

**Strategie
di riqualificazione
energetico-spaziale del
patrimonio edilizio scolastico
torinese attraverso tre archetipi**

Federico Sanino

A Chechi,
Alla realizzazione dei nostri sogni,
Al nostro futuro.



POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Architettura e Design
Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità
A.A. 2024 - 2025

**Strategie
di riqualificazione
energetico-spaziale del
patrimonio edilizio scolastico
torinese attraverso tre archetipi**

Relatore
Fabio Favoino
Correlatore
Daniele Campobenedetto

Candidato
Federico Sanino

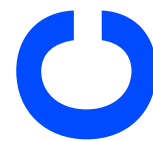
Nel periodo che va dalla fine del secondo conflitto mondiale, alla fine degli anni Settanta, l'Italia è stata travolta da un'esplosione demografica senza precedenti, la quale, ha causato una richiesta smisurata di nuovi spazi per l'apprendimento. Nonostante si respirasse un clima di cambiamento e sperimentazione in ambito pedagogico, la necessità di sopperire rapidamente alla continua richiesta di aule combinata alla pressochè assenza di normative uniche in ambito di edilizia scolastica, hanno prodotto un patrimonio edilizio disomogeneo e di bassissima qualità. L'eredità odierna di tale stagione, è un patrimonio obsoleto, vetusto ed energeticamente inefficiente. Nonostante il tema sia oggetto dei più recenti finanziamenti PNRR, tale risultato è notevolmente distante dalla soglia di accettabilità e sicuramente non in linea con le nuove direttive Europee in ambito di efficienza energetica. La ricerca, si propone di indagare sui benefici diretti, ottenuti dal risparmio energetico e indiretti, dati dal miglioramento delle condizioni di comfort interne, prodotti da interventi di riqualificazione energetica su edifici scolastici esistenti, valutandone la loro convenienza dal punto di vista economico.

A partire da un'indagine tipologica dell'intero patrimonio edilizio scolastico della città di Torino, sono stati individuati tre archetipi differenti, che assieme, rappresentano la quasi totalità dell'edilizia scolastica torinese. L'indagine, ha inizio con l'identificazione delle caratteristiche energetico-architettoniche utili alla costruzione di tipologie di edificio differenti. Al fine di individuare le informazioni necessarie alla creazione del nuovo database, sono stati analizzati i dati relativi alla Città di Torino contenuti all'interno delle certificazioni energetiche APE e quelli raccolti dall' AES. Le numerose informazioni mancanti, sono state integrate in seguito attraverso la combinazione di sopralluoghi fisici sul posto e aerei tramite Google Earth, dei quasi quattrocento edifici scolastici torinesi.

Ad ogni archetipo è stato associato un edificio: la Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi" di Via Antonio Banfo 32, l' Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci" di Via Degli Abeti 13 e l' Istituto Comprensivo "Corrado Alvaro - Piero Gobetti" di Via Romita 19, scelti come i più rappresentativi del campione di riferimento.

L'ipotesi di riqualificazione di tali edifici, si basa su un processo progettuale incrementale, partendo da un light refurbishment, passando per un mid refurbishment e arrivando infine a un deep refurbishment. L'unione delle variabili, crea una "matrice tre per tre" a nove combinazioni, la ricerca, si sofferma a indagare sulla sua diagonale. Quantificati i benefici diretti, tramite analisi energetiche e indiretti, dati da ricerche scientifiche, di ogni esplorazione progettuale, il confronto con il costo di realizzazione, calcolato tramite prezzi parametrici di riferimento, permette di valutare la sostenibilità economica dell'intervento. Il lavoro include un confronto con le attuali strategie di finanziamento "continuative", con riflessioni che vanno oltre i singoli casi studio presi in esame. I progetti e le analisi effettuate, essendo riferiti a "edifici archetipo" particolarmente rappresentativi, permettono di scolarne risultati e ragionamenti sulla quasi totalità del patrimonio edilizio scolastico torinese, offrendo un supporto alla decisione preliminare di progetto delle autorità amministrative locali.

Introduzione		12
	Capitolo 1	
Edilizia scolastica, un'emergenza		20
1.1 La qualità dell'edilizia scolastica		22
1.2 Dalla ripresa Europea al PNRR		32
1.3 Strategie di finanziamento		40
	Capitolo 2	
Le ricadute sulla salute		46
2.1 E se non agiamo?		48
2.2 Quantificazione dei vantaggi		54
	Capitolo 3	
Gli archetipi		58
3.1 Perché Torino?, La situazione		60
3.2 Le caratteristiche degli archetipi		64
3.3 La selezione degli archetipi		108
	Capitolo 4	
Refurbishment		124
4.1 Possibilità d'azione		126
4.2 Modellazione Energetica		130
4.3 Light Refurbishment		136
4.4 Mid Refurbishment		170
4.5 Deep Refurbishment		208
4.6 Valutazione tecnico economica		248
	Capitolo 5	
Conclusioni		260





INTRODUZIONE

se da piccolo mi avessero chiesto...

“Cosa ti viene in mente pensando ad un edificio scolastico?”



1. Sanino F. Scuola Primaria e Secondaria di Primo Grado Einaudi, Marene, 2024



3. Sanino F. Scuola Primaria e Secondaria di Primo Grado Einaudi, Marene, 2024



2. Sanino F. Scuola Primaria e Secondaria di Primo Grado Einaudi, Marene, 2024



4. Sanino F. Scuola Primaria e Secondaria di Primo Grado Einaudi, Marene, 2024



5. Sanino F. Scuola Primaria e Secondaria di Primo Grado Einaudi, Marene, 2024



7. Sanino F. Scuola Primaria e Secondaria di Primo Grado Einaudi, Marene, 2024



6. Sanino F. Scuola Primaria e Secondaria di Primo Grado Einaudi, Marene, 2024



8. Sanino F. Scuola Primaria e Secondaria di Primo Grado Einaudi, Marene, 2024

...questa sarebbe stata la risposta

Sono sicuro che la mia risposta non sarebbe stata un unicum; la corsa al suonar della campanella al termosifone d'inverno e alla finestra in primavera, il giubbotto addosso in aula, sedie e banchi rotti, muri scrostati, pavimenti bucati qua e là, vecchi neon che a fatica si accendono e non illuminano abbastanza, sono ricordi vivi nella mia mente, e in quelle delle precedenti e mia generazione.

Lo dicono i dati, nel nostro Paese ci sono circa 40.000 edifici scolastici, con un'età media di 52 anni e ben due terzi risalgono a più di quarant'anni fa. La maggior parte di questi edifici, appartiene al periodo postbellico. In questo periodo, l'Italia era un paese in forte crescita economica e demografica, ogni anno 1.000.000 di bambini in più attendeva il proprio posto in aula. L'edificazione procedeva ad un ritmo e con uno sforzo senza precedenti, con l'utilizzo di modelli predefiniti e materiali di modesta qualità, lasciando il tempo che trovava, alle nuove sperimentazioni pedagogiche.¹ A seguito della contrazione demografica di fine anni Settanta, l'interesse per l'edilizia scola-

stica scende drasticamente, diventando nei decenni successivi, solo più oggetto adeguamenti, inseriti come fossero provvisori, che contribuiranno a peggiorare ulteriormente la condizione generale degli edifici.

Già all'alba delle Norme Tecniche del 1975 e al successivo decreto del 1977, nel quale, vengono forniti i nuovi requisiti di isolamento termico degli edifici e degli impianti termici di riscaldamento e produzione di acqua calda, la maggior parte del patrimonio edilizio scolastico, risulta inadeguato per gli standard dell'epoca. Sono passati quasi cinquant'anni, da all'ora, e le tecnologie come i nuovi requisiti hanno fatto passi da gigante, ma le scuole no, sono un reperto fossilizzato dell'epoca, in condizioni edilizie fatiscenti, con tecnologie obsolete, ferme a una concezione di didattica che non c'è più.

I più recenti finanziamenti, tra cui il PNRR, non hanno prodotto i risultati desiderati, riqualificando solo lo 0,5% del patrimonio edilizio scolastico nazionale, numero chiaramente non minimamente sufficiente al raggiungimento degli obiettivi

europei dell' Agenda 2030 in merito all'efficienza energetica.

L'impatto di tale ritratto, è variegato e ha effetti molto negativi oltre che sui consumi energetici anche sul comfort e sulla salute degli studenti.

La ricerca, indaga sul patrimonio edilizio scolastico della Città di Torino, riconosciuta come una città laboratorio per l'edilizia scolastica nel corso del Novecento e sede delle più recenti sperimentazioni di "Torino Fa Scuola", la Città, rispecchia a pieno il quadro italiano ed è da sempre luogo di sperimentazioni in questo ambito.

Un primo obiettivo del lavoro di tesi, è quello di individuare degli "archetipi", partendo da un'indagine tipologica dell'intero patrimonio edilizio scolastico della Città di Torino. L'utilizzo di tali archetipi, permette così attraverso un numero limitato di edifici, di dare risposte rappresentative della maggior parte del patrimonio edilizio scolastico torinese.

Un secondo obiettivo, riguarda l'elaborazione di proposte progettuali di riqualificazione, secondo un approccio incre-

mentale, valutandone il loro impatto dal punto di vista energetico ed economico.

La ricerca, nasce dalla volontà di trovare strategie d'azione per la riqualificazione dei beni pubblici più importanti per la crescita della società del futuro, le scuole.

Nel primo capitolo, viene analizzata la realizzazione dell'infrastruttura scolastica e il susseguirsi di normative e finanziamenti che ne hanno scandito la produzione. Il lavoro, prosegue attraverso un'analisi delle strategie di finanziamento europee, attuate per la riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico, a partire dai primi anni 2000 e arrivando fino ai giorni nostri. Il capitolo si conclude con un quadro sulle strategie di finanziamento continuative attualmente perseguibili in caso di riqualificazione di un edificio scolastico.

Nel secondo capitolo, vengono analizzate le ricadute degli edifici scolastici vetusti e obsoleti, sulla salute e sulle prestazioni degli studenti. In particolare, vengono quantificati i benefici economici indiretti dovuti all'aumento delle condizioni di comfort interne, quali la diminu-

1. Fondazione Giovanni Agnelli (2020). Rapporto sull' edilizia scolastica. Conclusioni, pp.244-251, p. 244.

zione dei malati d'asma e la riduzione del periodo scolastico.

Il terzo capitolo, si concentra sull'analisi del patrimonio edilizio scolastico torinese, partendo dai dati contenuti all'interno delle certificazioni energetiche APE e proseguendo con un'analisi tipologica approfondita dei quasi 400 edifici scolastici torinesi. Tale indagine è stata svolta creando un nuovo database, il quale unisce i dati messi a disposizione dall'AES con quelli raccolti durante la ricerca, attraverso sopralluoghi fisici sul posto e aerei tramite Google Maps. A valle dell'analisi tipologica, il capitolo si conclude con l'individuazione di tre archetipi, che assieme rappresentano la maggior parte degli edifici scolastici torinesi, al fine che i ragionamenti effettuati sul singolo, possano essere scalati per intero o almeno in parte sulla quasi totalità del campione preso in esame.

L'ultimo capitolo, esplora tre proposte progettuali secondo un approccio incrementale per tre edifici-archetipo specifici: "light refurbishment" per la Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi" di

via Antonio Banfo 32; "mid refurbishment" per l'Istituto Comprensivo "Corrado Alvaro - Piero Gobetti" di Via Romita 19 e "deep refurbishment" per l'Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci" di Via Degli Abeti 13. Alle ipotesi di trasformazione degli edifici scolastici selezionati. La ricerca si concentra inoltre sul calcolo dei benefici diretti attraverso analisi energetica, a seguito degli interventi di riqualificazione. Al termine del capitolo, viene calcolato il costo di realizzazione degli interventi, tramite costo parametrico di riferimento. Il suo confronto con i benefici diretti e indiretti, permette di stabilire il tempo di ritorno dell'investimento e di conseguenza la sua convenienza economica.

Il lavoro di tesi si conclude con un confronto dei risultati ottenuti dalle analisi tecnico-economiche del quarto capitolo con le strategie di finanziamento continuative analizzate nel primo capitolo, valutando la convenienza delle diverse modalità di intervento.

Attraverso i risultati ottenuti dai tre casi studio selezionati, la ricerca offre un qua-

dro, sull'entità e la fattibilità della riqualificazione energetica dell'intero patrimonio edilizio scolastico torinese.

Edilizia scolastica, un'emergenza

- 1.1 La qualità dell'edilizia scolastica
- 1.2 Dalla ripresa Europea al PNRR
- 1.3 Strategie di finanziamento

La qualità dell'edilizia scolastica

1.1

Fino alla fine Seconda Guerra Mondiale, non vi erano normative specifiche volte a regolamentare la costruzione di nuovi edifici scolastici, le leggi esistenti si concentravano più sull'espansione dell'istruzione obbligatoria che sulla qualità delle strutture scolastiche, lasciando la gestione di tali edifici alle autorità locali, che spesso disponevano di risorse limitate.

Il patrimonio edilizio scolastico italiano, è enorme, disomogeneo e presenta un pessimo stato di conservazione e performance energetiche.

La disomogeneità del patrimonio, si percepisce sia dal punto di vista costruttivo che territoriale. Questo è dettato dal fatto che fino al 1956, le normative tecniche presenti, erano di carattere locale, non esisteva ancora una normativa unica nazionale. Un esempio tra queste sono le : “Norme per la costruzione e l'arredamento degli edifici delle scuole municipali elementari”, emanate a Torino nel 1879. Proprio in questo periodo, il comune inizia un'importante campagna di costruzione di edifici scolastici, affidandosi all'ora nuova Cassa depositi e prestiti, istituita dal governo. Il risultato di tale iniziativa, porta alla nascita di ben diciotto nuovi edifici solo negli ultimi vent'anni dell'Ottocento. Gli edifici scolastici di nuova costruzione, diventano così occasione di sperimentazione per le ultime innovazioni in campo igienico-sanitario come sistemi di ventilazione, gabinetti interni con sistemi a sifoni e docce nei sotterra-

nei.² L'organizzazione scolastica, è però ancora prettamente basata sul principio della trasmissione del sapere da maestro ad allievo, l'obiettivo è quindi posizionare nel minor spazio possibile la maggior quantità di aule per le lezioni, e al loro interno inserire il maggior numero di alunni. Lo spazio viene ottimizzato riducendo tutti gli altri ambienti allo stretto necessario, attribuendoli la sola funzione di offrire un accesso ordinato alle aule.³

Se durante il primo dopoguerra, in Italia, non vi erano stati notevoli cambiamenti nel modo di costruire le scuole, non si può dire lo stesso per il periodo successivo alla seconda guerra mondiale.

L'ingente necessità di ricostruzione degli edifici bombardati, pone inizio a un movimento culturale che dà particolare importanza alla pedagogia e alla sua relazione con le caratteristiche fisiche delle scuole, ridefinendo il modo di progettare gli edifici scolastici. I risultati delle riflessioni, evidenziano la volontà di concepire lo spazio didattico come un unico organismo e non più come un complesso di ambienti funzionali aggregati. Nonostante

2. Museo Torino. *Edilizia scolastica*. <https://www.museotorino.it/view/s/637e44460c51400eabc9aed1a944f4ee>

3. Fondazione Giovanni Agnelli (2020). *Rapporto sull'edilizia scolastica. Le stagioni dell'edilizia scolastica italiana: un tentativo di periodizzazione*, pp. 52-97, p. 55.

queste idee arrivino in Italia tardivamente rispetto agli altri paesi Europei, producono effetti positivi, come la consapevolezza che per uniformare la qualità degli edifici scolastici debba essere regolata da norme e non dal progettista o l'apertura della scuola alla città, aprendo al quartiere alcuni ambienti scolastici al di fuori dell'orario di lezione, rendendoli un tassello importante per la comunità circostante.⁴

A partire dal 1949 e fino alla fine dell'importante boom demografico Italiano, corrispondente a fine anni Settanta, iniziarono a susseguirsi a intervalli regolari, finanziamenti da parte dello Stato a favore delle istituzioni comunali, chiamate ad affrontare con urgenza l'improvviso aumento demografico.

Davanti al nuovo movimento culturale di sperimentazione pedagogica e alla costante sete di aule, il ministero della Pubblica Istruzione, tramite il congresso nazionale per l'edilizia scolastica di Firenze del 1949, darà il via ad un concorso nazionale per la costruzione di scuole. Tale concorso, si configura come la prima

occasione importante di confronto culturale in Italia. Gli architetti risposero con soluzioni particolarmente innovative, ponendo particolare attenzione sul concetto di flessibilità degli spazi. Il nuovo concetto di istruzione, portò nei progetti concorrenti, all'abbandono dello schema a padiglioni monopiano, che aveva caratterizzato le sperimentazioni del primo Novecento, organizzando invece lo spazio in unità di ciclo, ovvero, gruppi di aule raccolte attorno ad uno spazio distributivo comune e collegate ad un blocco di servizi come palestra o mensa.

Nonostante il concorso abbia avuto un riscontro molto positivo, attraverso progetti particolarmente innovativi, tale iniziativa non ebbe grandi conseguenze sulla produzione edilizia nazionale, ma costituisce un importante base per l'evoluzione dell'ambiente scolastico. In tale occasione infatti, venne richiesto ai progettisti di sviluppare le loro proposte, ignorando le allora normative vigenti.

Il successo di tale concorso, portò a ripeterlo anche nel 1952, riscuotendo tra i progettisti un successo ancor maggiore

rispetto a quello precedente. Alla base del concorso vi era sempre la non osservanza delle norme vigenti per la realizzazione dei progetti, ma in tale occasione, l'elemento di principale interesse è certamente la collaborazione che per la prima volta avviene tra architetti e pedagogisti.⁵ La loro collaborazione, pone in primo piano l'utilizzo pedagogico dello spazio, sviluppando le sperimentazioni teoriche di inizio Novecento.

La costante necessità di aule, a causa dell'ingente crescita demografica, richiedeva la rapida costruzione di nuovi edifici scolastici, così, nel 1949 e nel 1954 il parlamento approva due leggi di finanziamento per la costruzione di nuove scuole.⁶ In particolare per la seconda, nonostante i già noti risultati dei due concorsi precedenti, vengono realizzati edifici che non seguono le sperimentazioni dei nuovi sistemi distributivi, favorendo il clientelismo nella distribuzione dei fondi, ottenendo così un'esplosione di costruzioni di bassa qualità, realizzate con il mero fine di garantire agli enti locali i fondi del finanziamento pubblico.⁷

il Centro Studi per l'Edilizia Scolastica, nel quadro del ministero della Pubblica Istruzione. Le sue ricerche, raccolte nei "quaderni", puntano a trovare un modello con il quale eseguire la ricostruzione. Come l'aula, anche il corridoio diventa occasione di ripensamento, ciò è testimoniato nel "quaderno" del 1954: "Sono state studiate soluzioni diverse, tutte dotate di questa caratteristica essenziale e fondamentale: la eliminazione dei corridoi che già per troppo tempo hanno reso la nostra Scuola insopportabilmente simile alla clinica, al carcere e alla caserma; e la loro sostituzione con un elemento centrale, la sala intorno a cui si raccolgono gruppi adeguati di aule".⁸ La ricerca del Centro Studi, è fondamentale al riconoscimento della necessità di un nuovo regolamento per l'edilizia scolastica. Nel 1956, viene così emanato un nuovo regolamento per l'edilizia scolastica (DPR 1° dicembre 1956, n. 1688)⁹, il primo in Europa ad abbandonare l'ormai superata idea di edificio come insieme di locali ma abbracciando al suo posto invece la concezione di organismo. Le Norme tecniche

4. Fondazione Giovanni Agnelli. *Op. cit.*, p. 76.

5. Campobenedetto, D. (2021). L'aula in discussione. L'occasione mancata delle norme per l'edilizia scolastica del 1956. *Atti e rassegna tecnica*, 1, 30-37, p. 32.

6. Fondazione Giovanni Agnelli. *Op. cit.*, p. 76.

7. Campobenedetto, D. *Op. cit.*, p. 34.

8. Ministero della P.I. (1954). Studi e schemi. In *Quaderni del centro studi per l'Edilizia Scolastica*. Firenze. Cit.

9. Fondazione Giovanni Agnelli. *Op. cit.*, pp. 76, 77.



9. Sambonet R. Locandina della XXII Triennale di Milano "La casa e la scuola", 1960

del 1956, costituirono per la prima volta un regolamento unico a livello nazionale,¹⁰ al contrario delle precedenti indicazioni riferite ad ambiti locali o singole esperienze virtuose, che portarono così a passare dal modello della “scuola-caserma”, a quello della “scuola-casa”.¹¹ L’obiettivo del nuovo regolamento era “seppellire l’insegnamento passivo e le scuole a blocco monumentali”¹², puntando a edifici modulari che permettano una futura espansione e a prediligere la realizzazione di scuole più piccole, ma in modo capillare, rispetto ai grandi edifici degli anni Trenta e Quaranta, in modo da poter essere utilizzate dai cittadini che abitano nelle zone limitrofe senza dover percorrere grandi spostamenti. Tale approccio verrà poi ripreso soprattutto per gli edifici scolastici del primo ciclo nella formulazione delle successive normative.¹³ Inoltre, il nuovo DPR, oltre alla definizione di questioni di carattere strutturale degli edifici, mette insieme i primi elementi di una progettazione partecipata, introducendo indicazioni sul percorso da seguire per coinvolgere all’interno del processo

anche studenti, genitori e sindacati.¹⁴ Il regolamento, tratta temi che vanno dalla considerazione della scuola come organismo alla sua organizzazione per parti, in questo contesto, l’aula, passa da elemento principale a essere parte di un sistema complesso di ambienti, parte di un unico progetto educativo. Tuttavia, “le indicazioni normative del 1956, sono ancora formulate in termini descrittivi e prescrittivi e solo con la successiva elaborazione del 1975 si arriverà a una formulazione di carattere esigenziale.”¹⁵ La XII Triennale di Milano del 1960, dedicata al tema “La casa e la scuola”, porta in luce nuovamente il tema della scuola, a causa della difficoltà nel processo di applicazione delle norme tecniche pubblicate quattro anni prima. A seguito della Triennale, nasce un nuovo concorso per la costruzione di tre scuole a Genova, Milano e Rovigo, in cui i partecipanti non riusciranno ad applicare le sperimentazioni presentate nella mostra. L’architetto Ciro Cicconcelli, scrive sulla rivista “Casabella” il suo scetticismo rispetto a questo nuovo concorso, attraverso la pubblica-

zione di una serie di immagini relative a scuole di bassissima qualità, evidenziando come nonostante i concorsi del 1949 e del 1952, sul quale si basano le norme del 1956, a pochi anni di distanza, si sia costretti a promuovere un ulteriore concorso in deroga della norme esistenti.¹⁶ Nonostante le ormai numerose occasioni di sperimentazione pedagogica e nonostante le norme del 1956 rappresentino un regolamento avanzato nel contesto europeo, non produrranno risultati positivi sulla didattica a causa della loro rigidità e l’assenza di misure di accompagnamento. Proprio per l’assenza di misure di accompagnamento adeguate, ovvero una formazione dei docenti e l’aggiornamento dei programmi didattici, anche le poche scuole costruite secondo le norme, non saranno sfruttate secondo il loro potenziale di progetto, finendo “per essere “la superata “scuola-caserma” di inizio Novecento, con l’aggiunta di un “salotto buono” da utilizzare solo in occasione di feste organizzate e non come parte di un unico organismo.”¹⁷ La triennale del 1960, pone al centro del

dibattito anche l’obiettivo di portare nuove scuole sull’intero territorio nazionale, velocizzando il processo tramite la ricerca di soluzioni costruttive ripetibili. L’inizio di questa nuova stagione è sancito dalla legge n° 1859 del 1962, dove il tema della scuola media unica, apre la possibilità a sperimentazioni su larga scala nella costruzione di nuovi edifici. Queste saranno però demandate alle iniziative dei singoli comuni, ottenendo così scarsi risultati di coordinamento nazionale, lasciando al di fuori di tali sperimentazioni alcune aree del paese, primi tra tutti il Sud Italia e le aree interne.¹⁸ All’urgente bisogno di aule, risponde una rapida edificazione, a cui conseguono disomogeneità nelle tecniche costruttive e nella qualità dei materiali, che provocano un precoce deterioramento degli edifici. Per velocizzare il processo di costruzione, con la circolare n. 5112 del 6 maggio 1965, sono state introdotte direttive che aprono la possibilità di realizzare edifici scolastici, ammessi al contributo statale, anche con il sistema della prefabbricazione. L’obiettivo era quello di ridurre i

10. Checchi, P. (2010). Di tutti i tipi. In P. Checchi, P. Meringolo & C. Marcelli, *La scuola e la città* (pp. 19-32). Firenze: Polistampa, p. 26.

11. Fondazione Giovanni Agnelli. *Op. cit.*, p. 77.

12. Leschiutta, F. E. Linee evolutive dell’edilizia scolastica, *Cit.* p. 23

13. Campobenedetto, D. *Op. cit.*, pp. 33, 34.

14. Fondazione Giovanni Agnelli. *Op. cit.*, p. 77.

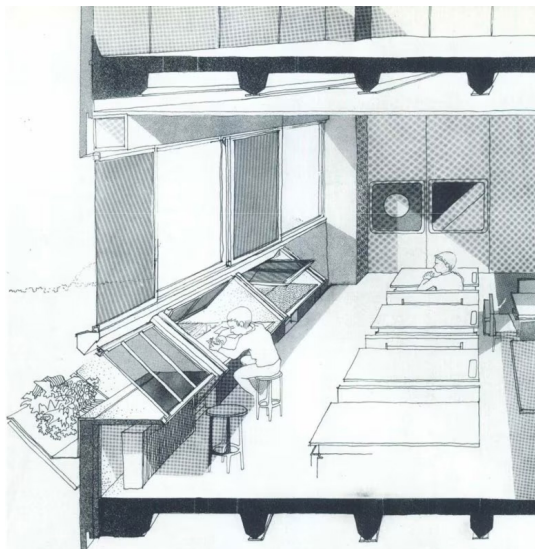
15. Campobenedetto, D. *Op. cit.*, Cit. p. 34.

16. Campobenedetto, D. *Op. cit.*, p. 34.

17. *Ibid.*, Cit. p. 34.

18. Fondazione Giovanni Agnelli. *Op. cit.*, p. 82.

10. "finestra abitabile" sperimentazioni pedagogiche
Maurizio Sacripanti; Scuola elementare Feal, Molfetta (Bari), Da Domus 486, 1970



tempi di costruzione, permettendo inoltre futuri ampliamenti in base all'andamento della domanda. La mancanza di una normativa inerente alla regolamentazione di proprietà e qualità dei materiali da costruzione, porterà come risultato, l'ennesima realizzazione di edifici con materiali di bassissima qualità, non ancora sperimentati in modo adeguato, che porteranno all'insorgenza di numerosi problemi all'edificio.

Sulla base delle norme del 1956, nel 1970, vengono promulgate le nuove Norme Tecniche, che rimangono sospese fino al 1975 (DM 18 dicembre 1975), con la finalità di regolare i materiali, gli spazi educativi e i relativi servizi annessi. Nello specifico, forniscono criteri, requisiti, e dispositivi per la realizzazione di nuovi edifici scolastici, fornendo condizioni e parametri per localizzazione e dimensione degli edifici, l'individuazione delle aree edificabili e la loro ampiezza. Tali norme, avranno quindi un impatto importante sulla morfologia degli edifici costruiti a seguito della loro approvazione.

Nello stesso periodo a causa della crisi

energetica degli anni Settanta, tramite le "Norme per il contenimento del consumo energetico per gli usi termici negli edifici" in ambito di edilizia scolastica e tramite il successivo decreto attuativo n. 1052 del 1977, vengono forniti i nuovi requisiti di isolamento termico degli edifici e degli impianti termici di riscaldamento e produzione di acqua calda.¹⁹ Tale normativa, rappresenta la prima occasione in cui al centro della discussione, viene affrontato il problema del consumo energetico degli edifici, fornendo i primi vincoli da rispettare per il suo contenimento.

La fine degli anni Settanta, vede per la prima volta l'arresto della curva demografica, che per anni era stata in costante aumento, portando con se anche una drastica riduzione della costruzione di nuovi edifici scolastici. Così, all'alba delle nuove leggi, in termini di contenimento dei consumi energetici, con la maggior parte del patrimonio edilizio scolastico attuale già edificato, gran parte di questo si rivela, già per gli standard dell'epoca, inadeguato, producendo così uno scollamento tra la realtà edilizia del paese e le



11. Il Comune di Torino fa costruire delle scuole prefabbricate, Torino, 1962.

sempre più alte prestazioni energetiche richieste agli edifici. Gli anni Ottanta, a seguito di incendi a edifici pubblici, come il cinema Statuto di Torino, nel (1983) aprono le porte a una nuova decennio e quello successivo diventeranno protagonisti della corsa all'adeguamento, con la comparsa di scale antincendio nei cortili e porte tagliafuoco nei corridoi delle scuole, progettati e inseriti come fossero opere provvisorie. Questo, porterà così a interrompere quel dialogo che per anni è stato al centro di esperimenti tra architettura e pedagogia.²⁰

A partire dagli anni Novanta, l'efficienza energetica degli edifici, diventa tema chiave delle nuove normative susseguite durante gli anni a venire. La più importante tra queste, la direttiva Europea EPBD (Energy Performance of Building Directive), del 2010, introduce per la prima volta la definizione di edificio nZeb ossia "edificio a energia quasi zero". La direttiva EPBD rappresenta la principale politica comunitaria in materia di prestazione energetica degli edifici ed è stata recepita in Italia con la legge n. 90/2013.

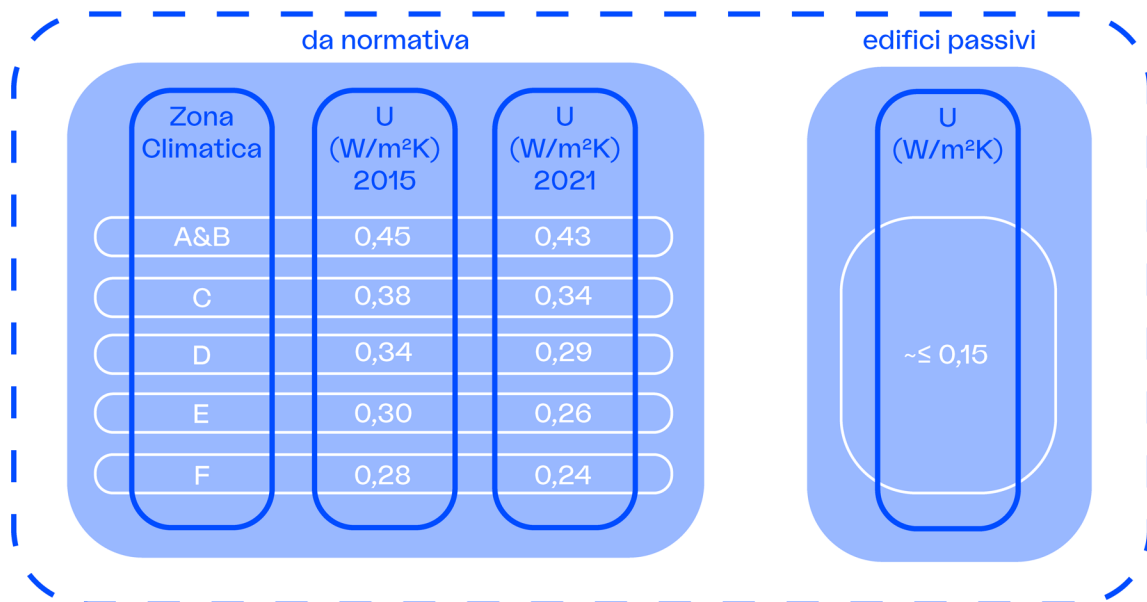
20. Ibid.

A seguito di tale introduzione, attraverso il Decreto Ministeriale 26 giugno 2015, sono stati definiti i "Requisiti Minimi" di un "edificio a energia quasi zero". A partire dal 31 dicembre 2018, la normativa, stabilisce che gli edifici di nuova costruzione occupati da pubbliche amministrazioni, compresi gli edifici scolastici, debbano essere edifici nZeb. L'approccio nZeb è fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile e per la lotta contro i cambiamenti climatici. Questo significa riqualificare gli edifici esistenti, riducendo così a seguito di un investimento, oltre alle emissioni, i costi di gestione, primi tra tutti riscaldamento e illuminazione. L'obiettivo europeo al 2050, inoltre, è un parco de-carbonizzato in cui tutti gli edifici dovrebbero essere a energia zero.

