OLTRE L'INVOLUCRO.



Ripensare il patrimonio scolastico attraverso
strategie integrate di riqualificazione

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	INTRODUZIONE			1
1	UNA RISORSA DA RIPENSARE	1.1	Dalla norma alla pratica	3
		1.2	Conoscere le scuole	6
2	NUOVI STUDENTI, VECCHI SPAZI	2.1	Classi a misura di aula?	15
		2.2	Gli studenti di domani	18
3	UNA TRASFORMAZIONE ANCORA INCOMPIUTA	3.1	Il cantiere delle riforme	23
		3.2	I finanziamenti europei	30
		3.3	L'opportunità del PNRR	32
		3.4	Luci e ombre del PNRR	34
		3.5	Oltre la tecnica	38
4	CASI STUDIO: SELEZIONE E ANALISI COMPARATIVA	4.1	Premessa metodologica	43
		4.2	I casi studio	47
		4.3	Lettura critica degli interventi	56
5	METODO DI VALUTAZIONE E VERIFICA DEGLI SCENARI	5.1	Dai casi studio alla metodologia di analisi	61
		5.2	Le tre fasi di analisi: quadro normativo e criteri di confronto	62
		5.3	Verifiche illuminotecniche	63
		5.4	Verifiche acustiche	67
		5.5	Verifiche termoigrometriche	74
6	CASO STUDIO: IL LICEO "C. CATTANEO"	6.1	Contesto, storia, organizzazione	81
		6.2	Il corpo aule	90
		6.3	La palestra	100
		6.4	Verifiche prestazionali	116
7	IL LICEO "C. CATTANEO" DOPO IL 2022	7.1	Obiettivo	155
		7.2	Analisi dell'intervento	158
		7.3	Verifiche prestazionali	163
		7.4	Analisi critica dell'intervento	194

8 LICEO CARLO CATTANEO: IL PROGETTO

8.1 Obiettivi del progetto 201
8.2 Ascoltare la scuola 206
8.3 Gli step progettuali 208
8.4 L'organizzazione funzionale 218
8.5 Scelte costruttive e materiche 248
8.6 Verifiche prestazionali 252
8.7 Calcolo fabbisogno del progetto 296
8.8 Computo metrico estimativo 328

9 VALUTAZIONE COMPARATIVA DELLE TRE CONFIGURAZIONI

9.1 Confronto prestazionale delle tre configurazioni 333
9.2 Metodologia e criteri di confronto 333
9.3 Confronto delle prestazioni illuminotecniche 335
9.4 Confronto delle prestazioni acustiche 340
9.5 Confronto delle prestazioni energetiche 344
9.6 Considerazioni sul confronto 348

10 CONCLUSIONI

10.1 Un futuro per la scuola esistente 351

BIBLIOGRAFIA 354

FONTI DOCUMENTALI 355

NORMATIVA, NORME TECNICHE E RIFERIMENTI SCIENTIFICI 356

SITOGRAFIA 360

RINGRAZIAMENTI 363

INTRODUZIONE

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. In questa prospettiva, il lavoro di tesi approfondisce il caso studio del Liceo Carlo Cattaneo, 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.



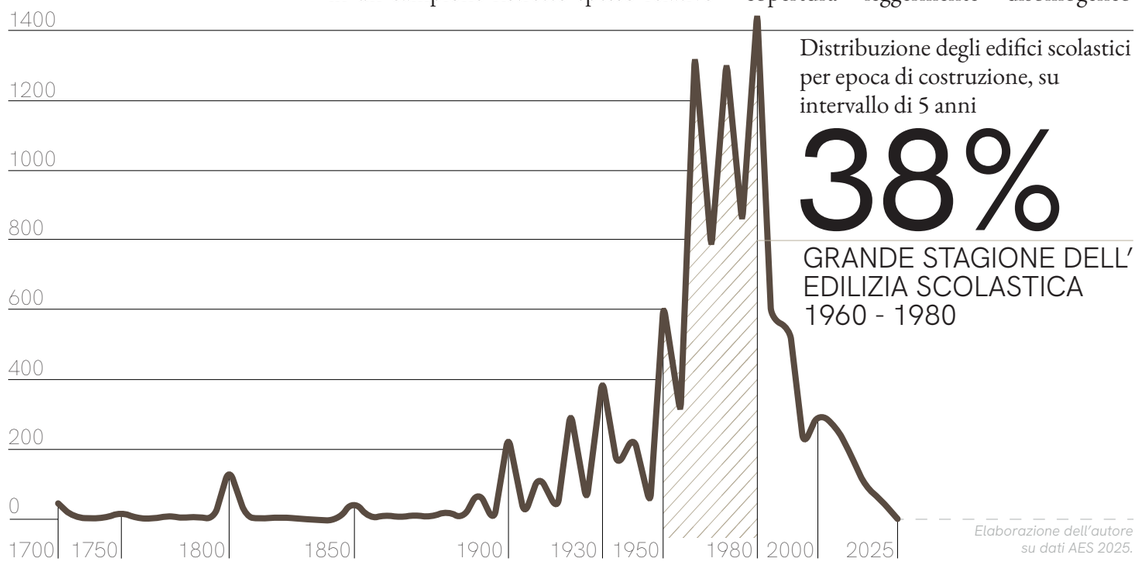
1.2 CONOSCERE LE SCUOLE

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 4. Istituto tecnico industriale "Amedeo Avogadro" a Torino, fondato nel 1805 e considerato tra i più antichi istituti tecnici d'Italia. L'attuale edificio in C.so San Maurizio risale al 1905.

[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.

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%).

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



Foto 4. Nel 2014, la scuola primaria di Via Palermo a Milano ha realizzato una rampa per permettere a due bambini in sedia a rotelle di accedere all'edificio.

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].

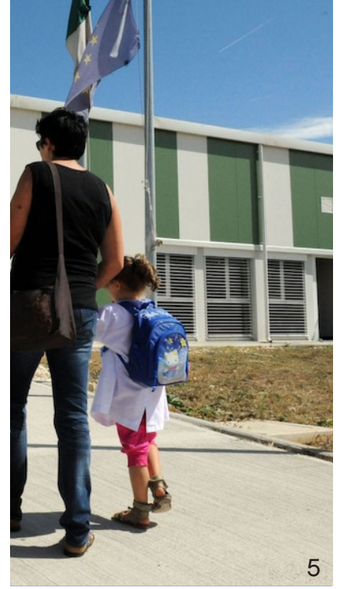


Foto 5. I bambini del nido "1° Maggio" dell'Aquila frequentavano ancora un MUSP nel 2022, 13 anni dopo il terremoto del 2009.

[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.

Foto 6. Protesta di bambini e genitori contro il trasferimento della scuola Vivaio di Milano in una nuova sede, ritenuta non adeguata alle esigenze degli studenti con disabilità.



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].

[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.

Foto 7. Studenti del Liceo Scientifico Molinar a Milano in sciopero nel gennaio 2025, per un guasto al riscaldamento.



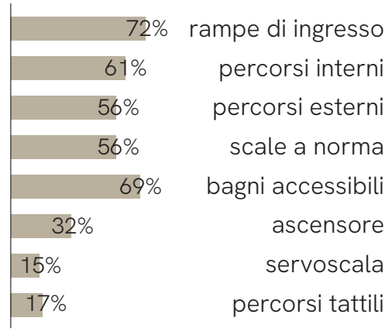
COMFORT AMBIENTALE. La qualità degli spazi scolastici si valuta anche dall'equilibrio tra temperatura e silenzio all'interno delle aule, elementi determinanti sul benessere e sulla concentrazione degli studenti e dei docenti e quindi l'esperienza didattica.
Tale condizione è strettamente legata alla 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:

QUADRO DEL PATRIMONIO SCOLASTICO

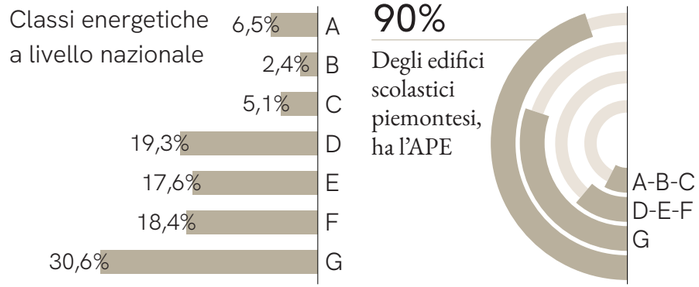
Scuole poco accessibili

331.124
studenti con disabilità

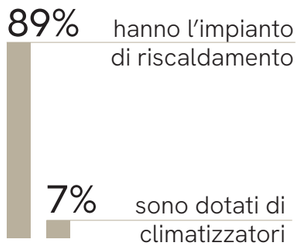
4,6%
degli edifici ha tutti gli accorgimenti per il superamento delle barriere architettoniche



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.

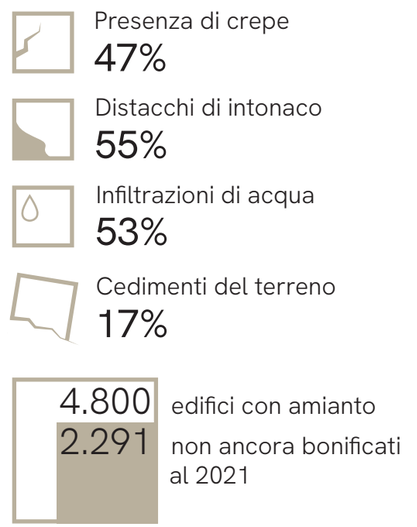
Il 43% delle scuole ha sostituito i vecchi infissi negli ultimi anni.

Sicure solo sulla carta



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

Luoghi salubri per metà



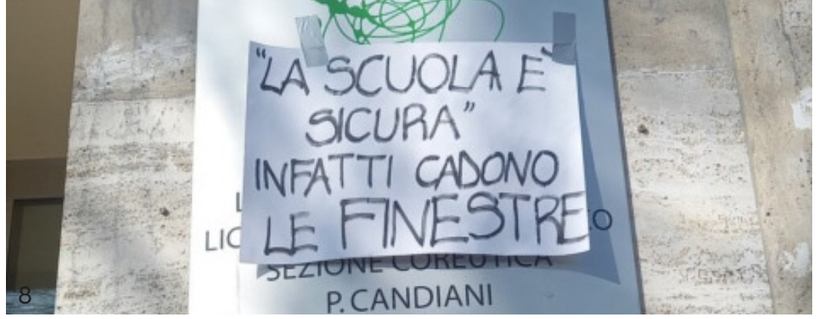


Foto 8. Protesta degli studenti del Liceo Artistico Candiani di Busto Arsizio contro le infiltrazioni d'acqua e l'insicurezza generale della scuola.

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 demografia, 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.



Foto 9. Protesta degli studenti dell'ITI "Cartesio" a Cinisiello Balsamo nel febbraio 2024, per le condizioni di decadenza della scuola.

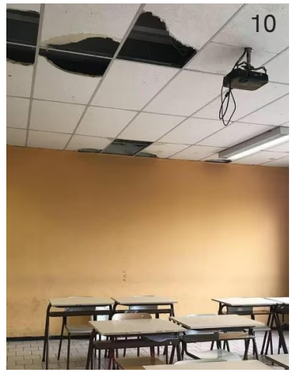


Foto 10. Gravi infiltrazioni d'acqua nell'ITSOS Albe Steiner di Milano, documentate dagli studenti nel 2019.

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.



Foto 1. Lezione nel "modulo mobile" temporaneo del Liceo Carducci di Ferrara, realizzati per creare nuove aule a fronte dell'aumento delle iscrizioni.

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-

Foto 2. Lezione in piazza del Liceo "Carlo Colonna" a Roma, per protestare contro la carenza di aule adeguate alle attività.



[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.



Foto 3. Durante la pandemia, al Liceo Virgilio di Milano, la palestra venne utilizzata come ambiente per le lezioni, sostituendo temporaneamente una normale aula.

[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%

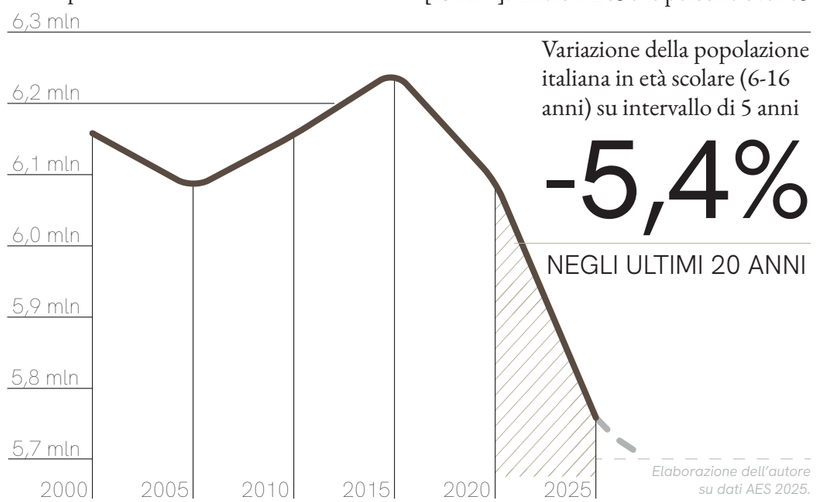
Spazi amministrativi
308.369 mq
4,9%

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*, 2021, 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.

Foto 4. Striscioni contro il rischio di chiusura delle sezioni nelle scuole dell'infanzia a Somma Lombardo.



[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*, 2021, 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/).



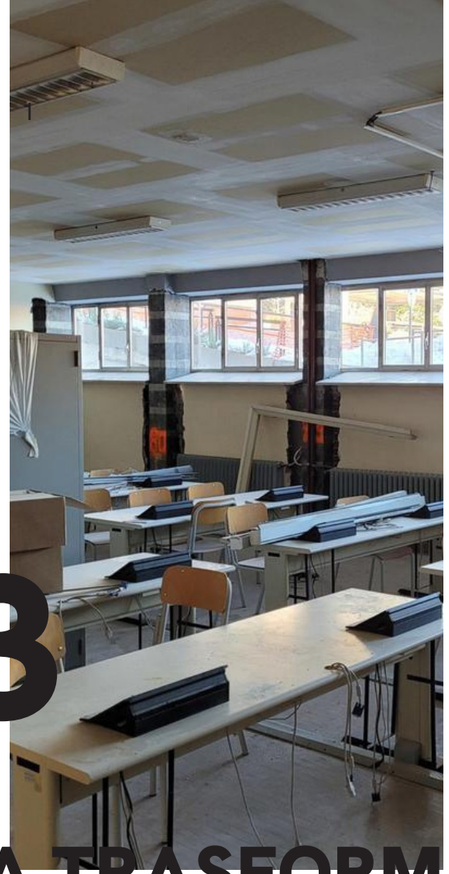
5

Foto 5. Nel 2024, nella scuola primaria "Ciarletta" di Villetta Barrea (AQ) erano rimasti soltanto 10 alunni: è sta perciò chiusa, e i bambini sono trasferiti nella scuola di un paese limitrofo.

Foto 6. La vecchia scuola primaria di Piazza Matteotti a Pioltello, dismessa in vista della realizzazione di un nuovo edificio scolastico e in stato di abbandono.



6



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,



Foto 2. Studenti dell'Istituto "Gandhi" di Narni (TR) nel 2024, in visita al cantiere del nuovo asilo nido comunale realizzato con fondi PNRR.

Foto 1. Aula inagibile a causa dell'interruzione dei lavori di adeguamento strutturale presso l'IIS "Cavazzi" di Pavullo (MO), nel 2023.

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.

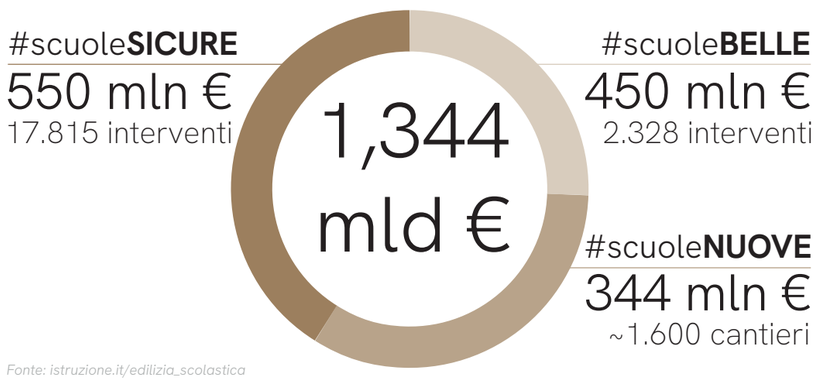
I PRIMI STRUMENTI. Fino alla metà degli anni 2010 gli interventi di edilizia scolastica si sono sviluppati attraverso una pluralità di programmi e fonti di finanziamento spesso attivati in risposta a specifiche esigenze territoriali o situazioni emergenziali. Pur consentendo la realizzazione degli interventi 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] 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.

Piano #ItaliaSICURA per l'edilizia scolastica



Fonte: istruzione.it/edilizia_scolastica



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

[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

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

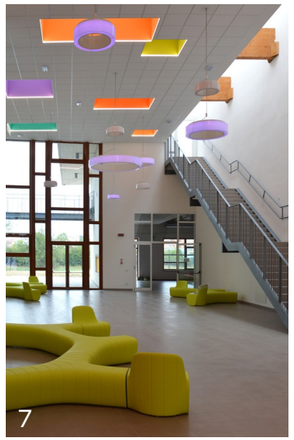


Foto 7. Scuola secondaria di I grado "P. Mattarella" di Modena, 2016, Arteas Progetti. Tra i casi studio del volume "Architetture Educative" pubblicato da INDIRE nel 2022.

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.



Foto 8. Aula "Eraclito" dell'Istituto Comprensivo 9 di Bologna, esempio di ambiente di apprendimento innovativo e digitale citato tra i casi studio del volume "Architetture Educative" pubblicato da INDIRE nel 2022.

[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.

9



Foto 9. La Scuola primaria "A. Sabin" in C.so Vercelli a Torino, oggetto di intervento nell'ambito del PON Metro.

[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/

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

10



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

Foto 10. 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.

[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].



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].

[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.

[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

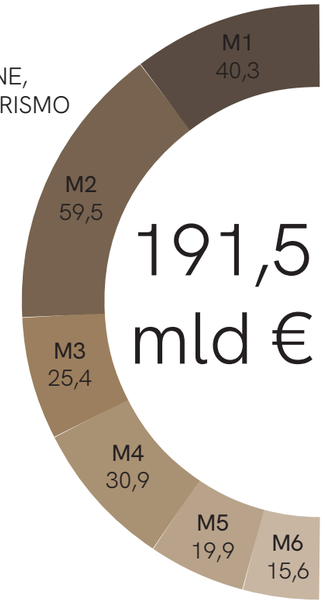
M2 RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA

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

Foto 11 (pagina precedente). Il cantiere del Liceo "Carlo Alberti" di Novara nel 2025, finanziato dal PNRR.

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].


12

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.

Foto 12. La scuola secondaria "Dante Alighieri" di Città di Castello (PG), demolita nell'ambito del progetto di ricostruzione finanziato dal PNRR, al 2025 è ancora in attesa di essere ricostruita a causa dei ritardi accumulati dal cantiere.

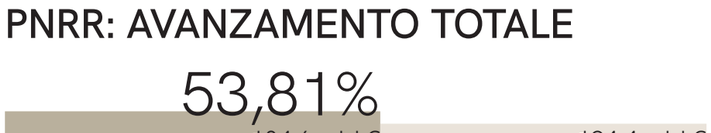
Questa continuità risulta particolarmente rilevante alla luce dei dati relativi all'attuazione del Piano, che permettono di valutare più concretamente la capacità del PNRR di tradurre le risorse stanziate negli obiettivi effettivamente realizzati, consultabili liberamente sulla piattaforma OpenPNRR. 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%.

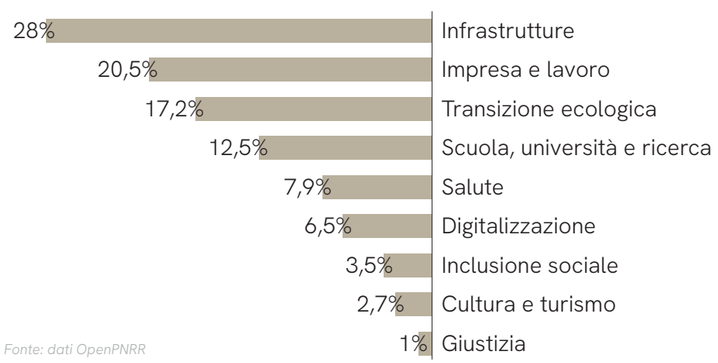
Per le 6 misure dell'ambito dell'Istruzione sono stati spesi 17 miliardi di euro, pari al 59,6% dei 28,5 previsti; le strutture scolastiche sono l'ambito in cui sono state destinate maggiori risorse: 12,1 miliardi di euro, ovvero il 41,8% del totale per l'istruzione[28]. Per la costruzione di nuove scuole 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] Secomandi R., Zanardi A., Gavosto A., ***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].

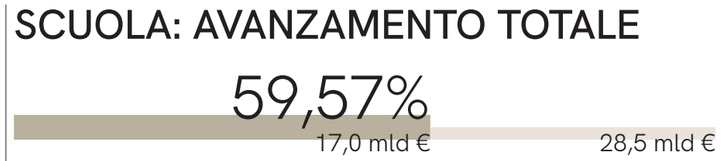
Oltre allo stato effettivo della spesa, è tuttavia necessario considerare anche l'evoluzione degli obiettivi inizialmente previsti dal Piano. Le modifiche approvate a novembre 2025 hanno interessato anche alcune delle misure dedicate all'edilizia scolastica, determinando una rimodulazione dei target 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.

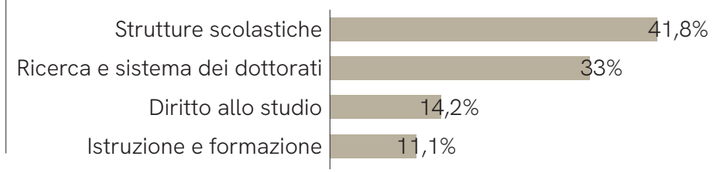
Se da un lato il PNRR ha permesso di mobilitare risorse ingenti e di accelerare gli investimenti, dall'altro la revisione dei suoi obiettivi evidenzia come, nel corso della sua attuazione, alcune delle ambizioni iniziali siano state progressivamente ridimensionate o rimodulate sulla base delle risorse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

[32] Secomandi R., Zanardi A., Gavosto A., ***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

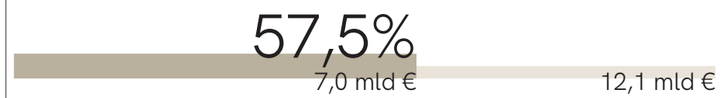
SCUOLA: AVANZAMENTO TOTALE



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


13

Foto 13. Banchi del Liceo classico "Maurolico" di Messina, disposti a distanza dalle pareti danneggiate dalle infiltrazioni per evitare l'avvicinamento degli studenti.

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.

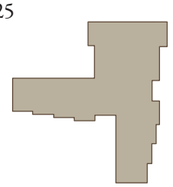
FONTE DI FINANZIAMENTO. Gli interventi analizzati sono stati realizzati prevalentemente grazie a finanziamenti pubblici, tra cui il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), REACT-EU e il Programma Operativo Nazionale (PON). Il confronto tra le diverse fonti di finanziamento consente di leggere 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

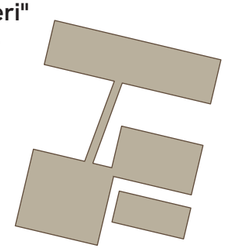
Scuola secondaria di I grado "Ignazio Vian"
Via Ettore Stampini, 25



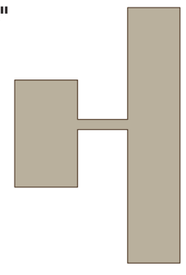
Scuola primaria "Emilio Salgari"
Via Lussimpiccolo, 36a



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 "Svizzera", dal nome della scuola "Alessandro Manzoni" in Corso Svizzera, e si ripete nella città in altri tre 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



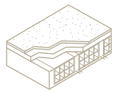
PRIMA DELL'INTERVENTO

LO STATO DI FATTO

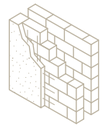
CARATTERISTICHE STRUTTURALI



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 sei 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



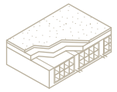
PRIMA DELL'INTERVENTO

LO STATO DI FATTO

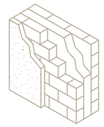
CARATTERISTICHE STRUTTURALI



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



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.



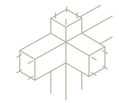
STATO ATTUALE



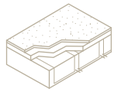
PRIMA DELL'INTERVENTO

LO STATO DI FATTO

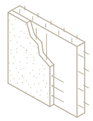
CARATTERISTICHE STRUTTURALI



Struttura
Telaio in calcestruzzo armato a travi e pilastri

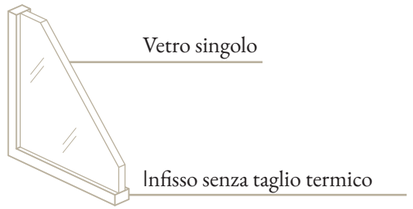


Partizioni orizzontali
Solai prefabbricato tipo predalles e copertura a falde con struttura reticolare e lamiera



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



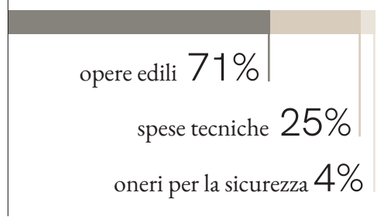
Adeguamento antincendio
Installazione di illuminazione d'emergenza e impianto di rivelazione incendi

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 corpo aule + palestra	Assente	D → B	Limitata: 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 intero volume	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.*	Assente: 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 solo corpo aule	Sostituzione radiatori e aerotermi Corpi illuminanti già sostituiti in precedente intervento	E → B	Puntuale: 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 solo corpo aule	Integrazione dei corpi illuminanti Nuovi cablaggi Adeguamento linee elettriche	C → A1	Assente: 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.

4.3 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.

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 ambiLa 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'esposizione alla luce solare e dell'abbagliamento. Tali aspetti costituiscono le principali dimensioni di valutazione considerate dalla UNI EN 17037:2022[1].

Le verifiche vengono sviluppate sulle tre configurazioni considerate nella tesi, tenendo conto del differente quadro normativo e temporale di riferimento.

Per l'intervento della Città Metropolitana viene assunto il quadro dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) di cui al D.M. 11 ottobre 2017[2], 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%, facendo salve le prescrizioni più restrittive previste per specifiche tipologie edilizie. Per gli ambienti ad uso didattico, il D.M. 18 dicembre 1975[3] individua un fattore medio di luce diurna pari a 0,03. Ai fini delle verifiche sulle aule viene pertanto adottato come riferimento prestazionale un valore di FLD_m pari o superiore al 3%.

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[4], in relazione alle modalità di valutazione dell'illuminazione naturale definite dalla UNI EN 17037:2022[1]. La valutazione viene pertanto estesa oltre il solo fattore medio di luce diurna, considerando la disponibilità di luce naturale e

[1] UNI, UNI EN 17037:2022 – Luce diurna negli edifici, Ente Italiano di Normazione, Milano, 2022

[2] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, D.M. 11 ottobre 2017 – *Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale n. 259 del 6 novembre 2017*

[3] Ministero per i Lavori Pubblici, di concerto con il Ministero per la Pubblica Istruzione, D.M. 18 dicembre 1975 – *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica*

[4] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, D.M. 24 novembre 2025 – *Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e affidamento di lavori per interventi edilizi*

la sua distribuzione spaziale e temporale, nonché gli ulteriori aspetti del comfort visivo contemplati dalla norma, quali la vista verso l'esterno, l'esposizione alla luce solare e il controllo dell'abbagliamento[1].

Accanto ai parametri direttamente riconducibili ai riferimenti normativi e tecnici vengono utilizzati alcuni indicatori dinamici integrativi, tra cui l'Annual Sunlight Exposure (ASE)[5]e l'Useful Daylight Illuminance (UDI)[6]. L'ASE consente di valutare l'incidenza annuale di condizioni caratterizzate da un'eccessiva presenza di luce solare diretta sul piano di lavoro, mentre l'UDI esprime la frequenza con cui i livelli di illuminamento naturale ricadono all'interno di un intervallo ritenuto utile per lo svolgimento delle attività[5-6]. Tali metriche permettono quindi di approfondire il comportamento annuale degli ambienti e di integrare la lettura statica fornita dal fattore medio di luce diurna.

[5] ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY (IES), LM-83-12 - *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), New York, 2012*

[6] NABIL, A.; MARDALJEVIC, J., *"Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings"*, Lighting Research & Technology, vol. 37, n. 1, pp. 41–57, 2005

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[3]. 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 superiore al 2%, facendo salve le prescrizioni previste per specifiche tipologie edilizie[2]. Per gli ambienti ad uso didattico, il D.M. 18 dicembre 1975 stabilisce un valore del fattore medio di luce diurna pari a 0,03[3]. Ai fini del confronto tra le configurazioni analizzate viene pertanto adottato, quale riferimento prestazionale 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[1] 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 definisce differenti livelli prestazionali attraverso due soglie: 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 prestazionali 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 adottato il livello minimo quale criterio di riferimento. Tale distinzione costituisce una scelta metodologica della presente analisi e non deriva da una diversa prescrizione della UNI EN 17037:2022[1] 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, permettendo di individuare eventuali porzioni della superficie di riferimento caratterizzate da livelli insufficienti di illuminamento. Il FLD_m viene mantenuto come indicatore comune alle tre configurazioni, al fine di consentire un confronto diretto tra gli scenari analizzati, mentre la valutazione dinamica secondo la UNI EN 17037:2022[1] viene utilizzata per approfondire le prestazioni illuminotecniche in termini di disponibilità e distribuzione temporale della luce naturale.

VIEW OUT ANALYSIS - VISTA VERSO L'ESTERNO. La UNI EN 17037:2022[1] considera la vista verso l'esterno una componente autonoma della qualità dell'ambiente visivo, distinta dalla disponibilità di luce naturale. La verifica non riguarda infatti la quantità di luce che penetra nell'ambiente, ma la possibilità per gli occupanti di mantenere un'adeguata relazione visiva con il contesto esterno attraverso le superfici finestrate. La norma include esplicitamente tra i propri obiettivi la possibilità di garantire un'adeguata vista verso l'esterno. La qualità della vista viene valutata attraverso tre aspetti principali: l'ampiezza della porzione di ambiente esterno visibile, espressa mediante l'angolo orizzontale di visuale; la distanza della vista verso gli elementi esterni osservabili; e il numero di livelli del campo visivo percepibili, riconducibili al cielo, al paesaggio e al terreno[1].

La presenza di una superficie finestrata di grandi dimensioni non garantisce pertanto, da sola, una buona qualità della vista verso l'esterno. La prestazione dipende anche dalla posizione e dalla geometria delle aperture, dalla posizione dell'osservatore e dalla presenza di eventuali ostacoli esterni, che possono ridurre l'ampiezza e la profondità del 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 un'effettiva relazione visiva con il contesto esterno.

DAYLIGHT GLARE PROBABILITY (DGP). La Il Daylight Glare Probability (DGP) è un indice sviluppato da Wienold e Christoffersen nel 2006[7] per la valutazione dell'abbagliamento da luce naturale. La metrica esprime la probabilità che una determinata condizione luminosa provochi una percezione di abbagliamento disturbante da parte dell'occupante ed è determinata considerando l'illuminamento verticale all'occhio, la luminanza delle sorgenti di abbagliamento, la loro dimensione apparente e la relativa posizione all'interno del campo visivo[7].

L'abbagliamento da luce naturale può verificarsi in presenza di sorgenti o

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

[6] Wienold, J.; Christoffersen, J., *Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras*, Energy and Buildings, vol. 38, n. 7, pp. 743–757, 2006

superfici caratterizzate da luminanze elevate o da forti contrasti rispetto al campo visivo circostante. Negli ambienti scolastici tale fenomeno assume particolare rilevanza in relazione allo svolgimento di attività visive quali lettura, scrittura e utilizzo di dispositivi digitali.

La UNI EN 17037:2022[1] considera la protezione dall'abbagliamento uno degli aspetti fondamentali della valutazione della luce naturale negli ambienti occupati e adotta il DGP quale indicatore per gli spazi nei quali vengono svolte attività assimilabili alla lettura, alla scrittura o all'utilizzo di dispositivi con schermo[1].

Ai fini della valutazione, la norma individua tre livelli prestazionali di protezione dall'abbagliamento, definiti attraverso un valore limite di DGP che non deve essere superato per più del 5% del tempo di utilizzo dello spazio[1]:

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 le soglie di riferimento vengono superate. Ai fini del confronto tra le configurazioni analizzate viene assunto, in via cautelativa, il livello prestazionale elevato, corrispondente a:

$$DGP < 0{,}35$$

per almeno il 95% del tempo di utilizzo equivalentemente, il valore di DGP = 0,35 può essere superato per non più del *5%* del tempo di utilizzo considerato[1].

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

ANNUAL SUNLIGHT EXPOSURE (ASE). L'Annual Sunlight Exposure (ASE) è una metrica dinamica utilizzata per valutare l'eccessiva esposizione degli ambienti alla luce solare diretta nel corso dell'anno[5]. L'indicatore esprime la percentuale della superficie di riferimento che riceve un illuminamento dovuto alla componente solare diretta superiore a una determinata soglia 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 prodotto dalla luce solare diretta supera 1000 lx per più di 250 ore all'anno[5].

Valori elevati di ASE indicano pertanto una maggiore estensione delle superfici soggette a condizioni prolungate di illuminamento solare diretto e possono evidenziare la necessità di un maggiore controllo dell'apporto solare mediante adeguati sistemi di schermatura.

Nel presente studio l'ASE viene utilizzato come indicatore prestazionale integrativo, al fine di confrontare il comportamento delle diverse configurazioni analizzate e di valutare l'efficacia dei sistemi di protezione solare. La metrica non viene assunta come autonomo requisito normativo, ma come strumento di approfondimento del comportamento dinamico degli ambienti.

USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE (UDI). L'Useful Daylight Illuminance (UDI) è una metrica dinamica introdotta da Nabil e Mardaljevic[6] per descrivere la frequenza con cui, nel corso dell'anno, i livelli di illuminamento naturale rilevati in un punto o su una superficie di riferimento ricadono all'interno di un intervallo considerato utile per lo svolgimento delle attività visive. A differenza del fattore medio di luce diurna, la UDI si basa pertanto su una serie temporale di valori assoluti di illuminamento e consente di descrivere la variabilità delle condizioni luminose nel corso dell'anno.

Nella formulazione originaria della metrica, l'intervallo di illuminamento considerato utile è compreso tra 100 e 2000 lx[6]. Nella presente analisi viene invece adottato, quale scelta metodologica coerente con l'impostazione delle simulazioni, l'intervallo 100–3000 lx, distinguendo tre condizioni:

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 utilizzata come indicatore comparativo della distribuzione temporale della luce naturale, consentendo di individuare sia i periodi e le porzioni dell'ambiente nei quali l'apporto naturale risulta insufficiente, sia le condizioni caratterizzate da livelli di illuminamento particolarmente elevati. L'indicatore non viene assunto come requisito normativo autonomo, ma come metrica integrativa finalizzata ad approfondire il comportamento annuale degli ambienti e a confrontare le diverse configurazioni analizzate.

5.4 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. I due aspetti, pur essendo strettamente correlati, descrivono fenomeni differenti: i requisiti acustici passivi riguardano prevalentemente la capacità delle partizioni, dell'involucro e degli impianti di limitare la trasmissione del rumore, mentre il comfort acustico interno dipende dalle caratteristiche del campo sonoro all'interno dell'ambiente e dalla possibilità di garantire adeguate condizioni per la comunicazione verbale.

Negli edifici scolastici tale distinzione assume particolare rilevanza. Il rumore proveniente dall'esterno, dai corridoi, dagli ambienti adiacenti o dai piani sovrapposti può interferire con la concentrazione e con lo svolgimento delle attività didattiche; allo stesso tempo, un ambiente caratterizzato da un'ecces-

siva riverberazione può compromettere l'intelligibilità del parlato anche in presenza di un adeguato isolamento acustico rispetto alle sorgenti esterne.

Il riferimento legislativo generale per i requisiti acustici passivi degli edifici è costituito dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8], che definisce i requisiti degli edifici e dei loro componenti in opera ai fini della riduzione dell'esposizione al rumore.

Per l'intervento della Città Metropolitana viene inoltre assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 11 ottobre 2017[2], vigente nel periodo considerato. Il criterio 2.3.5.6 relativo al comfort acustico richiedeva, per gli edifici scolastici, il raggiungimento del livello di "prestazione superiore" previsto dalla UNI 11367[9] per i requisiti acustici passivi, nonché il rispetto dei valori di riferimento relativi all'acustica interna definiti dalla UNI 11532[10]. Tra i descrittori indicati per la qualità acustica interna rientravano almeno il tempo di riverberazione e lo Speech Transmission Index (STI).

Per la proposta progettuale viene invece assunto il quadro normativo vigente, costituito dai CAM di cui al D.M. 24 novembre 2025[4]. Il criterio 2.3.10, relativo alle prestazioni e al benessere acustico, mantiene il riferimento ai requisiti acustici passivi definiti dalla UNI 11367 e, per gli edifici scolastici, richiede almeno il rispetto dei valori di riferimento relativi ai requisiti acustici passivi e al comfort acustico interno indicati dalla UNI 11532-2:2020[11].

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 descrive la prestazione acustica della facciata nel suo complesso e dipende dal comportamento congiunto delle componenti opache, dei serramenti, dei giunti e degli eventuali elementi caratterizzati da prestazioni inferiori.

Per gli edifici destinati ad attività scolastiche, classificati in categoria E, il D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8] stabilisce il seguente valore minimo:

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

Poiché il valore previsto dalla UNI 11367 risulta meno restrittivo rispetto al requisito legislativo stabilito dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8], per la verifica dell'intervento della Città Metropolitana viene assunto il valore più severo:

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

Per la proposta progettuale viene assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 24 novembre 2025[4]. Il criterio relativo alle prestazioni e al benessere acustico stabilisce che i requisiti acustici passivi siano valutati secondo la UNI 11367[9], facendo salvi i requisiti di legge previsti dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8] e specificando che, qualora i due riferimenti prevedano prestazioni differenti per il medesimo indicatore, debba essere rispettato il valore più restrittivo. Per gli edifici scolastici viene inoltre richiesto il rispetto dei valori di riferimento indicati dalla UNI 11532-2:2020[11].Il livello prestazionale riconducibile alla UNI 11367 per la facciata risulta pari a:

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

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 tale valore viene assunto come riferimento comune per il confronto tra le tre configurazioni. Nella configurazione originaria è utilizzato con finalità diagnostica e comparativa; nell'intervento della Città Metropolitana consente di valutare gli effetti della sostituzione dei serramenti e degli interventi sull'involucro; nella proposta progettuale permette di verificare la nuova configurazione di facciata.

Il parametro evidenzia inoltre come il miglioramento della sola componente opaca non garantisca un incremento equivalente della prestazione complessiva, che può essere condizionata da serramenti, giunti o altri elementi acusticamente più deboli.fatti costituire elementi acusticamente deboli e condizionare la prestazione dell'intero sistema.

ISOLAMENTO PER VIA AEREA TRA AMBIENTI. La sLa 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.

Per gli elementi di separazione tra distinte unità immobiliari degli edifici scolastici, il D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8] stabilisce:

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

Per gli ambienti appartenenti alla medesima unità immobiliare viene invece utilizzato l'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione D_{nTw}, che esprime la differenza di livello sonoro tra ambiente emittente e ricevente, normalizzata rispetto alle caratteristiche acustiche di quest'ultimo.

Per l'intervento della Città Metropolitana, valutato secondo i CAM 2017[2], era richiesto per gli edifici scolastici il livello di prestazione superiore definito dalla UNI 11367:2010[9]. I valori di riferimento risultano:

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

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.

Per quest'ultimo descrittore il requisito CAM risulta più restrittivo rispetto al valore di 50 dB previsto dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8]; viene pertanto assunto R'_w 56dB.

Per la proposta progettuale viene assunto

[8] PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI, D.P.C.M. 5 DICEMBRE 1997 – *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale n. 297 del 22 dicembre 1997*

[9] UNI 11367:2010 – *Acustica in edilizia – Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera, Ente Italiano di Normazione, Milano, 2010*

[10] UNI, UNI 11532:2014 – ACUSTICA IN EDILIZIA – *Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati, Ente Italiano di Normazione, Milano, 2014.*

[11] UNI, UNI 11532-2:2020 – CARATTERISTICHE ACUSTICHE INTERNE DI AMBIENTI CONFINATI – *Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 2: Settore scolastico, Ente Italiano di Normazione, Milano, 2020*

il quadro dei CAM di cui al D.M. 24 novembre 2025[4], che richiede almeno le prestazioni della classe II della UNI 11367:2023[12], facendo salvi i requisiti più restrittivi del D.P.C.M. 5 dicembre 1997. Per gli edifici scolastici devono inoltre essere rispettati i valori specifici indicati dalla UNI 11532-2:2020[11].

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

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, che rappresenta il livello sonoro rilevato nell'ambiente ricevente quando il solaio viene sollecitato mediante una sorgente normalizzata. A differenza degli indici di isolamento per via aerea, la prestazione migliora al diminuire del valore di $L'_{n,w}$.

Per gli edifici scolastici, classificati in categoria E, il D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8] stabilisce:

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

Per l'intervento della Città Metropolitana viene assunto il quadro dei CAM 2017[2], che per gli edifici scolastici richiedeva il livello di prestazione superiore definito dalla UNI 11367:2010[9]. Ne deriva:

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

Tale valore risulta più restrittivo rispetto al limite stabilito dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997.

Per la proposta progettuale viene invece assunto il quadro dei CAM di cui al D.M. 24 novembre 2025[4], che richiede il rispetto dei requisiti acustici passivi previsti dalla UNI 11367[12], facendo salvi i requisiti legislativi più restrittivi, e individua per gli edifici scolastici il riferimento specifico della UNI 11532-2:2020[11]. Per il rumore da calpestio viene assunto:

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

Ai fini del confronto tra le tre configurazioni viene pertanto adottato come riferimento comune:

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

Per la configurazione originaria il parametro viene utilizzato esclusivamente con finalità diagnostica e comparativa, senza attribuirgli valore di verifica retroattiva. La verifica viene applicata alle separazioni orizzontali tra ambienti sovrapposti; per gli ambienti adiacenti sullo stesso piano il fenomeno di riferimento è invece principalmente la trasmissione del rumore per via aerea.

COMFORT ACUSTICO INTERNO Le 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 del parlato.

Per l'intervento della Città Metropolitana viene assunto il quadro dei CAM 2017[2], che estendeva la valutazione del comfort acustico oltre i requisiti previsti dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8], richiamando la UNI 11532:2014[10] e indicando almeno il tempo di riverberazione e lo Speech Transmission Index (STI) tra i descrittori da considerare.

La successiva UNI 11532-2:2020[11], specificamente riferita al settore scolastico, ha definito in maniera più articolata i criteri di valutazione e i relativi valori di riferimento. Tale norma costituisce anche il principale riferimento tecnico per le verifiche di acustica interna della proposta progettuale, nell'ambito del quadro CAM vigente[4].

Nel presente studio il comfort acustico interno viene pertanto analizzato mediante 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 riverberazioIl tempo di riverberazione T, espresso in secondi, rappresenta il tempo necessario affinché il livello di pressione sonora all'interno di un ambiente diminuisca di 60 dB dopo l'interruzione della sorgente. 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 un'eccessiva riverberazione può compromettere la chiarezza e l'intelligibilità del parlato.

Nel quadro legislativo nazionale, il D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8] include il tempo di riverberazione tra le grandezze acustiche di riferimento e, per l'edilizia scolastica, rinvia ai limiti stabiliti dalla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 3150 del 22 maggio 1967[13]. La Circolare stabilisce, per le aule arredate con la presenza di non più di due persone:

$$T_{medio,250\text{-}2000\ Hz} \leq 1{,}2\ s$$

e, per le palestre non destinate anche ad auditorium:

$$T_{medio,250\text{-}2000\ Hz} \leq 2{,}2\ s$$

I valori sono riferiti alla media dei tempi di riverberazione alle frequenze di 250, 500, 1000 e 2000 Hz e non dipendono dal volume dell'ambiente.

Per l'intervento della Città Metropolitana viene assunto il quadro dei CAM 2017[2], che richiedeva la valutazione dell'acustica interna mediante almeno il tempo di riverberazione e lo Speech Transmission Index. Per l'analisi dell'intervento, riferito al 2022, viene utilizzata la UNI 11532-2:2020[11], già vigente e specificamente dedicata al settore scolastico.

La UNI 11532-2:2020[11] introduce un cri-

[12] UNI, UNI 11367:2023 - ACUSTICA IN EDILIZIA - *Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera, Ente Italiano di Normazione, Milano, 2023*

[6] Ministero dei Lavori Pubblici, Circolare n. 3150 del 22 maggio 1967 - *Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici*

terio dipendente dalla destinazione d'uso e dal volume dell'ambiente. Per le aule didattiche, appartenenti alla categoria A3, il tempo di riverberazione ottimale è definito da:

$$T_{ott} = 0{,}32 \log_{10}(V) - 0{,}17$$

con V espresso in m^3 e riferimento a una condizione convenzionale di occupazione pari all'80% della capienza. La conformità viene valutata alle diverse frequenze rispetto al valore ottimale e al relativo intervallo previsto dalla norma. Per le palestre, ricondotte alla categoria A5, la verifica viene invece effettuata in condizioni non occupate e il tempo ottimale dipende anch'esso dal volume dell'ambiente[11].

Per la proposta progettuale viene assunto il quadro dei CAM 2025[4], mantenendo quale riferimento tecnico per gli ambienti scolastici la UNI 11532-2:2020[11].

Nel presente studio vengono pertanto mantenuti due livelli di valutazione: il criterio storico, basato sui limiti medi di 1,2 s per le aule e 2,2 s per le palestre, e il criterio prestazionale della UNI 11532-2:2020, che considera la destinazione d'uso, il volume, la frequenza e le condizioni convenzionali di occupazione. Le due verifiche sono complementari ma non direttamente sovrapponibili.

CHIAREZZA DEL PARLATO C50. La chiarezza dLa 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, associata alla riverberazione, 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[8] non individua uno specifico requisito relativo al C50. Per gli ambienti scolastici il riferimento viene pertanto assunto dalla UNI 11532-2:2020[11], che consente l'impiego del C50, in alternativa allo STI, per gli ambienti delle categorie A1–A4 con volume inferiore a 250 m^3.

Per le aule didattiche con:

$$V < 250\ m^2$$

in assenza di un impianto di amplificazione, o con impianto non attivo nelle normali condizioni di utilizzo, viene assunto:

$$C50 \geq 2\ dB$$

La La verifica è riferita all'ambiente arredato e non occupato. Il valore di \ C50 in ciascuna posizione viene determinato come media aritmetica dei valori nelle bande di ottava centrate a 500, 1000 e 2000 Hz; il valore rappresentativo dell'ambiente deriva quindi dalla media delle posizioni considerate[11].

Il C50 integra la verifica del tempo di riverberazione: mentre quest'ultimo descrive la persistenza complessiva del suono nell'ambiente, il C50 valuta il rapporto tra energia sonora precoce e tardiva, fornendo un'indicazione più direttamente correlata alla chiarezza del parlato.

INTELLIGIBILITÀ DEL PARLATO – STI. Lo Speech Transmission Index (STI) è un indice adimensionale compreso tra 0 e 1, utilizzato per valutare l'intelligibilità del parlato all'interno di un ambiente. Il parametro tiene conto degli effetti combinati della riverberazione e del rumore di fondo sulla trasmissione del segnale vocale; valori più elevati corrispondono pertanto a migliori condizioni di comunicazione verbale. Il D.P.C.M. 5 dicembre 1997[8] non individua uno specifico requisito relativo allo STI. Per gli ambienti scolastici i valori di riferimento vengono pertanto assunti dalla UNI 11532-2:2020[11], che applica tale descrittore agli ambienti appartenenti alle categorie A1–A4. In assenza di un sistema di amplificazione, o con impianto non attivo nelle normali condizioni di utilizzo, la norma distingue il requisito in funzione del volume dell'ambiente. Per:

$$V < 250\ m^2$$

viene assunto:

$$STI \geq 0{,}55\ dB$$

con un livello della sorgente pari a 60 dB(A) a 1 m; per:

$$V > 250\ m^2$$

il valore di riferimento è:

$$STI \geq 0{,}50\ dB$$

con un livello della sorgente pari a 70 dB(A) a 1 m. In presenza di un sistema di amplificazione utilizzato nelle normali condizioni di esercizio viene invece assunto:

$$STI \geq 0{,}60 dB$$

con il sistema regolato secondo le normali condizioni di utilizzo[11].

TABELLA RIASSUNTIVA LIMITI ACUSTICI

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

5.5 VERIFICHE TERMOIGROMETRICHE

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 una maggiore capacità dell'elemento 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 \(U_w\), comprensiva dei contributi della componente vetrata, del telaio e delle relative interazioni. Per l'intervento della Città Metropolitana, ricondotto alla ristrutturazione importante di secondo livello, viene assunto il D.M. 26 giugno 2015[14], vigente nel periodo di approvazione del progetto. In tale categoria la verifica riguarda le componenti dell'involucro effettivamente interessate dalle opere, nel caso in esame principalmente pareti perimetrali, copertura e serramenti, mediante il confronto con i relativi valori limite di trasmittanza. Per le strutture opache la verifica tiene inoltre conto dell'incidenza dei ponti termici secondo le modalità previste dal decreto. Per la proposta progettuale viene invece assunto il D.M. 28 ottobre 2025[15]. L'intervento sull'edificio esistente è ricondotto alla ristrutturazione importante di primo livello, in quanto interessa più del 50% della superficie disperdente lorda e comprende la ristrutturazione dell'impianto termico a servizio dell'intero edificio. Per questa categoria i requisiti di prestazione energetica sono riferiti all'intero edificio e vengono verificati mediante il confronto con l'edificio di riferimento.
Contestualmente, la proposta prevede un ampliamento il cui volume lordo climatizzato risulta superiore al 15% di quello esistente o comunque superiore a 500 m³. La nuova porzione è pertanto assimilata a un edificio di nuova costruzione e deve essere verificata separatamente rispetto alla parte esistente sottoposta a ristrutturazione importante. In presenza contestuale delle due tipologie di intervento, il decreto richiede infatti di mantenere distinte le relative verifiche.

Per la ristrutturazione di primo livello e per la nuova porzione, la verifica si basa sull'edificio di riferimento, definito come un edificio avente geometria, orientamento, ubicazione, destinazione d'uso e condizioni al contorno identici a quelli dell'edificio reale, ma caratterizzato da parametri termo-fisici ed energetici convenzionali[15].
Le trasmittanze attribuite alle componenti dell'edificio di riferimento non costituiscono pertanto valori limite da applicare direttamente alle singole stratigrafie di progetto, ma parametri utilizzati per determinare le prestazioni energetiche di riferimento. Le trasmittanze delle soluzioni progettuali vengono comunque analizzate, poiché consentono di descrivere la qualità termo-fisica dell'involucro e di interpretarne il contributo alla prestazione energetica complessiva. Per la zona climatica E, i valori utilizzati per l'edificio di riferimento dal D.M. 28 ottobre 2025[15] sono:

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.

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. La caratterizzazione delle componenti opache viene pertanto 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[16] e, per la proposta progettuale, considerando anche la relativa Appendice Nazionale UNI EN ISO 13786:2018/NA:2025[17]. La norma definisce le caratteristiche termiche dinamiche dei componenti edilizi e i relativi metodi di calcolo; l'Appendice Nazionale, entrata in vigore nel settembre 2025, ne specifica le modalità di applicazione a livello nazionale.

Per le principali stratigrafie vengono analizzate la massa superficiale Ms, la trasmittanza termica periodica Y_{IE}, lo sfasamento e il fattore di attenuazione. La massa superficiale costituisce un indicatore della massa della componente, mentre la trasmittanza termica periodica descrive la capacità della struttura di limitare la propagazione verso l'interno delle sollecitazioni termiche periodiche. Lo sfasamento esprime il ritardo temporale dell'onda termica, mentre il fattore di attenuazione ne rappresenta la riduzione di ampiezza.

Il D.M. 28 ottobre 2025[15], in continuità con il D.M. 26 giugno 2015[14], prevede specifiche verifiche per il controllo delle prestazioni estive dell'involucro. Per gli edifici soggetti a tali requisiti, con esclusione delle categorie E.6 ed E.8 e della zona climatica F, le verifiche si applicano nelle località in cui l'irradianza solare media mensile sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione estiva risulta:

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

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

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

oppure

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

[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".

[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.

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 assunto nell'analisi è pari a circa:

$$I_{m,s} = 272\ W/m2$$

e risulta pertanto inferiore alla soglia normativa di 290 W/m² [18]. Di conseguenza, le verifiche prescrittive relative a Ms e Y_{ie} sopra indicate non risultano applicabili al caso in esame.

Tali grandezze, insieme allo sfasamento e al fattore di attenuazione, vengono comunque mantenute come indicatori prestazionali, al fine di confrontare il comportamento estivo delle differenti soluzioni di involucro e approfondirne la risposta termica dinamica.

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 interna e alla diffusione del vapore attraverso le stratigrafie.

Il principale riferimento tecnico è costituito dalla UNI EN ISO 13788:2013[19], che definisce i metodi di calcolo per la valutazione del rischio di formazione di muffe e condensazione superficiale e per l'analisi della condensazione interstiziale.

Il rischio di formazione di muffe viene valutato mediante il controllo della temperatura superficiale interna, espressa attraverso 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 13788:2013[19].

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

Per l'intervento della Città Metropolitana, ricondotto alla ristrutturazione importante di secondo livello, viene assunto il D.M. 26 giugno 2015[14], che per le strutture opache interessate dall'intervento richiede la verifica dell'assenza del rischio di formazione di muffe e di condensazioni interstiziali secondo la UNI EN ISO 13788[19].

Per la proposta progettuale, valutata secondo il D.M. 28 ottobre 2025[15], le verifiche vengono estese sia alla sezione corrente delle componenti sia ai principali ponti termici, facendo riferimento alla UNI EN ISO 13788[19] e alla UNI EN ISO 10211:2018[20]. Quest'ultima consente di determinare mediante calcolo numerico i flussi termici e le temperature superficiali minime nei nodi costruttivi, necessarie per valutarne il rischio di condensazione superficiale.

Per la condensazione interstiziale, la verifica secondo il quadro vigente risulta soddisfatta quando l'eventuale quantità di condensa non supera il valore massimo ammissibile previsto dal metodo e non permane alcun residuo al termine del ciclo annuale[15].

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 gli edifici di nuova costruzione, il D.M. 28 ottobre 2025[15] prevede una valutazione integrata della prestazione energetica, articolata attraverso specifici parametri dell'involucro e il confronto degli indici energetici con quelli di un corrispondente edificio di riferimento, avente le medesime caratteristiche geometriche, climatiche e funzionali dell'edificio reale, ma caratteristiche termo-fisiche e impiantistiche convenzionali definite dalla normativa.

Non è pertanto previsto un unico valore massimo di consumo, espresso in kWh/(m²·anno), valido per tutti gli edifici appartenenti alla stessa categoria d'uso. I valori limite degli indici di prestazione energetica vengono determinati specificamente per l'edificio analizzato mediante il modello di riferimento.

Tra i parametri oggetto di verifica rientra il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione H′T:

$$H'T = H_{tr,adj} / \Sigma Ak$$

che esprime il comportamento complessivo dell'involucro e tiene conto delle componenti opache e trasparenti e dei relativi scambi termici. Il valore deve risultare inferiore al limite tabellare previsto dal decreto.

Per gli edifici di nuova costruzione, in zona climatica E, il limite dipende dal rapporto di forma S/V:

Rapporto di forma S/V	H′T limite [W/m²K]
S/V < 0,40	0,75
0,40 ≤ S/V < 0,70	0,55
S/V ≥ 0,70	0,5

dove S rappresenta la superficie disperdente e V il volume climatizzato. Il rapporto S/V costituisce quindi un indicatore della compattezza dell'edificio e non un requisito autonomo.

Per la ristrutturazione importante di primo livello, il limite di H′T viene invece determinato, sempre in fun-

zione della zona climatica, sulla base del rapporto ex ante tra la superficie dei componenti vetrati e la superficie complessiva dei componenti dell'edificio oggetto di intervento, secondo la Tabella 11 dell'Appendice A del decreto[15].

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

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

Il parametro tiene conto delle caratteristiche delle superfici vetrate, delle schermature e dell'esposizione solare ed è finalizzato al controllo degli apporti solari estivi. Per gli edifici scolastici viene assunto:

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

Il limite è indipendente dalla zona climatica.

La verifica della prestazione energetica viene infine completata mediante gli indici di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale e per quella estiva, rispettivamente \(EP_{H,nd}\) ed \(EP_{C,nd}\), e mediante l'indice di prestazione energetica globale in energia primaria totale \(EP_{gl,tot}\):

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

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

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

I corrispondenti valori limite vengono determinati mediante l'edificio di riferimento[15].

Nel caso della proposta progettuale, le verifiche relative alla ristrutturazione importante di primo livello e quelle riferite all'ampliamento devono essere mantenute distinte. Poiché l'ampliamento supera il 15% del volume lordo climatizzato esistente o comunque i 500 m^3, la nuova porzione è assimilata a un edificio di nuova costruzione; l'esatto insieme delle verifiche applicabili alla parte ampliata dipende tuttavia anche dalla configurazione dei sistemi tecnici a suo servizio.

PRESTAZIONE ED EFFICIENZA DEGLI IMPIANTI. La valutazione energetica viene completata mediante l'analisi dei sistemi impiantistici, al fine di distinguere il contributo del 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 del 2022 non ha comportato modifiche sostanziali agli impianti di climatizzazione, la variazione delle prestazioni energetiche rispetto allo stato originario è riconducibile prevalentemente agli interventi sull'involucro.

La proposta progettuale prevede invece una riqualificazione complessiva del sistema impiantistico, con sostituzione della generazione a gas mediante pompe di calore, adeguamento dei terminali di emissione e introduzione di sistemi di ventilazione meccanica. I nuovi impianti vengono modellati in EC700 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 e gli ampliamenti soggetti ai relativi requisiti, il D.M. 28 ottobre 2025[15] prevede 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 e il corrispondente fabbisogno di energia primaria totale e devono risultare superiori ai valori dell'edificio di riferimento.

Devono pertanto essere soddisfatte 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 delle singole apparecchiature, ma derivano dalle caratteristiche convenzionali dei sistemi impiantistici dell'edificio di riferimento[15].

Per la proposta progettuale la verifica viene inoltre estesa ai sistemi di generazione, distribuzione, emissione e regolazione. Le pompe di calore vengono valutate sulla base delle relative prestazioni nominali e stagionali, mentre la regolazione è prevista per singolo ambiente o zona.

Trattandosi di un edificio scolastico non residenziale, viene inoltre considerato il contributo dei sistemi di automazione e controllo dell'edificio (BACS), secondo il D.M. 28 ottobre 2025[15] e la UNI EN ISO 52120-1[21]. Tali sistemi consentono di coordinare il funzionamento degli impianti in funzione delle condizioni ambientali, dell'occupazione e dei profili di utilizzo.

La presenza della ventilazione meccanica comporta infine la valutazione del relativo fabbisogno di energia elettrica, includendo nel modello le portate d'aria previste, le caratteristiche dei ventilatori e, ove presenti, le prestazioni dei sistemi di recupero del calore.

Nel confronto tra le configurazioni, l'analisi delle efficienze stagionali, dei fabbisogni ausiliari e degli indici di energia primaria consente quindi di valutare l'incidenza della trasformazione impiantistica sulla prestazione energetica complessiva, 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.



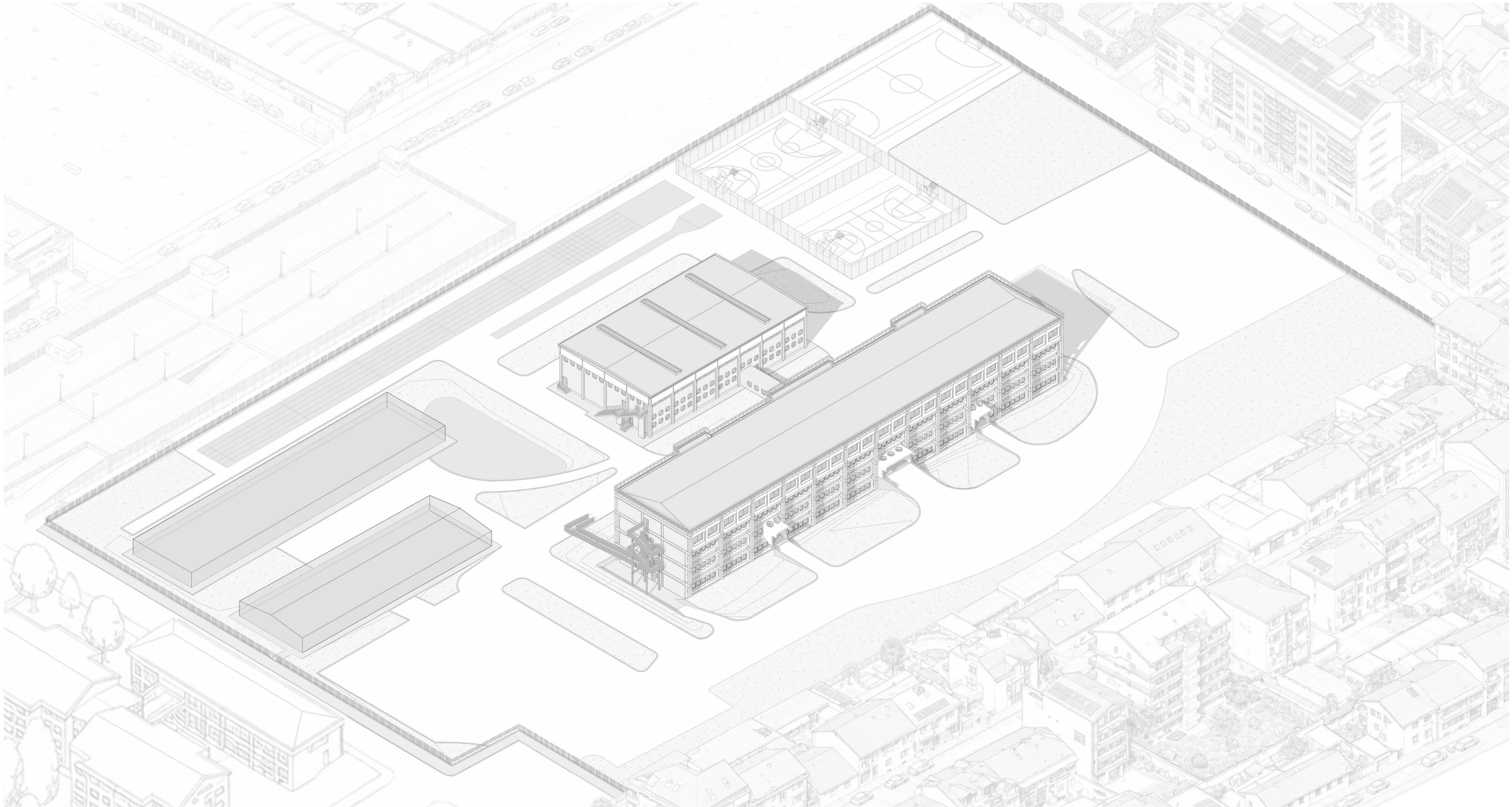
6.1 CONTESTO, STORIA, ORGANIZZAZIONE

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.

