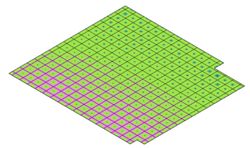
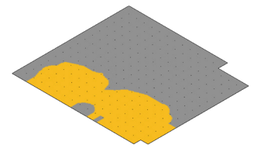
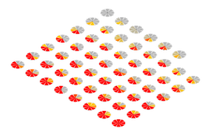
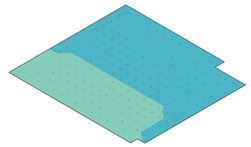
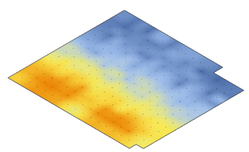
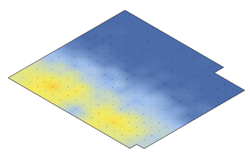
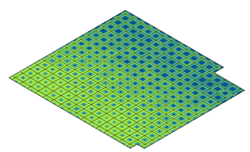
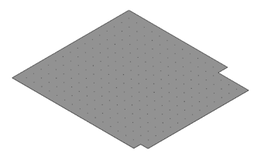
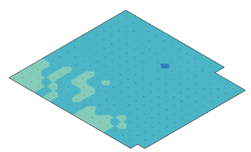
PROPRIETÀ GEOMETRICHE		PROPRIETÀ TERMOFISICHE			
Aw,p [m^2]	Area totale del serramento	**Uw [W/m^2K]**	Trasmittanza del serramento	**Ug [W/m^2K]**	Trasmittanza del vetro
Ag [m^2]	Area vetrata	**Uw+shut [W/m^2K]**	Trasmittanza con chiusura oscurante	**Uf [W/m^2K]**	Trasmittanza del telaio
Af [m^2]	Area del telaio	**ggl**	Fattore solare del vetro	**ψ [W/mK]**	Trasmittanza lineare vetro–telaio
Ff	Rapporto Af / Aw,p	**ggl+sh**	Fattore solare vetro + schermatura	**/**	Vetro singolo
lg [m]	Perimetro del vetro	**ε**	Emissività superficiale esterna	**//**	Vetro doppio

ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST

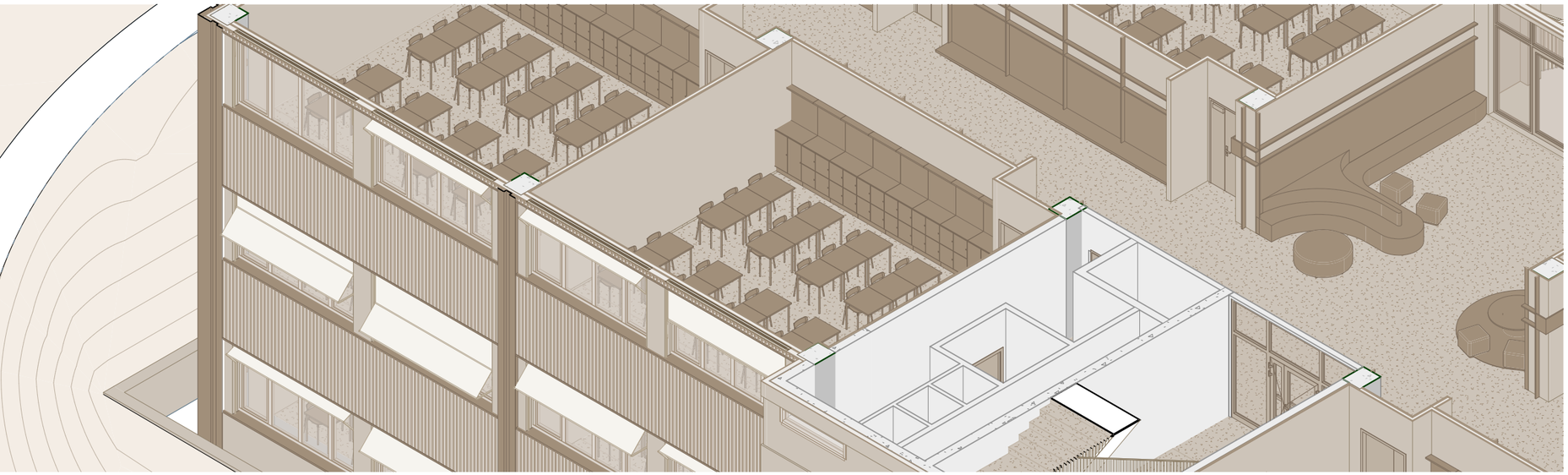


Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	60,5	Tapiflex	Beige	0,4
Soffitto	60,5	Celenit	Naturale	0,4
Parete S	22,27	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Parete O	21,87	Intonaco	Verde salvia	0,43
Parete N	22,27	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Parete E	12,21	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Porta	2,7	Alluminio	Beige	0,6
Serramenti				F01

Parametro	Valore
Superficie utile	60,50 m²
Superficie vetrata	9,28 m²
WFR	21,00%
Riflettanza media (ρ_m)	0,58

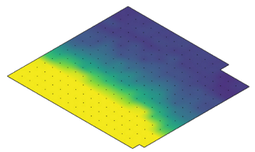
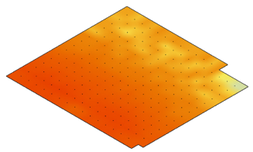
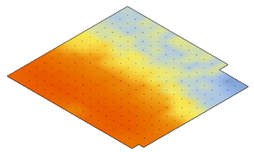
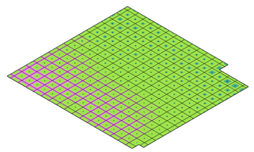
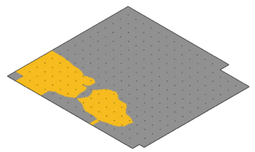
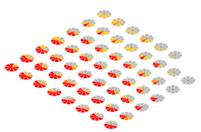
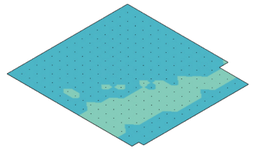
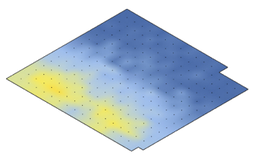
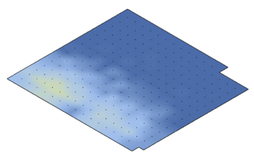
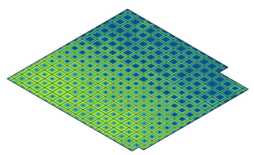
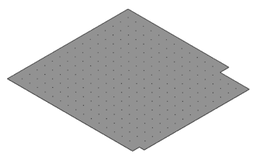
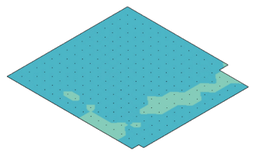
	FDLm	300lux sul 95% della superficie (EN 17037)	500lux sul 50% della superficie (EN 17037)	avg UDIA	ASE 1000/250	DPG	View Out Analysis (EN 17037)
Senza schermatura							
	3,6%	6,6% del tempo	57,7% del tempo	64,0%	30,6%	74,0%	35,0%
Schermatura 50%							
	2,5% del tempo	15,1% del tempo		39,1%	0,0%	3,7%	3,7%
	0% 5%	Neg. Min. Med. Alto	0lux 3000lux	0lux 3000lux	0 250h >	100 300 3000lux	0 %Disturbing 5

ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA OVEST

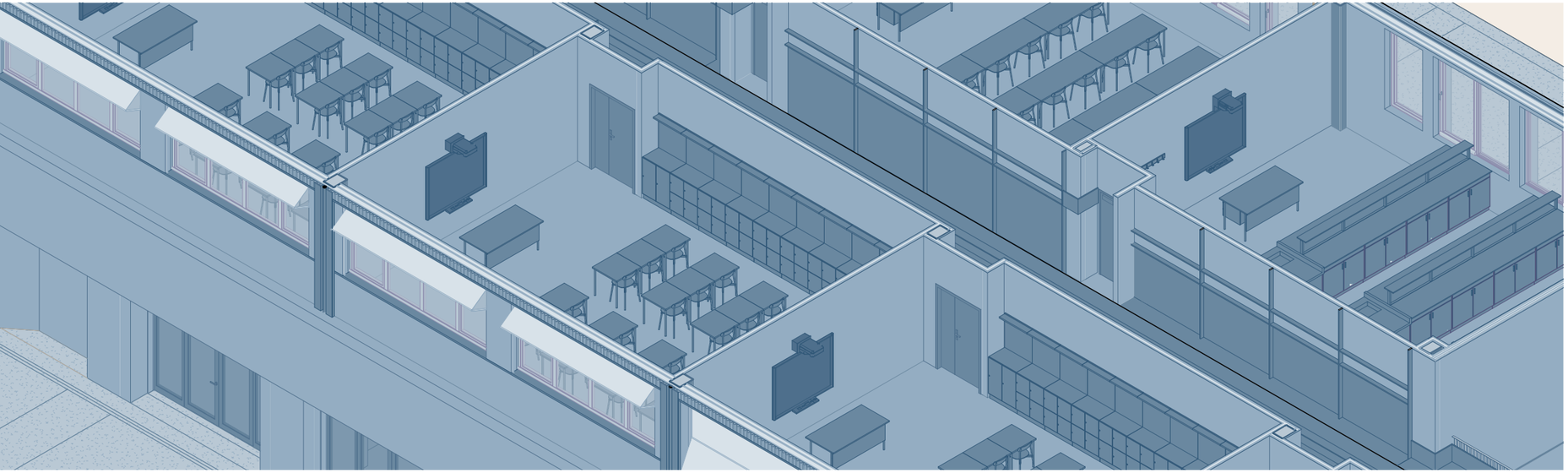


Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	60,5	Tapiflex	Beige	0,4
Soffitto	60,5	Celenit	Naturale	0,4
Parete S	22,27	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Parete O	21,87	Intonaco	Verde salvia	0,43
Parete N	22,27	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Parete E	12,21	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Porta	2,7	Alluminio	Beige	0,6
Serramenti				F01

Parametro	Valore
Superficie utile	60,50 m²
Superficie vetrata	9,28 m²
WFR	21,00%
Riflettanza media (ρ_m)	0,58

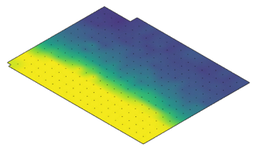
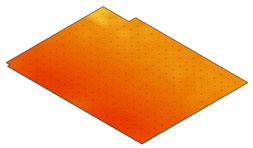
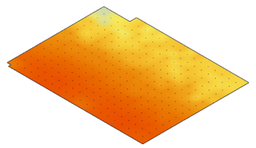
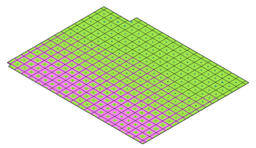
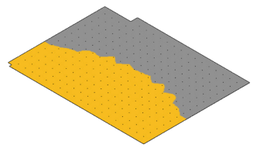
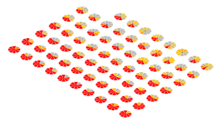
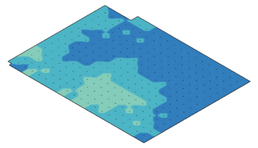
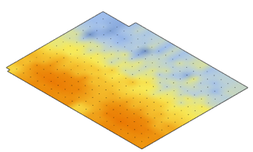
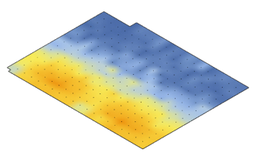
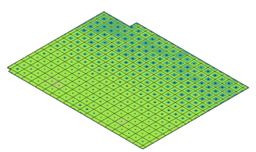
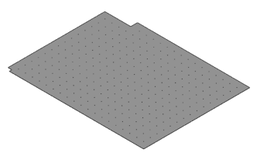
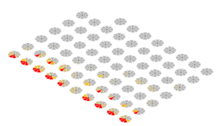
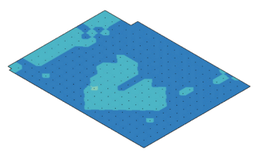
	FDLm	300lux sul 95% della superficie (EN 17037)	500lux sul 50% della superficie (EN 17037)	avg UDIA	ASE 1000/250	DPG	View Out Analysis (EN 17037)
Senza schermatura							
	3,4%	63,5% del tempo	58,4% del tempo	75,8%	19,1%	31,0%	31,0%
Schermatura 50%							
	6,6% del tempo	21,5% del tempo	13,3%	0,0%	21,5%	21,5%	
	0% 5%	Neg. Min. Med. Alto	0lux 3000lux	0lux 3000lux	0 250h >	100 300 3000lux	0 %Disturbing 5

ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA SUD



Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	71,9	Tapiflex	Beige	0,4
Soffitto	71,9	Celenit	Naturale	0,4
Parete S	15,16	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Parete O	23,26	Intonaco	Bianco-giallo	0,43
Parete N	27,4	Intonaco	Verde salvia	0,7
Parete E	23,26	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Porta	2,7	Alluminio	Beige	0,6
Serramenti				F02

Parametro	Valore
Superficie utile	71,90 m^2
Superficie vetrata	11,36 m^2
WFR	20,80%
Riflettanza media (ρ_m)	0,58

	FDLm	300lux sul 95% della superficie (EN 17037)	500lux sul 50% della superficie (EN 17037)	avg UDIA	ASE 1000/250	DPG	View Out Analysis (EN 17037)
Senza schermatura							
	3,5%	**6,6%** del tempo	**51,6%** del tempo	**71,9%** del tempo	**49,1%**	**70,5%**	**31,0%**
Schermatura 50%							
	6,6% del tempo	**30,3%** del tempo		**13,4%** del tempo	**0,0%**	**57,2%**	**5,3%**

VERIFICA ACUSTICA DEGLI AMBIENTI SCOLASTICI

La verifica acustica è finalizzata a valutare sia la capacità dell'edificio di limitare la trasmissione dei rumori tra ambienti differenti e rispetto all'esterno, sia la qualità acustica interna degli spazi destinati alla didattica. Nei contesti scolastici questi aspetti assumono particolare rilevanza, poiché condizioni acustiche non adeguate possono compromettere l'intelligibilità del parlato, la concentrazione e il comfort degli utenti.