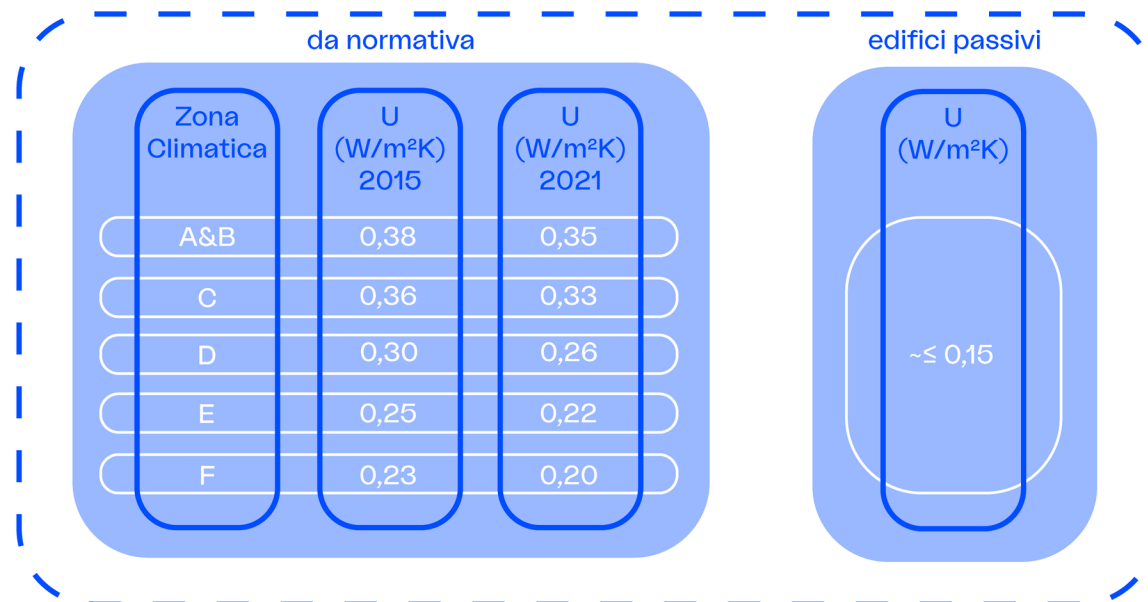
A valle di tutti questi ambiziosi obiettivi, il patrimonio edilizio scolastico Italiano, non ha ancora subito importanti provvedimenti che ne abbiano migliorato la sua qualità, continuando a farsi carico di pesanti eredità del passato.

19. Fondazione Giovanni Agnelli.
Op. cit., p. 90.

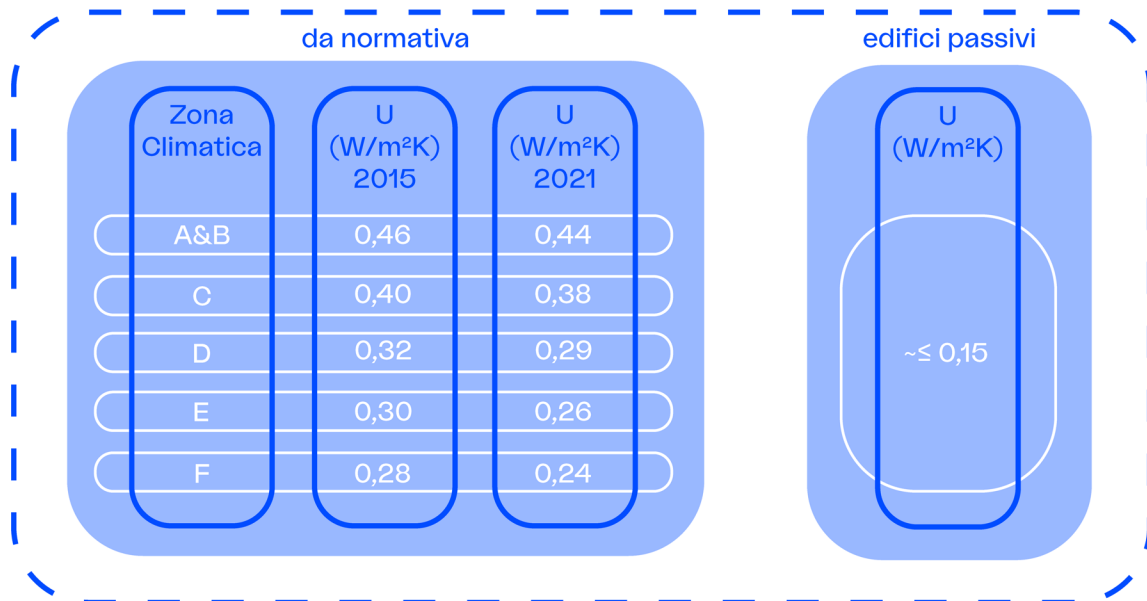
Trasmittanza termica delle **strutture opache verticali**, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra



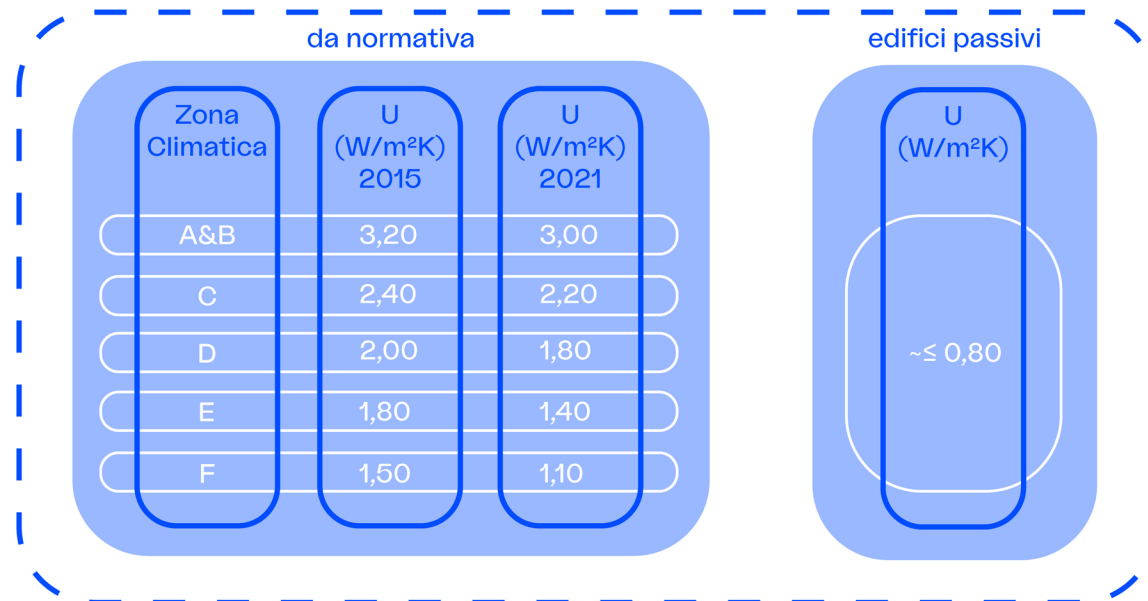
Trasmittanza termica delle **strutture opache orizzontali o inclinate di copertura**, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati



Trasmittanza termica delle **strutture opache orizzontali di pavimento**, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati o contro terra



Trasmittanza termica delle **chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti**, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati



Evoluzione dei valori di trasmittanza termica minimi da normativa a confronto

Dalla ripresa Europea al PNRR

1.2

In Italia, durante gli anni Ottanta e Novanta vi è una drastica riduzione dell'interesse e dell'argomento scuola, le esperienze, si frammentano in sperimentalismi diffusi, di cui pochi di buona qualità. Questo è dovuto a due fattori principali, la diminuzione delle nascite, con la conseguente riduzione di studenti e la riduzione degli investimenti da parte dello stato in questo settore.

Non si può dire lo stesso per altri paesi europei, in cui con l'arrivo del nuovo millennio sorgono grandi programmi di rimodernamento o ampliamento del patrimonio edilizio scolastico.

Esempio di questa espansione è Vienna, in cui a cavallo tra i due secoli, anche grazie alla spinta della forte immigrazione, viene commissionata la costruzione di ben 40 nuovi edifici scolastici.

In Inghilterra, la ripresa avviene attraverso il programma "Building Schools for the Future", ambizioso programma di riqualificazione dell'intero patrimonio edilizio scolastico inglese. L'attenzione è rivolta all'organizzazione degli spazi interni e al risparmio energetico, inteso come parte

integrante del progetto, non aggiunto in un secondo momento.²¹

Building for the Future, può essere considerato come una terza ondata di costruzione e rinnovamento degli edifici scolastici Inglesi.

L'iniziativa è stata lanciata nel 2003, con l'obiettivo di rinnovare l'intero patrimonio delle scuole secondarie Inglesi. Gli edifici scolastici interessati, 3500, sono stati per la metà demoliti e ricostruiti, per il 35% rimodellati strutturalmente e per la restante parte ristrutturati. L'arco temporale previsto per raggiungimento degli obiettivi era quindici anni, dal 2005 al 2020. Oltre a questo programma, il sistema Inglese, ha istituito altri progetti come la riqualificazione delle scuole primarie, accorpato in seguito, nel 2006 al progetto Bsf. Per coordinare un programma così ambizioso, è stato creato un ente con lo scopo di gestire e coordinare l'intero programma, mentre gli enti locali si occupavano di commissionare e gestire le scuole.

La vera particolarità di questo piano di azione, è stato lavorare per modelli e non

21. Checchi, P. (2010). Di tutti i tipi. In P. Checchi, P. Meringolo & C. Marcetti, *La scuola e la città* (pp. 19-32). Firenze: Polistampa, p. 30.

per tipologie. All'avvio, infatti, l'iniziativa consistette nell'assegnare a undici studi di architettura la redazione di progetti esemplari per situazioni ipotetiche ricorrenti. L'obiettivo era utilizzare questi progetti come riferimento per i progettisti, che tramite questi riferimenti avrebbero sviluppato nella realtà i vari interventi di riqualificazione.²² Il progetto, ha avuto però un esito negativo. Nel 2010 erano state rinnovate 178 scuole e 250 edifici si trovavano in fase di costruzione. Nonostante ciò, nello stesso anno, il ministro per l'istruzione Michael Gove ha bocciato Bsf, in quanto caratterizzato da "spese eccessive, tragici ritardi, progetti non accurati e burocrazia inutile". L'anno seguente viene lanciato un nuovo programma, Priority School Building Programme (Psbp), con l'obiettivo di riqualificare 261 scuole che necessitavano di interventi urgenti. Per rendere il lavoro più efficiente, sono stati stabiliti nuovi criteri di progettazione, i progetti per i nuovi edifici, sarebbero dovuti nascere sulla base di una serie di templates, ovvero format architettonici predefiniti, per la

22. Righetti, F. (2010). BSF, Building Schools for the Future. In P. Checchi, P. Meringolo & C. Marretti, *La scuola e la città* (pp. 45-53). Firenze: Polistampa, pp. 45-46.

maggior parte standardizzati e facilmente replicabili. Questo mirava velocizzare il processo e al contempo ridurre i costi di progettazione, a scapito però di una variabilità dei risultati ridotta, evitando il rischio di creare "costose esuberanze architettoniche". Tale programma, ha permesso di abbattere i costi di un terzo rispetto a quello precedente. Nel 2015 è stata annunciata una seconda fase del programma, volta a riqualificare 277 scuole, con fine nel 2021.

Sulla linea dell'Inghilterra, anche in Victoria, Australia, l'iniziativa Building Futures, nata nel 2004, con l'obiettivo di migliorare le condizioni di apprendimento degli studenti, nel 2009 riceve un cambiamento di rotta. Tramite il piano Building the Education Revolution, viene introdotto l'uso di templates, in modo da avere una progettazione standardizzata.

È di particolare interesse il fatto che in entrambi i paesi, a seguito di un inizio con forte differenziazione, ci si è spostati verso una gestione dei programmi centralizzata e l'utilizzo di templates e standardizzazioni. A pesare su questa scelta,

23. Fondazione Giovanni Agnelli (2020). Rapporto sull'edilizia scolastica. *Rinnovare gli ambienti di apprendimento: modelli, processi, criticità*, pp. 144-183, pp. 152-153.

sono stati il vincolo economico in primis e a seguire tempi di realizzazione degli interventi troppo estesi.²³

12. Bristol Metropolitan College, Bristol, England. Costruita con il BSF programme nel 2009.



13. Northfleet Technology College, Gravesend, England. Costruita con il BSF programme nel 2010.

Negli ultimi anni, a causa dei tragici eventi avvenuti nella scuola primaria di San Giuliano in Puglia nel 2002 e nel liceo scientifico Darwin di Rivoli nel 2008, l'attenzione pubblica relativa alla necessità di intervenire sugli edifici scolastici per migliorarne la sicurezza è aumentata. Questo, ha fatto sì che venissero prese nuove iniziative in campo scolastico, in particolare, durante il governo Renzi, nel 2014 sono stati avviati quattro programmi relativi alle scuole per un totale di 3,7 miliardi di euro: Scuolesicure, Scuolebelle, Scuolenuove e Scuoleinnovative, con l'obiettivo di mettere in sicurezza, risistemare gli istituti esistenti e progettare nuove scuole. Purtroppo però, il programma non è arrivato a termine, ma si è interrotto appena dopo il concorso di idee. I finanziamenti continuarono con i governi successivi, a luglio 2017 il governo Gentiloni stanziò 2,5 miliardi di euro per il triennio 2018-20. Il successivo governo M5S e Lega, non pone il tema delle scuole al primo piano, bisognerà aspettare il governo Conte II che nel 2020 propone di inserire 3 miliar-

di e 450 mila euro in 15 anni a favore delle scuole per interventi di efficientamento energetico nelle scuole superiori in gestione.²⁴

A seguito della pandemia, i paesi Europei hanno subito un forte rallentamento delle loro economie. Per far fronte a tale crisi, l'Unione Europea ha preparato un nuovo strumento finanziario, la Recovery and resilience facility, per supportare la ripresa negli Stati membri.

Con 194,4 su 750 miliardi di euro, l'Italia è il paese che ha ricevuto lo stanziamento maggiore.

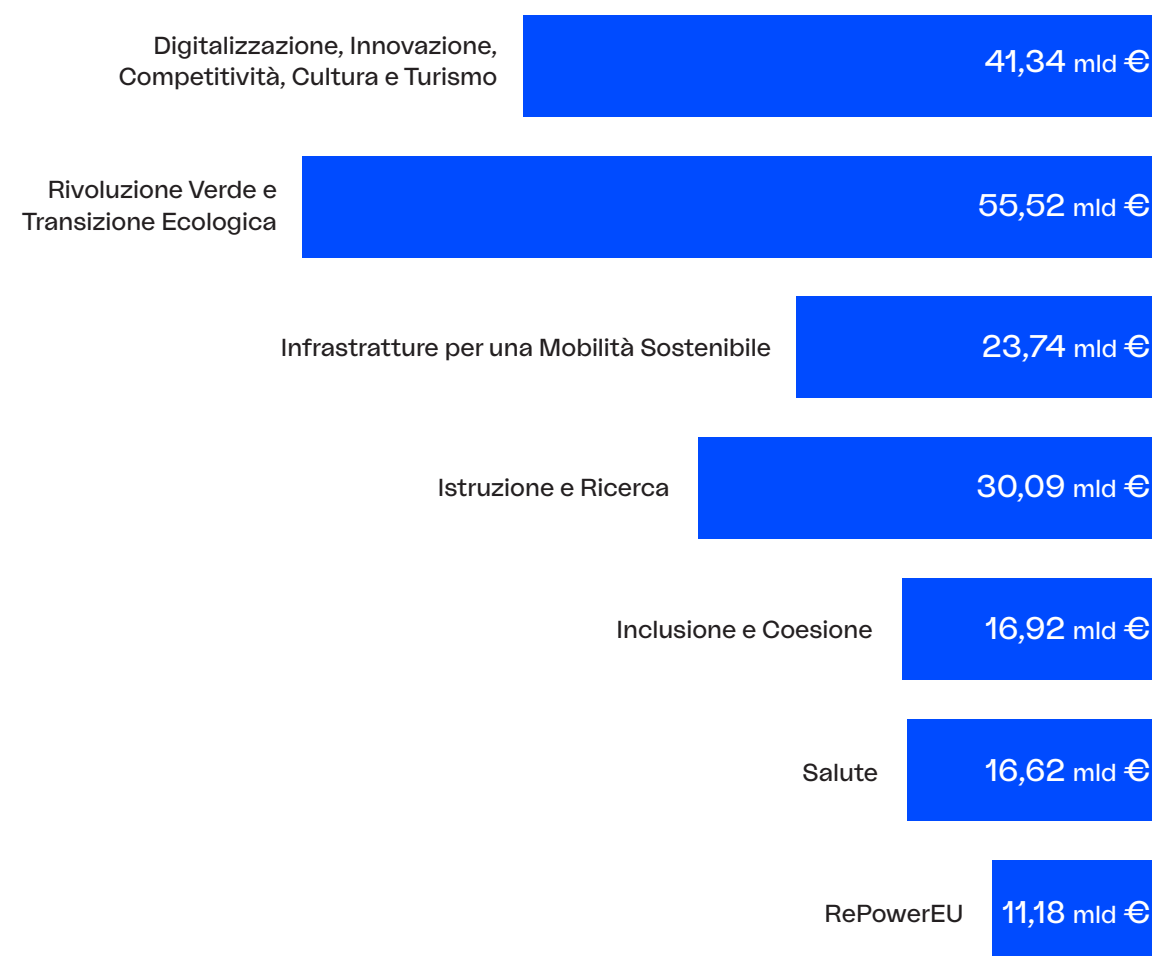
Il PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza), approvato il 13 luglio 2021, ha cadenza semestrale per il raggiungimento degli obiettivi e la conseguente erogazione delle risorse. Il periodo utile per ricevere i fondi va dal secondo semestre 2021 fino al 31 dicembre 2026.

Le missioni del piano, inizialmente sei e poi diventate sette tramite la modifica di dicembre 2023, sono destinate in buona parte all'Istruzione e ricerca, ovvero la quarta missione.²⁵

Il PNRR rappresenta un'occasione uni-

24. Fondazione Giovanni Agnelli (2020). Rapporto sull'edilizia scolastica. *Rinnovare gli ambienti di apprendimento: modelli, processi, criticità*, pp. 144-183, p. 152.

25. Camera dei Deputati. *Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. <https://temi.camera.it/leg19/pnrr.html>



Elaborazione grafica su base dei dati pubblicati sul portale governativo dedicato al PNRR "italiadomani.gov.it"

ca e senza precedenti per il sofferente sistema scolastico Italiano, che mira a migliorare le infrastrutture scolastiche e potenziare le competenze di studenti e docenti.

Nonostante l'importante sforzo, gli investimenti previsti dal piano, non bastano e rischiano di essere un'occasione sprecata. Infatti, evidenzia la Fondazione Agnelli, che a fine del primo semestre 2024, le risorse realmente spese per le misure del PNRR Scuola, sono solo il 16,8% rispetto al 22,1% delle altre missioni.²⁶ La situazione risulta essere abbastanza preoccupante se si considera che il totale degli investimenti PNRR deve essere concluso e rendicontato entro il 2026, mancano quindi solo due anni per progettare e realizzare gli interventi per la scuola italiana. È chiaro quindi che vi siano notevoli difficoltà nella gestione e nell'utilizzo di questi fondi. Le autorità centrali e locali, hanno segnalato difficoltà soprattutto dal punto di vista burocratico, in quanto le risorse vengono assegnate attraverso bandi molto complessi, mettendo in difficoltà soprattutto dal punto di vista bu-

rocratico, in quanto le risorse vengono assegnate attraverso bandi molto complessi, mettendo in difficoltà i vari Comuni, non preparati a queste nuove procedure.²⁷

Inoltre, gli istituti, a causa dei tempi strettissimi, faticano a gestire progetti complessi e grandi risorse, finendo così per utilizzare i fondi prettamente in device, non sempre necessari, quando gran parte degli edifici dell'obsoleto patrimonio edilizio scolastico è caratterizzato da muri cadenti, porte e infissi malridotti, servizi igienici mal funzionanti e una condizione generale fatiscente e poco dignitosa.²⁸

Il numero delle nuove scuole previste è altalenante, partendo da una previsione di 195 scuole si è arrivati successivamente grazie a un aumento dei fondi a 216 edifici.²⁹

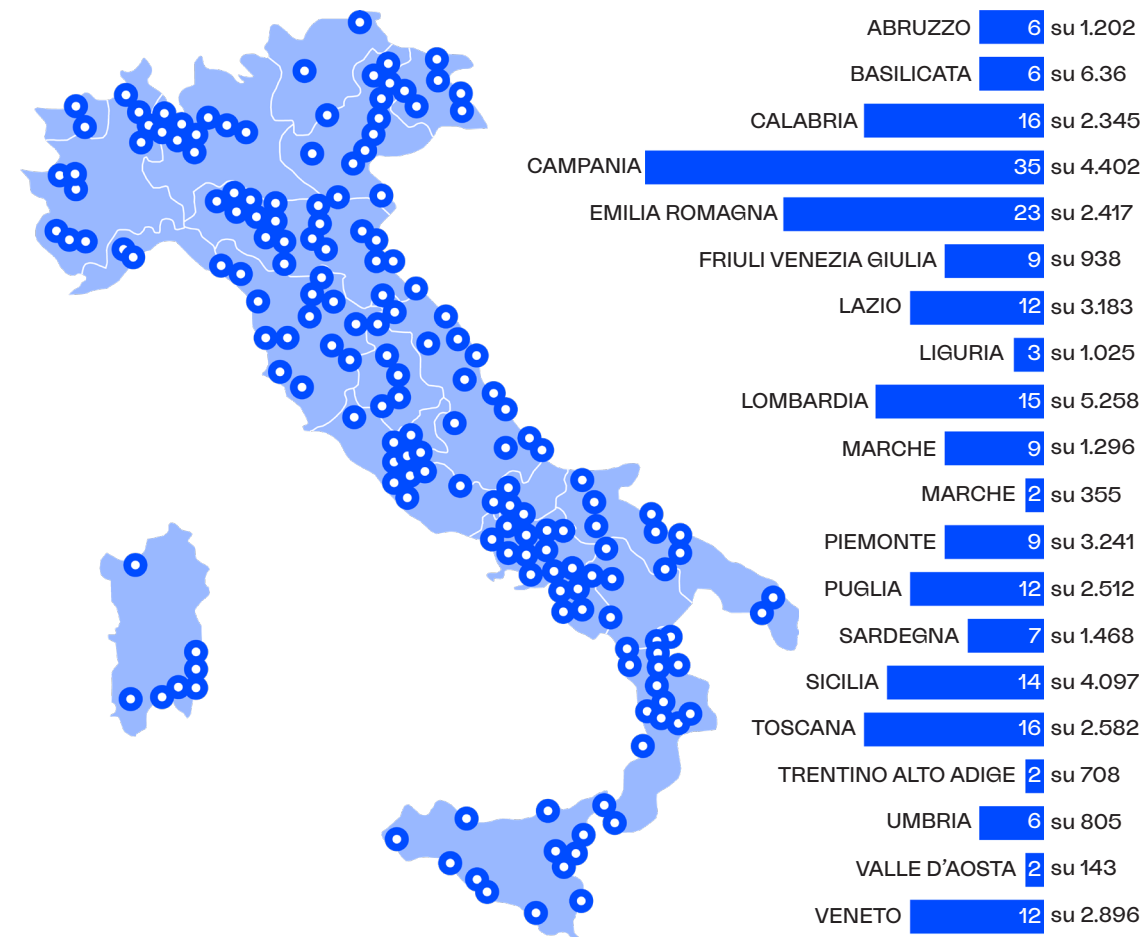
I rincari dei prezzi hanno portato a una rimodulazione del numero di edifici, ridotti attualmente a 166, nonostante risultino aggiudicate 201 scuole. All'inizio del secondo semestre del 2024, l'esecuzione dei lavori è iniziata per 158 scuole.³⁰ In Italia, risultano attivi circa 40.000 edifi-

ci, con un'età media di 52 anni e i due terzi risalgono a più di quarant'anni fa. Attualmente, gli interventi pianificati dal PNRR costituiscono la riqualificazione dello 0,5% del patrimonio edilizio scolastico nazionale.

È chiaro che tale numero non è minimamente sufficiente ne a raggiungere gli obiettivi dell' Agenda 2030 in merito all'efficienza energetica degli edifici, ne a offrire un ambiente di apprendimento adeguato per gli 8.000.000 milioni di stu-

denti Italiani e ne a colmare le disuguaglianze tra nord e sud.

Elaborazione grafica su base dei dati pubblicati sul portale governativo dedicato al Ministero dell'Istruzione e del Merito "miur.gov.it"



26. Fondazione Giovanni Agnelli & Astrid (2024). Il PNRR per scuola e università: a che punto siamo?. *PNRR istruzione - Investimenti*, pp. 5-14, p. 8.

27. Agenda Digitale. *Il PNRR Scuola non decolla: ritardi e tagli che pesano sull'attuazione*. <https://www.agendadigitale.eu/scuola-digitale/il-pnrr-scuola-non-decolla-ritardi-e-tagli-che-pesa->

28. La Nuova Bussola Quotidiana. *Pnrr senza sussidiarietà a scuola: soldi troppi e mal spesi*. <https://lanuovabq.it/it/pnrr-senza-sussidiarieta-a-scuola-sol->

29. Ministero dell'Istruzione e del Merito. *Pubblicate le graduatorie delle aree dove saranno costruite le 216 scuole previste dal PNRR*. <https://www.miur.gov.it/-/pubblicate-le-graduatorie-delle-aree-dove-saranno-costruite-le-216-scuole-previste-dal-pnrr-aumentati-i-fon->

30. Fondazione Giovanni Agnelli/Astrid Op. cit. p. 17

Strategie di finanziamento

1.3

Dato che il PNRR, non è sufficiente a coprire un numero di riqualificazioni energetiche degli edifici scolastici accettabili, e le scuole italiane sono in ritardo cronico sulla riqualificazione edilizia, è bene già ora pianificare delle strategie di azione da mettere in atto al termine di tale incentivo, in modo da non perdere tempo. Le scuole del primo ciclo, sono responsabilità dei Comuni, che non dispongono di fondi nemmeno per l'acquisto di beni primari, figuriamoci per la riqualificazione dell'intero patrimonio edilizio scolastico. Esistono strategie di finanziamento continuative, che permettono ai comuni di poter svolgere i lavori di riqualificazione energetica dilazionandoli nel tempo. Per raggiungere tale obiettivo, è necessario un importante lavoro di pianificazione, al fine di utilizzare nel modo migliore possibile i fondi e le strategie a disposizione, puntando a riqualificare nel minor tempo possibile, l'intero patrimonio edilizio Italiano.

PARTENARIATO PUBBLICO-PRIVATO

Il partenariato pubblico-privato (PPP) è

una forma di cooperazione tra soggetti pubblici e soggetti privati, con l'obiettivo di finanziare, costruire e gestire infrastrutture o fornire servizi di interesse pubblico.³¹

Gli elementi caratterizzanti di un contratto di Partenariato Pubblico-Privato sono:

- La **partecipazione** attiva del settore privato in tutte le fasi della realizzazione dell'infrastruttura e dell'erogazione dei relativi servizi;
- la **durata del contratto**, di lungo periodo, determinata in funzione dell'ammortamento dell'investimento o delle modalità di finanziamento;
- il **finanziamento** a carico del privato per una quota significativa;
- l'**allocazione dei rischi**, che prevede il trasferimento in capo al privato dei rischi sui quali ha il controllo diretto e in particolare del rischio operativo. Nel contratto e nei relativi allegati sono disciplinati anche i rischi, che incideranno sui corrispettivi, non imputabili all'operatore economico, identificando il soggetto più idoneo a sopportarne gli effetti e in funzione dell'ottimizzazione della loro gestione;

31. Ragioneria Generale dello Stato. *Partenariato Pubblico Privato*. https://www.rgs.mef.gov.it/VERSIONE-I/attivita_istituzionali/attivit_trasversali/ppp/

- **l'equilibrio economico-finanziario**, dato dalla coesistenza di convenienza economica (capacità di creare valore nell'arco dell'efficacia del contratto e di generare un livello di redditività adeguato al capitale investito) e di sostenibilità finanziaria (capacità del progetto di generare dei flussi monetari sufficienti a garantire il rimborso dei finanziamenti). Nei casi in cui il progetto non generi flussi di cassa sufficienti, l'equilibrio economico-finanziario è raggiunto con il ricorso alla contribuzione pubblica.³²

Enti pubblici come comuni o aziende sanitarie affidano al privato la gestione completa degli impianti di riscaldamento/raffreddamento, ad un canone uguale o inferiore alla spesa storica sostenuta per il medesimo servizio. Il privato effettua a proprio carico tutti gli interventi di efficientamento che garantiscono consumi minori e quindi minori costi. La differenza tra canone percepito e costi di gestione successivi all'efficientamento rappresenta il ritorno dell'investimento. La più classica delle soluzioni win-win: il privato ha interesse a realizzare al meglio

i lavori per avere un margine di guadagno più alto, il pubblico beneficia dei miglioramenti. Perché ciò avvenga, è necessario che il ritorno economico sia il più veloce possibile, in modo da rendere l'investimento appetibile per il privato.

All'interno dei PPP svolgono un ruolo fondamentale le ESCO (Energy Service Company), esse coprono l'investimento iniziale e recuperano i costi dai risparmi energetici conseguiti nel tempo.

Per agevolare le Pubbliche amministrazioni nella predisposizione di contratti di efficientamento energetico secondo lo schema del partenariato pubblico-privato, il Ministero dell'economia e delle finanze, ANAC ed ENEA hanno approvato il 17/10/2024 il contratto-tipo di prestazione energetica come guida per la PA.³³

GREEN BOND

Le "obbligazioni verdi", o Green Bond, nascono nel 2007 e arrivano in Italia nel 2014. Sono obbligazioni come tutte le altre, la cui emissione è legata a progetti che hanno un impatto positivo per l'ambiente, come l'efficienza energetica, la produzione di energia da fonti pulite o

l'uso sostenibile dei terreni. Negli ultimi anni, hanno conosciuto un tasso di crescita incredibile, segno dell'attenzione che società pubbliche e private, ma anche piccoli e grandi investitori, manifestano rispetto a temi sensibili e sempre più spesso all'ordine del giorno. Nel 2021 si sono registrati 523 miliardi di dollari di emissioni di Green bond, il 75% in più rispetto al volume raggiunto nel 2020. Lo Stato italiano, seppur con ritardo rispetto agli altri paesi europei, ha emesso a marzo 2021 il suo primo Btp green con scadenza nel 2045. Il Btp ha ottenuto un notevole successo, con richieste di dieci volte superiori all'offerta. Un nuovo Btp green con scadenza nel 2035 è stato così collocato nel settembre 2022.

Inizialmente le nuove obbligazioni provenivano principalmente da istituzioni finanziarie sovranazionali, come la Banca mondiale o la Banca Europea per gli Investimenti, poi sul mercato sono arrivati anche titoli emessi da singole aziende, municipalità e agenzie statali, che li emettono a supporto dei loro progetti di transizione ecologica.³⁴

I comuni, quindi, specie quelli più grandi, possono emettere Green Bond per finanziare progetti di riqualificazione con finalità ambientali, come la riqualificazione energetica.

CONTO TERMICO

È un incentivo statale italiano erogato dal GSE, Gestore dei Servizi Elettrici, che supporta interventi di efficientamento energetico e produzione di energia da fonti rinnovabili in edifici pubblici e privati. Il Conto Termico, mette a disposizione 200 milioni di euro ogni anno per le amministrazioni pubbliche. È pertanto un'agevolazione non soggetta a scadenza, non prevede una detrazione fiscale ma un contributo a fondo perduto.³⁵

Tutti gli enti pubblici possono richiedere il Conto Termico, per riqualificare edifici dei quali siano proprietari o utilizzatori.

L'incentivo è erogato a chi sostiene le spese degli interventi. Le PA possono stipulare un contratto di prestazione energetica (EPC) con una ESCO. La ESCO titolare del contratto può accedere al Conto Termico per conto dell'ente e utilizzare gli

32. Dipartimento per la programmazione e il coordinamento della politica economica. *Partenariato Pubblico Privato e Finanza di Progetto*. <https://www.programmazioneeconomica.gov.it/it/il-dipe-in-tema-di-partenariato-pubblico-privato/partenariato-pubblico-privato/partenariato-pubblico-privato-e-finanza-di-progetto/>

33. Corriere Della Sera. *Partenariato pubblico-privato (Ppp): L'alleanza per salvare l'ambiente*. <https://studio.corriere.it/rekeep-sa2-partenariato-pubblico-privato/>

34. etica sgr. *Green bond: che cosa sono e come funzionano le "obbligazioni verdi"*. <https://www.eticasgr.com/storie/approfondimenti/green-bond-cosa-sono-come-funzionano>

35. BibLus. *Dal Conto Termico 2.0 (2024) al Conto Termico 3.0 (2025)*, 23 ottobre 2024. <https://biblus.acca.it/conto-termico-come-funziona/>

incentivi per realizzare gli interventi di efficienza indicati nel contratto.

Il Conto Termico finanzia fino al 65% delle spese sostenute per gli interventi di riqualificazione dell'involucro e degli impianti degli edifici finalizzati all'incremento dell'efficienza energetica e alla produzione di energia termica da fonti rinnovabili. Per scuole e strutture sanitarie, l'incentivo può arrivare a coprire fino al 100% dei costi sostenuti per l'efficienza, con un contributo fino a un massimo di 575 euro al metro quadro.

A valle della realizzazione degli interventi, il meccanismo copre inoltre il 100% dei costi della diagnosi energetica e dell'attestato di prestazione energetica (APE) effettuati, dove richiesto dalla procedura, sugli edifici di proprietà pubblica. Il meccanismo del Conto Termico è cumulabile con qualsiasi altra forma di finanziamento, se non stabilito diversamente dagli altri contributi, a patto che la loro somma non superi il 100 % del costo totale degli interventi.