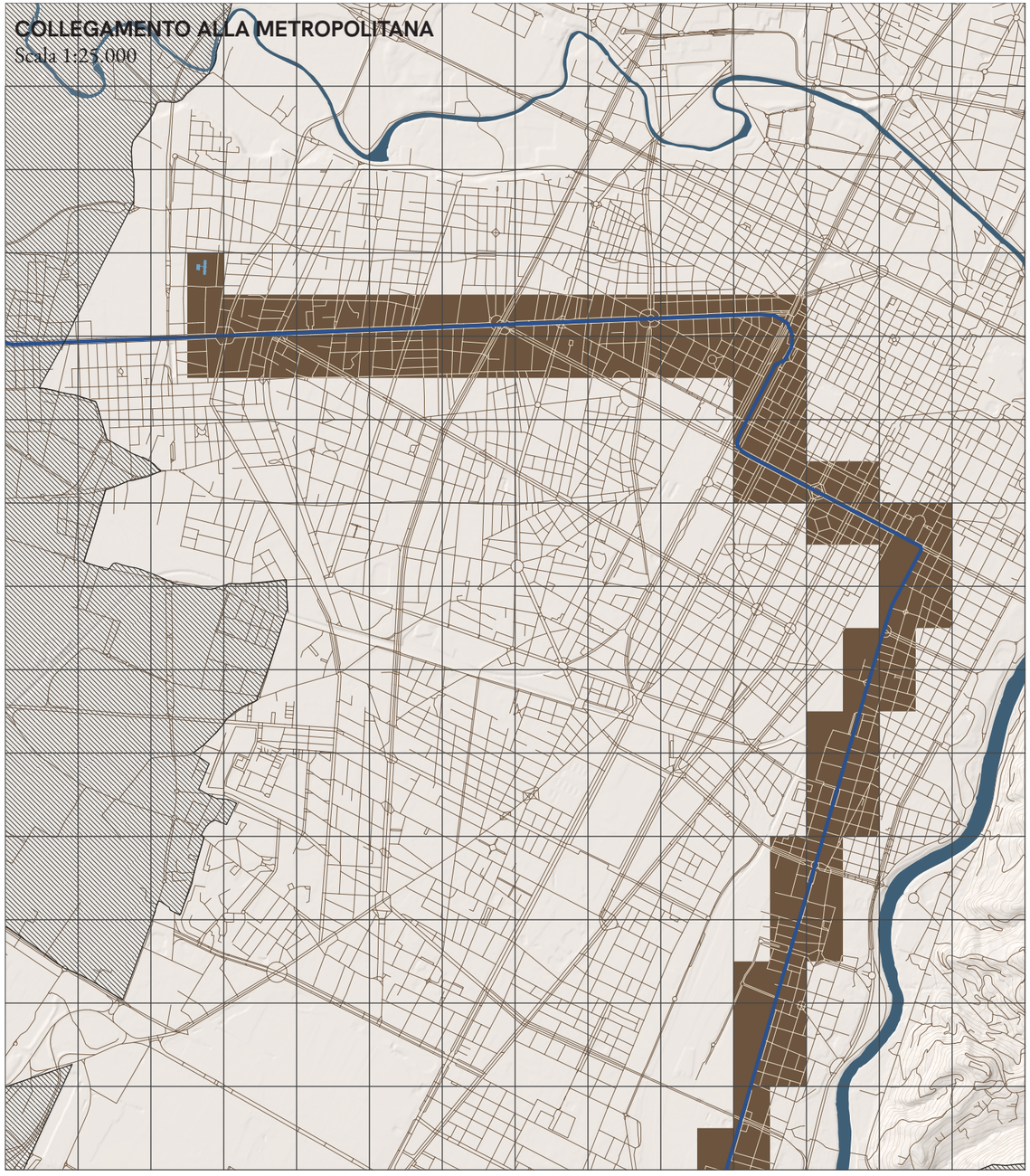
La sede succursale di via Postumia testimonia la crescita dell’istituto nel tempo e il progressivo ampliamento del suo bacino di riferimento. Allo stesso tempo, questa articolazione introduce una discontinuità spaziale che incide sull’organizzazione delle attività quotidiane: la distribuzione delle funzioni 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



COLLEGAMENTO ALLA METROPOLITANA
Scala 1:25.000



ISOCRONE INTERVALLO 5 - 10 - 15 MINUTI A PIEDI
Scala 1:10.000



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

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.

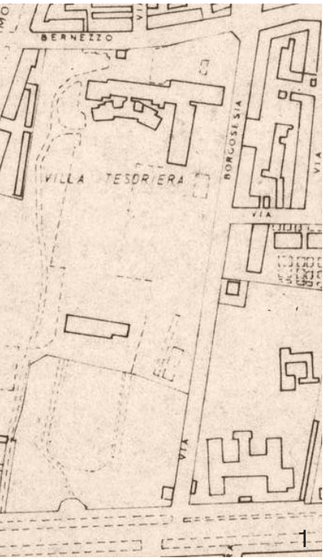
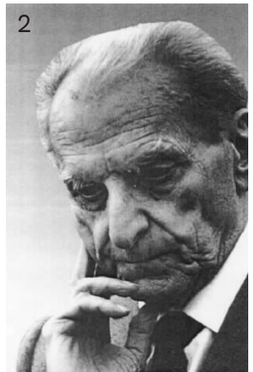


Foto 1. Pianta di Torino, 1974. Cascina di villa Sartirana detta "La Tesoriera".

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

Foto 2. Norberto Bobbio (1909-2004).





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.



Foto 4. La Sede Succursale in Via Postumia 57/60.

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

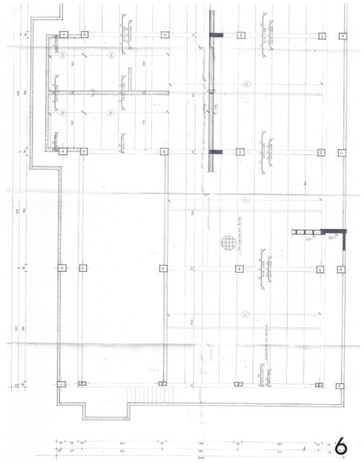


Foto 6. Estratto tavola d'archivio inerente il collaudo strutturale dei pilastri.

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.

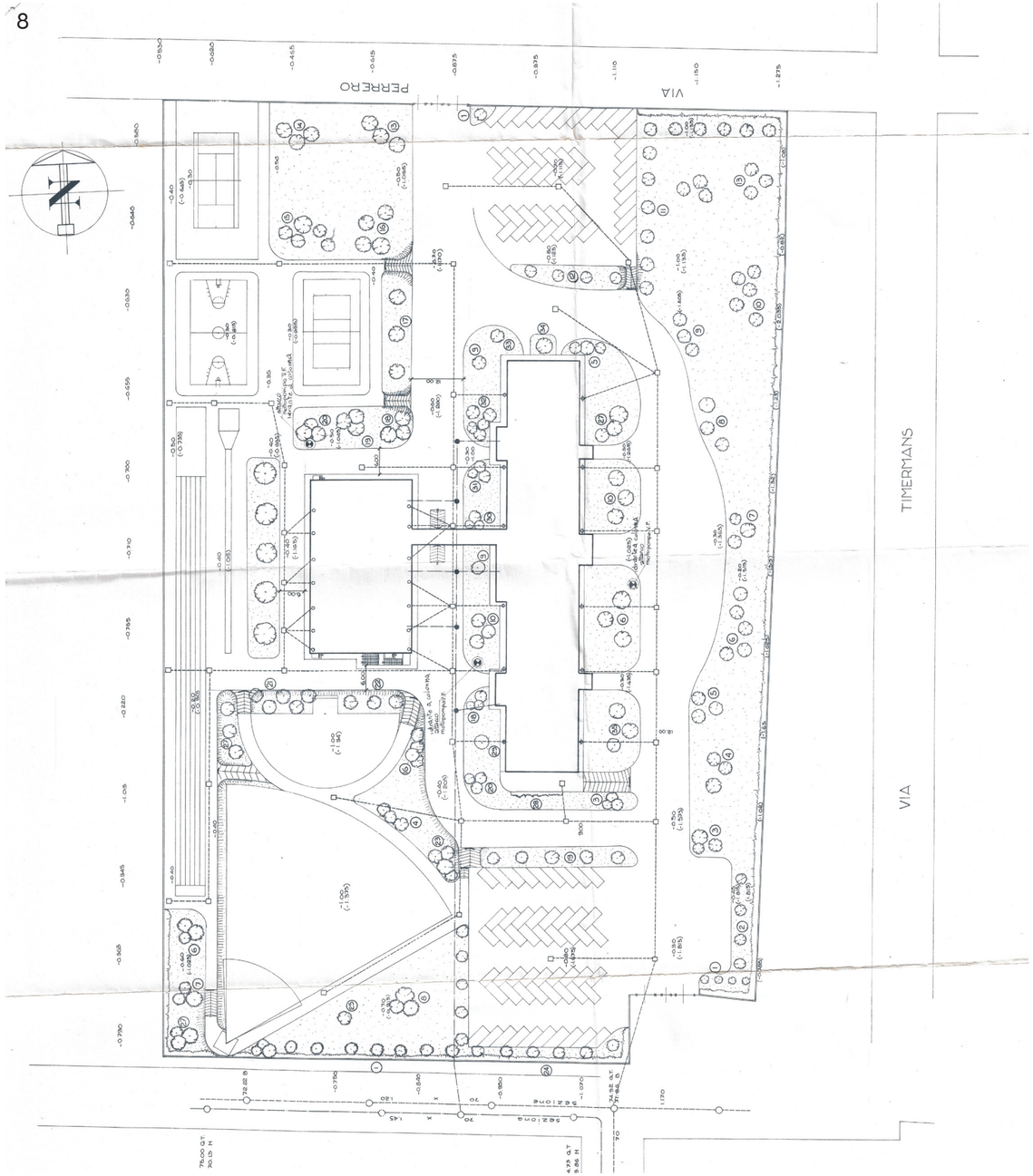


Foto X. Il cancello di ingresso dallo spazio pubblico della strada.



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.

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. Ostruzione visiva in un'aula del piano seminterrato.



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.



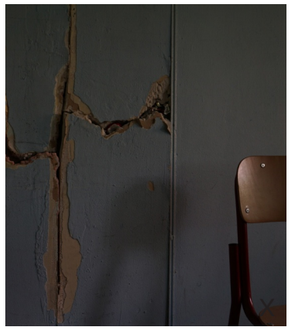


Foto X. Partizione tra aule danneggiata.

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.



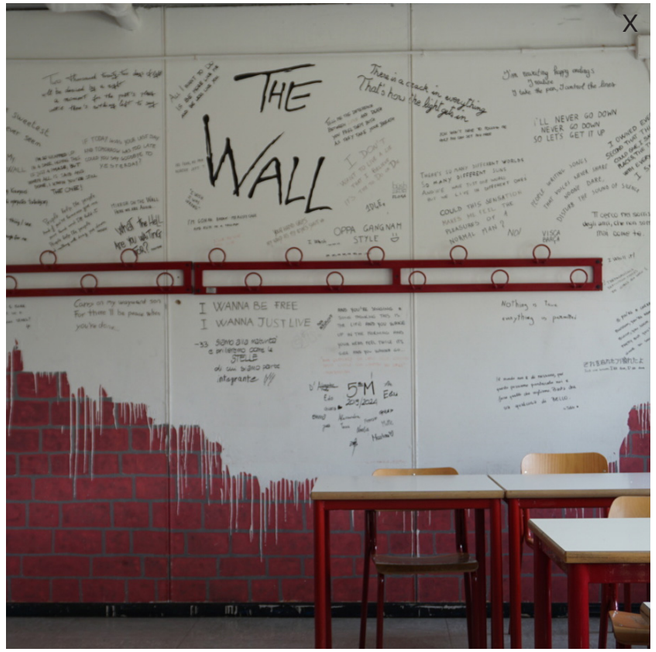


Foto X. Le partizioni delle aule, soprattutto del piano rialzato e del primo piano, sono caratterizzate da diversi murales realizzati dagli studenti nel 2014 e che continuano ad essere personalizzate da ogni classe.



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.

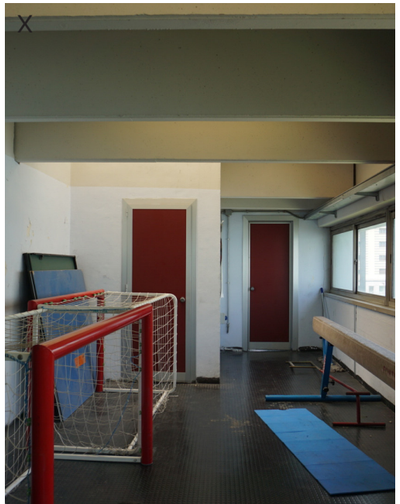


Foto X. Attrezzature disposte in maniera non organizzata nel primo piano.

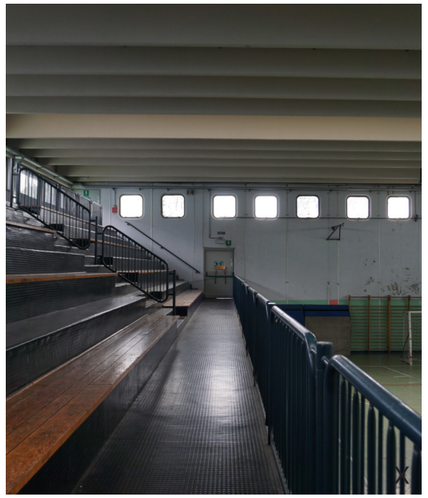
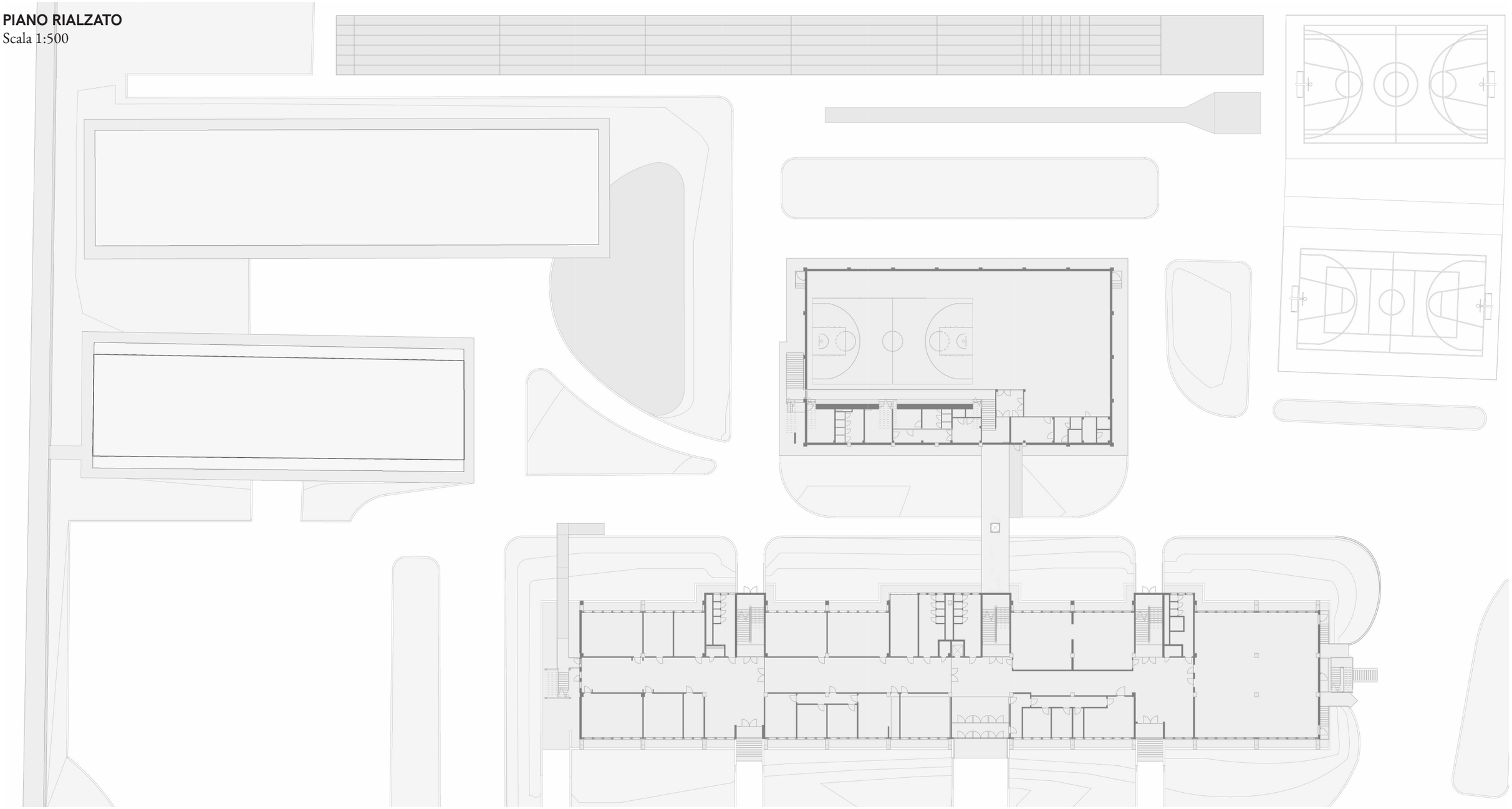


Foto X. Gli spalti sulla area di gioco.

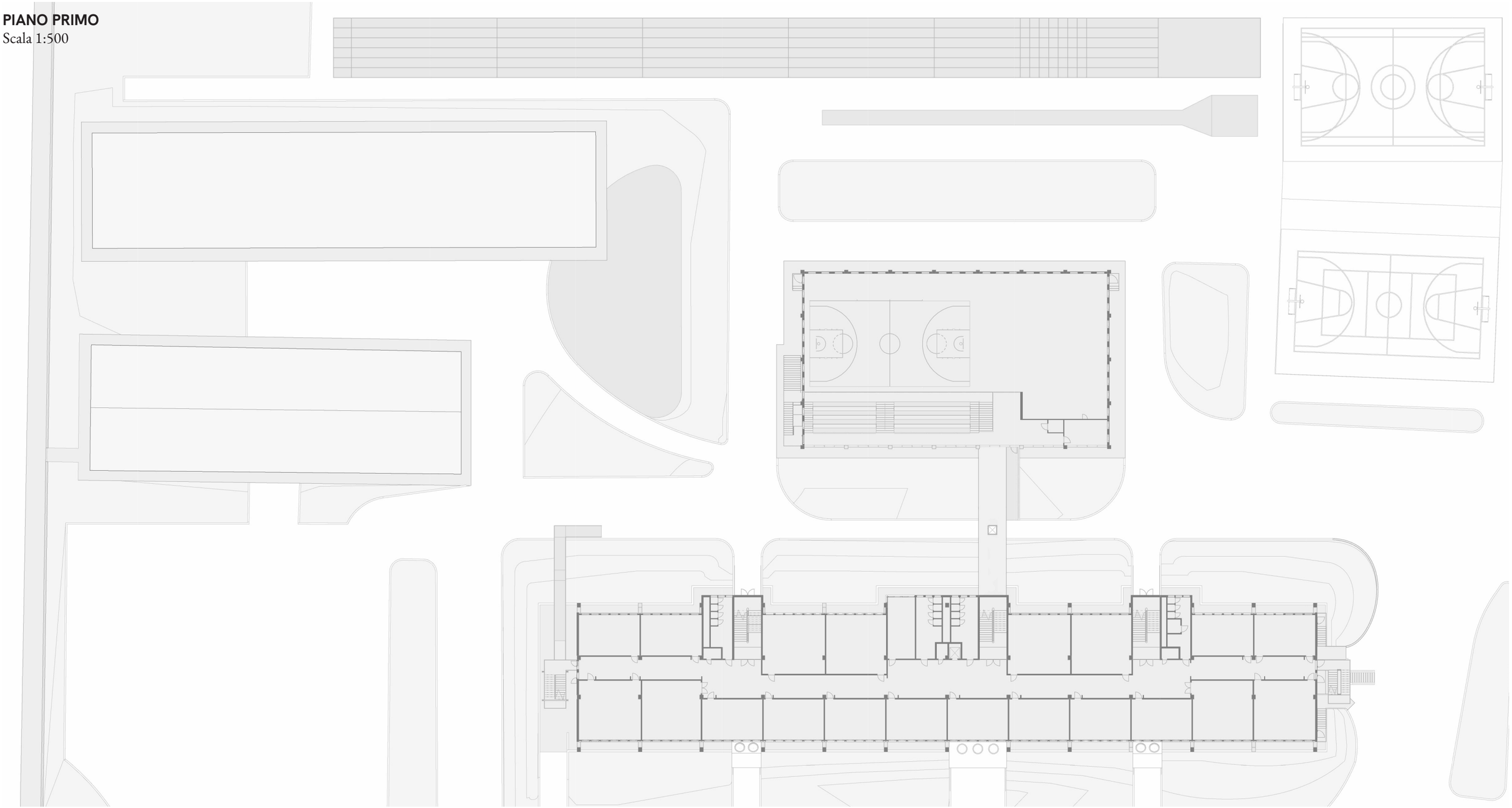
Foto X. I bagni inagibili dello spogliatoio delle ragazze.



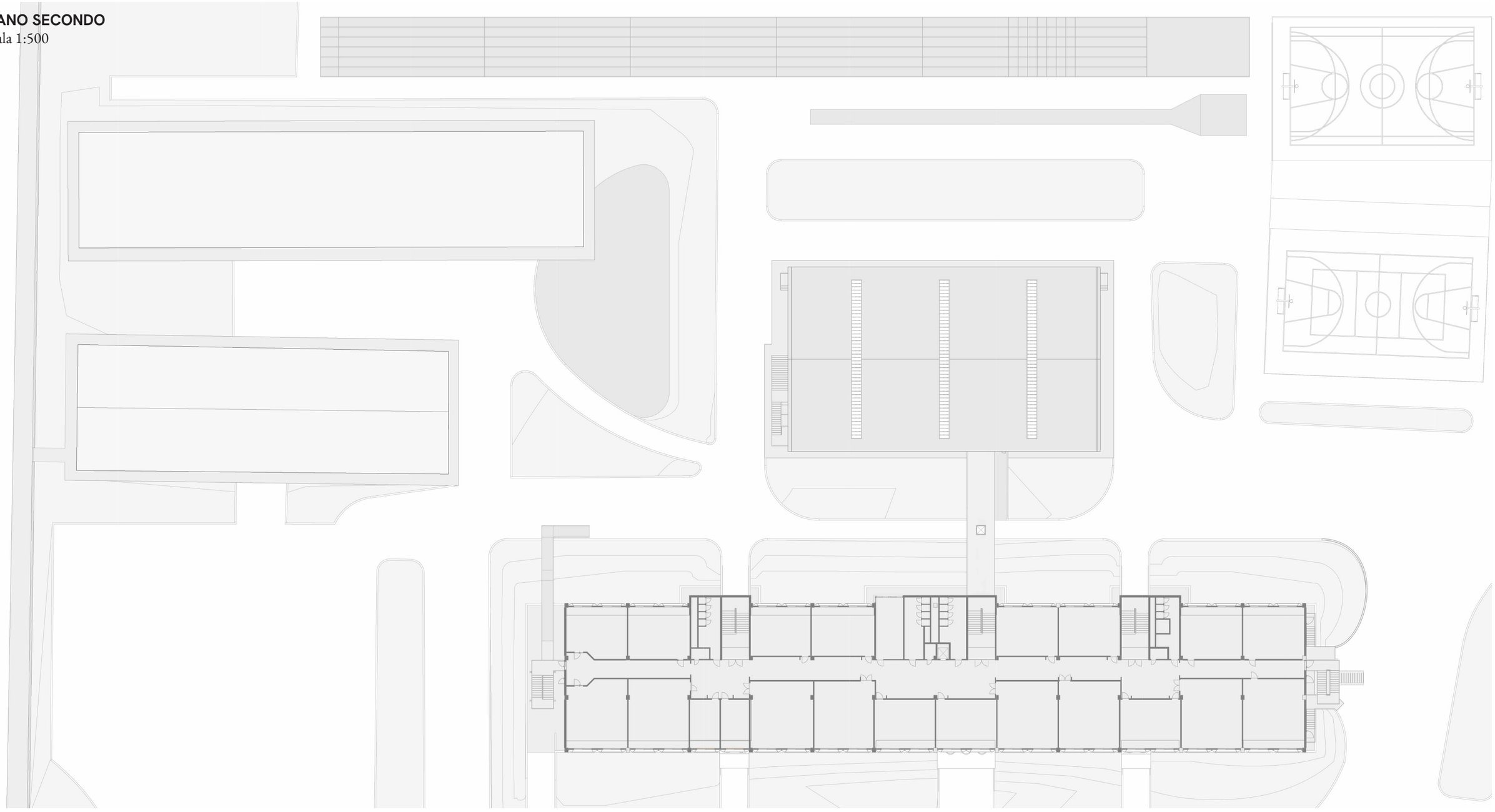
PIANO RIALZATO
Scala 1:500



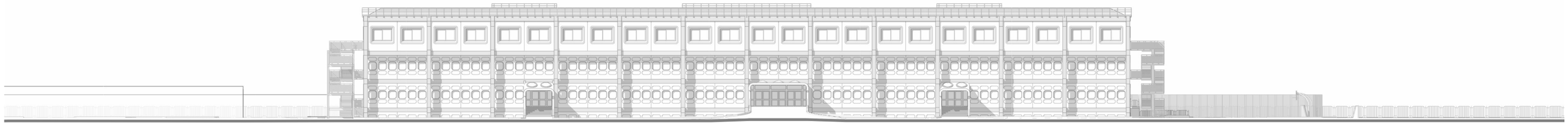
PIANO PRIMO
Scala 1:500



PIANO SECONDO
Scala 1:500



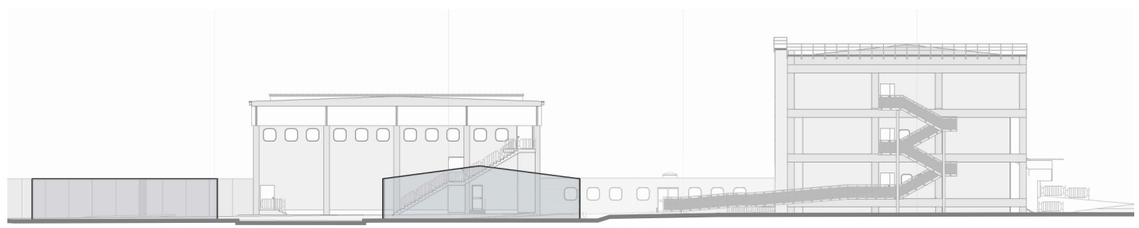
PROSPETTI
Scala 1:500



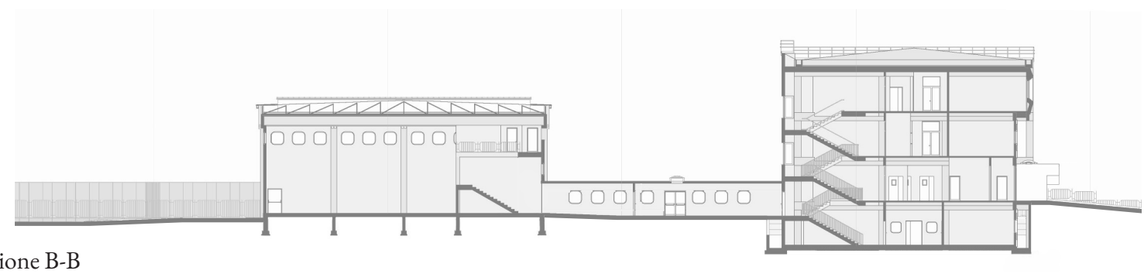
Prospetto Est



Sezione A-A

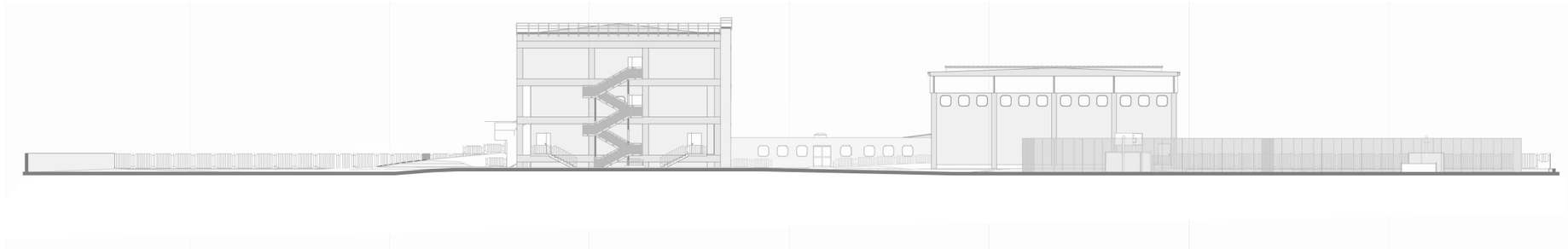


Prospetto Sud

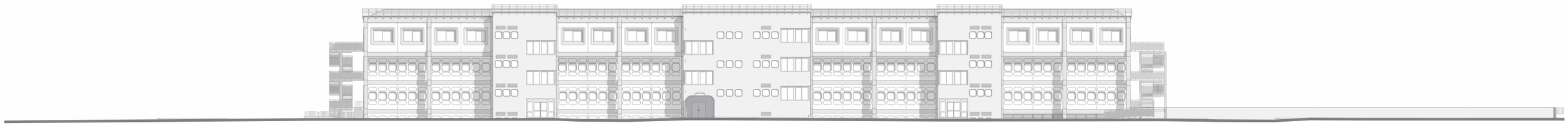


Sezione B-B

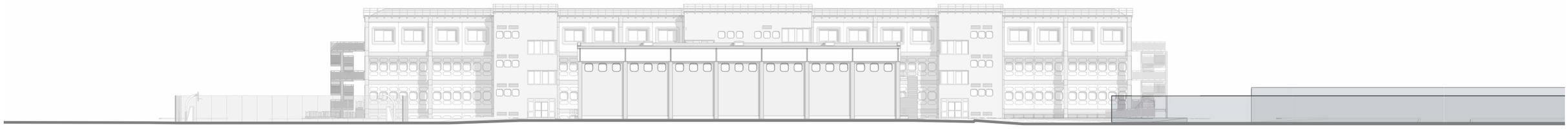
PROSPETTI
Scala 1:500



Prospetto Nord



Prospetto Ovest con fronte laterale palestra



Prospetto Ovest escluso fronte laterale palestra



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.



ABACO SERRAMENTI

Scala 1:50



F01



F02



F03



F04



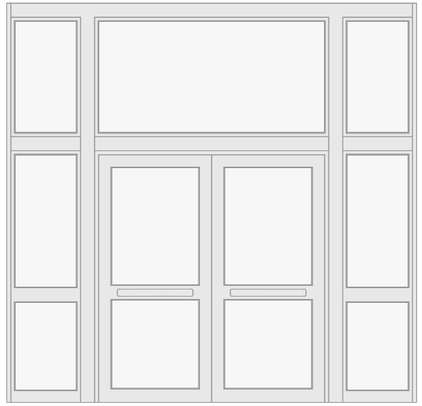
F05



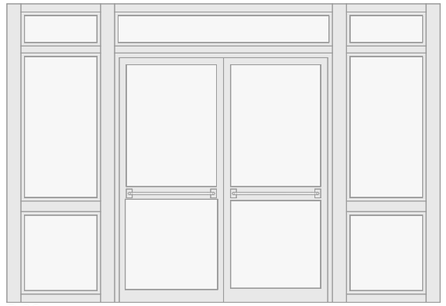
F06



P_f01



P_f02



P_f03

	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

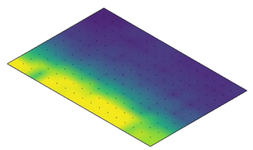
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



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

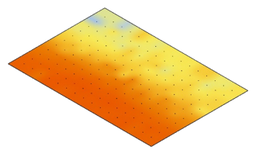
FDLm



2,1%



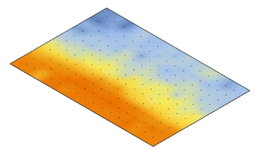
DA - Daylight autonomy 300lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**



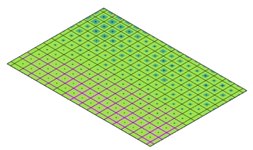
DA - Daylight autonomy 500lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**

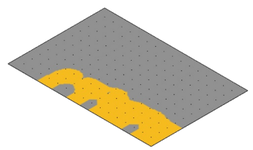


avg UDIA



69,3%

ASE 1000/250



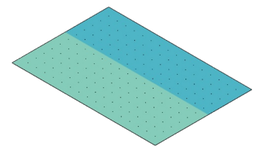
22,2%

DPG



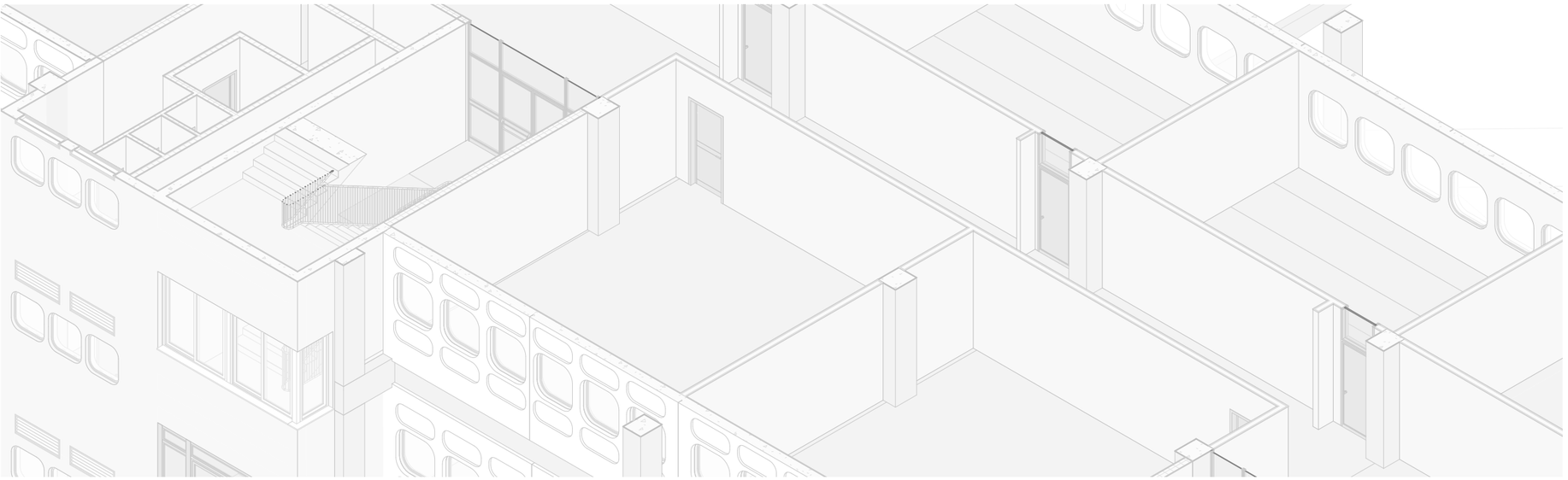
20,0%

View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%

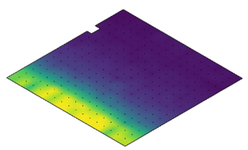
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA OVEST



Elemento	Area [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				F01

Parametro	Valore
Superficie utile	67,40 m²
Superficie vetrata	5,22 m²
WFR	7,70%
Riflettanza media (ρ_m)	0,44

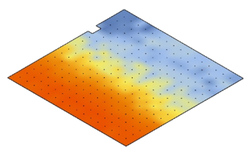
FDLm



1,4%



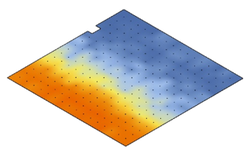
DA - Daylight autonomy 300lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**



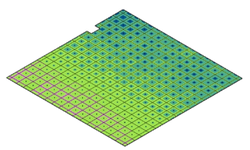
DA - Daylight autonomy 500lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**



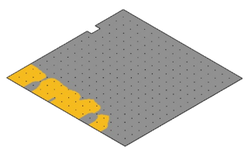
avg UDIA



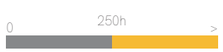
43,7% del tempo



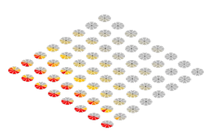
ASE 1000/250



11,0% dello spazio



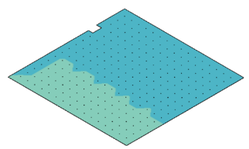
DPG



8,6% delle viste



View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%



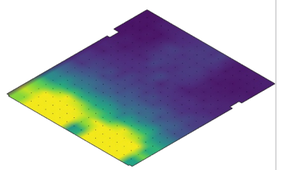
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



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

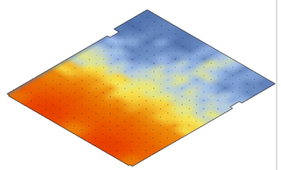
FDLm



2,2%



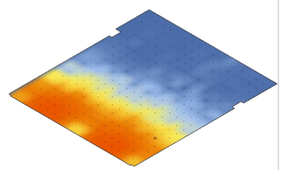
DA - Daylight autonomy 300lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**



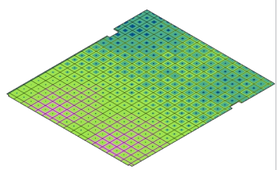
DA - Daylight autonomy 500lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**



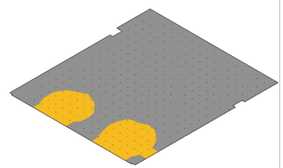
avg UDIA



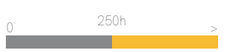
47,7% del tempo



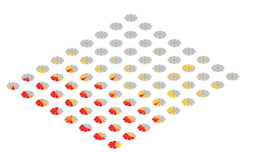
ASE 1000/250



16,7% dello spazio



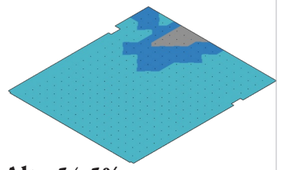
sDG



16,1% delle viste



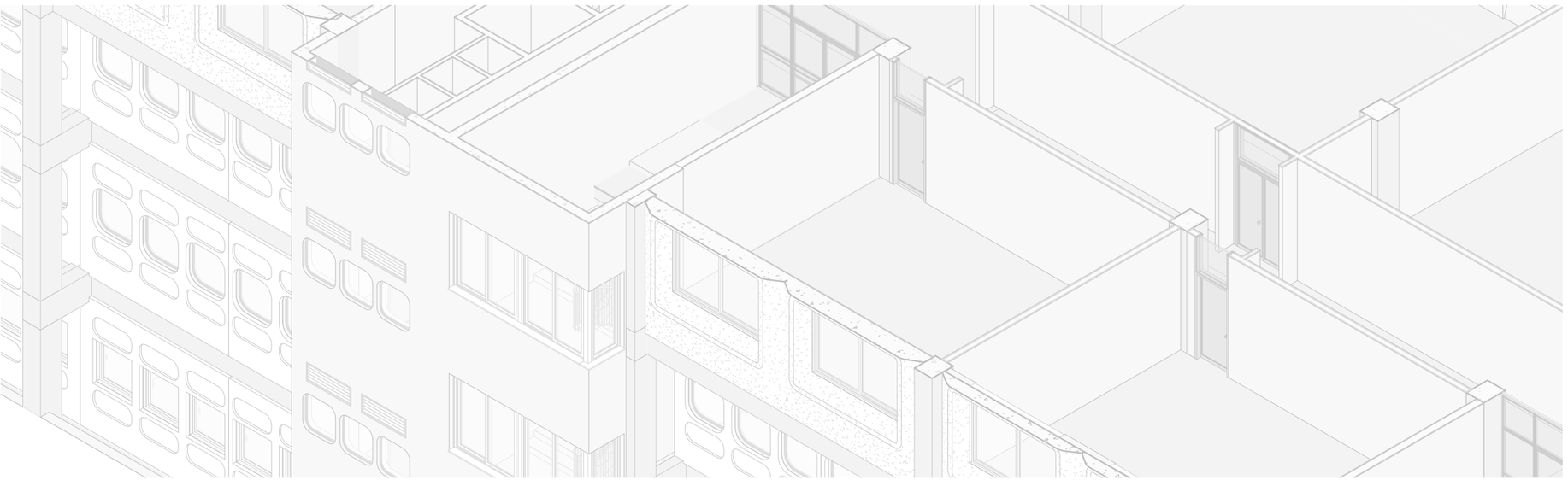
View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%



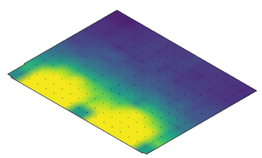
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA OVEST



ELEMENTO	AREA [M²]	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

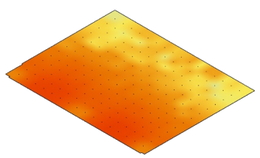
FDLm



1,4%



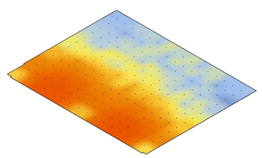
DA - Daylight autonomy 300lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**



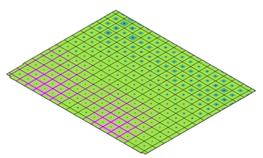
DA - Daylight autonomy 500lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MEDIO**

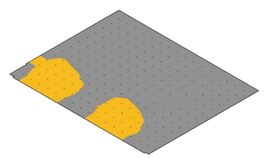


avg UDIA



72,6%

ASE 1000/250



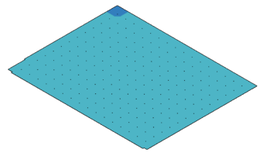
19,2%

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.

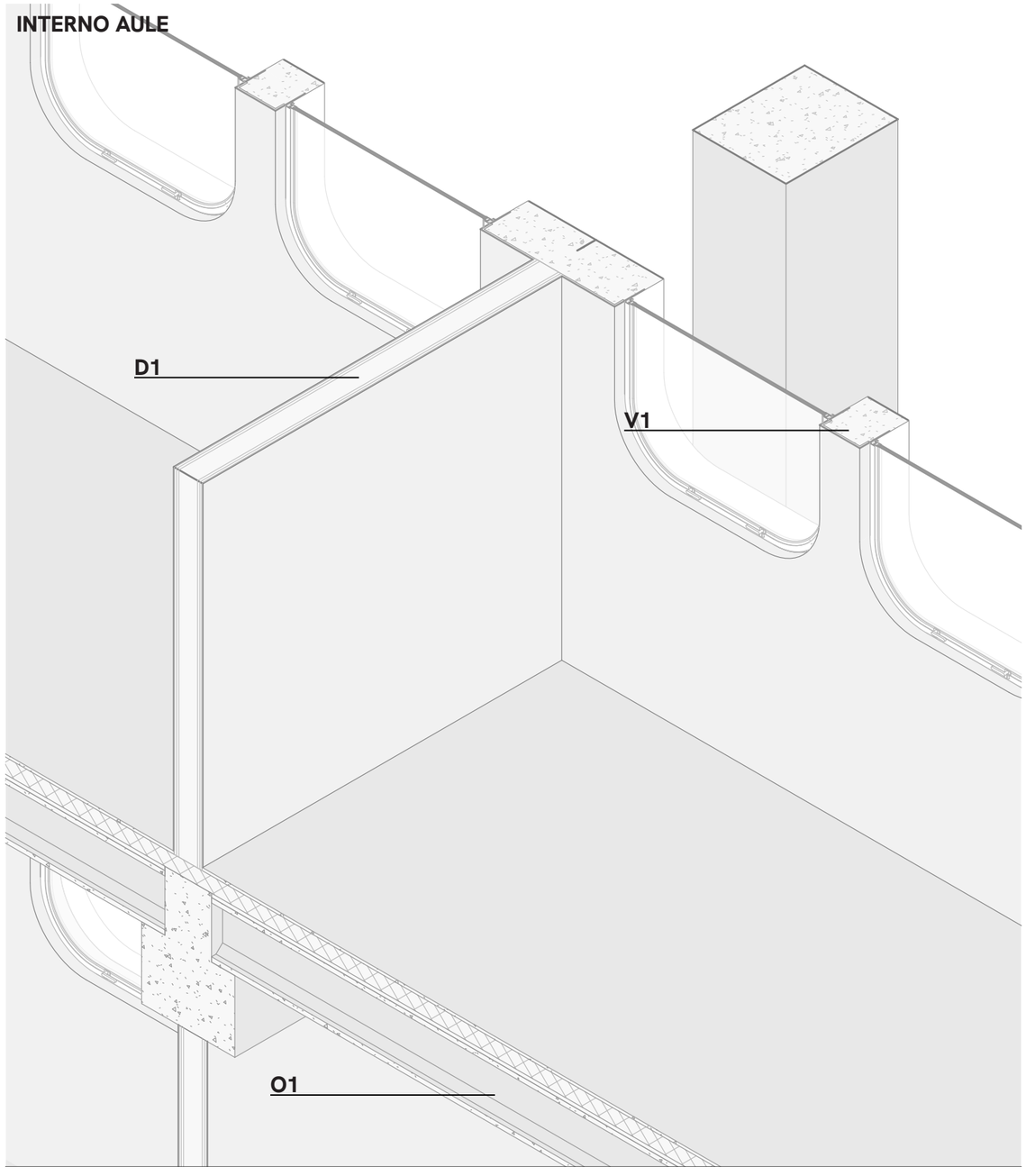
A tali aspetti si sommano gli effetti delle trasformazioni e degli interventi manutentivi realizzati nel tempo. Come evidenziato nel capitolo precedente, l'installazione e il successivo adeguamento degli impianti a vista hanno richiesto in diversi punti tagli, attraversamenti e adattamenti delle partizioni. 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.



V1 - 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	41,50		359,2

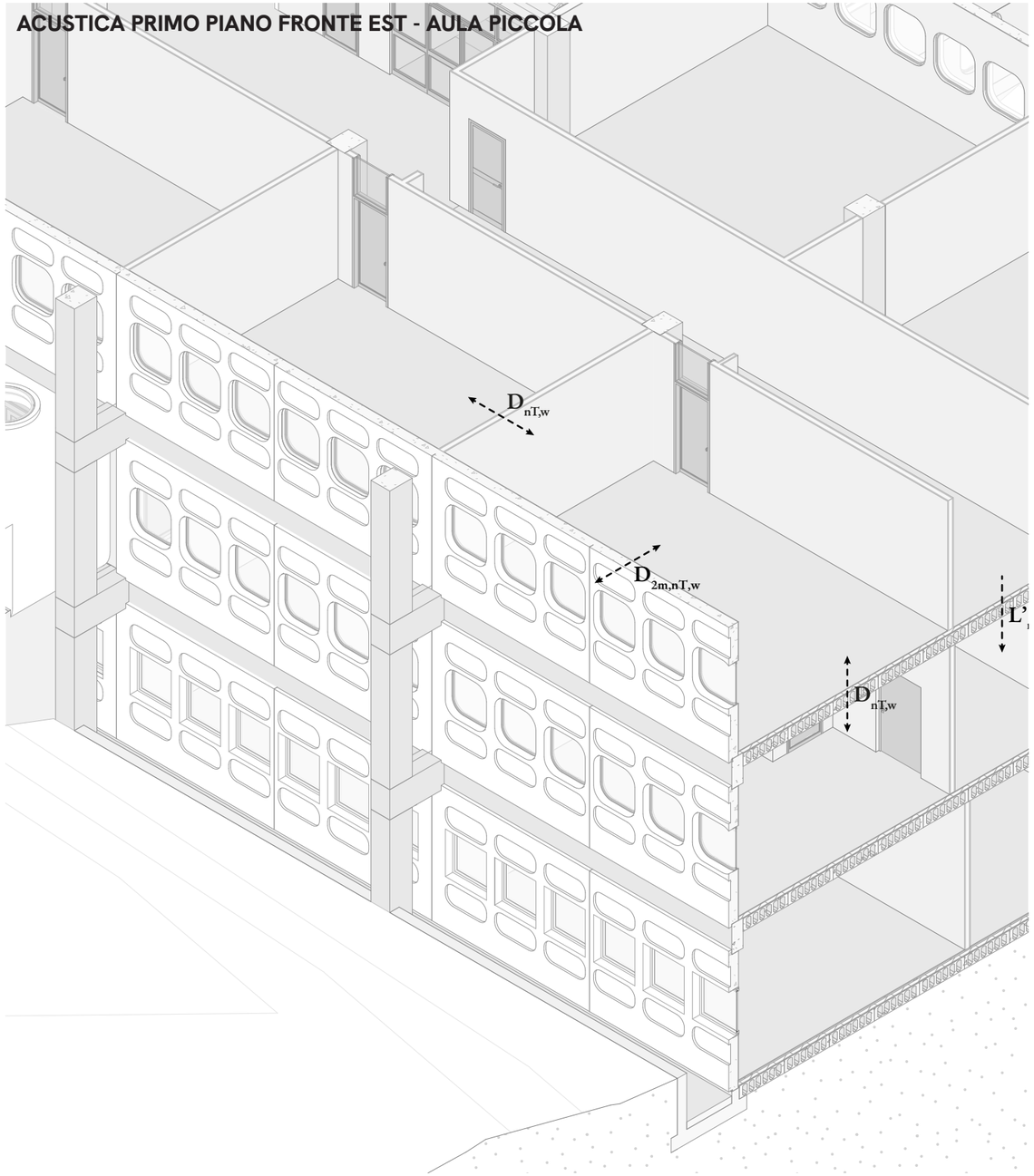
D1 - PARTIZIONE VERTICALE

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

ACUSTICA PRIMO PIANO FRONTE EST - AULA PICCOLA



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			
Serramenti	A = 6 * 1m²	R'w = 31,1dB	CAM 2017 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	
	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			
Locale ricevente	V = 137,7m³	R'w = 39,0dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
Incertezza	3,53dB			

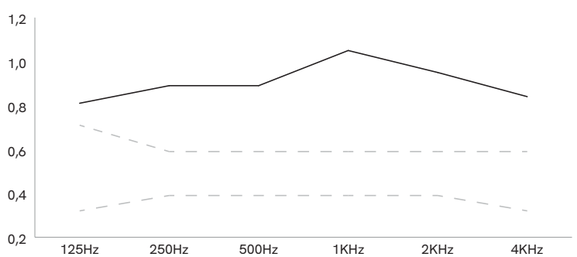
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

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 solaio base	54,1dB	R'w = 52,8dB	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	45,9m²	$L'_{n,w}$ = 74,8dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq$ 58 dB	NON VERIFICATO
Volume locale	137,7m³			
$L_{n,eq,0,w}$	74,3dB	$L'_{nT,w}$ = 68,1dB	CAM 2017 $L'_{n,w} \leq$ 53 dB	
ΔL_w	0dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (T - C50 - STI)



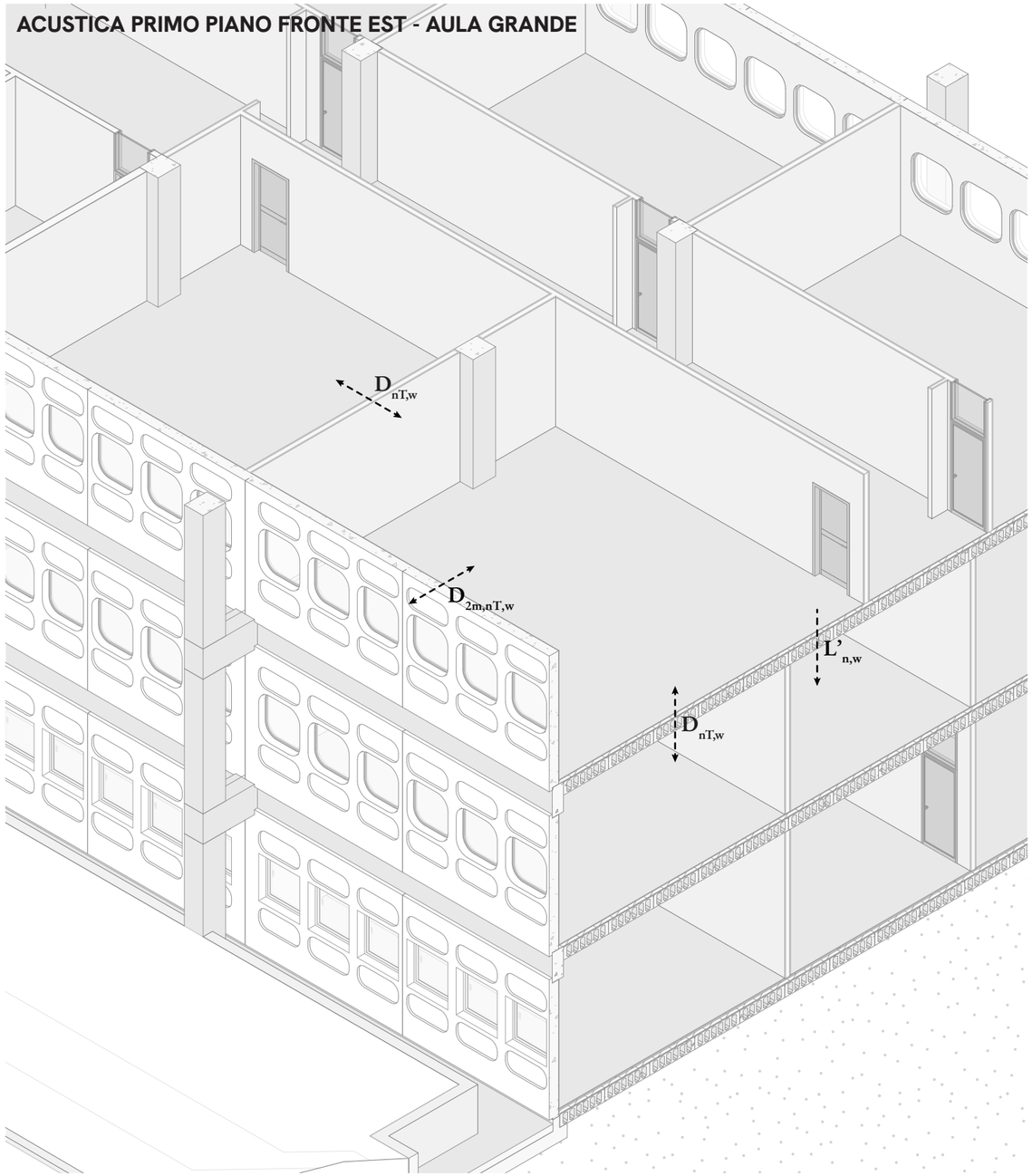
T calcolato
valore medio
250Hz - 2Khz
0,95s

C50 medio
4,7

STI
0,54

CONFORME

ACUSTICA PRIMO PIANO FRONTE EST - AULA GRANDE



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

Parete perimetrale	A = 27,66m²	$D_{2m,nT,w}$ = 38,6dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	NON VERIFICATO
	Rw = 49dB	R'w = 34,4dB	CAM 2017 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	
Serramenti	A = 2 * 3,93m²			
	Rw = 29dB			

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

Divisorio	A = 27,51m²	$D_{nT,w}$ = 43,1dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	NON VERIFICATO
	Rw = 18dB	R'w = 39,0dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
Locale ricevente	V = 207,3m³			
Incertezza	3,38dB			

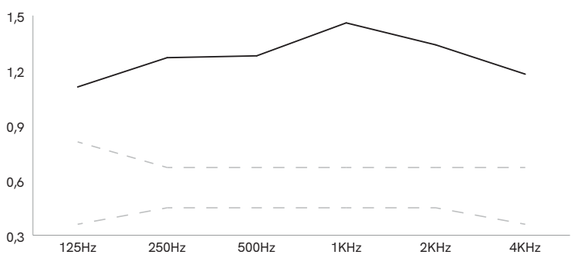
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Area divisorio	75,7m²	$D_{nT,w}$ = 52,9dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	VERIFICATO
Volume locale	207,3m³	R'w = 53,2dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
R_w solaio base	54,1dB			
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	$L'_{nT,w}$ = 66,2dB	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 (T - C50 - STI)



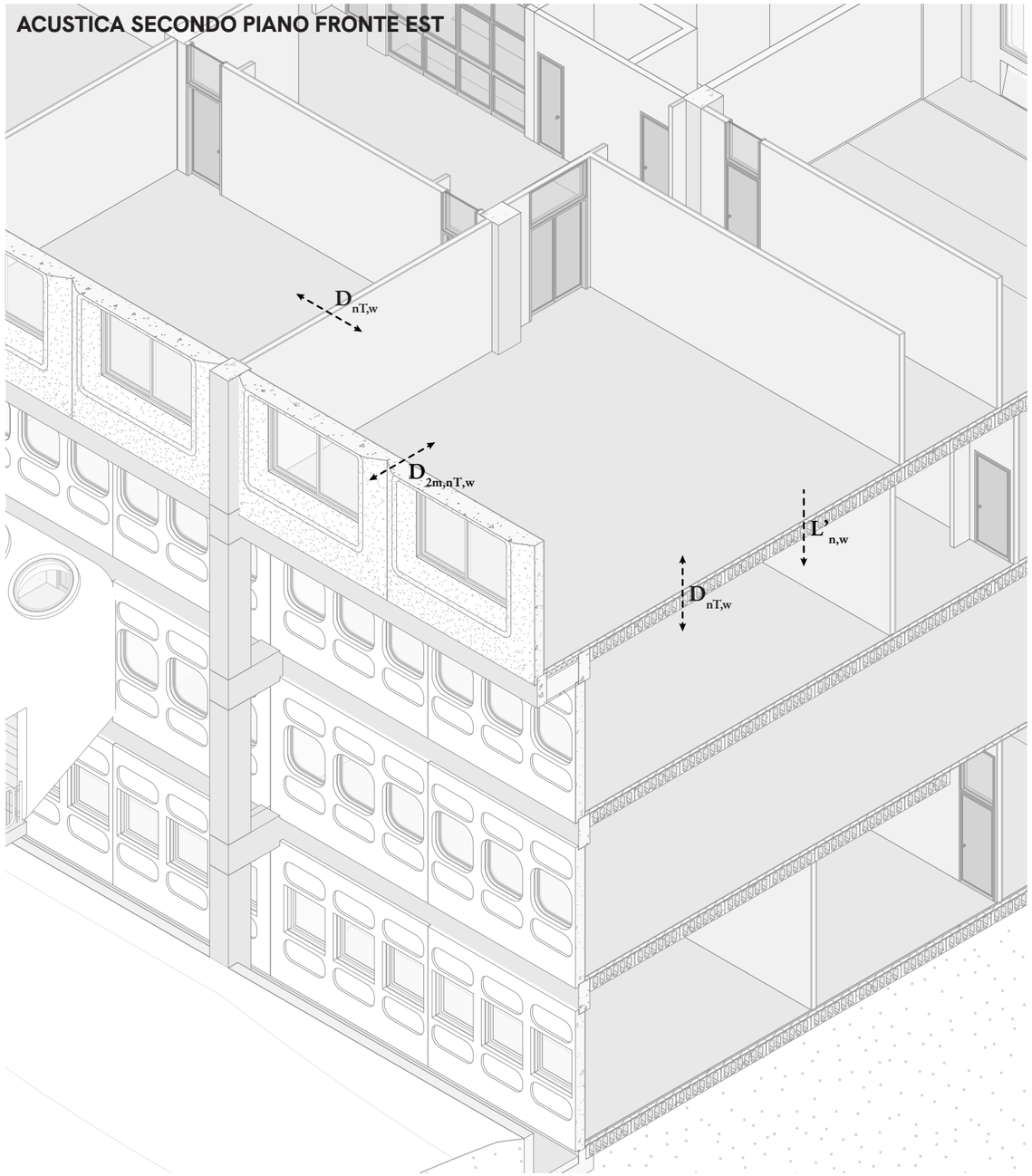
T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz
1,34s

C50 medio
-1,60

STI
0,47

NON VERIFICATO

ACUSTICA SECONDO PIANO FRONTE EST



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

Parete perimetrale	A = 27,66m²	$D_{2m,nT,w}$ = 38,6dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	NON VERIFICATO
	Rw = 49dB	R'w = 34,4dB	CAM 2017 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	
Serramenti	A = 2 * 3,93m²			
	Rw = 29dB			

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 = 18dB	R'w = 36,7dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
Locale ricevente	V = 227,1m³			
Incertezza	3,38dB			

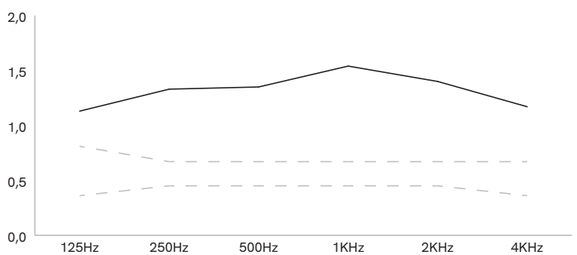
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Area divisorio	75,7m²	$D_{nT,w}$ = 53,0dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	NON VERIFICATO
Volume locale	227,1m³	R'w = 53,3dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
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	$L'_{n,w}$ = 75,5dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq$ 58 dB	NON VERIFICATO
Volume locale	227,1m³	$L'_{nT,w}$ = 66,7dB	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 (T - C50 - STI)



T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz
1,40s

C50 medio
-2,10

STI
0,48

NON CONFORME

STRATIGRAFIE E COMPORTAMENTO IGROTERMICO. 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.