L'analisi è sviluppata distinguendo le due principali condizioni progettuali: la riqualificazione del corpo esistente e il nuovo ampliamento. Le verifiche riguardano le prestazioni delle facciate e delle partizioni interne, verticali e orizzontali, considerando l'isolamento dai rumori aerei e, nel caso dei solai, anche la trasmissione del rumore da calpestio.

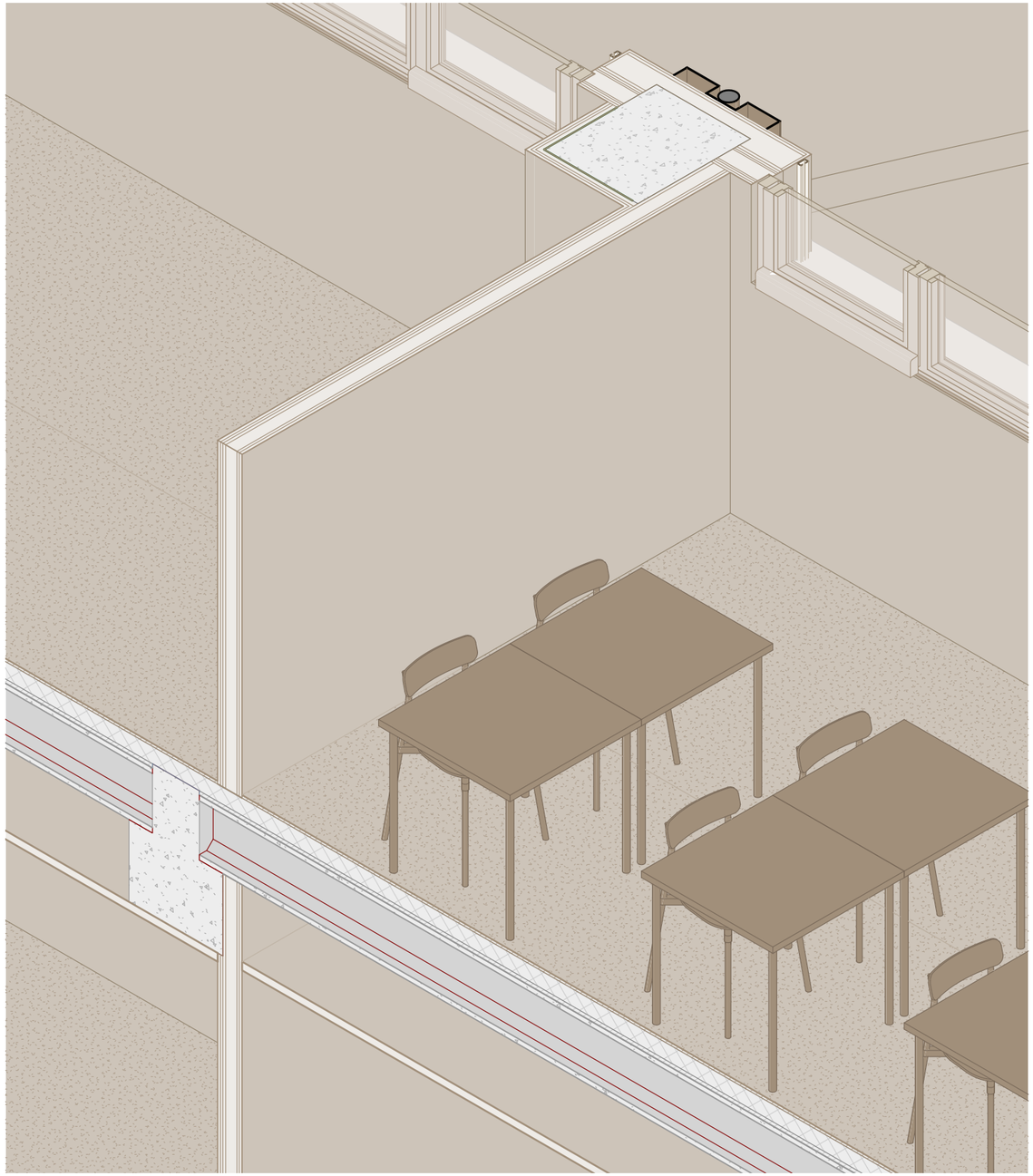
Le analisi condotte sullo stato di fatto e sul precedente intervento di riqualificazione hanno evidenziato prestazioni non adeguate rispetto ai requisiti acustici assunti come riferimento per il progetto. Per questo motivo, nella proposta progettuale si è scelto di intervenire in maniera più organica sugli elementi di separazione, prevedendo la sostituzione integrale delle pareti interne e delle chiusure verticali interessate con sistemi caratterizzati da prestazioni acustiche superiori. La scelta delle nuove stratigrafie è stata quindi orientata non soltanto al miglioramento delle prestazioni termoigrometriche dell'involucro, ma anche al raggiungimento di più elevati livelli di isolamento rispetto ai rumori provenienti dall'esterno e dagli ambienti adiacenti.

Differenti strategie sono state invece adottate per le partizioni orizzontali. Nel nuovo ampliamento il pacchetto di solaio è stato progettato prevedendo uno specifico strato resiliente anticalpestio, finalizzato a limitare la trasmissione dei rumori impattivi tra ambienti sovrapposti. Nel corpo esistente riqualificato, l'inserimento di un analogo sistema avrebbe richiesto interventi di demolizione e ricostruzione più invasivi e avrebbe comportato una riduzione delle altezze interne incompatibile con i requisiti dimensionali degli ambienti scolastici. Si è pertanto scelto di mantenere il solaio esistente e di intervenire dal lato inferiore mediante l'introduzione di un controsoffitto con funzione anche acustica, volto a migliorare il comportamento del sistema e, parallelamente, a contribuire al controllo della riverberazione interna.

Per entrambe le parti dell'edificio sono stati individuati ambienti campione rappresentativi delle principali configurazioni spaziali e costruttive. Per ciascun ambiente sono stati analizzati gli elementi che ne definiscono l'involucro e le separazioni verso gli spazi adiacenti, considerando pareti, solai, serramenti e porte e associando a ciascun componente le relative prestazioni acustiche. Tale impostazione consente di valutare il contributo dei singoli elementi al comportamento complessivo dell'ambiente e di confrontare le differenti soluzioni adottate nel corpo riqualificato e nel nuovo ampliamento.

Accanto ai requisiti di isolamento acustico passivo viene analizzato anche il comportamento acustico interno degli ambienti didattici, con particolare riferimento al tempo di riverberazione e agli indicatori relativi alla chiarezza e all'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è verificare che le soluzioni progettuali garantiscano non soltanto un'adeguata protezione rispetto alle sorgenti sonore esterne e agli ambienti adiacenti, ma anche condizioni favorevoli all'ascolto e alla comunicazione all'interno delle aule.

I risultati sono confrontati con i criteri prestazionali definiti nel quadro normativo e metodologico assunto per il progetto e, parallelamente, verificati rispetto ai requisiti attualmente vigenti. La lettura congiunta dei diversi parametri consente quindi di valutare il comportamento acustico complessivo della proposta progettuale e di evidenziare le differenze prestazionali tra il corpo esistente riqualificato e il nuovo ampliamento.



V2 - CHIUSURA VERTICALE

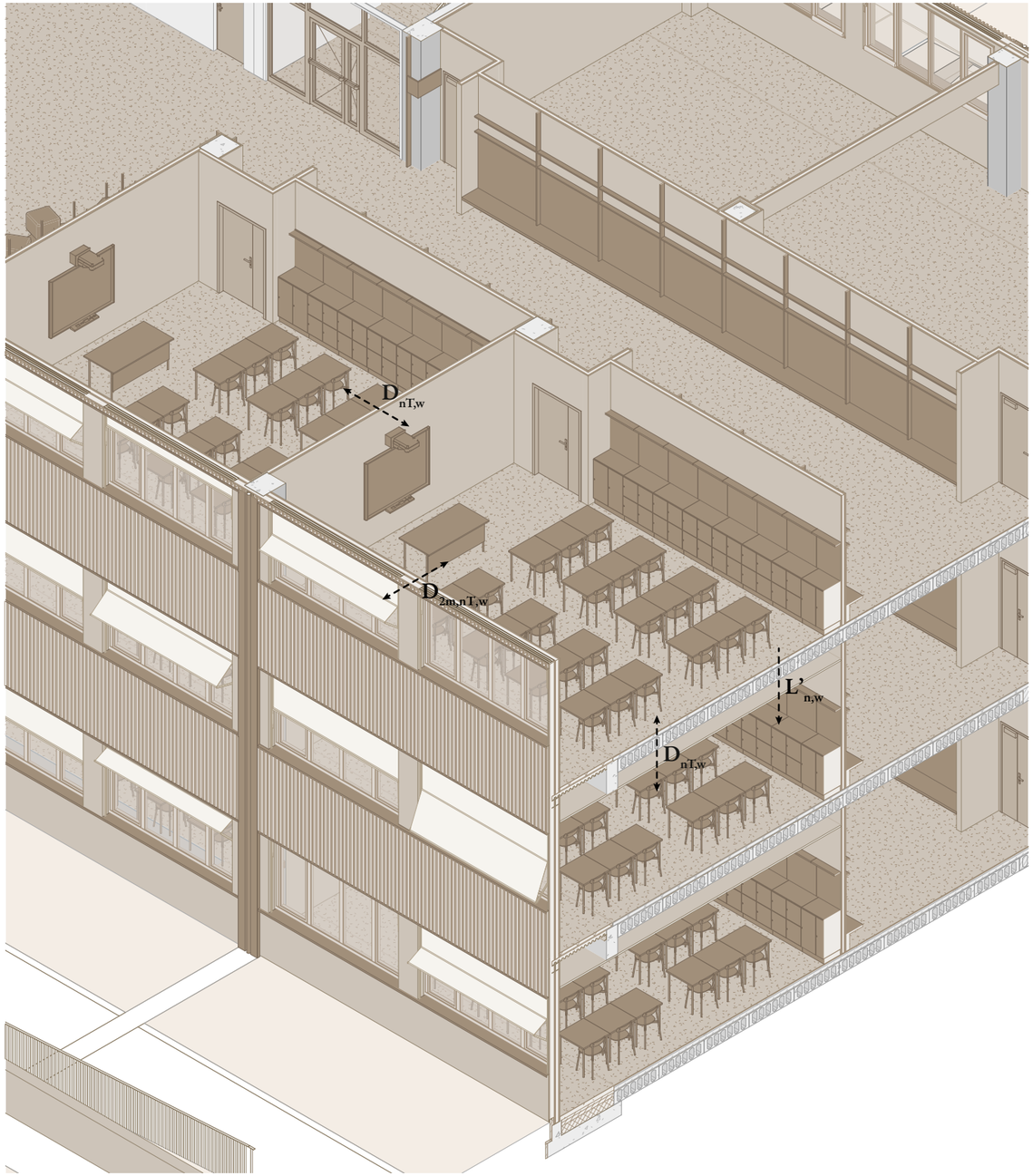
Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Lastra Diamant	1,25	1040	13,00
Lastra Diamant	1,25	1040	13,00
Knauf Insulation - NaturBoard FORTE	8,0 + 2,0*	100	10,00
Lastra Diamant	1,25	1040	13,00
Barriera al vapore Riwega DS 188 ALU	0,03	567	0,17
Knauf Insulation - NaturBoard WALLS	12,0 + 3,0*	110	16,50
AQUAPANEL® Water-Resistive Barrier	0,05	300	0.15
Aquapanel Outdoor	1,25	1150	14,38
Intercapedine fortemente ventilata	2,50	-	-
Acciaio inossidabile, austenitico	0,10	7900	7,90
TOTALE	32,70		

O1 - PARTIZIONE ORIZZONTALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Tapiflex Excellence 19dB	0,325	1.000	3,25
Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	3,00	1.900	57,00
Sottofondo di cemento magro	8,00	400	32,0
Calcestruzzo	3,00	2.400	72,0
Solaio alveolare	30,00	1.210	363,0
Intercapedine d'aria	38,00	1,2	0,46
Celenit AB/F	4,00	625	25,0
TOTALE	32,70		

D1 - PARTIZIONE VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Knauf - Lastra Diamant	1,25	1.040	13,00
Knauf - Lastra Diamant	1,25	1.040	13,00
Knauf - Mineralwool 35	6,00	18	1,08
Camera non ventilata	1,50	1	0,02
Knauf - Lastra Diamant	1,25	1.040	13,00
Knauf - Lastra Diamant	1,25	1.040	13,50
TOTALE	12,50		



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)

Parete perimetrale	A = 15,5m²	$D_{2m,nT,w}$ = 51,5dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	VERIFICATO
	Rw = 50dB			
Serramenti	A = 2 * 6,25m²	R'w = 48,3dB	CAM 2025 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	
	Rw = 45dB			

ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Divisorio	A = 22,43m²	$D_{nT,w}$ = 59,0dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	VERIFICATO
	Rw = 61dB			
Locale ricevente	V = 181,4m³	R'w = 55,0dB	CAM 2025 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
Incertezza	3,53dB			

ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

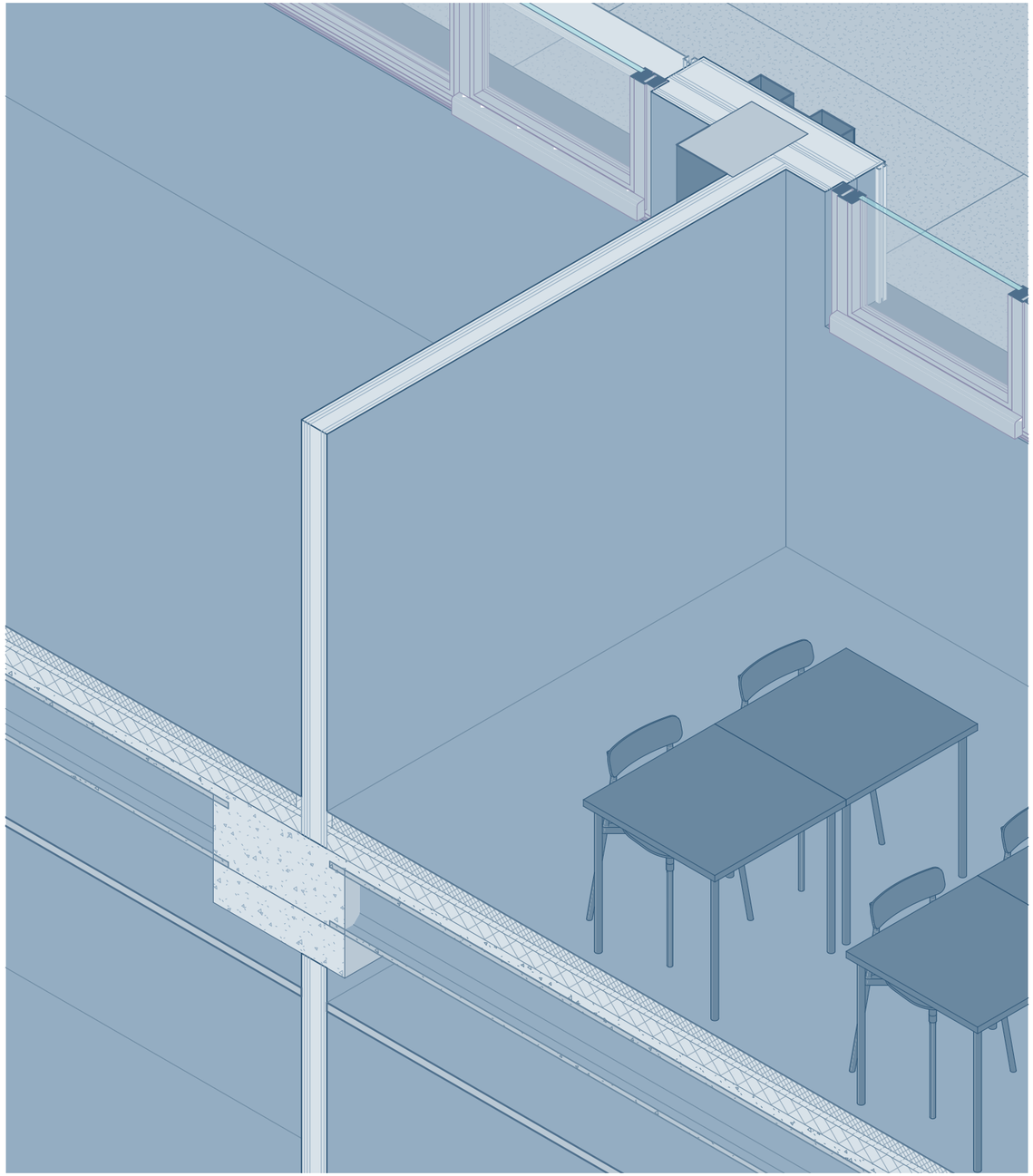
Area divisorio	60,5m²	$D_{nT,w}$ = 62,3dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	VERIFICATO
Volume locale	181,4m³	R'w = 62,6dB	CAM 2025 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
R_w solaio base	56,1dB			
ΔR_w strati agg.	+14,4/+14,2dB			

LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$ - $L'_{nT,w}$)

Area divisorio	60,5m²	$L'_{n,w}$ = 56,3dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq$ 58 dB	VERIFICATO
Volume locale	181,4m³			
$L_{n,eq,0,w}$	75,3dB	$L'_{nT,w}$ = 48,5dB	CAM 2025 $L'_{n,w} \leq$ 53 dB	NON VERIFICATO
ΔL_w	19dB			
ΔR_w strati agg.	-9 / +14,8dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (C50 - T)

T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz	LIMITI DI RIFERIMENTO	ESITO
0,50s	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq$ 58 dB	CONFORME
C50 medio 4,7	CAM 2025 $L'_{n,w} \leq$ 53 dB	



V3 - CHIUSURA VERTICALE

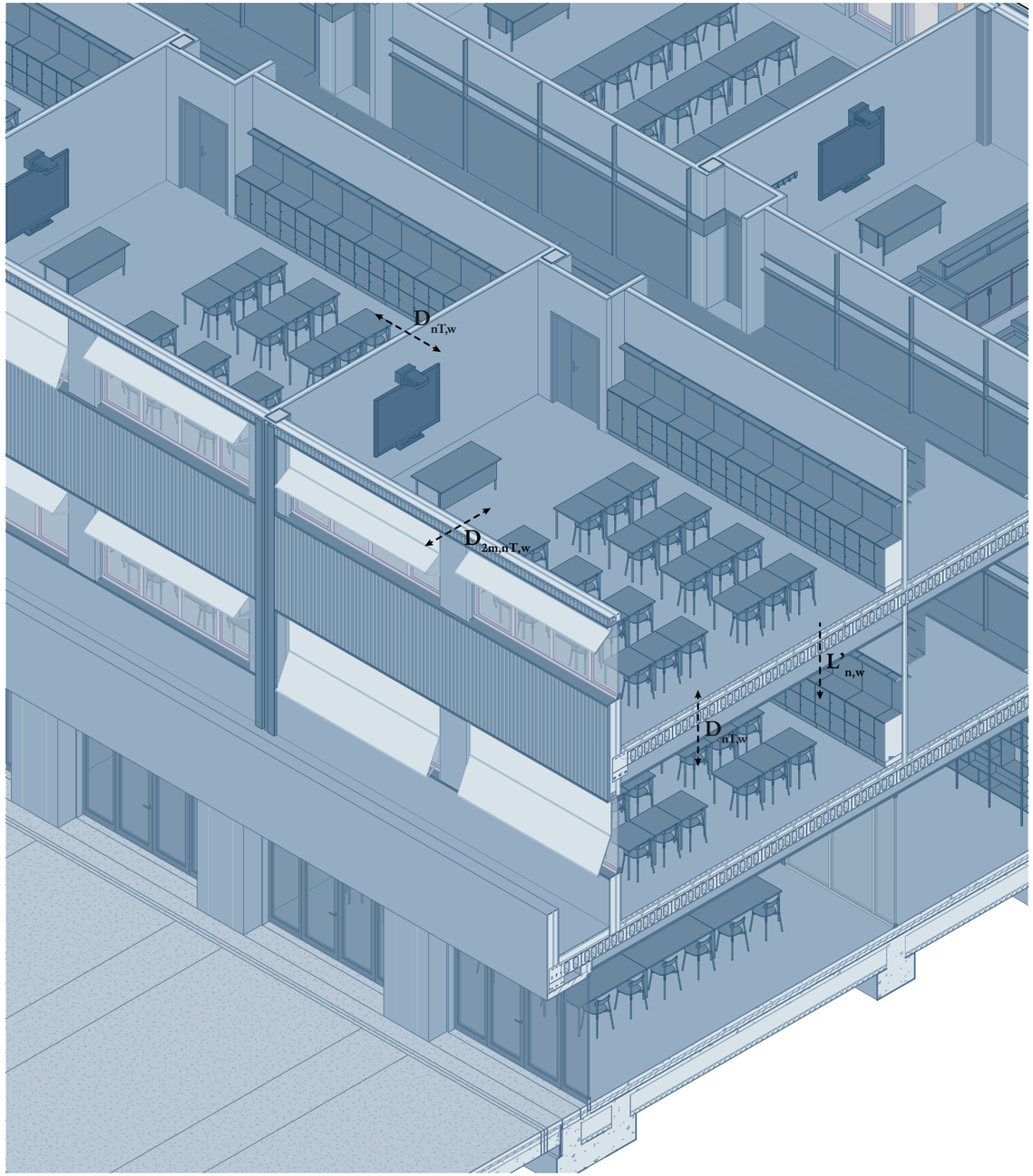
Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Lastra Diamant	1,25	1040	10
Lastra Diamant	1,25	1040	10
Knauf Insulation - NaturBoard FORTE	8,0 + 2,0*	100	1
Lastra Diamant	1,25	1040	10
Barriera al vapore Riwega DS 188 ALU	0,03	567	666667
Knauf Insulation - NaturBoard WALLS	12,0 + 3,0*	110	1
AQUAPANEL® Water-Resistive Barrier	0,05	300	60
Aquapanel Outdoor	1,25	1150	66
Intercapedine fortemente ventilata	2,50	-	-
Acciaio inossidabile, austenitico	0,10	7900	-
TOTALE	32,70		

O2 - PARTIZIONE ORIZZONTALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Tapiflex Excellence 19dB	0,325	1.000	3,0
Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	6,00	1.900	114,0
Isolgomma - HIGHMAT 30	3,00	63	1,9
Sottofondo di cemento magro	8,00	400	32,0
Calcestruzzo - 2400 kg/m^3	5,00	2.400	120,0
CLESI - Kypse mod. K30 solaio alveolare	30,00	1.210	363,0
Intercapedine d'aria	36,00	900	0,1
Celenit AB/F	4,00	625	25,0
TOTALE	32,70		

D2 - PARTIZIONE VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Knauf - Lastra Diamant	1,25	1.040	13,5
Knauf - Lastra Diamant	1,25	1.040	13,5
Knauf - Mineralwool 35	6,00	18	1,1
Camera non ventilata	1,50	1	0,0
Knauf - Lastra Diamant	1,25	1.040	13,5
Knauf - Lastra Diamant	1,25	1.040	13,5
TOTALE	12,50		



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)

Parete perimetrale	A = 15,5m²	$D_{2m,nT,w}$ = 51,3dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq 48dB$	VERIFICATO
	Rw = 50dB	R'w = 47,7dB	CAM 2025 $D_{2m,nT,w} \geq 48dB$	
Serramenti	A = 2 * 7,4m²			
	Rw = 45dB			

ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Divisorio	A = 23,5m²	$D_{nT,w}$ = 65,0dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq 50dB$	VERIFICATO
	Rw = 61dB	R'w = 60,4dB	CAM 2025 $D_{nT,w} \geq 55dB$	
Locale ricevente	V = 216,9m³			
Incertezza	2,94dB			

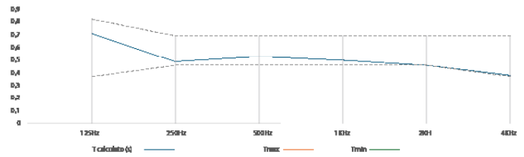
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Area divisorio	72,3m²	$D_{nT,w}$ = 76,9dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq 50dB$	VERIFICATO
Volume locale	216,9m³	R'w = 77,2dB	CAM 2025 $D_{nT,w} \geq 55dB$	
R_w solaio base	60,7dB			
ΔR_w strati agg.	+11,9/+14,8dB			

LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$ - $L'_{nT,w}$)

Divisorio	A = 72,3m²	$L'_{n,w}$ = 29,5dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq 58$ dB	VERIFICATO
	$L_{n,eq,0,w}$ = 70,1dB	$L'_{nT,w}$ = 20,9dB	CAM 2025 $L'_{n,w} \leq 53$ dB	
Locale ricevente	V = 216,9m³			
ΔL_w	40,6dB			
ΔR_w strati agg.	+12,5 / +12,5dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (C50 - T)



T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz

0,50s

C50 medio

4,7

CONFORME

X.X VERIFICHE PRESTAZIONALI DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

La soluzione progettuale è stata sviluppata attraverso un processo di verifica progressiva delle principali prestazioni dell'edificio, così da controllare la coerenza tra le scelte costruttive adottate e gli obiettivi di comfort, efficienza e qualità ambientale. Le analisi riguardano il comportamento termo-fisico e termoigrometrico dell'involucro, le prestazioni acustiche, le condizioni di illuminazione naturale e il fabbisogno energetico, considerando di volta in volta gli elementi e gli ambienti maggiormente rappresentativi delle diverse condizioni presenti nel progetto.

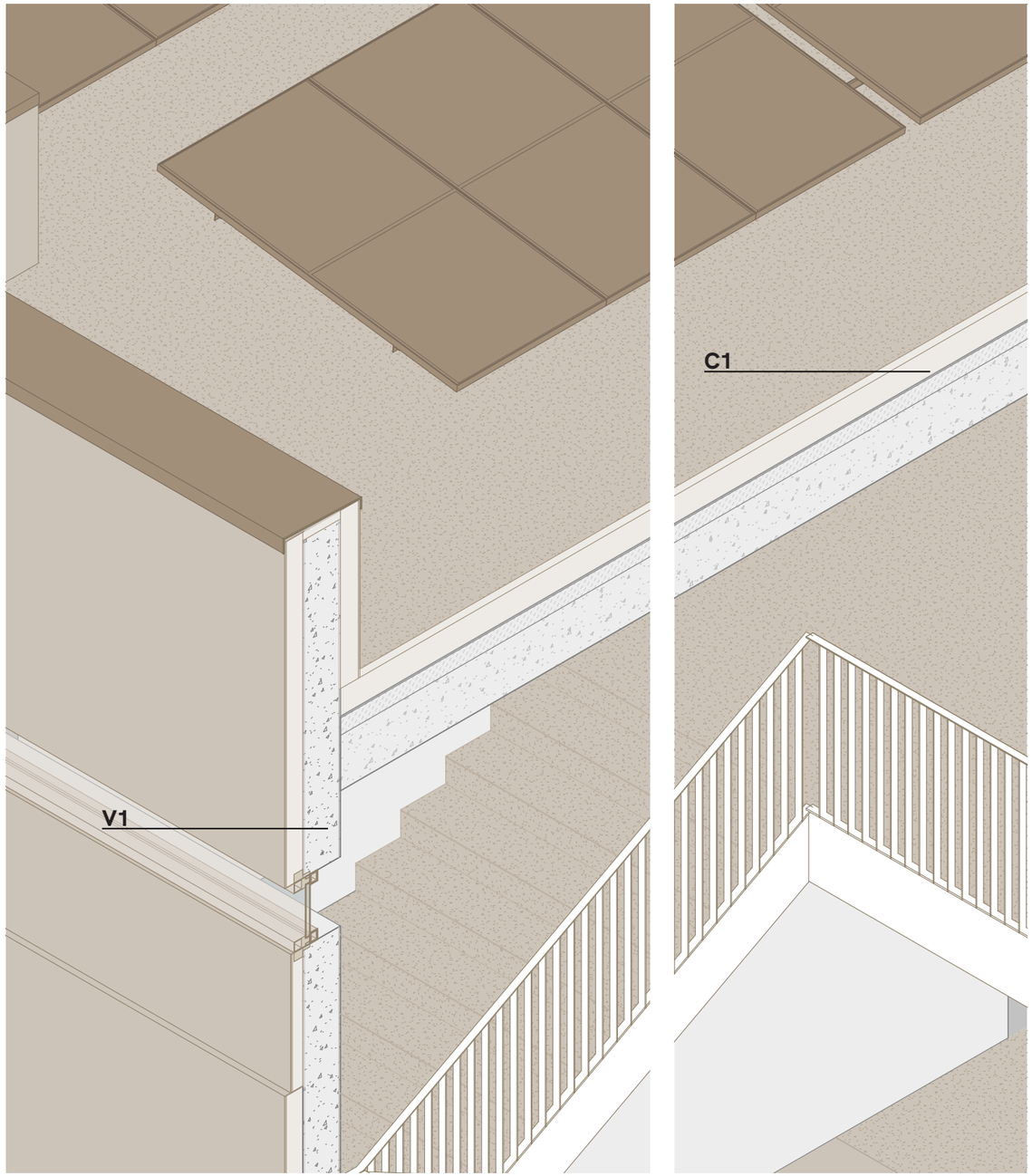
Per l'involucro sono stati approfonditi i principali nodi costruttivi e le relative stratigrafie; per l'illuminazione naturale sono state considerate aule con differenti orientamenti, mentre le verifiche acustiche sono state sviluppate distinguendo la riqualificazione del corpo esistente dal nuovo ampliamento. La valutazione energetica restituisce infine una lettura complessiva del comportamento dell'edificio, mettendo in relazione le caratteristiche dell'involucro con il funzionamento dei sistemi impiantistici.