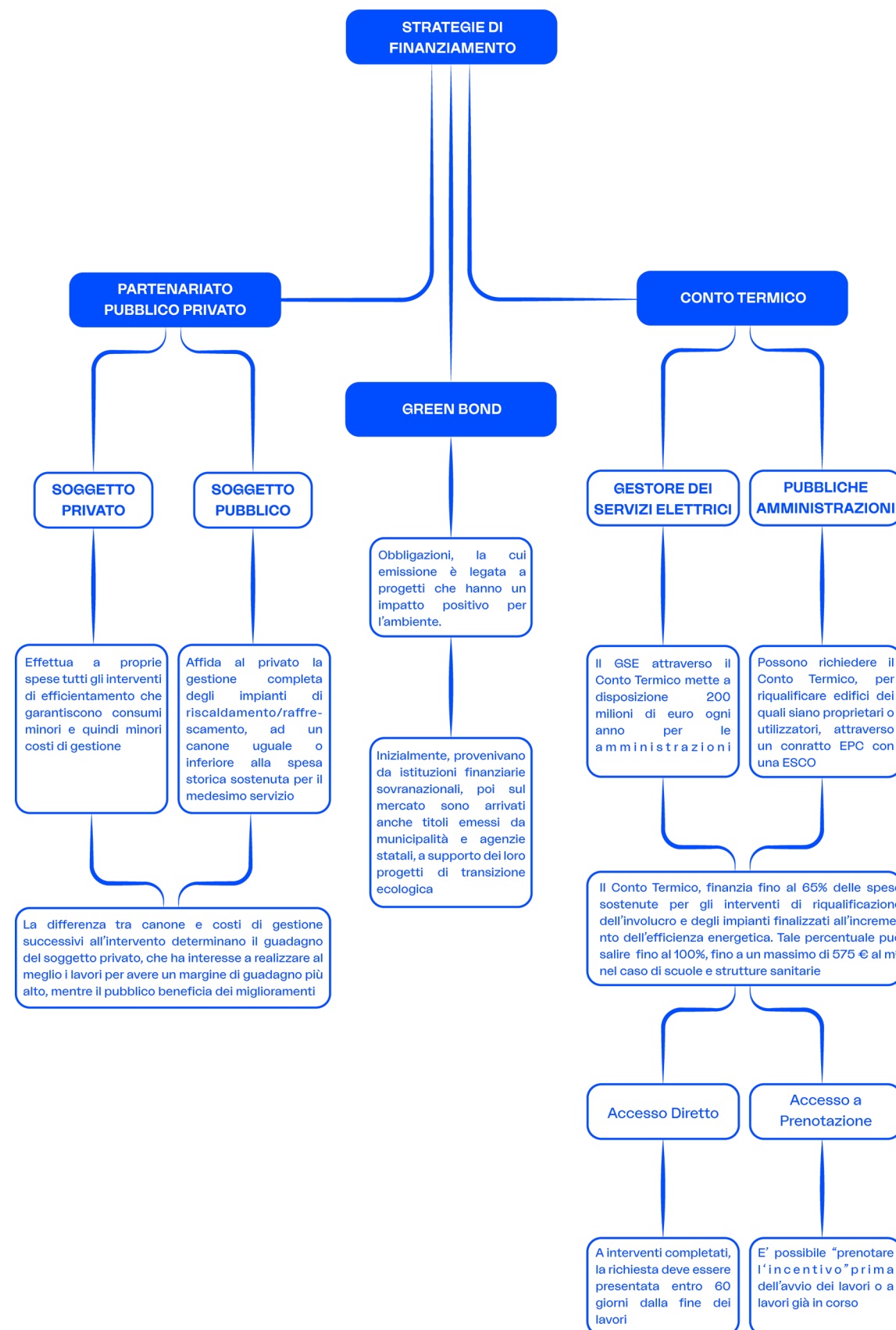
Si può accedere all'incentivo per:

- Accesso diretto, a interventi completati,

la richiesta deve essere presentata entro 60 giorni dalla fine dei lavori e l'incentivo, a prescindere dall'importo, viene erogato in un'unica soluzione entro 3 mesi dalla sottoscrizione del contratto con il GSE

- Accesso a prenotazione, per "prenotare l'incentivo" prima dell'avvio dei lavori o a lavori già in corso, un ente pubblico ha 3 diverse opzioni, ovvero: prenotazione con diagnosi e "atto formale di impegno"; prenotazione con contratto di prestazione energetica e prenotazione all'assegnazione dei lavori.³⁶

36. GSE. *CONTO TERMICO; NUOVA ENERGIA PER LA PA*. <https://www.gse.it/servizi-per-te/efficienza-energetica/conto-termico/conto-termico-per-la-pa>



Le ricadute sulla salute

2.1

2.2

E se non agiamo?

Quantificazione dei vantaggi

E se non agiamo?

2.1

Edifici scolastici vetusti e obsoleti, aule sovraffollate, temperature estreme. Infiltrazioni d'acqua, bollette salate, scarso riscaldamento e perdite di calore d'inverno, caldo estremo d'estate, infissi di cinquant'anni or sono. Un quadro che rappresenta non solo una sfida educativa, ma anche una minaccia per la salute di studenti e insegnanti.

Il 75% degli edifici scolastici in Italia è classificato tra le classi energetiche E e G; il 42% presenta tracce di umidità e il 33% soffre di infiltrazioni d'acqua.³⁷ L'impatto di tale ritratto è variegato e ha effetti molto negativi oltre che sui consumi energetici anche sul comfort e sulla salute degli studenti. L'ambiente costruito influisce sulla nostra salute attraverso una serie di fattori, tra cui: ventilazione inadeguata, scarsa qualità dell'aria interna, contaminanti chimici da fonti interne o esterne, facendoci sentire troppo freddo o troppo caldo, rumore del traffico o scarsa illuminazione.³⁸ La riqualificazione energetica dell'edilizia scolastica, non permette di ottenere solo vantaggi a livello di riduzione dei consumi energetici, ma porta con sé anche una serie di benefici indiretti, che devono essere presi in considerazione nel momento in cui si valuta la convenienza economica e il payback period di un investimento di questo tipo.

RISPARMIO ENERGETICO, RIDUZIONE DI CO₂

Dal punto di vista energetico, gli edifici,

rappresentano un elemento chiave nella promozione di azioni rivolte allo sviluppo sostenibile. Basti pensare che il 40% del consumo globale di energia e il 30% delle emissioni in atmosfera di gas climalteranti è attribuito a loro.³⁹

La loro riqualificazione, permetterebbe di abbattere notevolmente le emissioni di CO₂ e i costi di esercizio tramite: il risparmio di energia termica per la climatizzazione invernale, di energia elettrica per l'illuminazione e dei consumi di acqua.

COMFORT DEGLI OCCUPANTI

Grazie all'efficientamento delle prestazioni energetiche degli edifici, è possibile ottenere un miglioramento della qualità ambientale degli spazi scolastici e del benessere delle persone che li vivono.⁴⁰

La relazione tra le condizioni di comfort interne e la produttività degli occupanti è diretta e molto forte. Gli studi, dimostrano che, affinché un edificio scolastico, permetta agli studenti di ottenere il massimo rendimento, debba mantenere:

- Una **temperatura di esercizio**, ovvero, la media della temperatura dell'aria interna

37. Huffpost. *Le scuole italiane? Un disastro per ambiente e salute*, 27 novembre 2023. https://www.huffingtonpost.it/dossier/terra/2023/11/27/news/le_scuole_italiane_un_disastro_per_ambiente_e_salute-14313185/

38. BPIE (2018). *Building 4 People. Methodology for quantification of the impact*, pp. 7-10, pp. 8.

39. Fondazione Giovanni Agnelli (2020). *Rapporto sull'edilizia scolastica. Rinnovare gli ambienti di apprendimento: i fattori del cambia-*

40. Fondazione Giovanni Agnelli. *Op. cit.* p. 133.

e la temperatura media radiante delle superfici circostanti, tra i 20°C e i 24°C in inverno, considerando un tipico abbigliamento invernale (1,0 clo) e attività scolastiche (1,2 met) e tra 24°C e 26°C in estate, considerando un tipico abbigliamento estivo (0,5 clo) e attività scolastiche (1,2 met).⁴¹ È stimato che per ogni grado in meno di overheating dell'ambiente interno, le performance di apprendimento degli studenti crescono del 2,3%.⁴²

- La concentrazione di CO₂ dell' **aria interna**, non deve mai essere superiore a 1000 ppm con una velocità minima di ventilazione richiesta di 7 l/s/p durante il periodo di occupazione.⁴³ È stimato che per ogni litro per secondo per persona di ventilazione in più al di sopra dei 15 l/s/p, le performance scolastiche aumentano del 1% e che per ogni 100 ppm di concentrazione di CO₂ in meno l'assenteismo per malattie si riduce dello 0,5%.⁴⁴

- l' **illuminamento medio** deve essere almeno 500lx, con una distribuzione uniforme in tutta la classe. Affinchè l' **illuminazione diurna**, che varia in base al periodo dell'anno, sia confortevole, è

importante che non vi sia rischio di abbagliamento.⁴⁵ È stimato che ogni 100 lx di luce in più nelle classi comporta un aumento del 2,9% delle performance degli studenti e che un'illuminazione diurna migliore porti a un aumento delle performance degli studenti dal 9% al 18%.

- Una **quantità di rumore** eccessiva all'interno dell'aula, agisce sulle condizioni di apprendimento dei bambini. Gli studi hanno dimostrato che un elevato livello di rumore, riduce l'interazione in classe e la quantità di parole ascoltate dagli studenti. Il rumore può provenire dall'esterno, tramite pareti e serramenti o dall'interno a causa della cattiva acustica degli ambienti. È stimato che per ogni Decibel di rumore in meno, le performance degli studenti aumentano del 0,7%.⁴⁶

Un edificio scolastico in grado di mantenere tali condizioni durante tutto l'anno, permette di ottenere un incremento del rendimento scolastico dal 2% al 8%, una diminuzione del turnover degli insegnati fino al 20% e una riduzione media dell'assenteismo del 11% rispetto a un edificio tradizionale. Questi miglioramenti, otti-

mizzano il tempo trascorso in classe, con un risparmio potenziale pari a due settimane di lezione all'anno. Il tempo risparmiato, potrebbe essere utilizzato per attività extrascolastiche, vacanze o per aumentare ulteriormente il rendimento scolastico.⁴⁷

SALUTE DEGLI OCCUPANTI

Il miglioramento della qualità dell'ambiente interno produce anche benefici economici indiretti. Grazie a spazi scolastici con temperature confortevoli, ben aerati e illuminati, si riduce il rischio di insorgenza di patologie, diminuendo quindi l'assenteismo e la spesa pubblica per la cura di malattie e supplenze.⁴⁸

Le conseguenze degli edifici malsani sono accentuate soprattutto nei bambini, è quindi fondamentale che tutte le scuole possano offrire un ambiente di apprendimento sano.

Gli studi, dimostrano che le malattie provocate da un edificio malsano sono:

- **Malattie Respiratorie**, una **qualità dell'aria interna** inadeguata, la presenza di umidità e muffa sono strettamente

correlati a un aumento delle malattie respiratorie e all'asma. Tali condizioni portano a una probabilità maggiore del 40% di soffrire di asma. Questa percentuale, è del 25% più alta nel caso di bambini ed adolescenti, che hanno più del doppio di possibilità di avere problemi toracici, respiratori, asma o bronchite rispetto a coloro che non sono stati esposti a condizioni interne insalubri.

- **Malattie Cardiovascolari**, il miglioramento delle condizioni di **comfort termico**, riduce la pressione sanguigna in modo significativo, diminuendo la probabilità di soffrire di malattie cardiovascolari, l'uso delle medicine e i ricoveri ospedalieri.

- **Salute Mentale**, frequentare edifici freddi e umidi, contribuisce ad aumentare l'ansia e lo stress degli occupanti.

Un sondaggio in Inghilterra, ha riportato come risultato che un Inglese su cinque (21%), ha subito degli impatti negativi sulla propria salute mentale a causa delle scarse condizioni abitative degli edifici.⁴⁹

41. School of the Future (2014). Improved indoor environmental quality. *Thermal indoor climate*, pp. 6-15, pp. 6 & 9.

42. BPIE (2018). Building 4 People. *Methodology for quantification of the impact*, pp. 7-10, p. 8.

43. School of the Future (2014). Improved indoor environmental quality. *Indoor air quality*, pp. 16-23, pp. 18, 19.

44. BPIE. *Op. cit.* p. 8.

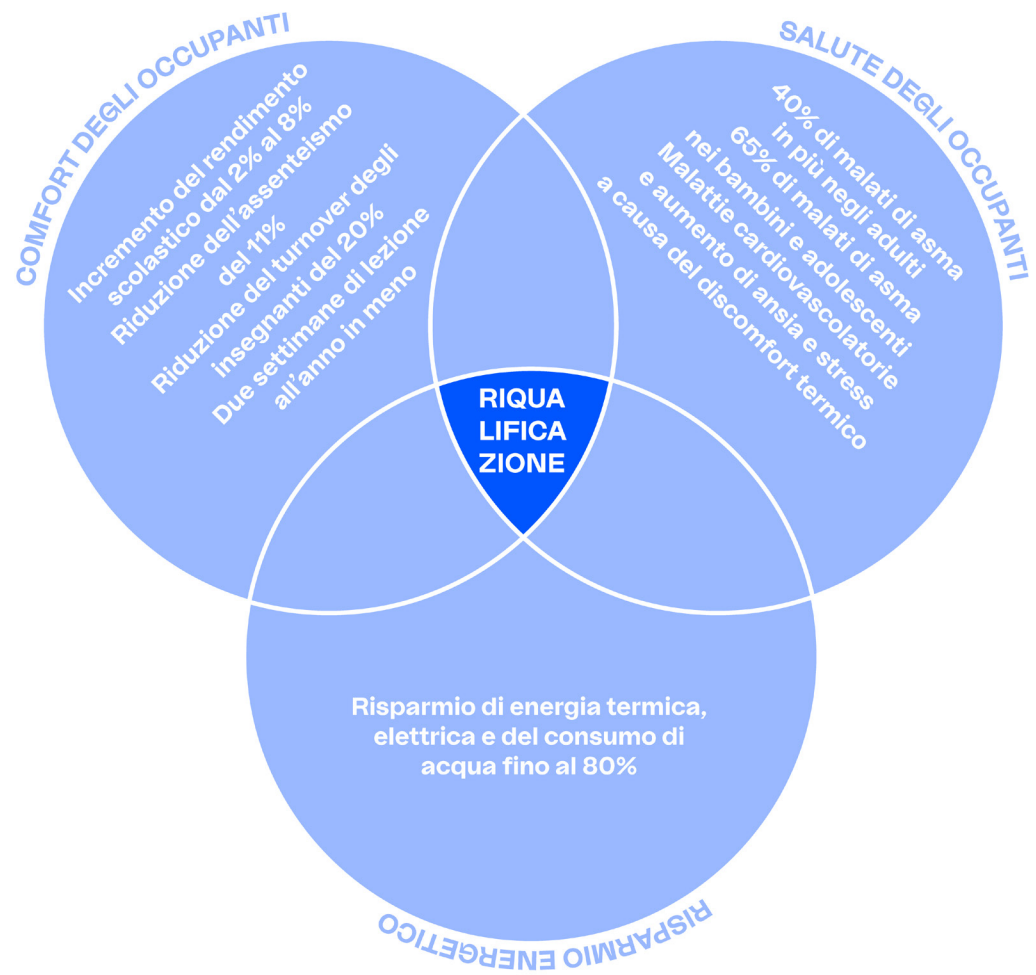
45. School of the Future (2014). Improved indoor environmental quality. *Lighting conditions*, pp. 24-28, pp. 24, 25.

46. BPIE. *Op. cit.* pp. 8, 9.

47. BPIE (2018). Building 4 People. *Mapping the universe of better buildings*.

48. Fondazione Giovanni Agnelli. *Op. cit.* p. 133.

49. HEAL (2018). Healthy buildings, healthier people. *The facts: building-related factors that impact our health*, pp. 4-6.



Quantificazione dei vantaggi

2.2

Le misure di efficienza energetica, hanno spesso tempi di ammortamento medio/lunghi rispetto alla loro vita, se si considerano solo i benefici diretti del risparmio energetico. Se si prendono in considerazione ulteriori benefici indiretti portati da tali interventi come: la riduzione dei costi sanitari e l'aumento della produttività, queste misure diventano molto più attraenti per gli enti pubblici e gli investitori.

Un edificio scolastico, a seguito di una riqualificazione energetica, ottiene dei risparmi. Il risparmio totale, può essere suddiviso in due categorie: risparmi diretti e risparmi indiretti.

I **risparmi diretti**, rappresentano la riduzione dei costi energetici relativi al riscaldamento, all'illuminazione e a quelli idrici. I **risparmi indiretti**, si riferiscono alla riduzione della spesa pubblica sanitaria e all'acquisto di medicinali a seguito della diminuzione di malattie e assenteismo; all'aumento delle performance scolastiche degli studenti, che con un livello di istruzione migliore possono ambire in futuro a un salario più elevato.

Mentre i primi sono facilmente calcolabili per differenza tra bollette o tramite simulazione energetica dell'intervento, quantificare i secondi è molto più complesso. Questo perchè non sono presenti dati precisi da applicare in modo parametrico al metro quadrato o al numero di studenti, ma si basano su diversi studi sperimentali condotti negli ultimi anni. Tra i più rilevanti, l' Eurofound, incaricata dal Parlamento Europeo, ha esaminato nel 2016

il costo dell'inazione nel confronto degli edifici inadeguati. Sulla base di una metodologia dettagliata per la quantificazione dei costi sociali degli edifici inadeguati, che tiene conto di maggiori costi per il riscaldamento e per servizi sanitari, perdita del valore patrimoniale e del potenziale di guadagno, è emerso che il costo economico annuo è di 194 miliardi di euro. Gli interventi di riqualificazione del patrimonio edilizio richiederebbero un intervento invece di 295 miliardi di euro, si avrebbe così un tempo di ammortamento di 18 mesi, ovvero per ogni tre euro investiti, due si ripagherebbero entro l'anno. È un risultato importante, che fa ben sperare nella convenienza di una riqualificazione energetica con un ritorno economico brevissimo rispetto alla sua vita utile.⁵⁰ Partendo dai dati ottenuti da queste ricerche, l'obbiettivo, è quantificare il peso dei risparmi indiretti all'interno di un intervento di riqualificazione energetica, e confrontarli con quelli diretti. I valori sono stati normalizzati a euro risparmiati per alunno, in modo da essere facilmente confrontabili tra loro. La stima, è stata

50. HEAL (2018). Healthy buildings, healthier people. *The big picture: buildings - a key determinant of health*, p. 3.

fatta tenendo conto solo dei benefici indiretti legati alla riduzione dei malati d'asma e alla diminuzione dei giorni di scuola legati all'aumento delle performance degli studenti. Per i benefici dovuti alla riduzione di malattie cardiovascolari e psicologiche, i dati sono insufficienti.

BENEFICI DIRETTI

RISPARMIO ENERGETICO

In Italia, il 75% del patrimonio edilizio scolastico è compreso tra le classi energetiche E-G, ovvero le peggiori.



A Torino, un edificio compreso tra le classi energetiche E-G ha un consumo totale di energia primaria che va da 280 a 600 kWh/m². Sempre a Torino un edificio compreso tra le classi A1-A3 ha un consumo tra i 55 e 80 kWh/m².



In generale in Italia ogni studente all'interno della scuola ha a disposizione uno spazio pari a 9,10 m². Il prezzo dell'energia elettrica ad oggi è pari a 0,16 euro al kWh.



Il vantaggio economico:
 $(280 + 600)\text{kWh}/2 = 440 \text{ kWh}$
 consumo medio classe E-G
 $(55 + 80)\text{kWh}/2 = 67,5 \text{ kWh}$
 consumo medio classe A1-A3
 $((440 - 67,5)\text{kWh} \times 0,16\text{€}) * 9,10 \text{ m}^2 / \text{alunno} =$
542,36€ anno per alunno

BENEFICI INDIRETTI

ASMA

In Italia 4.500.000 di persone soffrono di asma, tale numero corrisponde al 7,6% dell'intera popolazione.

In edificio scolastico tipo di 100 persone ci sono quindi 7,6 persone che soffrono di asma



Un edificio scolastico inadeguato aumenta del 40% la probabilità di soffrire di asma negli adulti e del 65% nei bambini. La riqualificazione edilizia porta quindi a ridurre il numero di malati di 4,94 studenti ogni 100.



Un paziente asmatico costa in media 2000 euro all'anno. Di questi il 71% è costituito dai costi sanitari indiretti e il resto dai costi indiretti a causa della perdita di produttività.



Il vantaggio economico
 $(4,94 \times 2000\text{€})/100 =$
98,80 €anno per persona

GIORNI DI SCUOLA

L'Italia si attesta tra i Paesi in cui l'anno scolastico dura di più, 200 giorni circa in confronto alla media Europea di 180 giorni. Inoltre è anche il Paese con il numero più elevato di ore di lezione.



un edificio scolastico in grado di mantenere condizioni di comfort durante tutto l'anno, ottimizza il tempo trascorso in classe, con un risparmio potenziale pari a due settimane di lezione all'anno.



Per la scuola primaria il costo è di 6.288,68 euro, mentre per la secondaria di primo grado è di 6.915,55 euro. In media il costo relativo alle scuole del primo ciclo è di 6.602,22€



$6.602,22\text{€} / 200 = 33,01\text{€}$
 costo di un giorno scolastico per studente.

$33,01\text{€} \times 10 =$ **330,10€ potenziale risparmio per studente all'anno.**

Gli archetipi

- 3.1 Perchè Torino?, La situazione
- 3.2 Le caratteristiche degli archetipi
- 3.3 La selezione degli archetipi

Perché Torino?, La situazione

3.1

Riconosciuta come una città laboratorio per l'edilizia scolastica nel corso del Novecento e sede delle più recenti sperimentazioni di "Torino Fa Scuola", la Città è da sempre luogo di sperimentazioni in questo ambito.

L'ex Capitale Sabauda, Torino, rispecchia a pieno il quadro italiano, il 77% dell'intero patrimonio scolastico è stato costruito prima delle Norme Tecniche del 1975 e più del 90% ha più di quarant'anni.

La maggior parte degli edifici scolastici Torinesi, appartiene agli anni Settanta del Novecento, momento di grande boom ed espansione della città. In quel momento, la Città, diventa una delle principali mete di immigrazioni da parte della popolazione del Sud-Italia a causa della costante necessità di manodopera data dalla sua potenza in campo industriale, soprattutto nel campo automobilistico. La maggior parte delle scuole edificate in questi anni, è stata progettata dagli uffici tecnici della Città e fa parte dell'architettura "ordinaria", ovvero considerata marginalmente sia dalla critica architettonica sia dalle storie della scuola italiana.

Altra caratteristica importante, è che quasi il 60% degli edifici, è un edificio-modello, ovvero, ripetuto in più esemplari all'interno della Città. La presenza di edifici costruiti in serie, è una condizione importante per lo sviluppo di strategie

di riqualificazione, in quanto permette di individuare potenziali di trasformazione degli edifici partendo da situazioni architettoniche e insediative ricorrenti, permettendo così di scalare tali soluzioni su un gran numero di edifici, riducendo i tempi e abbattendo i costi.⁵¹

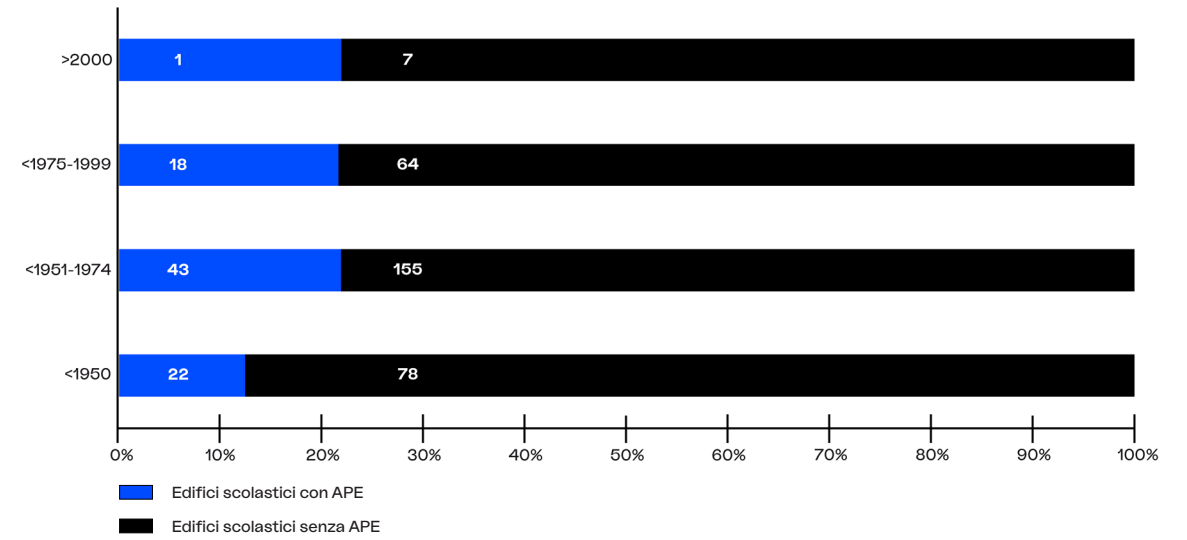
Analizzando i dati derivanti degli attestati di prestazione energetica (APE) presenti, che corrispondono a circa un terzo degli edifici scolastici di ogni grado della Città di Torino, è emerso che la classe energetica maggiormente diffusa è la D con il 38% del totale. Gli edifici con classe energetica compresa tra E e G ovvero le più basse, compongono il 32% del totale, mentre le scuole comprese tra la classe A3 e A1 rappresentano solo il 4% del campione. I dati, come nel resto dell'Italia sono molto critici, e rappresentano la necessità di intervento immediato.

La situazione, è nella realtà ancor peggiore rispetto al già pessimo quadro emerso da tale analisi, dobbiamo infatti tener conto che le certificazioni disponibili, rappresentano solo un terzo dell'intero patrimonio edilizio scolastico, e con tutta

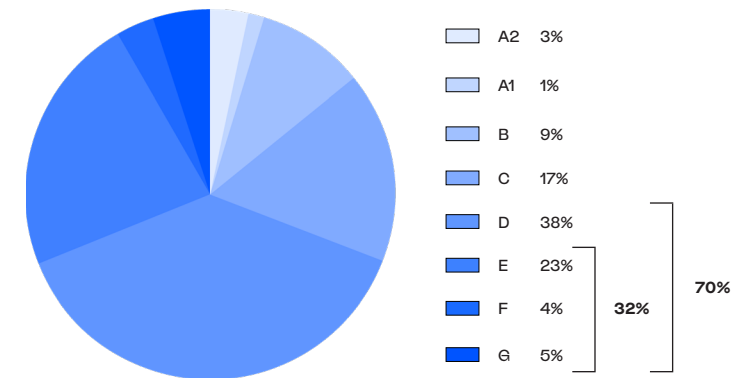
51. Barioglio, C. & Campobenedetto, D. (2022). L'infrastruttura della città. *Ricominciare dalle forme*, pp. 8, 13, p. 12.

probabilità, quello migliore, in quanto tali certificati, nella maggior parte dei casi vengono redatti a seguito di interventi sull'edificio. Se si avesse un campione completo, sarebbe quindi impossibile trovare altri edifici con APE maggiore alla classe B, oltre quelli già presenti, mentre al contrario, aumenterebbero drasticamente le scuole con classi comprese tra E e G.

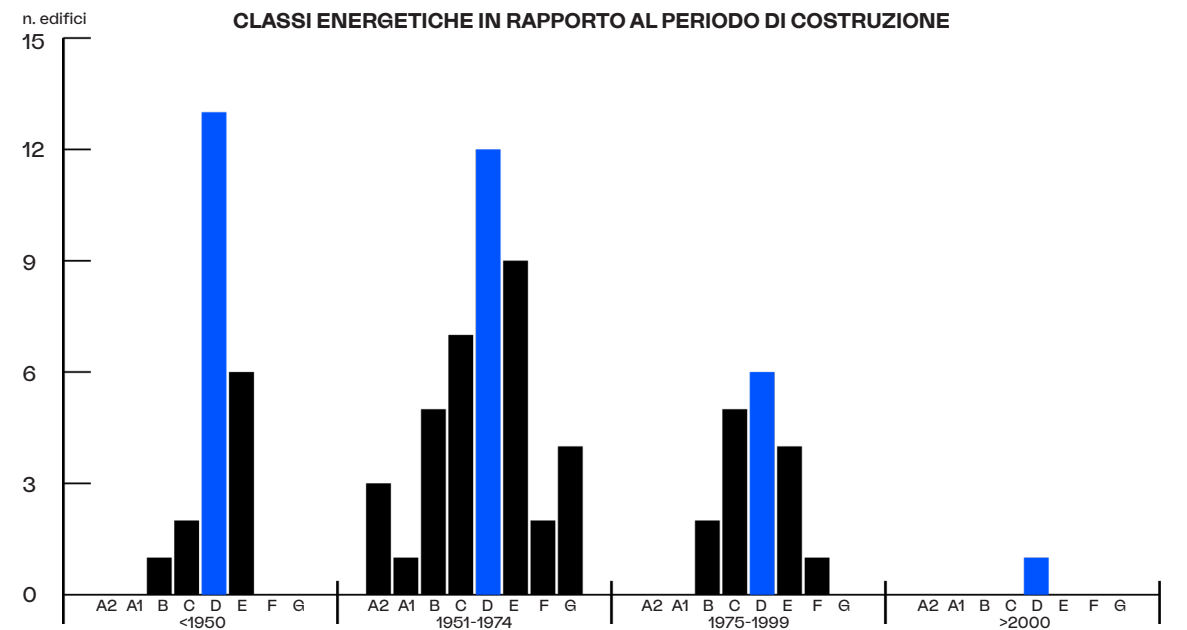
RAPPRESENTATIVITÀ DEL CAMPIONE IN RAPPORTO AL PERIODO DI COSTRUZIONE



SUDDIVISIONE DEL CAMPIONE IN CLASSI ENERGETICHE

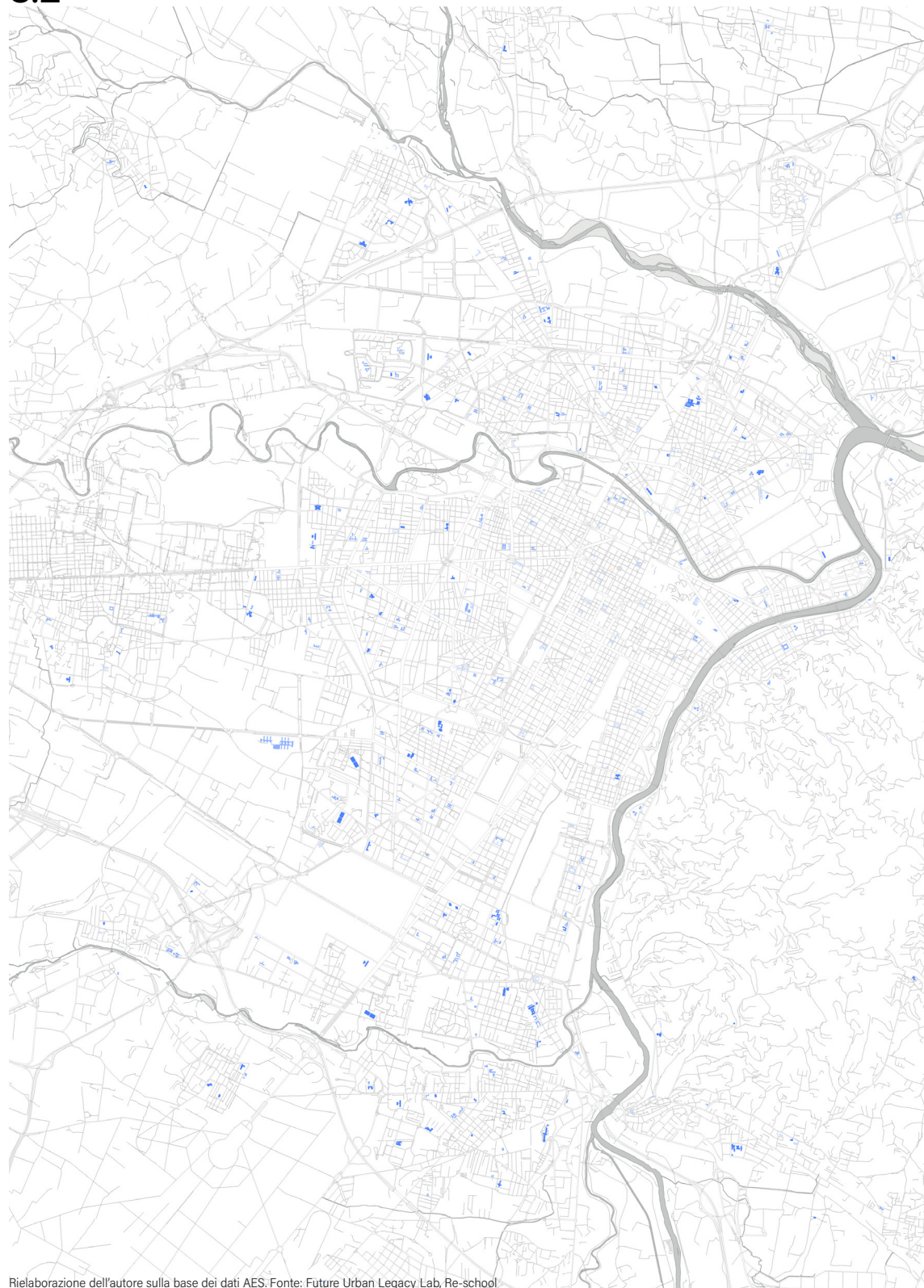


CLASSI ENERGETICHE IN RAPPORTO AL PERIODO DI COSTRUZIONE



Le caratteristiche degli archetipi

3.2



Rielaborazione dell'autore sulla base dei dati AES. Fonte: Future Urban Legacy Lab, Re-school

È possibile individuare il potenziale di trasformazione degli edifici che costituiscono il patrimonio edilizio della scuola italiana?
È possibile valutare l'impatto di tale trasformazione sul benessere e la salute degli occupanti?