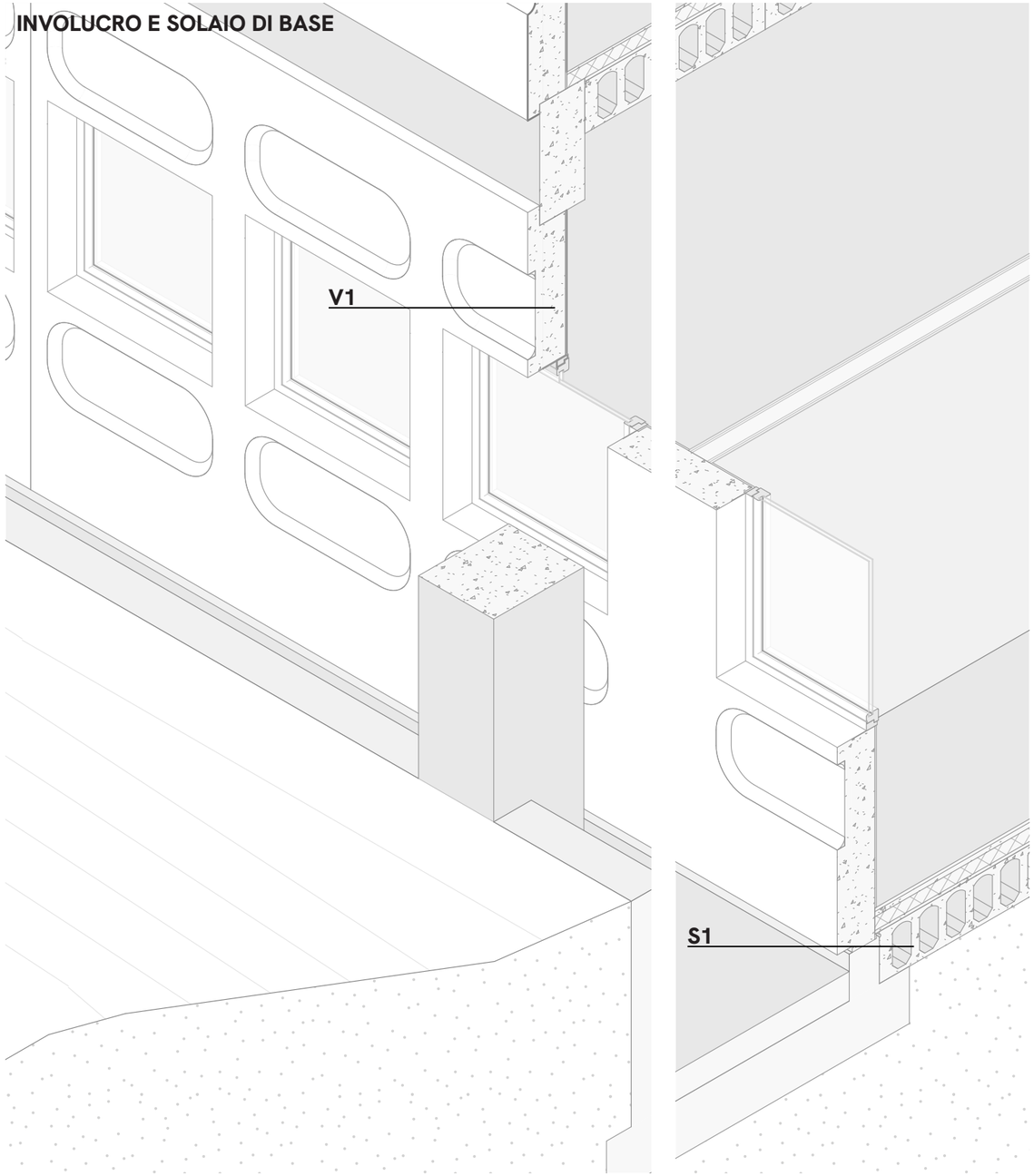
Le limitate caratteristiche di isolamento delle componenti opache esistenti determinano dispersioni termiche rilevanti durante la stagione invernale, alle quali si aggiunge il contributo dei serramenti esistenti, caratterizzati da prestazioni inferiori e obsolete rispetto agli standard attuali. Anche 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.





V1 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m³]	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/m²K	339,0 kg/m²	0,197 W/m²K	11 h 39’	0,23

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✗	✗

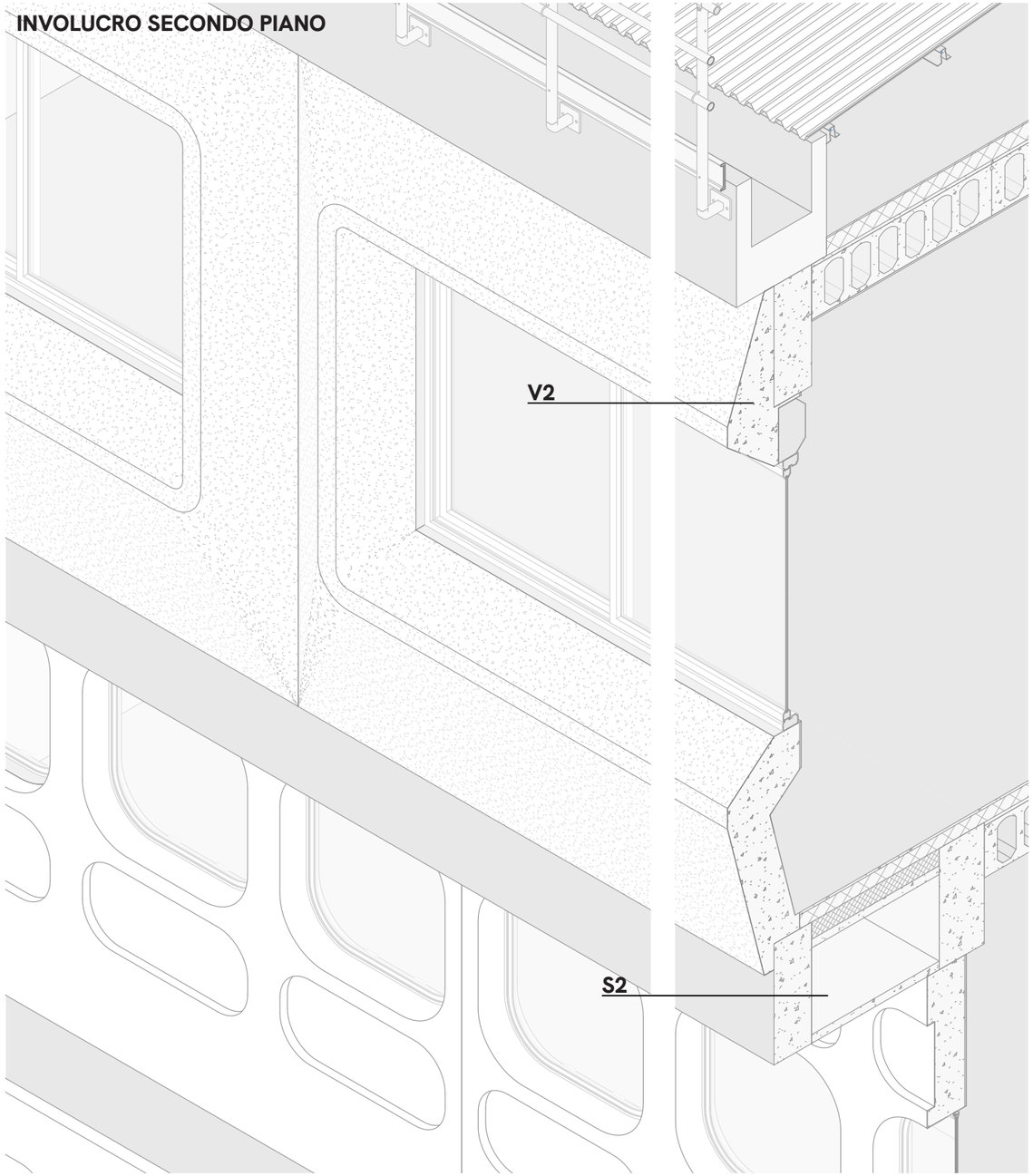
S1 - SOLAIO CONTROTERRA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m³]	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 mm²/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/m²K	302,0 kg/m²	0,193 W/m²K	9 h 50’	0,34

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

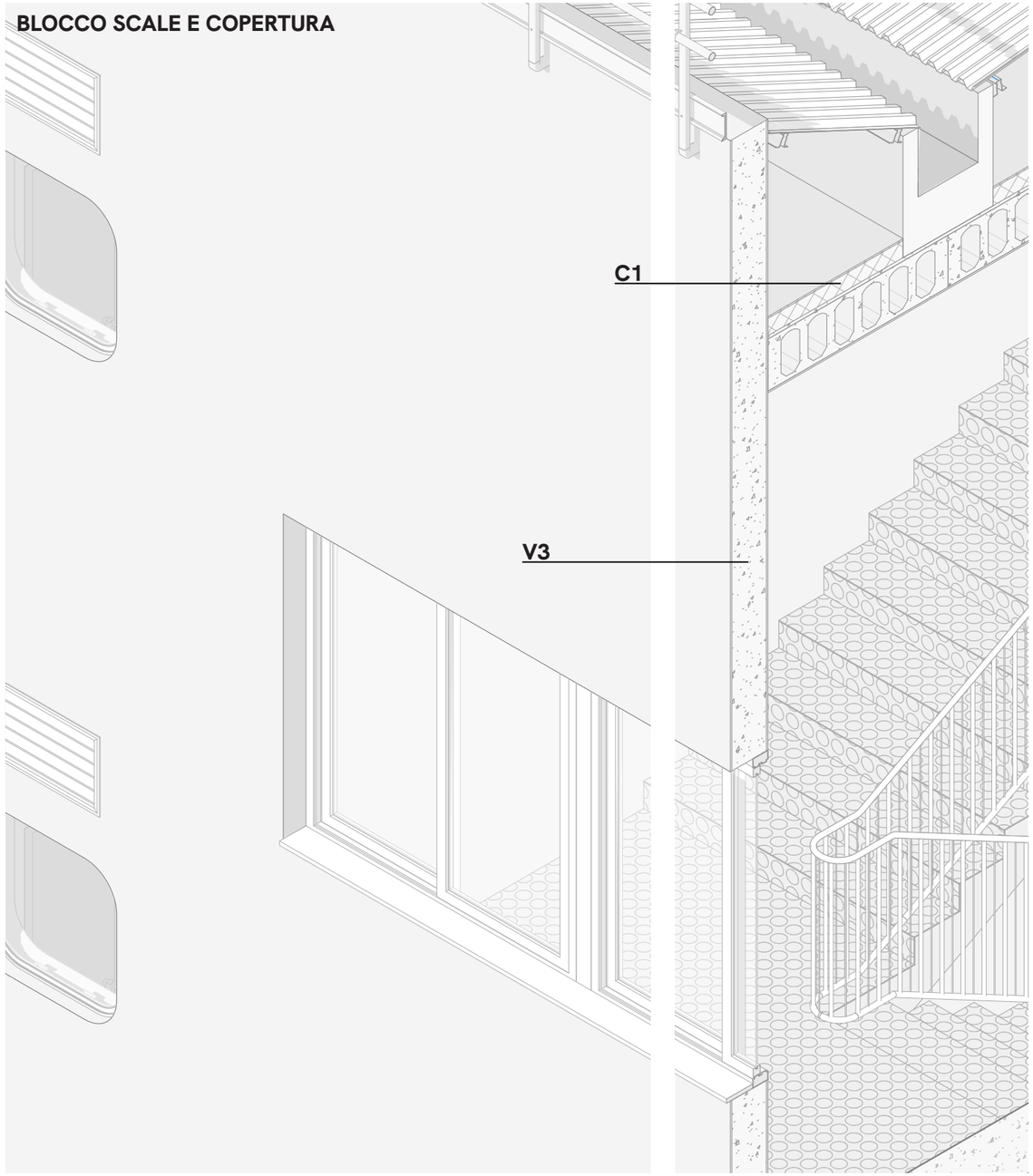
STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Pavimentazione in linoleum	0,20	1150	10000	1300	0,16
Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	8,00	2200	70	880	1,49
Sismicilma - Blocchi muratura portante no...	10,00	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
✓	✓	✓

BLOCCO SCALE E COPERTURA



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
✓	✗	✗

V3 - PARETE PERIMETRALE

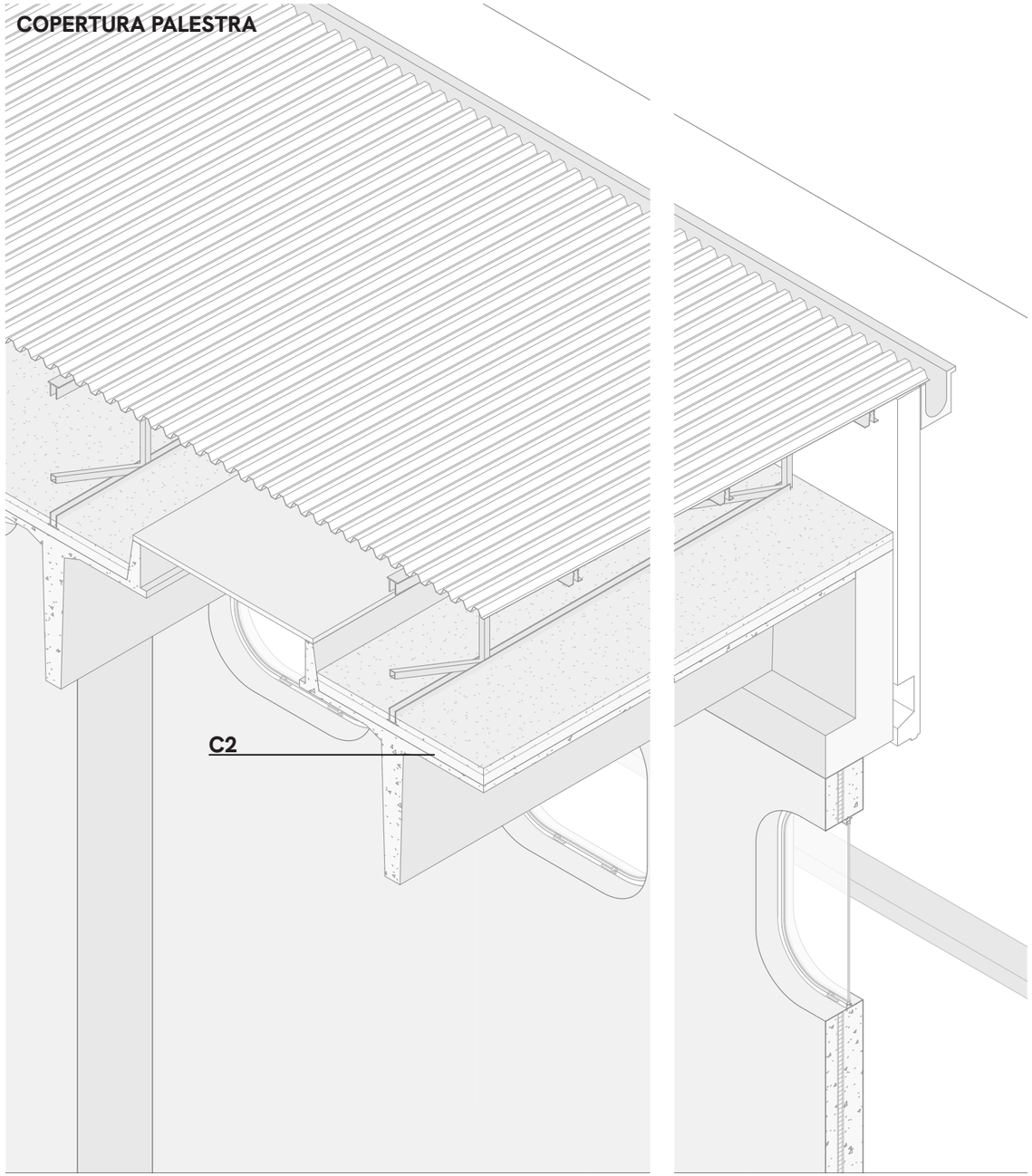
STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Intonaco di calce e gesso	1,00	1400	10	1000	0,700
C.l.s. sabbia e ghiaia	25,00	2000	96	1000	1,260
Intonaco plastico	1,00	1400	10	840	0,400
TOTALE	27,00				

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
✓	✗	✗

COPERTURA PALESTRA



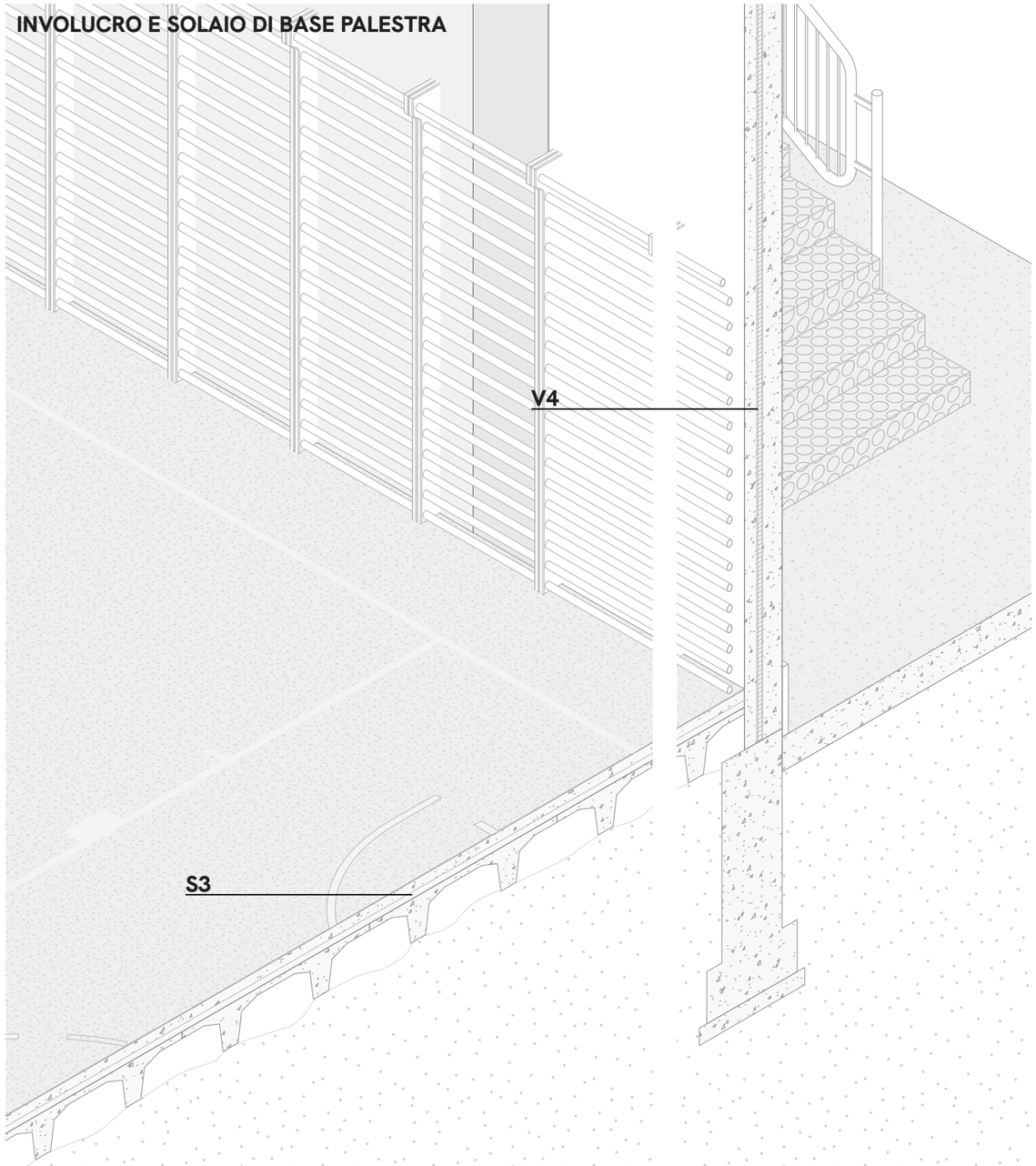
C2 - SOLAIO COPERTURA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
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
✓	✗	✗

FABBISOGNO ENERGETICO. 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.

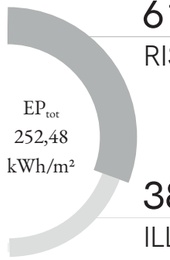
Le caratteristiche dell'involucro, il sistema impiantistico e i consumi analizzati, trovano sintesi nella classificazione energetica, basata sull'indice di prestazione energetica non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) l'indice di prestazione energetica rinnovabile ($EP_{gl,ren}$) e il consumi di CO2 per metro 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.

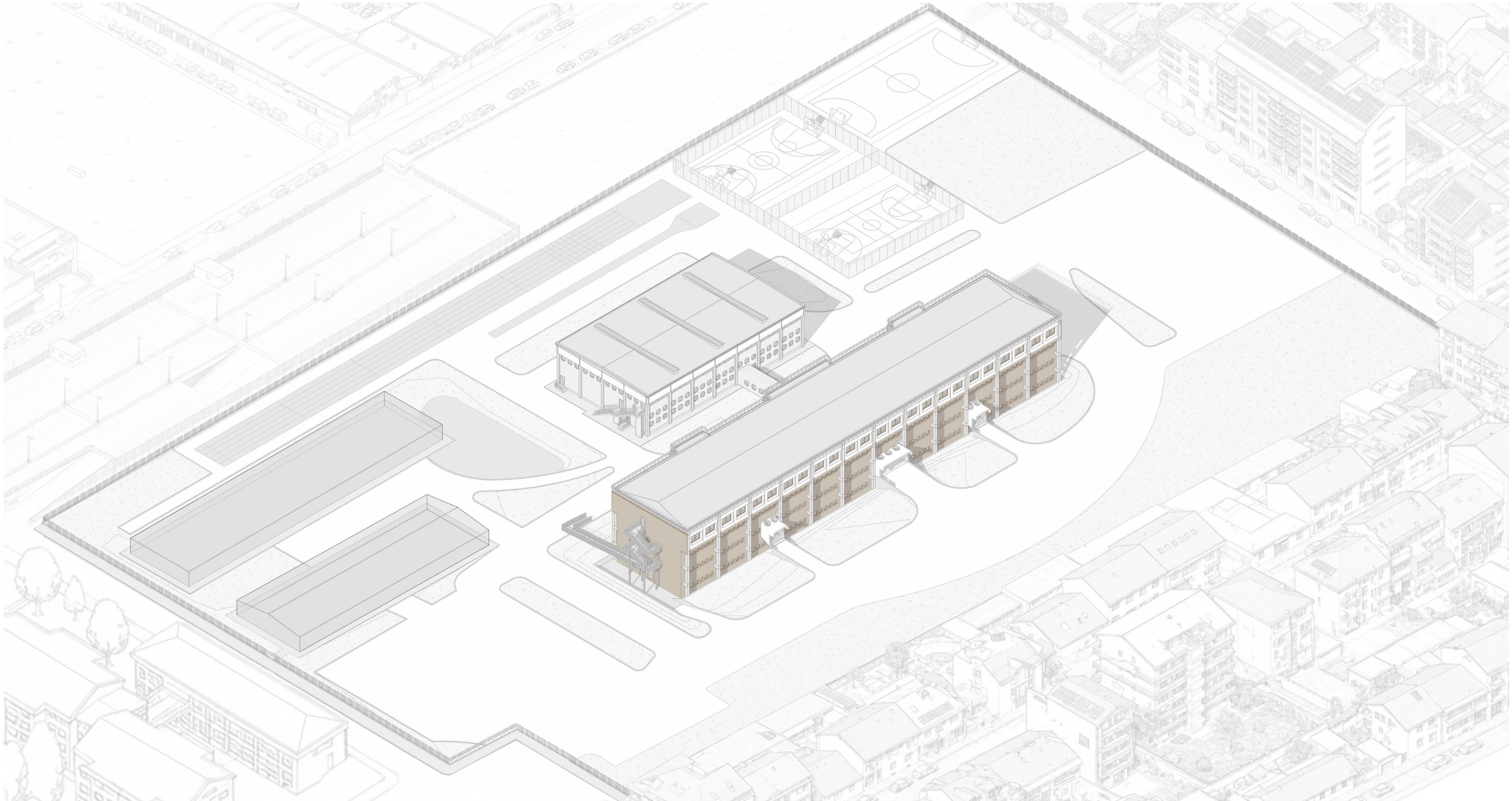
[1] Città Metropolitana di Torino, Dipartimento Edilizia scolastica, *Riqualificazione energetica del corpo aule - L.S. Carlo Cattaneo, Torino. MD.001 Quadro economico*, aprile 2022

[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 1. Il fronte Est dell'edificio.



Foto 2. 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 3. 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.



Foto 4. 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 5. 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 6. 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.

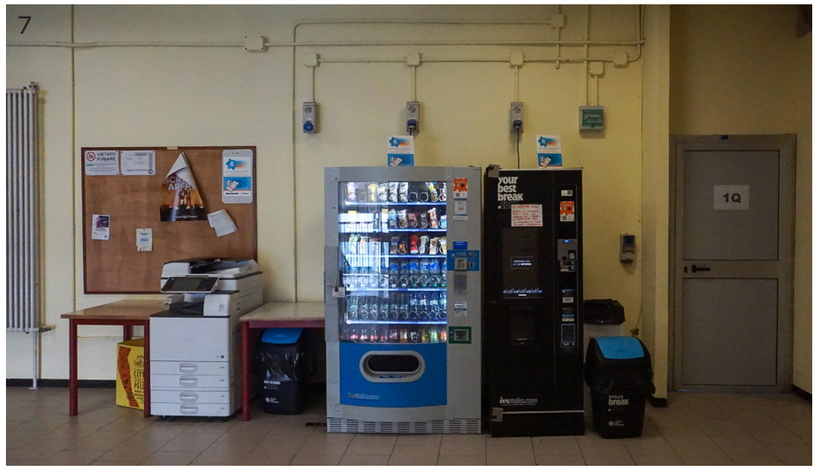


Foto 7. Area break al secondo piano: le numerose scatole di derivazione restituiscono la complessità e la ramificazione dell'impianto elettrico.

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

ABACO SERRAMENTI

Scala 1:50



F01



F02



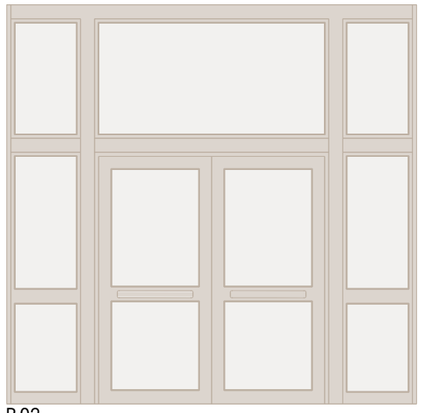
F03



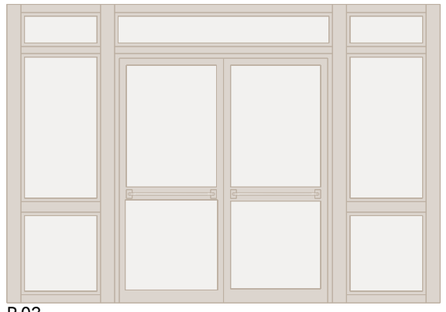
F04



P_f01



P_f02

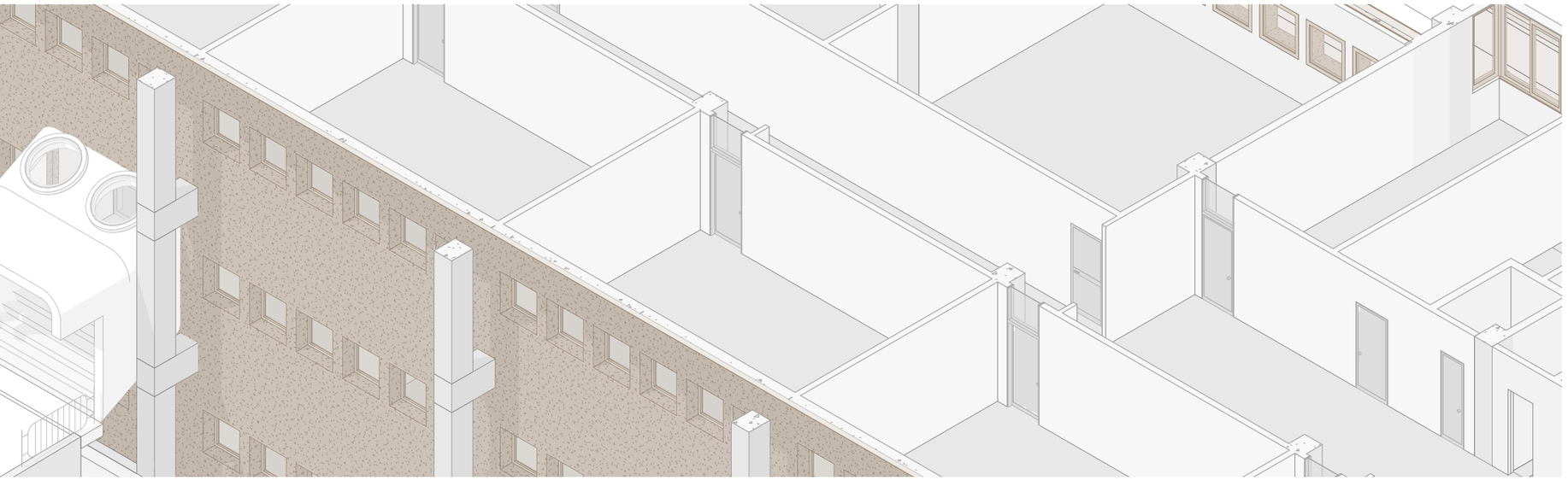


P_f03

	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	0,81	0,61	0,2	0,247	2,96	1,23	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036
\\ F03	3,86	3	0,85	0,22	9,84	1,18	—	0,52	—	0,837	1	1,4	0,036
\\ F04	8,55	6,08	2,47	0,289	24,04	1,22	—	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

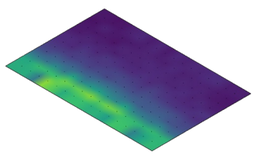
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	45,90	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	43,03	Finitura soffitto	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
Finestra - F01				0,74

Parametro	Valore
Superficie utile	45,90 m^2
Superficie vetrata	4,20 m^2
WFR	17,00%
Riflettanza media (ρ_m)	0,46

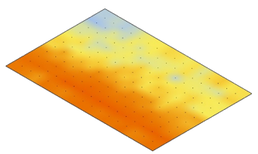
FDLm



1,7%

0% 5%

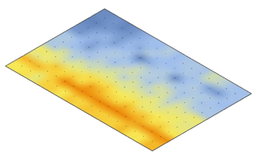
DA - Daylight autonomy 300lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**

0% 100%

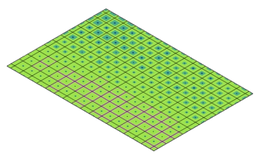
DA - Daylight autonomy 500lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**

0% 100%

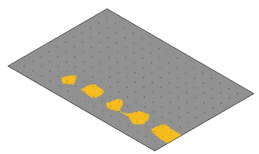
avg UDIA



65,9% del tempo

100 300 3000lux

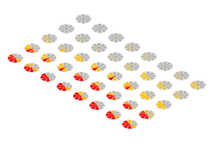
ASE $_{1000/250}$



8,5% dello spazio

0 250h >

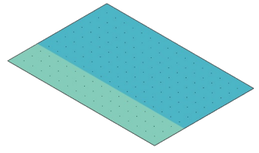
sDG



15,0% delle viste

0 %Disturbing 5

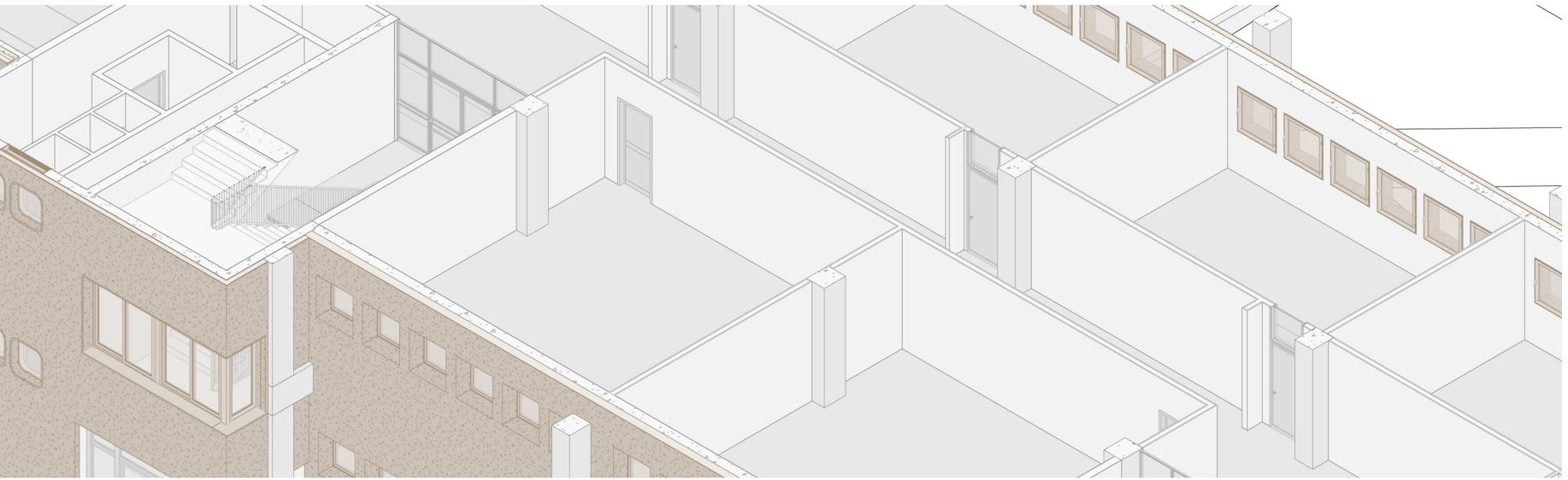
View Out Analysis $_{(EN\ 17037)}$



Alto 27,3%
Medio 72,7%

Neg. Min. Med. Alto

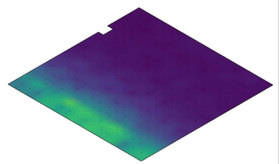
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA OVEST



Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	67,40	Linoleum	Grigio scuro	0,15
Soffitto	62,00	Finitura soffitto	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
Finestra - F01				0,74

Parametro	Valore
Superficie utile	67,40 m^2
Superficie vetrata	4,20 m^2
WFR	6,20%
Riflettanza media (ρ_m)	0,45

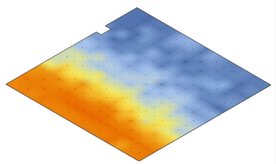
FDLm



1,0%

0% 5%

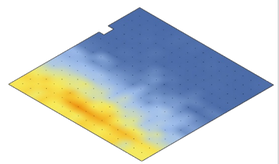
DA - Daylight autonomy 300lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **NON SUPERATO**

0% 100%

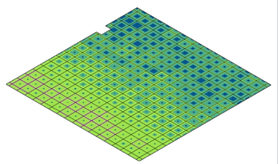
DA - Daylight autonomy 500lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **NON SUPERATO**

0% 100%

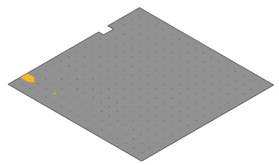
avg UDIA



69,3% del tempo

100 300 3000lux

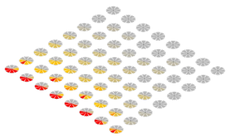
ASE $_{1000/250}$



1,2% dello spazio

0 250h >

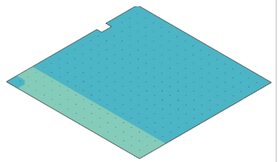
sDG



5,1% delle viste

0 %Disturbing 5

View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%

Neg. Min. Med. Alto

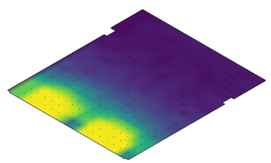
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



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
Finestra - F03				0,74

Parametro	Valore
Superficie utile	78,10 m²
Superficie vetrata	6,00 m²
WFR	7,70%
Riflettanza media (ρ_m)	0,44

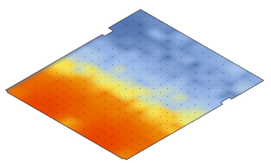
FDLm



1,8%

0% 5%

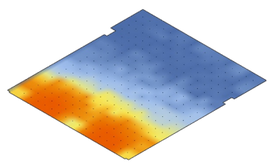
DA - Daylight autonomy 300lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**

0% 100%

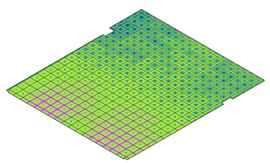
DA - Daylight autonomy 500lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MEDIO**

0% 100%

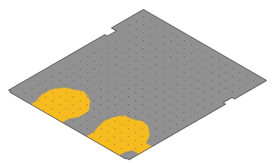
avg UDIA



53,2% del tempo

100 300 3000lux

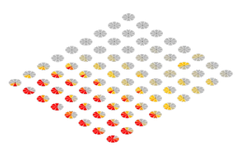
ASE 1000/250



16,7% dello spazio

0 250h >

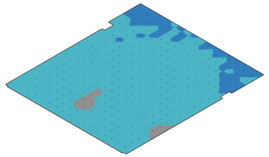
sDG



14,6% delle viste

0 %Disturbing 5

View Out Analysis (EN 17037)



Alto 54,5%
Medio 45,5%

Neg. Min. Med. Alto

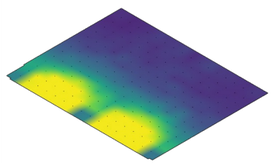
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST



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
Finestra - F03				0,74

PARAMETRO	VALORE
Superficie utile	54,72 m^2
Superficie vetrata	6,00 m^2
WFR	11,00%
Riflettanza media (ρ_m)	0,45

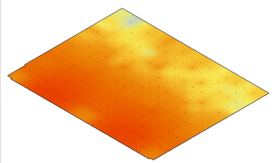
FDLm



2,5%



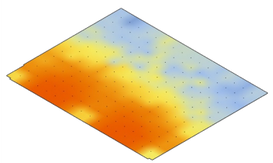
DA - Daylight autonomy 300lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MINIMO**



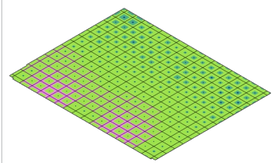
DA - Daylight autonomy 500lux



Daylight provision - (EN17037)
livello raggiunto: **MEDIO**



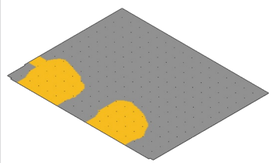
avg UDIA



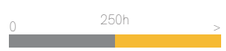
72,2% del tempo



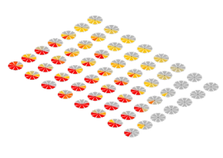
ASE $_{1000/250}$



18,7% dello spazio



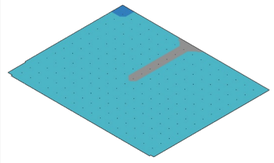
sDG



19,4% delle viste



View Out Analysis $_{(EN\ 17037)}$



Alto 54,5%
Medio 45,5%



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.

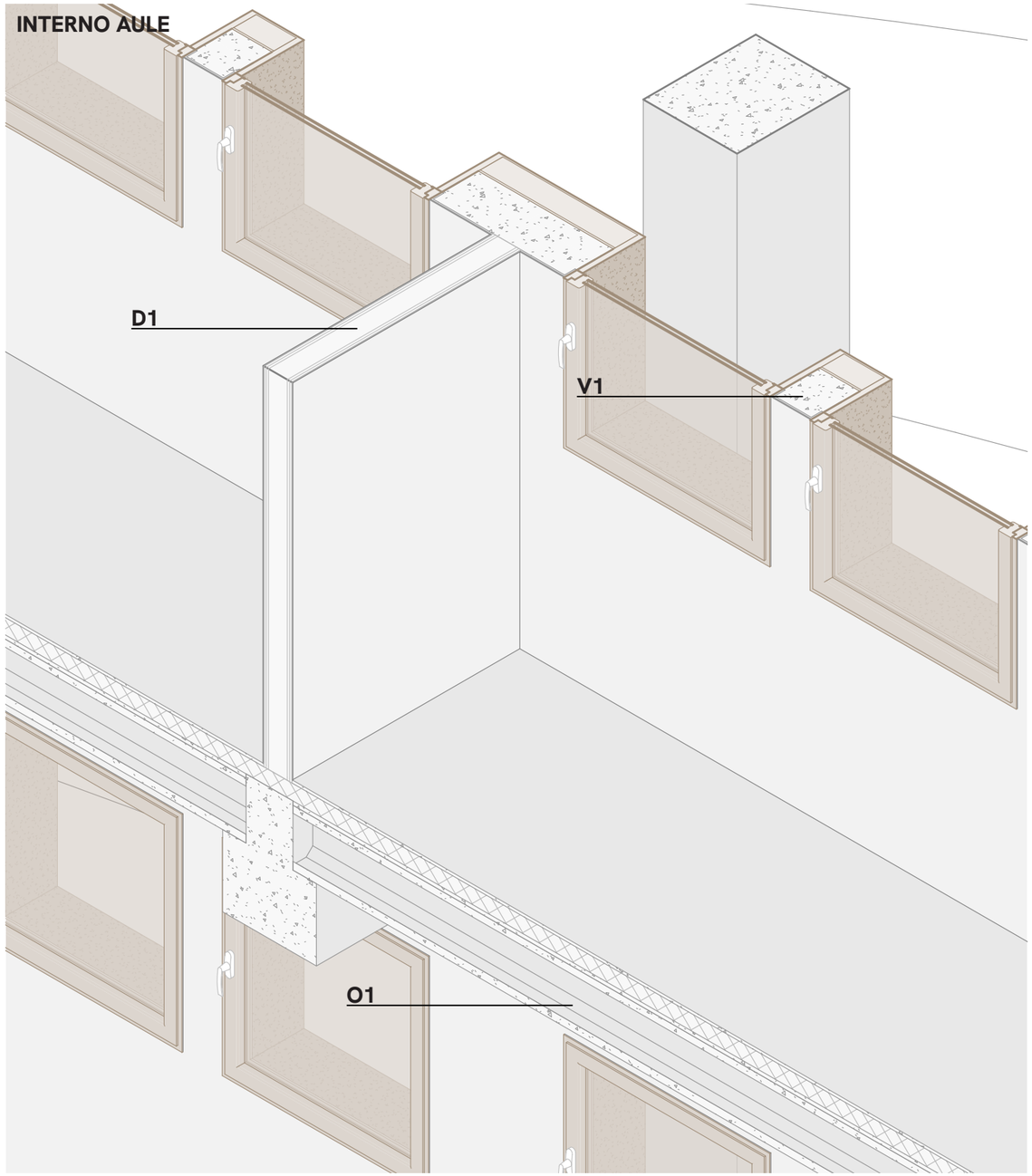
Un miglioramento più evidente riguarda invece l'isolamento nei confronti del rumore esterno. I nuovi serramenti, caratterizzati da migliori prestazioni di tenuta e da un potere fonoisolante dichiarato non inferiore a 45 dB, contribuiscono a limitare la trasmissione sonora attraverso la facciata. Tale 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.



Foto 9. Radiazione solare nelle ore pomeridiane in un'aula del primo piano orientata ad Ovest.



V1 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
	2,00	1 400	8,50
L	25,00	1 100	250,00
	2,00	1 800	9,00
F D 34	12,00	110	13,20
	0,50	1 400	7,00
TOTALE	41,50		359,2

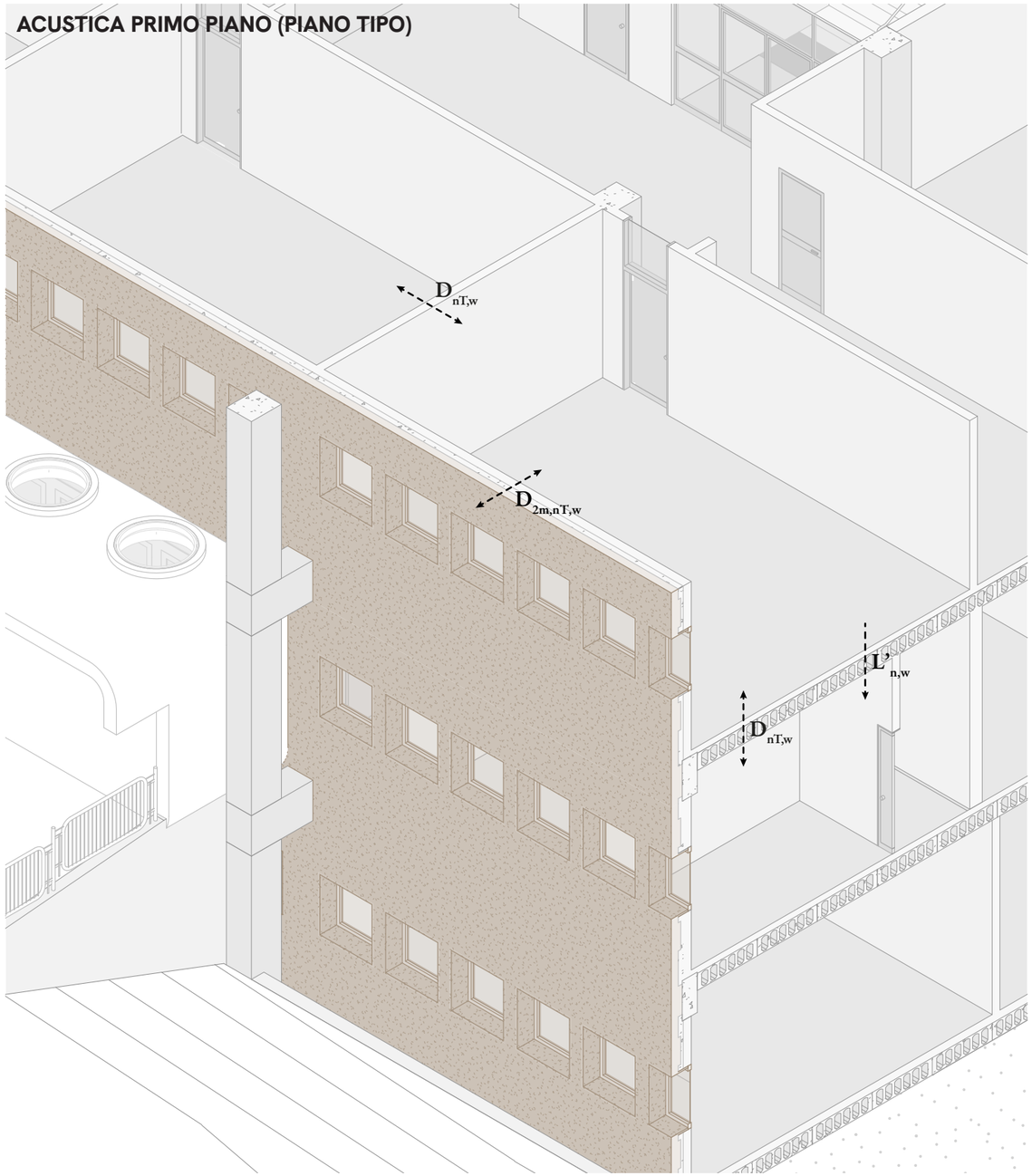
D1 - PARTIZIONE VERTICALE

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

ACUSTICA PRIMO PIANO (PIANO TIPO)



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

Parete perimetrale	A = 26,68m²	$D_{2m,nT,w}$ = 52,1	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			

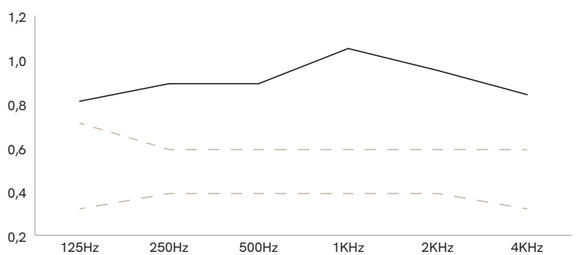
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

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 ($L'_{n,w}$ - $L'_{nT,w}$)

	45,9m²	$L'_{n,w}$ = 74,4dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq 58$ dB	NON VERIFICATO
	137,7m³	L'nT,w = 67,8dB	CAM 2017 $L'_{n,w} \leq 53$ dB	
$L_{,,0,}$	74,3dB			
ΔL	0dB			
ΔR	0dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (T - C50 - STI)



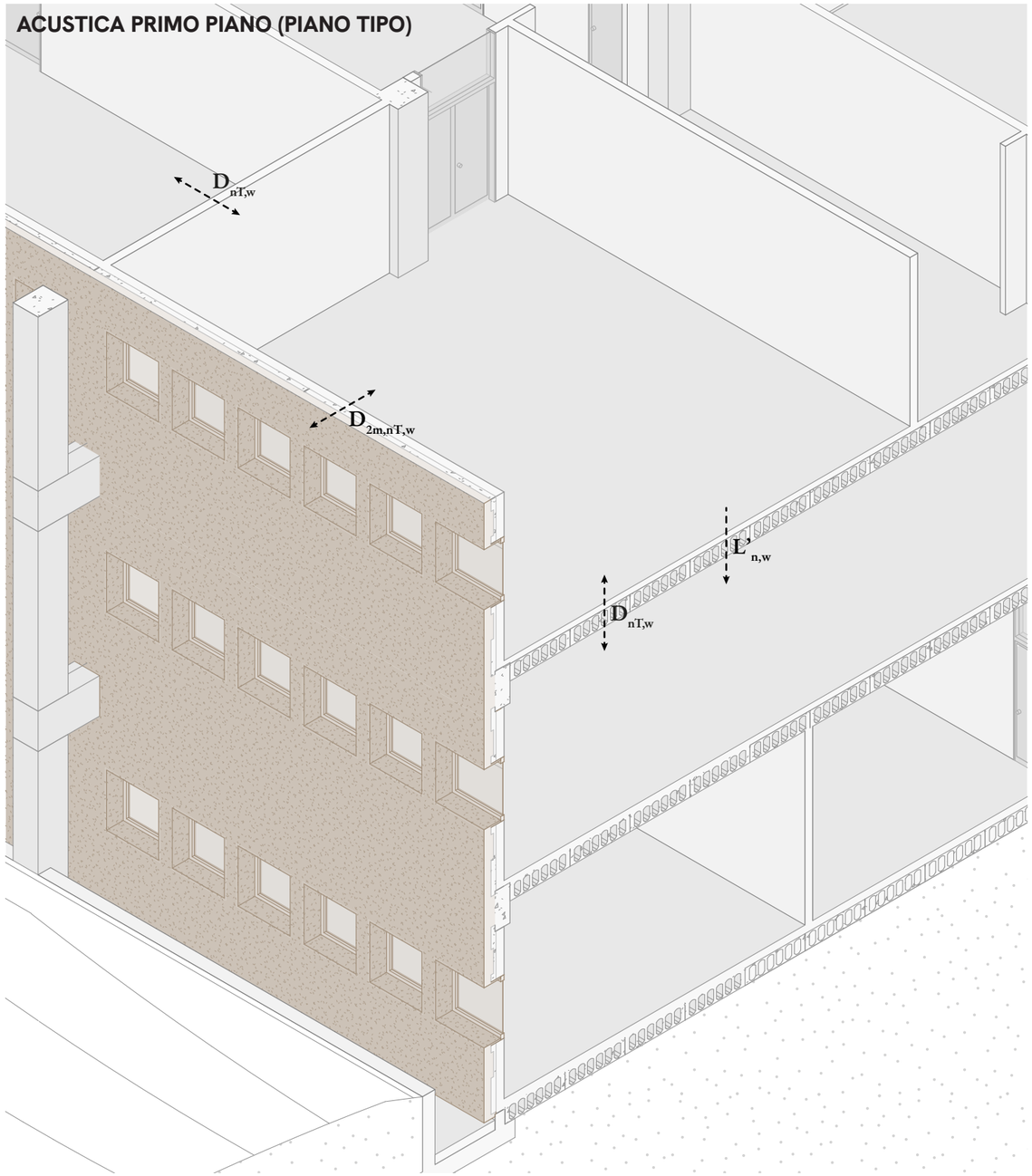
T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz
0,93s

C50 medio
0,40

STI
0,54

CONFORME

ACUSTICA PRIMO PIANO (PIANO TIPO)



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

Parete perimetrale	A = 27,93m²	$D_{2m,nT,w}$ = 53,9	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 * 1,13m²			
	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	R'w = 39,3dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq 55dB$	
Locale ricevente	V = 207,3m³			
Incertezza	3,35dB			

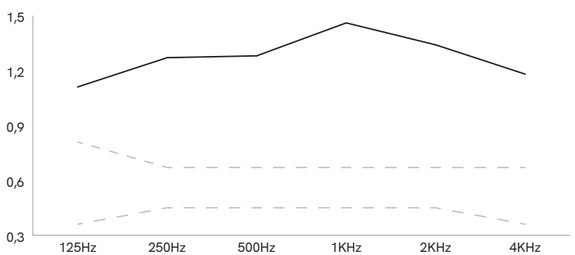
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

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 = 53,2dB	CAM 2017 $D_{nT,w} \geq 55dB$	NON VERIFICATO
R_w solaio base	54,1dB			
ΔR_w strati agg.	0dB			

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

	69,1m²	$L'_{n,w}$ = 74,6dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq 58$ dB	NON VERIFICATO
	207,3m³	L'nT,w = 66,2dB	CAM 2017 $L'_{n,w} \leq 53$ dB	
$L_{,,0,}$	74,3dB			
ΔL	0dB			
ΔR	0dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (T - C50 - STI)

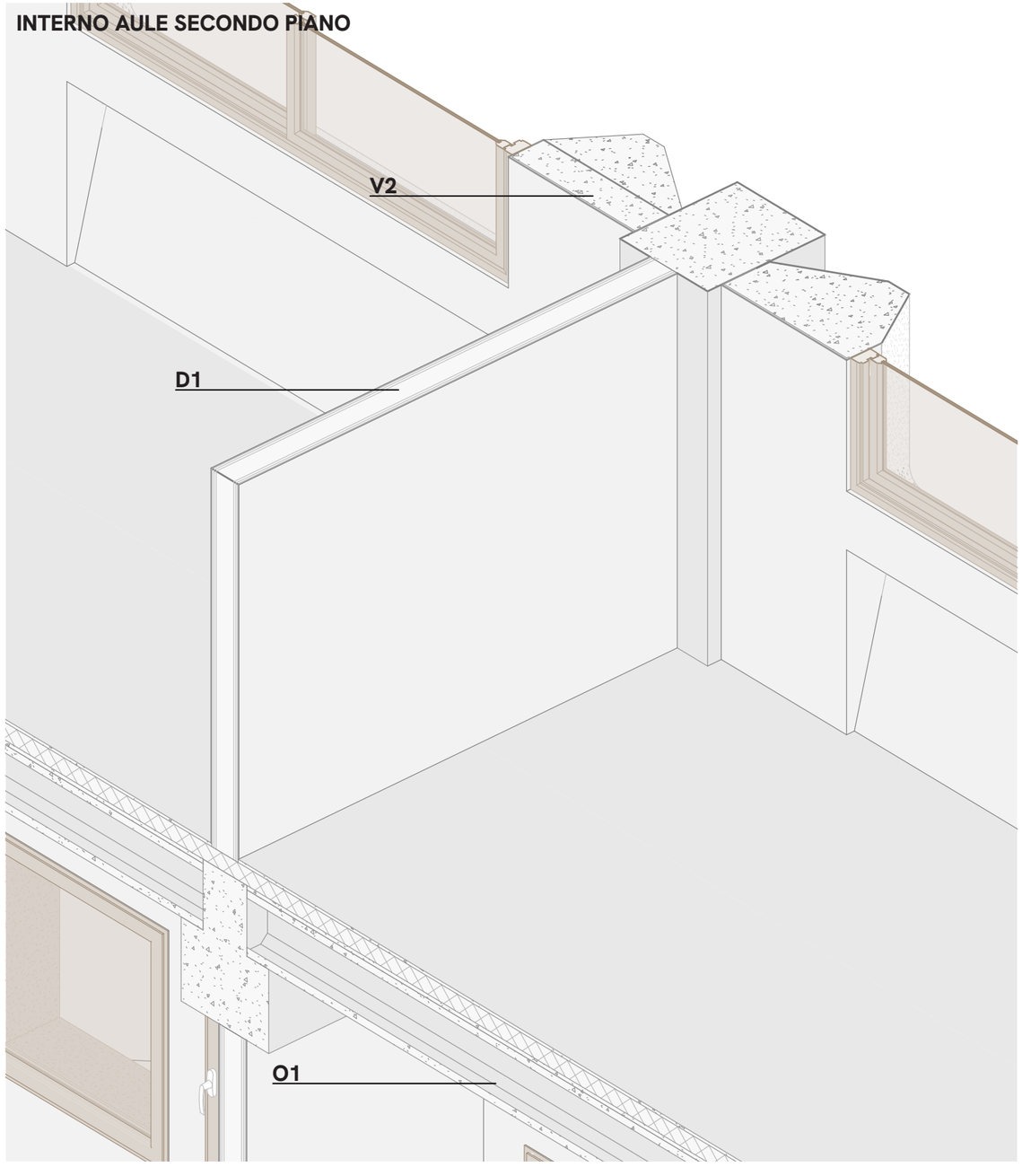


T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz
1,34s

C50 medio
-1,60

STI
0,47

CONFORME



V2 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
	2,00	1 400	8,50
L	25,00	1 100	250,00
	2,00	1 800	9,00
TOTALE	26,00		267,5

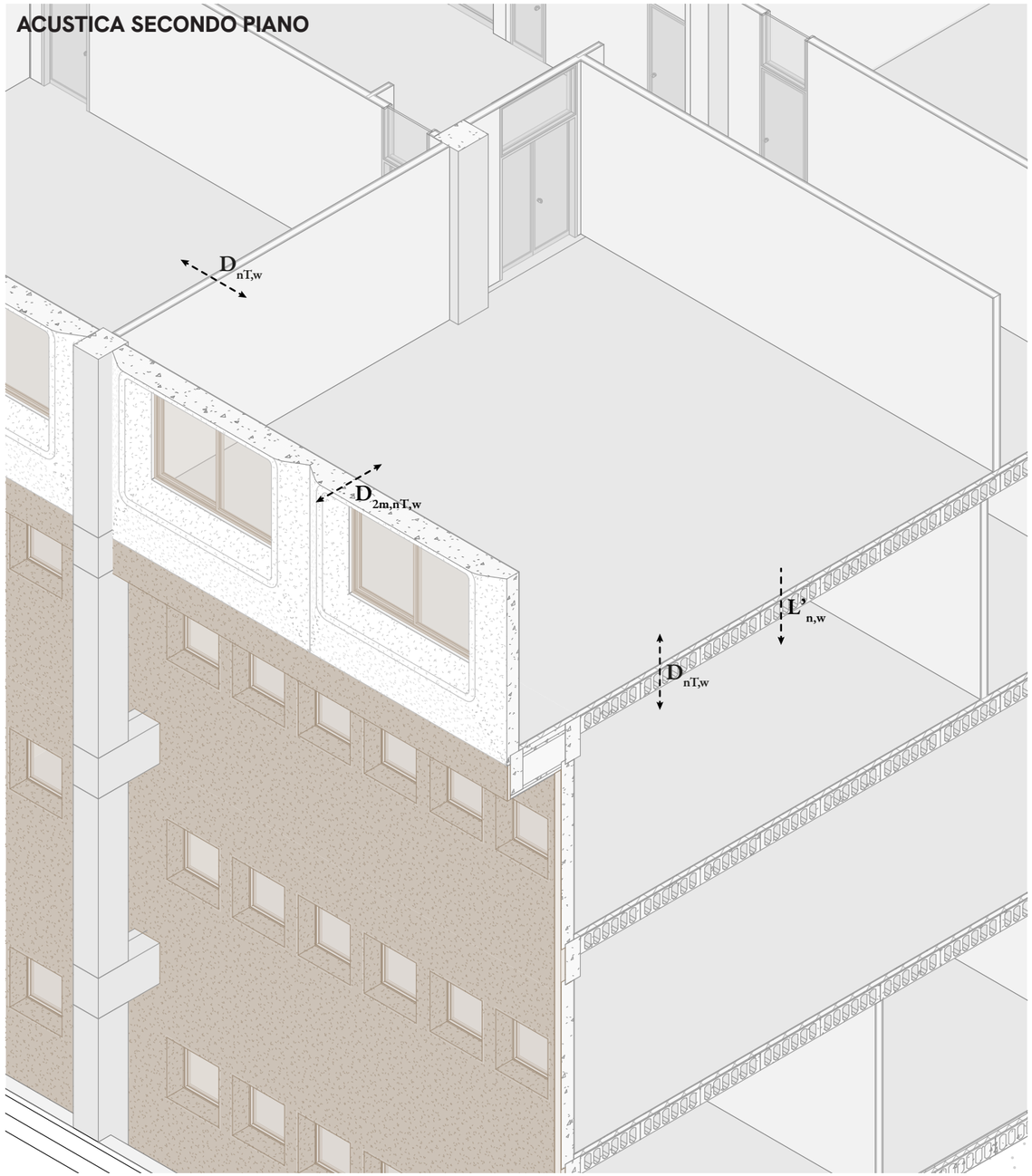
D1 - PARTIZIONE VERTICALE

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

ACUSTICA SECONDO PIANO



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

Parete perimetrale	A = 27,66m²	$D_{2m,nT,w}$ = 51,7	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			

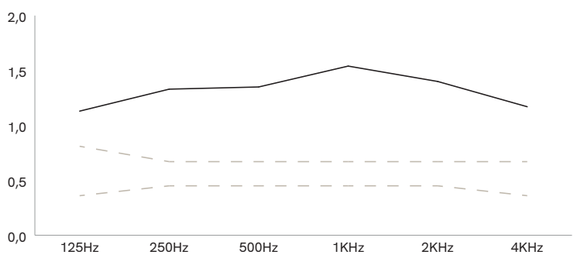
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

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 ($L'_{n,w}$ - $L'_{nT,w}$)

	75,7m²	$L'_{n,w}$ = 74,6dB	DPCM 5/12/97 $L'_{n,w} \leq 58$ dB	NON VERIFICATO
	227,1m³	$L'_{nT,w}$ = 65,8dB	CAM 2017 $L'_{n,w} \leq 53$ dB	
$L_{,,0,}$	74,3dB			
ΔL	0dB			
ΔR	0dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (T - C50 - STI)



T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz
1,38s

C50 medio
-2,00

STI
0,48

NON CONFORME

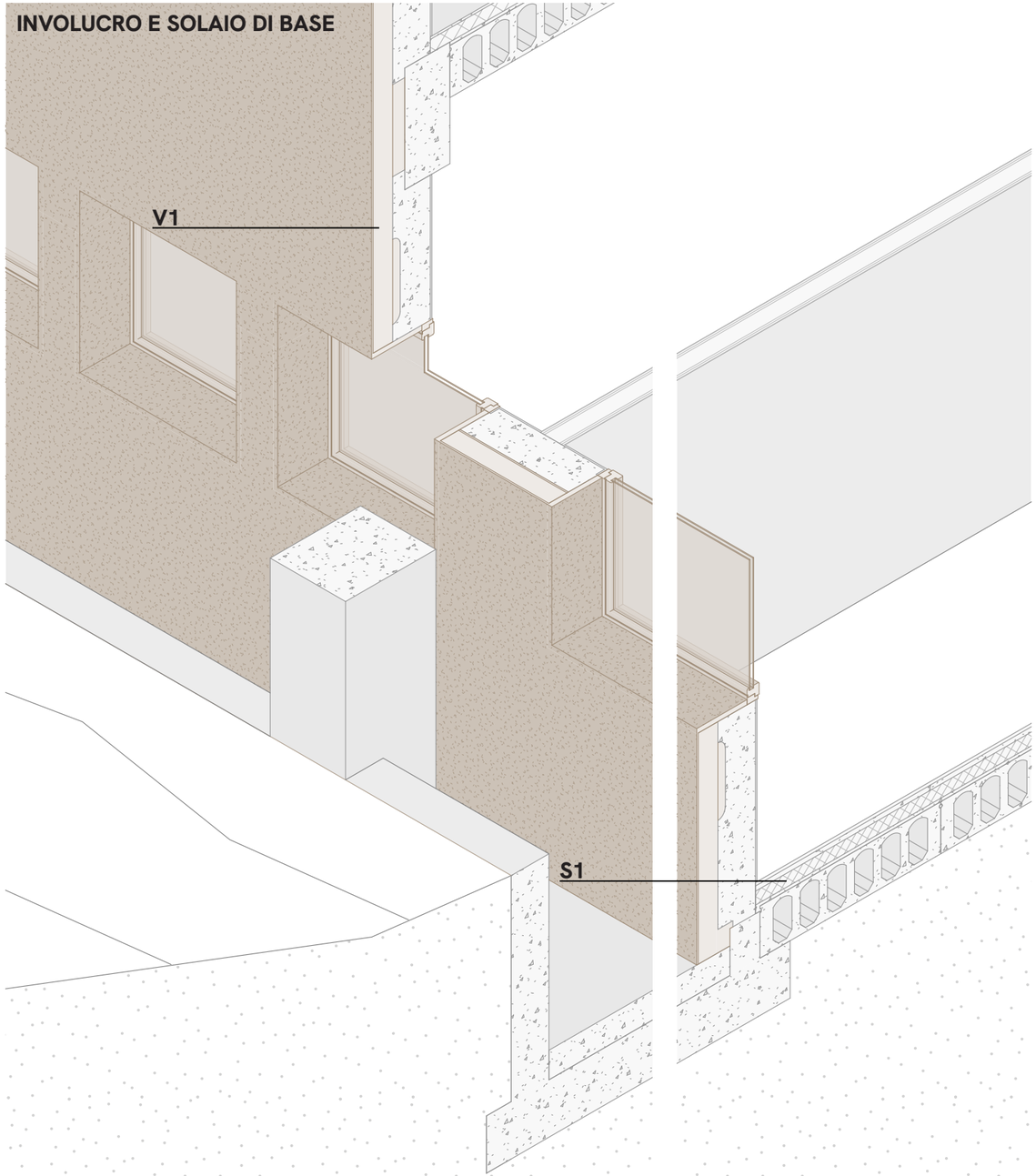


Foto 10. Aula del primo piano orientata a Est.