I risultati vengono letti secondo una duplice prospettiva. Da un lato sono confrontati con il quadro normativo assunto per mantenere coerente il confronto con l'intervento realizzato dalla Città Metropolitana; dall'altro vengono verificati anche rispetto ai requisiti attualmente vigenti, così da valutare la capacità della proposta di rispondere agli standard prestazionali contemporanei. Le verifiche costituiscono quindi non soltanto un controllo finale dei risultati, ma parte integrante del processo progettuale, utile a misurare e indirizzare le prestazioni della soluzione proposta.

VERIFICA TERMO-FISICA E TERMOIGROMETRICA DELL'INVOLUCRO La verifica dell'involucro approfondisce il comportamento delle soluzioni costruttive adottate nei principali punti di raccordo dell'edificio, con l'obiettivo di controllarne sia le prestazioni termiche sia l'equilibrio termoigrometrico. L'analisi non è quindi limitata alla singola stratigrafia, ma considera il modo in cui pareti, solai, coperture e chiusure trasparenti si combinano nei diversi nodi costruttivi.

Sono stati selezionati circa dieci dettagli rappresentativi delle principali condizioni presenti nel progetto; ciascuno mette a confronto e verifica le due stratigrafie che concorrono alla formazione del nodo. Per ogni elemento vengono considerate le proprietà termo-fisiche più significative, tra cui la trasmittanza termica, la massa superficiale e i parametri che descrivono la risposta dell'involucro alle sollecitazioni termiche estive, quali trasmittanza termica periodica, fattore di attenuazione e sfasamento. A queste si affianca la verifica termoigrometrica, finalizzata a escludere condizioni critiche legate alla formazione di condensa superficiale e interstiziale.

I valori ottenuti vengono confrontati con i requisiti prestazionali individuati nel quadro normativo di riferimento e controllati anche alla luce delle prescrizioni attualmente vigenti. In questo



C1 - SOLAIO COPERTURA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m³]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Ciottoli e pietre frantumati per zavorramento	3	1500	5	1000	0,7
Index - FLEXTER TESTUDO SP. PO	0,4	1000	20000	1300	0,2
ROCKWOOL Pannello Flatrock 70 Plus	12	150	1	1030	0,038
Impermeabilizzazione in cartone catramato	0,3	1600	188000	1000	0,5
C.l.s. di sabbia e ghiaia	5	2400	96	1000	2,15
Solaio alveolare	32	1394	9	840	0,889
Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	38	—	—	—	2,375
Pannello fibre minerali feldspatiche	4	55	1	1030	0,04
Celenit AB/F - Sp. 40mm	4	625	10	1400	0,1
TOTALE	98,70				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,188 W/m²K	665,0 kg/m²	0,002 W/m²K	19 h 31’	0,009

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

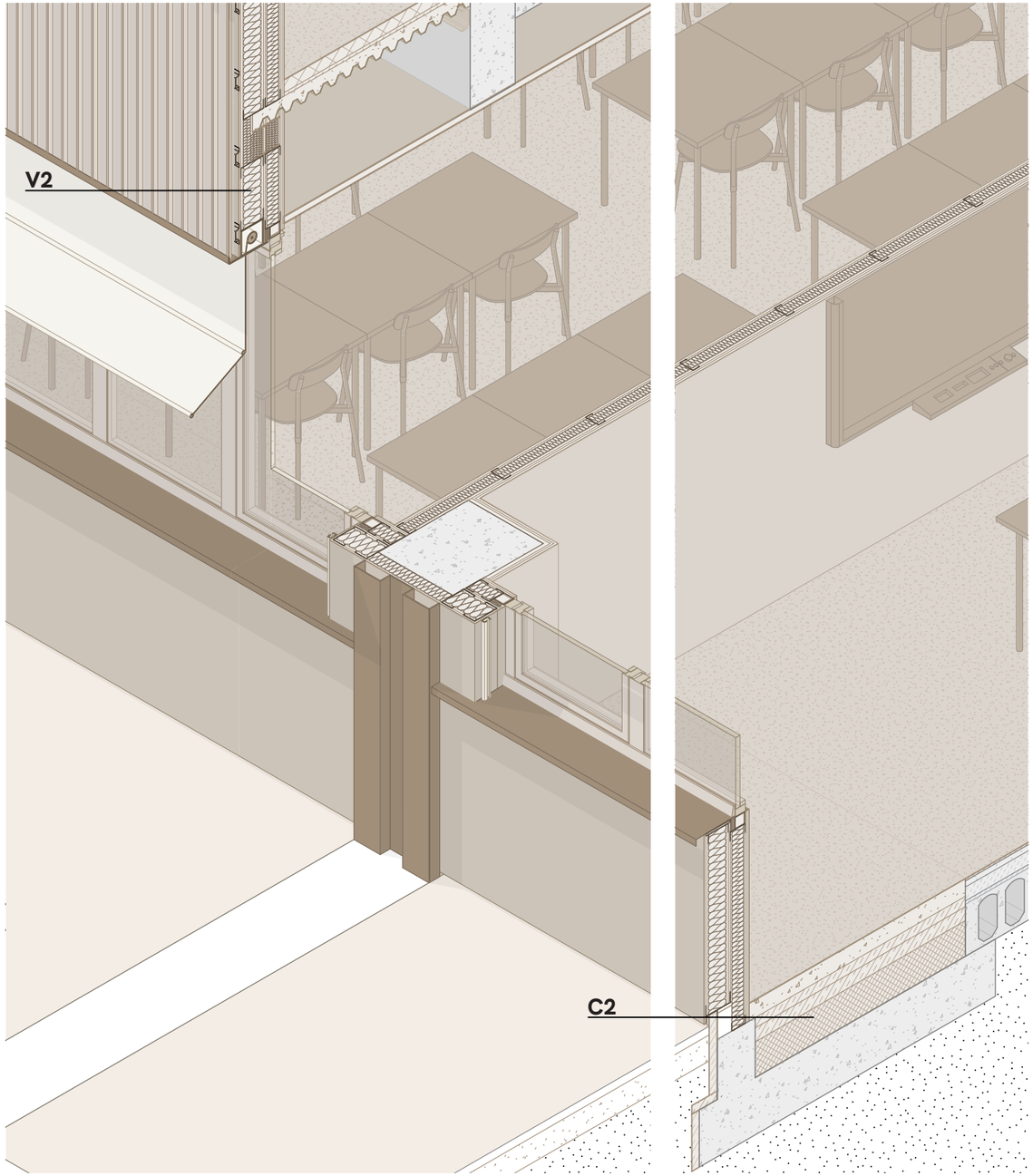
V1 - CHIUSURA VERTICALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m³]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
C.l.s. di sabbia e ghiaia	25,00	2400	96	1000	2,15
Barriera vapore foglio di alluminio	0,20	2700	9999999	880	220
Knauf Insulation - SmartWall S C1	14,00	100	1	1030	0,035
Impermeabilizzazione con PVC in fogli	0,40	1390	50000	900	0,17
Intonaco plastico per cappotto	1,50	1300	30	840	0,3
TOTALE	41,10				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,229 W/m²K	644,0 kg/m²	0,025 W/m²K	11 h 40’	0,11

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓



V2 - CHIUSURA VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Knauf Insulation - NaturBoard FORTE	8,0 + 2,0*	100	1	1030	0,035
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Barriera al vapore Riwega DS 188 ALU	0,03	567	666667	1800	0,4
Knauf Insulation - NaturBoard WALLS	12,0 + 3,0*	110	1	1030	0,035
AQUAPANEL® Water-Resistive Barrier	0,05	300	60	1400	0,2
Aquapanel Outdoor	1,25	1150	66	1000	0,35
Intercapedine fortemente ventilata	2,50	-	-	-	-
Acciaio inossidabile, austenitico	0,10	7900	-	500	17,0
TOTALE	32,70				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,147 W/m^{2}K	83,0 kg/m^2	0,045 W/m^{2}K	9 h 55’	0,31

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

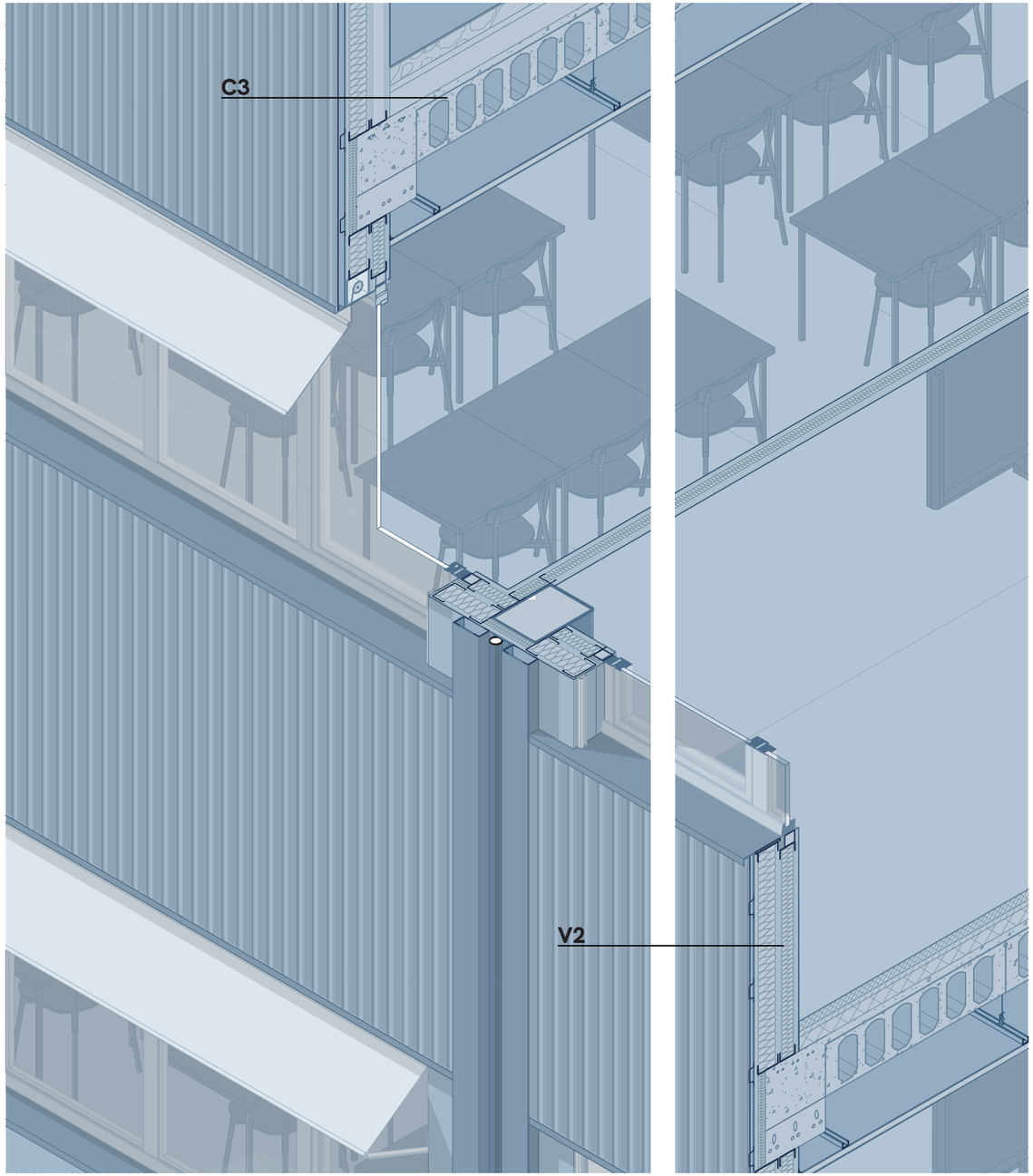
C2 - SOLAIO CONTROTERRA

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Tapiflex Excellence 19 dB	0,325	1.000	20.000	1.500	0,081
Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	10,00	2.200	70	880	1,490
Barriera al vapore Riwega DS1500	0,45	289	6.666.667	1.700	0,220
Barriera anti radon	0,400	1.000	1.500.000	1.300	0,200
ISOLCONFORT - ECO ESPANSO F - K200	6,00	30	40	1.450	0,033
ISOLCONFORT - ECO ESPANSO F - K200	8,00	30	40	1.450	0,033
LecaCem Classic	21,00	600	6	1.000	0,134
Calcestruzzo di sabbia e ghiaia esistente	30,00	2.400	96	1.000	2,150
TOTALE	75,70				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,154 W/m^{2}K	1078,0 kg/m^2	0,001 W/m^{2}K	25 h 00’	0,008

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓



C2 - SOLAIO COPERTURA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Substrato Tetti Verdi tipo E	10,00	700	2	1000	0,2500
RF - Telo filtrante	0,080	131	1	1800	0,2000
Riwega FKD40	4,00	45	5	1800	0,1400
Index DEFEND ANTIRADICE 10	0,40	1000	20000	1300	0,2000
Index - FLEXTER TESTUDO SP. PO	0,40	1000	20000	1300	0,2000
Knauf Insulation - SmartRoof TOP	12,00	150	1	1030	0,0380
Index - SELFTENE BV HE BIADESIVO	0,30	1000	1500000	1300	2,0000
Kypse solaio alveolare k30	30,00	510	6	1500	0,4000
Intercapedine non ventilata	36,00	-	-	-	1,5451
Celenit AB/F - Sp. 40mm	4,00	625	10	1400	0,1000
TOTALE	97,18				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,187 W/m^{2}K	279,0 kg/m^2	0,004 W/m^{2}K	22 h 5’	0,02