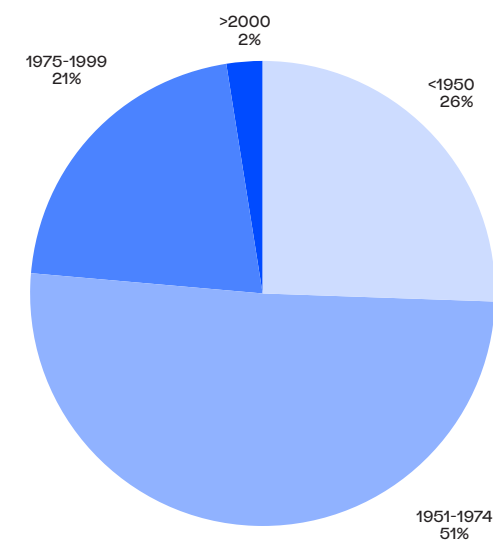
Per affrontare questo tema è utile riconoscere, tra gli edifici scolastici italiani, alcuni tipi ricorrenti, ossia quei gruppi di edifici con caratteristiche simili, che sono maggiormente rappresentativi di questo patrimonio.⁵² Come descritto nel paragrafo precedente, la Città di Torino, sarà ancora una volta luogo di sperimentazione, le indagini seguenti verranno svolte su di essa, ma avranno forte rappresentatività anche a scala nazionale.

Ogni tipologia di edificio-scuola, in questo caso torinese, presenta pertanto un potenziale di trasformazione, un impatto economico e benefici alla salute differenti, ma comparabili e scalabili alla tipologia di edifici che rappresenta.⁵³ È importante quindi riuscire a ricostruire tali tipologie, per farlo, è necessario analizzare i caratteri salienti di ogni edificio in modo da raggruppare quelli comuni ed associarli a un archetipo che possa descriverli al meglio.

L'analisi di tali archetipi permette così attraverso un numero limitato di edifici, di dare risposte rappresentative della maggior parte del patrimonio edilizio-scolastico torinese.

stico torinese.

Le caratteristiche principali per la selezione degli archetipi si dividono in cinque categorie principali: la compattezza del volume, la distribuzione interna, la presenza di vincoli architettonici, la tecnologia costruttiva, e la tipologia di impianto, a sua volta suddivisi in altre sottocategorie.



52. Barioglio, C. & Campobenedetto, D. (2021). Re-school: ripensare la scuola a partire dagli spazi. *Tipologie ricorrenti di edifici scolastici*, pp. 54, 77. p. 55.

53. Barioglio, C. & Campobenedetto, D. *Op. Cit.* p. 55.

Tutte queste caratteristiche sono influenzate fortemente dal periodo di costruzione degli edifici scolastici, che costituisce la variabile principale di selezione degli archetipi. In base al progresso tecnologico e alle normative in campo dell'edilizia scolastica il campione è stato diviso in quattro periodi. Tra il 1951 e il 1974, a Torino, vi è stato il boom dell'edilizia scolastica. In questo periodo è stata costruita più della metà dell'attuale infrastruttura scolastica torinese.

L'indagine, è stata svolta a partire dai dati contenuti all'interno delle certificazioni energetiche APE. Il database, contiene però solo circa un quarto degli edifici scolastici torinesi, tale numero non è ovviamente rappresentativo.

La mancanza di rappresentatività, ha portato all'utilizzo dei dati raccolti dall'AES (Anagrafe dell'Edilizia Scolastica), che al contrario, dispone di dati per tutti gli edifici torinesi. Il database dell'AES, non fornisce dati però per tutte le caratteristiche analizzate, per cui, per quelle mancanti, è stato creato un nuovo database prendendo in analisi singolarmente

ognuno dei quasi 400 edifici scolastici torinesi e raccogliendone i dati necessari allo svolgimento dell'analisi tramite la combinazione di sopralluoghi fisici sul posto e aerei con Google Earth.

INDIVIDUAZIONE DELLE VARIABILI CARATTERIZZANTI DEGLI ARCHETIPI

Identificazione delle caratteristiche di differenziazione essenziali, dal punto di vista energetico e architettonico, al fine di costruire delle tipologie di edificio, il più rappresentative possibile del campione analizzato.



SOPRALLUOGO DI TUTTI GLI EDIFICI SCOLASTICI TORINESI

Raccolta dei dati mancanti dal database AES, attraverso la combinazione di sopralluoghi sul posto e con Google Earth, di tutti i quasi 400 edifici scolastici torinesi.



INDIVIDUAZIONE ARCHETIPI

Selezione degli edifici con le caratteristiche che meglio rappresentano le tipologie prese in esame.



ANALISI DEI DATABASE APE E AES

Analisi dei dati contenuti all'interno delle certificazioni energetiche APE. La mancanza di rappresentatività di tale database ha portato all'analisi dei dati riferiti a tutti gli edifici scolastici torinesi, contenuti all'interno del database di partenza, raccolti e messi a disposizione dall'AES (Anagrafe dell'Edilizia Scolastica).

CREAZIONE DI UN NUOVO DATABASE

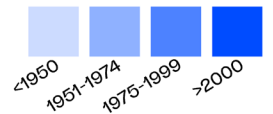
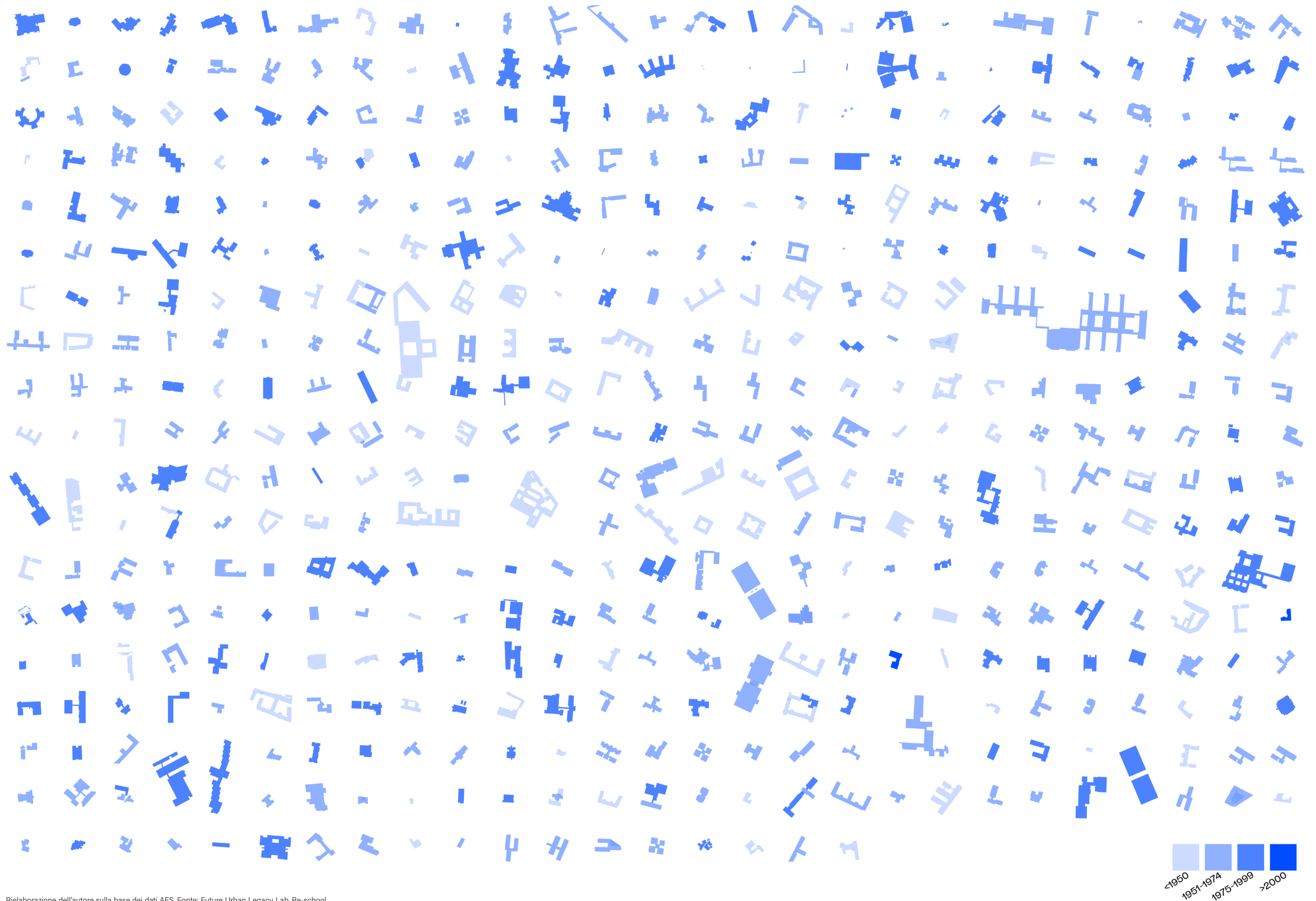
Realizzazione di un nuovo database, unendo i dati messi a disposizione dall'AES e quelli raccolti in tale ricerca.

DATI AES

NUMERO DI PIANI FUORI TERRA
RISCALDAMENTO
CONDIZIONAMENTO E VENTILAZIONE
VINCOLI ARCHITETTONICI

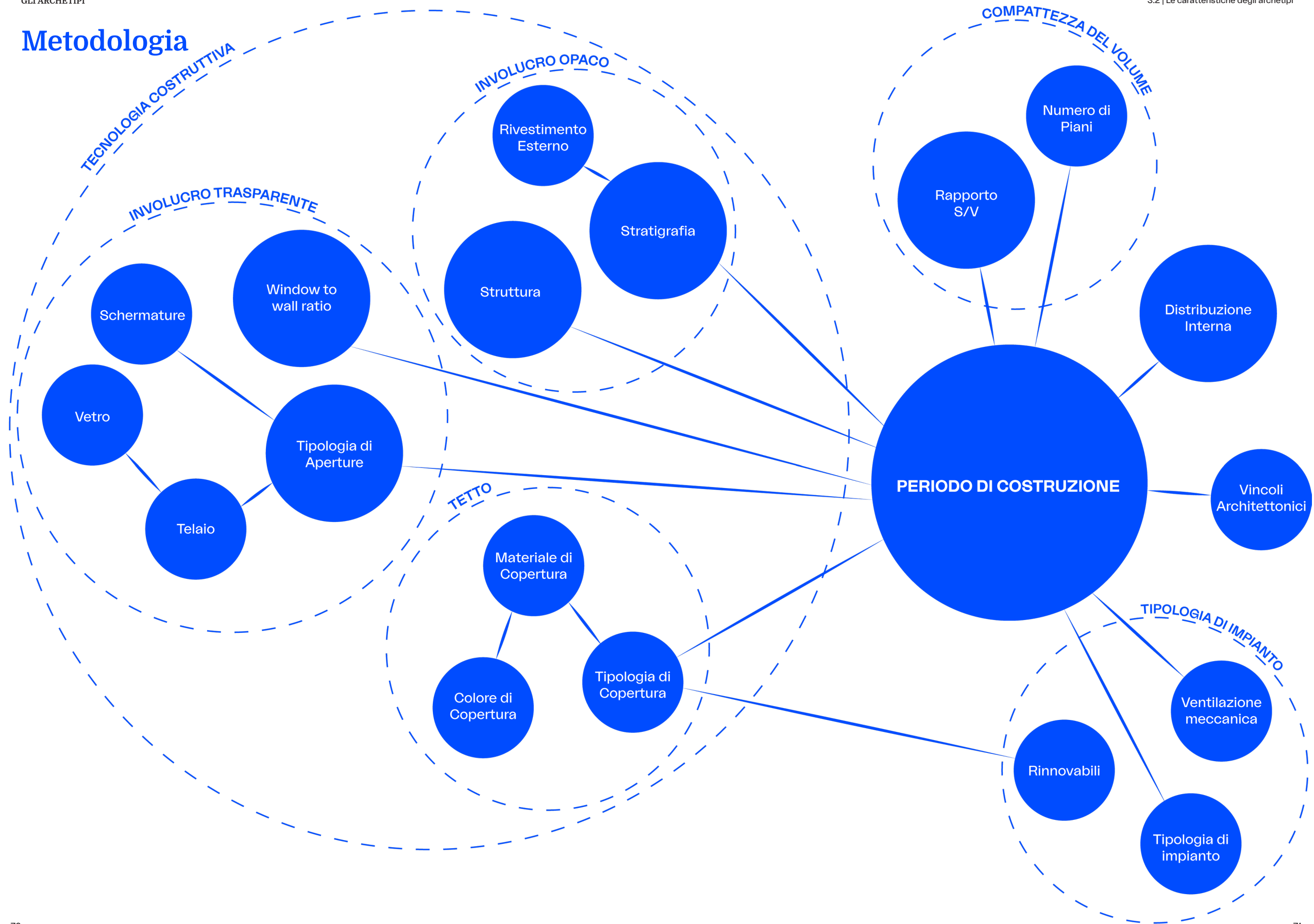
DATI RACCOLTI

RAPPORTO S/V
DISTRIBUZIONE INTERNA
STRUTTURA
STRATIGRAFIA
RIVESTIMENTO ESTERNO
WINDOW TO WALL RATIO
TIPOLOGIA DI APERTURE
TELAIO
VETRO
SCHERMATURE
TIPOLOGIA DI COPERTURA
MATERIALE DI COPERTURA
COLORE DI COPERTURA
RINNOVABILI



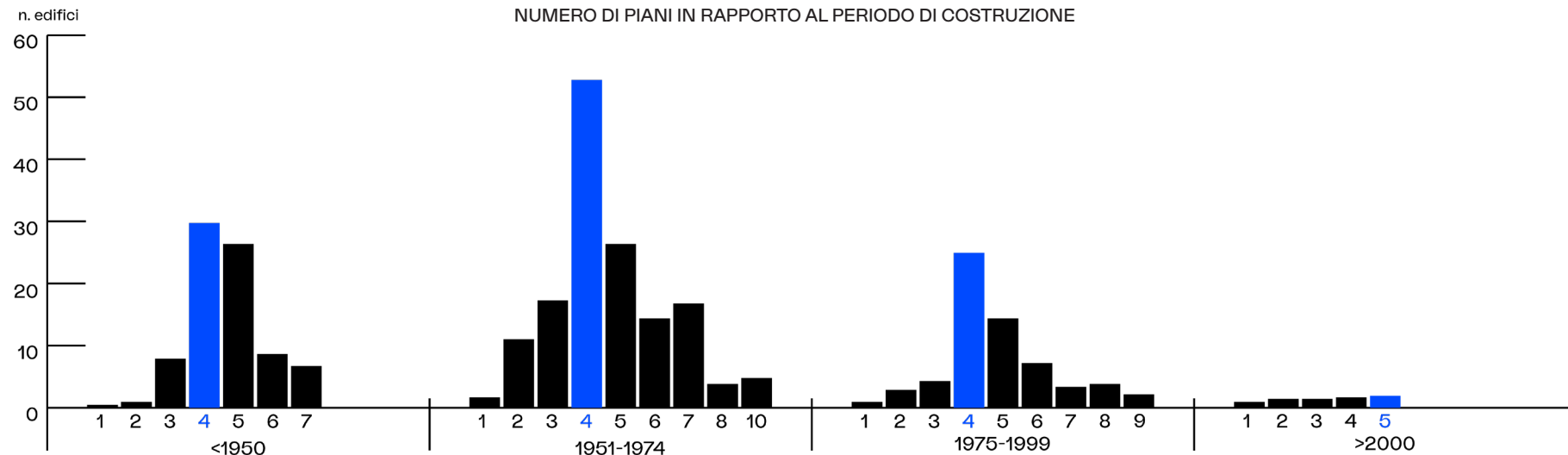
Rielaborazione dell'autore sulla base dei dati AES. Fonte: Future Urban Legacy Lab, Re-school

Metodologia



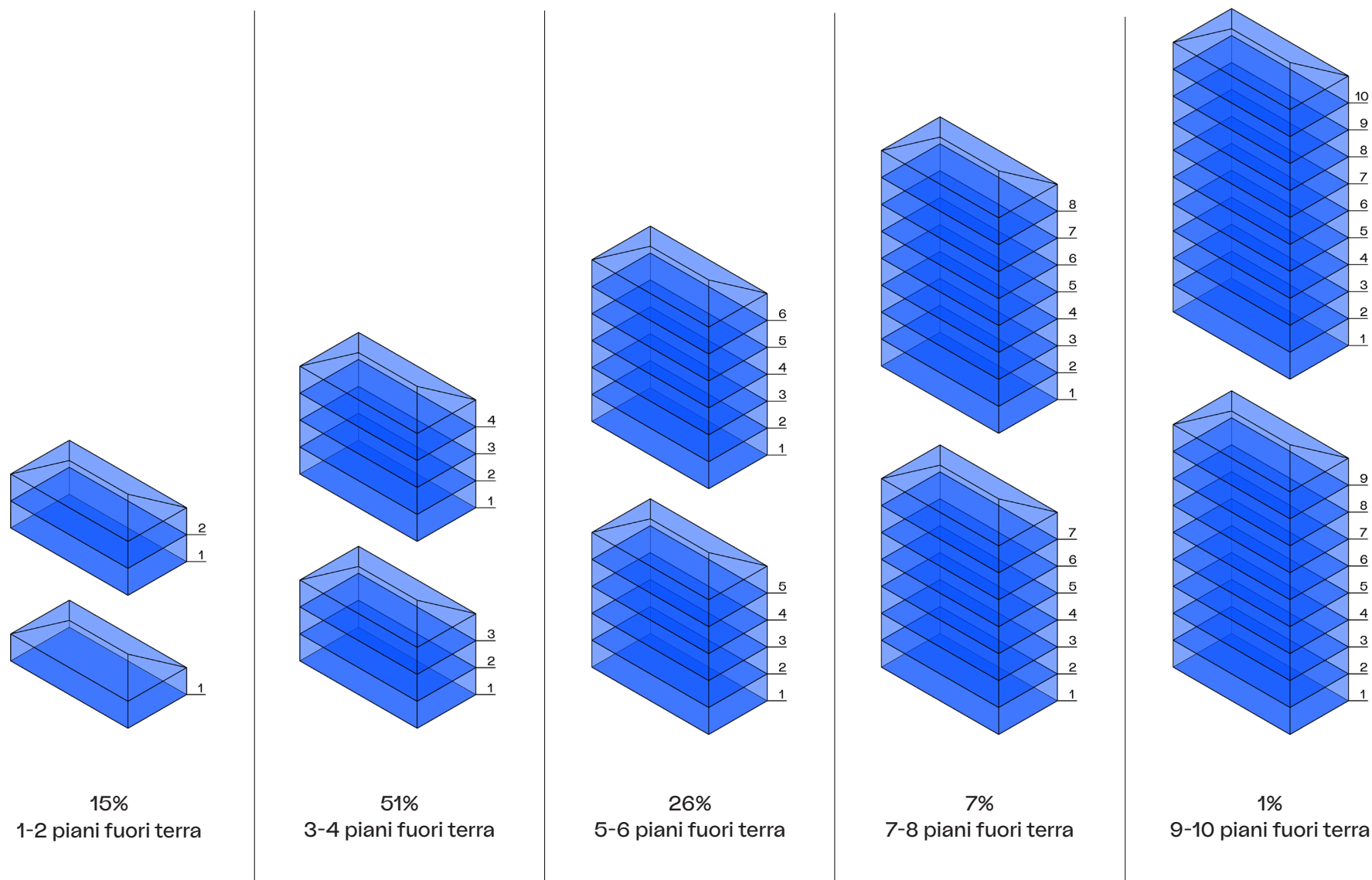
1. La compattezza del volume

La **compattezza** del volume di un edificio si riferisce al rapporto tra il volume totale dell'edificio e la superficie esterna che lo racchiude. Misura quanto un edificio è "denso" o "concentrato" rispetto alla sua superficie esterna. È un elemento importante per il riconoscimento del potenziale di trasformazione in quanto la superficie esterna determina l'area di perdita/guadagno di calore e la quantità dei materiali da costruzione.



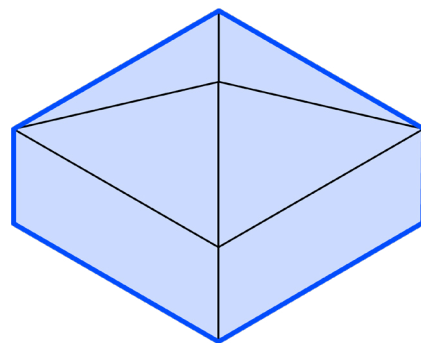
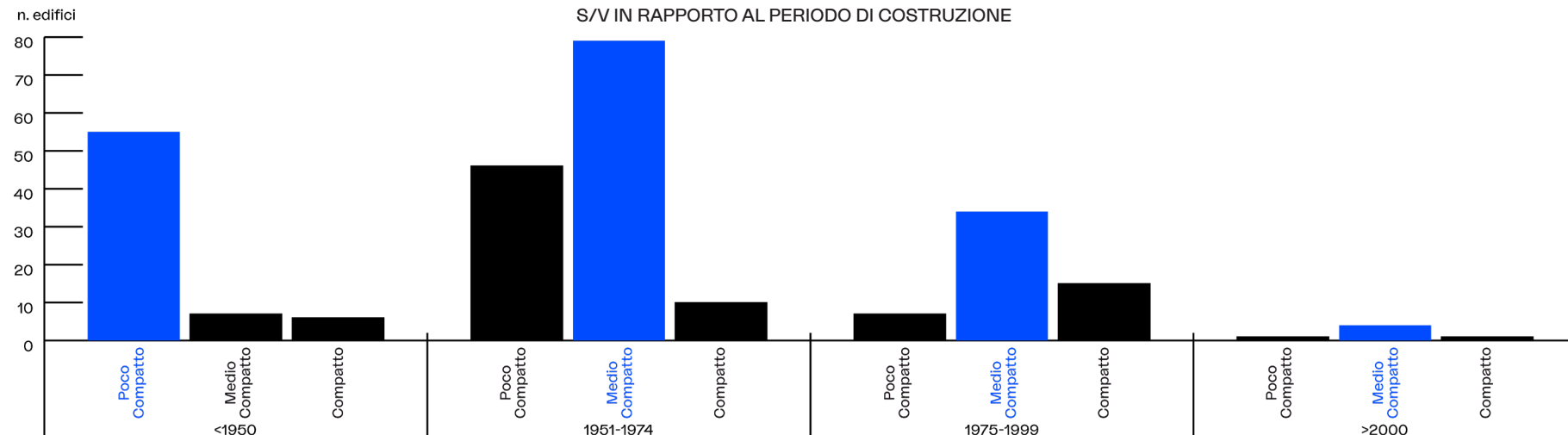
1.1 Numero di piani fuori terra

Il **numero di piani fuori terra** di un edificio influisce significativamente sulla sua progettazione, manutenzione e efficienza energetica. Gli edifici più alti tendono a essere più efficienti energeticamente grazie alla loro maggiore compattezza.



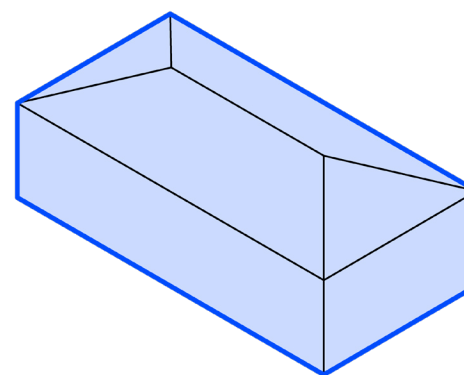
1.2 Rapporto S/V

Il **rapporto superficie su volume** influisce significativamente sull'efficienza energetica di un edificio. Indica quanto è ampia la superficie disperdente (S) in relazione al volume (V) dell'edificio. Più è grande il rapporto, più è grande il fabbisogno di energia termica.



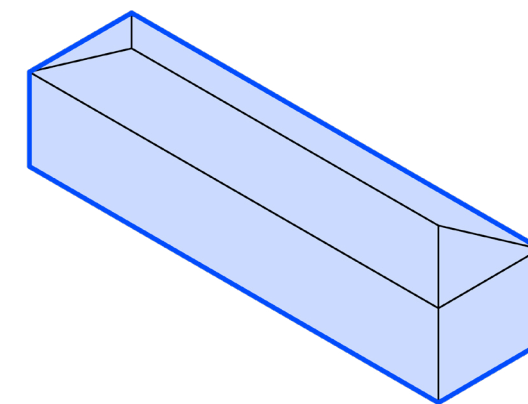
12%
S/V > 0,7 - Compatto

edifici con forme geometriche semplici, con un alto indice di compattezza, dove il rapporto tra volume e superficie esterna è elevato



47%
0,4 ≤ S/V ≤ 0,7 - Mediamente Compatto

edifici con forme geometriche leggermente complesse, con un indice di compattezza intermedio, dove il rapporto tra volume e superficie esterna è bilanciato

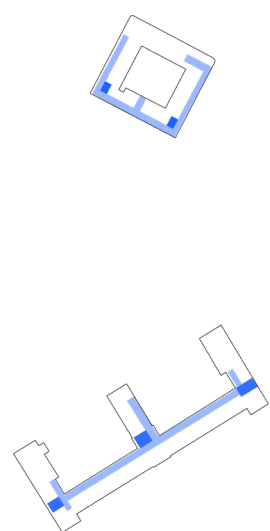
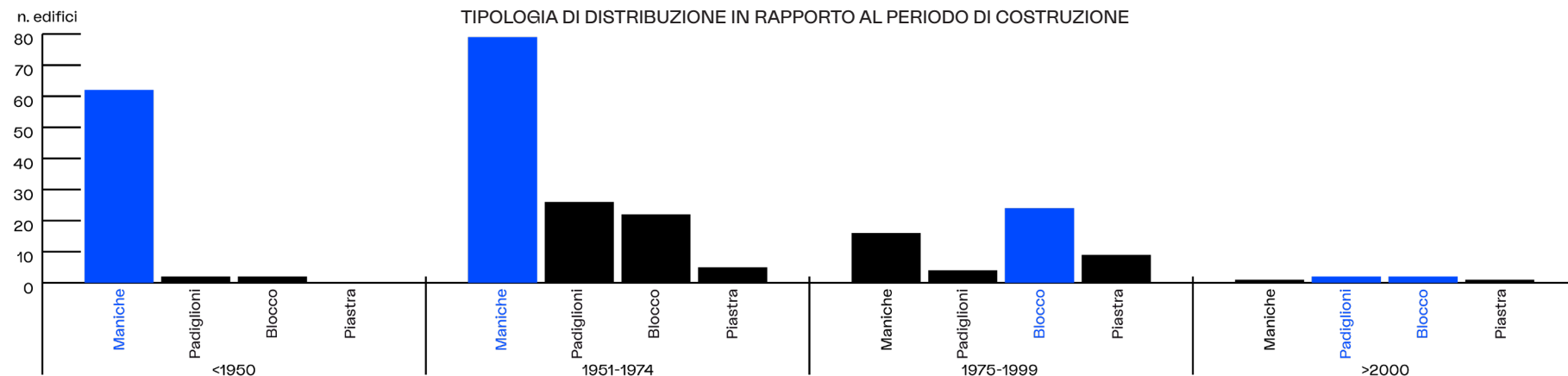


41%
S/V < 0,4 - Poco Compatto

edifici con forme geometriche complesse e articolate, con uno scarso indice di compattezza, dove il rapporto tra volume e superficie esterna è basso

2. La distribuzione interna

La **distribuzione interna** descrive l'organizzazione e l'allocatione degli spazi interni dell'edificio. È un elemento importante per il riconoscimento del potenziale di trasformazione perchè definisce come sono disposte le aule rispetto ai corridoi, spazi comuni e servizi. Ha influenza anche sulle zone termiche dell'edificio e sulla modalità di ventilazione naturale delle aule.



61%
Maniche

un unico corpo edilizio sviluppato in lunghezza con distribuzione a corridoio, sulla quale possono innestarsi maniche minori o distribuite attorno a uno spazio aperto



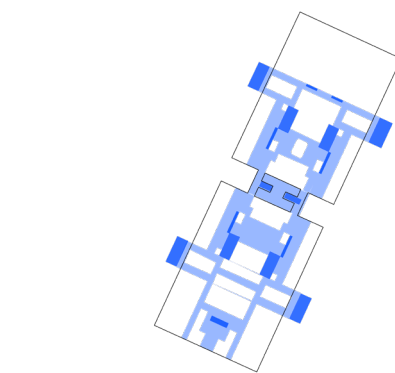
13%
Padiglioni

articolazione in più corpi autonomi, collegati da spazi distributivi anche esterni



19%
Blocco

uno o più corpi edilizi sviluppati in altezza, con spazio comune centrale

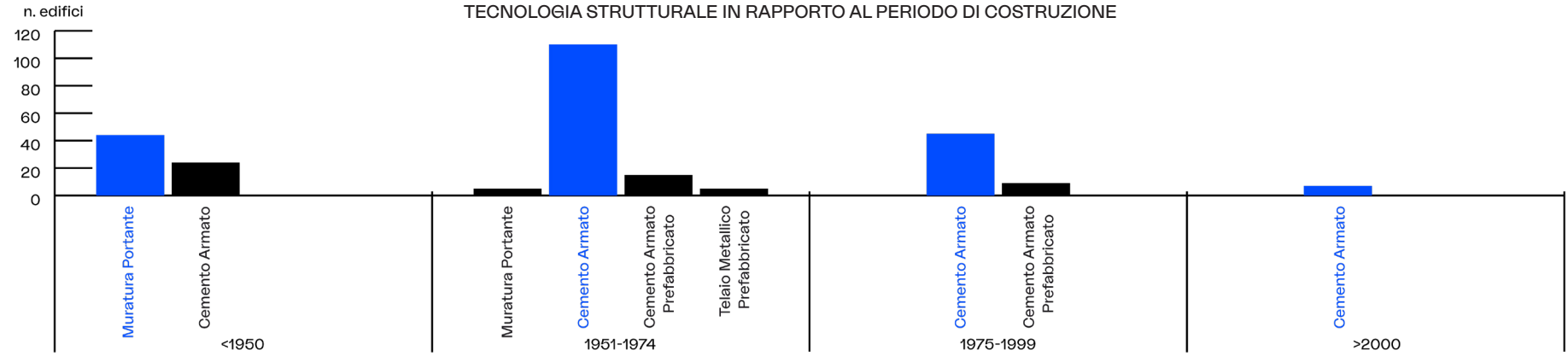


7%
Piastra

un unico corpo edilizio sviluppato in orizzontale

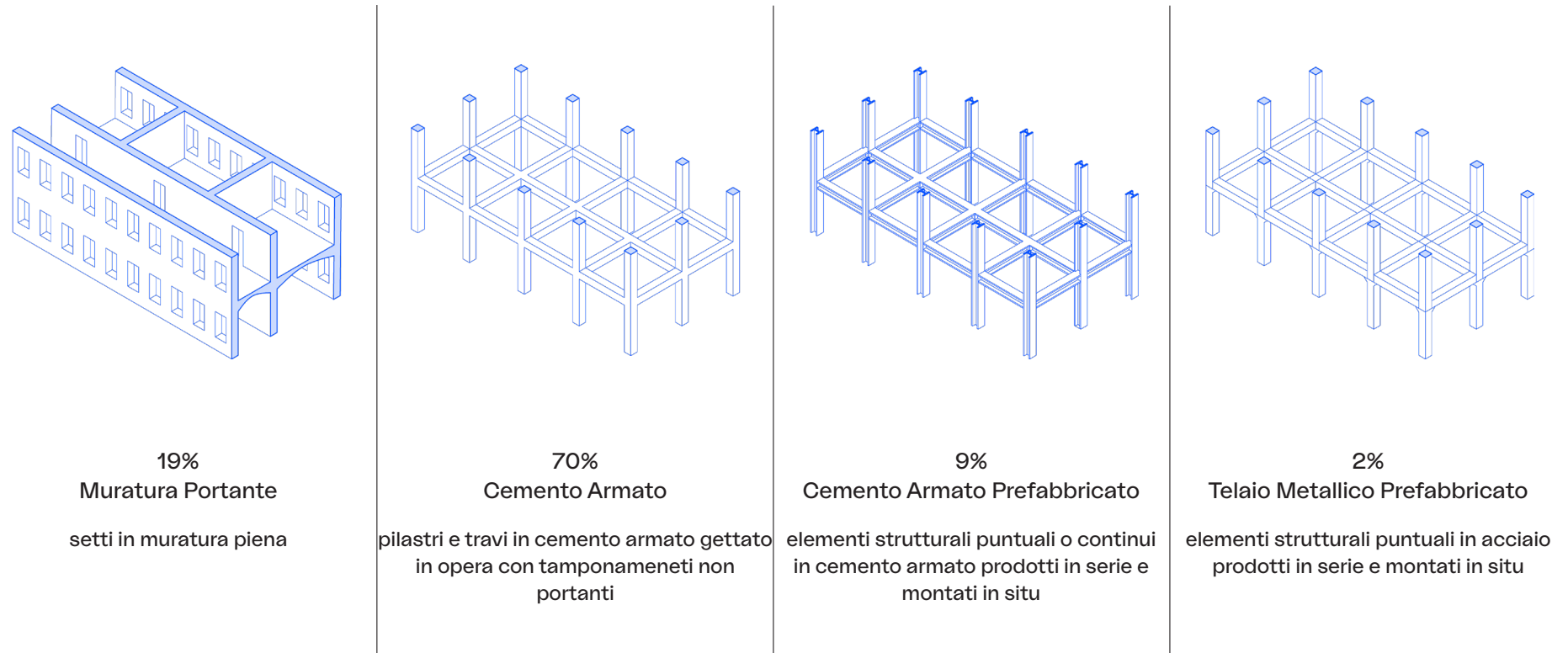
3. La tecnologia costruttiva

La **tecnologia costruttiva** si riferisce ai metodi, materiali e tecniche utilizzati nella sua costruzione. Questo include tutto, dalla struttura portante fino ai materiali di finitura. È un elemento importante per il riconoscimento del potenziale di trasformazione perchè influisce su quali interventi possono essere eseguiti e su come devono essere gestiti.