STRATIGRAFIE E COMPORTAMENTO IGROTERMICO. 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.



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]
	2,00	1 400	10	1 000	0,700
L	25,00	1 100	10	1 000	0,260
	2,00	1 800	22	1 000	0,900
F D 34	12,00	110	1	1 030	0,034
	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	
✓	✗	✗

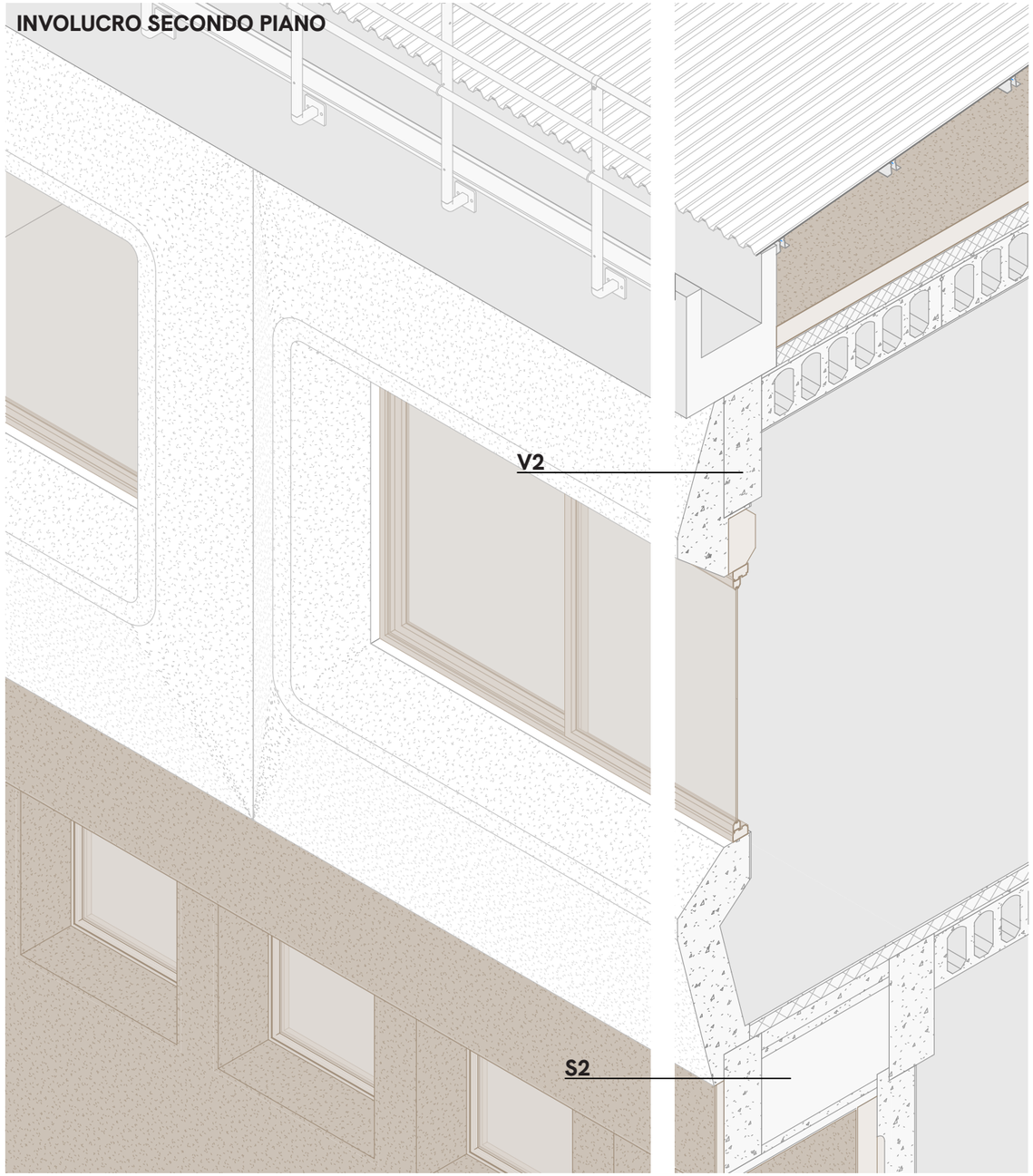
S1 - SOLAIO CONTROTERRA

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	
✓	✗	✗



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	
✓	✗	✗

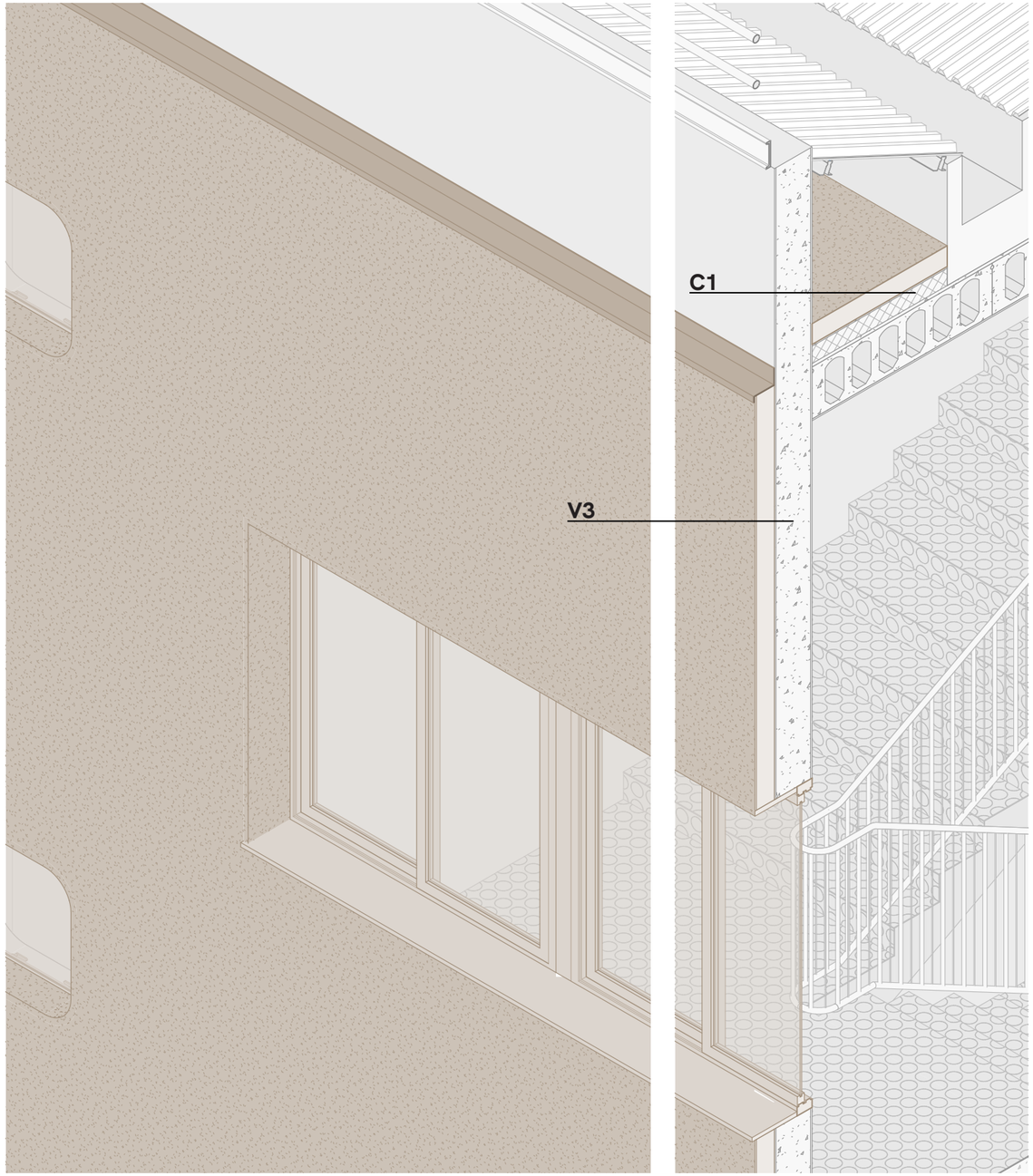
S2 - SOLAIO AGGETTANTE

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
F D 34	12,00	110	1	1 030	0,034
	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	
✓	✓	✓



C1 - SOLAIO COPERTURA

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m³]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
F D 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/m²K	563,0 kg/m²	0,004 W/m²K	19 h 00’	0,02

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	
✓	✗	✗

V1 - PARETE PERIMETRALE

STRATIGRAFIA	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m³]	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
F D 34	12,00	110	1	1 030	0,034
	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/m²K	337,0 kg/m²	0,020 W/m²K	14 h 40’	0,09

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	
✓	✗	✗

FABBISOGNO ENERGETICO. 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 11. 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.

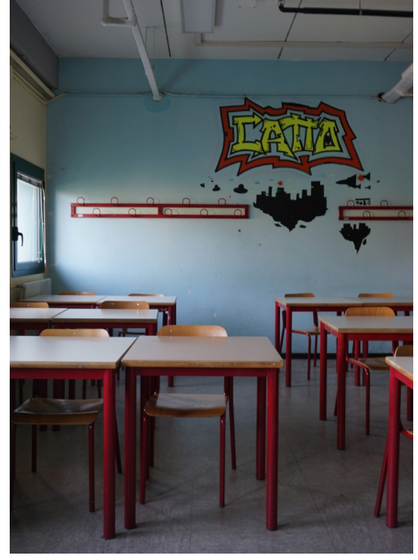
Il risultato generale dell'intervento è un edificio più efficiente e tecnicamente aggiornato sotto diversi aspetti, ma non necessariamente più capace di rispondere alle trasformazioni del modo di abitare e utilizzare la scuola, mostrando come una prestazione energetica positiva non coincida necessariamente 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.



Foto 12. 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.

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.





8

LICEO CARLO CATTANEO: IL PROGETTO

Questo capitolo presenta il progetto di tesi, illustrandone le principali scelte compositive, costruttive e impiantistiche. L'obiettivo è descrivere le strategie adottate per la riqualificazione e l'ampliamento del complesso scolastico, mettendo in relazione organizzazione degli spazi, involucro e prestazioni ambientali.

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 si pone 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 quindi 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 infatti evidenziato come la scuola presenti problematiche che non riguardano esclusivamente il comportamento energetico dell'edificio, ma anche il modo in cui gli spazi vengono utilizzati quotidianamente. Il modello aula-corridoio-aula offre spazi limitati per la socialità, lo studio informale, o altre attività 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 e rende meno riconoscibile l'identità unitaria dell'istituto. Un'ulteriore risorsa inespressa è rappresentata dalle potenzialità del lotto, che offre ampie superfici libere e aree verdi, che allo stato attuale sono tuttavia usate prevalentemente come parcheggio.

La strategia generale si fonda quindi sulla risposta a una molteplicità di esigenze: riqualificare dal punto di vista energetico e tecnico l'edificio esistente; 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; valorizzare gli spazi aperti. Il progetto non è quindi inteso come semplice incremento degli spazi, ma come occasione per un ripensamento complessivo della scuola, secondo una strategia in cui riqualificazione, ampliamento e valorizzazione determinano un nuovo modello di scuola più aperto, unitario e adattabile a diversi usi e utenze.

RIQUALIFICAZIONE. Dalle analisi condotte sullo stato di fatto è emerso come le prestazioni tecniche dell'edificio non risultino conformi agli attuali requisiti normativi e alle esigenze proprie di un edificio scolastico. Tali criticità hanno definito il grado e l'estensione degli interventi: la struttura portante in calcestruzzo armato viene conservata, mentre le componenti non strutturali, non più adeguate alle esigenze attuali, vengono sostituite e ripensate.
La scelta di mantenere la struttura implica quindi una trasformazione selettiva dell'edificio: i tamponamenti perimetrali e le partizioni interne vengono rimossi e sostituiti secondo nuovi requisiti presta-

zionali, intervenendo così sul comportamento termoigrometrico dell'involucro, sul controllo delle dispersioni e dei ponti termici e, di conseguenza, sul comfort interno e sull'efficienza energetica dell'edificio. La completa ridefinizione dell'involucro, della distribuzione interna e delle componenti tecniche permette quindi di adeguare il funzionamento della sede alle nuove esigenze della scuola e agli attuali requisiti normativi e impiantistici.
L'edificio esistente non è quindi considerato come un elemento da sostituire, ma come una risorsa da reinterpretare a partire dalla struttura portante e dalla sua maglia regolare. La conservazione del telaio in calcestruzzo armato permette infatti di mantenere riconoscibile la razionalità dell'impianto originario, utilizzandola come principio generatore sia della riqualificazione della manica esistente sia dell'ampliamento. Il nuovo edificio mantiene quindi la struttura e l'ordine dell'impianto originario, reinterpretandoli per costruire una scuola più articolata, flessibile e aperta, nella quale l'esistente costituisce la matrice di riferimento per la nuova configurazione del complesso.

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.

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.

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, concepiti principalmente per garantire la distribuzione e 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 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.

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 medesime aree di accesso e di sosta. In questa condizione, la sovrapposizione dei flussi riduce la leggibilità dello spazio di ingresso e può compromettere la sicurezza proprio nel momento di maggiore affluenza.
Nello stato di fatto, l'accesso alla scuola non costruisce una soglia urbana chiaramente riconoscibile e i percorsi pedonali tendono a sovrapporsi ai flussi carrabili e agli spazi destinati alla sosta. La lettura dei flussi evidenzia quindi la necessità di ridefinire il rapporto tra strada, spazio aperto ed edificio, organizzando in modo più chiaro i percorsi di avvicinamento e distinguendo i diversi utenti.
Il progetto assume quindi la chiarezza, la sicurezza e la continuità 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 della 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 di costruire una soglia più chiara tra città e scuola.

PARCO ABITATO. Il lotto della scuola rappresenta una grande risorsa spaziale per la quantità di aree libere e per la sua relazione con la strada pubblica. Nello stato attuale, tuttavia, queste superfici rimangono in gran parte spazi residuali attorno all'edificio, senza assumere un ruolo definito nella vita quotidiana della scuola.
Il progetto ribalta questa condizione, assumendo lo spazio aperto e la morfologia del suolo come elementi attivi della strategia insediativa. Il lotto non viene quindi considerato come semplice spazio disponibile intorno all'edificio, ma come una risorsa capace di costruire nuove relazioni tra scuola, spazio aperto e città, estendendo gli ambienti scolastici oltre i limiti dell'edificio.
In questa prospettiva, anche il dislivello tra la quota stradale e il piano terreno della scuola diventa una condizione progettuale anziché un ostacolo. La differenza di quota viene assorbita all'interno del disegno del lotto e contribuisce a definire una nuova modalità di avvicinamento all'edificio, nella quale il passaggio

dalla strada alla scuola avviene progressivamente attraverso lo spazio aperto.
La disponibilità di ampie aree libere consente inoltre di concepire l'ampliamento non come un volume autonomo, ma come parte di una trasformazione più ampia del sistema insediativo. La nuova costruzione diventa così occasione per dare forma e struttura a uno spazio oggi frammentario, costruendo un rapporto più integrato tra edificio, suolo e spazi aperti.
Il risultato è l'idea di un "parco abitato": uno spazio che non si limita a circondare la scuola, ma ne amplia le possibilità d'uso e ne accompagna l'esperienza quotidiana. Il parco diventa una parte della scuola stessa, un'estensione dei suoi ambienti e delle sue attività, capace di accogliere movimento, sosta, incontro e relazione e di costruire una nuova soglia tra la città e il complesso scolastico.





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, i rilievi presso l'edificio hanno 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 delle aree verdi 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 consentito di confrontare le esigenze individuate nella nostra lettura e analisi con l'esperienza diretta e 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 attuali non adatti a modalità didattiche diverse.

COMFORT PERCEPITO

PROBLEMI STRUTTURALI
69,1% nota crepe, infiltrazioni, problemi elettrici

IMPIANTI A VISTA
48,1% disturbanti per ragioni sia estetiche che funzionali

ACUSTICA
54,3% frequenti disturbi
38,3% pessima

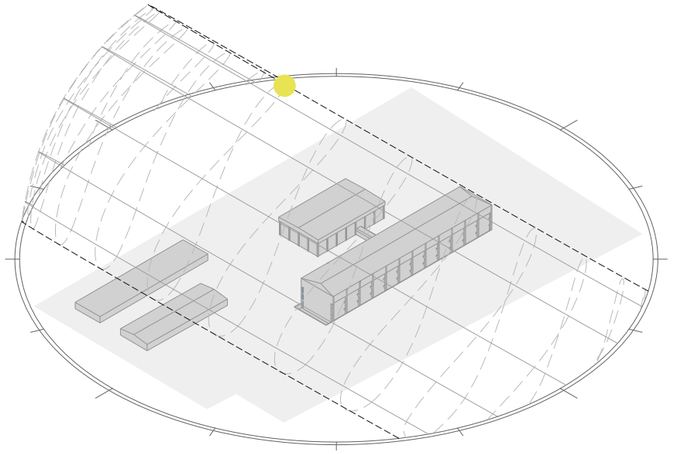
ILLUMINAZIONE NATURALE
35,8% la ritiene variabile o assente in base alla posizione dell'aula

NUOVI SPAZI

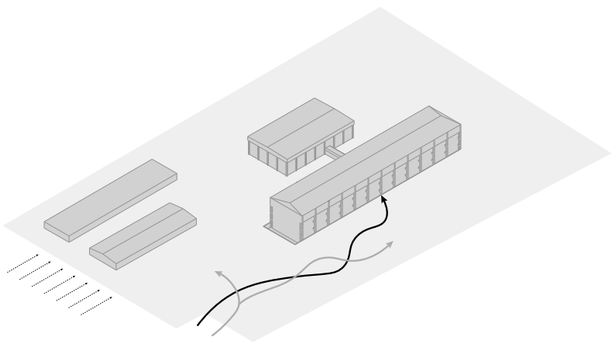
91,4% vorrebbe più spazi verdi

77,8% usufruirebbe della caffetteria

1. STUDIO SOLARE



2. FLUSSI



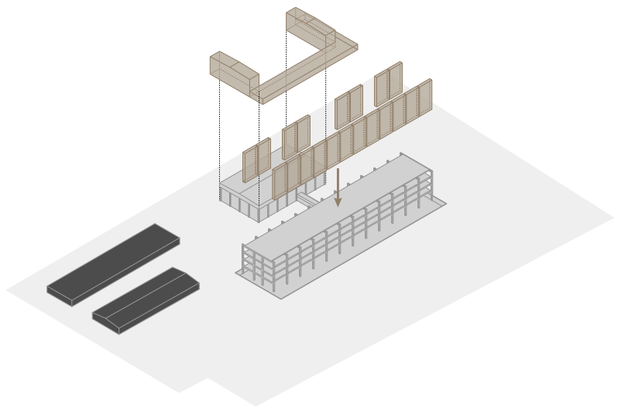
8.3 GLI STEP PROGETTUALI

Le esigenze individuate nella fase di analisi dello stato di fatto vengono tradotte in una sequenza di operazioni progettuali, attraverso le quali condizioni ambientali, funzionali, insediative e strutturali concorrono alla definizione della nuova configurazione del complesso.
Dalla lettura delle condizioni esistenti emergono infatti alcune direttrici progettuali: assumere l'orientamento e il percorso solare come criteri di progetto, riorganizzare i flussi, utilizzare il dislivello tra lotto e strada, qualificare le aree verdi e individuare una posizione dell'ampliamento capace di rafforzare il rapporto tra edificio, spazio aperto e contesto. Queste condizioni orientano quindi una serie di operazioni sulla struttura esistente, sulla nuova volumetria e sul rapporto tra edificio e spazio aperto.

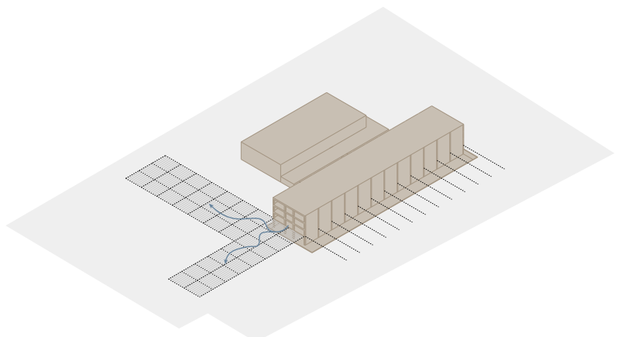
STUDIO SOLARE. Lo studio delle condizioni progettuali di partenza è iniziato dall'analisi dell'illuminazione naturale dell'edificio, con l'obiettivo di valutare il comportamento delle diverse facciate della manica esistente e di simulare le ombre di diverse configurazioni volumetriche del nuovo ampliamento. 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.
Lo studio dell'orientamento e dell'andamento della radiazione solare ha quindi assunto un ruolo attivo nella definizione del progetto, mettendo in relazione la configurazione volumetrica dell'ampliamento con le condizioni di luce degli ambienti interni e degli spazi esterni. La diversa esposizione dei fronti ha infatti permesso di individuare condizioni di maggiore o minore esposizione alla radiazione diretta, orientando sia le scelte relative al nuovo volume sia la distribuzione delle diverse funzioni all'interno dell'edificio.
All'esterno l'analisi ha permesso di valutare il comportamento delle ombre proiettate dai volumi sul lotto, mettendo in relazione la configurazione dell'ampliamento con gli spazi aperti e le loro possibilità d'uso. La forma e la posizione del nuovo edificio sono state quindi definite anche in funzione dell'equilibrio tra esposizione, ombreggiamento e qualità degli spazi esterni, evitando che l'ampliamento producesse condizioni di illuminamento sfavorevoli sulla manica esistente e sul nuovo sistema del parco.
All'interno, questa lettura ha invece contribuito a distinguere le esigenze degli ambienti in relazione al tempo e alle modalità di permanenza: gli spazi destinati alla didattica e alle attività prolungate richiedono condizioni di illuminazione naturale più controllate e omogenee, mentre gli ambienti collettivi, gli ingressi e gli spazi distributivi possono assumere una maggiore variabilità luminosa e svolgere un ruolo di mediazione tra le diverse condizioni dell'edificio e il suo rapporto con l'esterno.
L'analisi ha infine guidato la definizione dei sistemi di schermatura delle facciate, calibrati in relazione alle diverse esposizioni e alle specifiche esigenze degli ambienti interni. Lo studio solare diventa così uno strumento trasversale al progetto: dalla scala urbana e volumetrica fino alla configurazione degli ambienti e al disegno delle facciate, mettendo in relazione comfort interno, qualità dello spazio aperto e rapporto tra i due corpi edilizi.

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. La lettura di queste dinamiche ha permesso di riconoscere una gerarchia tra i diversi sistemi di accesso e di individuare le principali relazioni tra strada, spazio aperto ed edificio, al fine di definire la posizione dei nuovi accessi per i diversi utenti previsti dal progetto.
La presenza di funzioni aperte anche a utenti esterni ha infatti reso necessario studiare una ancora 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.
La gerarchia riconosciuta nella lettura dei flussi viene quindi tradotta nel progetto in un sistema di accessi più chiaro e leggibile, con percorsi principali che accompagnano gli utenti verso l'edificio e secondari o di servizio che rispondono alle esigenze specifiche dei diversi utilizzatori.
Questa organizzazione assume particolare importanza in relazione alle funzioni collettive collocate al piano terreno, come la biblioteca, la caffetteria e il teatro-auditorium, che sono accessibili da utenti esterni alla comunità scolastica grazie a specifici ingressi dall'esterno, senza attraversare gli spazi scolastici. È così possibile aprire alcune parti del complesso a usi e utenti differenti, mantenendo separati i percorsi e gli ambiti destinati alla quotidiana attività didattica.
Il sistema dei flussi diventa così uno strumento per rendere graduale l'accessibilità dell'edificio, dalla dimensione più pub-

3. RIQUALIFICAZIONE



4. MODULO DI PROGETTO

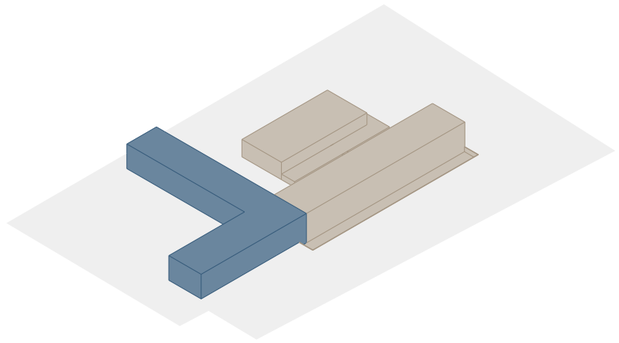


blica degli spazi collettivi e del rapporto con il quartiere fino agli ambiti maggiormente riservati alla comunità scolastica. La separazione dei percorsi non produce quindi una semplice divisione tra utenti, ma permette di articolare diversi livelli di apertura e di utilizzo del complesso.
Il raccordo con il contesto avviene quindi attraverso la ridefinizione della soglia di ingresso e la trasformazione dello spazio aperto in un sistema verde accessibile e attrezzato, organizzato mediante percorsi pedonali e carrabili capaci di separare i flussi delle diverse utenze scolastiche.

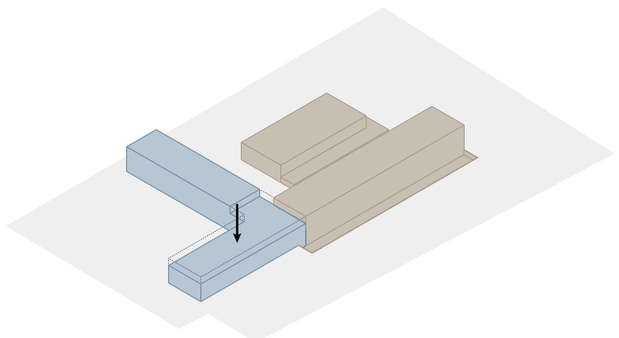
RIQUALIFICAZIONE. La risoluzione delle condizioni tecniche ed energetiche dell'edificio esistente ha costituito la prima azione progettuale, attraverso la quale migliorare le prestazioni dell'edificio conservando allo stesso tempo il telaio strutturale che ne costituisce la matrice.
La riqualificazione viene però affrontata come occasione per intervenire anche sulla qualità spaziale e architettonica della sede esistente, riorganizzando gli interni con l'obiettivo di ampliare le aule e trasformando i corridoi da semplici spazi distributivi in luoghi di socialità.
La trasformazione riguarda quindi il rapporto tra struttura, spazi interni e involucro, attraverso la sostituzione e il ripensamento dei tamponamenti esterni e le partizioni interne. Il nuovo involucro esterno viene collocato oltre il filo della struttura esistente, traslando il piano della facciata verso l'esterno, consentendo così di aumentare la dimensione delle aule. Questa soluzione realizza un involucro continuo integrato con la struttura e con i solai esistenti, la cui facciata non è concepita come semplice rivestimento, ma bensì come parte integrante della trasformazione dell'edificio, capace di intervenire contemporaneamente sulle prestazioni dell'involucro, sulla qualità degli ambienti interni e sull'immagine complessiva della scuola.
Questa nuova configurazione ha permesso inoltre di ripensare dimensione, posizione e rapporto delle aperture, al fine di aumentare la disponibilità di luce naturale e rafforzare la relazione visiva tra le aule e gli spazi esterni. Il sistema di schermatura completa questa strategia, relazionando le diverse esposizioni dell'edificio con le esigenze di comfort e controllo dell'irraggiamento.
Lo stesso principio di trasformazione selettiva viene applicato anche alla palestra: la struttura originaria viene mantenuta e assunta come riferimento per l'ampliamento, che ne riprende il passo strutturale e si sviluppa in continuità con l'impianto esistente. A differenza del corpo aule, le murature esistenti vengono conservate e migliorate nelle loro prestazioni energetiche mediante la realizzazione di uno strato di isolamento, mentre le nuove chiusure dell'ampliamento sono progettate secondo gli stessi requisiti prestazionali adottati per il nuovo involucro della scuola. L'intervento sulla palestra riguarda inoltre la sua capacità di accogliere le attività scolastiche: le attuali dimensioni e la dotazione dei servizi igienici limitano infatti la possibilità di utilizzarla contemporaneamente per più classi. L'ampliamento permette di incrementare la superficie disponibile e di integrare i servizi necessari, consentendo di accogliere più classi nello stesso momento e superando l'attuale utilizzo a turni.
La riqualificazione diventa così un intervento che agisce sulla qualità complessiva dell'edificio, mettendo in relazione prestazioni, spazi interni e immagine architettonica. Il mantenimento della struttura esistente non implica la conservazione della configurazione attuale, ma costituisce la condizione a partire dalla quale costruire un involucro e un'organizzazione spaziale rinnovati.

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. In questo modo, la struttura esistente non viene trattata come un oggetto concluso, ma come una struttura aperta a ulteriori sviluppi: la sua maglia ordina sia la riqualificazione della sede attuale sia la successiva generazione dell'ampliamento. Aule, spazi collettivi, ambienti di servizio e grandi volumi sono così organizzati all'interno di un sistema comune, nel quale la regolarità strutturale consente di controllare dimensioni, proporzioni e relazioni tra le diverse parti del nuovo complesso.
Questa impostazione riguarda innanzitutto la trasformazione della manica esistente. L'intervento prevede la rimozione dei tamponamenti perimetrali e delle principali partizioni interne, mantenendo la struttura portante in calcestruzzo armato. Lo "spogliamento" dell'edificio viene inteso come un'azione selettiva, che conserva gli elementi capaci di ordinare il progetto e rimuove quelli che ne limitano la riorganizzazione spaziale e il miglioramento dell'involucro. In questo modo la struttura torna a essere leggibile come il sistema ordinatore a partire dal quale ripensare gli spazi della sede esistente.
La maglia ordinatrice della struttura esi-

5. AMPLIAMENTO



6. CONTROLLO DELLE ALTEZZE

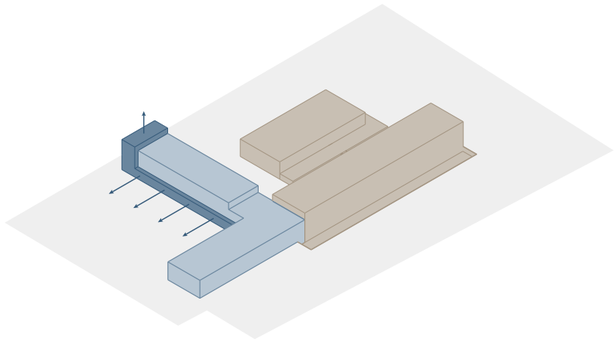


stente definisce quindi le direttrici di sviluppo dell'ampliamento. Il nuovo corpo non viene concepito come un volume autonomo accostato alla scuola, ma come una prosecuzione critica della logica già presente nell'edificio originario: proporzioni, allineamenti e scansioni vengono reinterpretati in funzione delle nuove esigenze spaziali e distributive. La continuità con l'edificio esistente non coincide quindi con la ripetizione della sua forma, ma con la reinterpretazione della sua struttura come principio generatore del nuovo intervento.
La struttura conservata diventa così non solo un elemento da mantenere, ma il dispositivo attraverso cui costruire la trasformazione dell'intero complesso, permettendo di conservare l'ordine originario e, al tempo stesso, di superarne gli aspetti più rigidi. 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.

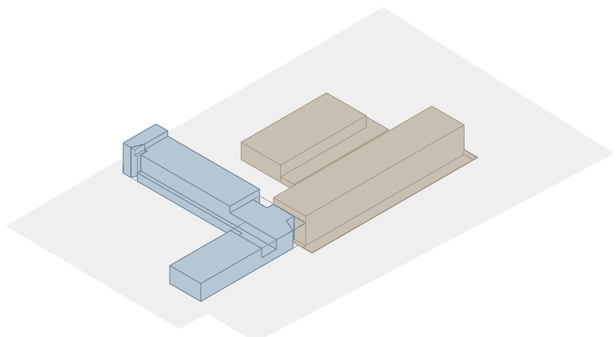
AMPLIAMENTO. I grandi spazi aperti e liberi del lotto hanno offerto sin da subito la possibilità di pensare un ampliamento capace di completare la struttura esistente, riunendo le funzioni oggi distribuite in due sedi e costruendo una nuova relazione tra la scuola, gli spazi aperti e il quartiere.
La scelta della configurazione dell'ampliamento nasce dalla lettura delle condizioni specifiche del lotto. L'area individuata per il nuovo edificio è quella con la maggiore disponibilità di spazio libero, condizione che consente di inserire un volume unitario di dimensioni adeguate a ospitare la nuova manica senza frammentare il programma. La sua posizione permette inoltre di mantenere integralmente la manica esistente, evitando interventi di sottrazione e preservandone la struttura.
L'ampliamento si innesta quindi in corrispondenza di una delle testate della manica esistente e si sviluppa verso ovest, secondo una direzione perpendicolare rispetto al corpo esistente. La relazione tra le due maniche genera una configurazione planimetrica a L, che supera l'impianto esclusivamente lineare dello stato di fatto e costruisce un nuovo equilibrio tra edificio e spazio aperto. La configurazione scelta permette infatti di costruire un fronte più riconoscibile verso la strada e, allo stesso tempo, di definire uno spazio interno alla L, nel quale la presenza del corpo della palestra costruisce spazi di relazione tra i diversi volumi dell'intero complesso.
La L non costituisce quindi soltanto una forma di completamento, ma diventa un dispositivo capace di "chiudere" e rendere più unitario il complesso, generando una successione di spazi di relazione tra la manica esistente, il nuovo edificio e la palestra. Il nuovo corpo incrementa così la superficie disponibile e riunisce in un unico organismo le funzioni oggi distribuite tra sede centrale e succursale, modificando al tempo stesso la struttura degli spazi aperti e il modo in cui le diverse parti della scuola si relazionano tra loro.
Particolare importanza assume il punto di innesto tra le due maniche, individuato come sede del teatro-auditorium. La sua collocazione risponde alla necessità di attribuire a questa funzione una maggiore autonomia, sia dal punto di vista strutturale che architettonico rispetto all'uso del complesso scolastico. Il teatro viene infatti concepito come un volume capace di funzionare in modo indipendente rispetto agli spazi propriamente didattici, mantenendo al tempo stesso un collegamento diretto con la scuola e la caffetteria. La sua posizione all'innesto rafforza così il ruolo di questo punto come nodo tra le diverse parti dell'edificio, che consente di organizzare differenti modalità di utilizzo del complesso.
La posizione dell'ampliamento viene definita anche in relazione alla strada antistante, verso la quale il fronte del nuovo edificio si orienta costruendo un fronte più riconoscibile rispetto alla condizione attuale. Il volume, anticipato dal parco, definisce così il nuovo fronte, rendendo leggibile la presenza dell'edificio dalla strada, oggi invece arretrato e poco visibile. Il grande parco infine conferisce unità all'intero complesso, mettendo in relazione le diverse parti dell'edificio attraverso uno spazio aperto comune.
L'ampliamento assume quindi un ruolo insieme insediativo e funzionale: completa la struttura della scuola, conserva e valorizza la manica esistente, costruisce un nuovo fronte urbano e organizza, attraverso la configurazione a L, un sistema più articolato di relazioni tra scuola, palestra, teatro, caffetteria e spazio aperto.

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 il ruolo delle altezze nella definizione della nuova volumetria e il loro impatto sulla manica esistente e sugli spazi aperti.
In particolare, il volume destinato al teatro-auditorium viene abbassato di un piano rispetto alla restante parte dell'ampliamento, interrompendo la continuità

7. ESTRUSIONI



8. SOTTRAZIONI



del secondo livello tra le due maniche. La scelta deriva dalla necessità di limitare l'ombreggiamento prodotto dal teatro sulla manica esistente e di mantenere adeguate condizioni di illuminazione naturale negli ambienti esistenti. La riduzione dell'altezza assume al tempo stesso un ruolo nella composizione dell'ampliamento, distinguendo volumetricamente la funzione più pubblica del teatro dagli spazi propriamente scolastici, creando così una pausa nella volumetria che rende leggibile il passaggio tra la manica originaria e quella nuova.
Il piano terreno e il primo piano dell'ampliamento sono invece impostati in continuità con quelli della manica originaria, consentendo collegamenti diretti e percorsi privi di dislivelli. Al di sopra di questa continuità, il secondo piano della nuova manica viene collocato a una quota superiore rispetto al livello corrispondente dell'edificio esistente, consentendo di ottenere maggiori altezze negli ambienti sottostanti. La differenza di quota, determinata dall'integrazione tra esigenze funzionali e ambientali, diventa così parte della composizione architettonica e contribuisce a definire il rapporto tra le diverse parti del complesso.
Il controllo delle quote e delle altezze diventa quindi uno strumento per calibrare il rapporto tra le diverse parti del complesso: garantisce continuità nei collegamenti tra nuovo ed esistente, risponde alle condizioni di illuminazione naturale e costruisce una gerarchia volumetrica capace di rendere leggibili le diverse funzioni.

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.

8.4 L'ORGANIZZAZIONE FUNZIONALE

Il progetto ha l'obiettivo di dar forma a un modello di scuola più aperto, adattabile e capace di accogliere attività diverse nel corso della giornata e non solo nell'orario scolastico, attraverso un nuovo complesso unitario e di forte identità costruito a partire dall'edificio esistente, dalle potenzialità spaziali del lotto e dalle esigenze degli studenti e del quartiere.

La nuova organizzazione funzionale nasce dalla necessità di riunire in un unico complesso le attività oggi distribuite tra sede centrale e succursale e, allo stesso tempo, di rafforzare il rapporto tra la scuola e il quartiere. Gli spazi esistenti non vengono quindi semplicemente sostituiti, ma sono mantenuti, ampliati, ricollocati o integrati in relazione alle nuove esigenze, in una distribuzione più chiara e adeguata ai nuovi usi dell'edificio.

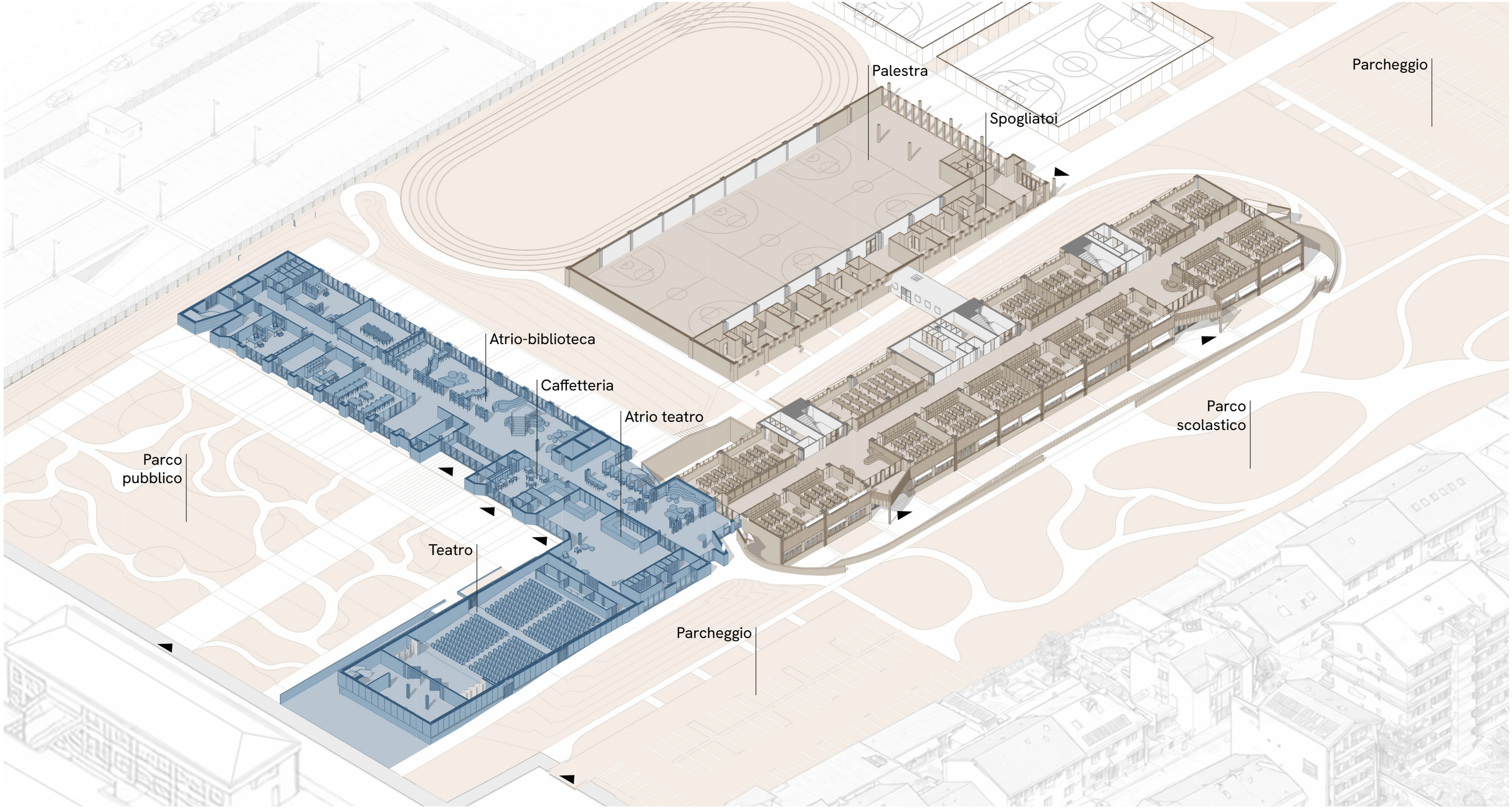
Questa opportunità è data soprattutto dalla nuova manica, che amplia la superficie disponibile permettendo non solo di aumentare il numero di aule disponibili, ma anche di introdurre funzioni prima assenti o insufficientemente dimensionate.
Il nuovo volume non si limita quindi ad aggiungersi all'edificio esistente, ma ne completa e arricchisce l'organizzazione, consentendo di ridistribuire le attività all'interno dell'intero complesso. Le due maniche edilizie, gli ambienti didattici, gli spazi collettivi e le aree aperte vengono così messi in relazione secondo una struttura spaziale comune, definita in funzione delle caratteristiche delle diverse attività, del loro grado di accessibilità e delle relative modalità di utilizzo.

Il piano terreno assume infatti un carattere maggiormente collettivo, concentrando le funzioni più aperte al pubblico e che richiedono maggiore accessibilità e riconoscibilità, ovvero l'atrio e gli uffici della scuola, la caffetteria e il teatro-auditorium. I piani superiori sono invece destinati alla didattica, con aule, laboratori e ambienti per l'apprendimento distribuiti lungo la manica esistente e quella di nuova costruzione.
Ne deriva una progressiva gradazione degli spazi in relazione al loro livello di accessibilità: dalle funzioni più pubbliche e collettive, rivolte verso il parco pubblico, agli ambienti destinati alla quotidiana attività scolastica, fino agli spazi più specifici e riservati della didattica.
Questa organizzazione si riflette direttamente nel sistema degli accessi e dei percorsi. La scuola, la caffetteria e il teatro-auditorium dispongono ciascuno di un accesso autonomo dal parco antistante: l'ingresso principale alla scuola conduce all'atrio-biblioteca, mentre quelli della caffetteria e del teatro-auditorium consentono alla cittadinanza di raggiungere direttamente gli spazi collettivi, senza attraversare le aree propriamente scolastiche. La palestra è invece dotata di un accesso autonomo sul lato nord del lotto, direttamente collegato ai campi sportivi esterni. Gli ingressi sono pertanto calibrati sulle diverse funzioni e sulle rispettive utenze, permettendo un uso indipendente degli spazi aperti alla collettività e, al contempo, una chiara separazione tra i flussi degli utenti esterni e quelli della comunità scolastica.

La logica modulare dell'edificio esistente viene mantenuta come riferimento per l'organizzazione degli spazi interni sia nella manica esistente che nella nuova, senza tuttavia determinarne rigidamente la configurazione. La distribuzione delle funzioni tiene inoltre conto delle diverse condizioni di orientamento e illuminazione naturale dei diversi fronti dell'edificio, in relazione alle esigenze e alle modalità d'uso dei singoli ambienti. Sui front Est e Sud, maggiormente esposti alla luce diretta, sono infatti collocate le aule, mentre sui fronti Ovest e Nord e il piano seminterrato della manica esistente, caratterizzato da condizioni di illuminazione più limitate, sono invece prevalentemente disposti i laboratori e ambienti di servizio come l'archivio o i locali tecnici, che non necessitano di un apporto significativo di luce naturale. Gli spazi comuni sono invece organizzati in modo da affacciarsi su entrambi i fronti e quindi beneficiare di condizioni di illuminazione più variabili, e, in alcuni casi, anche dei lucernari posti in sommità.

La distribuzione funzionale diventa così uno strumento per mettere in relazione le caratteristiche ambientali dell'edificio con le esigenze specifiche dei diversi ambienti. Le funzioni già presenti sono quindi reinterpretate all'interno della nuova configurazione: il caso più significativo è quello dell'auditorium, sostituito da un teatro-auditorium di maggiori dimensioni, destinato sia alle attività dell'istituto sia a spettacoli, incontri ed eventi aperti alla cittadinanza.

L'organizzazione funzionale mira quindi a superare l'idea di una scuola composta esclusivamente da aule e corridoi. Il progetto costruisce un sistema più articolato, nel quale gli ambienti per la didattica, nuovi spazi collettivi e pubblici aperti al quartiere e le aree di distribuzione concorrono alla definizione di un edificio più flessibile, abitabile e capace di sostenere usi differenti nel corso della giornata.
Il parco e il sistema dei percorsi esterni completano questa organizzazione, mettendo in continuità edificio, spazio aperto e città e contribuendo a definire l'identità unitaria del nuovo complesso scolastico.


Palestra
Spogliatoi
Parcheggio
Atrio-biblioteca
Caffetteria
Atrio teatro
Parco
pubblico
Parco
scolastico
Teatro
Parcheggio

La riorganizzazione delle aree esterne si configura come un sistema unitario di spazi aperti, capace di mettere in relazione le diverse parti del complesso con percorsi, accessi, aree verdi, spazi per lo sport e luoghi per la sosta e la socialità. Il progetto non considera quindi gli spazi esterni come aree residuali attorno agli edifici, ma come una componente attiva dell'organizzazione della scuola, nella quale i caratteri degli spazi variano in relazione alla loro posizione, alle quote del lotto e alle diverse modalità di utilizzo.
Il sistema si articola principalmente nel parco antistante la nuova manica, rivolto verso la strada e il quartiere, nello spazio verde a servizio della manica esistente e negli spazi di relazione compresi tra la manica esistente, la nuova costruzione e la palestra. Il progetto privilegia una fruizione prevalentemente pedonale, organizzando gli accessi e i percorsi in modo da garantire la raggiungibilità dei diversi ingressi e, allo stesso tempo, mantenere distinti i principali flussi pedonali da quelli carrabili e di servizio. Gli spazi aperti costruiscono così una sequenza di luoghi con caratteri differenti, che accompagna dall'arrivo dalla città agli spazi più interni e di servizio del complesso, assicurando al tempo stesso la continuità delle connessioni tra i diversi edifici.

PARCO PUBBLICO. Il grande parco antistante la nuova manica costituisce il principale spazio di avvicinamento all'edificio e la soglia più diretta tra la scuola e la città. Il disegno del suolo assorbe il dislivello tra la quota stradale e quella dell'edificio attraverso un sistema continuo di superfici e percorsi in lieve pendenza, integrando la rampa nel disegno complessivo del parco e trasformandola da elemento tecnico in parte dello spazio di accesso. Il percorso garantisce così una continuità tra strada, parco ed edificio e costruisce un ingresso accessibile e riconoscibile.
Il parco si configura inoltre come uno spazio di relazione strettamente connesso alle attività del piano terreno. In corrispondenza degli ingressi, le superfici verdi e pavimentate sono organizzate con sedute, tavoli e altri elementi per favorire la sosta, l'incontro e lo svolgimento all'aperto di alcune attività, prolungando verso l'esterno gli spazi collettivi dell'edificio.
Il verde, insieme alle superfici permeabili e alle aree attrezzate, contribuisce così a definire un ambiente più confortevole e riconoscibile, nel quale l'arrivo e la permanenza diventano parte integrante dell'esperienza della scuola.



PARCO SCOLASTICO. Lo spazio verde a servizio della manica esistente si sviluppa in relazione al dislivello con il piano seminterrato, articolandosi in due livelli caratterizzati da diversi linguaggi.

La differenza di quota viene integrata nel disegno del parco attraverso un sistema di rampe e scale che mette in relazione i diversi livelli e rende accessibili gli spazi esterni anche dal piano inferiore. A questa quota, il disegno della pavimentazione riprende la modularità della facciata della manica esistente, traducendone il ritmo regolare in una configurazione più geometrica e controllata dello spazio aperto. La configurazione del suolo consente così di articolare una sequenza di spazi a quote differenti, offrendo al piano seminterrato un rapporto diretto con l'esterno e contribuendo al tempo stesso a migliorarne le condizioni di illuminazione naturale.

Alla quota superiore, invece, il parco assume un carattere più propriamente paesaggistico, mantenendo l'andamento sinuoso dei percorsi e una presenza più libera della vegetazione. La minore presenza di superfici attrezzate e pavimentate lascia spazio a un ambiente più naturale e raccolto, caratterizzato da aree verdi e vegetazione arborea che costruiscono una sorta di piccolo boschetto. Le due condizioni, pur differenti per carattere e configurazione, sono così parte di un unico sistema di spazio aperto, nel quale il disegno più regolare della quota inferiore si confronta con il carattere più naturale della porzione superiore.



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.





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 dell'ambiente utile anche a piccoli eventi di quartiere.





TEATRO. Il teatro-auditorium costituisce il principale spazio collettivo dell'ampliamento ed è destinato sia alle attività dell'istituto che 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. La distribuzione interna alterna così percorsi lineari e spazi di dilatazione: in corrispondenza dei principali nodi, degli accessi alle aule e dei collegamenti verticali, il corridoio si amplia e assume una dimensione diversa, mettendo in relazione movimento e permanenza. 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.

Il modello aula-corridoio-aula, pur garantendo ordine e semplicità distributiva, viene quindi reinterpretato attraverso una maggiore articolazione della sequenza distributiva, nella quale gli spazi di collegamento si alternano a episodi di maggiore ampiezza e riconoscibilità. Questa articolazione si declina in modo diverso nei due volumi, attraverso soluzioni specifiche per la manica esistente e per la nuova costruzione.

Nella manica esistente, la struttura conservata non viene considerata come un vincolo, bensì come una matrice capace di sostenere nuove modalità d'uso e di introdurre una maggiore continuità tra gli ambienti dell'edificio. 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. Queste dilatazioni costituiscono veri e propri nodi della distribuzione, capaci di interrompere la linearità del percorso e di costruire una sequenza spaziale più articolata.

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. Anche in questo caso il collegamento verticale diventa un elemento di dilatazione della distribuzione, rafforzando la continuità tra i diversi livelli e tra gli spazi comuni dell'edificio. 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.



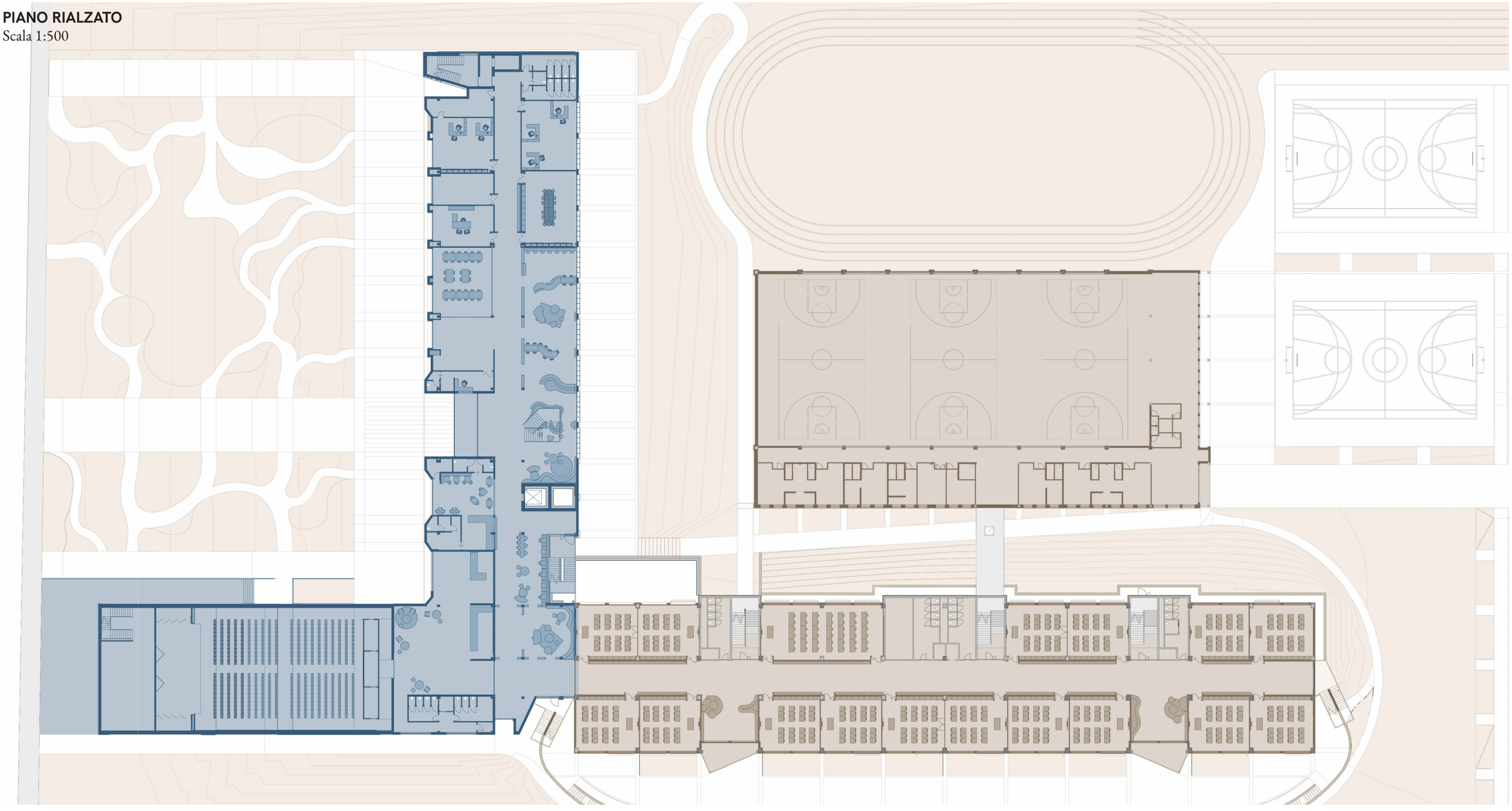


L'AULA Le aule mantengono una configurazione prevalentemente tradizionale, ma vengono modificate nelle dimensioni, condizioni di illuminazione e organizzazione degli arredi. Le aule della manica esistente erano infatti caratterizzate da delle differenze dimensionali soprattutto tra il secondo piano e 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.

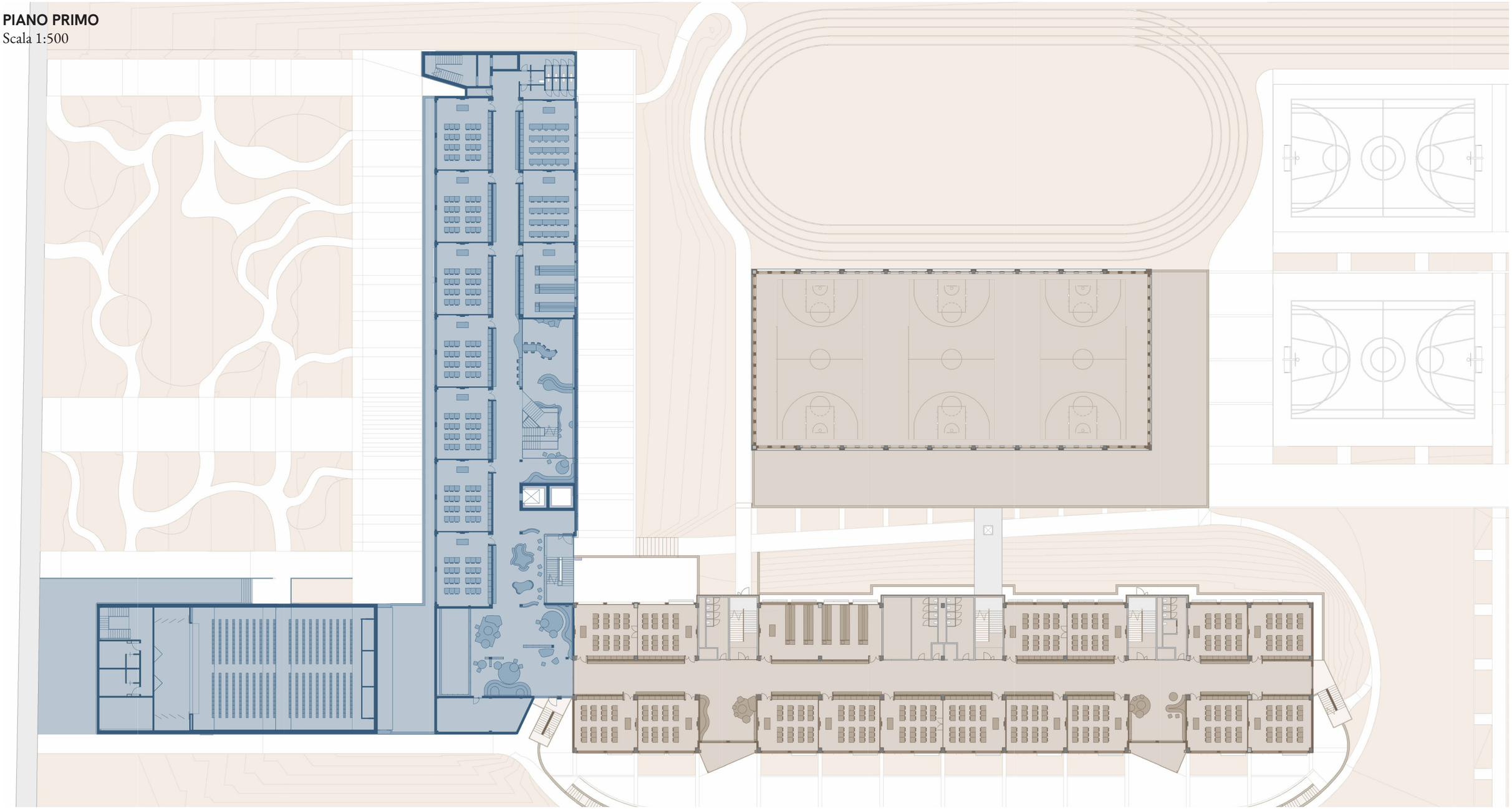


PALESTRA. La palestra è l'altro edificio del complesso che viene ripensato e rinnovato con un ampliamento sia nella superficie destinata all'attività sportiva sia negli spazi di servizio, aumentando la capacità complessiva dell'impianto, attualmente insufficiente.
L'area di gioco viene infatti ampliata 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.