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

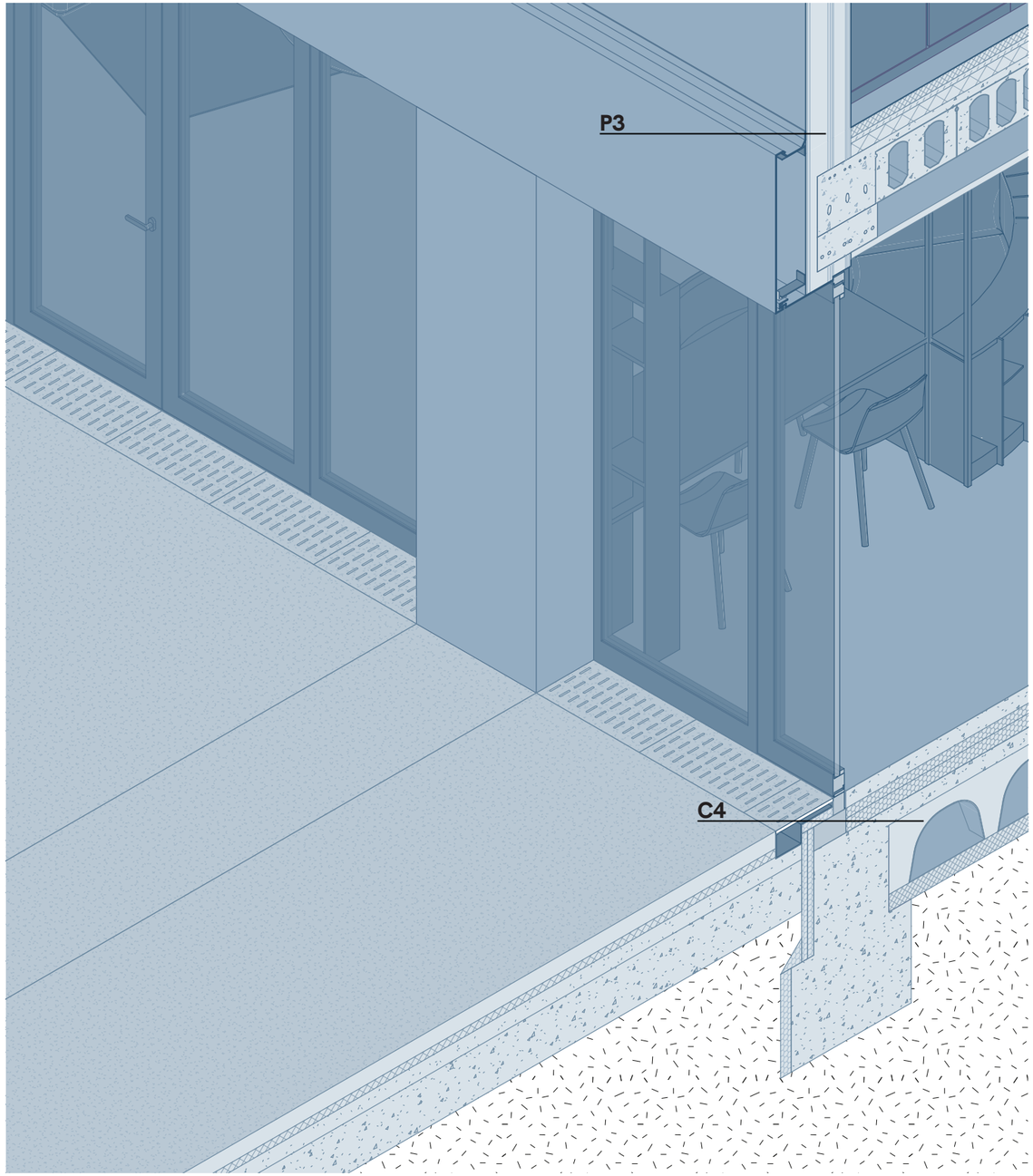
V2 - CHIUSURA VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Knauf Insulation - NaturBoard FORTE	8,0 + 2,0*	100	1	1030	0,035
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Barriera al vapore Riwega DS 188 ALU	0,03	567	666667	1800	0,4
Knauf Insulation - NaturBoard WALLS	12,0 + 3,0*	110	1	1030	0,035
AQUAPANEL® Water-Resistive Barrier	0,05	300	60	1400	0,2
Aquapanel Outdoor	1,25	1150	66	1000	0,35
Intercapedine fortemente ventilata	2,5	-	-	-	-
Acciaio inossidabile, austenitico	0,1	7900	-	500	17,0
TOTALE	32,70				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,147 W/m^{2}K	83,0 kg/m^2	0,045 W/m^{2}K	9 h 55’	0,31

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓



P3 - CHIUSURA VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Knauf Insulation - NaturBoard FORTE	8,0 + 2,0*	100	1	1030	0,035
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Barriera al vapore Riwega DS 188 ALU	0,03	567	666667	1800	0,4
Knauf Insulation - NaturBoard WALLS	12,0 + 3,0*	110	1	1030	0,035
AQUAPANEL® Water-Resistive Barrier	0,05	300	60	1400	0,2
Aquapanel Outdoor	1,25	1150	66	1000	0,35
Acciaio inossidabile, austenitico	0,1	7900	-	500	17,0
TOTALE	32,70				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,147 W/m^{2}K	81,5 kg/m^2	0,045 W/m^{2}K	9 h 55’	0,31

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

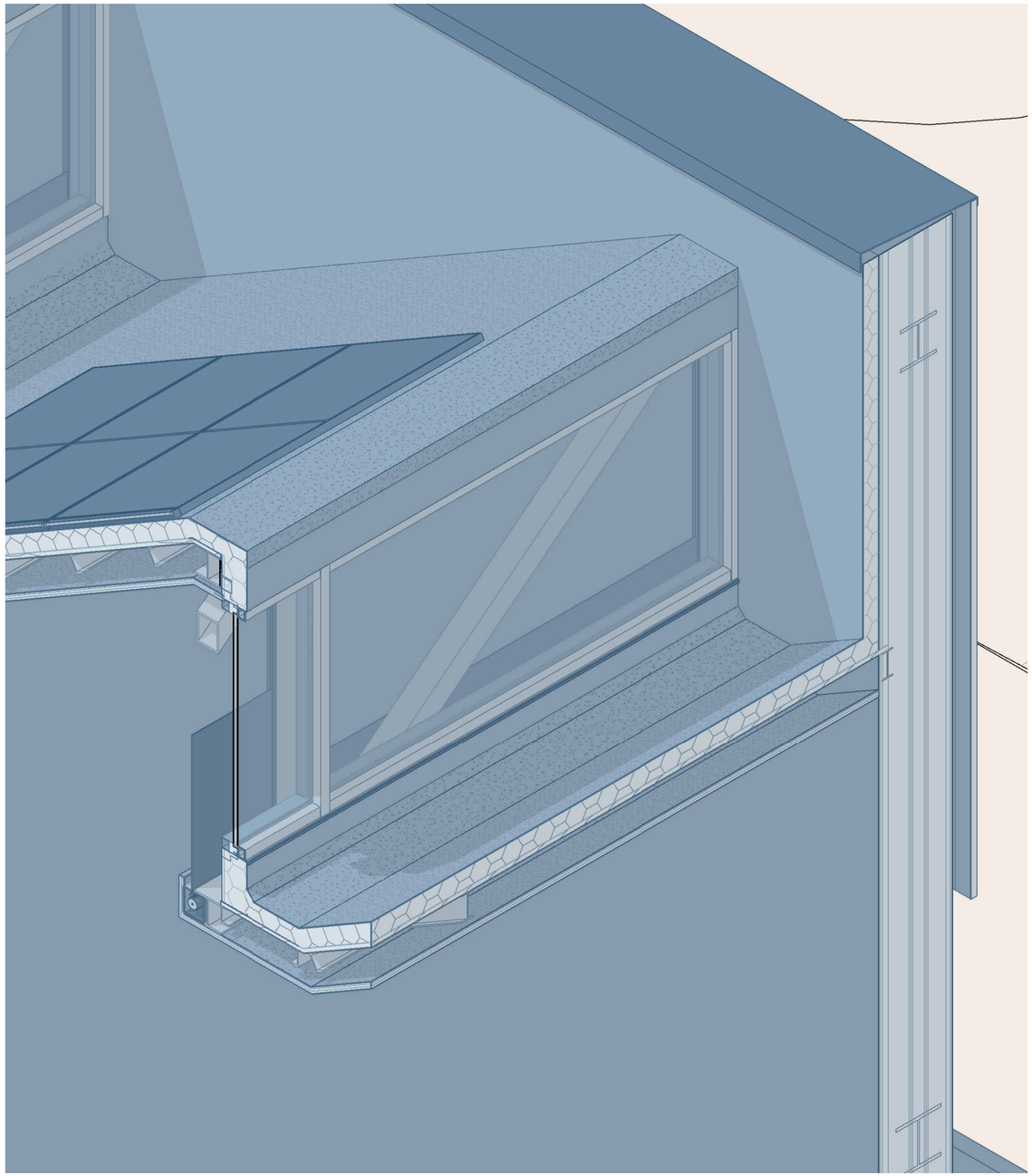
C4 - CHIUSURA VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica
Tapiflex Excellence 19dB	0,325	1.000	20.000	1.500	0,0810
Sottofondo di cemento magro	10,00	1.600	20	880	0,7000
Index - FLEXTER TESTUDO SP. PO	0,40	1.000	20.000	1.300	0,2000
SOLCONFORT - ECO ESPANSO F - K200	6,00	30	40	1.450	0,0330
ISOLCONFORT - ECO ESPANSO F - K200	8,00	30	40	1.450	0,0330
C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	5,00	2.400	96	1.000	2,1500
Intercapedine fortemente ventilata	40,00	-	-	-	-
Sottofondo di cemento maggro	10,00	1.600	-	880	0,7000
TOTALE	32,70				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,147 W/m^{2}K	83,0 kg/m^2	0,045 W/m^{2}K	9 h 55’	0,31

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓



P3 - CHIUSURA VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Knauf Insulation - NaturBoard FORTE	8,0 + 2,0*	100	1	1030	0,035
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Barriera al vapore Riwega DS 188 ALU	0,03	567	666667	1800	0,4
Knauf Insulation - NaturBoard WALLS	12,0 + 3,0*	110	1	1030	0,035
AQUAPANEL® Water-Resistive Barrier	0,05	300	60	1400	0,2
Aquapanel Outdoor	1,25	1150	66	1000	0,35
Acciaio inossidabile, austenitico	0,1	7900	-	500	17,0
TOTALE	32,70				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,147 W/m^{2}K	81,5 kg/m^2	0,045 W/m^{2}K	9 h 55’	0,31

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

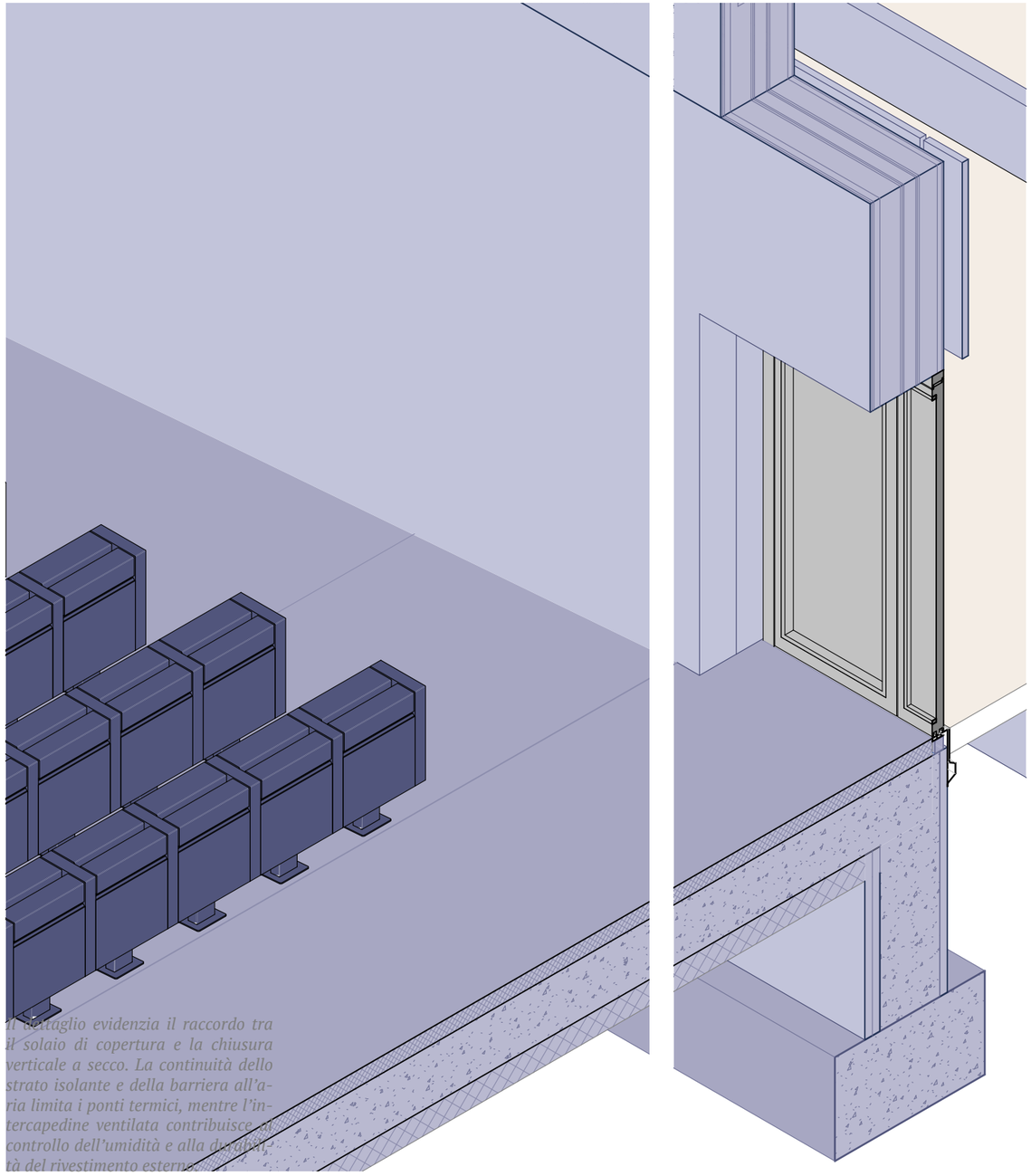
C2 - SOLAIO COPERTURA TEATRO

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
ELEVATE - Membrana UltraPly™ TPO	0,20	1.020	200.000	1.500	0,210
Geotex2000 - GEO RPES AG 300	0,10	100	1	100	0,045
Unilin - UTHERM Sarking K	10,00	30	100	3.000	0,022
EGGER- OSB4 TOP	2,50	620	200	1.550	0,130
Camera non ventilata	17,00	1	1	1.004	1,046
Knauf - SSmartRoof ULTRA	4,00	130	1	1.030	0,036
Knauf - Lastra Diamant	1,30	1.040	10	1.000	0,250
Leghe di alluminio	0,10	2.800	2.000.000	879	160,000
Knauf - Lastra Vidiwall	1,30	1.180	21	1.000	0,300
TOTALE	42,90				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,123 W/m^{2}K	69,0 kg/m^2	0,023W/m^{2}K	8 h 39’	0,19

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓



Il dettaglio evidenzia il raccordo tra il solaio di copertura e la chiusura verticale a secco. La continuità dello strato isolante e della barriera all'aria limita i ponti termici, mentre l'intercapedine ventilata contribuisce al controllo dell'umidità e alla durabilità del rivestimento esterno.