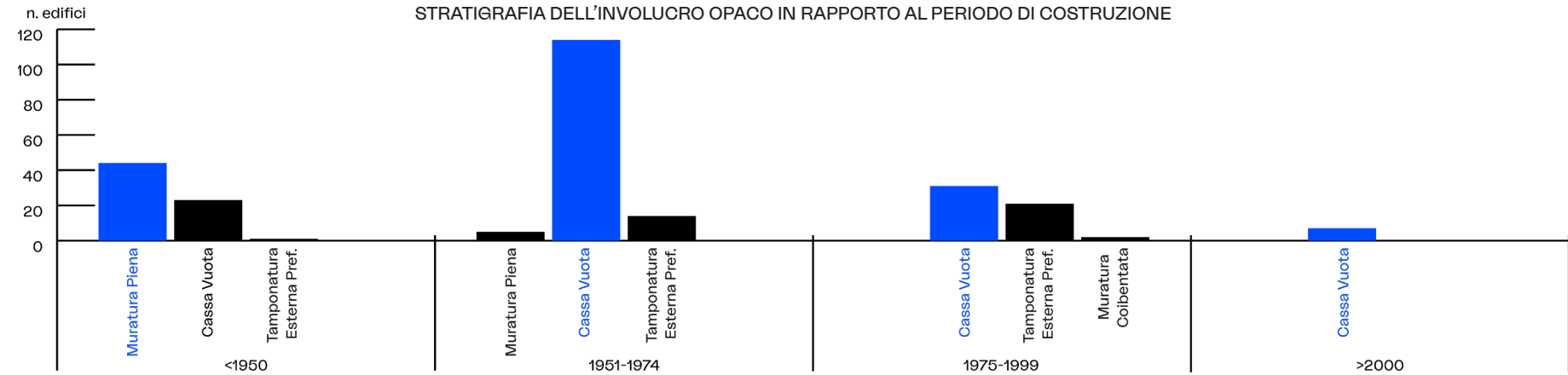
3.1 La struttura

La **struttura** descrive la tecnologia costruttiva che caratterizza gli elementi portanti che garantiscono la stabilità e la resistenza dell'edificio stesso. È un elemento importante per il riconoscimento del potenziale di trasformazione in quanto la sua natura influenza in modo significativo la riqualificazione costituendo uno dei principali vincoli.



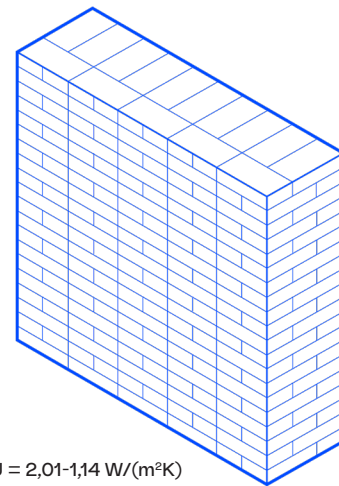
3.2 L'involucro opaco

L' **involucro opaco** descrive la tecnologia costruttiva che caratterizza gli elementi di chiusura verticali. È un elemento importante per il riconoscimento del potenziale di trasformazione perchè è uno degli elementi sui porre più attenzione durante una riqualificazione, sia per l'aspetto estetico che per ridurre al minimo le dispersioni invernale e i guadagni termici estivi.



- Stratigrafia

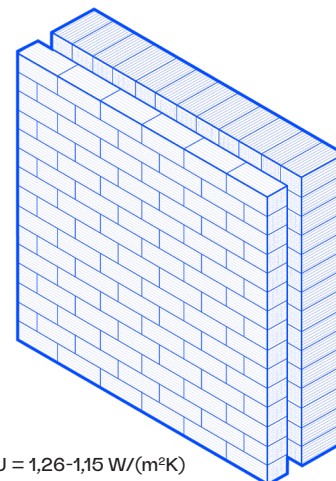
La **stratigrafia** è l'insieme dei diversi strati di materiali che compongono una parete. Ogni strato ha una funzione specifica, come resistenza strutturale, isolamento termico, isolamento acustico, impermeabilizzante e finitura superficiale. La corretta combinazione e sequenza è essenziale per garantire le prestazioni ottimali della parete.



$$U = 2,01-1,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

19%
Muratura piena

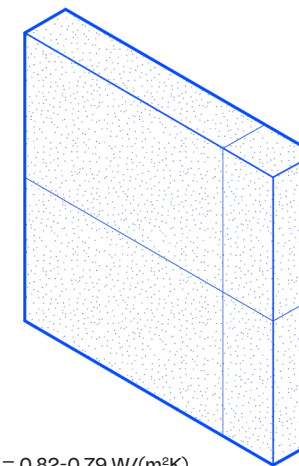
è composta interamente da mattoni, blocchi o pietre senza spazi vuoti o materiali isolanti incorporati



$$U = 1,26-1,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

66%
Muratura a cassa vuota

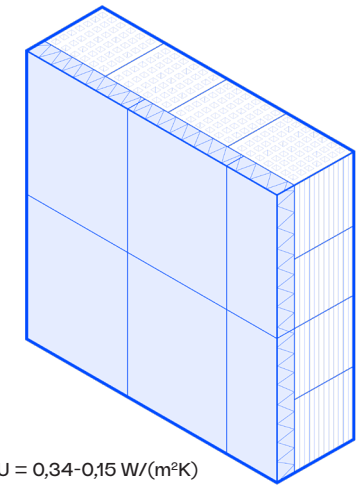
è composta da due pareti parallele di mattoni o blocchi con uno spazio vuoto tra di loro



$$U = 0,82-0,79 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

14%
Tamponatura esterna prefabbricata

pannelli prefabbricati che fungono da chiusura esterna



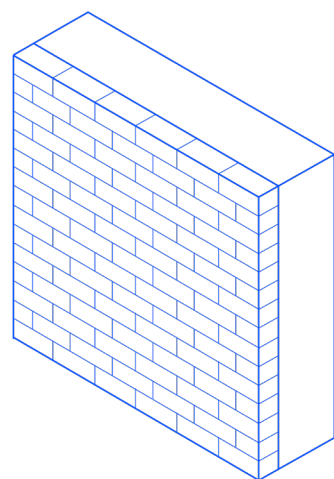
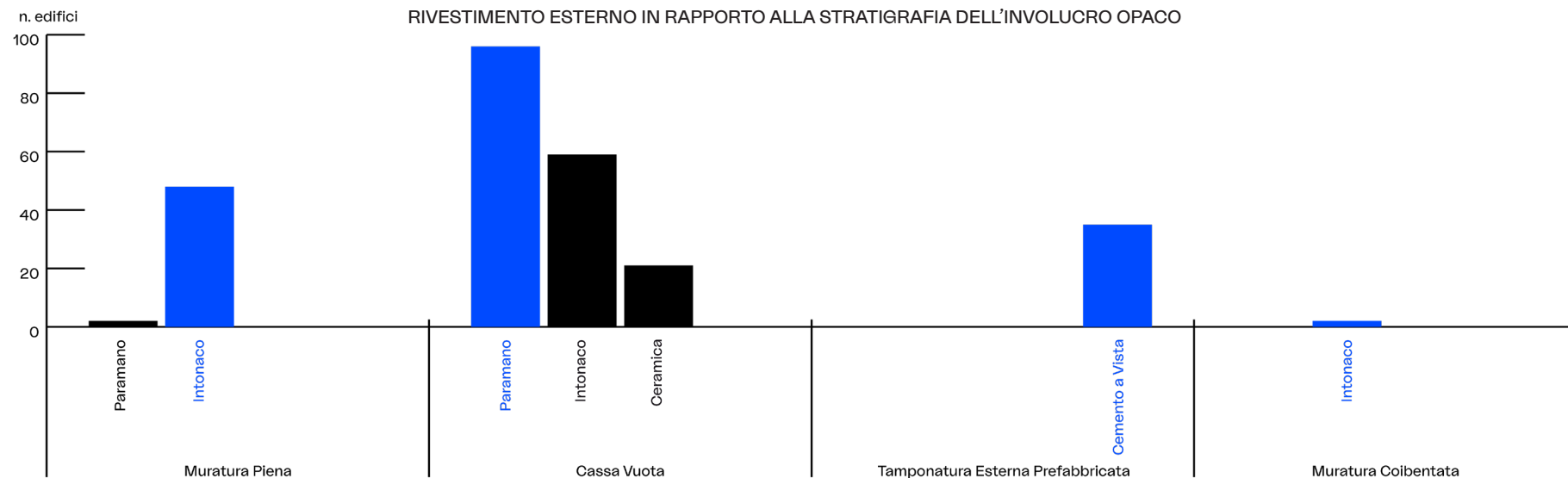
$$U = 0,34-0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

1%
Muratura coibentata

include uno strato isolante all'interno della struttura muraria per migliorare l'efficienza termica e acustica dell'edificio

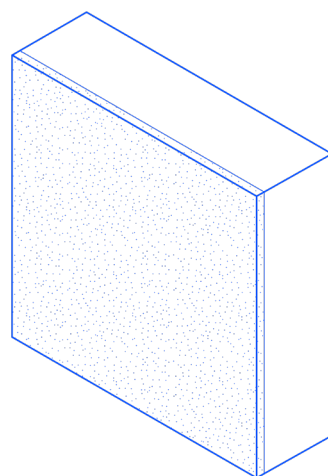
- Rivestimento esterno

Il **rivestimento esterno** di una parete è uno strato di materiale applicato alla facciata esterna dell'edificio, che può includere diversi tipi di materiale e finiture. Ogni tipo di rivestimento ha le proprie caratteristiche estetiche e funzionali.



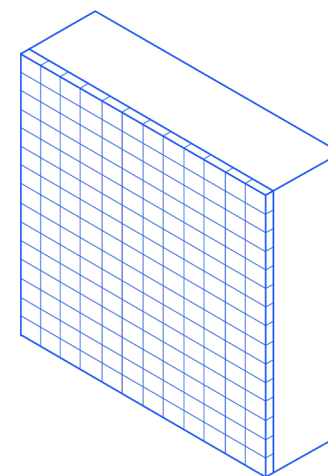
37%
Paramano

è costituito da mattoni faccia a vista, selezionati e posizionati con cura per avere una superficie liscia e uniforme



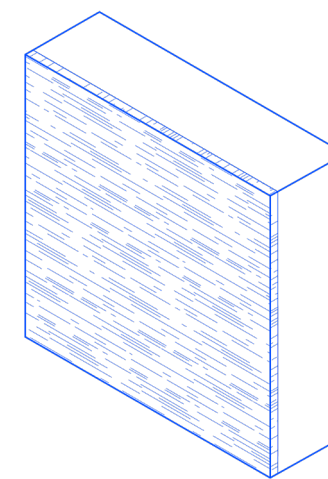
41%
Intonaco

strato applicato alle superfici murarie per proteggerle e migliorarne l'aspetto



8%
Rivestimento ceramico

utilizza piastrelle di ceramica fissate alla superficie muraria con adesivi specifici



14%
Cemento a vista

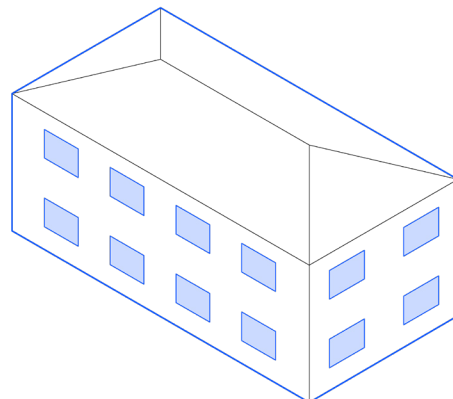
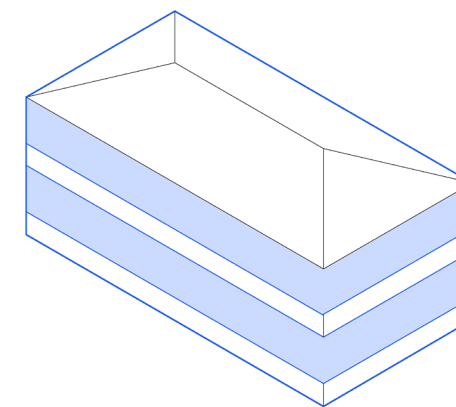
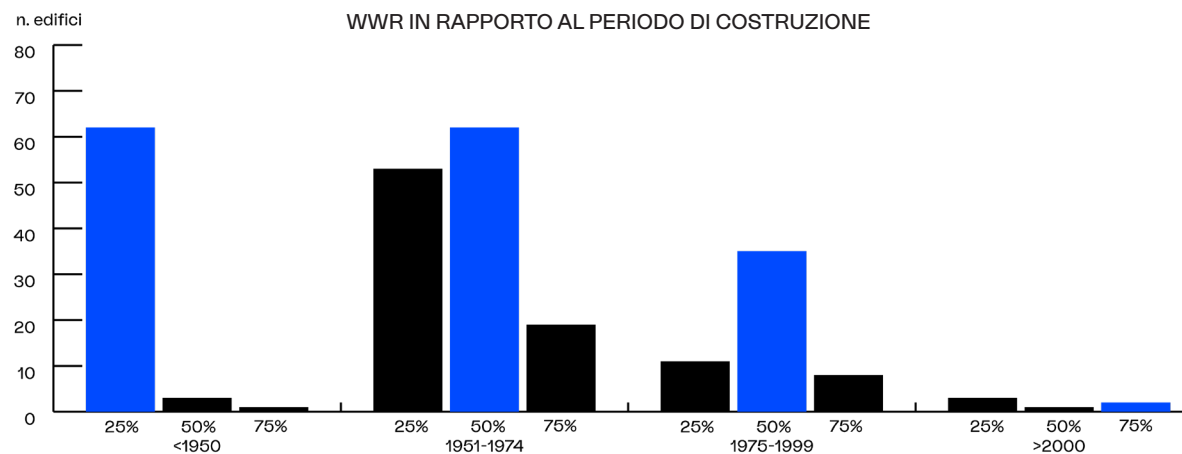
il calcestruzzo viene lasciato esposto senza ulteriori rivestimenti

3.3 L' involucro trasparente

L' **involucro trasparente** descrive la tecnologia costruttiva che permette il passaggio della luce. È un elemento importante per il riconoscimento del potenziale di trasformazione in quanto tali elementi hanno un ruolo cruciale nel determinare l'efficienza energetica, il comfort interno, l'illuminazione naturale e l'estetica dell'edificio.

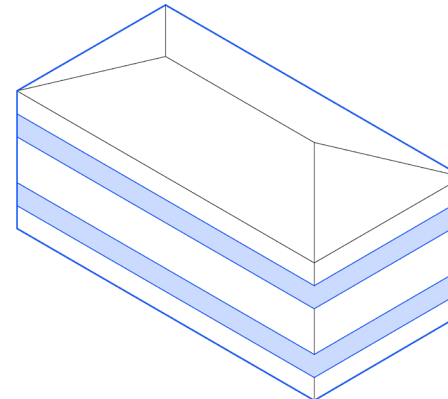
- Window To Wall Ratio

La **window to wall ratio** è una misura che esprime il rapporto tra la superficie delle aperture vetrate e superficie totale delle pareti esterne di un edificio. Questo indice influisce sulla luce naturale, la ventilazione, l'estetica e soprattutto l'efficienza energetica.



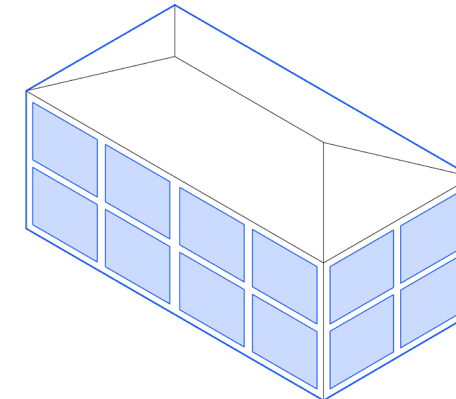
49%
25% WWR

il 25% della superficie delle pareti esterne è costituito da finestre



39%
50% WWR

il 50% della superficie delle pareti esterne è costituito da finestre

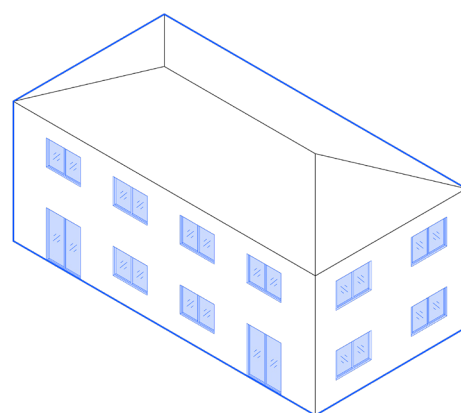
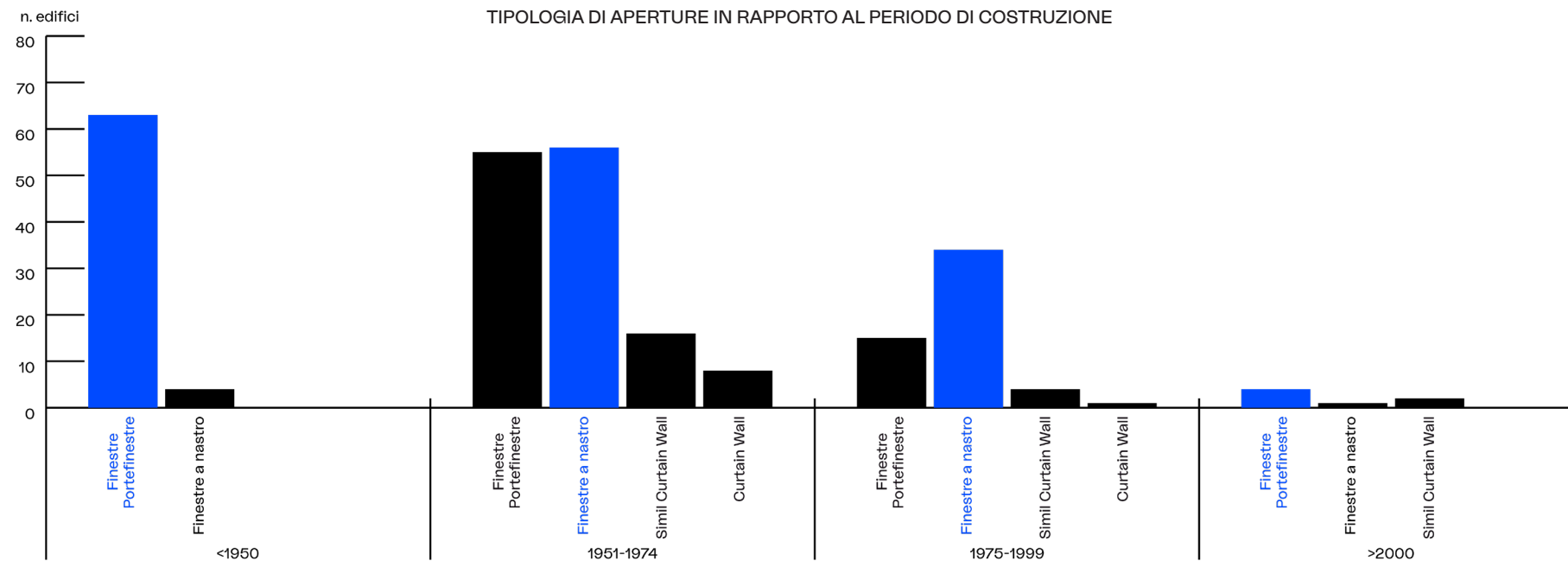


12%
75% WWR

il 75% della superficie delle pareti esterne è costituito da finestre

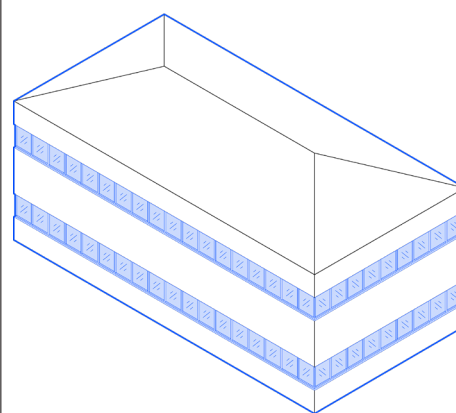
- Tipologia di aperture

La **tipologia di aperture** in un edificio, sono elementi essenziali del design architettonico che influenzano l'estetica, la funzionalità e le prestazioni dell'edificio.



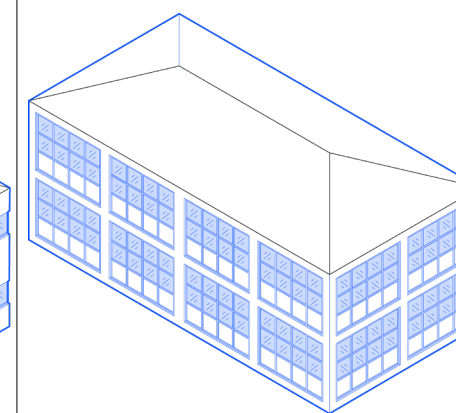
50%
Finestre/Portefinestre

aperture inserite nelle pareti dell'edificio, disponibili in varie forme e modalità di apertura



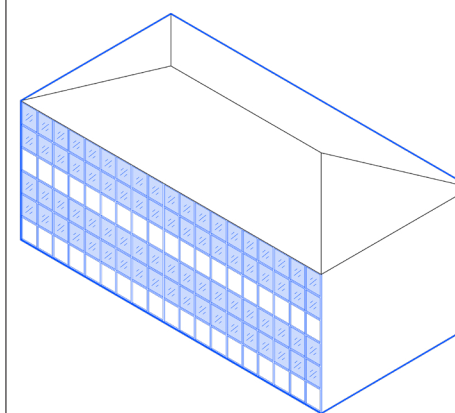
37%
Finestre a nastro

serie continua di finestre disposte in orizzontale lungo una facciata, creando un effetto di nastro



9%
Simil curtain wall

aperture inserite tra solaio e solaio composte da pannelli opachi e trasparenti

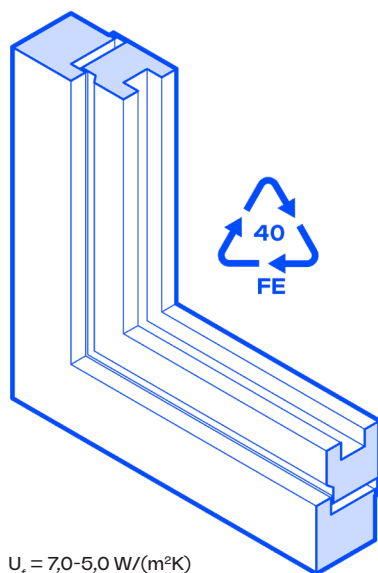
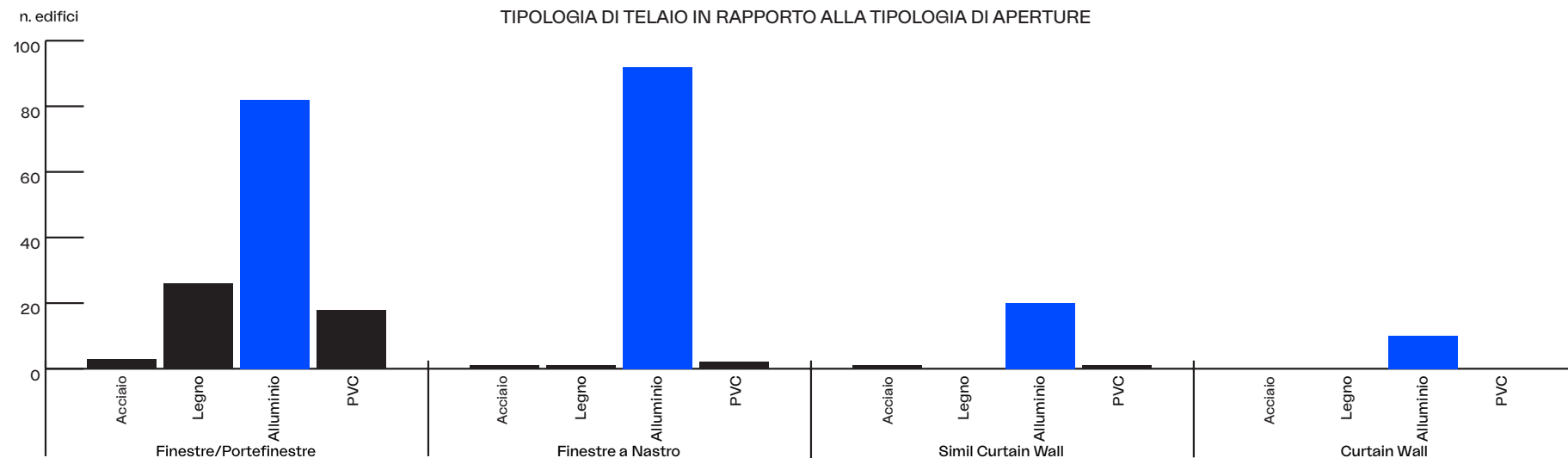


4%
Curtain wall

sistema di facciata continua fissata alla struttura dell'edificio e composta da pannelli opachi e trasparenti

- Telaio

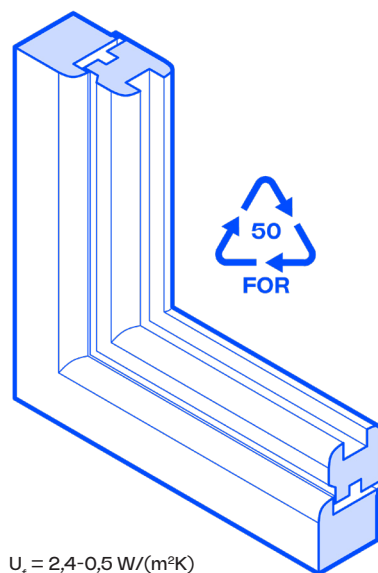
Il **telaio** è la struttura portante che circonda e sostiene le parti mobili o fisse di un'apertura. È una componente essenziale che contribuisce alla funzionalità, all'isolamento e all'estetica del serramento.



$U_f = 7,0-5,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

2%
Acciaio

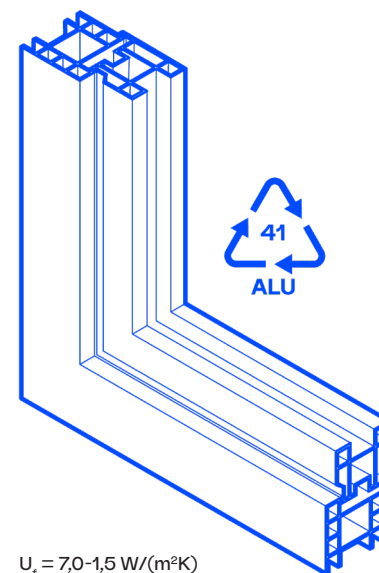
ha elevata resistenza e durabilità, adatto per grandi aperture e carichi pesanti. È molto pesante e richiede trattamenti anticorrosione



$U_f = 2,4-0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

11%
Legno

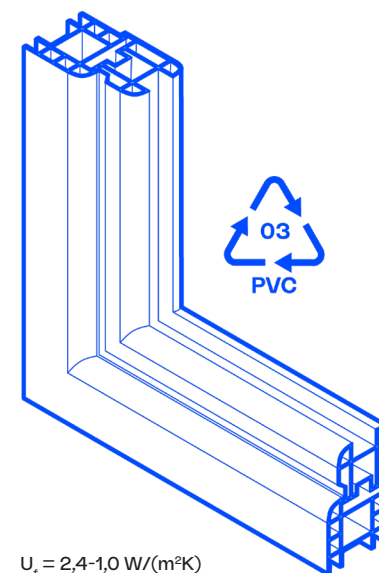
aspetto caldo e naturale, buone proprietà isolanti termiche e acustiche. Richiede manutenzione periodica per resistere agli agenti atmosferici e parassiti



$U_f = 7,0-1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

79%
Alluminio

leggero, resistente alla corrosione, durevole e richiede poca manutenzione



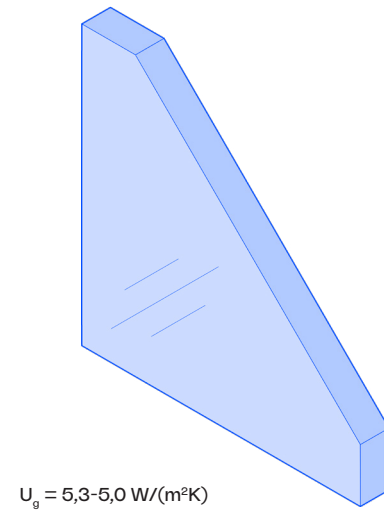
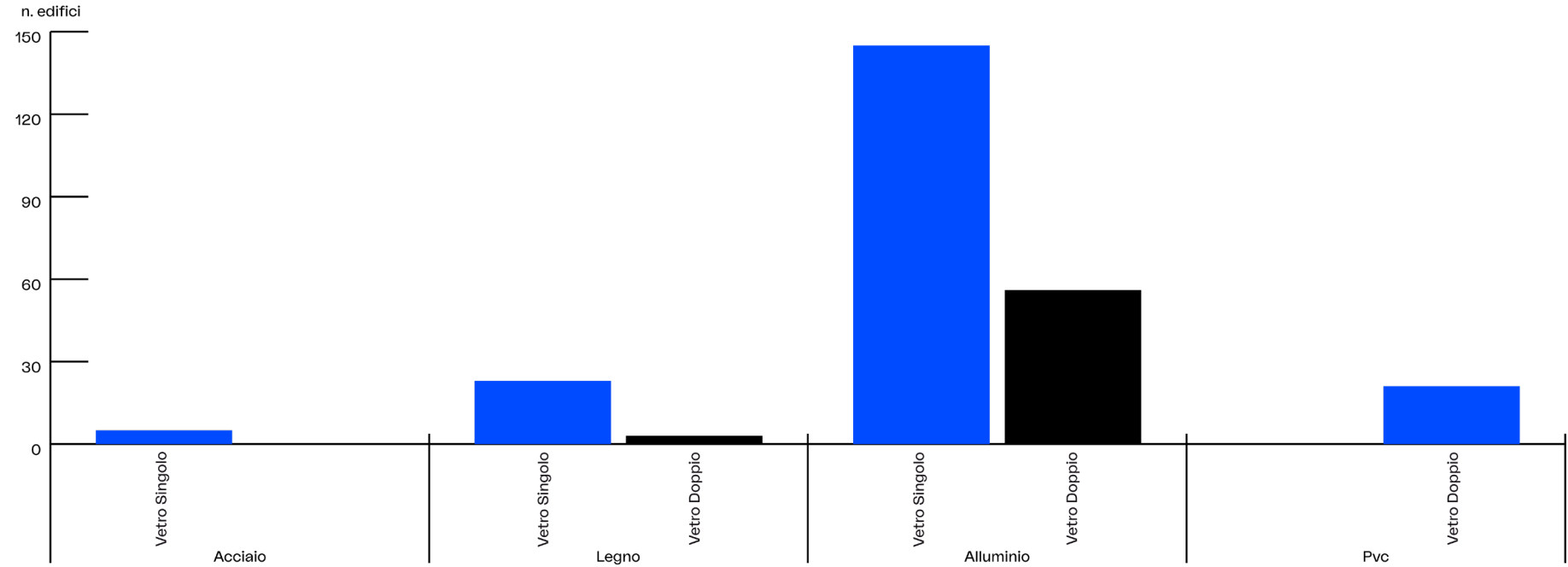
$U_f = 2,4-1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

8%
Pvc

buone proprietà isolanti, resistenza agli agenti atmosferici, bassa manutenzione e costo relativamente basso

- Vetro

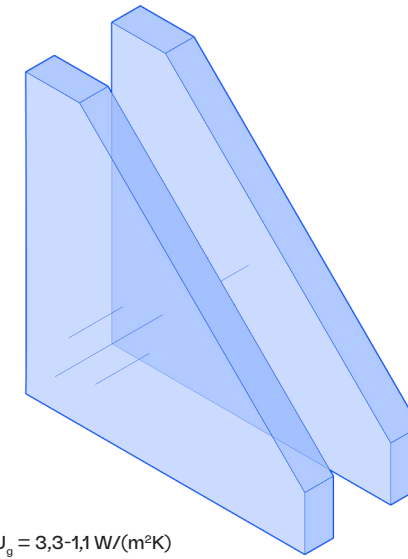
Il **vetro** nei serramenti è il materiale trasparente o semi-trasparente installato all'interno del telaio di finestre, porte e altre aperture. È un elemento fondamentale per l'illuminazione naturale, la vista esterna e l'isolamento termico e acustico.