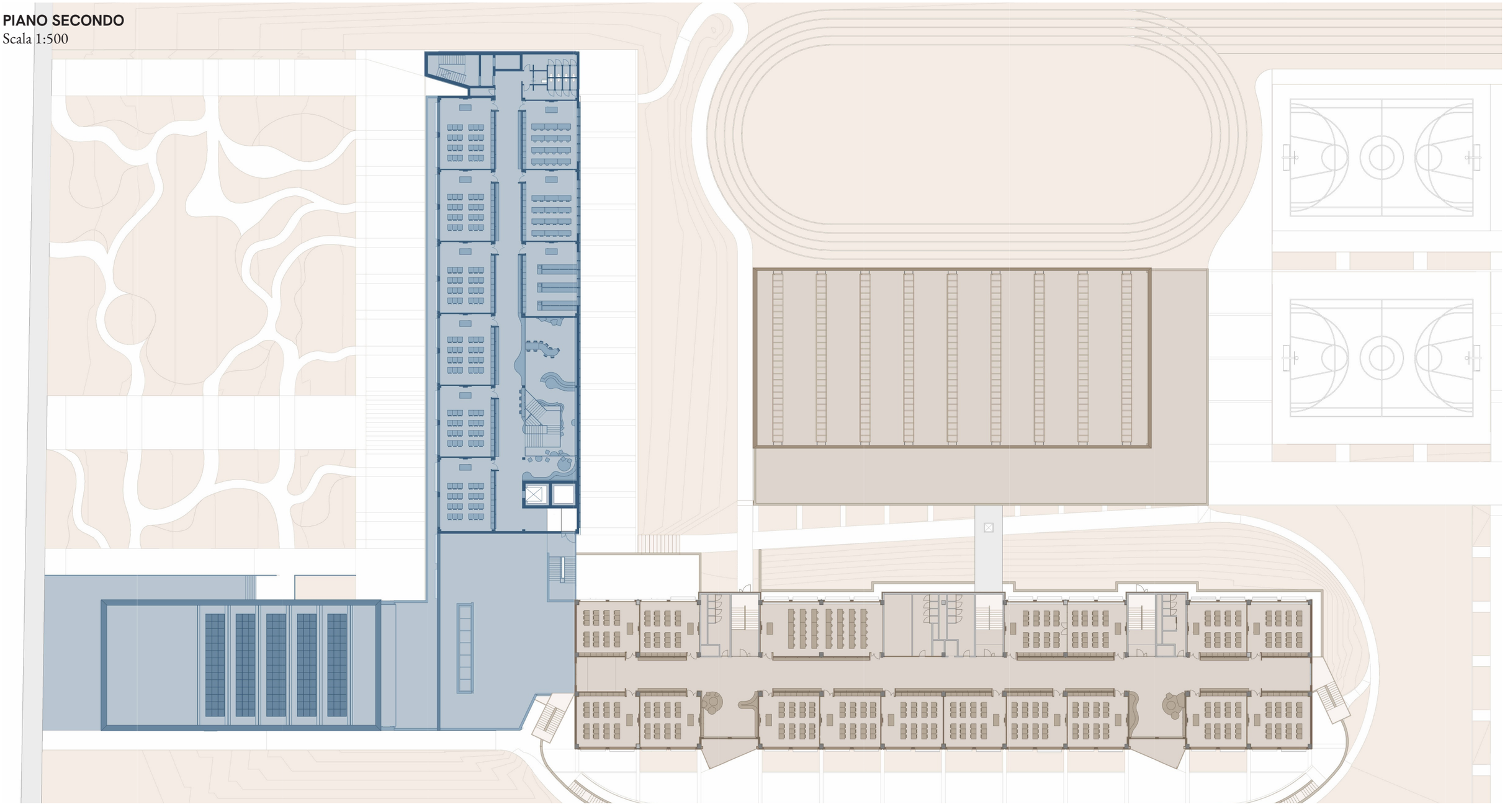
PIANO RIALZATO
Scala 1:500



PIANO PRIMO
Scala 1:500



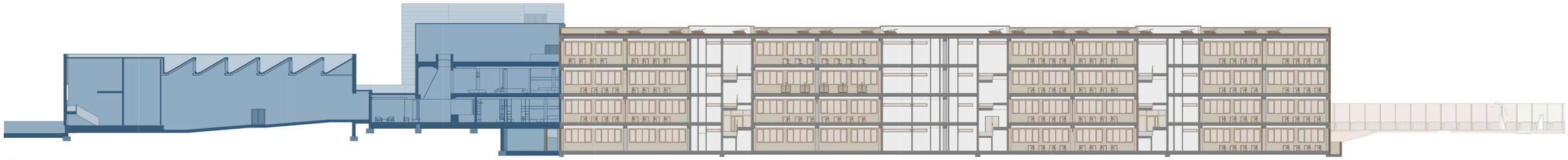
PIANO SECONDO
Scala 1:500



PROSPETTI
Scala 1:500



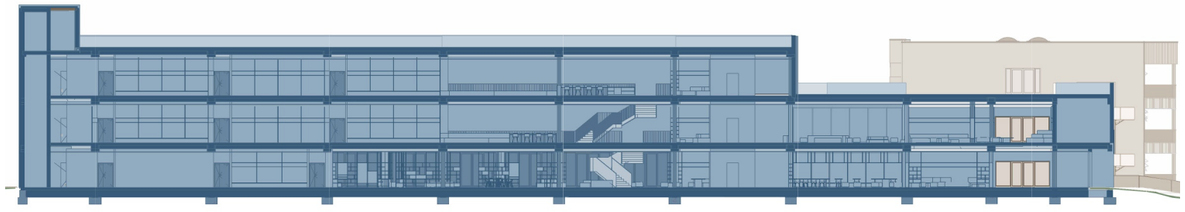
Prospetto Est



Sezione A-A

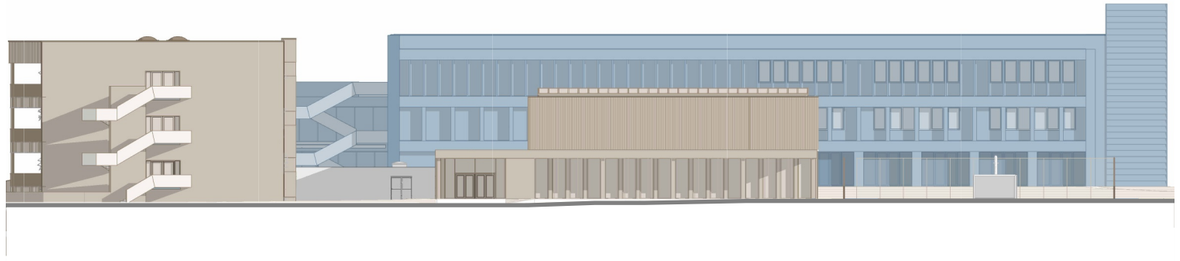


Prospetto Sud

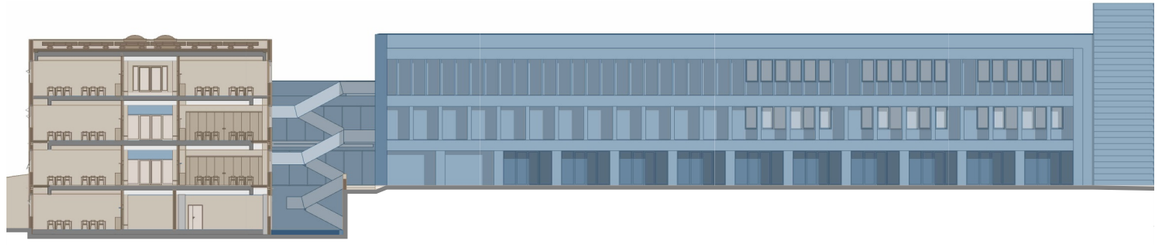


Sezione B-B

PROSPETTI
Scala 1:500



Prospetto Nord con fronte principale palestra



Prospetto Nord escluso fronte palestra



Prospetto Ovest con fronte laterale palestra



Prospetto Ovest escluso fronte laterale palestra

8.5 SCELTE COSTRUTTIVE E MATERICHE

L'obiettivo generale alla base delle scelte progettuali del progetto è adottare, per quanto possibile, un approccio sostenibile, capace di coniugare le esigenze funzionali e costruttive con la riduzione dell'impatto ambientale dell'intervento. In questa prospettiva, le scelte progettuali sono orientate innanzitutto a limitare il più possibile gli interventi di demolizione sulla struttura esistente, così da ridurre i costi di demolizione e la produzione di materiali di scarto, e a privilegiare sistemi costruttivi e materiali coerenti con i Criteri Ambientali Minimi (CAM), favorendo l'impiego di componenti a secco, riciclabili e riciclati, durevoli, disassemblabili e recuperabili a fine vita.
Le scelte sono inoltre orientate alla riduzione dei tempi di realizzazione e alla possibilità di organizzare il cantiere per fasi successive, data la necessità di garantire la continuità delle attività didattica e quindi l'uso dell'edificio durante la fase di cantiere. L'intervento è infatti immaginato per porzioni successive e localizzate, evitando lo spostamento complessivo degli studenti in strutture alternative. La realizzazione dell'ampliamento viene infatti prevista come prima fase, così da creare nuovi spazi immediatamente utilizzabili e consentire il trasferimento progressivo degli studenti nelle aree completate. Successivamente si procede con gli interventi sulla manica esistente, spostando di volta in volta le attività didattiche nelle porzioni già concluse.
Infine, l'obiettivo fondamentale del progetto è il miglioramento delle prestazioni dell'edificio e del comfort termoacustico degli ambienti, attraverso il rinnovamento delle stratigrafie, dell'involucro e delle finiture e l'impiego di materiali caratterizzati da elevate prestazioni termiche e acustiche. L'intervento mira quindi a migliorare il comportamento complessivo dell'edificio e a garantire condizioni di maggiore benessere per gli utenti, aspetto particolarmente rilevante in relazione alla destinazione scolastica degli spazi.

STRUTTURA. Nella manica esistente la strategia principale consiste infatti nella conservazione della maglia strutturale e dei solai esistenti, concentrando gli interventi sul miglioramento delle finiture e delle prestazioni degli ambienti, attraverso la sostituzione e l'integrazione degli strati non strutturali. L'ingrandimento degli ambienti interni costituisce l'unico intervento che ha richiesto un'integrazione della struttura esistente. Per ottenere una maggiore profondità degli spazi, viene quindi realizzata una piccola porzione di solaio aggettante a struttura metallica, costituita da travi in acciaio collegate alla struttura esistente e completata da una soletta su lamiera grecata. La soluzione permette di ampliare gli ambienti mantenendo contenuto il peso della nuova porzione strutturale e limitando l'intervento sulla la struttura originaria.
Nella nuova manica, invece, l'obiettivo è realizzare un nuovo organismo edilizio limitando l'impatto delle lavorazioni in cantiere, optando quindi per un sistema strutturale leggero e prefabbricato, basato sul sistema di travi e pilastri NPS di Tecnostrutture, integrato con solai alveolari Kypse di Clesi. Questo sistema consente di ridurre le lavorazioni direttamente in cantiere e di ottenere un processo costruttivo più rapido e controllato, mantenendo al tempo stesso una logica di leggerezza e razionalizzazione degli elementi strutturali.

MURATURE. Sia per le maniche che per la palestra sono poi privilegiati tamponamenti e partizioni con sistema costruttivo a secco, nello specifico i pacchetti di cartongesso Knauf, combinato con isolanti termici naturali in lana di roccia e pannelli resistenti al fuoco per la sicurezza antincendio della scuola.
La scelta per questa tipologia di sistemi deriva innanzitutto dalla rapidità e semplicità di montaggio, che permette di ridurre i tempi di lavorazione e di limitare le lavorazioni umide all'interno dell'edificio. A questo si aggiungono la possibilità di intervenire e sostituire i singoli strati o porzioni localizzate, una maggiore facilità di manutenzione e la possibilità di procedere, in fase di fine vita, attraverso operazioni di demolizione selettiva e recupero dei materiali.

Nella manica esistente, questa scelta consente di realizzare nuovi pacchetti e compartimentazioni con un peso significativamente contenuto rispetto a soluzioni tradizionali, limitando l'incremento dei carichi permanenti sulla struttura esistente e quindi riducendo la necessità di eventuali interventi di consolidamento.
Nella nuova manica, invece, il sistema a secco si integra con la logica della prefabbricazione, permettendo di assemblare in tempi ridotti componenti già predisposti e di rendere più efficiente la sequenza delle lavorazioni.
La scelta di mantenere la struttura esistente e di adottare sistemi leggeri e prevalentemente a secco è quindi legata anche alla gestione del cantiere, poiché la rapidità di montaggio consente di procedere per porzioni successive, limitando i tempi di occupazione delle singole aree e rendendo progressivamente disponibili gli ambienti per le attività didattiche.

FINITURE. Nei due corpi edilizi sono stati scelti gli stessi materiali per le finiture, con l'obiettivo di garantire un linguaggio architettonico e visivo omogeneo tra l'esistente e il nuovo ampliamento.
I materiali sono stati scelti, oltre che in relazione ai requisiti ambientali previsti dai CAM, anche secondo criteri di durabilità, facilità di pulizia e possibilità di manutenzione localizzata, aspetti importanti in ambienti sottoposti a uso quotidiano e intensivo.
Le pareti sono infatti trattate con intonaci minerali a base di calce, una soluzione traspirante e durevole adatta agli ambienti scolastici, che consente di ottenere superfici resistenti e facilmente ripristinabili, limitando l'impiego di finiture eccessivamente sintetiche e favorendo una buona gestione dell'umidità degli strati superficiali. I pavimenti sono costituiti da una pavimentazione in Tapiflex, che risponde in particolare alle esigenze di un edificio scolastico: si tratta di una superficie resistente all'usura, facilmente pulibile e adatta a un uso intensivo, caratteristiche fondamentali in ambienti sottoposti quotidianamente a un elevato flusso di studenti. Le caratteristiche di elasticità e resilienza del materiale contribuiscono inoltre al comfort al calpestio e alla riduzione della rumorosità generata dalle attività quotidiane, rendendolo particolarmente adatto agli ambienti scolastici.
I solai sono invece completati mediante controsoffitti in pannelli Celenit, materiale a base di fibre di legno mineralizzate che contribuisce all'assorbimento acustico e quindi al miglioramento del comfort sonoro degli ambienti, permettendo di avere spazi nei quali la voce dell'insegnante è maggiormente intelligibile e il rumore di fondo è più facilmente controllabile.

FACCIATE E SERRAMENTI. Per entrambe le maniche e la palestra vengono utilizzati serramenti Schüco a taglio termico con vetrocamera, scelti per garantire un buon livello di isolamento termico e contribuire alla riduzione delle dispersioni energetiche attraverso l'involucro. Il vetro doppio permette inoltre di migliorare il comfort degli ambienti interni limitando le superfici fredde in prossimità delle facciate.
Il controllo dell'irraggiamento solare viene affidato a sistemi di schermatura con tende markisolette, che consentono di ridurre il carico solare durante i periodi di maggiore esposizione senza compromettere la relazione visiva tra gli ambienti interni e l'esterno, particolarmente significativa in un edificio scolastico, poiché garantisce un maggiore rapporto con l'ambiente circostante e contribuisce alla qualità percettiva degli spazi didattici.
La combinazione tra isolamento dell'involucro, prestazioni dei serramenti e sistemi di schermatura solare permette così di intervenire sia sulle dispersioni termiche sia sul controllo degli apporti solari, contribuendo al miglioramento complessivo delle prestazioni energetiche e del comfort interno.

COPERTURA. La copertura della manica esistente viene coibentata e trasformata in una copertura piana con finitura in ghiaia predisposta per l'installazione di un sistema fotovoltaico, così da migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio e la sua capacità di produrre energia da fonte rinnovabile.
La copertura della nuova manica è invece progettata come tetto verde estensivo, configurandosi come una *Nature-Based Solution*. La presenza della vegetazione contribuisce alla ritenzione e al rallentamento delle acque meteoriche, alla mitigazione del surriscaldamento superficiale e al miglioramento del comportamento microclimatico della copertura. Il tetto verde introduce inoltre una componente ecologica all'interno del sistema edilizio, trasformando una superficie normalmente tecnica in uno spazio capace di migliorare le prestazioni dell'edificio.

SPAZI ESTERNI. La strategia ambientale del progetto prosegue negli spazi esterni attraverso la realizzazione di un sistema di percorsi con pavimentazioni drenanti nel parco. La scelta rientra nell'approccio delle *Nature-Based Solutions* e permette di favorire l'infiltrazione delle acque meteoriche direttamente nel terreno, riducendo il deflusso superficiale e il sovraccarico del sistema di smaltimento delle acque piovane.
La combinazione tra pavimentazioni drenanti, copertura verde estensiva e sistema fotovoltaico costruisce quindi una strategia integrata nella quale le scelte strutturali, tecnologiche e paesaggistiche concorrono al miglioramento delle prestazioni complessive dell'edificio.

8.6 VERIFICHE PRESTAZIONALI

Le opere descritte nei paragrafi precedenti modificano le prestazioni energetiche e ambientali dell'edificio scolastico, incidendo direttamente sulle condizioni di qualità e comfort degli spazi interni. Lo scenario di progetto viene quindi analizzato attraverso gli stessi tre ambiti di verifica applicati agli scenari precedenti: illuminotecnico, acustico e fabbisogno energetico.

Le verifiche sono condotte con riferimento alle normative vigenti, richiamate e descritte nel Capitolo 5, e tengono conto dei limiti e del metodo di verifica adottato per ciascun ambito di analisi. Esse riguardano sia gli interventi di riqualificazione dell'edificio esistente sia il nuovo ampliamento. Questa impostazione consente di valutare in modo unitario l'efficacia complessiva della trasformazione, distinguendo al tempo stesso il contributo delle opere sull'esistente da quello delle nuove porzioni edilizie. La scelta di mantenere invariati i criteri di valutazione consente di costruire un confronto omogeneo tra stato di fatto, scenari intermedi e configurazione finale. In questo modo le variazioni prestazionali non vengono lette come dati isolati, ma come esito diretto delle trasformazioni introdotte sull'involucro, sugli ambienti interni e sui sistemi tecnici dell'edificio.

L'obiettivo dell'analisi è verificare l'efficacia degli interventi proposti, valutando il loro contributo al miglioramento prestazionale dell'edificio e individuando gli aspetti che incidono in modo più significativo sulla qualità ambientale interna. Il confronto tra gli scenari permette quindi di comprendere quali strategie risultino più rilevanti nel migliorare le condizioni d'uso degli spazi scolastici.

ILLUMINOTECNICA. La verifica illuminotecnica è stata sviluppata sulle aule rappresentative del progetto, selezionando tre ambienti con esposizione rispettivamente Est, Sud e Ovest. Per ciascuna aula il modello considera la geometria effettiva dell'ambiente, le dimensioni e la posizione delle superfici finestrate, l'orientamento della facciata e la presenza dei sistemi di schermatura solare. Le simulazioni analizzano il comportamento della luce naturale nel corso dell'anno, valutandone quantità, distribuzione e disponibilità temporale, nonché le eventuali condizioni di eccessiva esposizione alla radiazione solare diretta e di abbagliamento.

L'obiettivo dell'analisi è verificare l'efficacia delle scelte progettuali nel garantire adeguate condizioni di comfort visivo negli ambienti didattici. Vengono pertanto valutati in maniera integrata l'apporto di luce naturale, la sua distribuzione all'interno degli ambienti, la disponibilità annuale, la relazione visiva con l'esterno e il controllo dei fenomeni di sovraesposizione solare e abbagliamento, evidenziando le eventuali criticità associate alle differenti esposizioni.

Per ciascuna aula vengono confrontate differenti configurazioni del sistema di schermatura. Una prima simulazione considera la markisolette in posizione retratta, corrispondente alla condizione di massima disponibilità di luce naturale. Le ulteriori simulazioni considerano invece la schermatura in specifiche configurazioni statiche di apertura, rappresentative delle condizioni nelle quali il dispositivo interviene per limitare l'ingresso della radiazione solare diretta e ridurre il rischio di abbagliamento. Il confronto tra le configurazioni consente quindi di valutare il compromesso tra disponibilità di luce naturale e controllo solare. L'attivazione della schermatura determina infatti, come conseguenza attesa, una riduzione degli illuminamenti interni e degli indicatori di daylight availability, ma consente parallelamente di limitare le condizioni di eccessiva esposizione solare, valutate attraverso l'Annual Sunlight Exposure (ASE), e di ridurre le condizioni potenzialmente critiche sotto il profilo dell'abbagliamento.

Le configurazioni schermate non devono tuttavia essere interpretate come condizioni di esercizio permanenti durante l'intero anno. La particolare geometria e cinematica della markisolette comportano infatti una variazione della posizione e dell'inclinazione del dispositivo in funzione delle condizioni operative. Ai fini della simulazione, tale comportamento è stato rappresentato mediante una serie di configurazioni geometriche statiche, ciascuna delle quali viene mantenuta invariata per l'intera simulazione annuale.

I risultati delle singole configurazioni devono pertanto essere interpretati come scenari comparativi e non come la riproduzione del funzionamento annuale reale del sistema. Essi consentono di quantificare l'effetto delle diverse posizioni della markisolette sulla disponibilità di luce naturale, sull'esposizione solare diretta e sul rischio di abbagliamento, individuando il contributo della schermatura al raggiungimento delle condizioni di comfort visivo previste dal progetto.

SERRAMENTI E SISTEMI DI SCHERMATURA DI PROGETTO. L'intervento sulla manica esistente prevede la sostituzione dei serramenti originari con nuovi infissi in alluminio a taglio termico Schüco AWS 70.HI, abbinati a una vetrazione isolante basso emissiva. La scelta risponde alla necessità di migliorare contemporaneamente le prestazioni termiche dell'involucro trasparente, il controllo degli apporti solari e le condizioni di illuminazione naturale degli ambienti.

I serramenti esistenti, prevalentemente costituiti da profili metallici privi di taglio termico e vetro singolo, rappresentano infatti uno degli elementi più deboli dell'involucro. La nuova configurazione consente di ridurne sensibilmente le dispersioni, mantenendo al contempo superfici vetrate ampie, necessarie a garantire un adeguato apporto di luce naturale agli ambienti scolastici.

SISTEMA DI INFISSO. Per le nuove aperture è stato scelto il sistema Schüco AWS 75.HI, con profili in alluminio a taglio termico. Ai fini delle verifiche è stato assunto un valore di trasmittanza del telaio U_f pari a 1,20 W/m²K; per il contributo lineare del giunto vetro-telai.
Le differenti geometrie dei serramenti determinano valori di trasmittanza complessiva U_w variabili in funzione dell'incidenza del telaio e dello sviluppo del bordo vetro. Per le tipologie analizzate i valori calcolati risultano indicativamente compresi tra 1,11 e 1,29 W/m²K, evidenziando un netto miglioramento rispetto alla configurazione originaria.

COMPONENTE VETRATA. Il sistema è completato da un vetrocamera basso emissivo con intercapedine di 18 mm riempita con Argon al 90%. La composizione prevista comprende un vetro stratificato Stratophone Clearlite 44.1 e un vetro stratificato Stratobel 33.1 con deposito basso emissivo. La vetrazione presenta una trasmittanza termica Ug pari a 1,00 W/m²K e un fattore solare ggl pari a 0,52. La trasmissione luminosa è pari al 74%, valore che consente di mantenere un'elevata disponibilità di luce naturale pur riducendo gli apporti energetici della radiazione solare rispetto alle vetrate singole esistenti.

Componente vetrato	Valore
Composizione	44.1 / 18 mm Argon 90% / 33.1 basso emissivo
Ug	1,00 W/m²K
ggl	0,52
Trasmissione luminosa τv	74%
Trasmissione energetica diretta τe	43%
Spessore nominale	32,3 mm
R_w stimato	42 dB
R_w stimato con PVB acustico	45 dB

SISTEMA DI SCHERMATURA SOLARE. In corrispondenza delle aperture maggiormente interessate dalla radiazione solare diretta è prevista una schermatura tessile esterna a markisolette, realizzata con tessuto Helioscreen Sergé 1%, Pearl-White. La schermatura è collocata all'esterno, a circa 15 cm dal piano del vetro, e nella configurazione completamente abbassata assume posizione verticale.
La scelta di una schermatura esterna risponde soprattutto alla necessità di intercettare la radiazione solare prima che raggiunga il vetro, limitando quindi gli apporti termici all'interno degli ambienti. La configurazione a markisolette permette inoltre una gestione più flessibile rispetto a una schermatura completamente verticale: quando necessario, la parte inferiore può essere proiettata verso l'esterno, mantenendo una maggiore apertura visiva e favorendo l'ingresso di luce diffusa, pur schermando la radiazione diretta.
Il tessuto presenta un fattore di apertura dell'1%, una trasmissione solare pari al 13,6% e una trasmissione luminosa complessiva pari all'11,9%. Particolarmente significativa è la ridotta componente luminosa diretta, pari a circa 0,4%, che rende il sistema utile nel controllo dell'abbagliamento nelle aule esposte alla radiazione solare diretta.

Schermatura	Valore / caratteristica
Tessuto	Helioscreen Sergé 1%
Fattore di apertura	1%
Trasmissione solare Ts	0,136
Riflessione solare Rs	≈ 0,47
Assorbimento solare As	≈ 0,39
Trasmissione luminosa totale Tv	0,119
Trasmissione luminosa diretta	0,004
Classe di controllo dell'abbagliamento	1

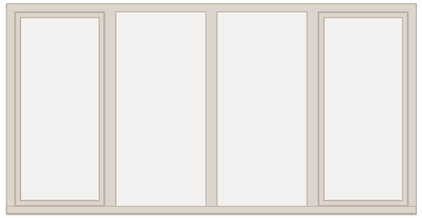
CRITERIO PROGETTUALE. La combinazione tra infisso ad alte prestazioni, vetrocamera basso emissivo e schermatura solare esterna consente di intervenire su esigenze tra loro strettamente connesse. Il nuovo serramento riduce le dispersioni termiche attraverso l'involucro trasparente; il vetro limita gli apporti solari mantenendo una trasmissione luminosa elevata; la markisolette permette infine di controllare in maniera dinamica la radiazione diretta nei periodi e sugli orientamenti più critici.

La scelta della markisolette assume particolare rilevanza negli ambienti scolastici, nei quali una schermatura completamente opaca risolverebbe il problema dell'abbagliamento penalizzando però la disponibilità di luce naturale e la relazione visiva con l'esterno. Il sistema tessile consente invece di modulare l'apporto solare senza annullare completamente l'illuminazione naturale, integrandosi quindi con gli obiettivi di comfort visivo ed energetico posti alla base dell'intervento.

Questa struttura ti permette anche di affiancare bene tre dettagli grafici: sezione Schüco, stratigrafia del vetrocamera e schema della markisolette nelle due configurazioni verticale/inclinata.

ABACO SERRAMENTI

Scala 1:50







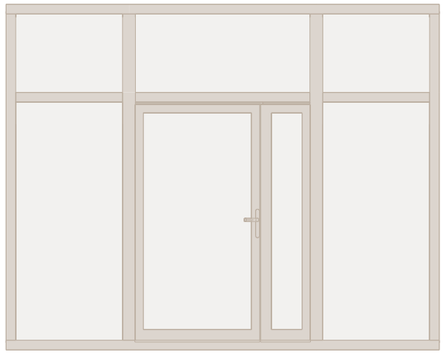


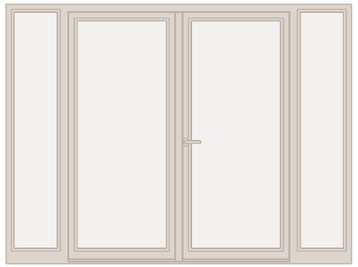


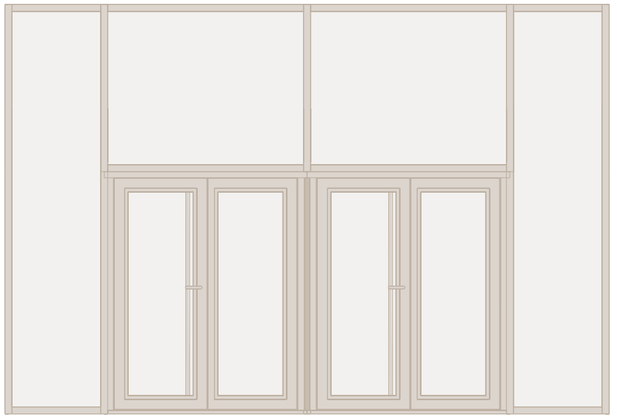


	PROPRIETÀ GEOMETRICHE					PROPRIETÀ TERMOFISICHE							
	Aw,p [m^2]	Ag [m^2]	Af [m^2]	Ff	lg [m]	Uw [W/m^2K]	Uw+shut [W/m^2K]	ggl	ggl+sh	ε	Ug [W/m^2K]	Uf [W/m^2K]	ψ [W/mK]
\\ F01	6,30	4,66	1,64	0,26	18,68	1,21	—	0,52	0,11*	0,90*	1,00	1,40	0,04
\\ F02	0,72	0,47	0,25	0,35	3,98	1,34	—	0,52	—	0,90*	1,00	1,40	0,04
\\ F03	1,50	1,01	0,49	0,33	7,72	1,32	—	0,52	—	0,90*	1,00	1,40	0,04
\\ F04	1,81	1,27	0,54	0,30	4,54	1,21	—	0,52	—	0,90*	1,00	1,40	0,04
\\ F05	2,92	2,52	0,40	0,14	7,23	1,14	—	0,52	—	0,90*	1,00	1,40	0,04
\\ F06	4,05	3,51	0,54	0,13	8,83	1,13	—	0,52	—	0,90*	1,00	1,40	0,04
\\ P_f01	9,60	6,96	2,64	0,28	25,47	1,21	—	0,52	—	0,90*	1,00	1,40	0,04
\\ P_f02	10,70	8,12	2,58	0,24	32,18	1,21	—	0,52	—	0,90*	1,00	1,40	0,04
\\ P_f03	6,54	4,28	2,26	0,35	20,36	1,25	—	0,52	—	0,90*	1,00	1,40	0,04
\\ P_f04	18,05	13,36	4,69	0,26	46,78	1,20	—	0,52	—	0,90*	1,00	1,40	0,04





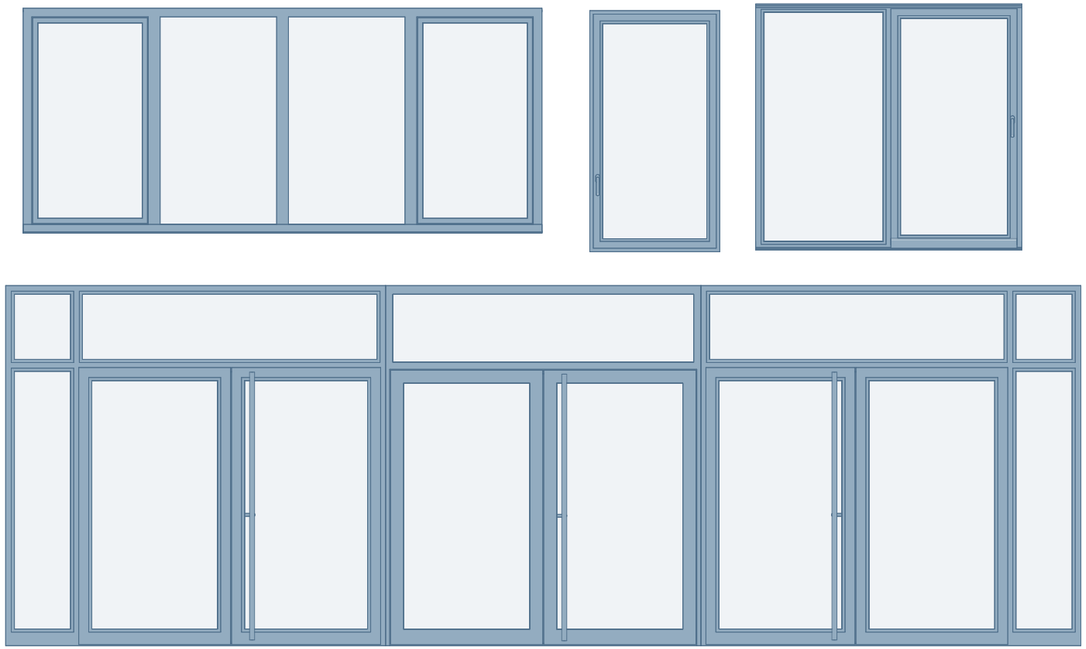


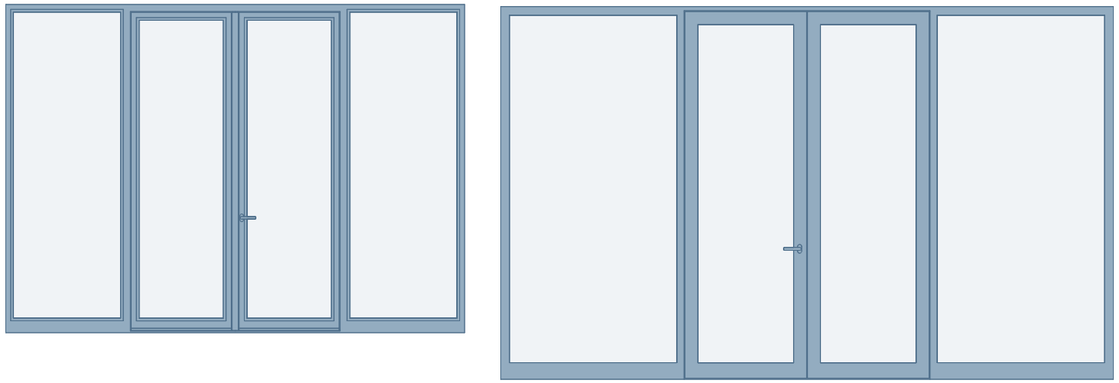


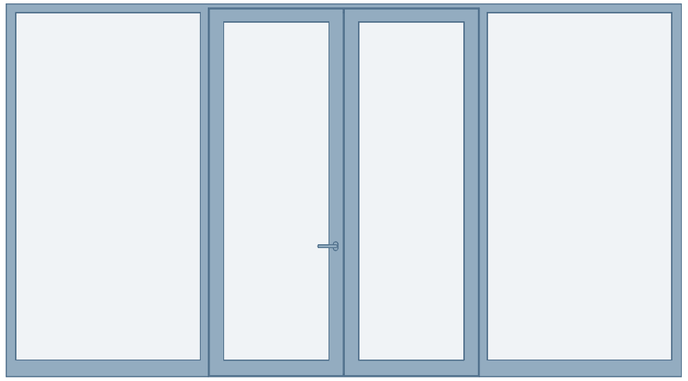
,	PROPRIETÀ GEOMETRICHE		PROPRIETÀ TERMOFISICHE			
	Area totale del serramento		**Uw [W/m^2K]**	Trasmittanza del serramento	**Ug [W/m^2K]**	Trasmittanza del vetro
	Area vetrata		**Uw+shut [W/m^2K]**	Trasmittanza con chiusura oscurante	**Uf [W/m^2K]**	Trasmittanza del telaio
	Area del telaio		**ggl**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

ABACO SERRAMENTI

Scala 1:50



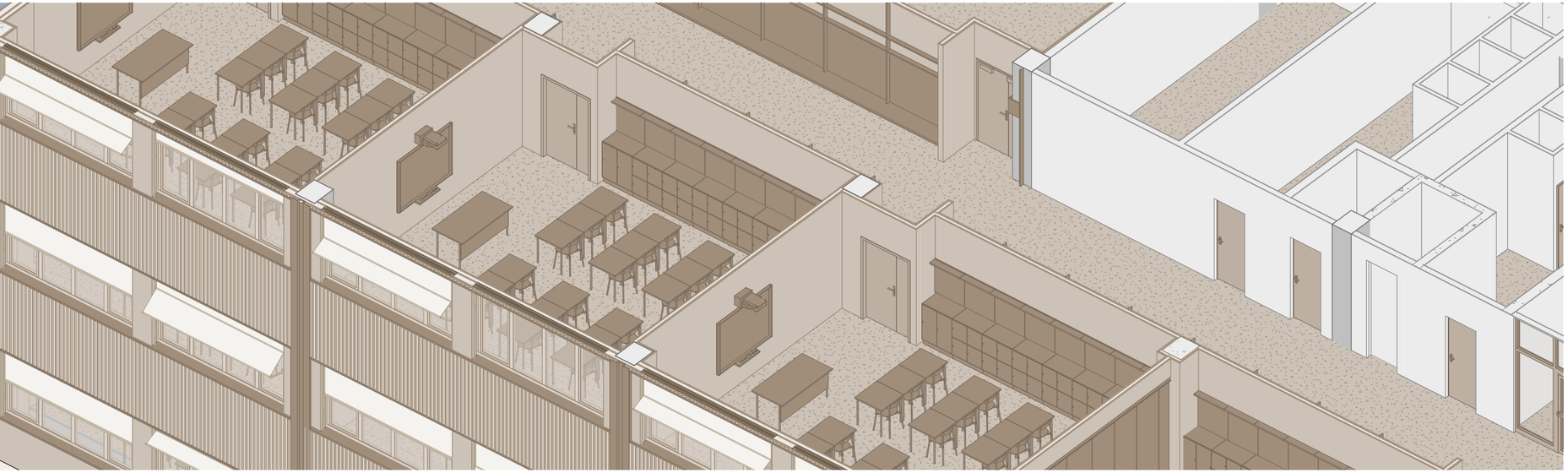




	PROPRIETÀ GEOMETRICHE					PROPRIETÀ TERMOFISICHE							
	Aw,p [m^2]	Ag [m^2]	Af [m^2]	Ff	lg [m]	Uw [W/m^2K]	Uw+shut [W/m^2K]	ggl	ggl+sh	ε	Ug [W/m^2K]	Uf [W/m^2K]	ψ [W/mK]
\\ F07	7,46	5,72	1,74	0,233	19,96	1,15	—	0,52	—	0,90*	1	1,2	0,040*
\\ F08	2,01	1,43	0,58	0,289	5,11	1,16	—	0,52	—	0,90*	1	1,2	0,040*
\\ F09	4,19	3,22	0,97	0,232	10,74	1,15	—	0,52	—	0,90*	1	1,2	0,040*
\\ F10	23,58	20,82	2,76	0,117	47,52	1,1	—	0,52	—	0,90*	1	1,2	0,040*
\\ F11	24,77	17,86	6,91	0,279	66,66	1,16	—	0,52	—	0,90*	1	1,2	0,040*
\\ P_t02	9,64	7,4	2,24	0,232	25,44	1,15	—	0,52	—	0,90*	1	1,2	0,040*
\\ P_t03	14,61	11,58	3,03	0,207	30,36	1,12	—	0,52	—	0,90*	1	1,2	0,040*
\\ P_t04	16,1	12,76	3,34	0,207	31,22	1,12	—	0,52	—	0,90*	1	1,2	0,040*
\\ P_t05	6,54	4,28	2,26	0,346	20,36	1,19	—	0,52	—	0,90	1,00	1,20	0,04

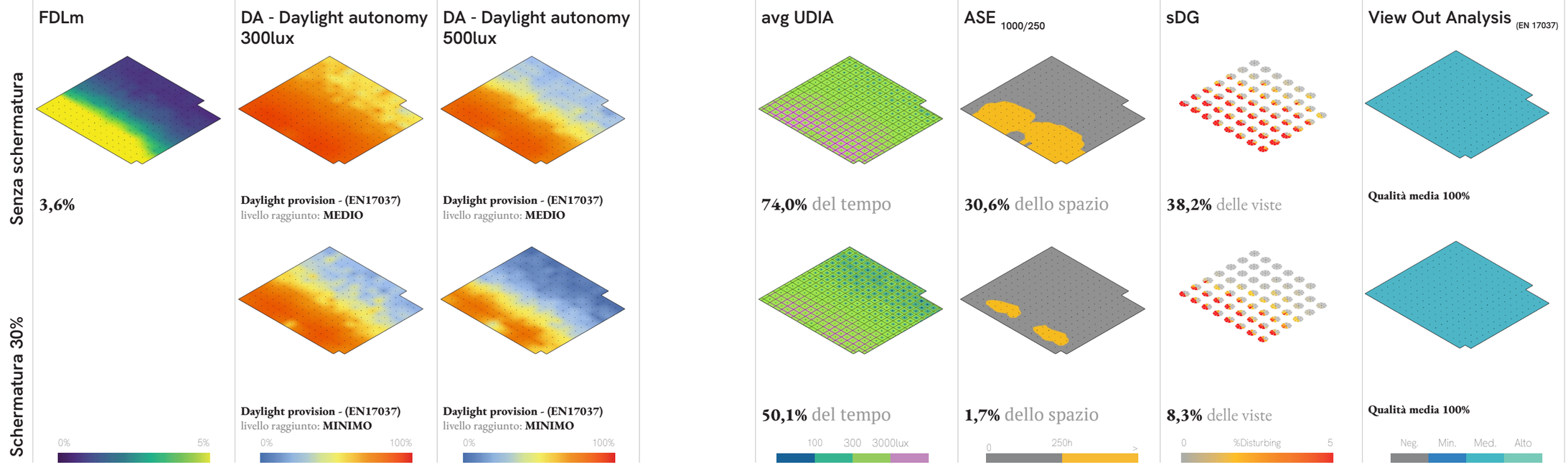
	PROPRIETÀ GEOMETRICHE		PROPRIETÀ TERMOFISICHE			
,	Area totale del serramento	**Uw [W/m^2K]**	Trasmittanza del serramento	**Ug [W/m^2K]**	Trasmittanza del vetro
	Area vetrata	**Uw+shut [W/m^2K]**	Trasmittanza con chiusura oscurante	**Uf [W/m^2K]**	Trasmittanza del telaio
	Area del telaio	**ggl**	Fattore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

ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA EST

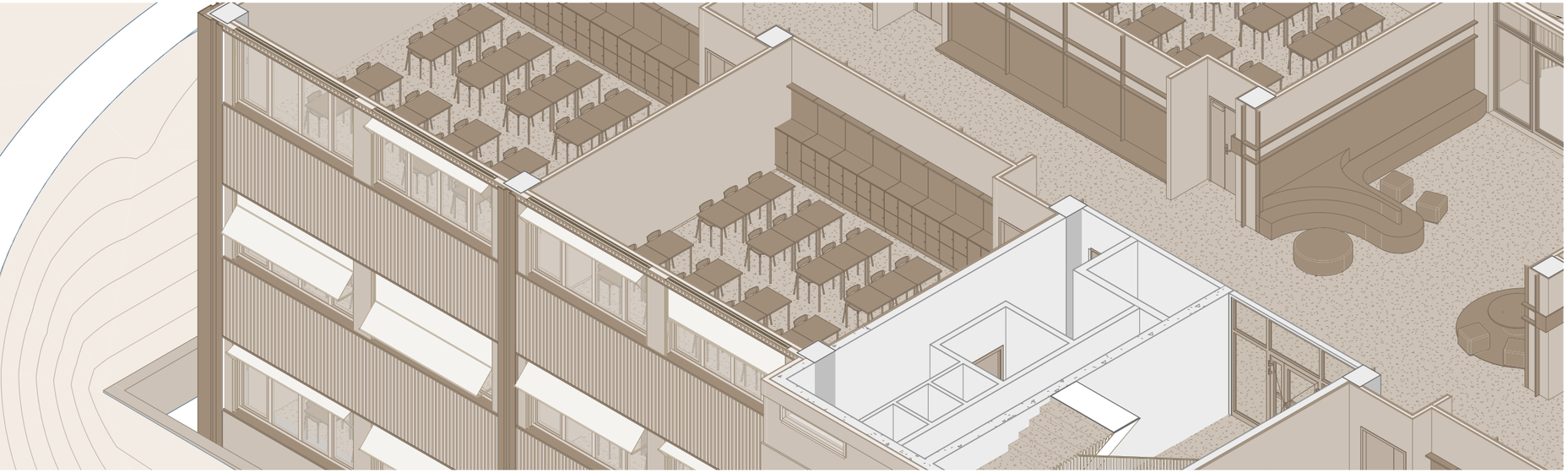


Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/ρv
Pavimento	60,5	Tapiflex	Beige	0,4
Soffitto	60,5	Celenit	Naturale	0,4
Parete S	22,27	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Parete O	21,87	Intonaco	Verde salvia	0,43
Parete N	22,27	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Parete E	12,21	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Porta	2,7	Alluminio	Beige	0,6
F01				0,74

Parametro	Valore
Superficie utile	60,50 m²
Superficie vetrata	9,28 m²
WFR	21,00%
Riflettanza media (ρ_m)	0,63

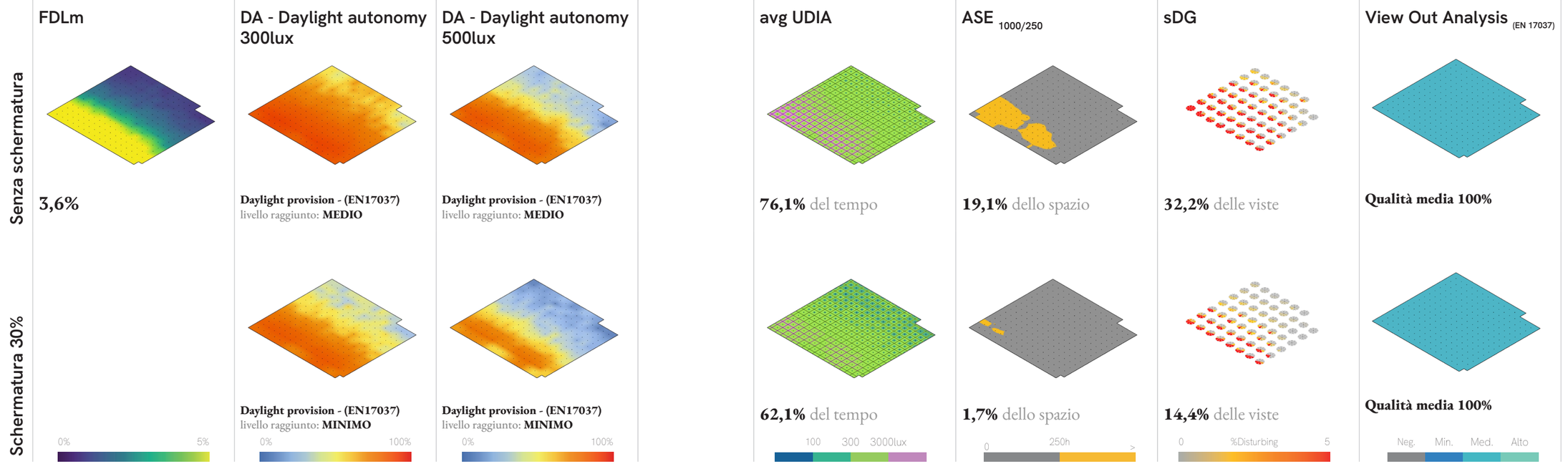


ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA OVEST

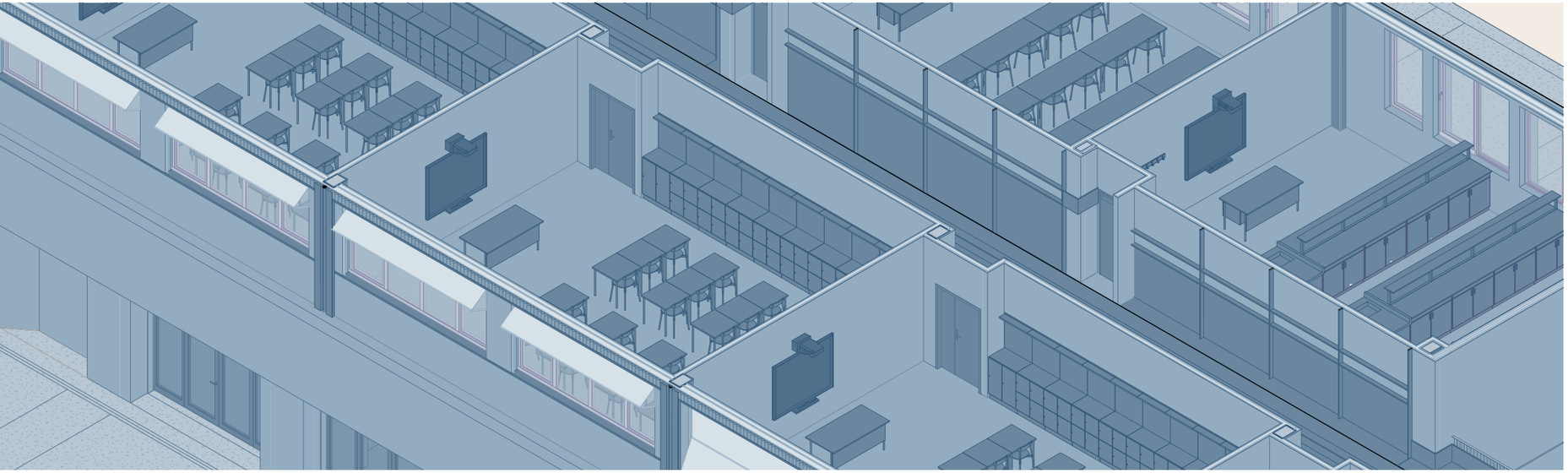


Elemento	Area [m^2]	Materiale	Colore	ρ/rif.
Pavimento	60,5	Tapiflex	Beige	0,4
Soffitto	60,5	Celenit	Naturale	0,4
Parete S	22,27	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Parete O	21,87	Intonaco	Verde salvia	0,43
Parete N	22,27	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Parete E	12,21	Intonaco	Bianco-giallo	0,7
Porta	2,7	Alluminio	Beige	0,6
F01				0,74

Parametro	Valore
Superficie utile	60,50 m²
Superficie vetrata	9,28 m²
WFR	21,00%
Riflettanza media (ρ_m)	0,63

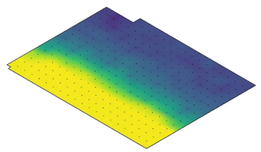
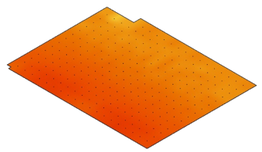
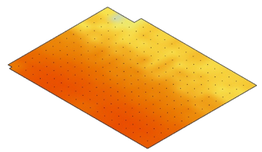
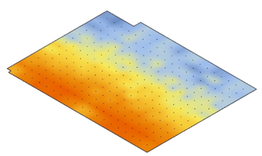
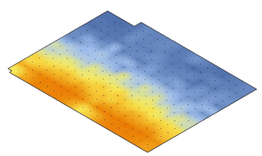


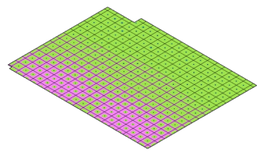
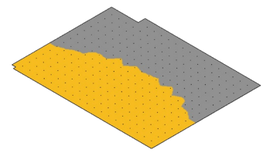
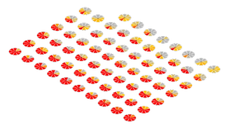
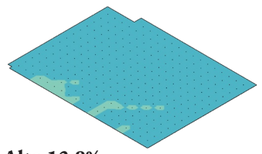
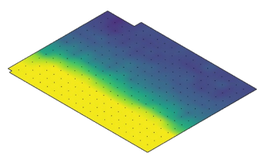
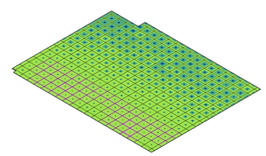
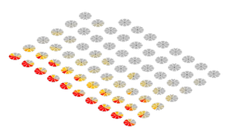
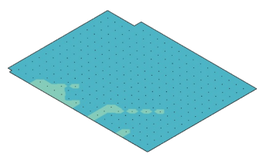
ANALISI ILLUMINOTECNICA - AULA SUD



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
F01				0,74

Parametro	Valore
Superficie utile	71,90 m²
Superficie vetrata	11,36 m²
WFR	20,80%
Riflettanza media (ρ_m)	0,58

	FDLm	DA - Daylight autonomy 300lux	DA - Daylight autonomy 500lux
Senza schermatura	 **3, %**	 **Daylight provision - (EN17037)** livello raggiunto: **ALTO**	 **Daylight provision - (EN17037)** livello raggiunto: **ALTO**
Schermatura 30%	0% 5%	 **Daylight provision - (EN17037)** livello raggiunto: **MINIMO** 0% 100%	 **Daylight provision - (EN17037)** livello raggiunto: **MINIMO** 0% 100%

	avg UDIA	ASE 1000/250	sDG	View Out Analysis (EN 17037)
	 **70,5%** del tempo	 **49,1%** dello spazio	 **47,6 %** delle viste	 **Alto 12,8%** **Medio 38,8%** **Basso 48,4%**
	 **67,9%** del tempo 100 300 3000lux	 **12,8%** dello spazio 0 250h >	 **11,0%** delle viste 0 %Disturbing 5	 **Alto 0,4%** **Medio 30,6%** **Basso 69,0%** Neg. Min. Med. Alto

CONSIDERAZIONI. I risultati mostrano, negli ambienti analizzati, il problema principale degli ambienti analizzati non è la difficoltà di controllare la componente diretta. In assenza di schermatura, tutte le aule presentano infatti una disponibilità di luce naturale complessivamente elevata, ma questa condizione è accompagnata da percentuali significative di sovraesposizione e di disturbo visivo. Ne deriva che un maggiore ingresso di luce non coincide necessariamente con una migliore qualità illuminotecnica: oltre una determinata soglia, l'apporto solare diretto diventa una criticità anziché una risorsa.

Il confronto tra i tre orientamenti evidenzia inoltre che la stessa schermatura produce effetti molto diversi a seconda dell'esposizione, rendendo poco efficace una strategia di controllo uniforme.

Nell'aula Sud la schermatura presenta il comportamento complessivamente più favorevole. L'ASE si riduce in maniera consistente, dal 49,1% al 12,8% dello spazio, e il sDG passa dal 47,6% all'11,0%, mentre l'avg UDIA rimane pressoché invariato, passando dal 70,5% al 67,9%. Questo significa che gran parte della radiazione eliminata dalla schermatura non rappresentava luce realmente utile allo svolgimento delle attività, ma una componente eccessiva responsabile di sovraesposizione e potenziale abbagliamento. Sul fronte Sud, quindi, la schermatura migliora la qualità della luce più di quanto ne riduca la quantità, risultando particolarmente efficace dal punto di vista del comfort visivo. L'esposizione Est restituisce invece il risultato più delicato. L'attivazione della schermatura è estremamente efficace nel controllo dei fenomeni critici, con ASE che passa dal 30,6% all'1,7% e sDG dal 38,2% all'8,3%; contemporaneamente, però, l'avg UDIA scende dal 74,0% al 50,1%. La schermatura elimina quindi non soltanto la radiazione indesiderata, ma anche una quota rilevante della luce utile. Ciò suggerisce che una schermatura mantenuta permanentemente nella configurazione analizzata sarebbe sovradimensionata rispetto alle effettive necessità dell'aula. Il fronte Est richiede piuttosto un controllo temporale, concentrato nelle prime ore della giornata, quando l'incidenza solare radente coincide con l'orario di utilizzo scolastico e con il maggiore rischio di abbagliamento.

L'aula Ovest assume una posizione intermedia. La schermatura riduce efficacemente l'ASE dal 19,1% all'1,7% e il sDG dal 32,2% al 14,4%, mentre l'avg UDIA passa dal 76,1% al 62,1%. La perdita di disponibilità luminosa è quindi presente ma meno penalizzante rispetto all'Est. Inoltre, poiché la radiazione più critica interessa prevalentemente le ore pomeridiane, la necessità di schermatura coincide solo parzialmente con il periodo di maggiore utilizzo didattico. Anche in questo caso appare pertanto più appropriato un funzionamento regolabile piuttosto che una protezione permanente.

Un ulteriore elemento emerge dalla View Out Analysis. La schermatura non modifica soltanto la quantità di radiazione entrante, ma incide anche sulla qualità della relazione visiva con l'esterno. Tale effetto è relativamente contenuto a Ovest, mentre diventa più evidente a Est e soprattutto a Sud, dove con la schermatura aumenta significativamente la quota di vista classificata come bassa. Si evidenzia quindi un secondo compromesso progettuale: la configurazione più efficace dal punto di vista del controllo solare non coincide necessariamente con quella migliore per la qualità della vista.

Nel complesso, i risultati non supportano l'impiego di una schermatura fissa o mantenuta costantemente nella stessa posizione, ma confermano la validità di un sistema mobile e modulabile come la markisolette. La sua funzione non è semplicemente quella di ridurre indiscriminatamente la quantità di luce entrante, bensì di intervenire nei periodi in cui la componente diretta produce condizioni di sovraesposizione o abbagliamento, lasciando invece maggiormente libera l'apertura quando la radiazione disponibile è utile.

Da questo punto di vista, le simulazioni suggeriscono una strategia differenziata: maggiore necessità di protezione sul fronte Sud, controllo prevalentemente mattutino a Est e pomeridiano a Ovest. La regolazione della schermatura in funzione dell'orientamento e delle condizioni solari consente quindi di trasformare il sistema da semplice elemento di protezione a vero e proprio dispositivo di gestione dinamica della luce naturale.

ACUSTICA. 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.

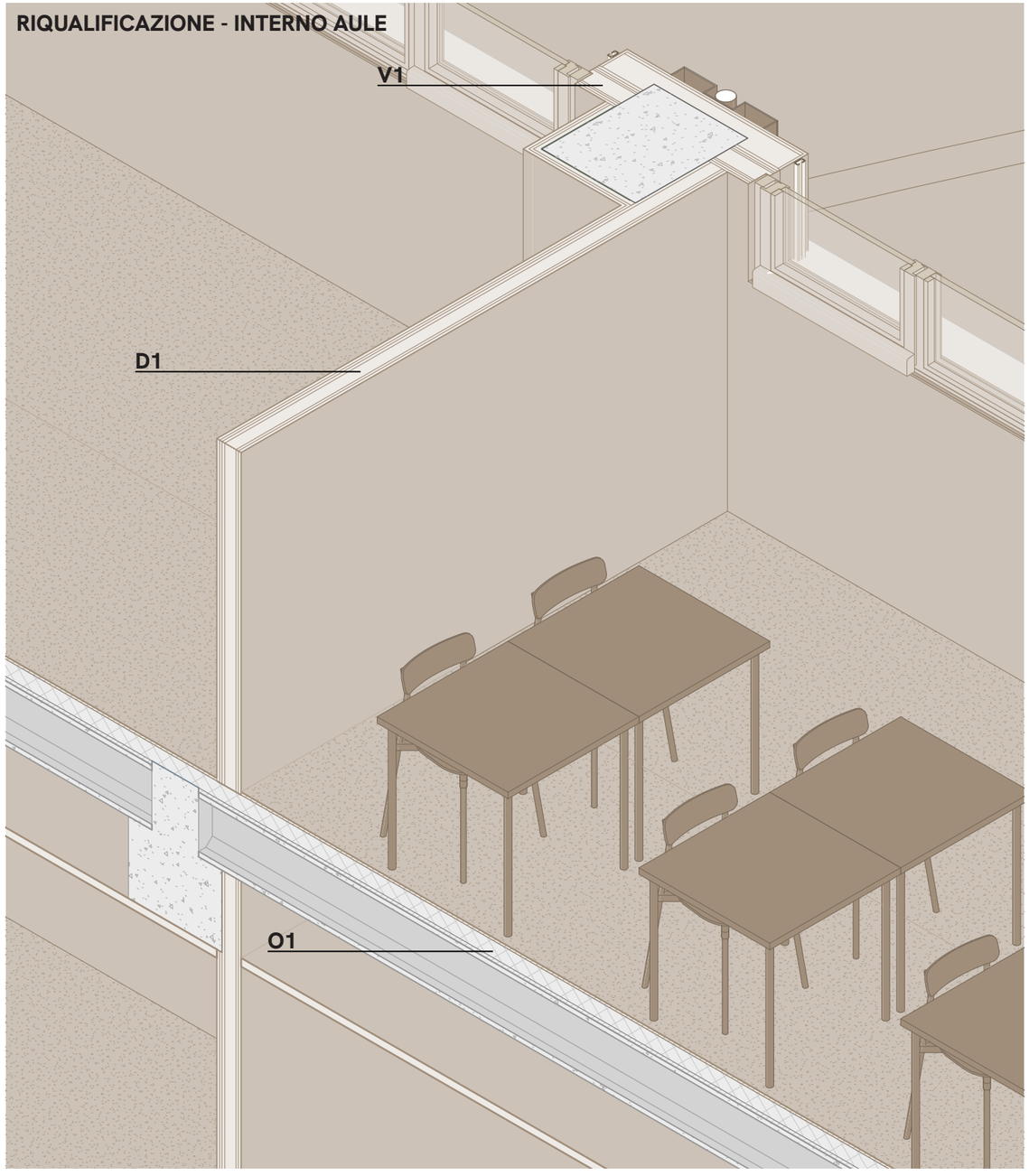
L'analisi è sviluppata distinguendo le due principali condizioni progettuali: la riqualificazione del corpo esistente e il nuovo ampliamento. Le verifiche riguardano le prestazioni delle facciate e delle partizioni interne, verticali e orizzontali, considerando l'isolamento dai rumori aerei e, nel caso 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.