P3 - CHIUSURA VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Knauf Insulation - NaturBoard SILENCE	4	70	1	1030	0,034
Intercapedine non ventilata Av<500 mm^2/m	11,17	—	—	—	0,6206
Barriera al vapore Riwega DS 188 ALU	0,03	567	666667	1800	0,4
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Intercapedine non ventilata Av<500 mm^2/m	1,5	—	—	—	0,0882
Knauf Insulation - NaturBoard FORTE	12	100	1	1030	0,035
Intercapedine non ventilata Av<500 mm^2/m	1,5	—	—	—	0,0882
Lastra Diamant	1,25	1040	10	1000	0,25
Knauf Insulation - NaturBoard WALLS	12	110	1	1030	0,035
Intercapedine non ventilata Av<500 mm^2/m	3	—	—	—	0,1667
AQUAPANEL® Water-Resistive Barrier ...	0,05	300	60	1400	0,2
Aquapanel Outdoor	1,25	1150	66	1000	0,35
TOTALE	51,50				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,109 W/m^{2}K	95,5 kg/m^2	0,013 W/m^{2}K	14 h 29’	0,58

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

SX - SOLAIO CONTROTERRA TEATRO

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica
Tarkiflex Excellence 19dB	0,325	1000	20000	1500	0,081
Sottofondo di cemento magro	5	1600	20	880	0,7
C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	25	2400	96	1000	2,15
Index - FLEXTER TESTUDO SP. FO	0,4	1000	20000	1300	0,2
Vetro cellulare espanso	15	150	9999999	1000	0,06
Impermeabilizzazione con bitume	0,1	1200	188000	1000	0,17
TOTALE	45,80				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,155 W/m^{2}K	711,0 kg/m^2	0,019W/m^{2}K	12 h 27’	0,58

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

PROGETTAZIONE IMPIANTI

La norma UNI EN 16798-1 definisce i requisiti per i parametri dell'ambiente interno (qualità dell'aria, comfort termico, illuminazione e acustica) da utilizzare per la progettazione e la valutazione energetica degli edifici.

La UNI EN 12831 è il riferimento tecnico europeo e italiano per il calcolo del carico termico di progetto e delle dispersioni in regime stazionario degli edifici, utile a dimensionare correttamente gli impianti di riscaldamento.

La UNI/TS 11300 costituisce il riferimento ufficiale italiano per il calcolo delle prestazioni energetiche

La progettazione degli impianti termo-aeraulici al servizio del complesso scolastico è stata guidata dalla necessità di coniugare il massimo comfort ambientale, la qualità dell'aria indoor e il contenimento dei consumi energetici, operando su un complesso edilizio che comprende la riqualificazione della manica storica e dalla realizzazione di un nuovo volume di ampliamento.
Per l'intero comparto aule del complesso scolastico, sia la manica storica soggetta a riqualificazione energetica, che il nuovo volume di ampliamento, la scelta impiantistica è stata orientata su una soluzione ad alta efficienza e a ridotto impatto ambientale, capace di soddisfare le diverse esigenze termoigrometriche degli spazi didattici sia nella stagione invernale che in quella estiva.
Il sistema impiantistico si basa su una configurazione centralizzata alimentata a sola energia elettrica, in cui la generazione per il riscaldamento, il raffrescamento e la produzione di acqua calda sanitaria è affidata a una pompa di calore idronica (aria-acqua), integrata poi ad un impianto fotovoltaico dedicato.
Per garantire la salubrità degli ambienti didattici, la qualità dell'aria interna (IAQ) e il controllo continuo dei livelli di CO_2 secondo le prescrizioni della norma UNI EN 16798-1, il servizio di ventilazione è gestito in modo separato tramite impianti di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) centralizzati dotati di recuperatore di calore.
Dall'analisi delle dispersioni termiche, condotta in conformità alla UNI EN 12831 per il calcolo del carico termico di progetto, emerge come, a causa dell'elevato affollamento tipico degli spazi scolastici e dai tassi di ricambio d'aria richiesti dalla normativa, la quota di calore dispersa per ventilazione rappresenti la componente prevalente del bilancio termico per entrambe le maniche, superando quelle che sono le dispersioni per trasmissione dell'involucro edilizio (contenute nell'ampliamento grazie alle elevate prestazioni dell'involucro di nuova concezione).
L'adozione del recupero di calore ad alta efficienza sulla VMC si è quindi rivelata una scelta strategica imprescindibile per contenere la domanda energetica complessiva dell'intero polo scolastico, evitando inutili dispersioni termiche.
I risultati della simulazione energetica, sviluppata applicando le procedure di calcolo delle norme della serie UNI/TS 11300 (con particolare riferimento alla UNI/TS 11300-4 per la modellazione delle pompe di calore) e il quadro generale della UNI EN ISO 52000-1, evidenziano l'elevata efficienza globale del sistema.
Nel regime invernale, le prestazioni delle pompe di calore permettono di coprire l'intero fabbisogno delle aule con rendimenti stagionali di generazione e di sistema elevati, traducendosi in un peso contenuto della quota di energia primaria non rinnovabile.
Nel funzionamento estivo, il sistema assicura un efficace abbattimento dei carichi sensibili e latenti, rientrando pienamente nei parametri di comfort stabiliti dalle metodologie della UNI EN ISO 52016-1.
Analizzando il bilancio energetico globale del comparto aule, i consumi legati al riscaldamento e al condizionamento estivo costituiscono le quote principali del fabbisogno, mentre la domanda per l'acqua calda sanitaria risulta residuale, come atteso per la destinazione d'uso scolastica. Grazie alla completa elettrificazione dei servizi e alla quota di produzione da fonte solare fotovoltaica, circa la metà del fabbisogno energetico totale delle aule viene coperta da energia rinnovabile, riducendo le emissioni di CO_2 in atmosfera e garantendo il pieno rispetto dei requisiti prestazionali sia per l'edificio riqualificato sia per la nuova costruzione.

La norma UNI EN ISO 52016-1 rappresenta lo standard tecnico per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, focalizzandosi nello specifico sulla determinazione dei fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento.

Pompa di calore

Zona termica	Manica Riqualificata
Impiego	Manica Nuova Riscaldamento, Raffrescamento,ACS
Tipo di generatore	Pompa di calore
Fonte energetica	Energia Elettrica
Potenza termica nominale	188,60 kW
Sorgente unità esterna	Aria
Temperatura bulbo secco aria esterna (Riscaldamento)	7,0 °C
Sorgente unità interna	Acqua
Temperatura acqua in uscita dal condensatore (Riscaldamento)	35 °C
Potenza frigorifera nominale	187,50 kW
Sorgente unità esterna	Aria
Temperatura bulbo secco aria esterna (Raffrescamento)	35 °C
Sorgente unità interna	Acqua
Temperatura acqua in uscita dal condensatore (Raffrescamento)	7,0 °C
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile), fp,ren	0.470 -
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile), fp,nren	1,950 -
Fattore di conversione in energia primaria, fp	2,420 -
Fattore di emissione di CO2	

Per ambienti, quali la palestra e il teatro, si è optato invece per una soluzione impiantistica a tutt'aria con generatore a pompa di calore aria-aria. Questo poiché, tali spazi presentano caratteristiche termo-fisiche e d'uso differenti rispetto al comparto aule: grandi volumetrie, altezze utili elevate e, soprattutto, un affollamento discontinuo con carichi termici e igrometrici che variano in modo rapido e imprevedibile rispetto alle aule.
L'impianto a pompa di calore aria-aria centralizzato, asservito da Unità di Trattamento Aria (UTA) dedicate, risponde alla necessità di garantire un'elevata reattività del sistema, consentendo di portare i locali a regime termico in tempi brevi solo durante i periodi di effettivo utilizzo,

evitando inutili consumi nei periodi di inattività. L'aria esterna di rinnovo viene immessa negli ambienti previa filtrazione, preriscaldamento o preraffrescamento, garantendo il controllo preciso della temperatura, dell'umidità relativa e il mantenimento della concentrazione di CO_2 per garantire la salubrità degli ambienti e la qualità dell'aria interna.
Dal punto di vista dell'efficienza energetica globale, l'impianto aria-aria eliminando la parte idronica, riduce le perdite di trasmissione e aumenta il rendimento di generazione stagionale. Inoltre, la possibilità di variare la portata d'aria in funzione dell'effettivo affollamento (tramite sonde di qualità dell'aria e ventilatori inverter) consente di minimizzare i consumi ausiliari e di ottimizzare l'integrazione con la quota energetica prodotta dall'impianto fotovoltaico, garantendo un'elevata sostenibilità ambientale anche per le grandi volumetrie della scuola.

Pompa di calore

Zona termica	Palestra, Teatro
Impiego	Riscaldamento, Raffrescamento
Tipo di generatore	Pompa di calore
Fonte energetica	Energia Elettrica
Potenza termica nominale	103 kW
Sorgente unità esterna	Aria
Temperatura bulbo secco aria esterna (Riscaldamento)	7,0 °C
Sorgente unità interna	Aria
Temperatura acqua in uscita dal condensatore (Riscaldamento)	20 °C
Potenza frigorifera nominale	187,50 kW
Sorgente unità esterna	Aria
Temperatura bulbo secco aria esterna (Raffrescamento)	31 °C
Sorgente unità interna	Acqua
Temperatura acqua in uscita dal condensatore (Raffrescamento)	19 °C
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile), fp,ren	0.470 -
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile), fp,nren	1,950 -
Fattore di conversione in energia primaria, fp	2,420 -
Fattore di emissione di CO2	0,4600 kgCO2/kWh

CALCOLI ENERGETICI

Attraverso l'uso del software Edilclima, è stata condotta l'analisi dei fabbisogni energetici e degli impianti dell'edificio. Lo studio ha permesso di calcolare i carichi termici estivi ed invernali, oltre ai consumi per illuminazione e ventilazione.
Sono stati inoltre valutati i sistemi di generazione per il riscaldamento e il raffrescamento, integrando l'apporto dell'impianto fotovoltaico.
L'insieme di tali elaborazioni ha consentito la determinazione dei fabbisogni di energia primaria e la conseguente attribuzione della classe energetica.

Dati Geometrici

Zona termica	Superficie netta (m^2)	Volume netto (m^3)
Manica Riqualificata	7202.19	21606.50
Palestra	1851	12174.60
Nuova Manica	7202.19	21606.50
Teatro	1019.88	5496.60

Dati Climatici Invernali

Temperatura esterna di progetto	- 8,0 °C
Stagione di riscaldamento convenzionale	15 Ottobre - 15 Aprile
Giorni di riscaldamento	183 giorni

Dati Climatici Estivi

Temperatura esterna di bulbo asciutto	31,0 °C
Temperatura esterna di bulbo umido	22,7 °C
Umidità relativa	50,0 %
Escursione termica giornaliera	11,0 °C
Stagione di riscaldamento convenzionale	1 Gennaio - 31 Dicembre
Giorni di raffrescamento	365 Giorni

DISPERSIONE, APPORTI E FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE

Mese	QH,tr	QH,r	QH,ve	QH,ht	QSOL,w	Qint	Qgn	QH,nd
Ottobre	6223	831	30730	37784	2238	11754	13992	24873
Novembre	17497	1468	78495	97460	3419	20742	24161	74215
Dicembre	24301	1762	106919	132983	2500	21434	23933	109544
Gennaio	26184	1917	115522	143623	3089	21434	24523	119559
Febbraio	20619	1792	93797	116208	3552	19359	22912	93863
Marzo	14550	1892	71894	88336	4943	21434	26376	63365
Aprile	4712	1086	26501	32298	3213	10371	13585	20018

L'analisi delle dispersione, degli apporti e del fabbisogno termico invernale evidenzia come la principale causa di perdita di calore sia la ventilazione, che supera di molto le dispersioni per trasmissione dell'involucro, questo dimostra il buon isolamento delle componenti dell'involucro edilizio e che il flusso critico di calore è legato quasi esclusivamente ai ricambi d'aria.
Le dispersioni seguono l'andamento delle temperature esterne, toccando il picco nei mesi più freddi di dicembre e gennaio.
Questo impatto viene mitigato dai carichi interni che forniscono un apporto scaldante continuo riducendo il fabbisogno energetico ideale, mentre l'apporto solare gioca un ruolo secondario.