$U_g = 5,3-5,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

68%
Vetro singolo

singola lastra di vetro, offre scarse proprietà isolanti sia termiche che acustiche



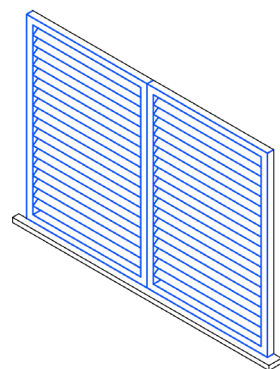
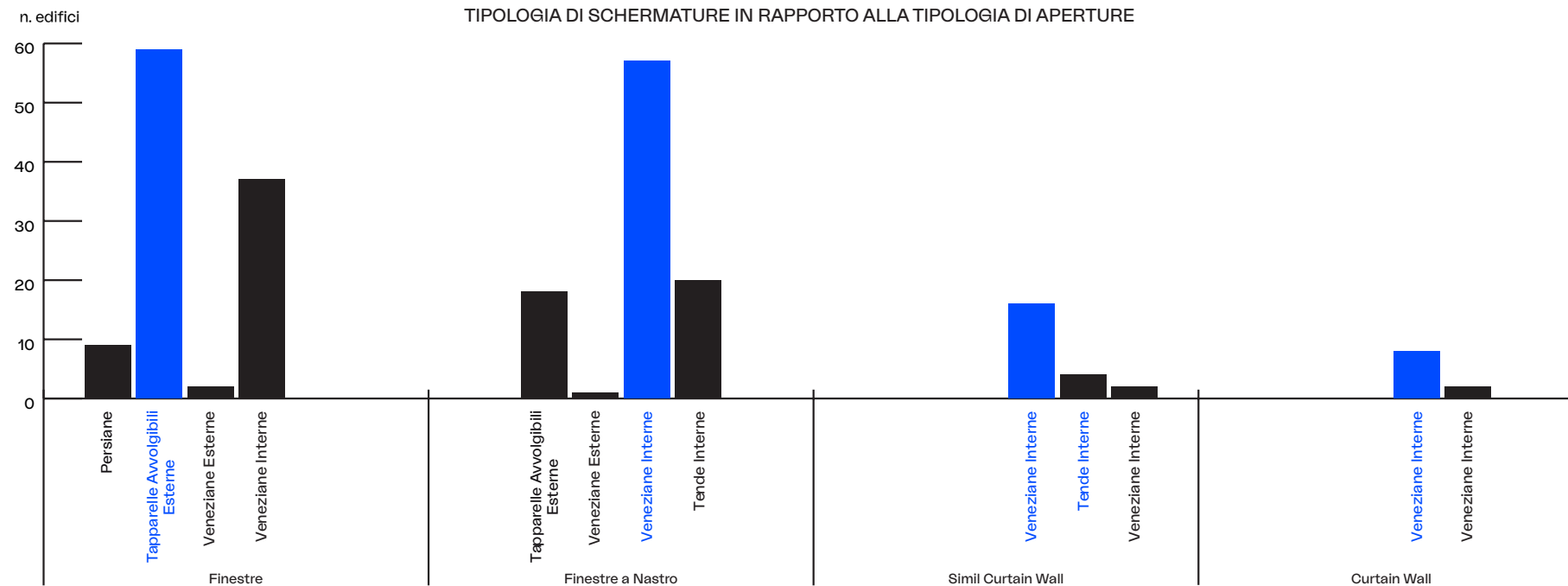
$U_g = 3,3-1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

32%
Doppio vetro

due lastre di vetro separate da un'intercapedine riempita d'aria o gas (argon o kryton), sigillate ermeticamente

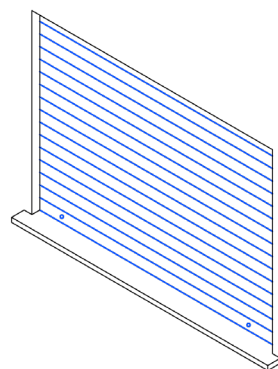
3.4 Le schermature

Le **schermature** descrivono la tecnologia che permette di controllare la quantità di luce solare e calore che entra attraverso le superfici vetrate. È un elemento importante per il riconoscimento del potenziale di trasformazione in quanto svolgono un ruolo cruciale nel migliorare l'efficienza energetica, il comfort abitativo e la protezione degli interni dagli effetti nocivi del sole.



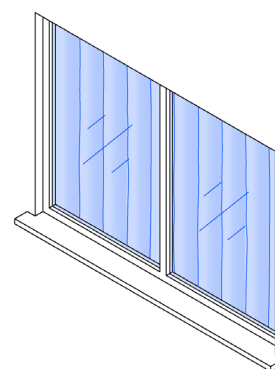
4%
Persiane

schermature rigide fissate all'esterno delle finestre in legno, metallo o pvc, con lamelle regolabili o fisse



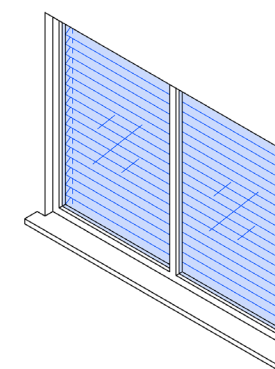
30%
Tapparelle avvolgibili esterne

schermature flessibili costituite da lamelle di pvc, alluminio o acciaio che si avvolgono in un cassonetto posizionato sopra le finestre



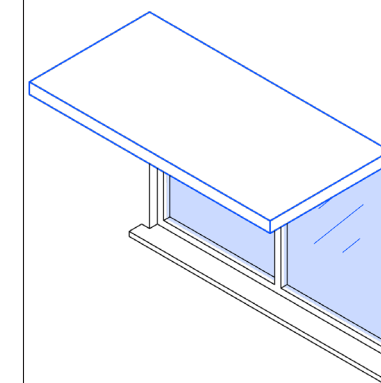
19%
Tende interne

tessuti o materiali leggeri montati su un'asta o un binario



45%
Veneziane

schermature interne costituite da lamelle orizzontali regolabili in metallo, legno o pvc, montate su un sistema di corde



1%
Aggetti esterni

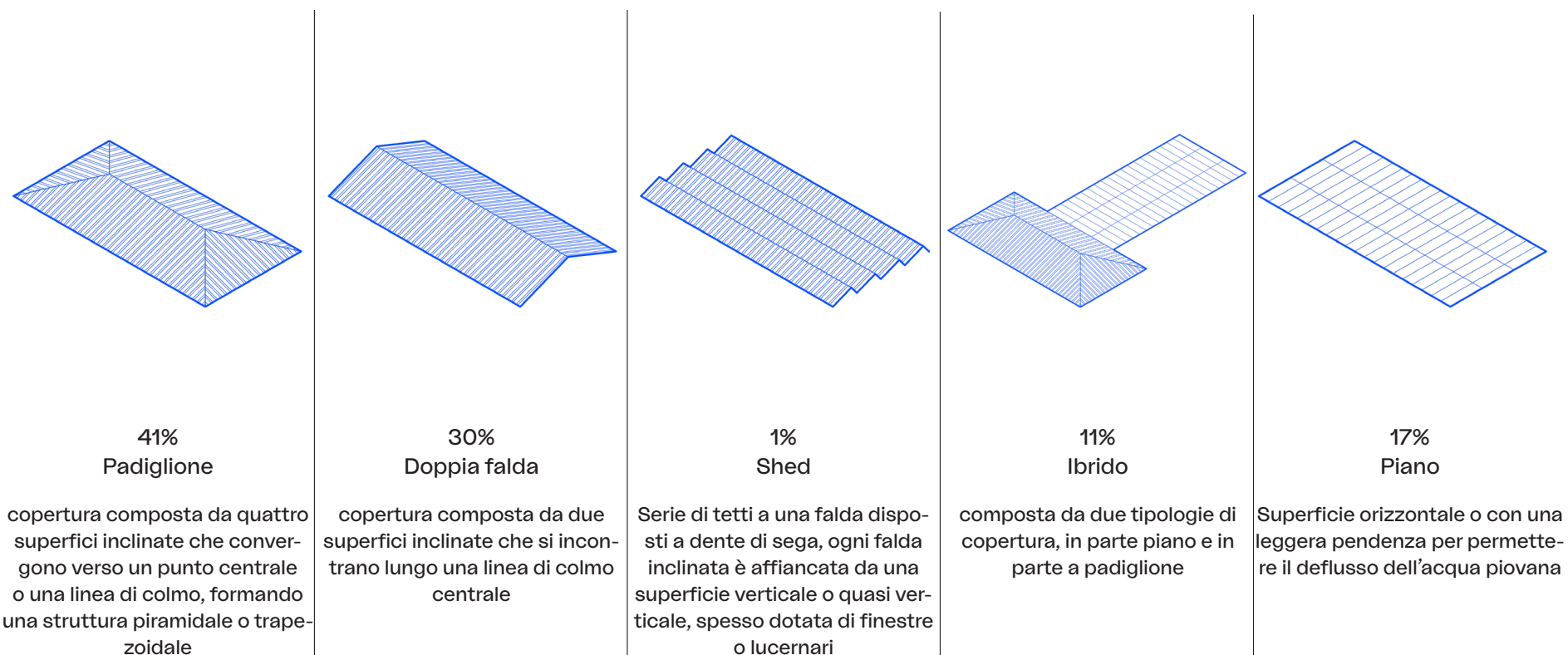
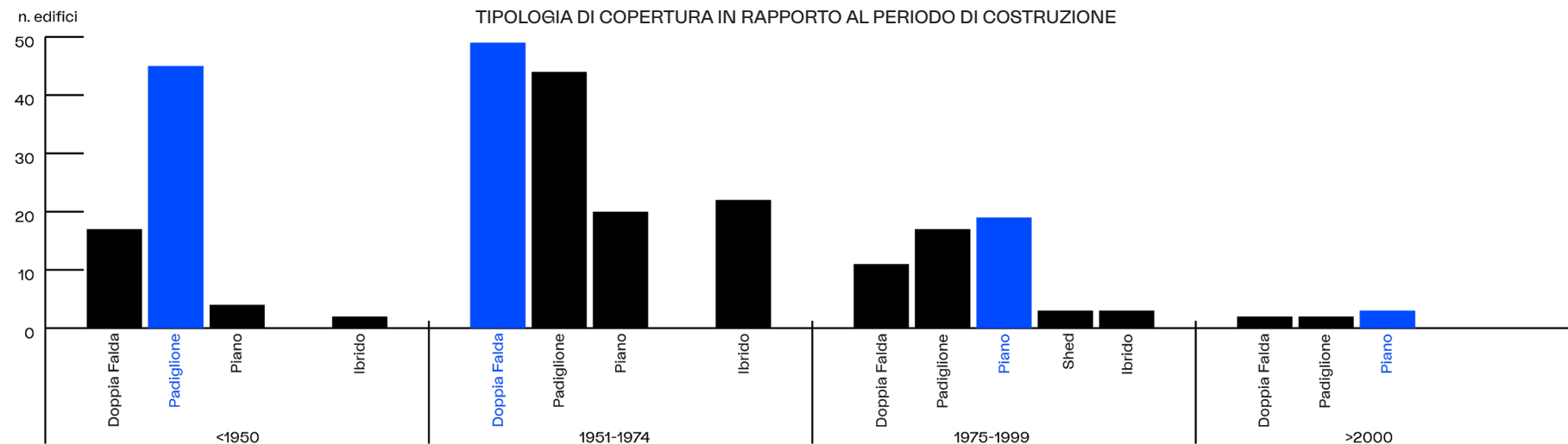
strutture sporgenti progettate per fornire ombra e ridurre l'irraggiamento solare diretto sulle finestre

3.5 Il tetto

Il **tetto** descrive la tecnologia costruttiva che copre e protegge la parte superiore dell'edificio dagli agenti atmosferici. È un elemento importante per il riconoscimento del potenziale di trasformazione perchè oltre ad avere un ruolo fondamentale nell'efficienza energetica e nell'estetica dell'edificio, è la sede principale di tecnologie per la produzione di energia rinnovabile.

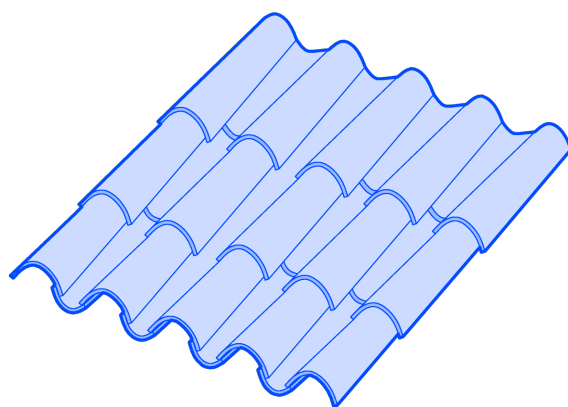
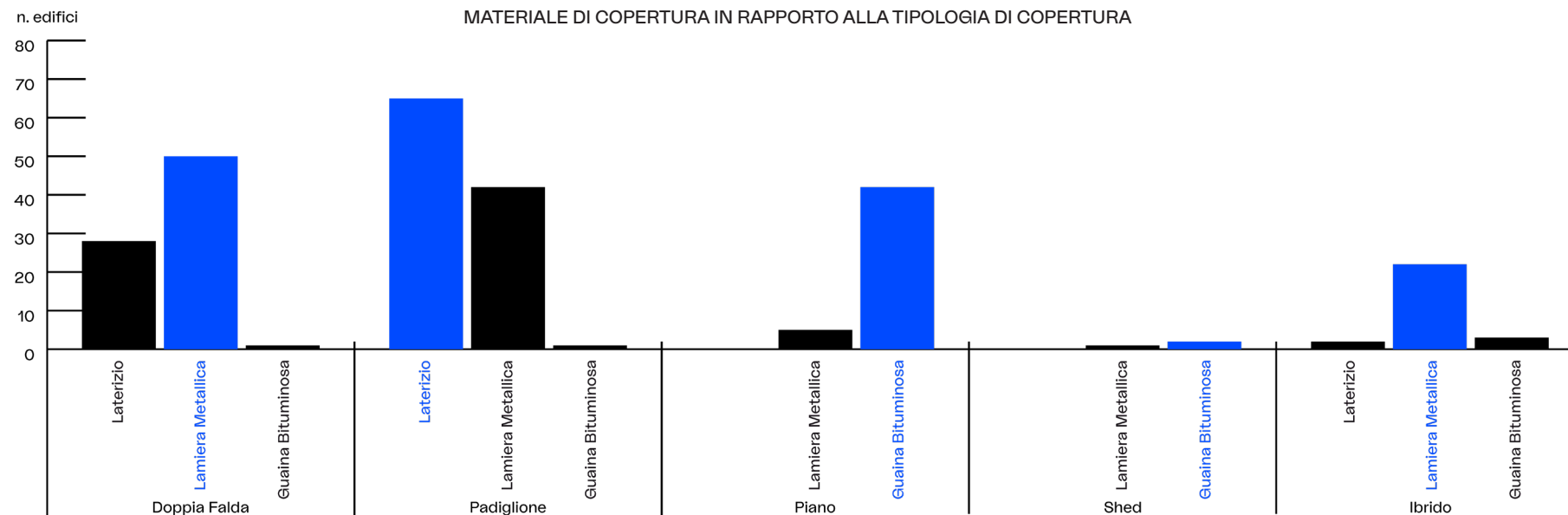
- Tipologia di copertura

la **tipologia di copertura** ha un ruolo significativo nell'efficienza energetica, nell'estetica e nella funzionalità della costruzione



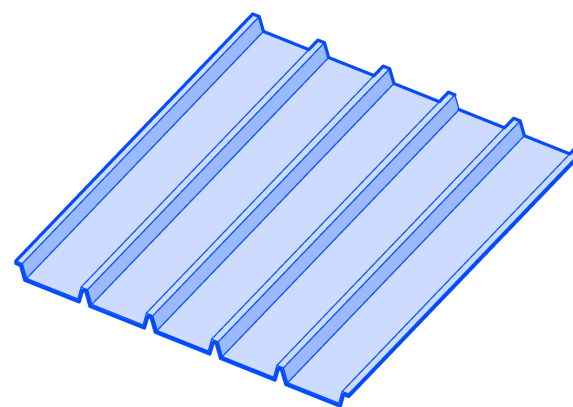
- Materiale di copertura

Il **materiale di copertura** influisce notevolmente sull'estetica, la durabilità, l'isolamento termico, acustico e la manutenzione dell'edificio.



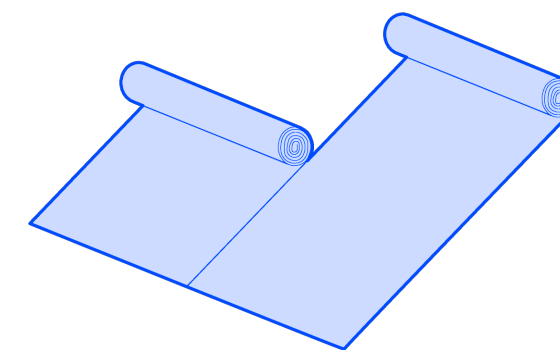
35%
Laterizio

sono realizzate con tegole di argilla cotta, possono assumere varie forme e dimensioni, come coppi, marsigliesi, portoghesi e olandesi



47%
Lamiera metallica

sono realizzate con lamiere di metallo come acciaio zincato, alluminio, rame o zinco. Possono essere lisce o ondulate e sono spesso rivestite con vernici protettive

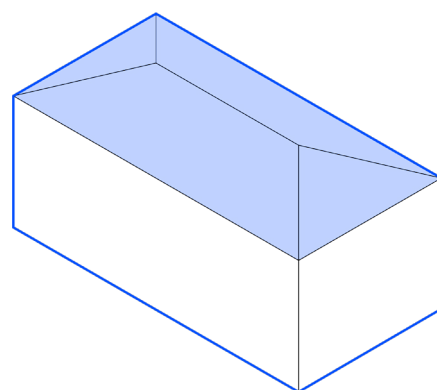
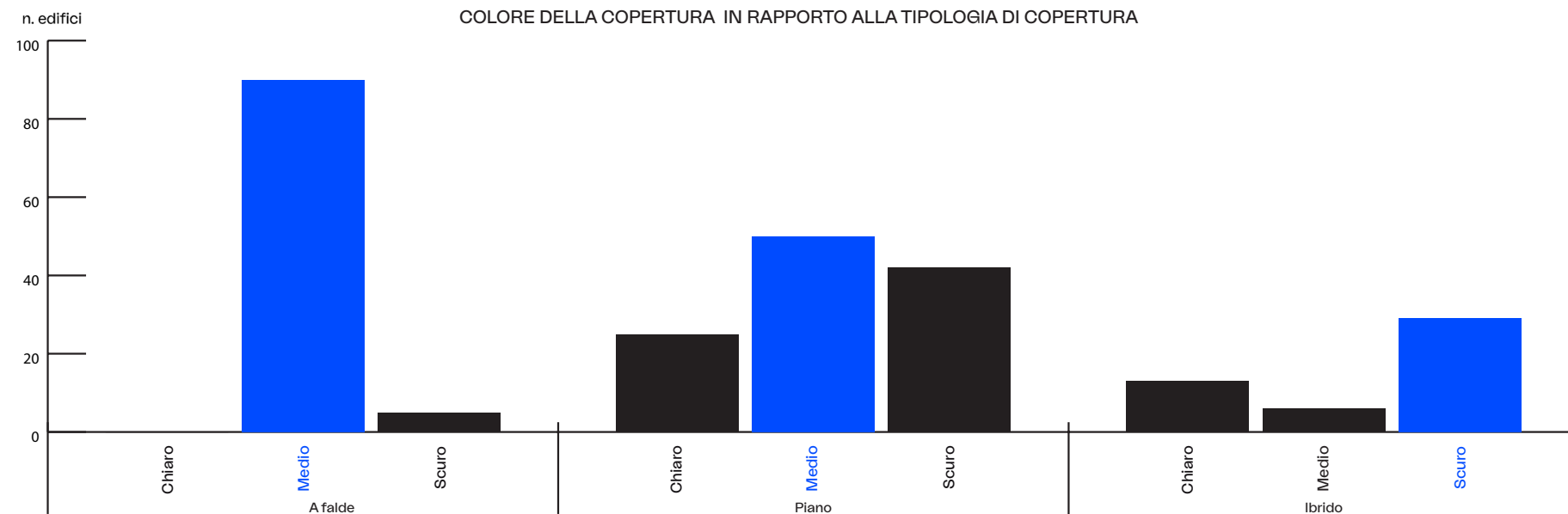


18%
Guaina bituminosa

sono membrane impermeabilizzanti realizzate con bitume, spesso rinforzate con tessuti di fibra di vetro o poliestere e applicate su tetti piani o con bassa pendenza.

- Colore della copertura

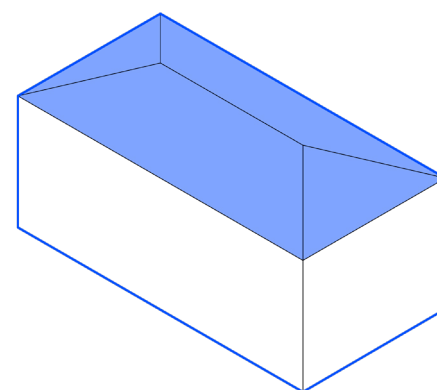
Il **colore della copertura** si riferisce alla tonalità della finitura superficiale dei materiali utilizzati per la copertura di un edificio. La scelta è influenzata da vari fattori estetici e funzionali, tra cui l'efficienza energetica, l'integrazione con l'ambiente circostante e le normative locali.



$$\alpha_s = 0,3$$

15%
Chiaro

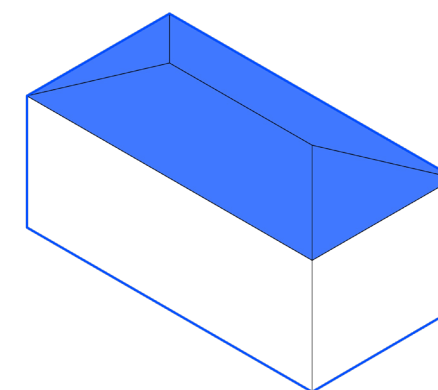
riflettono la maggior parte della luce solare, riducendo l'assorbimento di calore



$$\alpha_s = 0,6$$

56%
Medio

offrono un equilibrio tra riflettanza e assorbimento di calore



$$\alpha_s = 0,9$$

29%
Scuro

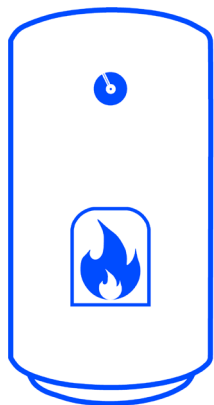
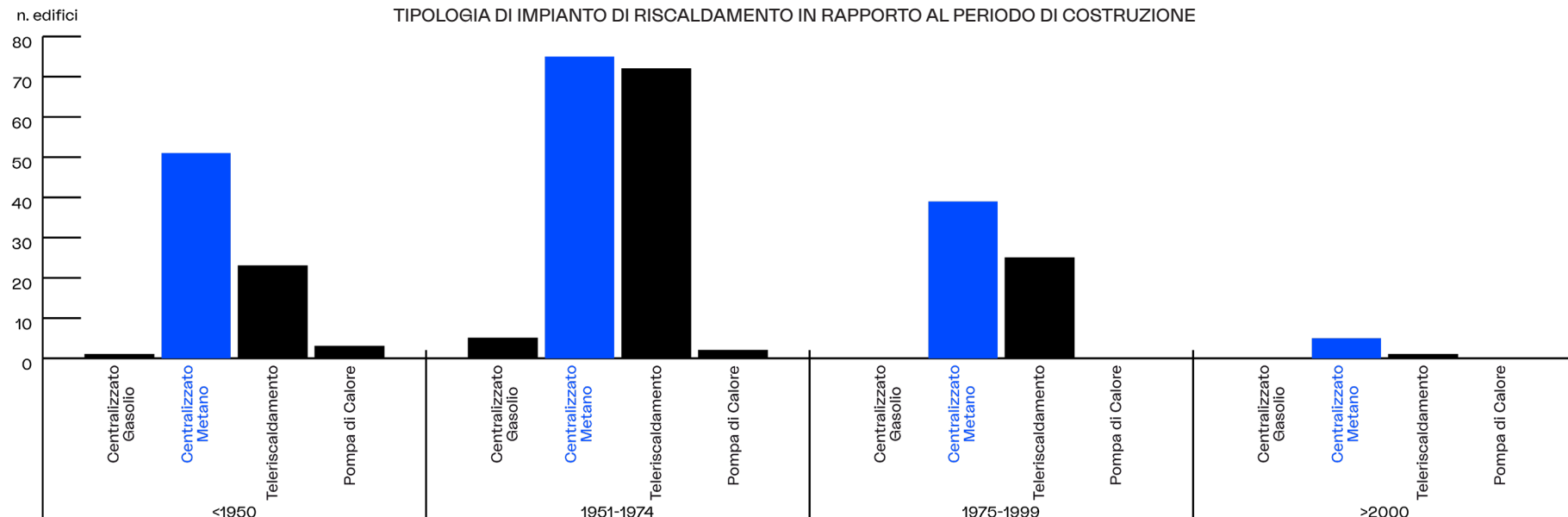
assorbono la maggior parte della luce solare, aumentando l'assorbimento di calore

4. Tipologia di impianto

La **tipologia di impianto** si riferisce ai sistemi tecnologici che forniscono e gestiscono vari servizi all'interno dell'edificio. Sono essenziali per il funzionamento quotidiano dell'edificio, soddisfacendo esigenze di comfort e efficienza energetica

4.1 Riscaldamento

Un **impianto di riscaldamento** è un sistema progettato per aumentare la temperatura degli ambienti all'interno di un edificio, garantendo comfort e un adeguato livello di calore durante i periodi freddi.

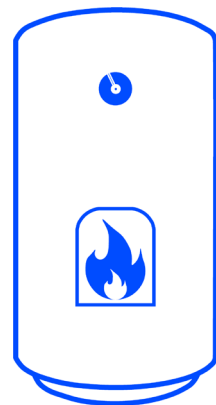


$\eta = 0,82$

2%

Centralizzato Gasolio

il calore viene prodotto bruciando gasolio per scaldare l'acqua all'interno di una caldaia

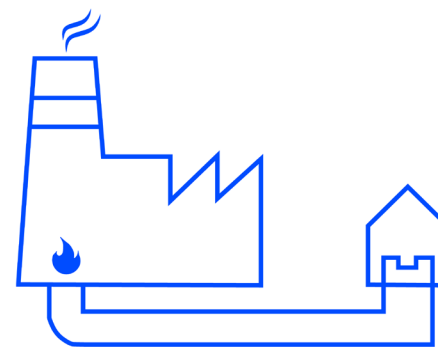


$\eta = 0,95$

56%

Centralizzato Metano

il calore viene prodotto bruciando metano per scaldare l'acqua all'interno di una caldaia

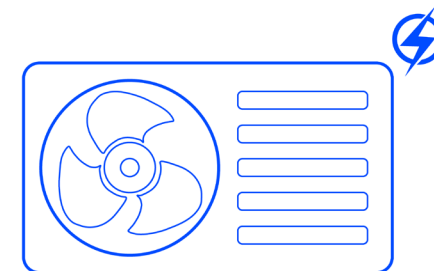


$\eta = 0,90$

40%

Teleriscaldamento

il calore viene prodotto in una centrale termica centralizzata e poi distribuito attraverso una rete di tubazioni sotterranee a diversi edifici e unità abitative



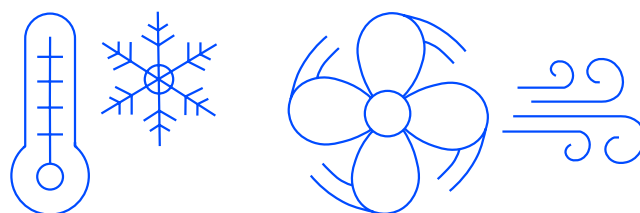
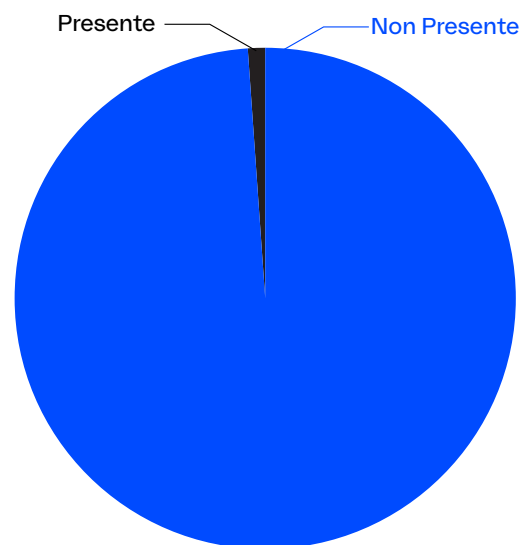
cop = 3

2%

Pompa di Calore

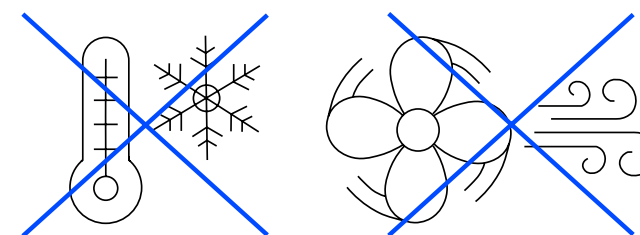
4.2 Condizionamento e Ventilazione

Un **impianto di condizionamento/ventilazione** è progettato per migliorare il comfort ambientale all'interno di un edificio, gestendo la temperatura, l'umidità e la qualità dell'aria. Servono a garantire condizioni di vita e lavoro ottimali, soprattutto in ambienti ad alta densità lavorativa.



0,1%
Presente

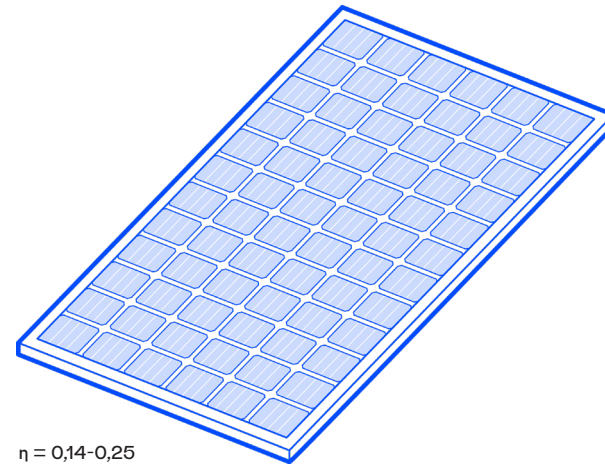
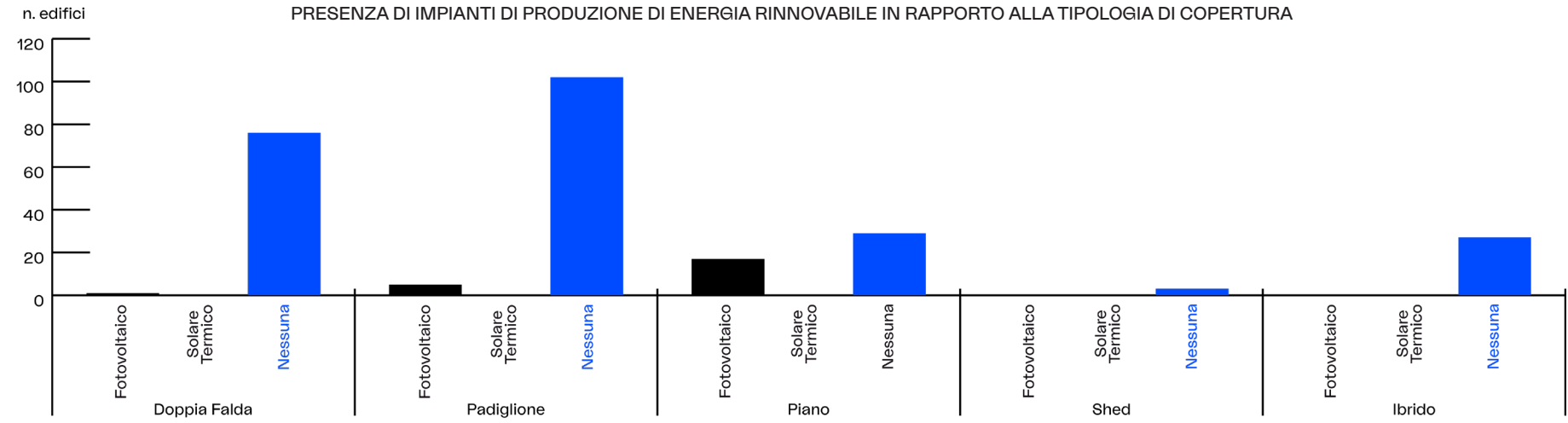
garantisce il comfort termico e un ricambio adeguato dell'aria



99,9%
Non presente

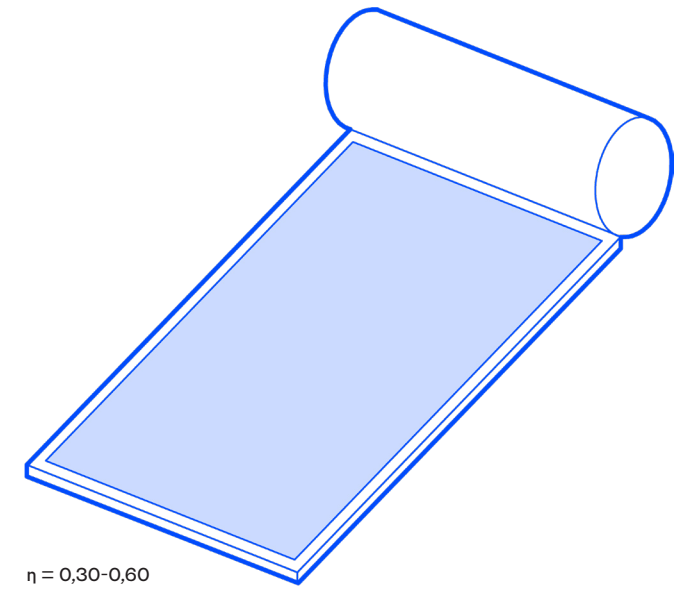
4.3 Rinnovabili

Un **impianto di produzione di energia rinnovabile** è un sistema progettato per generare energia utilizzando fonti rinnovabili, presenti in natura, riducendo così la dipendenza dalle fonti energetiche convenzionali, abbattendo costi e impatto ambientale.