V1 - 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		87,95

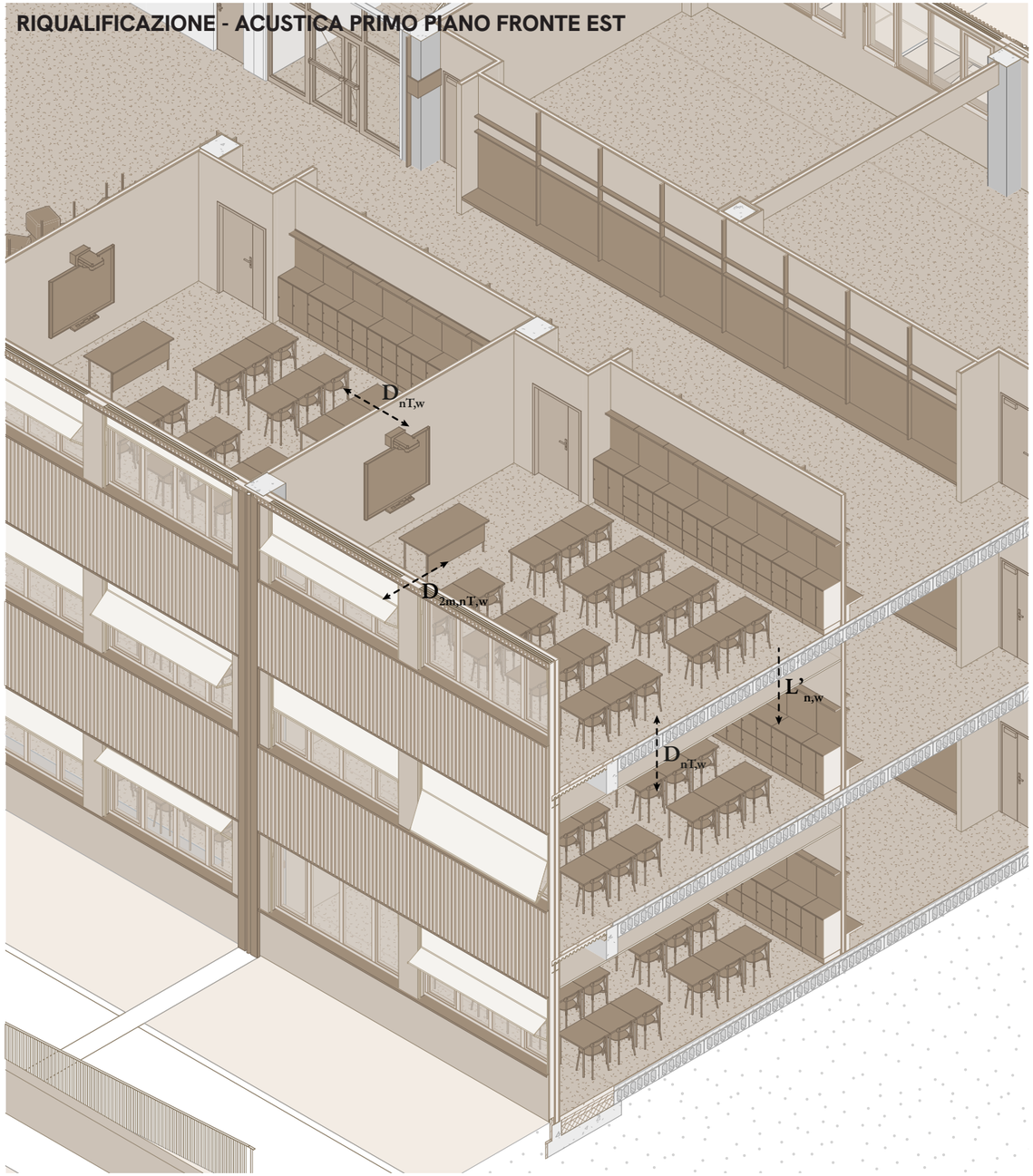
D1 - PARTIZIONE VERTICALE

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		53,6

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		552,71

RIQUALIFICAZIONE - ACUSTICA PRIMO PIANO FRONTE EST



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

Parete perimetrale	A = 15,5m²	$D_{2m,nT,w}$ = 48,8dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	VERIFICATO
	Rw = 50dB	R'w = 46,0dB	CAM 2025 $D_{2m,nT,w} \geq$ 48dB	
Serramenti	A = 2 * 6,25m²			
	Rw = 45dB			

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

Divisorio	A = 22,43m²	$D_{nT,w}$ = 64,9dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq$ 50dB	VERIFICATO
	Rw = 61dB	R'w = 60,3dB	CAM 2025 $D_{nT,w} \geq$ 55dB	
Locale ricevente	V = 181,4m³			
Incertezza	3,53dB			

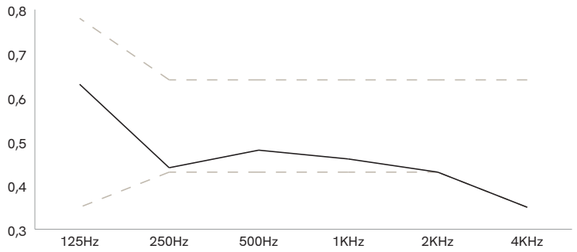
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

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			

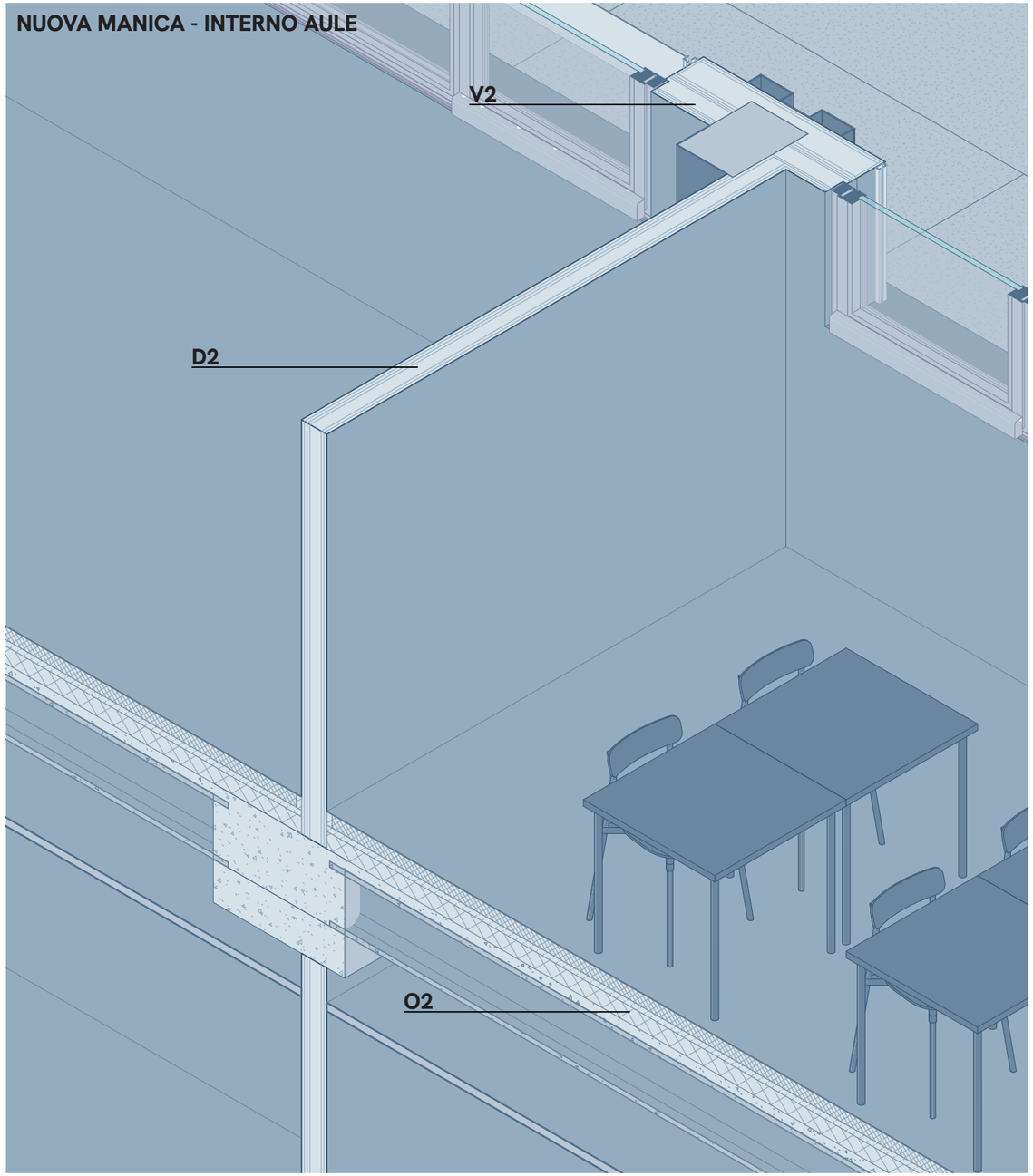
LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$ - $L'_{nT,w}$)

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'nT,w = 48,5dB	CAM 2025 $L'_{n,w} \leq$ 53 dB	NON VERIFICATO
$L_{n,eq,0,w}$	75,3dB			
ΔL_w	19dB			
ΔR_w strati agg.	-9 / +14,8dB			

COMFORT ACUSTICO AMBIENTI (T - C50 - STI)



T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz **0,45s**	UNI11532-2:2020	CONFORME
C50 medio **5,50**	Tott = 0,55 s 0,44 s ≤ T ≤ 0,66 s	
STI **0,70**	C50 ≥ 2 dB	
	STI ≥ 0,55	



V2 - CHIUSURA VERTICALE

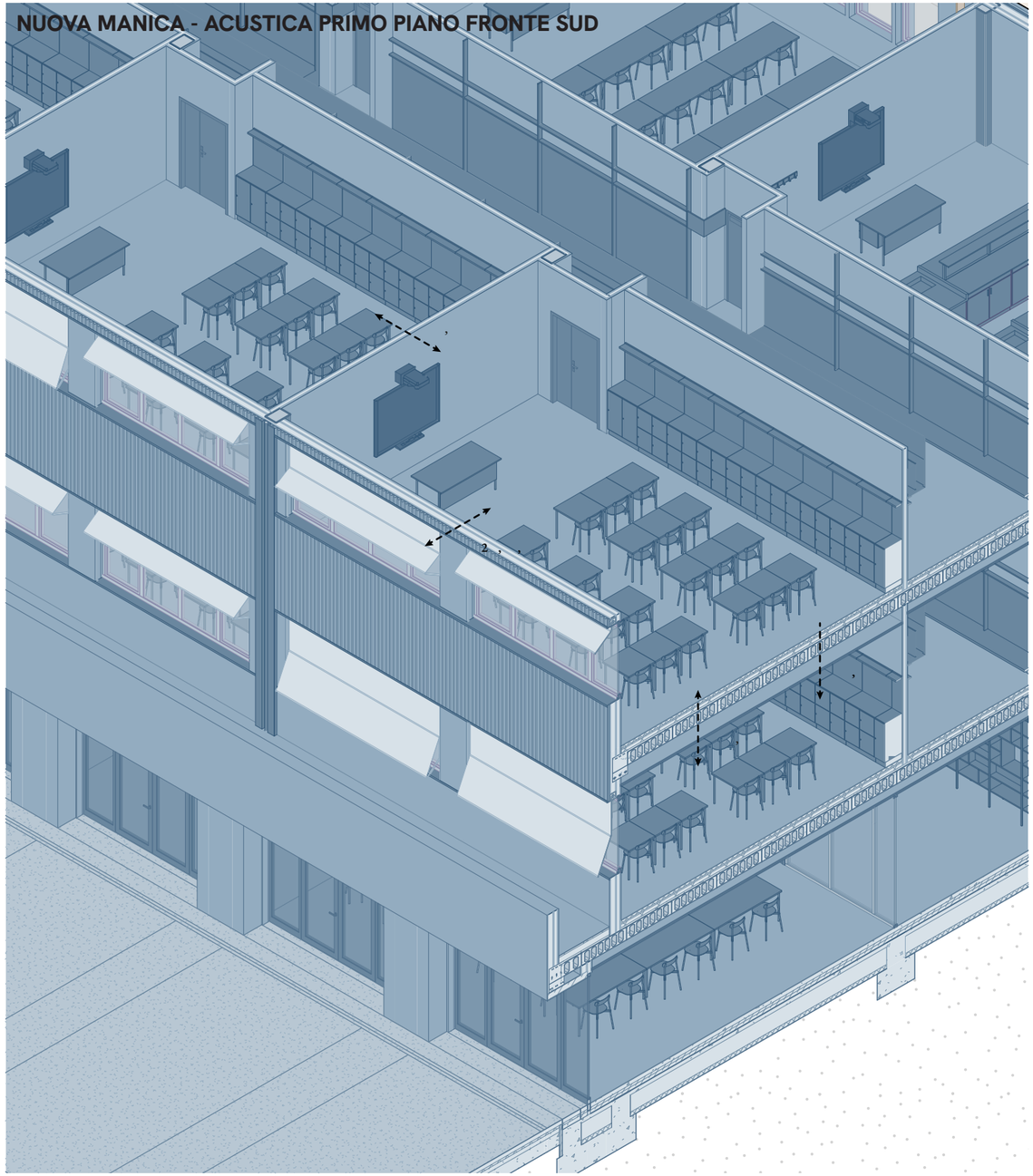
Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Massa superficiale [kg/m^2]
Lastra Diamant	1,25	1040	10
Lastra Diamant	1,25	1040	10
Knauf Insulation - NaturBoard FORTE	8,0 + 2,0*	100	1
Lastra Diamant	1,25	1040	10
Barriera al vapore Riwega DS 188 ALU	0,03	567	666667
Knauf Insulation - NaturBoard WALLS	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	$D_{2m,nT,w}$ = 49,6dB	DPCM 5/12/97 $D_{2m,nT,w} \geq 45dB$	VERIFICATO
	Rw = 50dB	R'w = 46,0dB	CAM 2025 $D_{2m,nT,w} \geq 43dB$	
Serramenti	A = 2 * 7,4m²			
	Rw = 45dB			

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

Divisorio	A = 23,5m²	$D_{nT,w}$ = 64,9dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq 50dB$	VERIFICATO
	Rw = 61dB	R'w = 60,3dB	CAM 2025 $D_{nT,w} \geq 55dB$	
Locale ricevente	V = 216,9m³			
Incertezza	2,94dB			

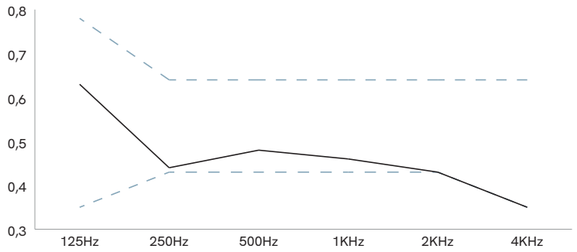
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$ - R'_w)

Area divisorio	72,3m²	$D_{nT,w}$ = 75,9dB	DPCM 5/12/97 $D_{nT,w} \geq 50dB$	VERIFICATO
Volume locale	216,9m³	R'w = 76,2dB	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 (T - C50 - STI)



T calcolato valore medio 250Hz - 2Khz **0,50s**	UNI11532-2:2020	CONFORME
C50 medio **5,1**	Tott = 0,55 s 0,44 s ≤ T ≤ 0,66 s	
STI **0,66**	C50 ≥ 2 dB	
	STI ≥ 0,55	

STRATIGRAFIE E COMPORTAMENTO IGROTERMICO. La verifica delle stratigrafie è finalizzata a valutare le prestazioni termoigrometriche dell'involucro edilizio e a verificare la coerenza delle soluzioni adottate rispetto ai requisiti normativi assunti per il progetto. L'analisi riguarda sia gli elementi opachi verticali sia le coperture e i solai, considerando le differenti condizioni proprie della riqualificazione del corpo esistente e della realizzazione del nuovo ampliamento.

Per ciascun componente sono state ricostruite le relative stratigrafie, associando ai diversi materiali le principali proprietà termofisiche. La verifica della trasmittanza termica consente di valutare la capacità dell'elemento di limitare le dispersioni attraverso l'involucro e di confrontare le prestazioni ottenute con i valori limite previsti dalla normativa vigente. La lettura dei risultati permette inoltre di individuare l'incidenza dei singoli strati e di verificare l'efficacia dell'isolamento introdotto nelle diverse soluzioni progettuali.

Accanto alla prestazione termica è stato analizzato il comportamento igrometrico dei componenti, verificando il rischio di formazione di condensa superficiale e interstiziale. Tale controllo assume particolare rilevanza nelle stratigrafie caratterizzate dalla compresenza di materiali con differenti proprietà di diffusione del vapore, per le quali una disposizione non corretta degli strati può determinare accumuli di umidità all'interno del pacchetto costruttivo.

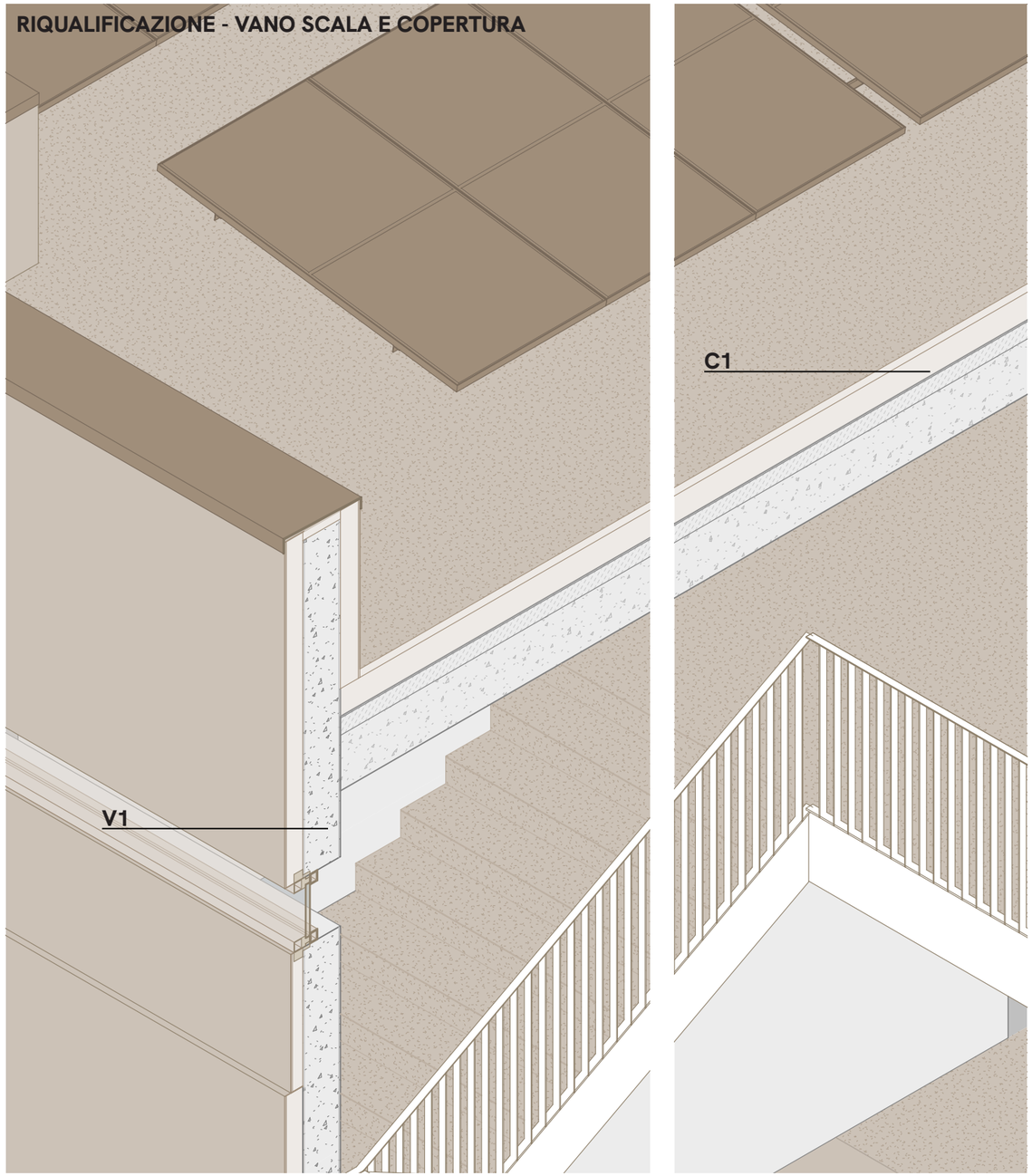
Nel corpo esistente gli interventi sono condizionati dalle caratteristiche delle strutture originarie e dalla necessità di operare, ove possibile, senza modificare gli elementi strutturali esistenti. Le soluzioni adottate sono state quindi calibrate in funzione delle condizioni specifiche dei diversi componenti, intervenendo sugli strati di completamento e di isolamento. Nel nuovo ampliamento, invece, la maggiore libertà progettuale ha consentito di definire stratigrafie maggiormente controllate fin dalla fase di progetto, ponendo particolare attenzione alla continuità dell'isolamento e alla corretta gestione del passaggio del vapore.

La lettura congiunta delle verifiche di trasmittanza e di quelle igrometriche consente quindi di valutare le stratigrafie non soltanto in termini di riduzione delle dispersioni, ma come sistemi complessi nei quali prestazione termica, comportamento al vapore e durabilità devono risultare tra loro compatibili. Le soluzioni definitive sono state pertanto individuate verificando contemporaneamente il rispetto dei limiti prestazionali e l'assenza di condizioni potenzialmente critiche per l'involucro.

FABBISOGNO ENERGETICO. Il calcolo del fabbisogno energetico è stato sviluppato con l'obiettivo di valutare il comportamento complessivo dell'edificio a seguito degli interventi previsti sull'involucro e sugli impianti. L'analisi permette di mettere in relazione le caratteristiche geometriche e costruttive dei diversi corpi edilizi con i relativi profili di utilizzo e con i sistemi impiantistici adottati, evidenziando il contributo delle singole componenti al bilancio energetico complessivo. Considerata l'eterogeneità del complesso scolastico, il modello energetico è stato articolato in più porzioni, distinguendo la manica esistente riqualificata, il nuovo ampliamento, la palestra e il teatro. Tale suddivisione consente di rappresentare in maniera più corretta le differenti destinazioni d'uso, i profili di occupazione e funzionamento e le specifiche configurazioni impiantistiche, evitando di ricondurre a un unico modello edifici caratterizzati da comportamenti energetici differenti.

Per ciascuna porzione sono stati considerati gli apporti e le dispersioni attraverso l'involucro, la ventilazione, i carichi interni e i principali servizi energetici presenti. I risultati del calcolo del fabbisogno di energia primaria sono articolati nelle componenti rinnovabile, non rinnovabile e totale, mentre i relativi indici di prestazione energetica esprimono gli stessi contributi rapportati alla superficie utile. I valori sono inoltre distinti per ciascun servizio energetico, così da evidenziarne l'incidenza sul bilancio complessivo e rendere più immediato il confronto tra le diverse zone termiche.

Particolare attenzione è stata posta al rapporto tra involucro e impianto. La riduzione delle dispersioni ottenuta attraverso il miglioramento delle stratigrafie e dei serramenti modifica infatti direttamente il fabbisogno utile dell'edificio e, di conseguenza, l'energia richiesta ai sistemi di generazione e distribuzione. Parallelamente, l'introduzione di sistemi ad alta efficienza e di fonti rinnovabili consente di ridurre la quota di energia primaria non rinnovabile associata al funzionamento dell'edificio. Il calcolo energetico costituisce quindi la verifica conclusiva delle scelte operate sull'involucro e sugli impianti, consentendo di valutarne gli effetti non come interventi isolati, ma all'interno del comportamento complessivo del sistema edificio-impianto. Il confronto tra i diversi corpi edilizi permette infine di individuare le componenti maggiormente incidenti sui consumi e di evidenziare come destinazione d'uso, caratteristiche dell'involucro e configurazione impiantistica determinino prestazioni energetiche differenti anche all'interno dello stesso complesso scolastico.



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]
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 mm^2/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/m^{2}K	665,0 kg/m^2	0,002 W/m^{2}K	19 h 31’	0,009

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

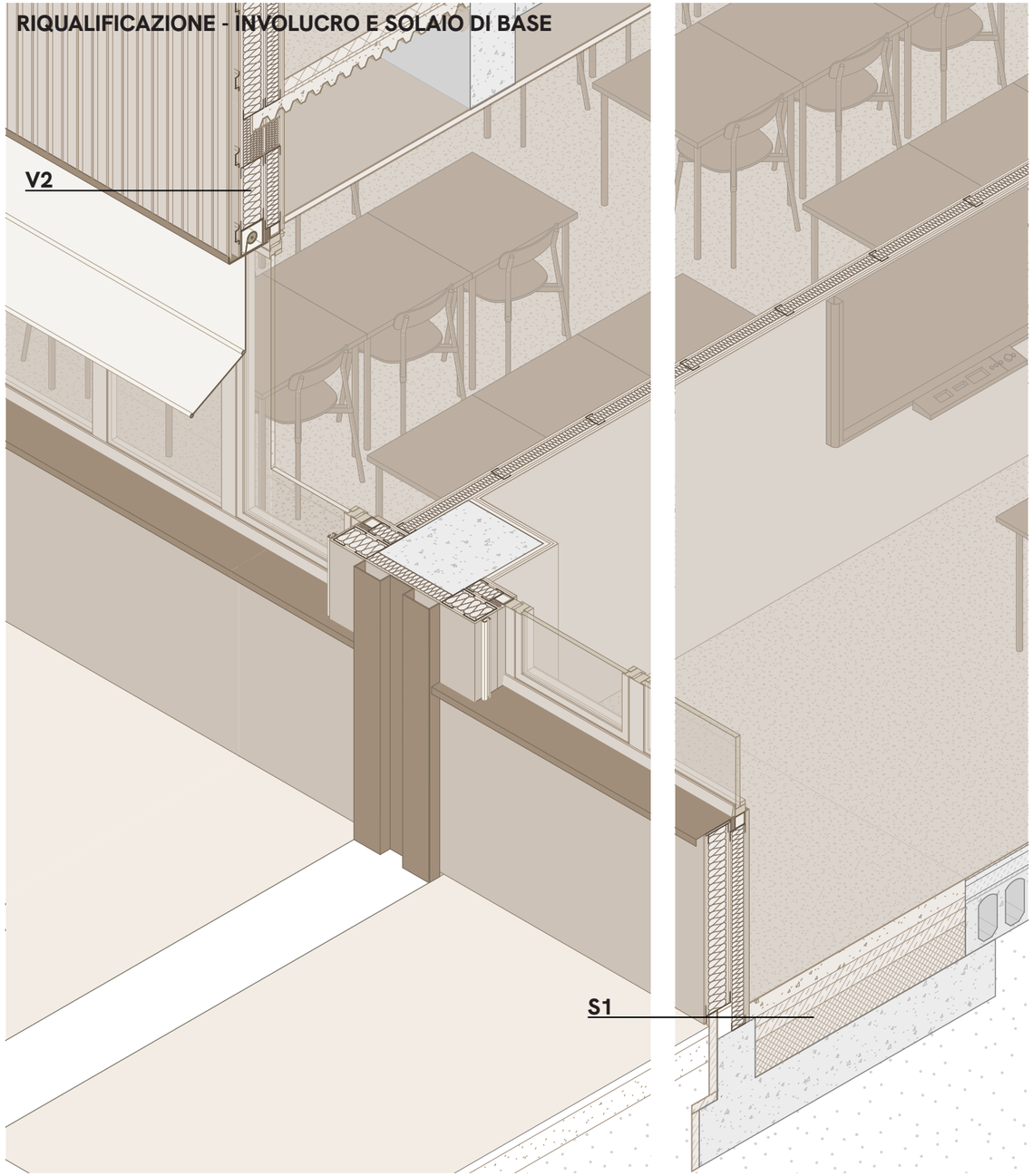
V1 - CHIUSURA VERTICALE

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	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/m^{2}K	644,0 kg/m^2	0,025 W/m^{2}K	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
✓	✓	✓

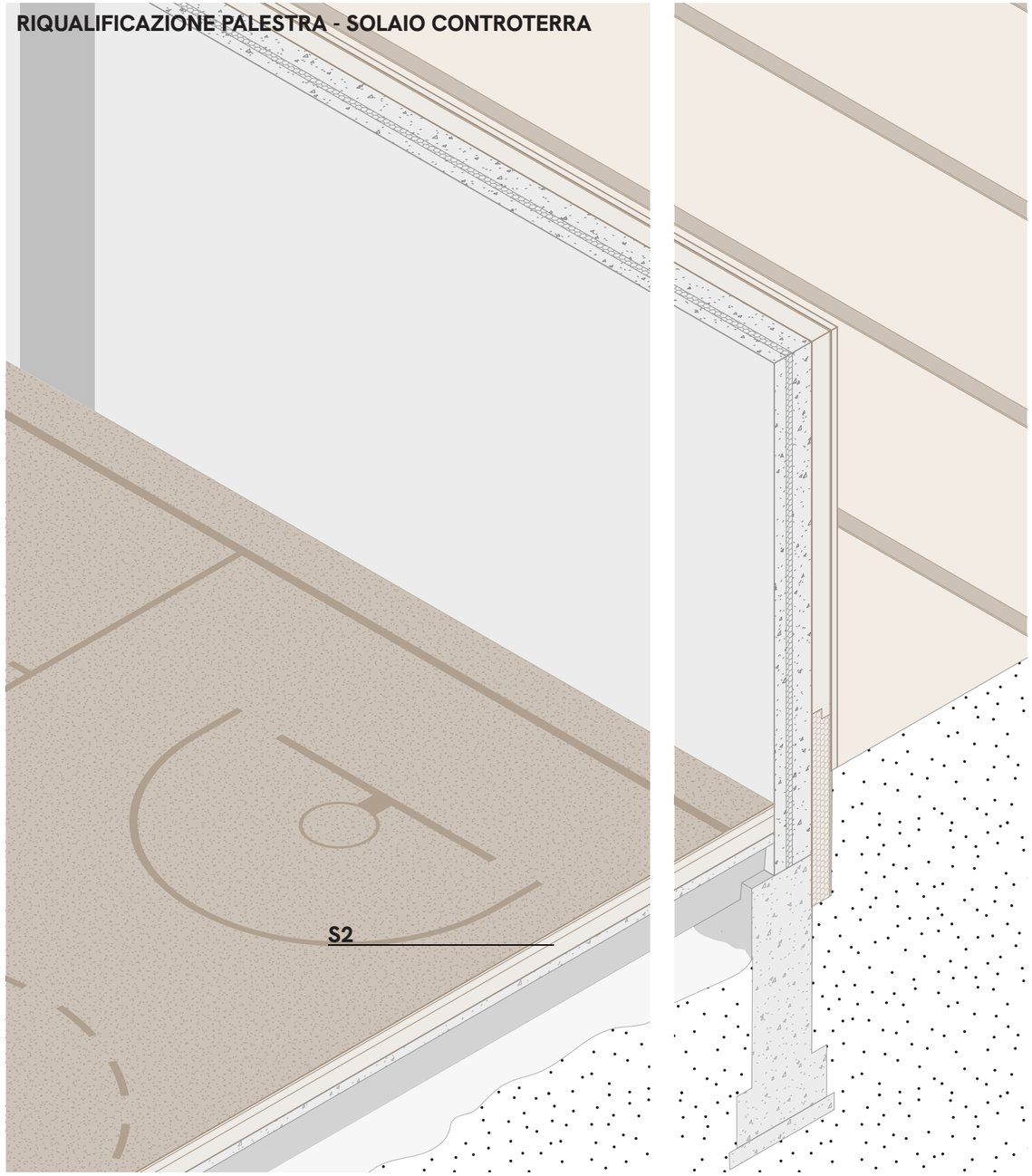
S1 - SOLAIO CONTROTERRA

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
✓	✓	✓



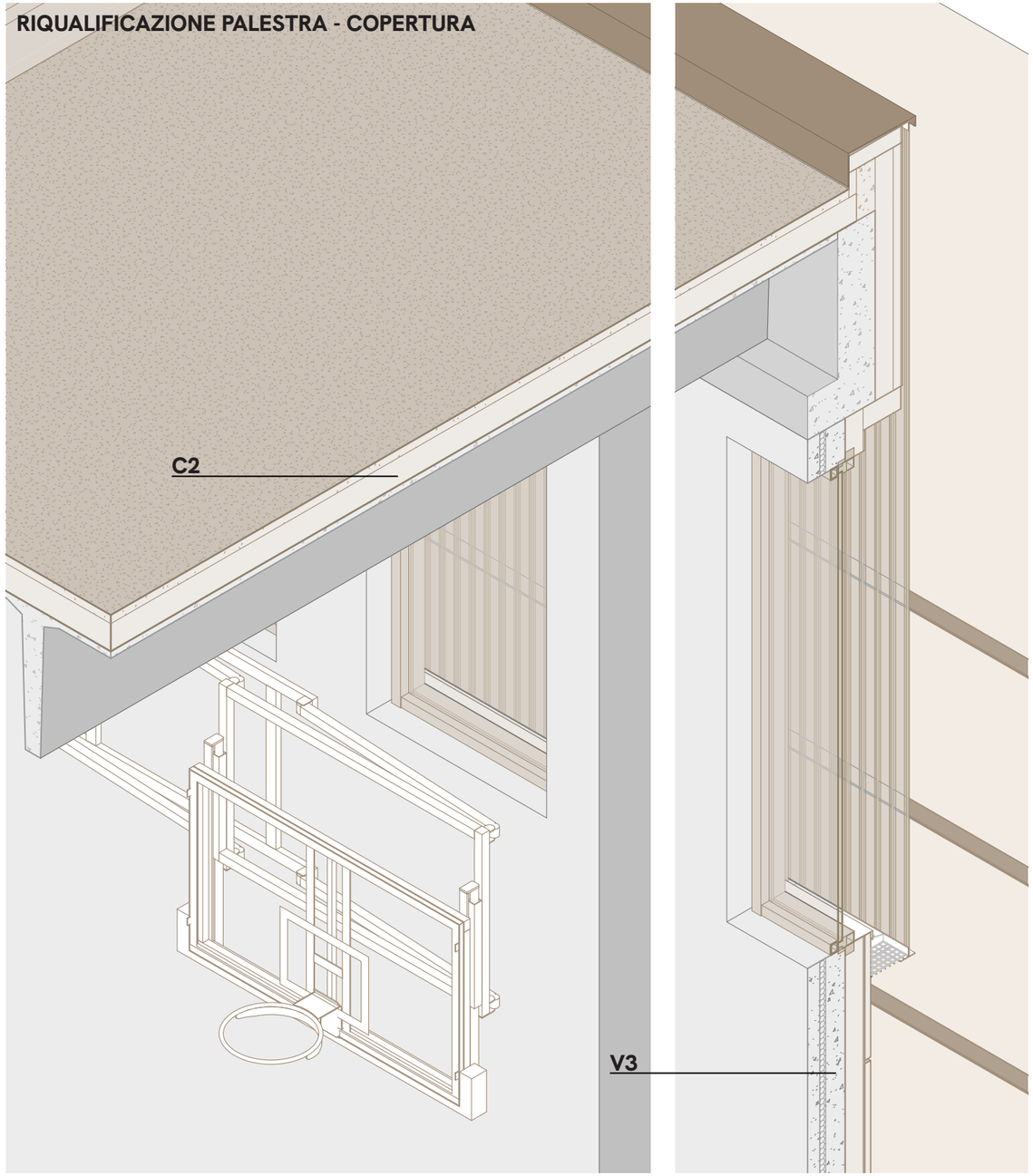
S2 - SOLAIO CONTROTERRA

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Gomma	0,94	1150	10000	1300	0,16
Sottofondo di cemento magro	5	1600	20	880	0,7
Index - SELFTENE BV HE BIADESIVO	0,3	1000	1500000	1300	2
Swisspor PIR KAL 50mm	5	33	100000	1400	0,022
C.l.s. armato	5	2400	130	1000	2,5
TOTALE	75,70				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,327 W/m^{2}K	215,0 kg/m^2	0,205 W/m^{2}K	5 h 49’	0,627

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓



C2 - SOLAIO DI COPERTURA

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Ghiaia	4,00	1700	5	1000	1,2
Impermeabilizzazione in cartone catramato	0,30	1600	188000	1000	0,5
POLIISO PLUS - Pannello isolante	7,00	40	125	1500	0,022
POLIISO PLUS - Pannello isolante	7,00	40	125	1500	0,022
Barriera vapore in fogli di polietilene	0,30	920	100000	2200	0,33
C.l.s. armato	5,00	2300	130	1000	2,3
TOTALE	23,60				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,152 W/m^{2}K	196,0 kg/m^2	0,092 W/m^{2}K	7 h 10’	0,605

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

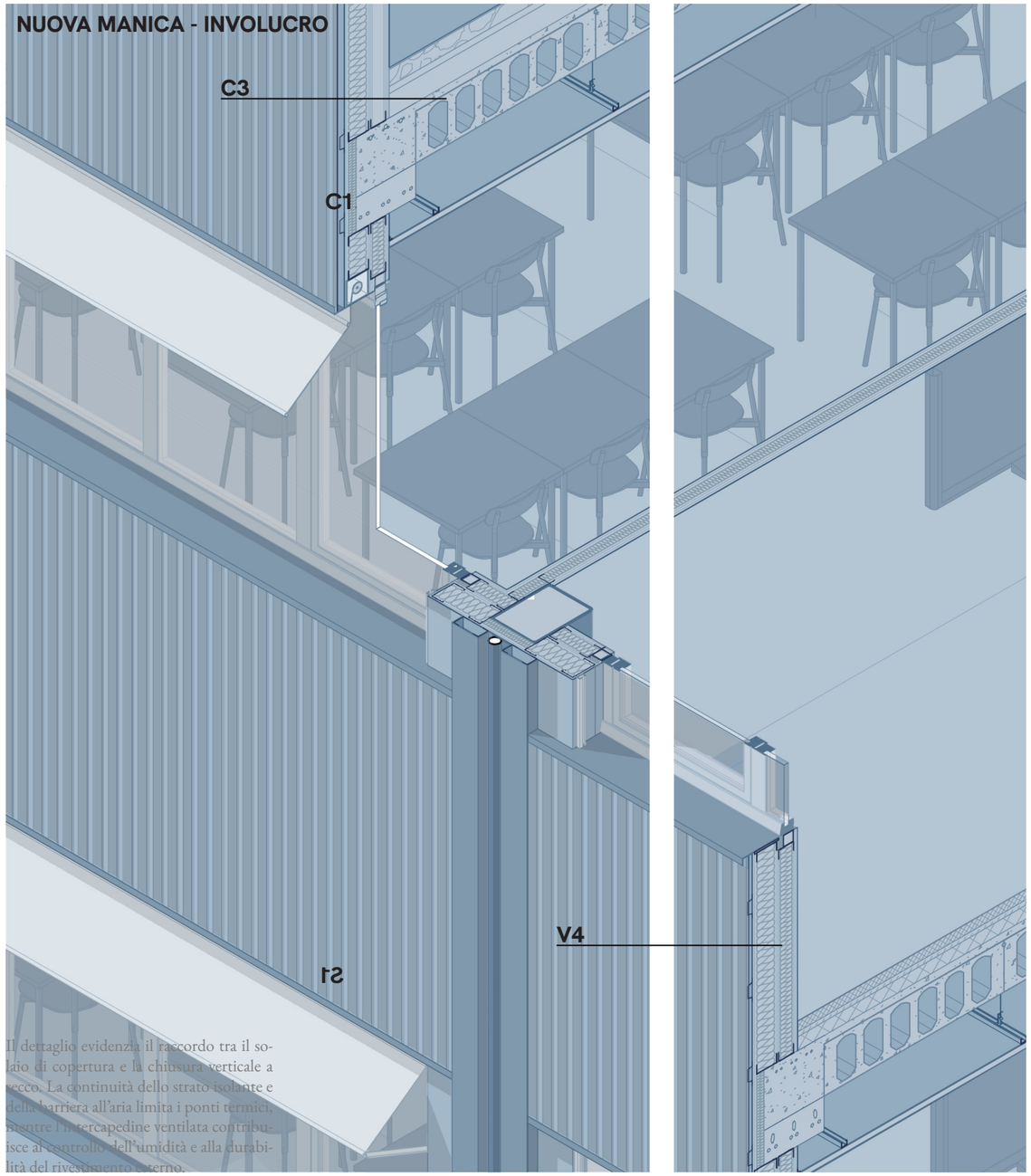
V3 - PARETE PERIMETRALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
Intonaco plastico per cappotto	1,00	1300	30	840	0,3
ROCKWOOL Pannello Frontrock Pro	12,00	80	1	1030	0,034
C.l.s. armato	13,00	2400	130	1000	2,5
Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	4,00	20	44	1450	0,041
C.l.s. armato	8,00	2400	130	1000	2,5
TOTALE	38,00				

Trasmittanza termica U	Massa superficiale	Trasmittanza periodica Yie	Sfasamento	Fattore di attenuazione
0,209 W/m^{2}K	527,0 kg/m^2	0,005 W/m^{2}K	13 h 22’	0,025

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.

C3 - 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
✓	✓	✓

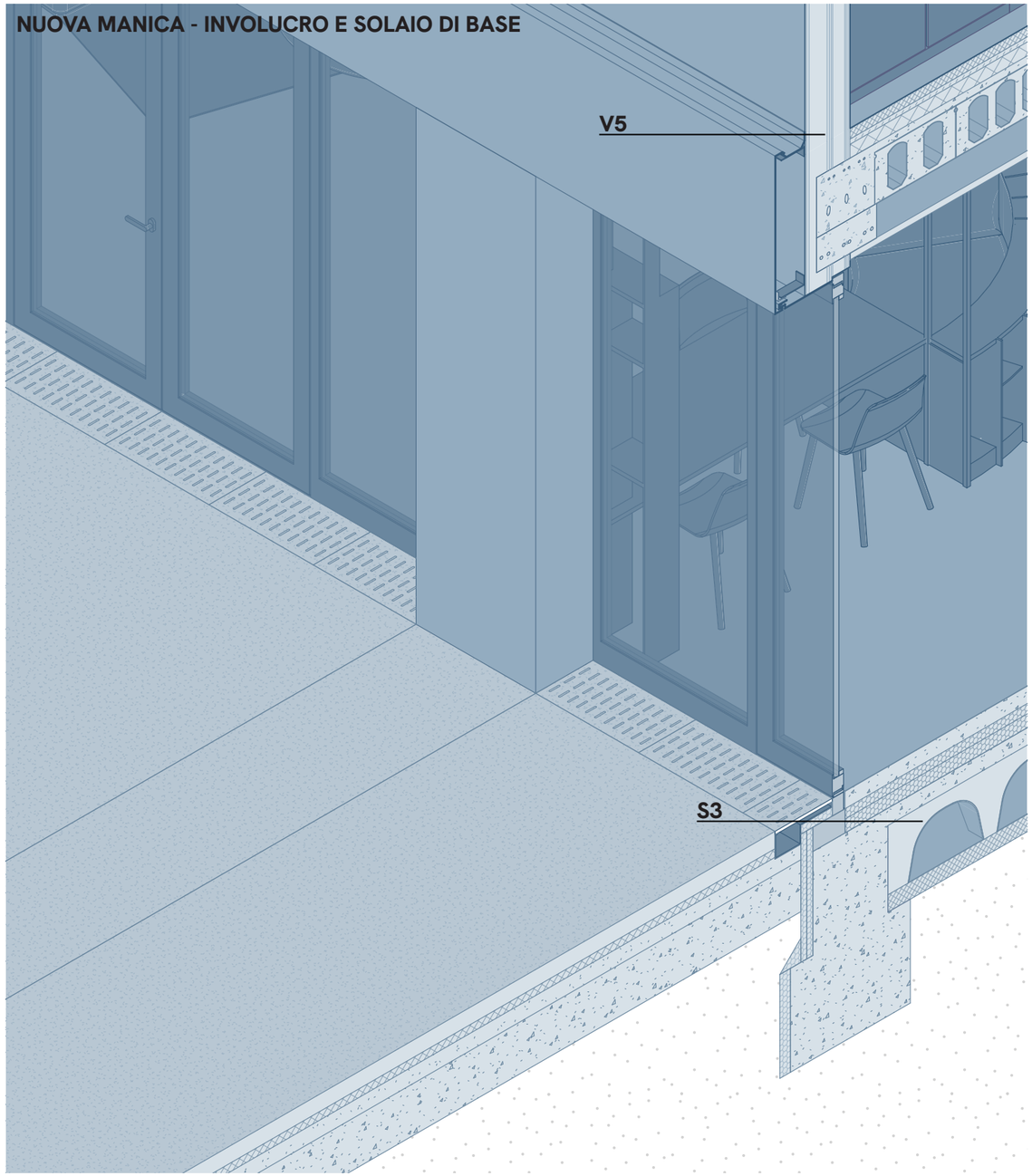
V4 - CHIUSURA VERTICALE

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	2,5	-	-	-	-
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
✓	✓	✓



V5 - 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
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
✓	✓	✓

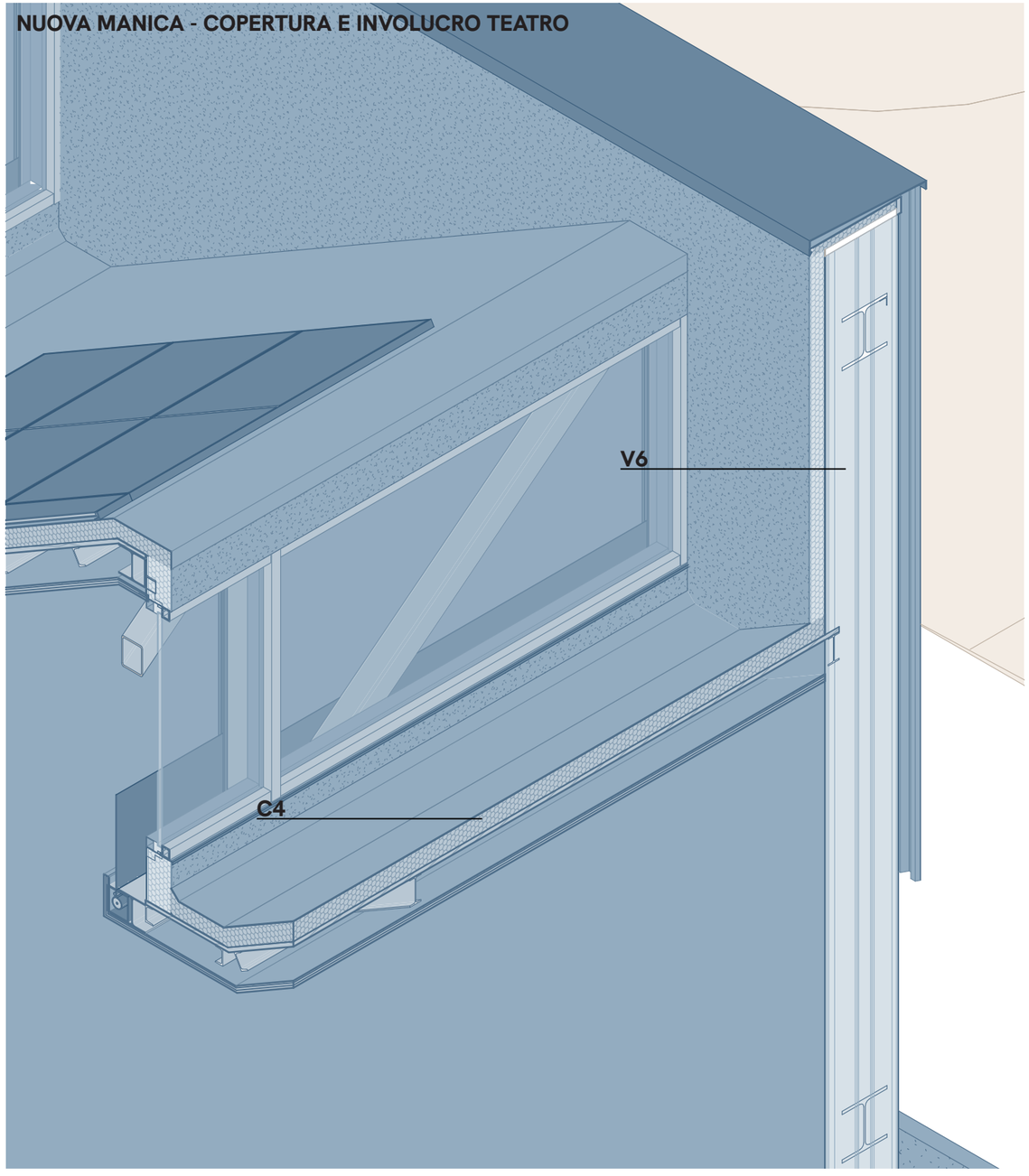
S3 - CHIUSURA ORIZZONTALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
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.	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
✓	✓	✓



V6 - 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
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 - SOLAIO COPERTURA TEATRO

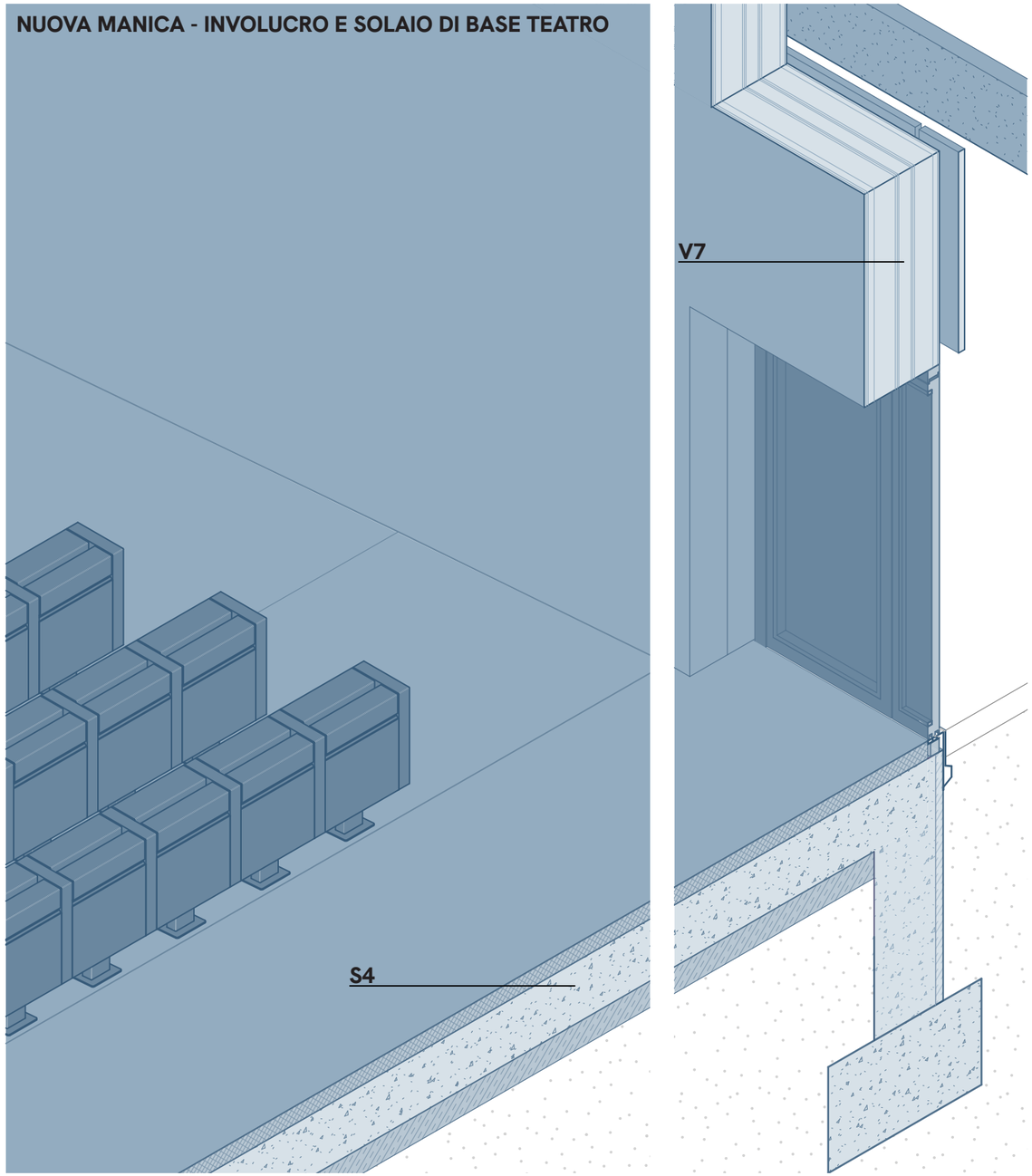
Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m^3]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
ELEVATE - Membrana UltraPly™ TPO	0,20	1.020	200.000	1.500	0,210
Geotex2000 - GEO RPES AG 300	0,10	100	1	100	0,045
Unilin - UTHERM Sarking K	10,00	30	100	3.000	0,022
EGGER- 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
	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
✓	✓	✓

NUOVA MANICA - INVOLUCRO E SOLAIO DI BASE TEATRO



V7 - CHIUSURA VERTICALE

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m³]	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 mm²/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 mm²/m	1,5	—	—	—	0,0882
Knauf Insulation - NaturBoard FORTE	12	100	1	1030	0,035
Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/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 mm²/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/m²K	95,5 kg/m²	0,013 W/m²K	14 h 29’	0,58

VERIFICHE

Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

S4 - SOLAIO CONTROTERRA TEATRO

Stratigrafia	Spessore [cm]	Massa volumica [kg/m³]	Resistenza al vapore [μ]	Calore specifico [J/kg·°C]	Conducibilità termica [W/m·°C]
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/m²K	711,0 kg/m²	0,019W/m²K	12 h 27’	0,58

VERIFICHE

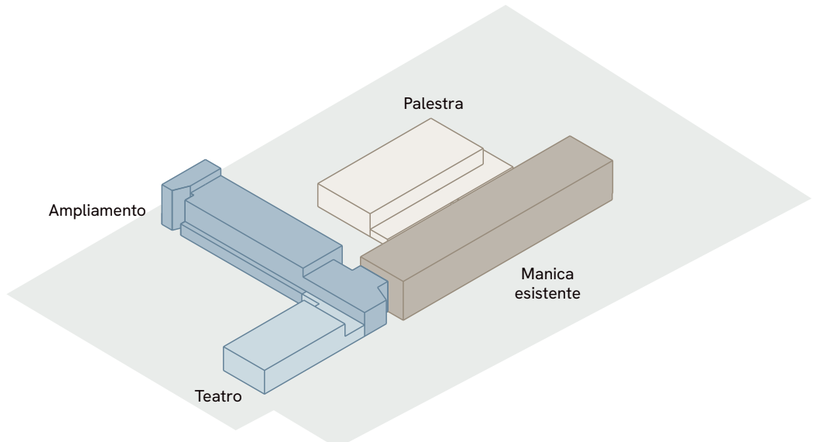
Rischio muffa superficiale	Rischio condensa superficiale	Condensa interstiziale
✓	✓	✓

8.7 CALCOLO FABBISOGNO DEL PROGETTO

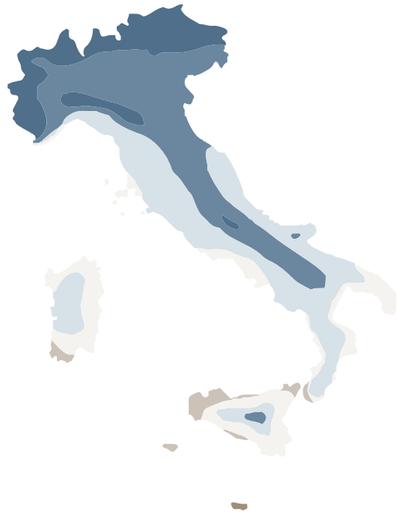
L'analisi energetica del progetto è stata sviluppata mediante il software EdilClima, articolando il complesso scolastico in più sistemi edificio-impianto distinti. Tale suddivisione deriva sia dalla diversa classificazione degli interventi ai fini della normativa energetica, sia dalle differenti modalità di utilizzo degli ambienti e dalle conseguenti scelte impiantistiche.

L'intervento sul corpo scolastico esistente interessa oltre il 50% della superficie disperdente lorda complessiva e prevede la sostituzione del sistema di generazione, distribuzione ed emissione; esso viene pertanto inquadrato come ristrutturazione importante di primo livello ai sensi del D.M. 26 giugno 2015. L'ampliamento, il cui nuovo volume climatizzato supera le soglie previste dalla normativa, viene analizzato separatamente e assoggettato ai requisiti energetici previsti per la porzione di nuova realizzazione. Ai fini della modellazione sono stati quindi individuati quattro ambiti autonomi: il corpo scolastico esistente oggetto di riqualificazione, la palestra, il nuovo ampliamento destinato alle attività didattiche e il teatro. La separazione rispecchia l'effettiva organizzazione impiantistica prevista dal progetto, basata su sistemi dedicati alle diverse porzioni del complesso, e consente di rappresentare in maniera più aderente i differenti profili di occupazione, gli orari di funzionamento e i carichi termici caratteristici delle diverse destinazioni d'uso.

Tale impostazione risponde inoltre a un'esigenza di confrontabilità dei risultati. In particolare, il corpo scolastico esistente viene mantenuto come ambito di calcolo autonomo al fine di confrontarne le prestazioni nelle tre configurazioni considerate nel corso dello studio: stato di fatto, intervento realizzato dalla Città Metropolitana e progetto di riqualificazione proposto. L'ampliamento viene pertanto analizzato separatamente, evitando che l'incremento di superficie, volume e utenza alteri il confronto diretto tra le prestazioni energetiche delle diverse configurazioni dell'edificio preesistente.



INQUADRAMENTO CLIMATICO. Poiché i quattro sistemi edificio-impianto analizzati appartengono al medesimo complesso scolastico, le simulazioni sono state sviluppate assumendo per tutti le stesse condizioni climatiche al contorno, riferite alla città di Torino. I dati climatici utilizzati nel modello sono quelli implementati nel software EdilClima EC700 secondo la UNI 10349:2016.
Torino ricade in zona climatica E e presenta 2.643 gradi giorno. Ai fini del dimensionamento invernale è stata assunta una temperatura esterna di progetto pari a -8 °C, mentre il periodo convenzionale di riscaldamento si estende dal 15 ottobre al 15 aprile, per complessivi 183 giorni.
Per il calcolo delle condizioni estive, il modello assume una temperatura esterna di progetto a bulbo secco pari a 31,0 °C, associata a una temperatura a bulbo umido di 22,7 °C e a un'umidità relativa del 50%. I principali parametri climatici adottati sono sintetizzati nella tabella seguente.



PARAMETRO	VALORE
Località climatica	Torino
Altitudine	239 m s.l.m.
Zona climatica	E
Gradi giorno	2.643 GG
Temperatura esterna di progetto invernale	-8,0 °C
Periodo convenzionale di riscaldamento	15 ottobre - 15 aprile
Durata stagione di riscaldamento	183 giorni
Temperatura estiva a bulbo secco	31,0 °C
Temperatura estiva a bulbo umido	22,7 °C
Umidità relativa estiva	50%
Escursione termica giornaliera estiva	11,0 °C

IRRADIAZIONE SOLARE GIORNALIERA MEDIA MENSILE (MJ/M^2)

ESPOSIZIONE	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Nord	1,7	2,7	3,6	5,1	7,8	9,7	9,6	6,9	4,5	3	1,9	1,4
Nord-Est	1,8	3,3	5,3	7,9	10,5	12,5	13	10,3	6,9	4	2,1	1,5
Est	3,7	5,9	8,5	11,1	12,9	14,7	15,7	13,7	10,4	6,7	3,6	3,2
Sud-Est	6,4	8,5	10,7	11,7	12	12,8	13,9	13,6	11,9	9	5,6	5,9
Sud	8,1	10,1	11,2	10,5	9,9	10,2	11	11,5	11,6	10,3	6,9	7,6
Sud-Ovest	6,4	8,5	10,7	11,7	12	12,8	13,9	13,6	11,9	9	5,6	5,9
Ovest	3,7	5,9	8,5	11,1	12,9	14,7	15,7	13,7	10,4	6,7	3,6	3,2
Nord-Ovest	1,8	3,3	5,3	7,9	10,5	12,5	13	10,3	6,9	4	2,1	1,5
Orizz. Dif.	2,4	3,8	4,9	6,1	8,3	9,1	8,8	7,6	6	4,3	2,8	2
Orizz. Dir.	2,2	3,9	6,8	9,9	11,4	13,7	15,2	12,6	8,6	4,7	2	1,9

IMPIANTI. La definizione dei sistemi impiantistici è stata sviluppata differenziando le soluzioni in funzione delle caratteristiche geometriche, dei profili di occupazione e delle modalità di utilizzo dei diversi ambienti. In particolare, per i corpi destinati prevalentemente alle attività scolastiche è stata adottata una configurazione idronica con pompe di calore aria-acqua, mentre per la palestra e il teatro è stato previsto un sistema a tutt'aria con pompe di calore aria-aria.

Nel corpo scolastico esistente e nel nuovo ampliamento, la presenza di numerosi ambienti distinti come: aule, laboratori, uffici, biblioteca e spazi di supporto , determina la necessità di poter regolare le condizioni termoigrometriche in maniera differenziata nei singoli locali. Per tali porzioni è stato quindi adottato un sistema con pompe di calore aria-acqua, che alimentano una rete di distribuzione idronica a bassa temperatura e terminali locali costituiti da fan-coil. La scelta di un sistema idronico consente di separare il controllo dei carichi termici degli ambienti dal servizio di rinnovo dell'aria. I fan-coil possono infatti modulare localmente la potenza resa in funzione delle condizioni interne e dell'effettiva richiesta del singolo ambiente, caratteristica particolarmente utile in un edificio scolastico nel quale orientamento, affollamento e apporti interni possono determinare carichi differenti anche tra locali adiacenti.

Il rinnovo dell'aria è affidato parallelamente a sistemi di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore, dimensionati sulla base delle esigenze di qualità dell'aria interna e dell'affollamento previsto. La separazione tra ventilazione e climatizzazione permette quindi di affidare al sistema aeraulico principalmente il ricambio e il trattamento dell'aria esterna, mentre la compensazione dei carichi termici dei singoli ambienti viene demandata ai terminali idronici. Tale configurazione risulta particolarmente adatta alla regolarità dei profili di utilizzo delle aule e alla necessità di un controllo distribuito delle condizioni interne.