DISPERSIONE, APPORTI E FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE ESTIVA

Mese	QC,tr	QC,r	QC,ve	QC,ht	QSOL,w	Qint	Qgn	QC,nd
Aprile	3378	1084	26472	30934	2437	7391	9828	1
Maggio	5500	2301	43629	51429	6752	19309	26061	47
Giugno	1222	2594	23192	27008	7378	20742	28120	3886
Luglio	- 1145	3040	14748	16642	7057	21434	28491	11992
Agosto	983	2202	20892	24078	6394	21434	27828	5352
Settembre	6840	1950	41031	49821	5218	20742	25960	69
Ottobre	3316	738	22943	26997	1357	6687	8044	0

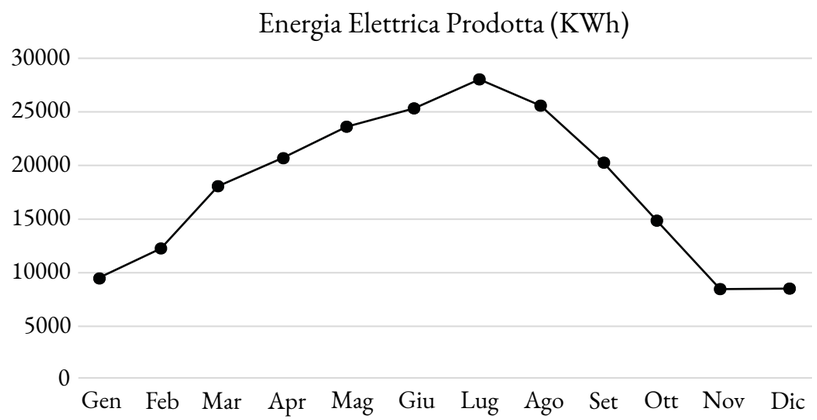
PANNELLI SOLARI FOTOVOLTAICI

Nel progetto, al fine di pensare ad una riduzione dei consumi energetici e all'ottimizzazione del profilo ambientale dell'edificio, il progetto integra un impianto solare fotovoltaico centralizzato costituito da 250 moduli. L'impianto è in grado di generare su base annua 214.891 kWh.

Questa produzione consente di soddisfare il 50,6% del fabbisogno elettrico complessivo dell'immobile pari a 312.980 kWh/anno. Il contributo dell'impianto fotovoltaico risulta quindi determinante per il contenimento dell'energia primaria non rinnovabile e per l'ottenimento di un'elevata classe di prestazione energetica dell'edificio.

DATI DEL SINGOLO MODULO:

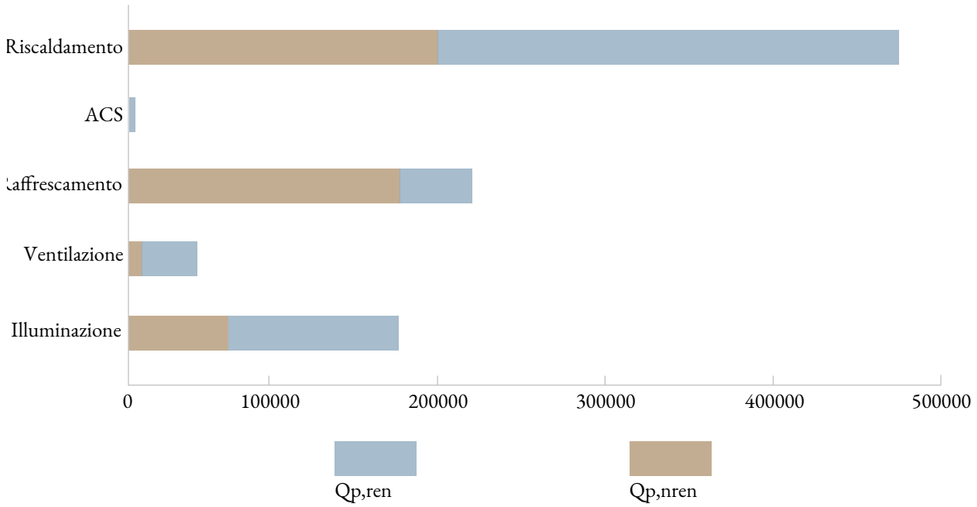
Modulo utilizzato	3D SUN/B60 LE
Tipologia	Monocristallino
Dimensioni	2172 x 1303 x 35 mm
Potenza di picco,	610 Wp
Superficie utile Apv	2.66 m^2
Fattore di efficienza	0.75
Efficienza nominale	0.24
Numero di moduli	250
Potenza di picco totale	192.00 KWp
Superficie utile totale	798 m^2
Energia elettrica da produzione fotovoltaica	214891 kWh/anno
Fabbisogno elettrico totale dell'impianto	312980 kWh/anno
Percentuale di copertura del fabbisogno annuo	50.6 %
Energia elettrica da rete	154578 kWh/anno
Energia elettrica prodotta e non consumata	56489 kWh/anno



FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA MANICA VECCHIA

Servizio	Qp,nren	Qp,ren	Qp,tot
Riscaldamento	200456	274543	474999
ACS	655	3506	4161
Raffrescamento	178107	42928	221035
Ventilazione	24392	32834	57226
Illuminazione	75924	101052	176976
Totale	479534	454863	934397

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA MANICA VECCHIA kWh



Dal grafico emerge chiaramente come il riscaldamento sia la voce di consumo principale dell'edificio, seguita da raffrescamento e illuminazione, mentre ventilazione e acqua calda sanitaria hanno un impatto marginale.
L'aspetto più rilevante è l' equilibrio energetico globale: pur con un peso significativo del raffrescamento sulla quota non rinnovabile, infatti, quasi la metà dell'intero fabbisogno dell'edificio viene coperta da fonti rinnovabili.
Nel comlesso, quasi la metà dell'intero fabbisogno primario viene soddisfatta grazie all'impiego di fonti rinnovabili.

DISPERSIONE, APPORTI E FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE PALESTRA

Mese	QH,tr	QH,r	QH,ve	QH,ht	QSOL,w	Qint	Qgn	QH,nd
Ottobre	3936	810	2308	7054	1483	3775	5259	2359
Novembre	12613	1444	6407	20464	1861	6663	8523	12107
Dicembre	18384	1734	9103	29222	1794	6885	8679	20596
Gennaio	19989	1886	9931	31806	2180	6885	9065	22789
Febbraio	15409	1763	7955	25127	2780	6218	8998	16233
Marzo	9918	1862	5734	17514	3514	6885	10398	7717
Aprile	2788	1065	1977	5830	2066	3331	5398	1385

Per la palestra le dispersioni per trasmissione attraverso le pareti e le ampie superfici trasparenti superano quelle per ventilazione, diventando la causa principale di perdita di calore. I carichi interni generati dagli occupanti forniscono un ottimo apporto gratuito che copre una quota rilevante del fabbisogno, aiutando ad affievolire le uscite termiche, soprattutto nei mesi più rigidi di dicembre e gennaio. La priorità d'intervento invernale risiede nel miglioramento delle prestazioni dell'involucro edilizio come avvenuto in fase progettuale.

DISPERSIONE, APPORTI E FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE ESTIVA PALESTRA

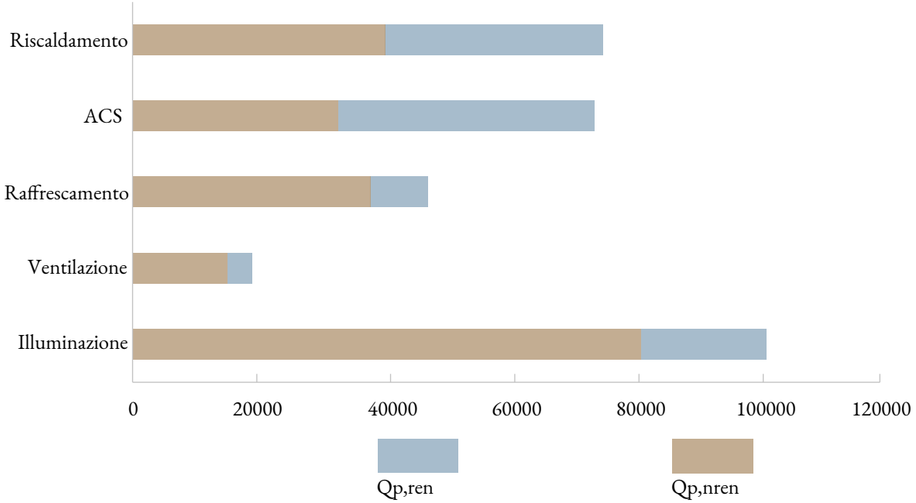
Mese	QC,tr	QC,r	QC,ve	QC,ht	QSOL,w	Qint	Qgn	QC,nd
Febbraio	485	51	187	723	64	151	215	0
Marzo	13210	1417	5815	20442	2602	5182	7784	2
Aprile	11814	2267	6922	21003	4133	6663	10796	26
Maggio	4000	2358	3547	9905	5319	6885	12203	2772
Giugno	- 1584	2552	1087	2055	5747	6663	12409	10354
Luglio	- 3710	2991	236	- 482	5942	6885	12826	13309
Agosto	- 1816	2167	828	1178	4752	6885	11637	10458
Settembre	3354	1919	2803	8076	3643	6663	10306	2528
Ottobre	10589	1483	5028	17101	2267	5750	8016	9
Novembre	4136	389	1570	6095	426	1512	1937	0

Per quanto riguarda il bilancio estivo, il surriscaldamento è guidato principalmente dai carichi interni e dagli apporti solari. Nei mesi più caldi le dispersioni per trasmissione diventano negative, quindi l'aria esterna rientra nell'edificio e scalda le pareti anziché raffreddarle. La priorità assoluta consiste nel mitigare l'irraggiamento solare con schermature adeguate e nello sfruttamento della ventilazione meccanica.

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA PALESTRA

Servizio	Qp,nren	Qp,ren	Qp,tot
Riscaldamento	39167	34470	73637
ACS	31842	40635	72477
Raffrescamento	37051	8930	45981
Ventilazione	15055	3629	18684
Illuminazione	81467	19636	101103
Totale	204582	107300	311882

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA PALESTRA kWh



Nel caso della palestra la distribuzione dei consumi cambia: la voce dominante diventa l'illuminazione, seguita da un peso molto consistente dell'acqua calda sanitaria e del riscaldamento.
Questo profilo di distribuzione dei consumi è in linea ad una destinazione d'uso come la palestra, dove l'elevato utilizzo degli spogliatoi spinge in alto i consumi idrosanitari.
Inoltre La scelta di un impianto a pompa di calore aria-aria garantisce un'ottima quota rinnovabile su riscaldamento e acqua calda sfruttando l'aria esterna, dall'altro aumenta il carico elettrico della struttura, questo spiega perché la quota non rinnovabile sia così marcata sulle altre voci.

DISPERSIONE, APPORTI E FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE MANICA NUOVA

Mese	QH,tr	QH,r	QH,ve	QH,ht	QSOL,w	Qint	Qgn	QH,nd
Ottobre	5849	831	20430	27109	2331	4525	6856	20619
Novembre	16064	1470	52186	69720	2774	7985	10758	59203
Dicembre	22215	1765	71083	95064	2444	8251	10695	84503
Gennaio	23946	1920	76803	102669	3028	8251	11279	91524
Febbraio	18999	1794	62359	83153	3837	7453	11290	72063
Marzo	13720	1895	47797	63412	5214	8251	13466	50476
Aprile	4628	1087	17618	23333	3240	3992	7233	16638

Anche nel caso dell'ampliamento, le dispersioni per ventilazione sono maggiori rispetto a quelle per trasmissione. I carichi interni sono meno incidenti, garantendo un apporto gratuito limitato e lasciando all'impianto di riscaldamento l'onere di coprire la quasi totalità del fabbisogno termico, con il picco di sforzo concentrato a dicembre e gennaio. L'efficientamento risiede nell'adozione di un recuperatore di calore a elevata efficienza sulla ventilazione meccanica, unico sistema in grado di ridurre drasticamente la quota di calore persa per il ricambio d'aria.

DISPERSIONE, APPORTI E FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE ESTIVA MANICA NUOVA

Mese	QC,tr	QC,r	QC,ve	QC,ht	QSOL,w	Qint	Qgn	QC,nd
Aprile	6712	1273	22964	30948	3178	3992	7171	0
Maggio	7667	2368	30439	40473	9084	8251	17335	25
Giugno	1943	2563	14360	18866	10442	7985	18427	2105
Luglio	- 50	3003	9132	12085	10622	8251	18873	6982
Agosto	1726	2176	12936	16839	8067	8251	16319	1811
Settembre	6654	1927	25406	33987	5676	7985	13661	13
Ottobre	5341	799	17340	23479	1611	3194	4805	0

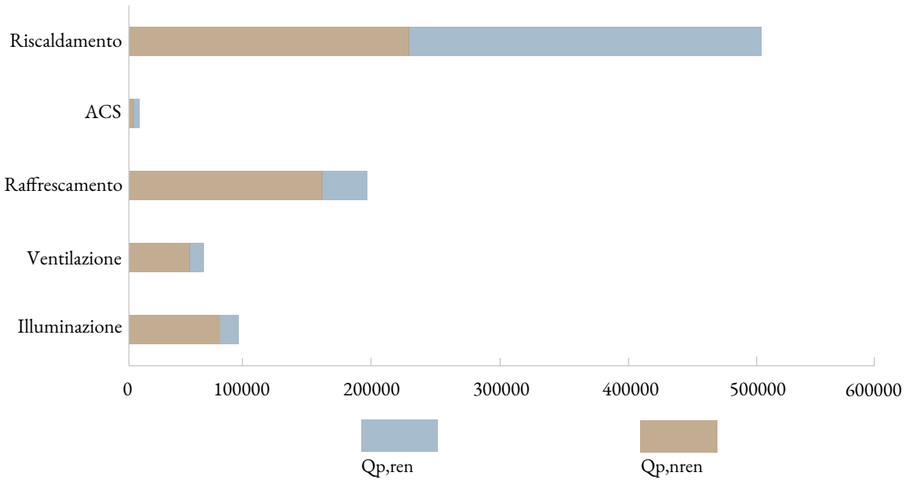
Nella stagione estiva la ventilazione, gioca invece un ruolo positivo aiutando a smaltire il calore accumulato. La vera causa del carico estivo è infatti l'effetto combinato tra gli apporti solari attraverso le superfici vetrate e i carichi interni (persone e illuminazione).

Per questa zona, le strategie chiave per abbattere i consumi estivi sono la schermatura delle vetrate per contenere l'irraggiamento e l'uso della ventilazione notturna per raffrescare gratuitamente la struttura.