9%
Fotovoltaico

tecnologia che converte direttamente l'energia solare in energia elettrica

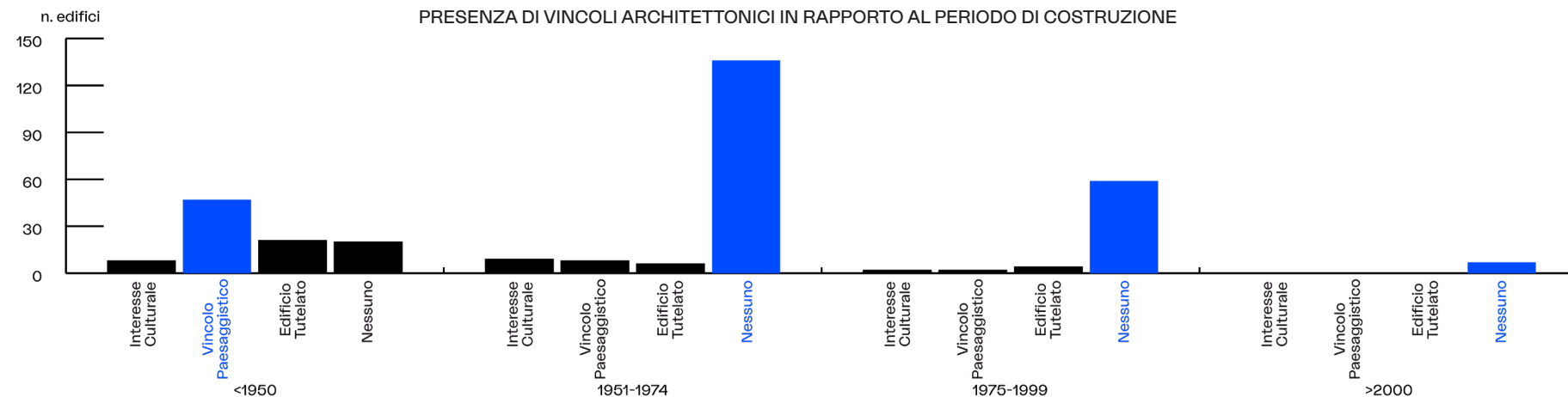


0%
Solare Termico

tecnologia che converte direttamente l'energia solare in energia termica

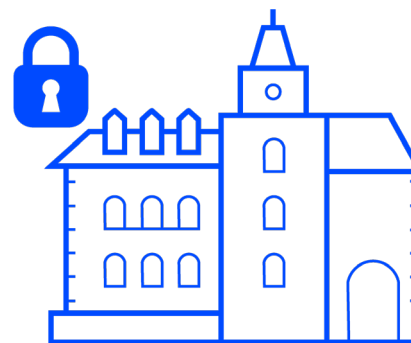
5. La presenza di vincoli architettonici

La **presenza di vincoli architettonici** su un edificio si riferisce a restrizioni e limitazioni imposte sul design, volte a conservare le caratteristiche originali, come facciate, decorazioni, materiali e layout interni. È un elemento importante per il riconoscimento del potenziale di trasformazione perchè costituisce uno dei vincoli principali ad ogni operazione di trasformazione. Richiede l'applicazione di soluzioni creative e un'attenta selezione dei materiali, per migliorare l'efficienza energetica e per l'integrazione di impianti moderni senza alterare l'aspetto storico dell'edificio.



7%
Vincolo Paesaggistico

restrizione imposta su un'area geografica specifica al fine di preservarne il valore estetico, storico o naturale



19%
Edificio Tutelato

immobile riconosciuto come avente particolare valore storico, artistico o architettonico e, pertanto, sottoposto a misure di protezione specifiche. Qualsiasi intervento sull'edificio, come ristrutturazioni, restauri o modifiche strutturali, deve essere approvato da autorità competenti

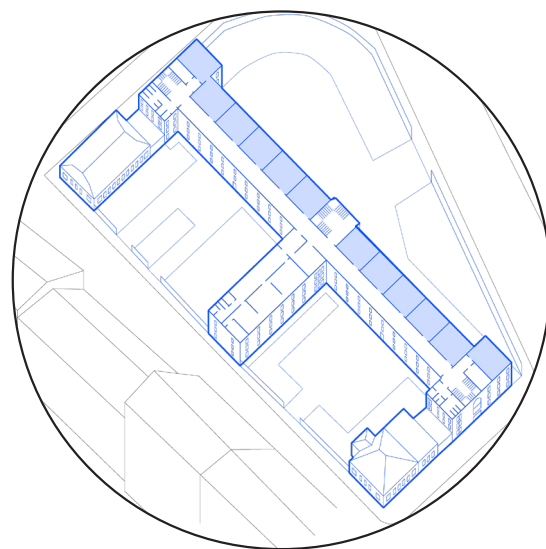


10%
Vincolo Interesse Culturale

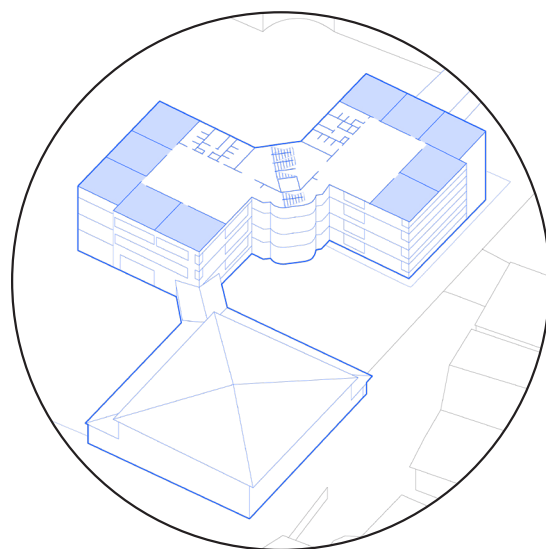
designazione che può essere attribuita a beni mobili o immobili che hanno un particolare valore culturale, storico, artistico o archeologico. Sono soggetti a specifiche restrizioni per garantire la loro conservazione e protezione.

La selezione degli archetipi

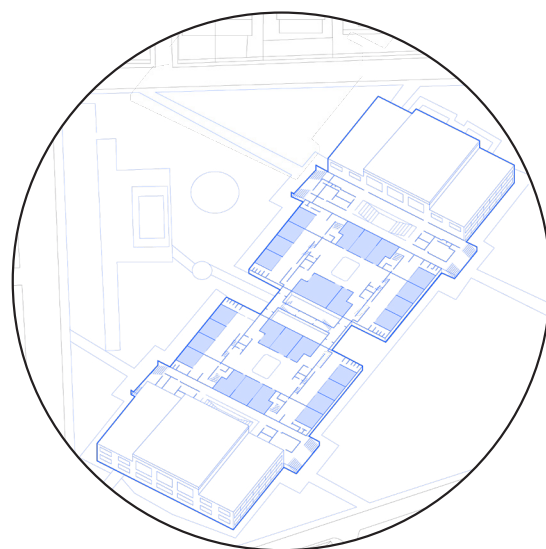
3.3



<1950
La scuola aula



1951-1974
La scuola cluster



1975-1999
La scuola piattaforma

Un edificio archetipo, è una costruzione che incarna le caratteristiche essenziali di una tipologia specifica di edifici, fungendo da modello per gli altri della stessa categoria, rappresentando una sorta di “esempio ideale”.

All'interno di un campione di edifici scolastici, un edificio archetipo è quello che meglio rappresenta le caratteristiche fondamentali della tipologia presa in esame.

Le combinazioni tra le categorie funzionali, strutturali, tecnologiche e di impianto analizzate, sono utili per individuare le principali tipologie di edifici che caratterizzano il patrimonio edilizio della scuola italiana. Per descrivere in maniera pressoché esaustiva questo patrimonio, sono necessarie molte meno tipologie di quante ne risulterebbero dalla combinazione tra tutte le categorie proposte. Gli edifici scolastici, infatti, sono il frutto di stagioni normative, politiche, culturali e tecniche succedutesi nel corso degli anni, ciascuna caratterizzata da una certa omogeneità e ripetitività della produzione edilizia.⁵⁴ Gli edifici precedenti al 1950, tra il 1951 e il 1974 e tra il 1975 e il 1999 costituiscono insieme il 98% dell'infrastruttura scolastica torinese esistente. Per tale motivo, al fine di coprire la totalità del campione, è stato scelto un edificio per ciascuno dei periodi analizzati; ad eccezione di quelli

costruiti dopo il 2000 in quanto presenti in una percentuale non rappresentativa. Inoltre, la loro recente costruzione li rende meno o non problematici rispetto alle stagioni precedenti. Ogni archetipo, al fine di essere l'edificio più rappresentativo della stagione edilizia di riferimento, unisce le caratteristiche più frequenti all'interno di ogni categoria. In alcuni casi, sono state introdotte variazioni al fine di evitare ripetizioni, differenziando e aumentando il numero di caratteristiche da analizzare.

Questo fa sì che i ragionamenti effettuati sul singolo edificio, possano essere scalati per intero o almeno in parte sulla quasi totalità del campione preso in esame. Tutti e tre gli archetipi selezionati sono scuole del primo ciclo, questo perché assieme a quelle dell'infanzia costituiscono la maggior parte dell'infrastruttura scolastica torinese (circa 300 edifici su 380) ed è particolarmente rilevante per almeno due motivi.

Il primo è che tutti questi edifici sono, nell'ordinamento attuale, gestiti dalla municipalità, quindi il fatto che un solo

54. Barioglio, C. & Campobenedetto, D. (2021). Re-school: ripensare la scuola a partire dagli spazi. *Tipologie ricorrenti di edifici scolastici*, pp. 54, 77, p. 66.

ente abbia in carico la gestione dell'intero patrimonio è un dato fondamentale per sviluppare strategie di progettualità future a scala comunale, perché permette di raccogliere i dati relativi a questi edifici sotto un unico soggetto.

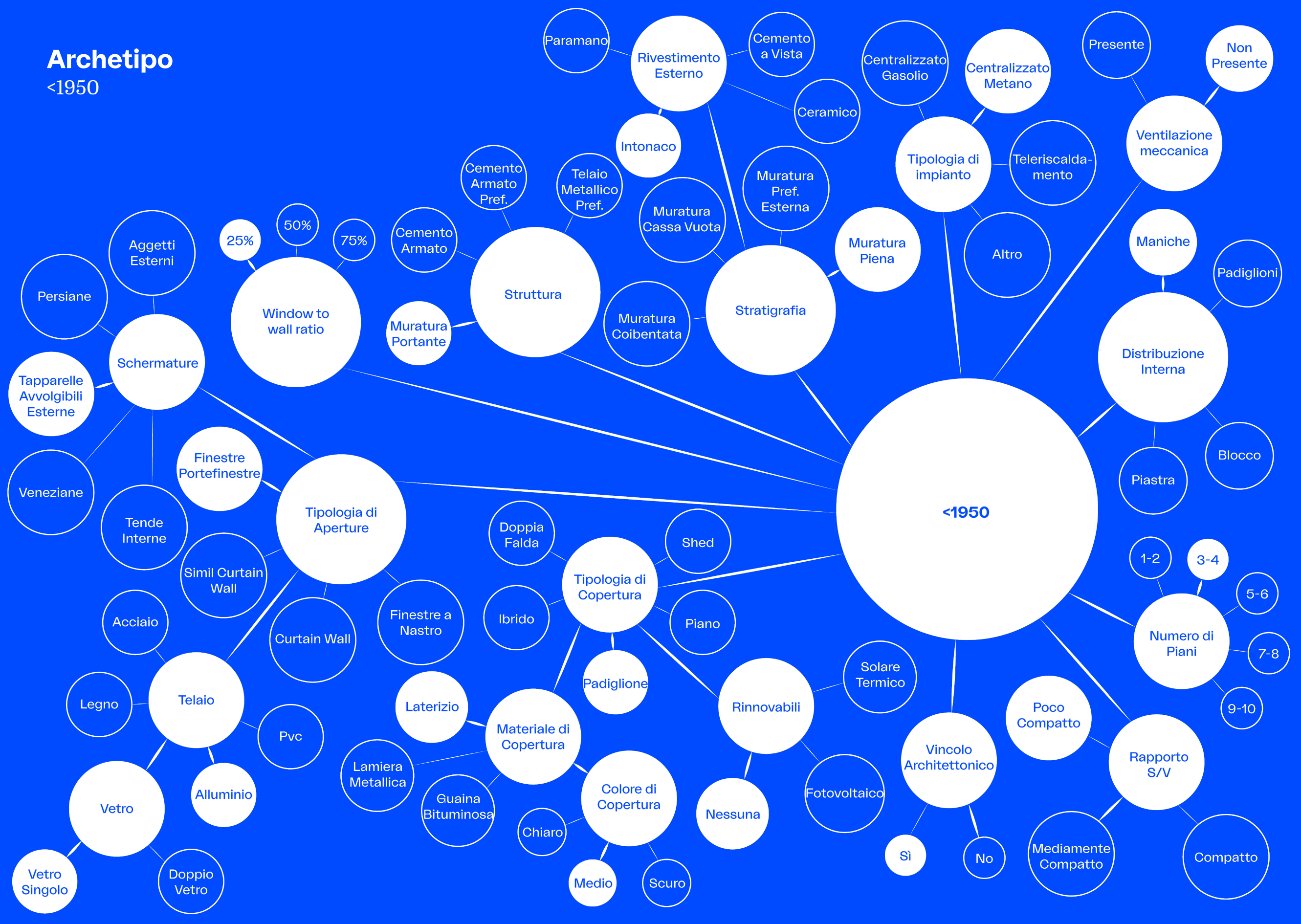
Il secondo motivo è relativo a un aspetto pedagogico. La relazione tra organizzazione dello spazio e proficuità delle attività didattiche, assume maggiore importanza durante le prime fasi del percorso formativo. Tale concetto è al centro delle sperimentazioni pedagogiche del Secondo dopoguerra, anche da parte degli uffici tecnici comunali che, in particolare nel caso delle grandi città industriali del Nord Italia, sono stati i protagonisti della progettazione della maggior parte dell'infrastruttura scolastica che oggi ereditiamo.⁵⁵

55. Barioglio, C. & Campobenedetto, D. (2022). L'infrastruttura della città. *La scuola come infrastruttura territoriale*, pp. 15, 68, p. 15.



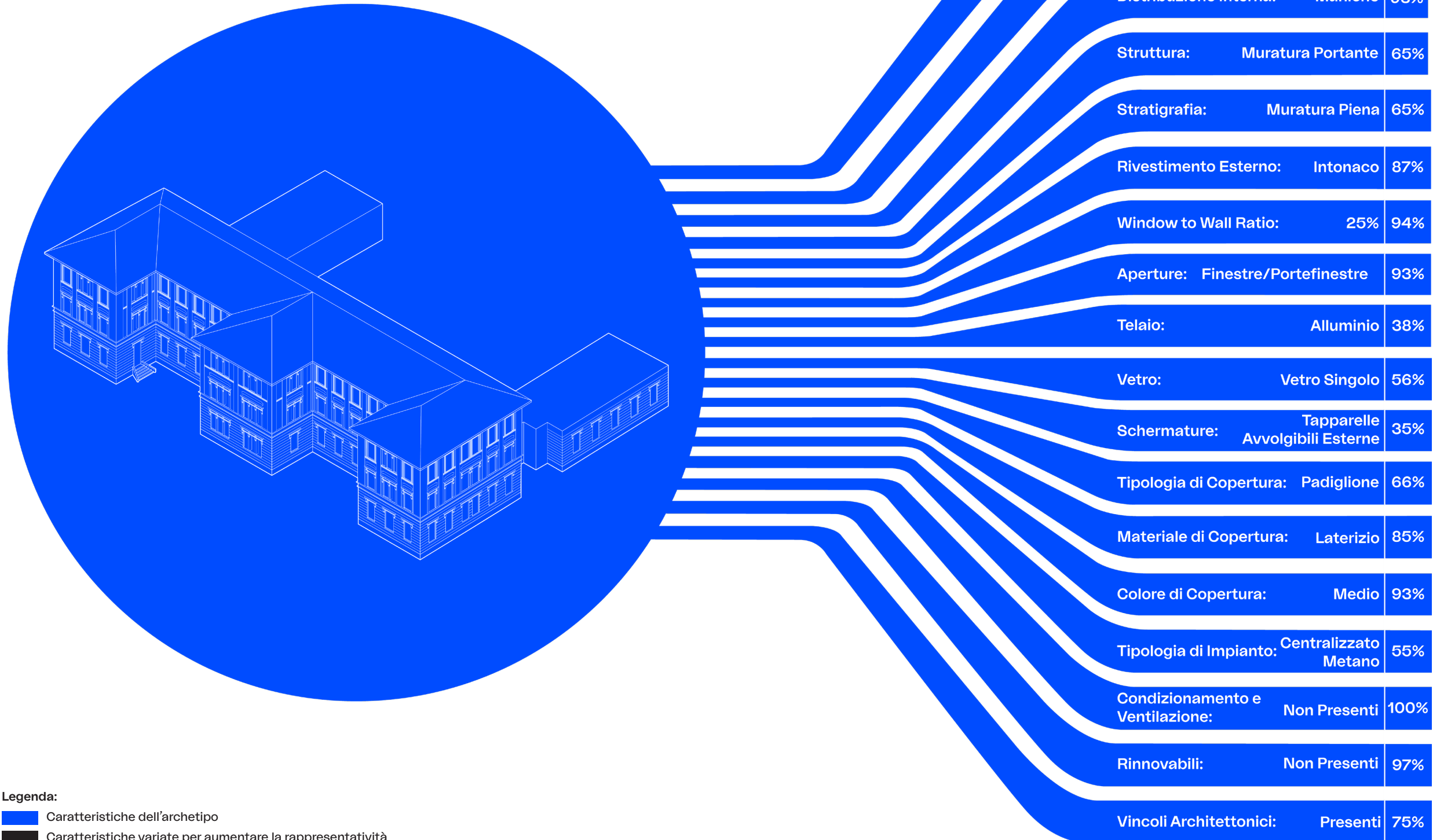
Archetipo

<1950



Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi"

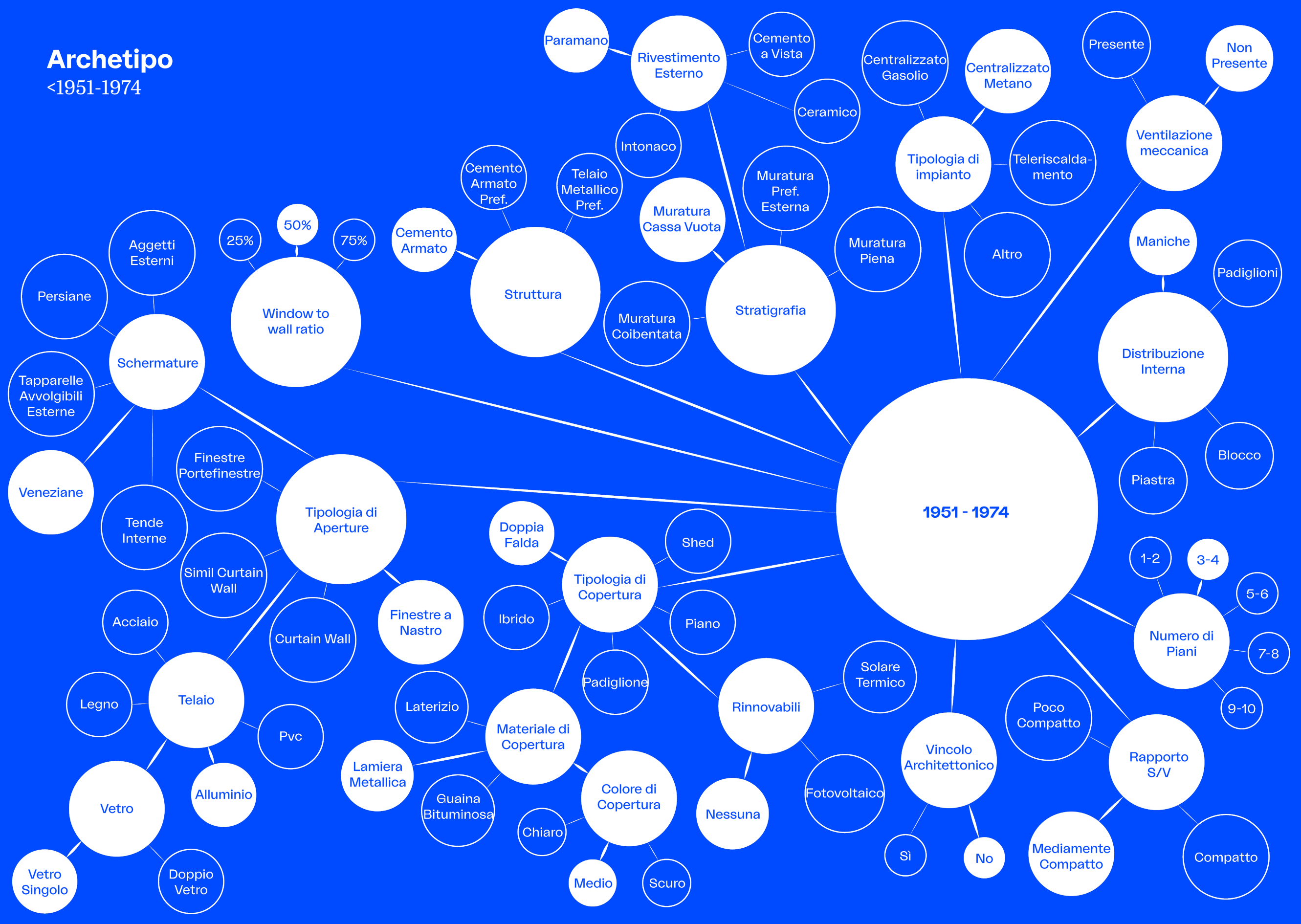
Via Antonio Banfo 32



Legenda:

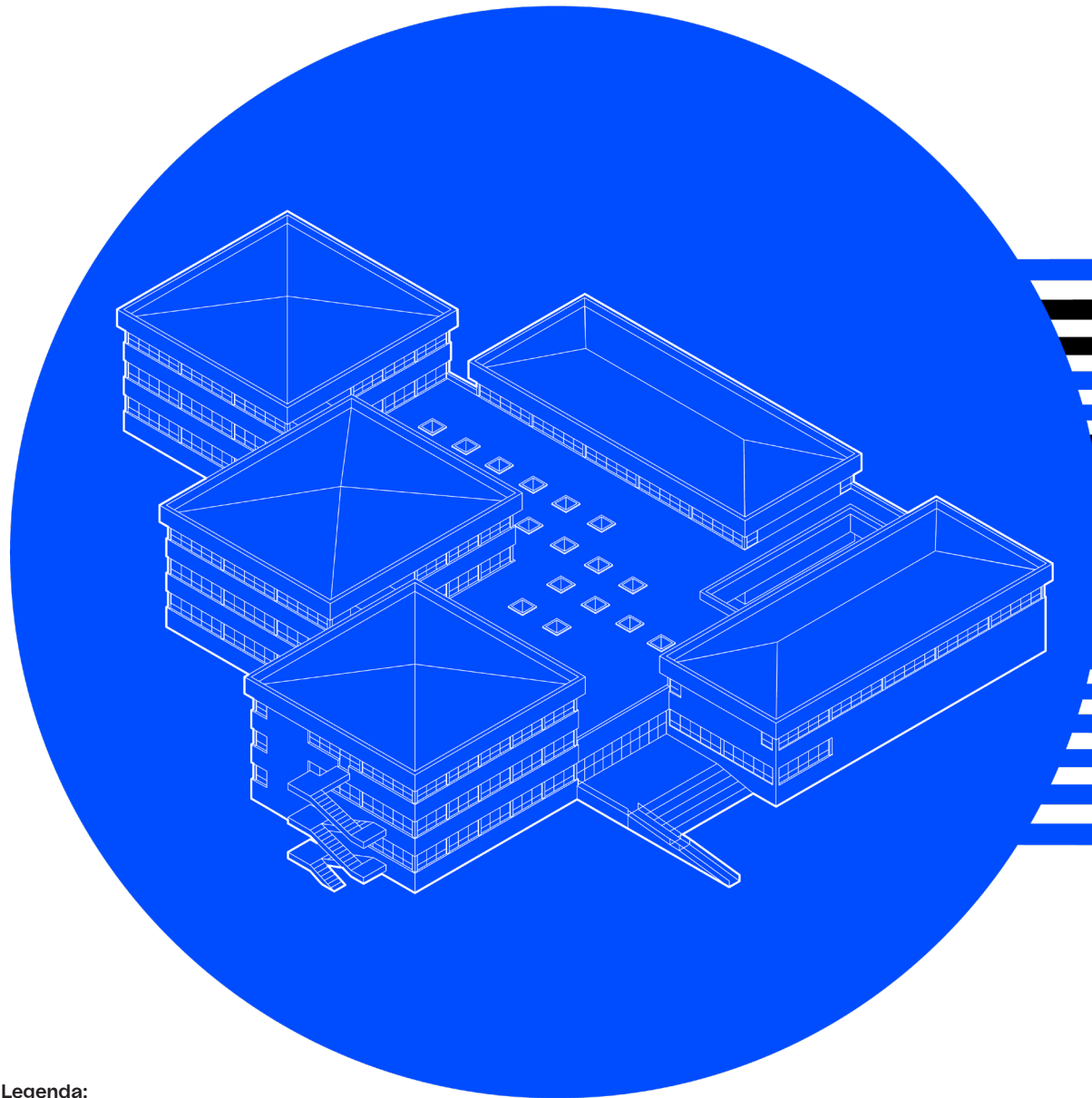
- Caratteristiche dell'archetipo
- Caratteristiche variate per aumentare la rappresentatività

Archetipo <1951-1974



Istituto Comprensivo “Leonardo Da Vinci”

Via degli Abeti 13, Modello “Alberti”



Legenda:

■ Caratteristiche dell'archetipo

■ Caratteristiche variate per aumentare la rappresentatività

Caratteristiche pre variazione:

Rapporto S/V: Mediamente Compatto 54%

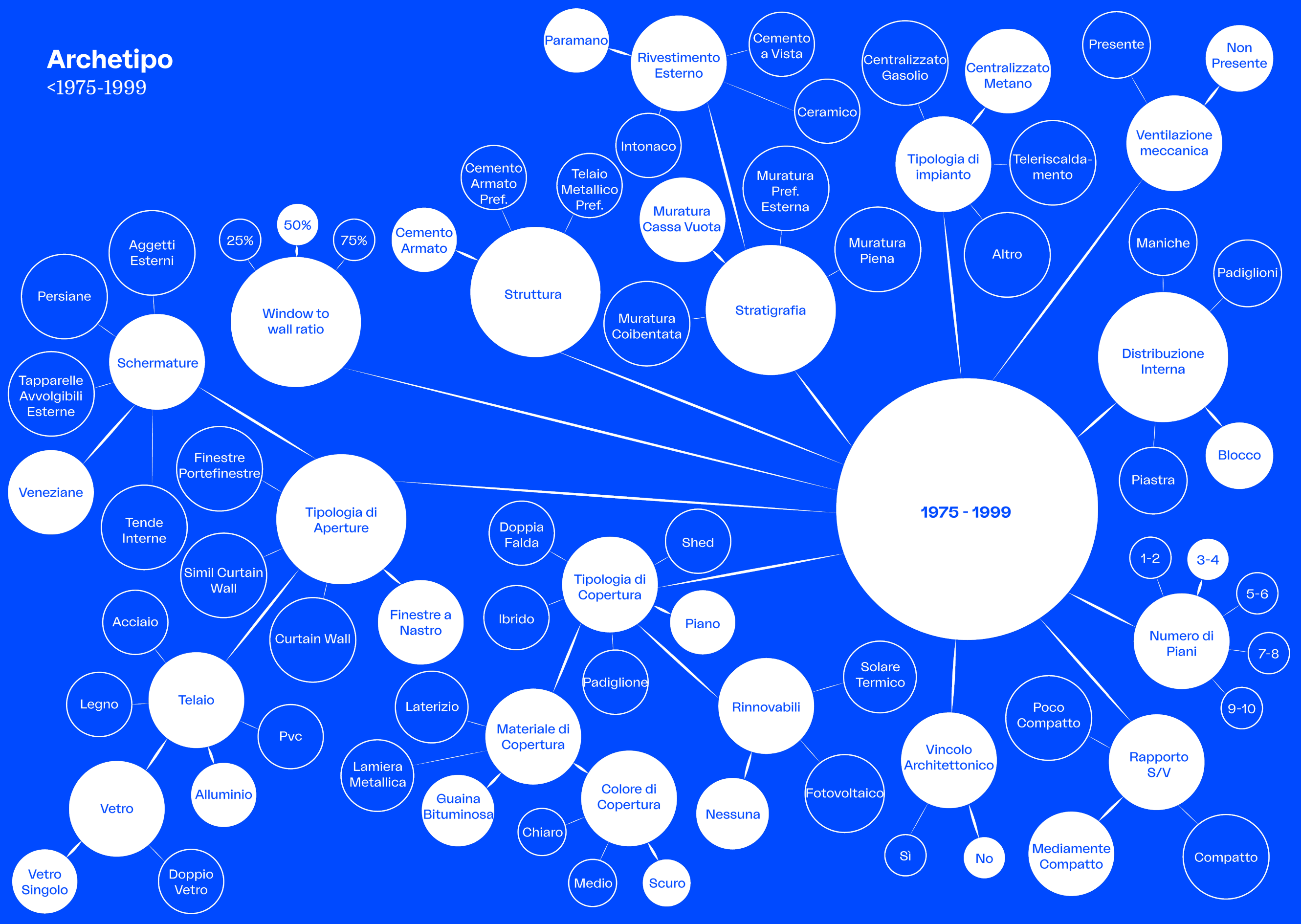
Distribuzione Interna: Maniche 59%

Rivestimento Esterno: Paramano 54%

Tipologia di Copertura: Doppia Falda 36%

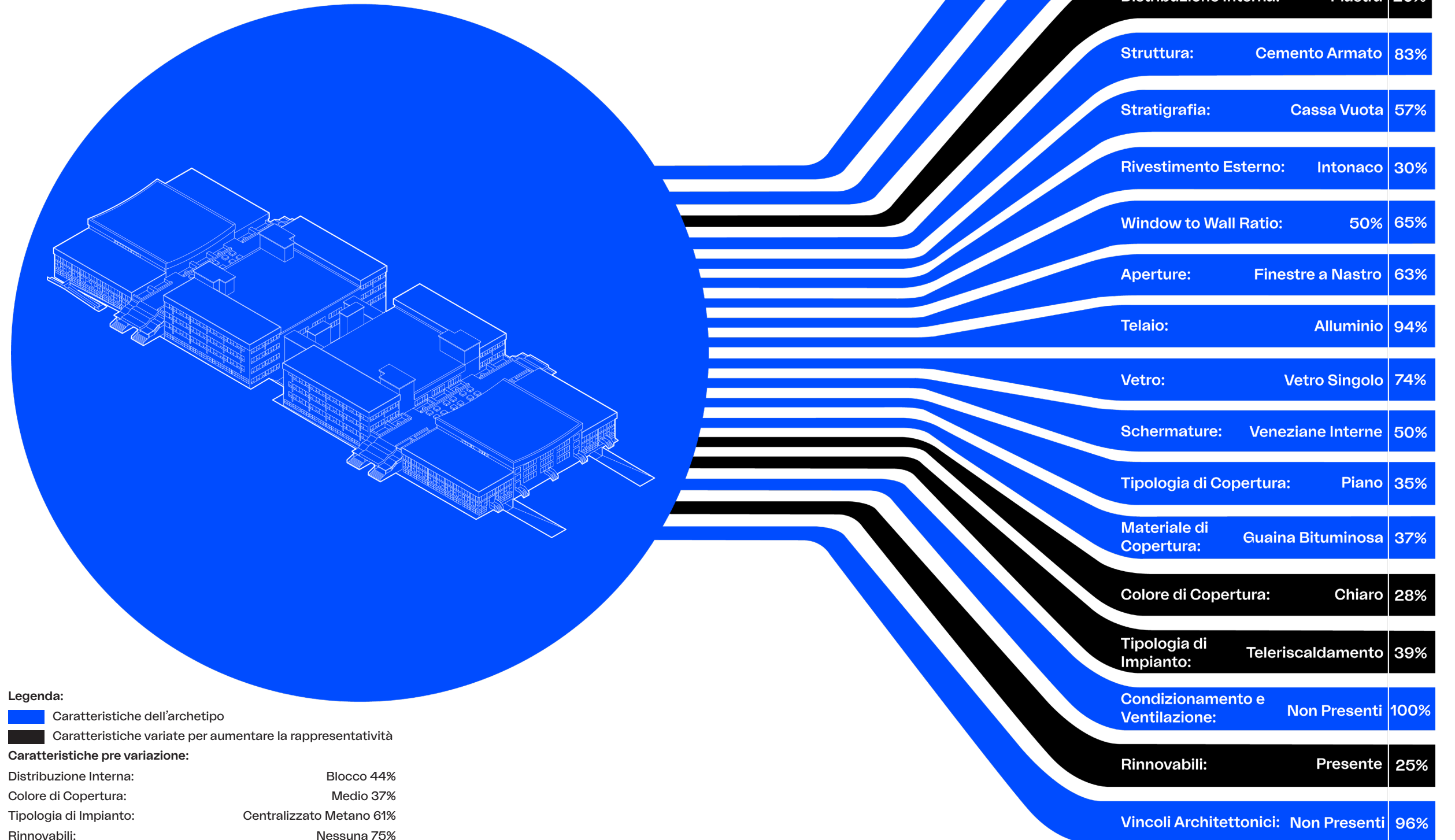
Numero di Piani:	3-4 piani fuori	52%
Rapporto S/V:	Compatto	12%
Distribuzione Interna:	Blocco	16%
Struttura:	Cemento Armato	81%
Stratigrafia:	Cassa Vuota	84%
Rivestimento Esterno:	Rivestimento Ceramico	12%
Window to Wall Ratio:	50%	46%
Aperture:	Finestre a Nastro	41%
Telaio:	Alluminio	93%
Vetro:	Vetro Singolo	74%
Schermature:	Veneziane Interne	58%
Tipologia di Copertura:	Ibrido	16%
Materiale di Copertura:	Lamiera Metallica-Guaina Bituminosa	64%
Colore di Copertura:	Medio-Scuro	46%
Tipologia di Impianto:	Centralizzato Metano	49%
Condizionamento e Ventilazione:	Non Presenti	99%
Rinnovabili:	Non Presenti	96%
Vincoli Architettonici:	Non Presenti	87%

Archetipo
 <1975-1999



Istituto Comprensivo "C. Alvaro - P. Gobetti"

Via Giuseppe Romita 19, Modello "E10"



Refurbishment

4.1	Possibilità d'azione
4.2	Modellazione energetica
4.3	Light Refurbishment
4.4	Mid Refurbishment
4.5	Deep Refurbishment
4.6	Valutazione tecnico economica

Possibilità d'azione

4.1

Le possibili azioni di riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico esistente, possono essere raggruppate in quattro categorie differenti: **Light Refurbishment**; **Mid Refurbishment**; **Deep Refurbishment** e **Demolizione e ricostruzione**. Attraverso differenti esplorazioni progettuali, si affrontano due problemi contemporaneamente, ovvero, la riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico esistente e la sostenibilità economica di tale azione. L'interesse è posto sulle prime tre ipotesi di riqualificazione, in quanto rappresentano un processo incrementale della stessa azione. È bene quindi capire gli effetti di tali azioni sia in termini di risparmio energetico che di ricaduta sul payback period.