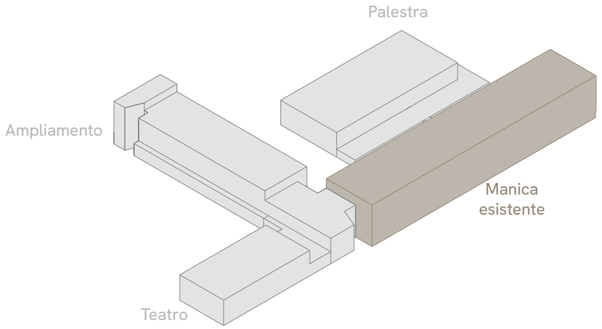
Una differente strategia è stata adottata per la palestra e il teatro. Entrambi gli ambienti sono caratterizzati da volumi elevati e da una configurazione spaziale prevalentemente unitaria, per la quale l'impiego di numerosi terminali locali risulterebbe meno funzionale. A ciò si aggiunge un'occupazione più variabile rispetto agli ambienti didattici: particolarmente nel teatro, il passaggio da condizioni di ridotto o nullo affollamento alla presenza contemporanea di un numero elevato di utenti determina rapide variazioni dei carichi termici, igrometrici e della richiesta di aria esterna.

Per tali ambienti è stato pertanto adottato un sistema a tutt'aria, servito da pompe di calore aria-aria e da unità di trattamento aria dedicate. L'aria costituisce in questo caso sia il vettore utilizzato per il rinnovo igienico sia il mezzo attraverso il quale vengono compensati i carichi termici dell'ambiente. La soluzione consente di trattare contemporaneamente temperatura, umidità e qualità dell'aria interna e di modulare il funzionamento dell'impianto in relazione all'effettiva occupazione degli spazi. La maggiore capacità di risposta del sistema aeraulico assume particolare rilevanza per ambienti caratterizzati da un utilizzo discontinuo, consentendo di raggiungere le condizioni di progetto in tempi relativamente brevi e di ridurre il funzionamento dell'impianto durante i periodi di inattività. Anche in questo caso sono previsti sistemi di recupero del calore sull'aria espulsa, particolarmente rilevanti in considerazione delle elevate portate di ventilazione richieste.

La differenziazione delle soluzioni impiantistiche non deriva quindi dalla sola dimensione degli ambienti, ma dalla diversa modalità con cui questi vengono utilizzati. Nei corpi scolastici viene privilegiata la regolazione locale e indipendente dei singoli ambienti, mantenendo separati climatizzazione e rinnovo dell'aria; nella palestra e nel teatro viene invece privilegiato un trattamento centralizzato dell'intero volume, maggiormente adatto a spazi unitari caratterizzati da elevati ricambi d'aria e da variazioni più rapide dell'affollamento e dei carichi interni.

AMBITO	TIPO DI INTERVENTO	DESTINAZIONE PREVALENTE	GENERAZIONE	EMISSIONE / TRATTAMENTO	VENTILAZIONE
Manica esistente	Ristrutturazione importante: I livello	Aule, laboratori, spazi didattici	PDC aria-acqua	Fan-coil	VMC bilanciata con recupero di calore
Palestra	Ristrutturazione importante: I livello + incremento volume	Attività sportiva, spogliatoi	PDC aria-aria	Impianto a tutt'aria	Integrata nel sistema a tutt'aria con recupero
Ampliamento	Nuova costruzione	Aule, laboratori, biblioteca, uffici	PDC aria-acqua	Fan-coil	VMC bilanciata con recupero di calore
Teatro	Nuova costruzione	Platea, palco e locali di servizio	PDC aria-aria	Impianto a tutt'aria	Integrata nel sistema a tutt'aria con recupero

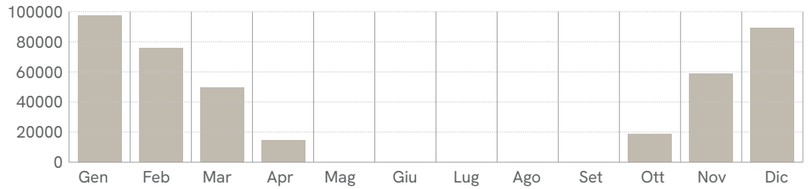
RIQUALIFICAZIONE MANICA ESISTENTE. Il primo sistema edificio-impianto analizzato corrisponde alla manica scolastica esistente, oggetto dell'intervento di riqualificazione energetica. Il modello comprende gli ambienti destinati alle attività didattiche e ai relativi spazi di servizio, considerati all'interno di un'unica porzione climatizzata.
La configurazione geometrica dell'edificio risulta relativamente compatta, con un rapporto tra superficie disperdente e volume lordo pari a 0,25 m^{-1}. Tale caratteristica limita l'incidenza delle dispersioni per trasmissione rispetto a configurazioni edilizie maggiormente articolate. La modellazione termica è stata sviluppata considerando le caratteristiche dell'involucro previste a seguito dell'intervento, i ponti termici, i componenti finestrati, i profili di occupazione e gli apporti interni propri della destinazione scolastica. Particolare rilevanza assume inoltre la ventilazione meccanica, necessaria a garantire il rinnovo dell'aria negli ambienti ad elevata occupazione.



PARAMETRO	VALORE
Destinazione d'uso	E.7 – attività scolastiche
Superficie utile climatizzata	7.170,00 m^2
Superficie lorda	7.655,57 m^2
Volume netto climatizzato	21.510,00 m^3
Volume lordo	28.071,76 m^3
Superficie disperdente	7.490,90 m^2
Rapporto S/V	0,25 m^{-1}
Capacità termica interna	674.137 kJ/K
Superficie interna complessiva	20.843,78 m^2

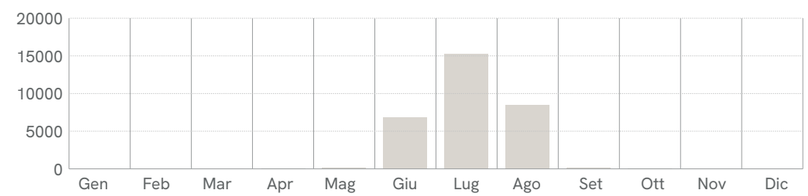
Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile invernale (kWh)

	DISPERSIONI				APPORTI			
Mese	$Q_{h,tr}$	$Q_{h,r}$	$Q_{h,ve}$	$Q_{h,ht}$	$Q_{sol,w}$	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{h,nd}$
ottobre	9947	1328	25415	36691	5091	11698	16789	21495
novembre	27181	2355	64919	94455	5545	20644	26189	69235
dicembre	37537	2828	88428	128793	5032	21332	26364	102954
gennaio	40479	3076	95543	139098	5866	21332	27198	112391
febbraio	32158	2876	77575	112609	8529	19268	27797	85626
marzo	23269	3037	59460	85766	12206	21332	33538	54629
aprile	7862	1740	21917	31520	7537	10322	17859	16090
TOTALE	178433	17240	433257	628932	49806	125928	175734	462420



Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile estiva (kWh)

	DISPERSIONI				APPORTI			
Mese	$Q_{c,tr}$	$Q_{c,r}$	$Q_{c,ve}$	$Q_{c,ht}$	$Q_{sol,w}$	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{c,nd}$
febbraio	20095	1899	49660	71655	7087	12386	19474	1
aprile	26822	3698	69346	99866	15074	20644	35718	10
maggio	13521	3846	40657	58023	17942	21332	39274	692
giugno	3704	4163	19181	27047	18999	20644	39643	13095
luglio	242	4878	12197	17317	20647	21332	41979	24675
agosto	3196	3534	17279	24009	18059	21332	39391	15609
settembre	11667	3129	33935	48731	13586	20644	34230	745
ottobre	28266	2815	69624	100706	9284	21332	30616	3
novembre	4703	390	11136	16229	739	2753	3492	0
TOTALE	112216	28352	323015	463583	121417	162399	283817	54830



PDC - POMPA DI CALORE

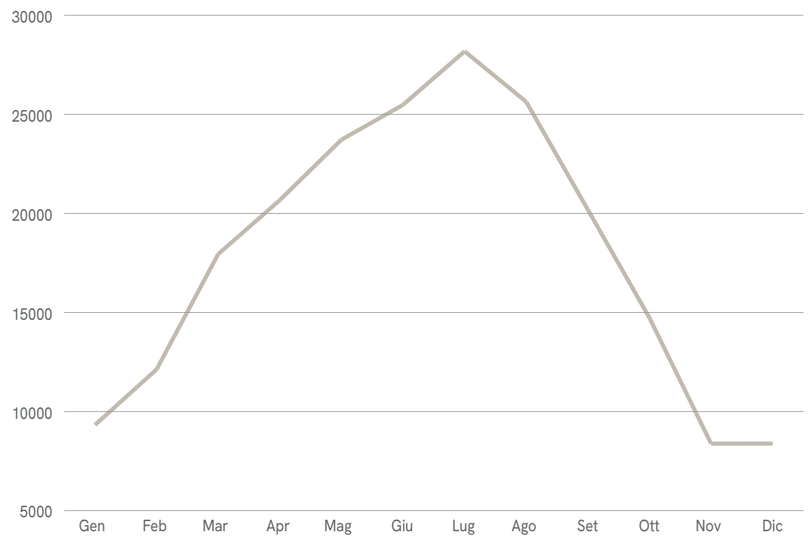
Tipo di generatore	Pompa di calore
Modello	AIC Italia – Aurax Natural i 230.2
Numero di unità	2
Fonte energetica	Energia elettrica
Coefficiente di prestazione, COP	4,15 (7/35 °C)
Potenza utile, Pu	227,40 kW/unità (7/35 °C)
Temperatura della sorgente fredda, θf	7 °C
Temperatura della sorgente calda, θc	35 °C
Potenza frigorifera nominale, Φgn,nom	187,50 kW/unità
Sorgente unità esterna	Aria
Temperatura aria esterna nominale	31 °C
Sorgente unità interna	Acqua
Temperatura acqua refrigerata in mandata	7,0 °C
Temperatura acqua refrigerata di ritorno	12,0 °C
Fattore di conversione energia primaria rinnovabile, fp,ren	0,47
Fattore di conversione energia primaria non rinnovabile, fp,nren	1,95
Fattore di conversione energia primaria totale, fp	2,42
Fattore di emissione di CO_2	0,4600 $kgCO_2/kWh$

VMC - VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA

Tipo di impianto	Ventilazione meccanica bilanciata
Portata di mandata	44.599 m^3/h
Portata di estrazione	43.735 m^3/h
Recuperatore di calore	Presente
Rendimento recuperatore invernale	90%
Rendimento recuperatore estivo	80%

FV - FOTOVOLTAICO

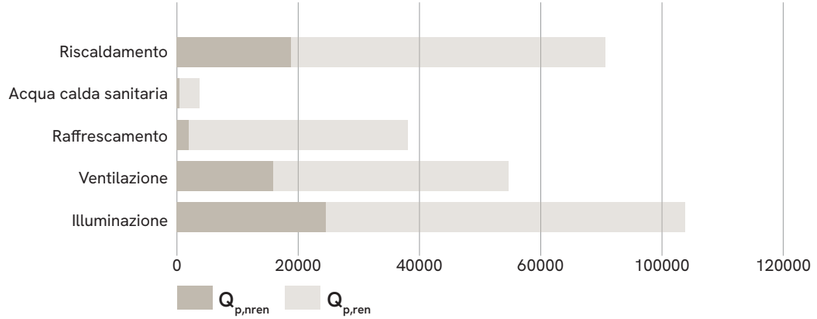
Numero di moduli	300
Potenza di picco totale	184.500 Wp
Potenza media per modulo	615 Wp
Superficie utile totale	714,00 m^2
Superficie media per modulo	2,38 m^2
Energia elettrica da produzione fotovoltaica	214.764 kWh/anno
Fabbisogno elettrico totale dell'impianto	251.092 kWh/anno
Percentuale di copertura del fabbisogno annuo	81,60%
Energia elettrica da rete	46.287 kWh/anno
Energia elettrica prodotta e non autoconsumata	9.959 kWh/anno
Energia fotovoltaica autoconsumata	204.805 kWh/anno



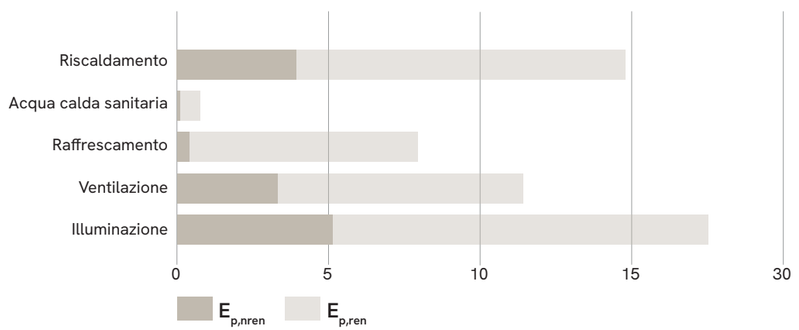
I risultati del calcolo del fabbisogno di energia primaria e dei relativi indici di prestazione energetica sono distinti tra quota non rinnovabile, quota rinnovabile e fabbisogno totale, mentre gli indici di prestazione esprimono gli stessi valori rapportati alla superficie utile. I risultati sono inoltre suddivisi per ciascun servizio energetico, così da evidenziarne il contributo al bilancio complessivo dell'edificio e consentire un confronto omogeneo tra le diverse zone termiche.

Servizio	$Q_{p,nren}$	$Q_{p,ren}$	$Q_{p,tot}$	$E_{p,nren}$	$E_{p,ren}$	$E_{p,tot}$
Riscaldamento	33608	99080	132688	4,69	13,82	18,51
Acqua calda sanitaria	413	3359	3772	0,06	0,47	0,53
Raffrescamento	543	66318	66861	0,08	9,25	9,33
Ventilazione	13608	38118	51726	1,9	5,32	7,22
Illuminazione	30386	72516	102902	4,24	10,12	14,36
Globale	78559	279390	357949	10,96	38,98	49,94

Fabbisogno di energia primaria (kWh)



Indici di prestazione energetica (kWh/m²)



La riqualificazione della manica esistente riduce le dispersioni attraverso l'involucro, ma il comportamento energetico dell'edificio rimane fortemente influenzato dalla destinazione scolastica e dall'elevato numero di occupanti. In particolare, il rinnovo dell'aria necessario a garantire adeguate condizioni igieniche negli ambienti didattici rappresenta una delle componenti principali del bilancio energetico.

Il fabbisogno utile per il riscaldamento risulta pari a circa:

462,4 MWh/anno
fabbisogno utile per riscaldamento

Le dispersioni invernali complessive ammontano a circa 628,9 MWh/anno, corrispondenti a quasi il 69% del totale. Il dato evidenzia come, in un edificio scolastico caratterizzato da un'elevata occupazione, il miglioramento delle prestazioni dell'involucro debba necessariamente essere accompagnato da un sistema efficiente di ventilazione meccanica e recupero del calore.

Il comportamento estivo risulta invece meno gravoso. Il fabbisogno utile per il raffrescamento è pari a circa:

54,8 MWh/anno
fabbisogno utile per raffrescamento

sensibilmente inferiore rispetto a quello invernale. In questo periodo assumono maggiore rilevanza gli apporti interni e solari, mentre il trattamento dell'aria continua a incidere sul bilancio energetico complessivo.
La climatizzazione è affidata a un sistema centralizzato a pompe di calore aria-acqua, integrato con ventilazione meccanica bilanciata e recupero di calore. L'elettrificazione dei principali servizi energetici determina un fabbisogno elettrico significativo, ma consente al tempo stesso di integrare efficacemente la produzione da fonte rinnovabile.

L'analisi dell'energia primaria mostra un $EP_{gl,nren}$ pari a 10,96 kWh/m²anno, a cui si aggiungono 38,98 kWh/m²anno di energia primaria rinnovabile, per un $EP_{gl,tot}$ pari a 49,94 kWh/m²anno.

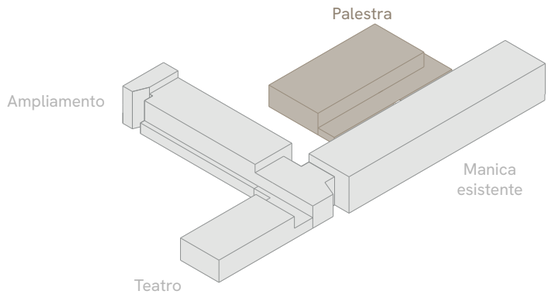
10,96 kWh/m²anno
EPgl,nren

La disponibilità di un'ampia superficie di copertura e il prevalente utilizzo diurno dell'edificio favoriscono l'integrazione di un impianto fotovoltaico. Il sistema, costituito da 300 moduli per una potenza complessiva di 184,5 kWp, produce circa 214,8 MWh/anno. L'energia prodotta viene autoconsumata, consentendo di coprire circa l'81,6% del fabbisogno elettrico annuo dell'edificio.

214,8 MWh/anno
produzione fotovoltaica annuale

Nel complesso, i risultati evidenziano come la prestazione della manica esistente derivi dall'integrazione tra riqualificazione dell'involucro, pompe di calore, recupero energetico sulla ventilazione e produzione fotovoltaica. Il caso conferma inoltre come, negli edifici scolastici caratterizzati da elevata densità di occupazione, la ventilazione assume un peso superiore alle dispersioni per trasmissione, rendendo determinante l'efficienza del sistema di rinnovo dell'aria.

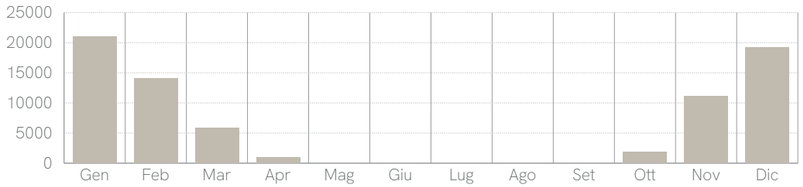
RIQUALIFICAZIONE PALESTRA. L'intervento sulla palestra è stato definito tenendo conto delle specifiche esigenze della destinazione sportiva, caratterizzata da grandi volumi, occupazione variabile, elevate portate di rinnovo dell'aria e presenza di spogliatoi e docce. La strategia prevede il miglioramento dell'involucro e la sostituzione del sistema impiantistico con una soluzione aria-aria a pompa di calore per riscaldamento e raffrescamento, integrata da ventilazione meccanica bilanciata con recupero di calore. La produzione di acqua calda sanitaria è invece affidata a un sistema dedicato con pompa di calore e accumulo.



PARAMETRO	VALORE
Destinazione d'uso	E.6 (2)– attività sportive: palestre e assimilabili
Superficie utile climatizzata	1.850,71 m^2
Superficie lorda	1.963,19 m^2
Volume netto climatizzato	10.406,00 m^3
Volume lordo	12.227,35 m^3
Superficie disperdente	5.282,13 m^2
Rapporto S/V	0,43 m^{-1}
Capacità termica interna	390.344 kJ/K
Superficie interna complessiva	6.403,86 m^2

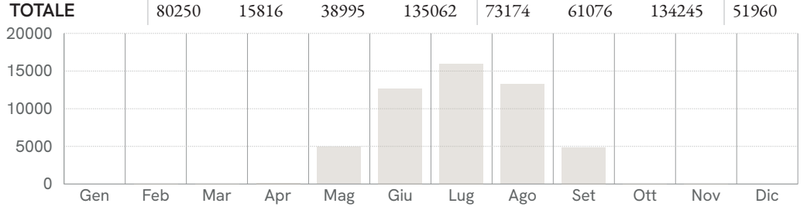
s s , s

	DISPERSIONI				APPORTI			
Mese	$Q_{h,tr}$	$Q_{h,r}$	$Q_{h,ve}$	$Q_{h,ht}$	$Q_{sol,w}$	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{h,nd}$
ottobre	4881	650	2172	7703	3249	3775	7024	1804
novembre	14103	1159	5833	21095	3644	6663	10306	11072
dicembre	19842	1392	8154	29388	3429	6885	10313	19165
gennaio	21416	1514	8863	31793	4013	6885	10897	20984
febbraio	16798	1416	7136	25350	5247	6218	11465	14129
marzo	11660	1495	5267	18422	7118	6885	14002	5859
aprile	3753	855	1866	6474	3991	3331	7322	966
TOTALE	92453	8481	39291	140225	30691	40642	71329	73979



Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile estiva (kWh)

	DISPERSIONI				APPORTI			
Mese	$Q_{C,tr}$	$Q_{C,r}$	$Q_{C,ve}$	$Q_{C,ht}$	$Q_{sol,w}$	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{C,nd}$
febbraio	11880	828	5020	17729	2811	3331	6142	1
marzo	18973	1495	8306	28774	7118	6885	14002	17
aprile	13625	1821	6274	21719	7981	6663	14644	180
maggio	6204	1893	3393	11491	9344	6885	16228	4931
giugno	765	2049	1274	4089	10098	6663	16760	12671
luglio	-1240	2402	557	1718	10805	6885	17690	15971
agosto	447	1740	1064	3251	9617	6885	16501	13250
settembre	5256	1541	2745	9542	7653	6663	14316	4883
ottobre	14483	1386	6280	22149	5925	6885	12809	55
novembre	9857	661	4082	14600	1822	3331	5153	1
TOTALE	80250	15816	38995	135062	73174	61076	134245	51960



POMPA DI CALORE - RISC/RAFFR

Tipo di generatore	Pompa di calore
Modello	CLIVET – VRF MHR-XMi
Numero di unità	2
Fonte energetica	Energia elettrica
Coefficiente di prestazione, COP	4,1
Potenza utile, Pu	80,00 kW/unità
Temperatura della sorgente fredda, θf	7 °C
Temperatura della sorgente calda, θc	20 °C
Potenza frigorifera nominale, Φgn,nom	80,00 kW/unità
Sorgente unità esterna	Aria
Temperatura aria esterna nominale	31 °C
Sorgente unità interna	Aria
Temperatura aria interna a bulbo umido	19 °C
Fattore di conversione energia primaria rinnovabile, fp,ren	0,47
Fattore di conversione energia primaria non rinnovabile, fp,nren	1,95
Fattore di conversione energia primaria totale, fp	2,42
Fattore di emissione di CO_2	0,4600 $kgCO_2/kWh$

VMC - VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA

Tipo di impianto	Ventilazione meccanica bilanciata
Portata aria esterna	8.642 m^3/h
Portata di estrazione	16.309 m^3/h
Portata totale immessa	20.016 m^3/h
Recuperatore di calore	Presente
Rendimento recuperatore invernale	85%
Rendimento recuperatore estivo	80%

POMPA DI CALORE - ACS

Tipo di generatore	Pompa di calore
Modello	HAIER – 3U55S2WR1FA
Numero di unità	2
Fonte energetica	Energia elettrica
Coefficiente di prestazione, COP nominale	4,11
Potenza utile, Pu	2,24 kW/unità
Temperatura della sorgente fredda, θf	7 °C
Temperatura della sorgente calda nominale, θc	35 °C
Sorgente unità esterna	Aria esterna
Temperatura aria esterna nominale	7 °C
Sorgente unità interna	Acqua calda sanitaria
Temperatura di produzione ACS, θcW	55 °C
COP a 7/55 °C	2,55
Potenza utile a 7/55 °C	2,24 kW
Potenza elettrica assorbita a 7/55 °C	0,88 kW
Fattore di conversione energia primaria rinnovabile, fp,ren	0,47
Fattore di conversione energia primaria non rinnovabile, fp,nren	1,95
Fattore di conversione energia primaria totale, fp	2,42
Fattore di emissione di CO_2	0,4600 $kgCO_2/kWh$

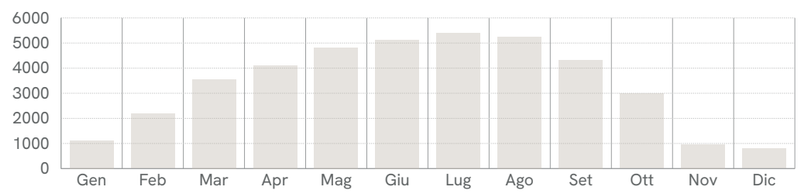
POMPA DI CALORE - ACS	
Tipo di impianto	Centralizzato
Collettore solare	Ariston KAIROS CF 2.0
Numero di collettori	88
Superficie totale di apertura	164,56 m^2
Orientamento	Sud
Inclinazione	30°
Rendimento a perdite nulle, η_0	0,69
Coefficiente di perdita lineare, a_1	3,420 W/m^2K
Coefficiente di perdita quadratico, a_2	0,007 W/m^2K^2
Fabbisogno annuo ACS senza solare	63.641 kWh/anno
Produzione solare utile annua	40.654 kWh/anno
Fabbisogno residuo ACS	22.987 kWh/anno
Copertura solare annua ACS	63,90%
Consumo elettrico annuo dell'impianto	1.746 kWh/anno
Potenza elettrica assorbita a 7/55 °C	0,88 kW
Fattore di conversione energia primaria rinnovabile, fp,ren	0,47
Fattore di conversione energia primaria non rinnovabile, fp,nren	1,95
Fattore di conversione energia primaria totale, fp	2,42
Fattore di emissione di CO_2	0,4600 $kgCO_2/kWh$

La presenza degli spogliatoi e delle docce determina, per la palestra, un fabbisogno di acqua calda sanitaria significativamente superiore rispetto agli altri corpi del complesso scolastico. A questo si aggiunge la previsione di un utilizzo della struttura non limitato al solo orario scolastico: la palestra potrà infatti essere impiegata anche da associazioni ed enti esterni, in particolare nelle ore pomeridiane e serali, per lo svolgimento di attività sportive.

Questa modalità di utilizzo comporta un fabbisogno di ACS più elevato e distribuito su un intervallo temporale più ampio rispetto al normale funzionamento della scuola. Per ridurre l'energia richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria è stato quindi integrato un impianto solare termico, destinato a coprire parte del fabbisogno attraverso una fonte rinnovabile e a limitare il ricorso alla pompa di calore dedicata.

Il sistema, costituito da 88 collettori per una superficie di apertura complessiva di 164,56 m^2, consente di raggiungere una copertura solare annua del fabbisogno di ACS pari al 63,9%, lasciando alla pompa di calore il soddisfacimento della quota residua.

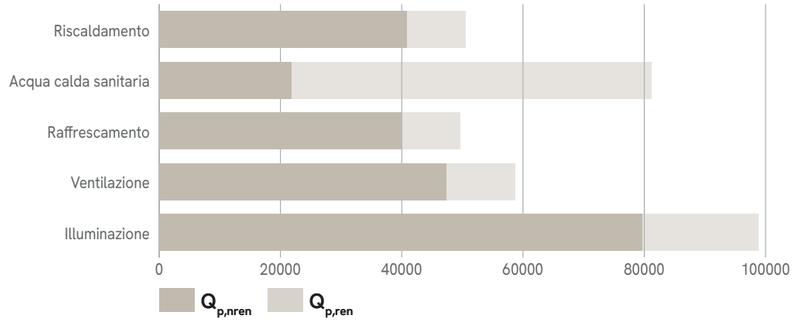
Mese	Producibilità netta pannelli [kWh]	QW,gn,out con solare [kWh]	QW,gn,out senza solare [kWh]	Percentuale copertura [%]
gennaio	1123	4282	5405	20,8
febbraio	2180	2702	4882	44,6
marzo	3559	1846	5405	65,8
aprile	4113	1118	5231	78,6
maggio	4815	590	5405	89,1
giugno	5133	98	5231	98,1
luglio	5405	0	5405	100
agosto	5257	148	5405	97,3
settembre	4326	904	5231	82,7
ottobre	2980	2425	5405	55,1
novembre	962	4269	5231	18,4
dicembre	800	4605	5405	14,8



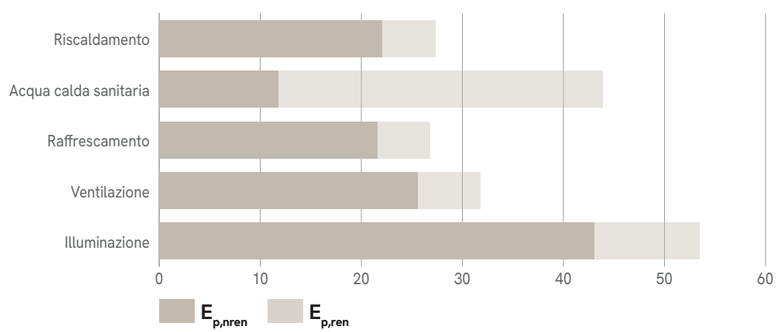
Infine, vengono riassunti i risultati del calcolo del fabbisogno di energia primaria e dei relativi indici di prestazione energetica. I dati sono distinti tra quota non rinnovabile, quota rinnovabile e fabbisogno totale, mentre gli indici di prestazione esprimono gli stessi valori rapportati alla superficie utile. I risultati sono inoltre suddivisi per ciascun servizio energetico, così da evidenziarne il contributo al bilancio complessivo dell'edificio e consentire un confronto omogeneo tra le diverse zone termiche.

Servizio	$Q_{p,nren}$	$Q_{p,ren}$	$Q_{p,tot}$	$E_{p,nren}$	$E_{p,ren}$	$E_{p,tot}$
Riscaldamento	40774	9828	50602	22,03	5,31	27,34
Acqua calda sanitaria	21768	59475	81242	11,76	32,14	43,9
Raffrescamento	39959	9631	49590	21,59	5,2	26,8
Ventilazione	47351	11413	58764	25,59	6,17	31,75
Illuminazione	79667	19202	98868	43,05	10,38	53,42
Globale	229519	109548	339067	124,02	59,19	183,21

Fabbisogno di energia primaria (kWh)



Indici di prestazione energetica (kWh/m²)



I risultati ottenuti evidenziano come il comportamento energetico della palestra sia fortemente influenzato non soltanto dalle caratteristiche dell'involucro, ma soprattutto dalla destinazione d'uso, dalla grande volumetria interna e dalle modalità di utilizzo degli ambienti. La presenza contemporanea di climatizzazione, ventilazione meccanica, illuminazione e produzione di acqua calda sanitaria determina infatti un profilo energetico differente rispetto agli altri corpi del complesso scolastico.

Durante il periodo invernale, il fabbisogno utile per il riscaldamento risulta pari a circa 74,0 MWh/anno. Nel bilancio delle dispersioni assume un peso rilevante la ventilazione, conseguenza delle elevate portate di rinnovo dell'aria richieste per un ambiente sportivo caratterizzato da occupazione variabile e attività fisica. La presenza del recuperatore di calore diventa quindi determinante per limitare l'incidenza energetica del ricambio d'aria.

74,0 MWh/anno
fabbisogno utile per il riscaldamento

Nel periodo estivo il fabbisogno utile per il raffrescamento è invece pari a circa 52,0 MWh/anno. In questo caso assumono particolare importanza gli apporti interni legati alla presenza degli utenti, all'illuminazione e alle apparecchiature, ai quali si sommano gli apporti solari e il trattamento dell'aria esterna.

52,0 MWh/anno
fabbisogno utile per il raffrescamento

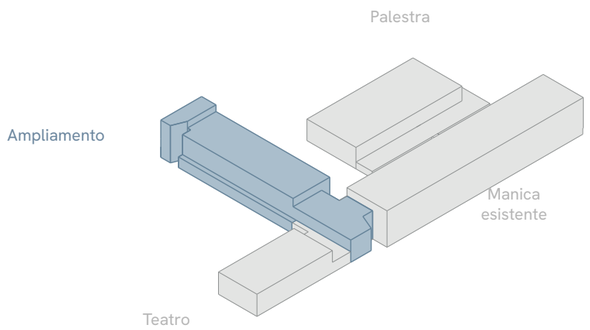
L'analisi dell'energia primaria evidenzia inoltre come la voce più significativa sia rappresentata dall'illuminazione, con circa 98,9 MWh/anno di energia primaria totale, seguita dalla produzione di acqua calda sanitaria, pari a circa 81,2 MWh/anno. Proprio per quest'ultimo servizio, il ricorso al solare termico consente di coprire il 63,9% del fabbisogno annuo di ACS, riducendo sensibilmente l'energia richiesta al sistema a pompa di calore.

Nel complesso, l'edificio presenta un EPgl,nren pari a 124,02 kWh/m²anno, a fronte di una quota rinnovabile pari a 59,19 kWh/m²anno, per un EPgl,tot di 183,21 kWh/m²anno.

124,02 kWh/m²anno
EPgl,nren

La riqualificazione della palestra deve quindi essere letta come un intervento integrato, nel quale il miglioramento dell'involucro costituisce soltanto una delle componenti della strategia energetica. Le prestazioni finali dipendono infatti in misura significativa dall'efficienza dei sistemi di climatizzazione, dal recupero energetico sulla ventilazione, dalla produzione di ACS e dall'impiego delle fonti rinnovabili. Tale configurazione risponde alle esigenze di uno spazio destinato a un utilizzo intenso e variabile, esteso anche oltre il normale orario scolastico, mantenendo al contempo sotto controllo i consumi associati ai diversi servizi energetici.

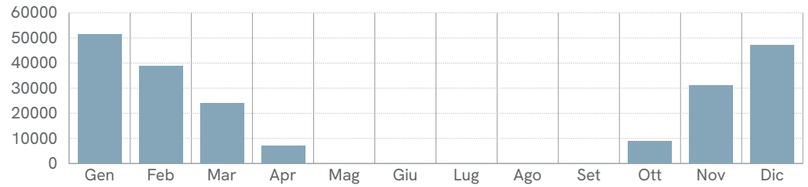
AMPLIAMENTO. L'ampliamento viene progettato come un sistema edificio-impianto autonomo, integrato funzionalmente al complesso scolastico esistente. La strategia progettuale combina un involucro ad elevate prestazioni con sistemi impiantistici interamente elettrici, con l'obiettivo di contenere i fabbisogni energetici e limitare il ricorso a fonti non rinnovabili. La climatizzazione è affidata a un sistema centralizzato a pompe di calore aria-acqua, destinato al riscaldamento, al raffrescamento e alla produzione di acqua calda sanitaria, affiancato da ventilazione meccanica bilanciata con recupero di calore. La disponibilità delle superfici di copertura viene inoltre sfruttata per integrare una quota di produzione fotovoltaica direttamente a servizio dell'ampliamento.



PARAMETRO	VALORE
Destinazione d'uso	E.7 – Attività scolastiche
Superficie utile climatizzata	3.856,17 m^2
Superficie lorda	4.111,94 m^2
Volume netto climatizzato	12.835,19 m^3
Volume lordo	16.687,73 m^3
Superficie disperdente	6.776,08 m^2
Rapporto S/V	0,34 m^{-1}
Capacità termica interna	410.179 kJ/K
Superficie interna complessiva	11.918,97 m^2

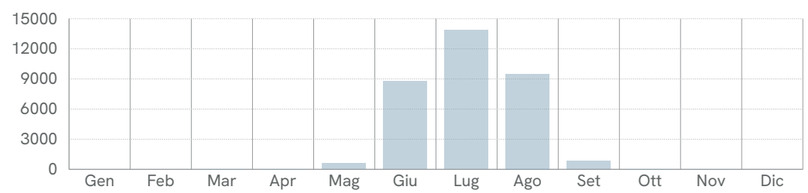
Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile invernale (kWh)

	DISPERSIONI				APPORTI			
Mese	$Q_{h,tr}$	$Q_{h,r}$	$Q_{h,ve}$	$Q_{h,ht}$	$Q_{sol,w}$	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{h,nd}$
ottobre	6346	811	10548	17705	3747	6233	9979	8847
novembre	17622	1437	26943	46002	4610	10999	15608	31019
dicembre	24454	1726	36700	62880	4700	11365	16066	47152
gennaio	26330	1877	39653	67860	5349	11365	16715	51467
febbraio	20802	1755	32196	54753	6105	10265	16370	38873
marzo	14984	1853	24678	41515	7609	11365	18974	23960
aprile	5121	1062	9096	15280	3889	5499	9388	7139
TOTALE	115659	10521	179814	305995	36009	67091	103100	208457



Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile estiva (kWh)

	DISPERSIONI				APPORTI			
Mese	$Q_{c,tr}$	$Q_{c,r}$	$Q_{c,ve}$	$Q_{c,ht}$	$Q_{sol,w}$	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{c,nd}$
marzo	12710	1148	19345	33202	4242	6599	10841	1
aprile	17087	2234	27013	46334	7549	10999	18548	7
maggio	8674	2323	15837	26835	9177	11365	20542	612
giugno	2437	2515	7472	12424	10129	10999	21128	8776
luglio	234	2949	4771	7955	10442	11365	21808	13866
agosto	2036	2135	6731	10902	8996	11365	20361	9493
settembre	7303	1891	13219	22413	7530	10999	18529	842
ottobre	17787	1701	27121	46609	6530	11365	17896	5
novembre	6100	457	8857	15414	1174	2933	4107	0
TOTALE	74368	17353	130366	222088	65769	87989	153760	33602



POMPA DI CALORE - RISC/RAFFR/ACS

Tipo di generatore	Pompa di calore
Modello	AIC Italia – Aurax Natural i 93.3
Numero di unità	3
Fonte energetica	Energia elettrica
Coefficiente di prestazione, COP	4,4
Potenza utile, Pu	95,80 kW/unità
Temperatura della sorgente fredda, θf	7 °C
Temperatura della sorgente calda, θc	35 °C
Potenza frigorifera nominale, Φgn,nom	78,20 kW/unità
Sorgente unità esterna	Aria
Temperatura aria esterna nominale	31 °C
Sorgente unità interna	Acqua
Temperatura acqua refrigerata in mandata	7,0 °C
Temperatura acqua refrigerata di ritorno	12,0 °C
Fattore di conversione energia primaria rinnovabile, fp,ren	0,47
Fattore di conversione energia primaria non rinnovabile, fp,nren	1,95
Fattore di conversione energia primaria totale, fp	2,42
Fattore di emissione di CO_2	0,4600 $kgCO_2/kWh$

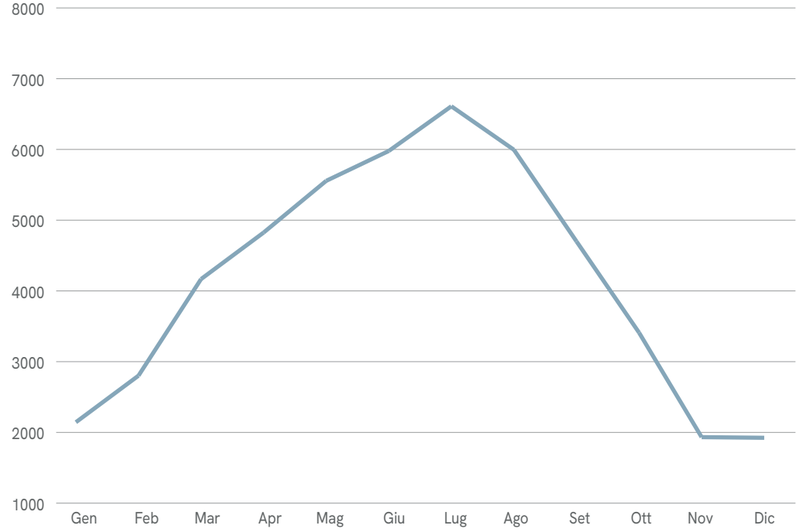
VMC - VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA

Tipo di impianto	Ventilazione meccanica bilanciata
Portata di mandata	44.599 m^3/h
Portata di estrazione	43.735 m^3/h
Recuperatore di calore	Presente
Rendimento recuperatore invernale	90%
Rendimento recuperatore estivo	80%

FV - FOTOVOLTAICO

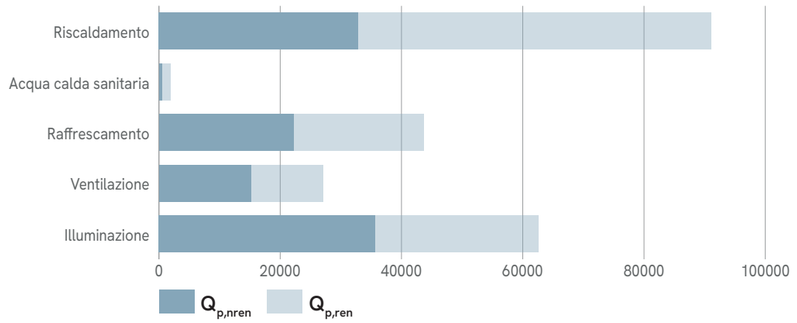
Numero di moduli	73
Potenza di picco totale	44.895 Wp
Potenza media per modulo	615 Wp
Superficie utile totale	173,74 m^2
Superficie media per modulo	2,38 m^2
Energia elettrica da produzione fotovoltaica	50.043 kWh/anno
Fabbisogno elettrico totale dell'impianto	126.727 kWh/anno
Percentuale di copertura del fabbisogno annuo	39,50%
Energia elettrica da rete	76.683 kWh/anno
Energia elettrica prodotta e non autoconsumata	0 kWh/anno
Energia fotovoltaica autoconsumata	50.043 kWh/anno

Produzione energia elettrica (kWh)

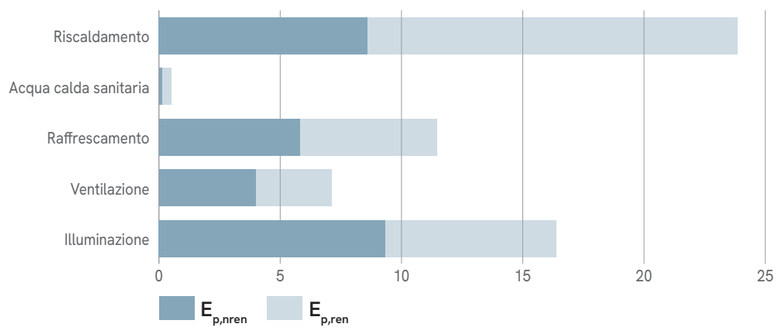


Servizio	$Q_{p,nren}$	$Q_{p,ren}$	$Q_{p,tot}$	$E_{p,nren}$	$E_{p,ren}$	$E_{p,tot}$
Riscaldamento	32847	58255	91102	8,6	15,25	23,86
Acqua calda sanitaria	470	1507	1977	0,12	0,39	0,52
Raffrescamento	22187	21574	43761	5,81	5,65	11,46
Ventilazione	15186	11965	27151	3,98	3,13	7,11
Illuminazione	35666	26939	62605	9,34	7,05	16,39
Globale	106357	120240	226597	27,85	31,48	59,33

Fabbisogno di energia primaria (kWh)



Indici di prestazione energetica (kWh/m²)



L'ampliamento presenta un comportamento energetico prevalentemente invernale. Le elevate prestazioni dell'involucro consentono di contenere le dispersioni per trasmissione; tuttavia, il bilancio termico risulta fortemente influenzato dal rinnovo dell'aria necessario negli ambienti scolastici.

Il fabbisogno utile per il riscaldamento risulta pari a circa

208,5 MWh/anno
fabbisogno utile per il riscaldamento

All'interno delle dispersioni invernali, la ventilazione rappresenta la componente predominante, con circa 179,8 MWh/anno, corrispondenti a circa il 59% delle dispersioni complessive. Il dato evidenzia come, anche in un edificio di nuova realizzazione dotato di un involucro ad alte prestazioni, il controllo dei consumi dipenda in misura significativa dalla gestione del ricambio d'aria. Assume quindi particolare importanza il sistema di ventilazione meccanica bilanciata, dotato di recuperatore di calore.

Il fabbisogno estivo risulta sensibilmente inferiore. Il fabbisogno utile per il raffrescamento è pari a circa

33,6 MWh/anno
fabbisogno utile per il raffrescamento

durante il periodo più caldo assumono maggiore rilevanza gli apporti interni e solari, mentre le caratteristiche dell'involucro contribuiscono a contenerne l'incidenza sul bilancio complessivo.

La climatizzazione è affidata a un sistema centralizzato costituito da tre pompe di calore aria-acqua, in grado di modulare la potenza erogata in funzione delle condizioni di esercizio e di soddisfare i servizi di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. L'impiego delle pompe di calore permette inoltre di sfruttare una quota di energia rinnovabile aerotermica.

L'impianto fotovoltaico, costituito da 73 moduli per una potenza complessiva di 44,9 kWp, produce circa 50,0 MWh/anno, interamente autoconsumati, coprendo circa il 47,8% del fabbisogno elettrico dell'ampliamento.

Per valutare il contributo della produzione fotovoltaica è stato effettuato un confronto mantenendo invariati involucro e sistemi impiantistici e rimuovendo esclusivamente la produzione elettrica da fonte solare. In assenza del fotovoltaico, l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile risulta pari a:

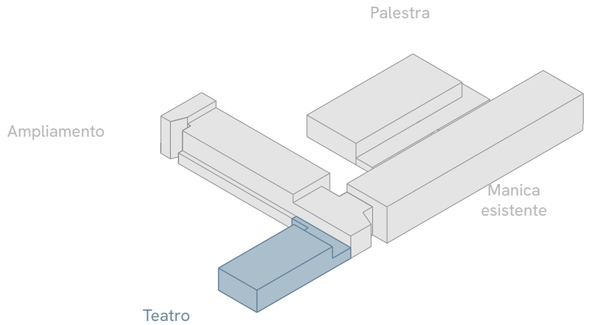
53,40 kWh/m²anno
EPgl,nren senza FV – Classe A3

Il contributo della produzione fotovoltaica riduce a:

27,85 kWh/m²anno
EPgl,nren con FV – Classe A4

La riduzione è pari a 25,30 kWh/m²anno, e consente il passaggio dalla classe A3 alla classe A4.

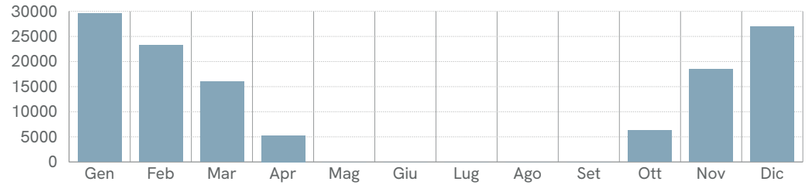
TEATRO. A valle della valutazione dei fabbisogni utili dell'edificio e della modellazione dei relativi sistemi impiantistici, l'analisi è stata estesa alla determinazione del fabbisogno di energia primaria associato ai diversi servizi energetici. I risultati sono espressi distinguendo la componente di energia primaria non rinnovabile Qp,nren da quella rinnovabile Qp,ren, così da evidenziare non soltanto l'entità complessiva dei consumi, ma anche la diversa incidenza delle fonti energetiche utilizzate.



PARAMETRO	VALORE
Destinazione d'uso	E.4 (1) – cinema, teatri, sale riunioni
Superficie utile climatizzata	1.019,88 m^2
Superficie lorda	1.116,60 m^2
Volume netto climatizzato	5.496,58 m^3
Volume lordo	6.980,62 m^3
Superficie disperdente	2.024,53 m^2
Rapporto S/V	0,29 m^{-1}
Capacità termica interna	129.054 kJ/K
Superficie interna complessiva	3.880,02 m^2

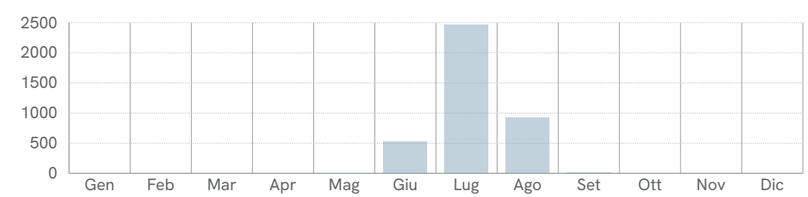
Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile invernale (kWh)

	DISPERSIONI				APPORTI			
Mese	$Q_{h,tr}$	$Q_{h,r}$	$Q_{h,ve}$	$Q_{h,ht}$	$Q_{sol,w}$	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{h,nd}$
ottobre	1263	88	8079	9430	184	3329	3513	6261
novembre	3454	157	20637	24247	230	5875	6105	18464
dicembre	4761	189	28109	33059	254	6070	6324	26944
gennaio	5138	205	30371	35714	304	6070	6374	29527
febbraio	4085	192	24660	28937	407	5483	5890	23264
marzo	2973	203	18901	22077	472	6070	6543	15983
aprile	1023	116	6967	8106	260	2937	3197	5251
TOTALE	22697	1150	137724	161570	2111	35834	37946	125694



Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile estiva (kWh)

	DISPERSIONI				APPORTI			
Mese	$Q_{c,tr}$	$Q_{c,r}$	$Q_{c,ve}$	$Q_{c,ht}$	$Q_{sol,w}$	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{c,nd}$
aprile	856	87	5564	6506	156	1762	1918	0
maggio	1804	256	12924	14985	634	6070	6704	4
giugno	570	278	6097	6945	651	5875	6526	524
luglio	133	325	3877	4335	700	6070	6770	2471
agosto	475	236	5493	6203	569	6070	6640	921
settembre	1510	209	10787	12506	457	5875	6331	10
ottobre	1072	81	6684	7836	119	2154	2273	0
TOTALE	6420	1472	51426	59316	3286	33876	37162	3930



POMPA DI CALORE - RISC/RAFFR

Tipo di generatore	Pompa di calore
Modello	CLIVET – VRF M5 / M5-XMi
Numero di unità	1
Fonte energetica	Energia elettrica
Coefficiente di prestazione, COP	4,12
Potenza utile, Pu	76,50 kW/unità
Temperatura della sorgente fredda, θf	7 °C
Temperatura della sorgente calda, θc	20 °C
Potenza frigorifera nominale, θgn,nom	73,00 kW/unità
Sorgente unità esterna	Aria
Temperatura aria esterna nominale	31 °C
Sorgente unità interna	Aria
Temperatura aria interna a bulbo umido	19 °C
Fattore di conversione energia primaria rinnovabile, fp,ren	0,47
Fattore di conversione energia primaria non rinnovabile, fp,nren	1,95
Fattore di conversione energia primaria totale, fp	2,42
Fattore di emissione di CO_2	0,4600 $kgCO_2/kWh$

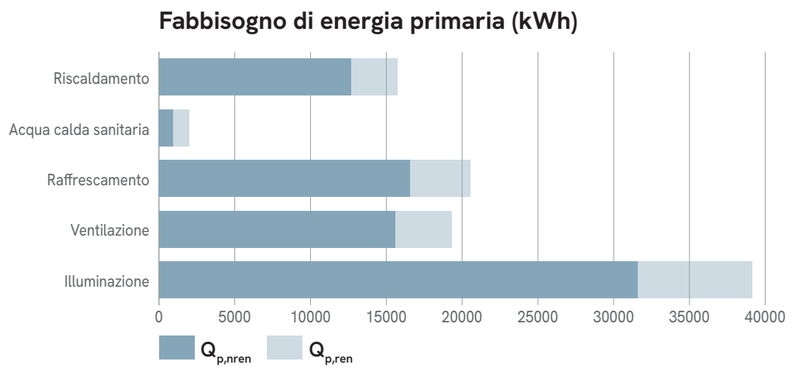
VMC - VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA

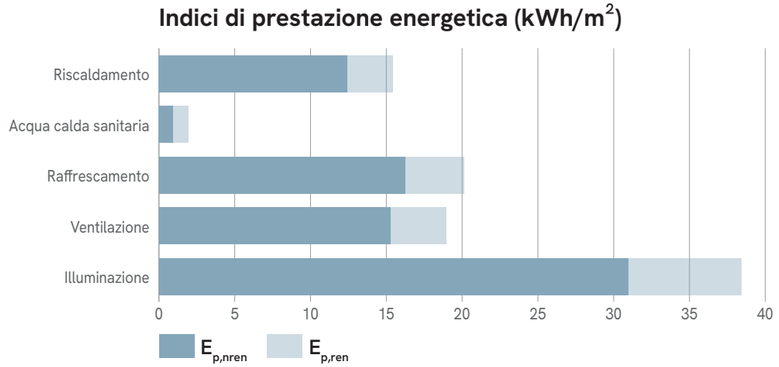
Tipo di impianto	Ventilazione meccanica bilanciata
Portata aria esterna	12720 m^3/h
Portata di estrazione	11368 m^3/h
Portata totale immessa	13238 m^3/h
Recuperatore di calore	Presente
Rendimento recuperatore invernale	85%
Rendimento recuperatore estivo	80%

PDC - POMPA DI CALORE - ACS

Tipo di generatore	Pompa di calore
Modello	HAIER – 3U55S2WR1FA +
Numero di unità	2
Fonte energetica	Energia elettrica
Coefficiente di prestazione, COP nominale	4,11
Potenza utile, Pu	2,24 kW/unità
Temperatura della sorgente fredda, θf	7 °C
Temperatura della sorgente calda nominale, θc	35 °C
Sorgente unità esterna	Aria esterna
Temperatura aria esterna nominale	7 °C
Sorgente unità interna	Acqua calda sanitaria
Temperatura di produzione ACS, θcW	55 °C
COP a 7/55 °C	2,55
Potenza utile a 7/55 °C	2,24 kW
Potenza elettrica assorbita a 7/55 °C	0,88 kW
Fattore di conversione energia primaria rinnovabile, fp,ren	0,47
Fattore di conversione energia primaria non rinnovabile, fp,nren	1,95
Fattore di conversione energia primaria totale, fp	2,42
Fattore di emissione di CO_2	0,4600 $kgCO_2/kWh$

Servizio	$Q_{p,nren}$	$Q_{p,ren}$	$Q_{p,tot}$	$E_{p,nren}$	$E_{p,ren}$	$E_{p,tot}$
Riscaldamento	12665	3052	15717	12,42	2,99	15,41
Acqua calda sanitaria	940	1024	1965	0,92	1	1,93
Raffrescamento	16563	3992	20555	16,24	3,91	20,15
Ventilazione	15570	3753	19322	15,27	3,68	18,95
Illuminazione	31556	7606	39162	30,94	7,46	38,4
Globale	77293	19427	96721	75,79	19,05	94,84





Il comportamento energetico del teatro risulta fortemente condizionato dalla variabilità dell'occupazione e dalla necessità di garantire elevate portate di rinnovo dell'aria durante gli eventi. Rispetto agli altri corpi del complesso, il profilo di utilizzo è infatti più discontinuo, ma caratterizzato da concentrazioni elevate di utenti in intervalli temporali relativamente brevi.

Il fabbisogno utile per il riscaldamento risulta pari a circa

126,1 MWh/anno
fabbisogno utile per il riscaldamento

Nel bilancio delle dispersioni invernali, la ventilazione rappresenta nettamente la componente predominante, con circa 137,7 MWh/anno, pari a oltre l'85% delle dispersioni complessive. Il dato conferma il ruolo determinante del recupero di calore nel contenimento dei consumi associati al trattamento dell'aria esterna.

Il fabbisogno utile per il raffrescamento risulta invece molto contenuto, pari a circa

3,9 MWh/anno
fabbisogno utile per il raffrescamento

La climatizzazione è affidata a un sistema aria-aria a pompa di calore, integrato con ventilazione meccanica bilanciata e recupero di calore. La soluzione consente di rispondere rapidamente alla variabilità dei carichi tipica di uno spazio destinato a eventi, coordinando riscaldamento, raffrescamento e rinnovo dell'aria. La produzione di acqua calda sanitaria è invece affidata a un sistema dedicato, coerentemente con la diversa continuità e intensità richiesta da tale servizio.

L'analisi dell'energia primaria evidenzia un contributo particolarmente significativo dell'illuminazione, pari a circa 39,2 MWh/anno di energia primaria totale, seguita dal raffrescamento, dalla ventilazione e dal riscaldamento. Il fabbisogno complessivo di energia primaria risulta pari a circa 96,7 MWh/anno.

Nel complesso, l'edificio presenta un $EP_{gl,nren}$ pari a

75,79 kWh/m²anno
EPgl,nren

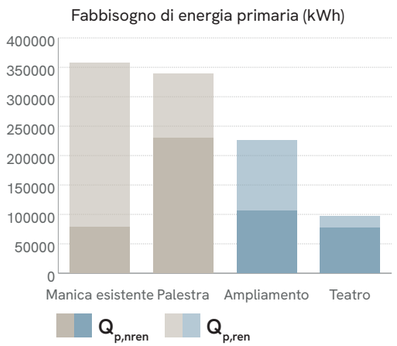
associato a una quota rinnovabile pari a 19,05 kWh/m²anno, per un $EP_{gl,tot}$ pari a 94,84 kWh/m²anno.

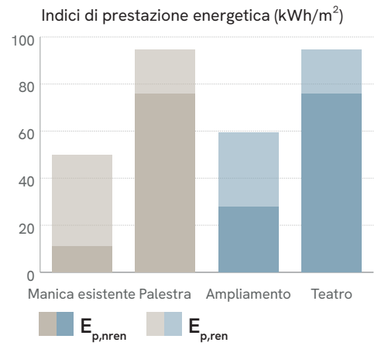
I risultati mostrano quindi come, nel caso del teatro, la prestazione energetica sia legata soprattutto alla gestione dell'occupazione e del trattamento dell'aria, più che alle sole caratteristiche dell'involucro. La strategia impiantistica deve pertanto privilegiare la capacità di adattarsi rapidamente alle effettive condizioni di utilizzo, attraverso sistemi modulanti, recupero energetico sulla ventilazione e una gestione coerente degli orari di funzionamento.

CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI FINALI. L'analisi energetica sviluppata sui quattro sistemi edificio-impianto del complesso scolastico ha permesso di valutare separatamente il comportamento della manica esistente, della palestra, dell'ampliamento e del teatro, ciascuno caratterizzato da differenti destinazioni d'uso, profili di occupazione e configurazioni impiantistiche.

La scelta di sviluppare modelli distinti consente di rappresentare in modo più realistico le diverse condizioni di esercizio: gli ambienti didattici sono caratterizzati da un utilizzo prevalentemente diurno e da un'elevata densità di occupazione; la palestra presenta una grande volumetria, elevate portate di rinnovo dell'aria e un fabbisogno rilevante di acqua calda sanitaria; il teatro è invece caratterizzato da un utilizzo discontinuo e da forti variazioni dell'affollamento.

Nella manica esistente, la riqualificazione dell'involucro e la sostituzione dei sistemi di generazione consentono di ridurre sensibilmente l'incidenza dell'energia primaria non rinnovabile, anche grazie al contributo dell'impianto fotovoltaico. L'ampliamento presenta un comportamento prevalentemente invernale. Nonostante le ridotte dispersioni per trasmissione, il rinnovo dell'aria continua a rappresentare una componente significativa del bilancio, evidenziando l'importanza del recupero di calore e dell'integrazione del fotovoltaico. La palestra presenta fabbisogni specifici maggiori, coerentemente con la destinazione sportiva, la grande volumetria e le elevate portate di ventilazione. A questi si aggiunge il fabbisogno di ACS per spogliatoi e docce, ulteriormente influenzato dall'utilizzo extrascolastico della struttura. Per questo motivo è stato integrato un impianto solare termico, in grado di coprire parte del fabbisogno annuo di ACS. Il teatro presenta infine un comportamento fortemente influenzato dalla variabilità dell'occupazione e dalla necessità di garantire elevate portate di rinnovo dell'aria durante gli eventi. La ventilazione costituisce infatti la principale componente delle dispersioni invernali, rendendo necessaria una strategia impiantistica flessibile e modulante.





CALCOLO COMPLESSIVO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEL PLESSO Poiché non è stato possibile sviluppare un unico modello energetico dell'intero complesso, a causa delle differenti configurazioni impiantistiche e dei diversi profili di utilizzo dei quattro corpi edilizi, la prestazione energetica complessiva del plesso è stata valutata mediante una media pesata sulla superficie utile climatizzata dei singoli edifici.

Corpo edilizio	A [m^2]	$EP_{gl,nren}$	$EP_{gl,nren,rif}$	Classe
Manica esistente	7.170,00	10,96	128,65	A4
Palestra	1.850,71	124,02	240,45	A3
Ampliamento	3.856,17	27,85	95,83	A4
Teatro	1.019,88	75,79	214,83	A4

Quindi l'indice di prestazione energetica globale equivalente dell'intero complesso è quindi determinato come media ponderata sulle superfici utili climatizzate:

$$EP_{gl,nren,tot} = \frac{\Sigma(EP_i \bullet A_i)}{\Sigma A_i}$$

I valori così ottenuti costituiscono un indicatore sintetico della prestazione energetica complessiva e tiene conto del diverso peso delle singole porzioni in funzione della relativa superficie utile climatizzata.

$$\mathbf{EP_{gl,nren} = 35{,}46\ kWh/m^2anno}$$

$$\mathbf{EP_{gl,nren,rif} = 140{,}76\ kWh/m^2anno}$$

Il rapporto complessivo tra edificio reale e aggregazione dei corrispondenti edifici di riferimento risulta:

$$R = \frac{EP_{gl,nren,tot} \bullet A_i}{EP_{gl,nren,rif,tot} \bullet A_i}$$

Assumendo la classificazione energetica in funzione del rapporto tra EPgl,nren effettivo ed EPgl,nren dell'edificio di riferimento, il valore ottenuto:

$$\mathbf{R = 0{,}252}$$

Il valore ottenuto corrisponde a circa il 25,2% del valore aggregato dell'edificio di riferimento; applicando, ai soli fini rappresentativi, la scala di classificazione energetica prevista per l'APE, il complesso risulta riconducibile alla:

Classe A4

[27] *D.M. 26/06/2015 – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, Allegato 1, § 5.1, Tabella 2*

8.8 COMPUTO METRICO ESTIMATIVO

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), ripristino delle finiture, sostituzione della pavimentazione sportiva;
- nuovo ampliamento (nuovo corpo aule e 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 dai modelli BIM (Building Information Modeling). A ciascuna voce è stato applicato il relativo prezzo unitario ricavato dal Prezziario Regionale delle Opere Pubbliche della Regione Piemonte edizione 2025 integrati, 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.