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA MANICA NUOVA

Servizio	Qp,nren	Qp,ren	Qp,tot
Riscaldamento	221366	287281	508646
ACS	551	1054	1605
Raffrescamento	157279	37908	195187
Ventilazione	50892	12266	63159
Illuminazione	77356	18645	96000
Totale	507444	357154	864597

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA MANICA NUOVA kWh



Anche in questo caso il riscaldamento risulta essere la principale fonte di consumo dell'edificio, coperto per più della metà da energia da fonti rinnovabili, grazie anche all'integrazione di tecnologie da fonte rinnovabile (in questo caso pompe di calore). Tuttavia l'assenza di un impianto fotovoltaico fa si che tutti i servizi a prevalente alimentazione elettrica come raffrescamento, illuminazione e ventilazione sono sbilanciati sulla quota non rinnovabili

DISPERSIONE, APPORTI E FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE TEATRO (KWH)

Mese	QH,tr	QH,r	QH,ve	QH,ht	QSOL,w	Qint	Qgn	QH,nd
Ottobre	1262	88	11201	12552	140	3329	3469	9372
Novembre	3452	157	28613	32222	173	5875	6047	26461
Dicembre	4760	188	38974	43922	189	6070	6260	37857
Gennaio	5136	205	42110	47451	224	6070	6295	41331
Febbraio	4084	192	34191	38466	299	5483	5782	32880
Marzo	2972	202	26207	29381	352	6070	6422	23341
Aprile	1023	116	9660	10799	193	2937	3130	7948

Le dispersioni per ventilazione rappresentano quasi la totalità delle perdite. Questo comportamento è dato dall'ipotetico elevato affollamento in determinate giornate che richiede enormi portate d'aria di rinnovo. Inoltre, la totale assenza di apporti solari significativi lascia ai soli carichi interni il compito di mitigare parzialmente il fabbisogno termico. In ottica di efficientamento, la priorità è l'installazione di un recuperatore di calore ad altissima efficienza sulla VMC per non disperdere l'imponente mole di energia termica legata ai ricambi d'aria.

DISPERSIONE, APPORTI E FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE ESTIVA TEATRO (KWH)

Mese	QC,tr	QC,r	QC,ve	QC,ht	QSOL,w	Qint	Qgn	QC,nd
Maggio	825	152	8527	9505	255	3329	3584	1
Giugno	570	277	8454	9301	480	5875	6354	90
Luglio	133	325	5376	5833	517	6070	6587	1117
Agosto	474	236	7616	8325	426	6070	6497	206
Settembre	647	112	6622	7381	172	2937	3109	1

Nel stagione estiva, il fabbisogno di raffrescamento risulta particolarmente contenuto grazie al ruolo chiave della ventilazione, che agisce efficacemente come sistema di smaltimento del calore in eccesso.

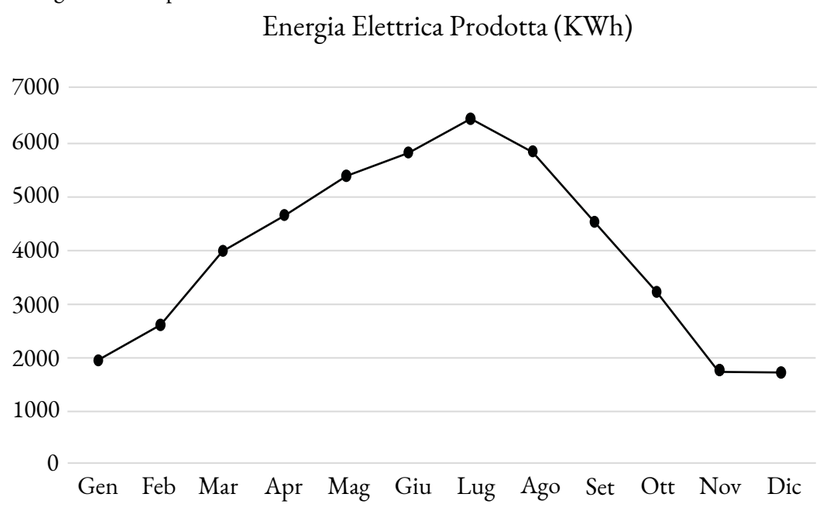
A fronte di carichi interni elevati, l'ingente portata d'aria di rinnovo permette di dissipare gran parte dell'energia termica accumulata, mitigando il ricorso attivo all'impianto di climatizzazione estiva.

PANNELLI SOLARI FOTOVOLTAICI

Per l'abbattimento dei consumi energetici e la copertura del fabbisogno da fonti rinnovabili, il progetto prevede l'installazione di ulteriori 68 moduli sul teatro. In base alle simulazioni di calcolo, l'impianto produrrà 48.714 kWh/anno Questa produzione garantisce la copertura del 44,5% del fabbisogno elettrico complessivo dell'edificio Con soli 88 kWh/anno di energia prodotta e non autoconsumata, la producibilità risulta quasi interamente assorbita dalle utenze dell'edificio, massimizzando l'efficienza dell'autoconsumo sul posto.

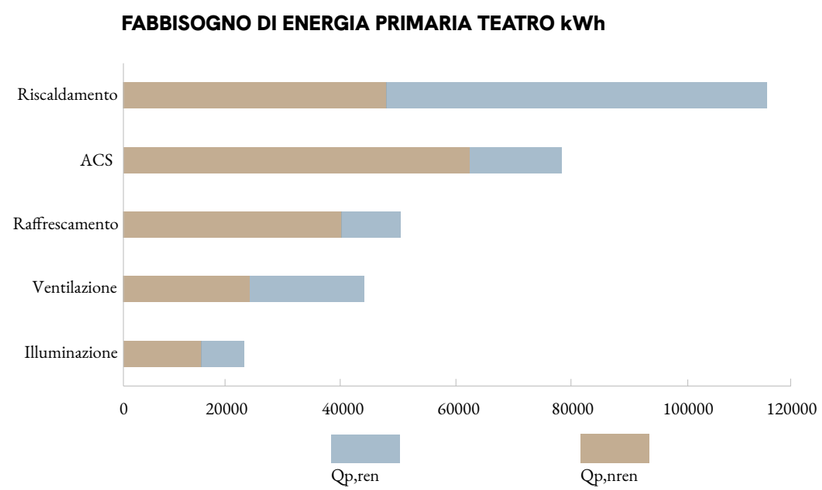
DATI DEL SINGOLO MODULO:

Modulo utilizzato	3D SUN/B60 LE
Tipologia	Monocristallino
Dimensioni	2172 x 1303 x 35 mm
Potenza di picco,	610 Wp
Superficie utile Apv	2.66 m^2
Fattore di efficienza	0.75
Efficienza nominale	0.24
Numero di moduli	68
Potenza di picco totale	43.52 KWp
Superficie utile totale	180.88 m^2
Energia elettrica da produzione fotovoltaica	48714 kWh/anno
Fabbisogno elettrico totale dell'impianto	109394 kWh/anno
Percentuale di copertura del fabbisogno annuo	44.5 %
Energia elettrica da rete	60767 kWh/anno
Energia elettrica prodotta e non consumata	88 kWh/anno



FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA TEATRO

Servizio	Qp,nren	Qp,ren	Qp,tot
Riscaldamento	67292	61874	129166
ACS	63058	15199	78257
Raffrescamento	40054	9654	49708
Ventilazione	51300	12365	63665
Illuminazione	31668	7633	39301
Totale	253372	106725	360097



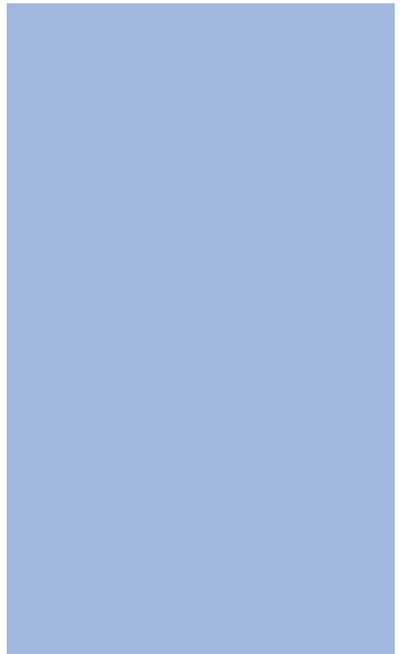
Anche nel caso del teatro, il riscaldamento si conferma il servizio prevalente coperto in maggioranza da fonte rinnovabile grazie all'efficienza dell'impianto aria-aria. Contemporaneamente, la presenza del fotovoltaico permette di tagliare la quota non rinnovabile e integrare energia pulita anche sui carichi elettrici di ventilazione e illuminazione.
Il servizio di ACS, continua a gravare per lo più sulla quota non rinnovabile, poichè beneficia di boiler elettrici dedicati.

COMPUTO METRICO ESTIMATIVO DEL PROGETTO.

La stima dei costi dell'intervento di ristrutturazione e ampliamento del complesso scolastico è stata redatta mediante la stesura del Computo Metrico Estimativo (CME). L'obiettivo dell'elaborato è definire in modo analitico il costo complessivo delle opere necessarie alla realizzazione del progetto.

Avendo il progetto una doppia natura che vede la coesistenza di interventi di recupero sul patrimonio edilizio esistente e la realizzazione di nuove volumetrie, il computo è stato articolato in macroaree funzionali ben distinte, formata da tre comparti principali:

- Ristrutturazione dell'Edificio Scolastico Esistente: Opere volte al consolidamento strutturale, all'efficientamento energetico (involucro e serramenti, sostituzione dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento) e alla ridistribuzione interna degli spazi didattici preesistenti.



- Riqualificazione della Palestra: Lavori rivolti all'efficientamento energetico ((involucro e serramenti, sostituzione dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento involucro e), ripristino delle finiture, sostituzione della pavimentazione sportiva.
- Nuova Ampliamento (Nuova Corpo Aule + Teatro): Intervento di nuova costruzione per la realizzazione del nuovo corpo aule e del volume dedicato al teatro, comprensivo di opere di scavo, strutture in elevazione, involucro e serramenti ad alte prestazioni e finiture acustiche specifiche per la sala teatrale.

Metodologia Estimativa e Prezziari di Riferimento

Le quantità di ogni singola lavorazione sono state ricavate direttamente dai modelli grafici di progetto e da modelli BIM (Building Information Modeling). A ciascuna voce è stato applicato il relativo prezzo unitario desunto dal Prezziario Regionale delle Opere Pubbliche della Regione Piemonte edizione 2025 e, integrativamente, ove possibile dal listino ufficiale DEI (Tipografia del Genio Civile edizione 2026). Nella costruzione del listino di progetto, la definizione dei prezzi unitari ha seguito criteri ben specifici in base alla tipologia di voce:

- Redazione prezzo Ove previsto dai prezziari di riferimento (Piemonte e DEI), le voci sono state computate al prezzo unitario comprensivo sia del materiale sia della manodopera per la posa in opera. Nei casi in cui la voce completa non fosse disponibile, si è proceduto al computo della fornitura del materiale reso a piè d'opera accoppiandolo alla specifica lavorazione.
- Qualificazione Prestazionale e Quadro Normativo: Le descrizioni integrano puntualmente i quadri normativi per il controllo qualità e la tracciabilità dei materiali. Per i conglomerati cementizi sono esplicitate le classi di resistenza (es. C25/30), le classi di consistenza al getto (es. S4/S5) e le classi di esposizione ambientale (es. XC1 per le sovrastrutture in elevazione e XC2 per le opere di fondazione a contatto con il terreno, ai sensi della norma UNI EN 206). Per gli acciai viene sancita la piena rispondenza alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018 - NTC) e alla norma UNI EN 10080.
- Redazione dei Nuovi Prezzi (N.P.): Qualora la voce di un materiale, una lavorazione o un componente ad elevate prestazioni non sono state trovate nei relativi prezziari di riferimento, si è proceduto alla stesura di un'apposita voce di Nuovo Prezzo, tramite la fornitura del materiale a piè d'opera, e l'aggiunta delle spese generali dello stesso (+16% sul Costo Diretto) e dell'Utile d'Impresa (+10%).
- Per la quantificazione precisa della manodopera non presente a listino, si è fatto ricorso ai tempari ufficiali delle lavorazioni edili, ricavando in modo oggettivo le rese ed i tempi di esecuzione (espressi in ore/uomo per unità di misura) e moltiplicandoli per il costo orario della manodopera desunto dalle tabelle del CCNL (Contratto Collettivo Nazionale del Lavoro) di categoria. Andando a redigere una nuova categoria di prezzo segnalata dalla sigla NP.
- Integrazione dei Criteri Ambientali Minimi (CAM): In un'ottica di sostenibilità ambientale e in conformità con il quadro normativo vigente in materia di appalti pubblici, ove possibile, sono stati prediletti materiali dotati di certificazione CAM. Ciò ha comportato la selezione di componenti con un'elevata percentuale di materia prima riciclata e riciclabile (come l'acciaio per le armature strutturali e i materiali isolanti per la coibentazione termica e acustica), garantendo il soddisfacimento dei requisiti ecologici lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio (Life Cycle Assessment - LCA).

Il processo estimativo condotto non si è limitato a una mera quantificazione contabile, ma ha rappresentato un fondamentale strumento di validazione e guida dell'intero impianto progettuale. La suddivisione in macroaree funzionali ha permesso di bilanciare le risorse economiche tra il recupero del patrimonio preesistente e l'inserimento di nuove volumetrie ad elevate prestazioni.

Sotto il profilo della pianificazione finanziaria, si è scelta un'impostazione cautelativa e prudenziale: La somma degli importi delle singole categorie ha permesso di determinare l'Importo Totale dei Lavori, all'interno del Quadro Economico non sono stati computati scomputi fiscali o contributi statali a fondo perduto (come il meccanismo del Conto Termico GSE 3.0 o altre agevolazioni), data la variabilità e la mancata certezza sulla proroga di tali quadri normativi. Ciononostante, è ragionevole attendersi che l'accesso a tali canali di finanziamento possa portare ad un abbattimento dell'investimento finale.

In ultimo, si noti come la valenza dell'intervento superi la sola dimensione scolastica: l'integrazione del nuovo teatro, la riqualificazione della palestra e dello spazio verde prefigurano una reale rigenerazione urbana, trasformando l'opera in un centro aperto alla cittadinanza anche in orario extra-scolastico. La rigorosa pianificazione economica così strutturata non si limita quindi a garantire il controllo della spesa pubblica, ma legittima l'efficacia dell'investimento nel tempo, assicurando un elevato ritorno sociale sul territorio.