SINTESI E ANALISI PARAMETRICA DEI COSTI. L'investimento complessivo per l'intervento ammonta a 10.886.460,80 €, distribuito su una superficie totale di 14.993,67 m^2, corrispondente a un costo parametrico medio globale di 726,07 €/m^2.
L'introduzione del costo parametrico unitario al metro quadrato (€/m^2) costituisce uno strumento di validazione progettuale, mettendo in evidenza come la risposta economica sia differente in relazione alla complessità dell'intervento.
L'analisi, infatti, rivela una netta suddivisione tra il comparto delle nuove costruzioni e quello degli interventi sul costruito:

- ampliamento (1.163,95 €/m^2): rappresenta la quota principale dell'investimento (45,06% del totale generale). Il valore parametrico rispecchia la realizzazione integrale dell'organismo edilizio: oltre 2,13 milioni di euro sono assorbiti dalle strutture (fondazioni, c.a. in elevazione, solai interpiano e strutture metalliche), mentre l'involucro edilizio (pareti perimetriche per 1.014.530,92 € e coperture/tetto verde per 403.580,42 €) garantisce il raggiungimento di elevati standard energetici;

- teatro (1.199,20 €/m²): registra il valore parametrico più elevato dell'intero intervento. Tale incidenza è giustificata dalla natura specialistica della struttura, dominata dall'elevato costo della carpenteria metallica di grande luce (533.484,90 €), dalle opere di fondazione (191.866,40 €) e dalle pareti perimetriche ad alta prestazione di isolamento acustico e termico (339.159,59 €);
- ristrutturazione edificio esistente (463,74 €/m²): l'incidenza parametrica contenuta si spiega con il mantenimento della struttura portante preesistente. Le risorse economiche sono concentrate principalmente sull'efficientamento dell'involucro perimetrale (1.061.843,16 €), sulla sostituzione completa dei serramenti (700.006,29 €) e sulla redistribuzione interna con sistemi a secco (866.110,39 €);
- palestra (529,36 €/m²): il costo parametrico è dovuto all'incidenza delle lavorazioni preliminari di demolizione e rimozione (148.981,13 €), agli interventi strutturali (181.850,50 €) e di impermeabilizzazione (313.505,87 €) e alle pareti divisorie idrorepellenti specifiche per ambienti ad alta umidità come gli spogliatoi (188.941,82 €).

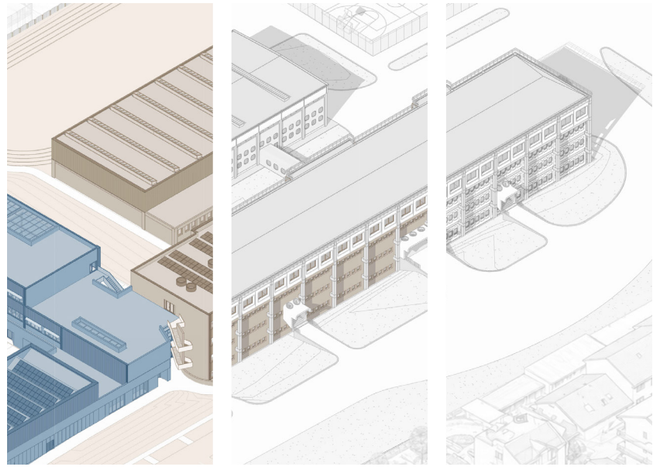
CONSIDERAZIONI FINALI SULLA PIANIFICAZIONE FINANZIARIA E RITORNO SOCIALE. Sotto il profilo della pianificazione finanziaria, si è scelta un'impostazione cautelativa e prudenziale: La somma degli importi delle singole categorie ha permesso di determinare l'Importo Totale dei Lavori, all'interno del Quadro Economico non sono stati computati scomputi fiscali o contributi statali a fondo perduto (come il meccanismo del Conto Termico GSE 3.0 o altri finanziamenti dedicati all'edilizia scolastica), 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 l'inserimento di spazi verdi prefigurano un processo reale rigenerazione urbana, trasformando l'opera in un centro aperto alla cittadinanza anche in orario extra-scolastico. La 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.

AMPLIAMENTO: RIPARTIZIONE DEI COSTI PER ELEMENTO COSTRUTTIVO E CORPO EDILIZIO

	Corpo aule	Teatro	Totale
Elementi strutturali in cls	526 878.54 €	59 365.69 €	
Fondazioni	591 857.71 €	191 866.40 €	
Solaio Interpiano	515 312.09 €	40 799.14 €	
Pavimento controssoffitto	148 060.35 €	- €	
Struttura	1 017 976.22 €	533 484.90 €	
Parete perimetrale	1 014 530.92 €	339 159.59 €	
Parete Interna	425 163.91 €	- €	
Serramenti	261 904.56 €	66 136.92 €	
Copertura	403 580.42 €	160 983.61 €	
TOTALE	4 905 264.72 €	1 391 796.25 €	6 297 060.96 €
Superficie (m²)	4214.31	1160.6	5374.91
COSTO COSTRUZIONE PARAMETRICO (€/m²)	1 163.95 €	1 199.20 €	1 171.57 €

RIQUALIFICAZIONE: RIPARTIZIONE DEI COSTI PER ELEMENTO COSTRUTTIVO E CORPO EDILIZIO

	Ristrutturazione	Palestra	Totale
Demolizioni	- €	148 981.13 €	
Fondazioni	296 751.90 €	181 850.50 €	
Solaio Interpiano	244 609.56 €	- €	
Parete perimetrale	1 061 843.16 €	69 286.35 €	
Parete Interna	866 110.39 €	188 941.82 €	
Serramenti	700 006.29 €	136 661.85 €	
Copertura	380 851.03 €	313 505.87 €	
TOTALE	3 550 172.33 €	1 039 227.51 €	4 589 399.84 €
Superficie (m²)	7655.57	1963.19	9618.76
COSTO COSTRUZIONE PARAMETRICO (€/m²)	463.74 €	529.36 €	477.13 €



9

VALUTAZIONE COMPARATIVA DELLE TRE CONFIGURAZIONI

Questo capitolo sintetizza il confronto tra stato di fatto, intervento della Città Metropolitana e progetto di tesi, mettendo in relazione le principali prestazioni illuminotecniche, acustiche ed energetiche. L'obiettivo è evidenziare i principali miglioramenti, le criticità residue e i compromessi introdotti dalle diverse strategie di intervento.

9.1 CONFRONTO PRESTAZIONALE DELLE TRE CONFIGURAZIONI

Le analisi sviluppate nei capitoli precedenti hanno consentito di valutare il comportamento dell'edificio sotto differenti aspetti prestazionali, con particolare riferimento alle condizioni di illuminazione degli ambienti, alle prestazioni acustiche e al fabbisogno energetico. Tali valutazioni sono state condotte considerando tre differenti configurazioni dell'edificio: lo stato di fatto, l'intervento previsto dalla Città Metropolitana e il progetto elaborato nell'ambito della presente tesi.

Il confronto tra le tre configurazioni rappresenta un passaggio fondamentale per valutare in maniera organica l'efficacia delle trasformazioni previste e per individuare il contributo specifico apportato dalle diverse strategie di intervento. L'obiettivo del presente capitolo non è pertanto quello di riproporre integralmente i risultati delle singole analisi, già approfonditi nelle sezioni precedenti, ma di ricondurli a una lettura comparativa e sintetica, in grado di evidenziare le principali variazioni prestazionali introdotte nel passaggio da una configurazione all'altra.

La complessità dell'edificio e la presenza di ambienti caratterizzati da differenti geometrie, esposizioni, destinazioni d'uso e soluzioni costruttive rendono infatti poco efficace un confronto esteso a ogni singolo caso analizzato. Per tale ragione, per gli aspetti illuminotecnici e acustici il confronto viene sviluppato attraverso una selezione di ambienti e soluzioni considerate rappresentative delle principali condizioni riscontrate all'interno dell'edificio. Per la valutazione energetica, invece, è possibile fare riferimento a indicatori di carattere maggiormente aggregato, utilizzando il fabbisogno energetico dell'edificio e delle sue principali porzioni funzionali come parametro sintetico di confronto.

La lettura congiunta dei risultati consente quindi di verificare non soltanto l'entità dei miglioramenti ottenuti rispetto allo stato di fatto, ma anche le differenze tra l'intervento previsto dalla Città Metropolitana e il progetto di tesi, mettendo in evidenza eventuali punti di forza, criticità residue e margini di miglioramento. In questo modo il confronto assume un carattere trasversale e permette di valutare le tre configurazioni non esclusivamente in relazione a singoli parametri, ma rispetto alla qualità prestazionale complessiva dell'edificio.

9.2 METODOLOGIA E CRITERI DI CONFRONTO

Il confronto tra le tre configurazioni è stato articolato secondo i principali ambiti prestazionali oggetto delle analisi svolte: illuminotecnica, acustica e fabbisogno energetico. Per ciascun ambito sono stati individuati specifici parametri e casi di studio, selezionati in funzione della loro capacità di rappresentare in maniera significativa il comportamento complessivo dell'edificio.

Per quanto riguarda l'analisi illuminotecnica, il confronto viene condotto attraverso ambienti ritenuti rappresentativi per caratteristiche geometriche, orientamento, dimensioni delle superfici trasparenti e destinazione d'uso. L'obiettivo è verificare come le modifiche introdotte nelle diverse configurazioni influenzino le condizioni di illuminazione interna e

il raggiungimento dei livelli prestazionali richiesti, evitando di riproporre l'intera casistica analizzata nei capitoli precedenti.

Analogamente, per l'analisi acustica vengono considerate le soluzioni e gli ambienti maggiormente significativi rispetto alle principali criticità riscontrate. Il confronto tiene conto sia delle caratteristiche prestazionali degli elementi costruttivi sia, ove disponibile, del comportamento acustico degli ambienti, verificando l'evoluzione delle prestazioni tra stato di fatto, intervento della Città Metropolitana e progetto di tesi. Particolare attenzione viene posta al rapporto tra i valori ottenuti e i requisiti prestazionali di riferimento, così da evidenziare non soltanto la variazione quantitativa dei parametri, ma anche l'eventuale raggiungimento delle condizioni di conformità.

La valutazione energetica viene invece sviluppata attraverso il confronto diretto dei fabbisogni calcolati per le tre configurazioni. In questo caso, il carattere aggregato degli indicatori consente di effettuare una lettura più complessiva del comportamento dell'edificio, distinguendo, ove opportuno, tra il corpo destinato alle aule e la palestra. Oltre ai valori assoluti, il confronto prende in considerazione anche le variazioni percentuali tra le diverse configurazioni, in modo da quantificare l'efficacia degli interventi proposti.

L'insieme di tali valutazioni confluisce infine in una lettura prestazionale integrata, finalizzata a mettere in relazione i risultati ottenuti nei diversi ambiti e a definire il livello di miglioramento complessivo raggiunto da ciascuna configurazione.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.
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.

9.3 CONFRONTO DELLE PRESTAZIONI ILLUMINOTECNICHE

Il confronto delle prestazioni illuminotecniche è stato condotto considerando le tre configurazioni dell'edificio analizzate nel corso del lavoro: stato di fatto, intervento previsto dalla Città Metropolitana e progetto di tesi.

Ai fini di una comparazione omogenea, la valutazione è stata circoscritta alle sole aule appartenenti alla manica esistente, poiché rappresentano gli ambienti per i quali è possibile individuare una corrispondenza tra i differenti scenari. Le aule appartenenti all'ampliamento previsto dal progetto di tesi non sono pertanto incluse nel confronto, non essendo presenti nelle configurazioni precedenti.
Considerato inoltre il numero degli ambienti sottoposti ad analisi illuminotecnica, non si ritiene significativo riproporre integralmente i risultati relativi a ciascuna aula. Il confronto viene quindi sviluppato attraverso alcuni casi rappresentativi, selezionati in funzione dell'orientamento, delle caratteristiche geometriche e delle modificazioni introdotte nelle diverse configurazioni.

Per ciascun ambiente sono stati messi in relazione gli indicatori già utilizzati nelle analisi precedenti, riferiti sia alla disponibilità e distribuzione della luce naturale, sia alle possibili condizioni di sovraesposizione solare e abbagliamento.

Nel progetto di tesi sono state inoltre analizzate due diverse condizioni relative alla presenza delle schermature solari: una configurazione priva di schermatura e una configurazione con schermatura chiusa al 50%. Quest'ultima deve essere interpretata come una condizione statica di simulazione: il modello assume infatti il medesimo grado di chiusura della schermatura per l'intero periodo annuale, senza considerarne la possibile regolazione in funzione dell'irraggiamento solare, delle condizioni climatiche o delle esigenze degli utenti. I risultati ottenuti consentono quindi di verificare l'incidenza della schermatura sugli indicatori illuminotecnici, ma non descrivono il comportamento annuale di un sistema dinamico di controllo solare.

AULA ORIENTATA A EST. Nello stato di fatto l'aula presenta una superficie utile pari a 45,90 m^2 e una superficie vetrata di 5,22 m^2. Nell'intervento previsto dalla Città Metropolitana la superficie utile rimane invariata, mentre quella vetrata si riduce a 4,20 m^2. Il progetto di tesi modifica invece in maniera significativa portando la superficie utile a 60,50 m^2 e quella vetrata a 9,28 m^2. La variazione geometrica introdotta dal progetto di tesi costituisce un elemento rilevante nell'interpretazione dei risultati. Il confronto non riguarda infatti esclusivamente la diversa configurazione delle aperture, ma anche un ambiente di dimensioni differenti. Gli indicatori devono pertanto essere letti considerando congiuntamente la variazione della superficie utile, della superficie vetrata e della configurazione spaziale dell'aula.

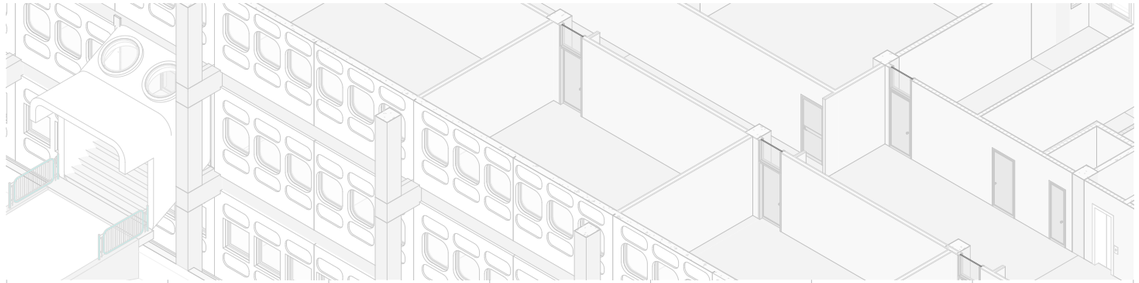
Configurazione	Superficie utile [m^2]	Superficie vetrata [m^2]
Stato di fatto	45,9	5,22
Città Metropolitana	45,9	4,2
Progetto di tesi	60,5	9,28

Il FDLm passa dal 2,1% dello stato di fatto all'1,7% nell'intervento della Città Metropolitana, mentre nel progetto di tesi senza schermatura raggiunge il 3,6%, risultando il valore più elevato tra le configurazioni considerate.

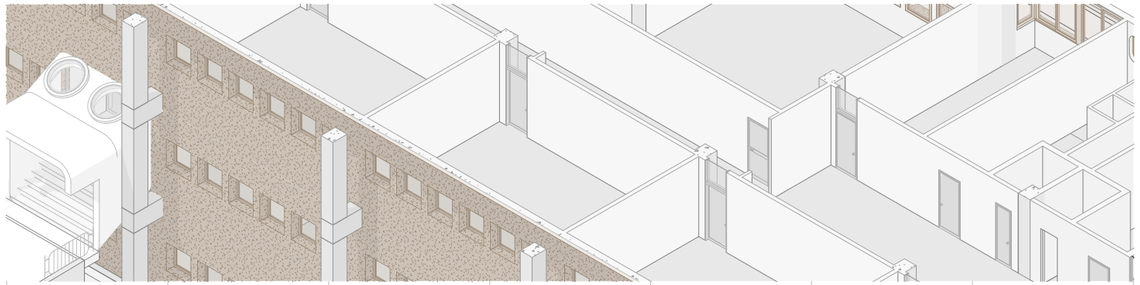
Un andamento analogo emerge dagli indicatori dinamici. La condizione di 300 lux sul 95% della superficie viene raggiunta per il 38,4% del tempo nello stato di fatto e per il 36,1% nell'intervento della Città Metropolitana, mentre nel progetto di tesi sale al 57,6%. Per i 500 lux sul 50% della superficie si passa invece dal 45,7% al 28,4% e quindi al 64,0%. L'avg uDIA assume rispettivamente valori pari al 69,3%, 65,9% e 74,0%.

Il confronto evidenzia due comportamenti differenti. Nell'intervento della Città Metropolitana si osserva una riduzione degli indicatori legati alla disponibilità di luce naturale, particolarmente evidente per il raggiungimento dei 500 lux sul 50% della superficie, che diminuisce del 37,9% rispetto allo stato di fatto. Tale andamento è riconducibile alle modifiche introdotte sull'involucro: la sostituzione dei serramenti con vetrocamera bassoemissiva e selettiva modifica la trasmissione luminosa, mentre l'applicazione del cappotto aumenta la profondità dell'imbotte, riducendo ulteriormente l'ingresso della luce naturale. Parallelamente, le stesse modifiche determinano un maggiore controllo della radiazione solare diretta. L'ASE si riduce dal 22,2% all'8,5%, mentre l'indicatore di abbagliamento passa dal 20,0% al 15,0%. Il progetto di tesi presenta invece un incremento della disponibilità di luce naturale. Rispetto allo stato di fatto, il FDLm aumenta del 71,4%, il raggiungimento dei 300 lux sul 95% della superficie del 50,0% e quello dei 500 lux sul 50% del 40,0%; l'avg uDIA cresce del 6,8%. In assenza di schermatura aumenta tuttavia anche l'esposizione solare: l'ASE raggiunge il 30,6% e l'indicatore di abbagliamento il 38,2%.

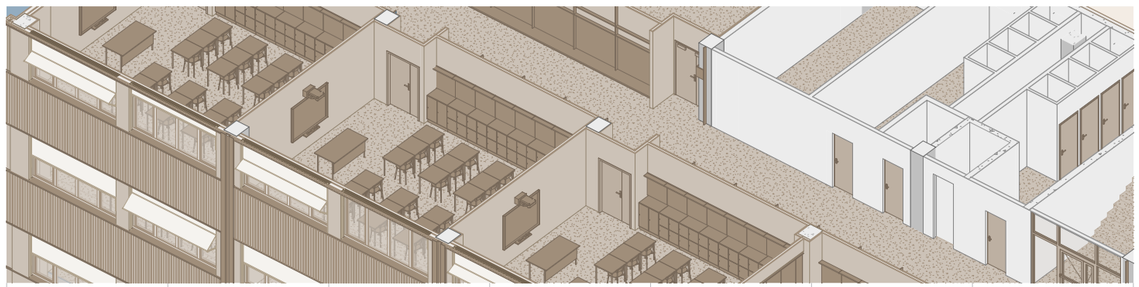
L'introduzione della schermatura al 30% modifica sensibilmente questo comportamento: l'ASE si riduce all'1,7% e l'indicatore di abbagliamento all'8,3%, a fronte di una diminuzione dell'avg uDIA al 50,1%. La schermatura risulta quindi efficace nel controllo della radiazione diretta, evidenziando tuttavia il compromesso tra protezione solare e disponibilità annuale di luce naturale. Trattandosi di una configurazione statica, il risultato rappresenta una condizione limite e non il comportamento reale di un sistema regolato dinamicamente.



FDLm	DA 300lux	DA 500lux	avg UDIA	ASE 1000/250	sDG	View Out Analysis
2,1%	**Daylight provision** livello raggiunto: **MEDIO**	**Daylight provision** livello raggiunto: **MEDIO**	**69,3%** del tempo	**22,2%** dello spazio	**20,0%** delle viste	**Qualità alta 54,5%** **Qualità media 45,5%**



FDLm	DA 300lux	DA 500lux	avg UDIA	ASE 1000/250	sDG	View Out Analysis
1,4%	**Daylight provision** livello raggiunto: **MINIMO**	**Daylight provision** livello raggiunto: **MINIMO**	**65,9%** del tempo	**8,5%** dello spazio	**15,0%** delle viste	**Qualità alta 27,3%** **Qualità media 72,7%**



FDLm	DA 300lux	DA 500lux	avg UDIA	ASE 1000/250	sDG	View Out Analysis
3,6%	**Daylight provision** livello raggiunto: **MEDIO**	**Daylight provision** livello raggiunto: **MEDIO**	**74,0%** del tempo	**30,6%** dello spazio	**32,8%** delle viste	**Qualità media 100%**
	MINIMO	**MINIMO**	**50,1%** del tempo	**1,7%** dello spazio	**8,3%** delle viste	**Qualità media 100%**

AULA ORIENTATA A OVEST. Come secondo caso di confronto è stata selezionata un'aula orientata a ovest che, nello stato di fatto, presenta dimensioni maggiori rispetto all'aula est. L'ambiente ha una superficie utile di 67,40 m^2 e una superficie vetrata di 5,22 m^2; nell'intervento della Città Metropolitana la superficie utile rimane invariata, mentre quella vetrata si riduce a 4,20 m^2. Il progetto di tesi modifica nuovamente la configurazione, con una superficie utile di 60,50 m^2 e una superficie vetrata di 9,28 m^2.

Configurazione	Superficie utile [m^2]	Superficie vetrata [m^2]
Stato di fatto	45,9	5,22
Città Metropolitana	45,9	4,2
Progetto di tesi	60,5	9,28

Il caso risulta inoltre significativo perché l'intervento della Città Metropolitana non prevede l'applicazione del cappotto termico. A differenza dell'aula est, non si verifica quindi un aumento dello spessore murario e della profondità dell'imbotte; la riduzione della disponibilità luminosa può essere ricondotta principalmente alla diminuzione della superficie finestrata e alle diverse proprietà ottiche del nuovo vetro. Questo comportamento è evidente nel FDLm, che passa dall'1,4% all'1,0%.

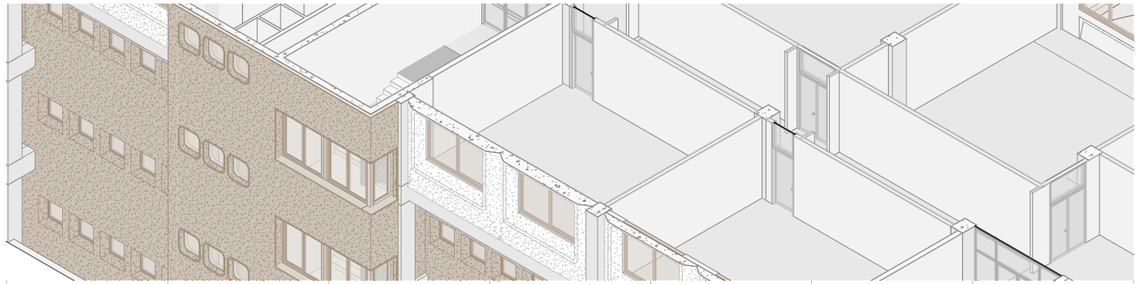
La diminuzione dell'apporto luminoso non determina tuttavia un peggioramento complessivo delle condizioni interne. Nell'intervento della Città Metropolitana l'avg uDIA aumenta dal 43,7% al 69,3%, mentre si riducono i fenomeni di sovraesposizione e abbagliamento. Il nuovo serramento lascia quindi entrare una quantità minore di radiazione, ma contribuisce a mantenere per una quota maggiore dell'anno livelli di illuminamento compresi nell'intervallo utile. A questo comportamento contribuisce anche la presenza del volume della palestra, che costituisce un'ostruzione esterna e scherma parzialmente la facciata dalla radiazione solare pomeridiana. L'esposizione a ovest non corrisponde pertanto a una condizione completamente libera, circostanza che spiega anche i valori relativamente contenuti di ASE e abbagliamento.

Nel progetto di tesi la maggiore superficie vetrata determina invece un incremento più marcato della disponibilità di luce naturale. Il FDLm raggiunge il 3,4% e l'avg uDIA il 75,8%, evidenziando una maggiore capacità dell'ambiente di sfruttare l'illuminazione naturale. L'aumento della componente trasparente comporta però anche un incremento della radiazione solare diretta e, di conseguenza, dei fenomeni di sovraesposizione e abbagliamento. Anche in questo caso l'effetto risulta parzialmente mitigato dalla presenza della palestra, che limita l'irraggiamento incidente sulla facciata.

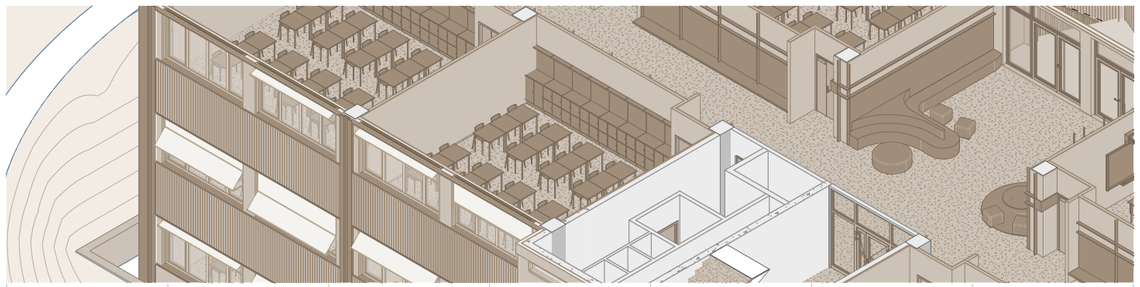
L'introduzione della schermatura al 30% consente di ridurre sensibilmente tali criticità: l'ASE scende all'1,7% e l'indicatore di abbagliamento al 14,4%, mentre l'avg uDIA si riduce a circa il 62%. La schermatura permette quindi di ristabilire un maggiore equilibrio tra disponibilità di luce naturale e controllo della radiazione diretta. La riduzione dell'uDIA evidenzia tuttavia come una schermatura mantenuta nella stessa posizione per l'intero anno possa limitare l'ingresso della luce anche quando non necessario, confermando l'opportunità di prevedere un sistema regolabile in funzione delle condizioni effettive di irraggiamento.



FDLm	DA 300lux	DA 500lux	avg UDIA	ASE 1000/250	sDG	View Out Analysis
2,2%	**Daylight provision** livello raggiunto: **MINIMO**	**Daylight provision** livello raggiunto: **MINIMO**	**53,2%** del tempo	**16,7%** dello spazio	**16,1%** delle viste	**Qualità alta 37,4%** **Qualità media 62,6%**



FDLm	DA 300lux	DA 500lux	avg UDIA	ASE 1000/250	sDG	View Out Analysis
1,8%	**Daylight provision** livello raggiunto: **MINIMO**	**Daylight provision** livello raggiunto: **MEDIO**	**53,2%** del tempo	**16,7%** dello spazio	**14,6%** delle viste	**Qualità alta 27,3%** **Qualità media 72,7%**



FDLm	DA 300lux	DA 500lux	avg UDIA	ASE 1000/250	sDG	View Out Analysis
3,6%	**Daylight provision** livello raggiunto: **MEDIO**	**Daylight provision** livello raggiunto: **MEDIO**	**76,1%** del tempo	**19,1%** dello spazio	**32,2%** delle viste	**Qualità media 100%**
	MINIMO	**MINIMO**	**62 ,1%** del tempo	**1,7%** dello spazio	**14,4%** delle viste	**Qualità media 100%**

9.4 CONFRONTO DELLE PRESTAZIONI ACUSTICHE

Il confronto delle prestazioni acustiche è stato sviluppato considerando le tre configurazioni dell'edificio analizzate nel corso del lavoro: stato di fatto, intervento previsto dalla Città Metropolitana e progetto di tesi. La comparazione è stata concentrata sulle aule appartenenti alla manica esistente, per le quali è possibile individuare una continuità tra i diversi scenari e mettere in relazione le variazioni prestazionali con le modifiche effettivamente introdotte sugli elementi edilizi.

Nei capitoli precedenti ciascuna configurazione è stata verificata rispetto al proprio quadro normativo di riferimento, valutando per i diversi indicatori il rispetto o meno dei requisiti previsti. In questa sezione l'obiettivo è invece differente: i risultati vengono messi a confronto attraverso i valori prestazionali ottenuti, così da evidenziare l'effettivo miglioramento o peggioramento del comportamento acustico dell'edificio, indipendentemente dalla verifica di conformità normativa già affrontata. Il confronto riguarda in particolare l'isolamento acustico di facciata, l'isolamento tra ambienti adiacenti e sovrapposti, il rumore da calpestio e i parametri relativi alla qualità acustica interna.

Considerata la varietà delle configurazioni analizzate, sono stati individuati due gruppi di aule rappresentative, selezionati con l'obiettivo di distinguere, per quanto possibile, l'incidenza delle principali trasformazioni introdotte dalla Città Metropolitana. Il primo gruppo permette di leggere prevalentemente l'effetto della sostituzione del serramento, mentre il secondo considera una condizione nella quale alla sostituzione della componente trasparente si aggiunge anche l'applicazione del cappotto termico sulla parete esterna. In entrambi i casi il confronto con il progetto di tesi permette infine di valutare l'effetto di un intervento più esteso, che coinvolge non soltanto l'involucro ma anche partizioni, solai e caratteristiche acustiche interne degli ambienti.

AULE – OPZIONE 1. Il primo gruppo costituisce il confronto principale, poiché comprende aule appartenenti a tutte e tre le configurazioni caratterizzate da geometrie e dimensioni sufficientemente simili. Questa condizione permette di limitare l'influenza delle differenze dimensionali e di mettere in relazione in maniera più diretta le variazioni dei risultati con le trasformazioni introdotte nei diversi scenari.

Nel passaggio dallo stato di fatto all'intervento della Città Metropolitana, la principale modifica riguarda la sostituzione dei serramenti. Nella configurazione originaria la componente trasparente rappresenta infatti uno degli elementi più deboli della facciata dal punto di vista fonoisolante; l'introduzione di serramenti maggiormente performanti determina quindi un incremento significativo dell'isolamento rispetto ai rumori provenienti dall'esterno. Le prestazioni delle partizioni interne, dei solai e del rumore da calpestio rimangono invece sostanzialmente analoghe, in quanto tali componenti non vengono interessati da interventi specifici. Anche il comportamento acustico interno subisce variazioni limitate, non essendo modificate in maniera significativa le caratteristiche di assorbimento delle superfici dell'aula.

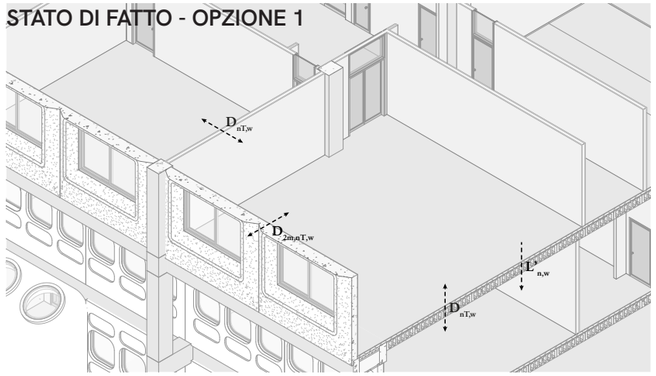
Il progetto di tesi, mantenendo una geometria comparabile, permette di estendere ulteriormente la lettura degli effetti progettuali. L'intervento non si limita infatti alla facciata, ma coinvolge anche le partizioni interne, i solai e le superfici di finitura. L'impiego di divisori con maggiore potere fonoisolante migliora la separazione tra le aule, mentre l'inserimento di strati resilienti contribuisce alla riduzione della trasmissione del rumore da calpestio. L'introduzione di superfici fonoassorbenti modifica inoltre il comportamento del suono all'interno dell'ambiente, riducendo la riverberazione e migliorando l'intelligibilità del parlato. Il confronto consente quindi di leggere il passaggio da un intervento prevalentemente concentrato sull'involucro a una strategia più estesa, rivolta al comfort acustico complessivo dell'aula.

AULE – OPZIONE 2. Il secondo gruppo considera invece aule neIl secondo gruppo costituisce un confronto integrativo tra stato di fatto e intervento della Città Metropolitana. In questo caso, oltre alla sostituzione dei serramenti, viene introdotto anche il cappotto termico sulla parete esterna. L'analisi consente quindi di osservare come varia la prestazione della facciata quando vengono modificati contemporaneamente sia la componente trasparente sia quella opaca.

Il miglioramento dell'isolamento verso l'esterno è riconducibile principalmente alla maggiore prestazione acustica del nuovo serramento, che interviene sull'elemento più debole della facciata. A questo si aggiunge la modifica della stratigrafia della parete determinata dall'applicazione del cappotto, che contribuisce a variare il comportamento della componente opaca e quindi la prestazione complessiva dell'involucro.

Gli indicatori relativi alle partizioni interne, ai solai, al calpestio e al comfort acustico interno rimangono invece sostanzialmente stabili, confermando che gli effetti dell'intervento della Città Metropolitana sono concentrati principalmente sulla protezione dai rumori provenienti dall'esterno. L'Opzione 2 permette quindi di integrare quanto osservato nel primo gruppo, distinguendo il caso in cui il miglioramento della facciata deriva prevalentemente dalla sostituzione del serramento da quello in cui a questa si aggiunge anche l'intervento sulla componente opaca.

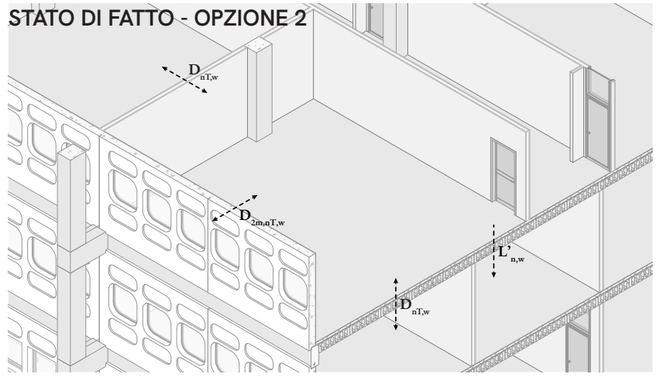
STATO DI FATTO - OPZIONE 1



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)	ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$)
38,6dB	40,8 dB
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$)	**LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$)**
53,0dB	75,5dB

T	C50	STI
1,34s	-1,60	0,47

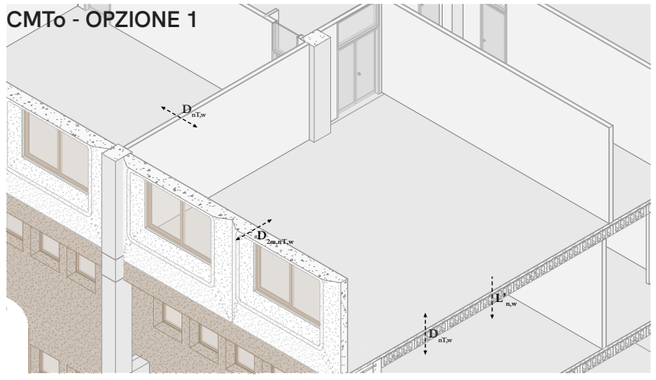
STATO DI FATTO - OPZIONE 2



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)	ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$)
38,6dB	43,4dB
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$)	**LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$)**
52,9dB	74,6dB

T	C50	STI
0,95s	4,7	0,54

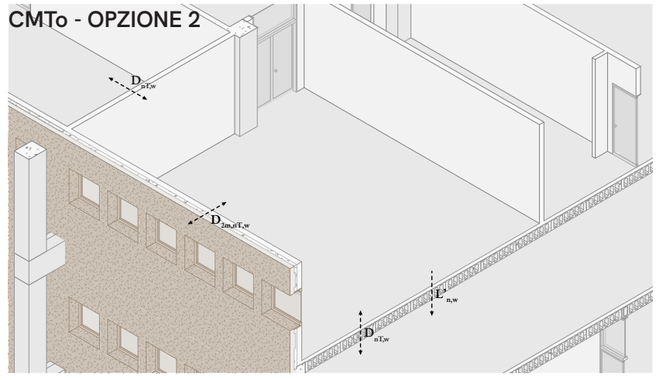
CMTo - OPZIONE 1



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)	ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$)
51,7dB	40,8dB
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$)	**LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$)**
53,0dB	74,6dB

T	C50	STI
1,38s	-2,00	0,48

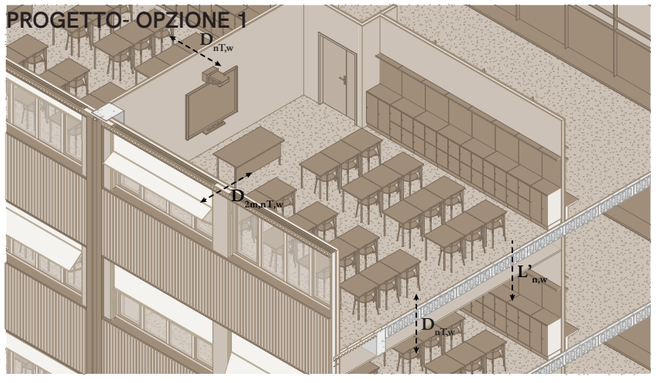
CMTo - OPZIONE 2



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)	ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$)
52,1dB	43,2dB
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$)	**LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$)**
52,7dB	74,4dB

T	C50	STI
0,93s	0,40	0,54

PROGETTO- OPZIONE 1



ISOLAMENTO DI FACCIATA ($D_{2m,nT,w}$)	ISOLAMENTO PARETI ($D_{nT,w}$)
48,8	64,9dB
ISOLAMENTO SOLAIO ($D_{nT,w}$)	**LIVELLO RUMORE DA CALPESTIO ($L'_{n,w}$)**
62,3dB	56,3dB

T	C50	STI
0,45s	5,50	0,70

9.5 CONFRONTO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE

Il confronto delle prestazioni energetiche è stato sviluppato mettendo in relazione le diverse configurazioni del complesso scolastico analizzate nel corso del lavoro, con l'obiettivo di valutare in che misura le successive strategie di intervento incidano sul fabbisogno energetico dell'edificio e sulla prestazione energetica complessiva.

La lettura viene articolata distinguendo il corpo aule dalla palestra, poiché i due corpi presentano caratteristiche geometriche, profili di utilizzo e configurazioni impiantistiche differenti. Tale distinzione consente di evitare che il confronto venga condizionato dal diverso peso energetico delle due destinazioni d'uso e permette di ricondurre con maggiore chiarezza le variazioni dei risultati alle specifiche soluzioni adottate.

Per il corpo aule il confronto comprende tre scenari: stato di fatto, intervento realizzato dalla Città Metropolitana e progetto di tesi. La sequenza permette di osservare dapprima gli effetti della riqualificazione dell'involucro, basata principalmente sull'intervento sulle componenti opache e trasparenti, e successivamente quelli derivanti da una strategia più estesa, nella quale al miglioramento dell'involucro si affiancano la sostituzione dei sistemi di generazione, l'introduzione della ventilazione meccanica con recupero di calore e l'integrazione della produzione fotovoltaica. La relazione della Città Metropolitana restituisce infatti separatamente i risultati del corpo aule, consentendo un confronto diretto tra configurazione ante e post operam.

Per la palestra, invece, la comparazione viene sviluppata esclusivamente tra stato di fatto e progetto di tesi. Sebbene nella documentazione della Città Metropolitana sia presente anche una simulazione relativa alla sua riqualificazione, tale intervento non è stato effettivamente realizzato e non viene pertanto assunto come configurazione intermedia.

Ai fini della comparazione vengono utilizzati principalmente gli indicatori specifici riferiti alla superficie utile climatizzata, espressi in kWh/m²anno. Questa scelta consente di confrontare configurazioni caratterizzate da superfici e volumi differenti senza affidarsi esclusivamente ai valori energetici assoluti. La valutazione considera in particolare il fabbisogno utile per il riscaldamento, rappresentativo del comportamento termico del fabbricato, e gli indici di prestazione energetica primaria, distinti nelle componenti rinnovabile e non rinnovabile. In questo modo è possibile separare l'effetto della riduzione delle dispersioni da quello dovuto all'efficienza degli impianti e all'integrazione delle fonti rinnovabili.

CORPO AULE. Il confronto relativo al corpo aule evidenzia un miglioramento progressivo delle prestazioni già a partire dall'intervento della Città Metropolitana. Il fabbisogno utile specifico per il riscaldamento passa da 106,91 kWh/m²anno nello stato di fatto a 76,72 kWh/m²anno nella configurazione post operam, con una riduzione del 28,2%.

La diminuzione è riconducibile principalmente alla riqualificazione dell'involucro edilizio. Gli interventi sulle componenti opache, sulla copertura e sui serramenti riducono le dispersioni per trasmissione e, di conseguenza, l'energia richiesta per il mantenimento delle condizioni interne durante la stagione invernale. La stessa tendenza emerge dall'energia primaria non rinnovabile: l'$EP_{gl,nren}$ passa da 233,50 a 176,85 kWh/m²anno, con una riduzione del 24,3%. La componente rinnovabile rimane invece sostanzialmente invariata, confermando che l'intervento è incentrato principalmente sul contenimento della domanda energetica e non sulla modifica delle fonti utilizzate.

Il progetto di tesi determina un ulteriore miglioramento del comportamento termico del fabbricato. Il fabbisogno utile per il riscaldamento raggiunge 64,51 kWh/m²anno, con una riduzione del 15,9% rispetto all'intervento della Città Metropolitana e del 39,7% rispetto allo stato di fatto. Il risultato viene raggiunto nonostante la rilevanza assunta dalle dispersioni per ventilazione, conseguenza delle elevate portate di rinnovo dell'aria necessarie negli ambienti didattici caratterizzati da un'elevata densità di occupazione.

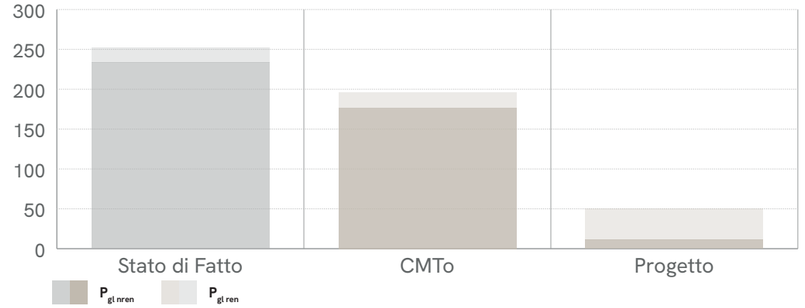
La variazione più significativa emerge tuttavia considerando la prestazione energetica complessiva. L'EPgl,nren scende fino a 10,96 kWh/m²anno, risultando inferiore del 93,8% rispetto alla configurazione della Città Metropolitana e del 95,3% rispetto allo stato di fatto. Parallelamente, l'$EP_{gl,ren}$ aumenta fino a 38,98 kWh/m²anno, evidenziando il maggiore contributo della componente rinnovabile.

La differenza tra la riduzione del fabbisogno utile e quella dell'energia primaria non rinnovabile permette di distinguere chiaramente l'effetto delle differenti strategie. Se la diminuzione del fabbisogno di riscaldamento è legata principalmente al comportamento del fabbricato, il forte abbattimento dell'$EP_{gl,nren}$ deriva dall'integrazione tra pompe di calore, ventilazione meccanica con recupero di calore e produzione fotovoltaica.

Significativo è il contributo dell'impianto fotovoltaico previsto sulla manica esistente. I 300 moduli, per una potenza complessiva di picco pari a 184,5 kWp, producono circa 214,8 MWh/anno. Di questi, circa 204,8 MWh/anno vengono autoconsumati, consentendo di coprire circa l'81,6% del fabbisogno elettrico annuale del modello; il prelievo residuo dalla rete si riduce a circa 46,3 MWh/anno.

Nel complesso, il confronto evidenzia quindi due differenti livelli di intervento. La riqualificazione della Città Metropolitana determina un miglioramento consistente attraverso la riduzione della domanda energetica dell'involucro; il progetto di tesi associa a questo principio una trasformazione più profonda del sistema edificio-impianto, riducendo fortemente il ricorso all'energia primaria non rinnovabile e aumentando il contributo delle fonti rinnovabili.

Indicatore	Stato di fatto	CMTo	Variazione rispetto SF	Progetto di tesi	Variazione rispetto SF
EPH,nd [kWh/m²a]	106,91	76,72	−28,2%	64,51	−39,7%
EPgl,nren [kWh/m²a]	233,5	176,85	−24,3%	10,96	−95,3%
EPgl,ren [kWh/m²a]	18,98	18,88	−0,5%	38,98	105,40%
EPgl,tot [kWh/m²a]	252,48	195,73	−22,5%	49,94	−80,2%



PALESTRA. La palestra viene analizzata separatamente in ragione delle caratteristiche proprie della destinazione sportiva. La grande volumetria, le elevate portate necessarie per il rinnovo dell'aria e la presenza di spogliatoi e docce determinano infatti un profilo energetico sensibilmente differente rispetto agli ambienti didattici.

A ciò si aggiunge una variazione geometrica rilevante tra le due configurazioni: la superficie utile climatizzata aumenta da 1.285,85 m² nello stato di fatto a 1.850,71 m² nel progetto, con un incremento di circa il 43,9%. Il confronto viene pertanto sviluppato principalmente attraverso gli indicatori specifici, che consentono di neutralizzare l'effetto della diversa estensione dell'edificio. Nello stato di fatto la palestra presenta un fabbisogno utile specifico per il riscaldamento pari a 127,70 kWh/m²anno e un EPgl,nren pari a 248,51 kWh/m²anno. Nel progetto di tesi, il fabbisogno utile specifico per il riscaldamento si riduce a circa 39,97 kWh/m²anno, con una diminuzione del 68,7% rispetto alla configurazione originaria. Il dato evidenzia l'efficacia dell'intervento nel contenimento della domanda termica, nonostante l'aumento delle dimensioni dell'edificio. L'EPgl,nren passa invece da 248,51 a 124,02 kWh/m²anno, con una riduzione del 50,1%. Il miglioramento risulta meno marcato rispetto a quello osservato sul solo fabbisogno di riscaldamento poiché, nella configurazione di progetto, assumono un peso rilevante altri servizi energetici: ventilazione meccanica, raffrescamento, illuminazione e produzione di acqua calda sanitaria.

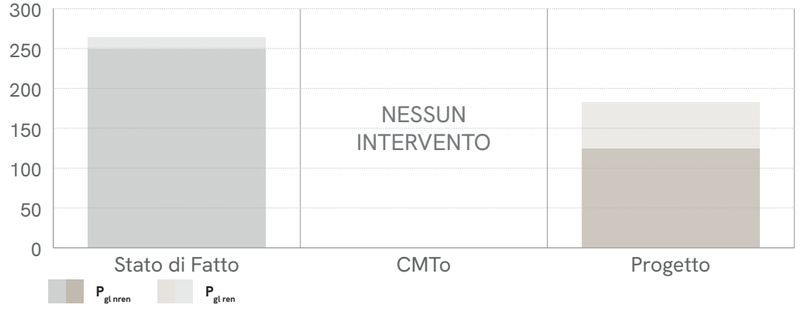
La componente rinnovabile aumenta parallelamente da 15,66 a 59,19 kWh/m²anno. Nel progetto la produzione di acqua calda sanitaria assume infatti un peso maggiore a causa della presenza degli spogliatoi e delle docce e della possibilità di utilizzo della palestra anche da parte di utenti esterni alla scuola, in particolare nelle ore pomeridiane e serali.

Per limitare l'energia richiesta da questo servizio è stato integrato un impianto solare termico costituito da 88 collettori, con una superficie complessiva di apertura pari a 164,56 m². La produzione solare utile annuale è pari a circa 40,65 MWh, corrispondente al 63,9% del fabbisogno annuale di ACS; la quota residua, pari a circa 22,99 MWh/anno, viene coperta mediante la pompa di calore dedicata.

La lettura dei valori assoluti permette inoltre di evidenziare un ulteriore aspetto. Nonostante l'incremento della superficie utile di circa il 44%, il fabbisogno complessivo di energia primaria passa da circa 339,7 MWh/anno nello stato di fatto a 339,1 MWh/anno nel progetto, rimanendo quindi sostanzialmente invariato. La forte riduzione degli indici specifici non deriva pertanto esclusivamente dalla maggiore superficie, ma è accompagnata da una profonda trasformazione della composizione energetica: diminuisce la quota non rinnovabile e aumenta sensibilmente quella rinnovabile.

La palestra mantiene comunque un indice di energia primaria superiore rispetto al corpo aule. Tale differenza non indica una minore efficacia delle soluzioni adottate, ma è coerente con la maggiore intensità energetica della destinazione sportiva, nella quale ventilazione, illuminazione e produzione di ACS assumono un peso significativamente maggiore sul bilancio complessivo.

Indicatore	Stato di fatto	CMTo	Variazione rispetto SF	Progetto di tesi	Variazione rispetto SF
EPH,nd [kWh/m²a]	127,7	Invariato	Invariato	39,97	−68,7%
EPgl,nren [kWh/m²a]	248,51	Invariato	Invariato	124,02	−50,1%
EPgl,ren [kWh/m²a]	15,66	Invariato	Invariato	59,19	278,00%
EPgl,tot [kWh/m²a]	264,18	Invariato	Invariato	183,21	−30,6%



9.6 CONSIDERAZIONI SUL CONFRONTO

Il confronto tra stato di fatto, intervento della Città Metropolitana e progetto di tesi ha consentito di leggere in maniera organica l'evoluzione prestazionale del complesso scolastico, mettendo in relazione tre ambiti principali: illuminazione naturale, comportamento acustico e prestazione energetica.

Le analisi evidenziano come gli interventi non possano essere valutati attraverso un solo indicatore. Le modifiche apportate all'involucro, alle aperture, alle partizioni e agli impianti producono infatti effetti differenti sui vari aspetti prestazionali; il miglioramento complessivo deriva quindi dalla capacità di trovare un equilibrio tra esigenze diverse, più che dalla massimizzazione di una singola prestazione.

Dal punto di vista illuminotecnico, l'intervento della Città Metropolitana migliora il controllo della radiazione solare e le prestazioni termoenergetiche dell'involucro, ma in alcuni casi riduce la disponibilità di luce naturale, soprattutto per effetto delle nuove caratteristiche delle vetrate e dell'aumento della profondità delle imbotti. Il progetto di tesi aumenta invece l'apporto di luce naturale attraverso una diversa configurazione delle aperture e degli spazi, ma introduce una maggiore esposizione alla radiazione diretta e quindi una maggiore necessità di controllo solare. L'analisi delle schermature mostra come il loro impiego sia efficace nel contenere sovraesposizione e abbagliamento, ma evidenzia anche la necessità di sistemi regolabili, capaci di adattarsi alle condizioni reali di irraggiamento e alle esigenze degli utenti.

L'analisi acustica mostra a sua volta due diversi livelli di intervento. La Città Metropolitana migliora soprattutto l'isolamento verso l'esterno, grazie alla sostituzione dei serramenti e, dove previsto, alla modifica della componente opaca della facciata. Il progetto di tesi amplia invece il campo d'azione, intervenendo anche su partizioni interne, solai e superfici di finitura. Il miglioramento riguarda quindi non solo la protezione dai rumori provenienti dall'esterno, ma anche l'isolamento tra ambienti, il rumore da calpestio e il comfort acustico interno. In questo senso, la qualità acustica dell'aula emerge come il risultato del coordinamento tra più componenti costruttivi e non come la prestazione di un singolo elemento.

Anche il confronto energetico restituisce una dinamica analoga. L'intervento della Città Metropolitana dimostra l'efficacia della riqualificazione dell'involucro nel ridurre la domanda energetica e le dispersioni. Il progetto di tesi sviluppa ulteriormente questa strategia, affiancando al miglioramento del fabbricato una trasformazione più estesa del sistema edificio-impianto, attraverso pompe di calore, ventilazione meccanica con recupero di calore e integrazione delle fonti rinnovabili. Il confronto evidenzia quindi come la riduzione delle dispersioni costituisca una condizione fondamentale, ma come i risultati più rilevanti derivino dall'integrazione tra contenimento della domanda, efficienza impiantistica, recupero energetico ed elettrificazione dei consumi.

La distinzione tra corpo aule e palestra conferma inoltre la necessità di calibrare le strategie sulle specifiche condizioni d'uso. Gli ambienti didattici sono fortemente influenzati dall'occupazione, dalla qualità dell'aria, dalla disponibilità di luce naturale e dall'intelligibilità del parlato; la palestra presenta invece esigenze differenti, legate alla maggiore volumetria, alle elevate portate di rinnovo dell'aria e alla produzione di acqua calda sanitaria per spogliatoi e docce. Le prestazioni devono quindi essere lette in relazione alla funzione degli spazi e non attraverso un criterio uniforme applicato all'intero complesso.

Nel complesso, il progetto di tesi si configura come una strategia integrata di riqualificazione, nella quale involucro, impianti, qualità ambientale interna e modalità d'uso vengono considerati come parti di uno stesso sistema. Il confronto mostra inoltre come il miglioramento di una prestazione possa influenzarne altre, rendendo necessario un approccio capace di controllare le reciproche interazioni.

Il risultato principale del lavoro non consiste quindi nell'individuazione di una soluzione prestazionale assoluta, ma nella definizione di un approccio multicriteriale, capace di mettere in relazione esigenze differenti e, in alcuni casi, contrastanti. La riqualificazione dell'edificio scolastico emerge così come un processo nel quale efficienza energetica, comfort visivo, qualità acustica e modalità d'uso devono essere valutati congiuntamente, perseguendo un equilibrio complessivo tra prestazione e qualità degli spazi.

10

CONCLUSIONI

Questo capitolo sintetizza gli esiti della ricerca, mettendo in relazione le criticità dell'edilizia scolastica italiana con le riflessioni sviluppate attraverso il caso studio del Liceo Carlo Cattaneo. A partire da queste considerazioni, vengono individuate alcune prospettive per una riqualificazione più integrata e strategica del patrimonio scolastico esistente.

10.1 UN FUTURO PER LA SCUOLA ESISTENTE

Il presente lavoro di tesi è partito da una constatazione di fondo: il patrimonio edilizio scolastico italiano, stratificato e capillarmente diffuso sul territorio, rappresenta un'eredità preziosa ma al tempo stesso profondamente vulnerabile. I dati presentati hanno messo in luce un patrimonio vetusto, caratterizzato da profonde criticità strutturali ed energetiche e da condizioni di comfort ambientale spesso non adeguate. A queste si aggiunge la frequente discordanza tra la configurazione degli spazi e il loro uso: aule sovraffollate, aree comuni insufficienti, arredi e attrezzature datate e una distribuzione interna spesso inadatta alle attività dell'attuale didattica.
Queste problematiche, nonostante abbiano assunto una crescente centralità nel dibattito pubblico e politico, rimangono tuttavia in larga parte irrisolte. Dal piano di edilizia scolastica avviato con il Governo Renzi fino alle più recenti politiche di finanziamento, l'intervento sul patrimonio è rimasto infatti prevalentemente ancorato alla risoluzione puntuale delle singole criticità. Una modalità di intervento che trova le proprie ragioni nella vastità e diffusione del patrimonio da riqualificare, oltre che dalla necessità di distribuire risorse economiche limitate su un fabbisogno molto ampio.

Di fronte alla complessità delle esigenze attuali, è emersa quindi la necessità di superare progressivamente tale approccio e orientare la riqualificazione verso strategie più integrate di trasformazione dell'esistente. La scuola contemporanea si trova infatti a confrontarsi con una condizione complessa: la rigidità di un patrimonio edilizio spesso progettato secondo modelli didattici e organizzativi ormai superati, la popolazione studentesca proiettata verso un declino demografico che renderà inevitabile il sottoutilizzo o inutilizzo di parte degli edifici scolastici e infine l'attenzione per l'impatto ambientale degli edifici e il miglioramento delle loro prestazioni energetiche. In questo quadro la riqualificazione del patrimonio esistente non può essere intesa esclusivamente come un problema tecnico, ma deve diventare capace di coniugare qualità spaziale, sostenibilità ambientale ed efficienza energetica, ridefinendo il ruolo stesso dell'edificio scolastico all'interno della città e della società. Anche la considerevole quantità di risorse economiche mobilitate negli ultimi anni, culminata nelle opportunità offerte dal PNRR, ha mostrato la necessità di concepire l'investimento economico con una visione strategica e di lungo periodo. La disponibilità di risorse, infatti, non costituisce di per sé una garanzia di trasformazione del patrimonio: senza una programmazione integrata, il rischio è quello di tradurre gli investimenti in una sommatoria di interventi frammentari, incapaci di produrre un cambiamento strutturale.

L'analisi dei quattro edifici scolastici torinesi ha evidenziato questa criticità, mostrando come gli interventi realizzati, pur avendo consentito di affrontare importanti problematiche strutturali e prestazionali, abbiano raramente coinvolto in maniera significativa gli aspetti funzionali e distributivi e, laddove presenti, lo abbiano fatto in modo parziale e limitato. I casi studio, ponendosi come rappresentativi della situazione

nazionale, testimoniano quindi come la riqualificazione dell'edilizia scolastica sia ancora frequentemente affidata a operazioni puntuali orientate alla risoluzione delle emergenze più immediate, piuttosto che a strategie complessive capaci di integrare le diverse dimensioni di un edificio scolastico. Inoltre, la prevalente dipendenza da risorse straordinarie soprattutto di matrice europea, evidenzia la fragilità di una programmazione nazionale autonoma e continuativa, non ancora sufficientemente strutturata per sostenere nel lungo periodo la trasformazione del patrimonio scolastico.

È proprio a partire da queste considerazioni che il Liceo Carlo Cattaneo di Torino è stato individuato come caso di approfondimento di un approccio progettuale alternativo, orientato alla riqualificazione integrata dell'intero complesso scolastico. Il Liceo Carlo Cattaneo costituisce infatti un caso emblematico: realizzato durante la stagione del boom dell'edilizia scolastica, è un edificio di grandi dimensioni e dalle potenzialità ancora inespresse, caratterizzato da una popolazione studentesca numerosa e da un ruolo significativo all'interno del contesto urbano, condivide con una parte consistente del patrimonio nazionale le condizioni di vetustà e usura, ed è stato interessato da una riqualificazione puntuale.
La sua analisi e riprogettazione hanno permesso di mettere in relazione, all'interno di un unico caso studio, le principali questioni che interessano oggi l'edilizia scolastica italiana: la dimensione tecnica e prestazionale, relativa alla sicurezza, all'efficienza energetica e alla fattibilità economica dell'intervento; la dimensione spaziale e didattico-educativa, legata alla flessibilità degli spazi e alla loro capacità di adattarsi all'evoluzione della didattica; e infine la dimensione urbana e sociale, relativa al rapporto tra scuola, territorio e comunità. Questa impostazione è stata tradotta nel progetto attraverso una strategia unitaria, in cui la riqualificazione dell'edificio esistente, l'inserimento di nuove volumetrie, il potenziamento delle funzioni e degli spazi non costituiscono interventi autonomi ma componenti interdipendenti. L'obiettivo non è stato semplicemente migliorare le prestazioni di un edificio esistente, ma costruire un nuovo equilibrio tra conservazione e trasformazione, riconoscendo il valore dell'esistente e adattandolo alle esigenze di innovazione tecnologica, ambientale, pedagogica e sociale.
L'approccio metodologico sviluppato nel progetto, pur riconoscendone la specificità e complessità attuativa, ha consentito di individuare alcuni principi potenzialmente trasferibili ad altri contesti, costituendo un possibile riferimento per interventi su edifici scolastici collocati in contesti urbani consolidati e caratterizzati da analoghe esigenze di adeguamento, trasformazione e valorizzazione, comuni a gran parte degli edifici scolastici. Proprio la possibilità di trasferire il metodo, più che le singole soluzioni progettuali, rappresenta l'esito più significativo del lavoro di tesi. Non esiste infatti una soluzione unica per il patrimonio scolastico italiano: esiste piuttosto la necessità di sviluppare processi decisionali capaci di riconoscere le specificità di ciascun edificio e comunità scolastica e di trasformarle in opportunità progettuali.

Rimangono naturalmente, alcune criticità che non si possono considerare risolte. La complessità degli interventi, la frammentazione dei sistemi di finanziamento, la necessità di un coordinamento efficace tra amministrazioni, progettisti e soggetti coinvolti e l'evoluzione continua dei requisiti normativi, sono condizioni che incidono significativamente sulla possibilità di tradurre una strategia progettuale in un intervento concreto. A queste difficoltà si aggiunge la necessità di verificare nel tempo le prestazioni reali degli edifici e il modo in cui gli utenti ne utilizzano gli spazi: la qualità di un progetto scolastico, infatti, è veramente valutabile durante il suo utilizzo e la sua vita utile.
Questa considerazione introduce un tema particolarmente importante per il futuro: il monitoraggio degli interventi realizzati. Se la riqualificazione deve diventare un intervento organico e non una successione di operazioni isolate, è necessario costruire sistemi di valutazione capaci di integrare le prestazioni tecniche degli edifici con gli effettivi risultati educativi, ambientali e sociali prodotti. Solo attraverso questo processo sarà possibile comprendere quali strategie siano realmente efficaci e quali, invece, necessitino di essere ripensate. La qualità di un progetto scolastico, infatti, è veramente valutabile durante il suo utilizzo e nel corso della sua vita utile, verificando il modo in cui gli utenti utilizzano gli spazi e gli effetti che l'intervento produce nel tempo.

In conclusione, la sfida che attende le politiche pubbliche, i progettisti e gli enti locali nei prossimi anni non è semplicemente quella di "mettere in sicurezza" le scuole, né quella di sostituire indiscriminatamente il patrimonio esistente con nuove costruzioni. La vera sfida consiste nel riconoscere il patrimonio scolastico come una risorsa strategica da trasformare, attraverso interventi capaci di coniugare conservazione, innovazione e adattabilità. Il progetto del Liceo Carlo Cattaneo mostra, in questo senso, una possibile terza soluzione tra la frammentazione dei micro-interventi e la radicale sostituzione edilizia: una riqualificazione integrata, che affianca la preesistenza con nuovi spazi e nuove funzioni. La trasformazione della scuola può diventare inoltre un'occasione per affrontare alcune delle principali questioni che caratterizzano il presente: la transizione ecologica, la rigenerazione del patrimonio costruito, l'adattamento ai cambiamenti demografici, l'evoluzione della didattica e il rafforzamento delle relazioni tra istituzioni e comunità. Perché ciò possa avvenire, è necessario superare definitivamente la logica della risoluzione dell'emergenza e adottare una pianificazione integrata, che mette in relazione investimenti, strategie territoriali, programmazione demografica e centralità educativa. La scuola non deve essere considerata soltanto come uno degli edifici che compongono la città, ma come una delle infrastrutture attraverso cui la città costruisce il proprio futuro.