La combinazione dei tre edifici-archetipo con le tre possibili azioni di riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico esistente, da origine a una "matrice tre per tre", con nove diverse combinazioni. La ricerca, si sofferma però a indagare sulla sua diagonale. Tale scelta metodologica consente un'analisi più chiara e comparabile dell'efficacia di ciascun livello di ri-

qualificazione.

Ad ognuno dei tre edifici-archetipo selezionati, è stata quindi assegnata una strategia di riqualificazione differente.

Nello specifico:

- **Light Refurbishment**, per la **Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi"** di Via Antonio Banfo 32, edificio storico vincolato, per il quale è possibile attuare un numero limitato di interventi che non alterino l'aspetto esterno dell'edificio e che garantiscano la conservazione del valore storico e culturale del bene.

- **Mid Refurbishment**, per l' **Istituto Comprensivo "Corrado Alvaro - Piero Gobetti"** di Via Giuseppe Romita 19, enorme edificio a piastra di fine anni 70', la sua dimensione "fuori scala" limita in parte gli interventi realizzabili per la sua riqualificazione.

- **Deep Refurbishment**, per l' **Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci"** di Via degli Abeti 13, edificio a blocco di inizio anni 70', la sua forma e dimensione compatta permettono di attuare notevoli interventi di riqualificazione.

	LIGHT REFURBISHMENT	MID REFURBISHMENT	DEEP REFURBISHMENT
G. E. PESTALOZZI	+	++	+++
ALVARO - GOBETTI	+	++	+++
L. DA VINCI	+	++	+++

"Matrice tre per tre" data dalla combinazione dei tre edifici-archetipo con le tre possibili azioni di riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico esistente

Modellazione energetica

4.2

Al fine di valutare l'impatto sui consumi energetici degli interventi di refurbishment precedentemente analizzati, è stata condotta una **simulazione energetica dinamica (BPS)**, che attraverso l'utilizzo di software avanzati, permette di ottenere un livello di precisione molto alto. L'approccio metodologico utilizzato, è quello del BIM to BPS, ovvero un flusso di lavoro che permette di convertire un modello BIM (Building Information Modelling) in un modello BPS attraverso l'utilizzo di programmi VPL (Visual Programming Language).

Essendo gli edifici scolastici spesso ripetuti in maniera uguale sia in altezza che in planimetria, per analizzare in maniera pressoché esaustiva l'effetto degli interventi di refurbishment, è sufficiente la creazione di un modello energetico semplificato, riferito a un "piano tipo" dell'edificio al netto delle ripetizioni formali. Il primo piano di una scuola, è solitamente il più rappresentativo ai fini dell'analisi, in quanto nella maggior parte dei casi, composto quasi esclusivamente da aule e servizi annessi, ovvero gli spazi più fre-

quentati dagli studenti.

La creazione di un modello energetico, attraverso il flusso di lavoro BIM to BPS, si articola in diversi passaggi:

MODELLAZIONE BIM DELL'EDIFICIO

La modellazione BIM, permette la raccolta di tutte le informazioni, geometriche e prestazionali dell'edificio, utili all'analisi energetica.

Le fasi della modellazione sono:

- **Analisi delle planimetrie**, volte a individuare un piano tipo e circoscrivere una porzione di edificio ripetuta più volte in maniera uguale se presente.
- **Identificazione delle zone termiche**, in base alle destinazioni d'uso dei vari ambienti presenti.
- **Modellazione geometrica dell'edificio**, in software BIM, tenendo conto delle semplificazioni adottate e rispettando la corretta nomenclatura degli elementi.
- **Caratterizzazione delle proprietà termo-fisiche dell'edificio**, impostando correttamente materiali, spessori e caratteristiche degli elementi architettonici interni ed esterni.

CONVERSIONE DEL MODELLO BIM IN BPS

Attraverso l'utilizzo di script in programmi VPL (Grasshopper) è possibile estrarre geometrie, caratteristiche e proprietà dal modello BIM (Revit) dell'edificio per la creazione di un modello BPS. Il processo avviene estraendo i dati dall'IFC di Revit attraverso Rhino Inside Revit e integrando i dati mancanti con quelli inseriti manualmente su Grasshopper.

CREAZIONE DI UN PROGRAMMA

La creazione di un programma, con profili d'uso e d'occupazione personalizzati, permette di ottenere una simulazione energetica accurata e in condizioni reali. Gli elementi di controllo di un programma personalizzato sono:

- Le **persone**, la loro presenza e numerosità in determinati momenti della giornata, influiscono sugli apporti interni dell'edificio.
- L' **illuminazione**, l'efficienza energetica dell'impianto installato in relazione al profilo di occupazione degli ambienti, influisce notevolmente sul consumo di

energia elettrica per illuminazione.

- **Apparecchiature elettriche**, la loro presenza, varia in base alla destinazione d'uso dell'ambiente analizzato e produce effetti sul consumo elettrico.

- **Infiltrazioni**, fanno parte della cosiddetta "ventilazione incontrollata" ovvero un flusso d'aria casuale attraverso crepe, spazi vuoti o fessure nella struttura dell'edificio. Variano in base alla qualità costruttiva dell'involucro esterno dell'edificio e influiscono notevolmente sui consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento.

- **Ventilazione**, si suddivide in naturale o meccanica, entrambe fanno riferimento a un profilo di occupazione interno degli ambienti. I parametri da controllare nella ventilazione naturale sono: le temperature interne e esterne, invernali e estive per le quali è possibile l'apertura delle finestre; la tipologia e l'area di apertura dei serramenti; la presenza di ventilazione incrociata. Gli elementi di controllo della ventilazione meccanica fanno riferimento alle caratteristiche dei sistemi HVAC.

- **Setpoint**, è riferito al profilo di occupa-



SCHEDULE

Periodo di occupazione:

Lunedì	8:00 - 16:00
Martedì	8:00 - 16:00
Mercoledì	8:00 - 16:00
Giovedì	8:00 - 16:00
Venerdì	8:00 - 16:00
Sabato	
Domenica	

Periodo non occupato:

Lunedì	17:00 - 7:00
Martedì	17:00 - 7:00
Mercoledì	17:00 - 7:00
Giovedì	17:00 - 7:00
Venerdì	17:00 - 7:00
Sabato	0:00 - 23:00
Domenica	0:00 - 23:00



PERSONE

Numero di persone per m²:

0,250 p/m²

Periodo di occupazione:

Schedule

Livello di attività:

120 W/p



ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE

Numero di Watt per m² pre-intervento:

12 W/m²

Numero di Watt per m² post-intervento:

8 W/m²

Periodo di occupazione:

Schedule



APPARECCHIATURE ELETTRICHE

Numero di Watt per m²:

2 W/m²



INFILTRAZIONI

Pre-intervento (Leaky building):

0.0006 m³/s per m² di facciata

Post-intervento (Tight building):

0.0001 m³/s per m² di facciata



VENTILAZIONE NATURALE

Quando aprire le finestre:

Temperatura minima interna: 21 °C

Temperatura minima esterna: 16 °C

Temperatura massima esterna: 28 °C

Differenza di temperatura: 5 °C

Periodo di occupazione:

Schedule



SETPOINT

Periodo di riscaldamento (Torino):

15 Ottobre - 15 Aprile

Temperatura di Setpoint 20 °C:

Lunedì - Venerdì 6:00 - 16:00

Temperatura di Setback 18 °C:

Lunedì - Venerdì 17:00 - 5:00

Sabato - Domenica 0:00 - 23:00

zione interno degli ambienti. Stabilisce il setpoint di temperatura e umidità da mantenere all'interno dell'edificio nell'arco della giornata.

SIMULAZIONE ENERGETICA E ANALISI DEI RISULTATI

La simulazione energetica, permette di valutare il comportamento dell'edificio in termini di consumi energetici.

L'analisi dei suoi risultati, consente invece di stabilire l'efficienza degli interventi proposti e guidare le decisioni progettuali, trasformando i dati numerici ottenuti in informazioni concrete, utili per comprendere il comportamento energetico dell'edificio e identificare le soluzioni più efficienti.

DATI CLIMATICI

FILE CLIMATICO DI TORINO
ORIENTAMENTO DELL'EDIFICIO
MODELLAZIONE DEL CONTESTO



MODELLAZIONE BIM DELL'EDIFICIO

ANALISI DELLE PLANIMETRIE
IDENTIFICAZIONE DELLE ZONE TERMICHE
MODELLAZIONE GEOMETRICA DELL'EDIFICIO
CARATTERIZZAZIONE DELLE PROPRIETA'
PROPRIETA' TERMO-FISICHE DELL'EDIFICIO
MODELLAZIONE GEOMETRICA DELL'EDIFICIO

CONVERSIONE DEL MODELLO BIM IN BPS

ESTRAZIONE DELLE INFORMAZIONI DALL' IFC DEL MODELLO BIM (REVIT) TRAMITE RHINO INSIDE REVIT
INTEGRAZIONE MANUALE DEI DATI MANCANTI SU VPL (GRASSHOPPER)



CREAZIONE DI UN PROGRAMMA

SCHEDULE 

PERSONE 

ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE 

APPARECCHIATURE ELETTRICHE 

INFILTRAZIONI 

VENTILAZIONE 

SETPOINT 

SIMULAZIONE ENERGETICA E ANALISI DEI RISULTATI

SIMULAZIONE ENERGETICA
ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI DALLA SIMULAZIONE ENERGETICA



Light Refurbishment

4.3



Scuola Elementare "Pestalozzi"

Via Antonio Banfo 32



Rilievo Fotografico

“L’ edificio”



15. Sanino F. Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi", Torino, 2024



16. Sanino F. Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi", Torino, 2024



17. Sanino F. Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi", Torino, 2024



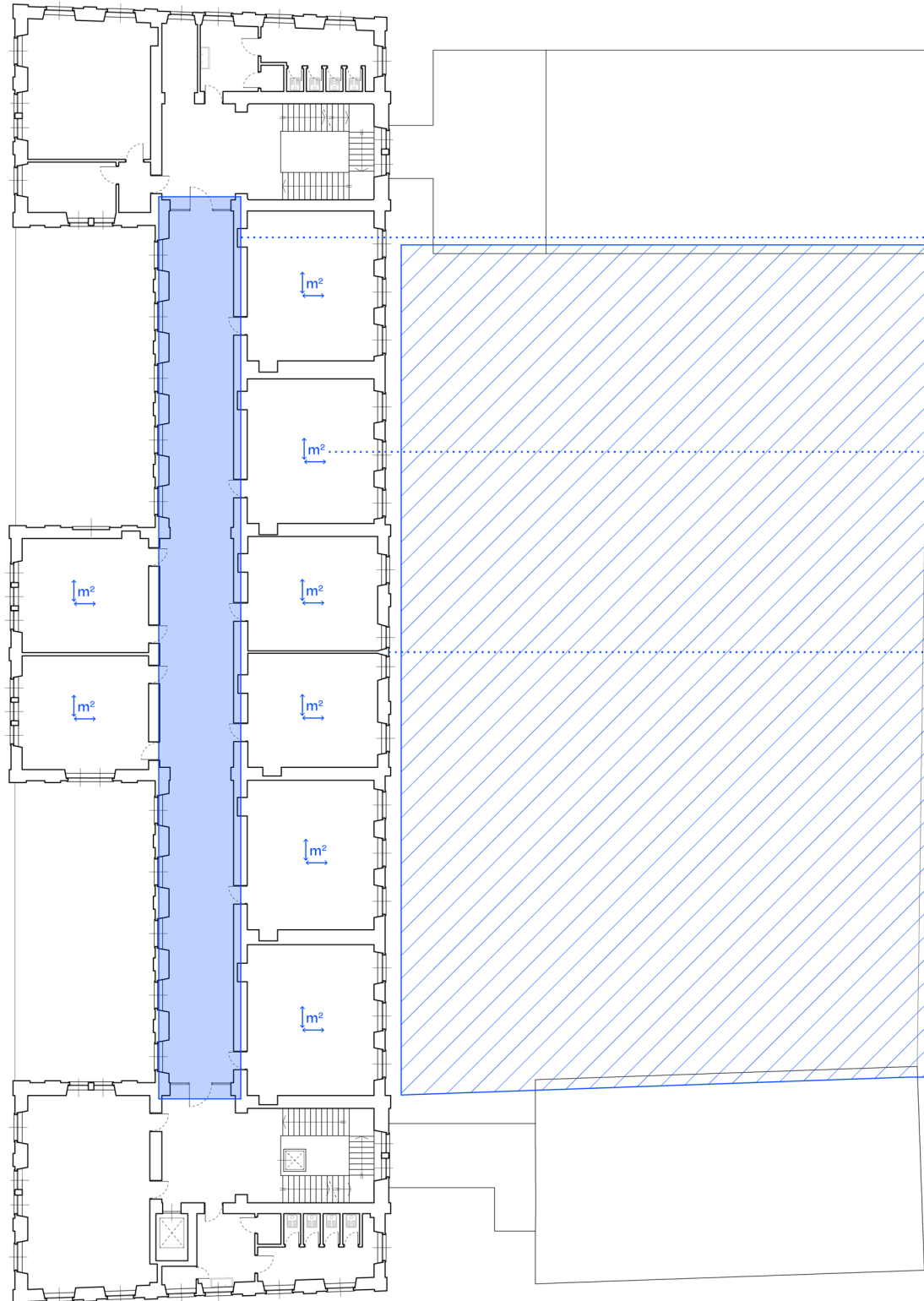
18. Boccalatte P. Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi", Torino, 2014



19. Boccalatte P. Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi", Torino, 2014

Stato di fatto

“Potenzialità e Criticità +/-”



+ Ampi spazi distributivi di fronte alle aule
 Costituiscono un importante potenziale di trasformazione dello spazio. Il corridoio, dispone infatti di una larghezza pari a più del doppio rispetto a quella minima stabilita dalla normativa antincendio in vigore. Attualmente lo spazio in eccesso risulta utilizzato ai soli fini distributivi.

- Dimensione delle aule ridotta
 Le aule, organizzate con un sistema rigido e una metratura ridotta, sono adatte allo svolgimento della classica didattica frontale, senza dar spazio ai nuovi modelli di didattica alternativa.

+ Presenza di muratura di tamponamento verticale
 L'edificio, essendo realizzato in muratura portante, presenta una scarsa flessibilità nella modifica della disposizione degli ambienti interni. Tuttavia, la presenza, seppur limitata, di muraure di tamponamento verticale, consente di ampliare e modificare alcuni spazi interni.

+ Ampio cortile esterno
 L'ampio cortile esterno, circondato da basso fabbricati e ombreggiato nell'area centrale da alberi caducifoglie, offre un elevato potenziale di trasformazione, per lo svolgimento di attività didattiche e ludico/ricreative all'esterno.

Pianta Piano Primo



Strategia d'azione

L'intervento di "Light Refurbishment" corrisponde a una riqualificazione energetica con parziali ricadute sull'ambiente didattico interno.

L'esplorazione progettuale di "Light Refurbishment" è stata applicata alla Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi" in Via Antonio Banfo 32. La scuola, viene costruita con delibera del 20 gennaio 1904, su progetto dell'ing. Scangatta, per conto del Comune di Torino, per far fronte alle richieste della popolazione, costretta a mandare i propri ragazzi fino all'Aurora (attuale Parini). L'edificio, chiamato inizialmente scuola Barriera di Milano, e intitolata dopo il 1908 a Pestalozzi, pedagogista svizzero, è sviluppata su tre piani fuori terra e corredata da due fabbricati a un solo piano.⁵⁶ La tecnica costruttiva è tipica di inizio novecento, ovvero, struttura a muratura portante, la quale pone diversi limiti e vincoli nella distribuzione interna degli ambienti. L'esterno è intonato e arricchito da decori ripetuti sull'intero edificio.

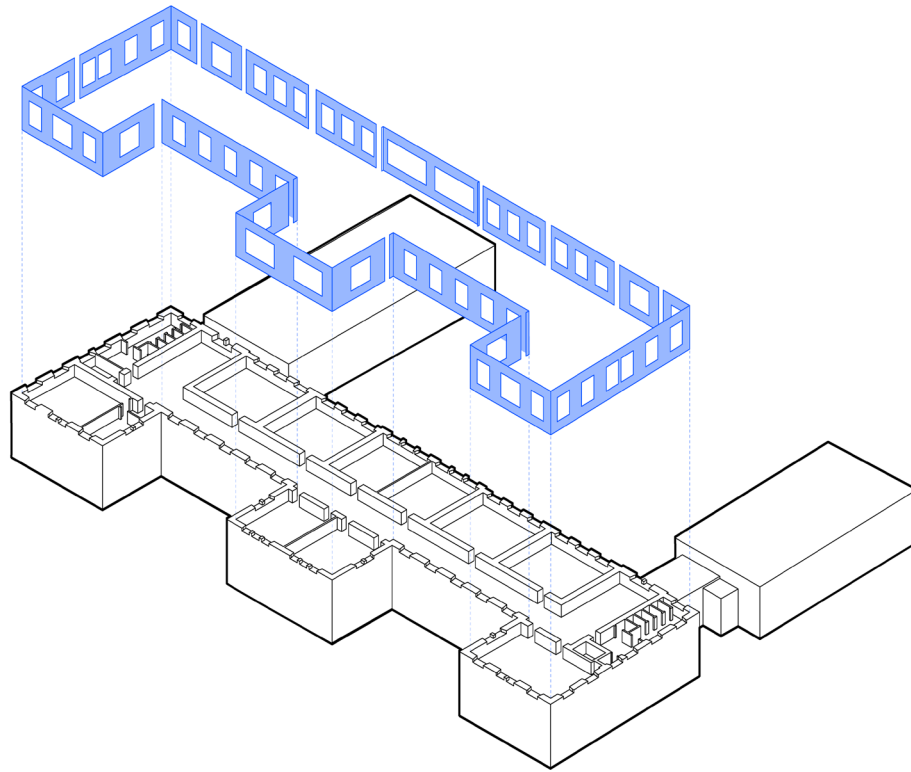
Il Light Refurbishment, costituisce una possibilità per abbattere i consumi energetici e le emissioni di CO₂ dell'edificio, migliorando al contempo il comfort interno degli occupanti. Consiste nell'isolamento dell'involucro opaco esterno e

della copertura, nella sostituzione dell'involucro trasparente esterno e nell'inserimento di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica.

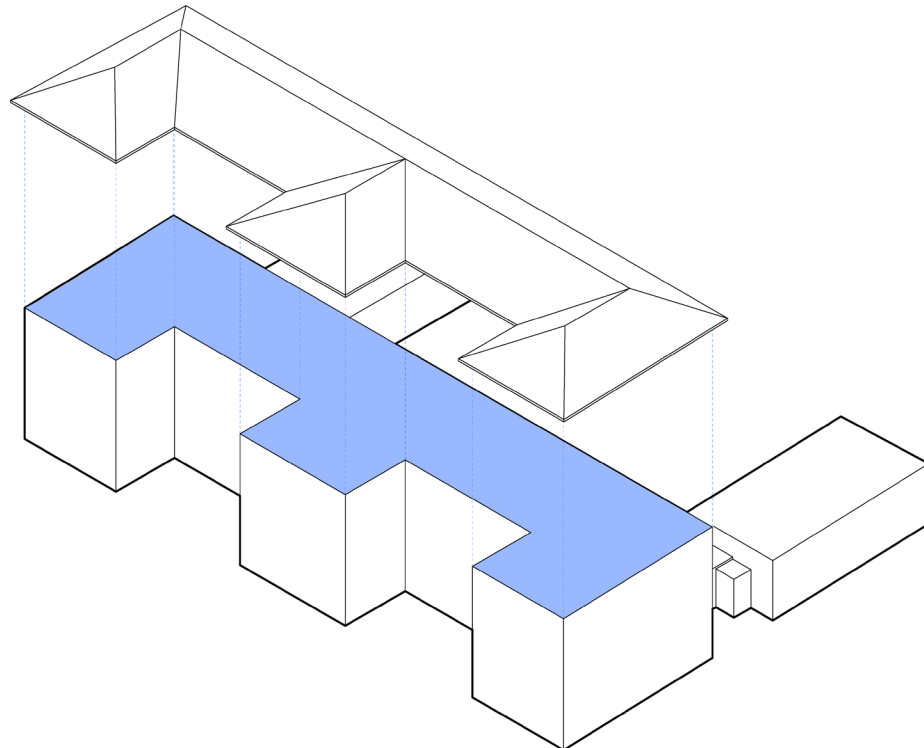
56. Museo Torino. Scuola elementare Gian Enrico Pestalozzi.
<https://www.museotorino.it/view/s/82e3eea38a824b9f-967d0ba4ec92f74d>

1 - ISOLAMENTO DELL' INVOLUCRO OPACO

/ Realizzazione di una controparete isolante interna



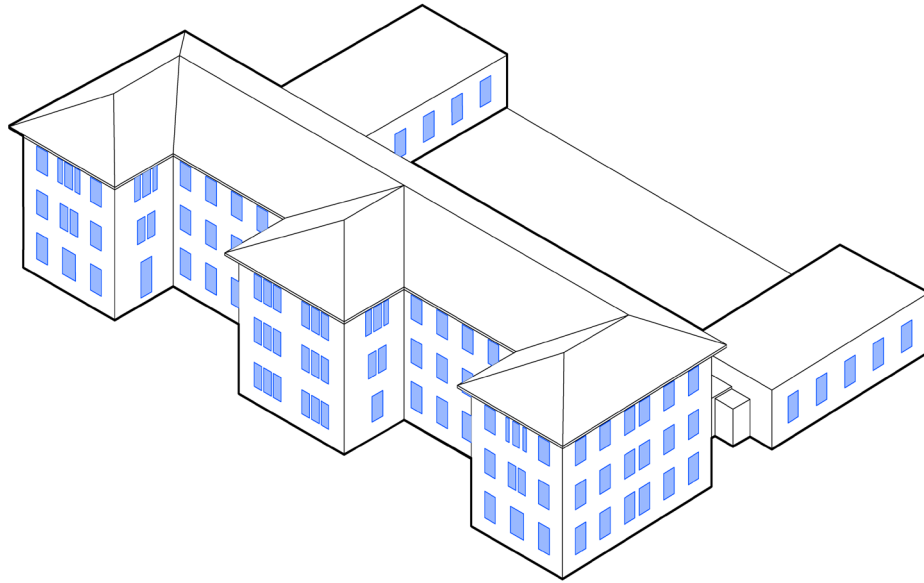
/ Isolamento della copertura a “tetto freddo”



Trattandosi di un edificio storico e vincolato, la scelta per la strategia di coibentazione delle pareti perimetrali esterne è ricaduta sull'isolamento a cappotto interno tramite la realizzazione di una controparete, in modo da migliorare le prestazioni termiche dell'involucro senza alterare l'aspetto esteriore dell'edificio. Spesso, però, le pareti degli edifici storici, presentano diverse riseghe, nicchie e irregolarità, che rendono difficile l'applicazione di pannelli isolanti rigidi. Per tale motivo, si è scelto di utilizzare Amagel A2, composto da una matrice isolante e flessibile a base di fibre di vetro e da un' elevata concentrazione di Aerogel. Grazie alla sua flessibilità, conducibilità termica estremamente bassa (0,015 W/mK) e spessore ridotto, permette una facile applicazione e l'ottenimento di ottimi risultati in situazioni complesse come l'isolamento interno di un edificio storico. La realizzazione di una controparete d'arredo in legno, ha il duplice ruolo di “mascheratura e protezione” dello strato isolante e di “spazio ausiliare all'apprendimento” sfruttando l'elevato spessore

della parete per la creazione di sedute, piani d'appoggio e di lavoro, dedicati allo studio individuale, collettivo e allo svago. Per l'isolamento della copertura, essendo il sottotetto inutilizzato, si è scelto di isolare con pannelli di EPS (polistirene espanso sinterizzato) l'estradosso della volta dell'ultimo piano. L'EPS, composto al 98% da aria, si presenta in lastre rigide e tenaci, senza tendenza a sbriciolarsi, tale caratteristica aumenta la durabilità del materiale e riduce la produzione di particelle inquinanti disperse nell'ambiente. Grazie alla sua bassa conducibilità termica (0,030 W/mK), permette di raggiungere bassi valori di trasmittanza termica. Tale soluzione si configura come “tetto freddo” in cui al di sopra dello strato isolante, vi è la presenza di un intercapedine d'aria che contribuisce a migliorare l'isolamento termico della copertura.

2 - SOSTITUZIONE DELL' INVOLUCRO TRASPARENTE



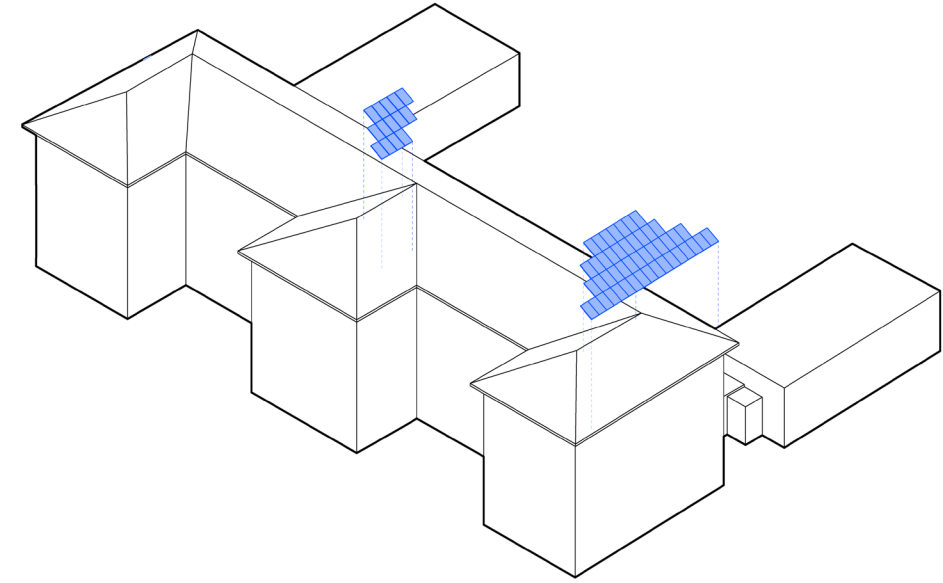
La sostituzione dell'involucro trasparente, rappresenta uno degli aspetti cruciali nella riqualificazione energetica di un edificio storico.

Per rispettare l'estetica originale dell'edificio, si è optato per l'utilizzo di serramenti con telaio in legno, composti da: (esterno-interno) vetro stratificato acustico, formato da due lastre di vetro da 4 mm con all'interno film plastico per ridurre la propagazione acustica del suono da un vetro all'altro, intercapedine ad Argon di 16 mm e vetro trasparente 4 mm con trattamento basso emissivo in faccia per ridurre la dispersione di calore. Attraverso tale configurazione è possibile raggiungere una trasmittanza termica di $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ e una notevole riduzione dell'inquinamento acustico esterno.

3 - INSERIMENTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO

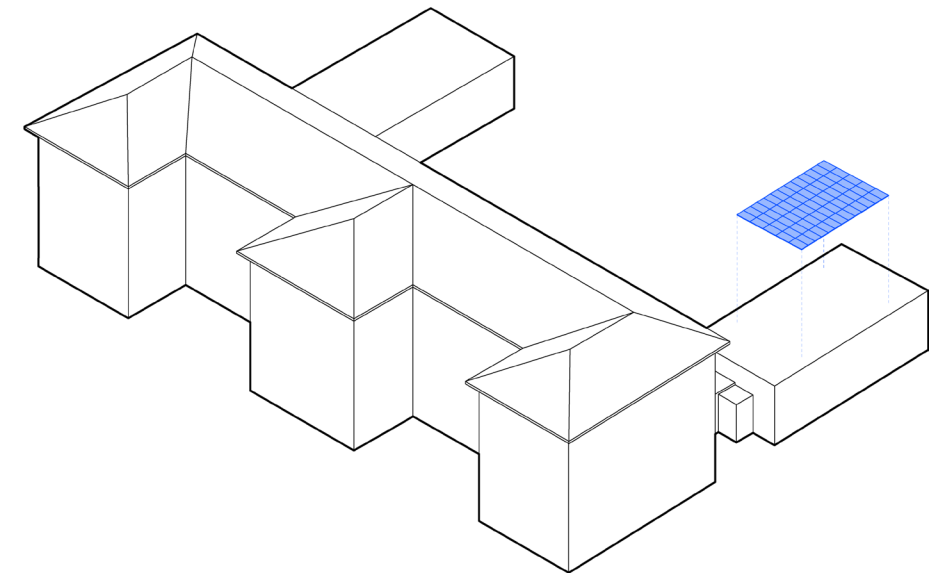
/ Ipotesi 1

Su copertura a falde, rivolta a sud e inclinata di xx gradi

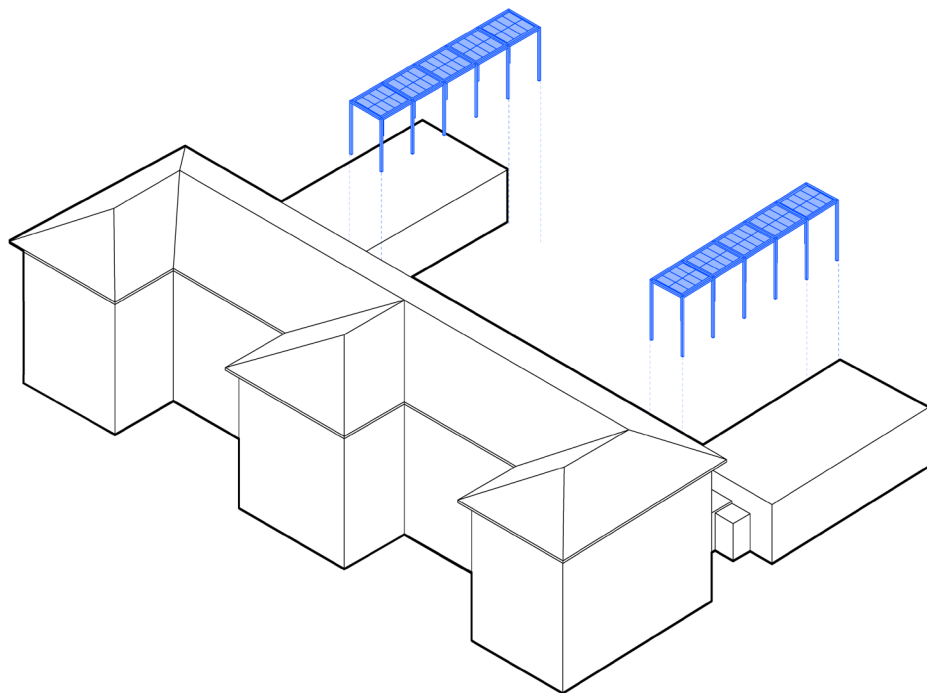


/ Ipotesi 2

Su copertura a piana, con orientamento a sud non ombreggiato da altri edifici



/ Ipotesi 3 Attraverso pensiline ombreggianti inserite nel cortile



L'inserimento dell'impianto fotovoltaico, in un edificio storico vincolato, rappresenta nella maggior parte dei casi un elemento di criticità. Questo, in quanto, il regolamento edilizio italiano, non ci permette a priori di sapere quale tipologia di intervento è possibile effettuare, è necessario quindi realizzare una proposta e interrogare il parere della soprintendenza a riguardo, per tale motivo, sono state valutate tre possibilità di intervento.

La prima, più classica consiste nell'inserimento di 61 pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino in copertura, inclinata di 25 gradi e rivolta a sud, con un'irraggiamento sul piano d'appoggio di 1320,84 kWh/m²a e una produzione totale annua di 34.242,78 kWh pari all'intero fabbisogno annuo di energia elettrica richiesta dall'edificio.

La seconda, consiste nell'inserimento

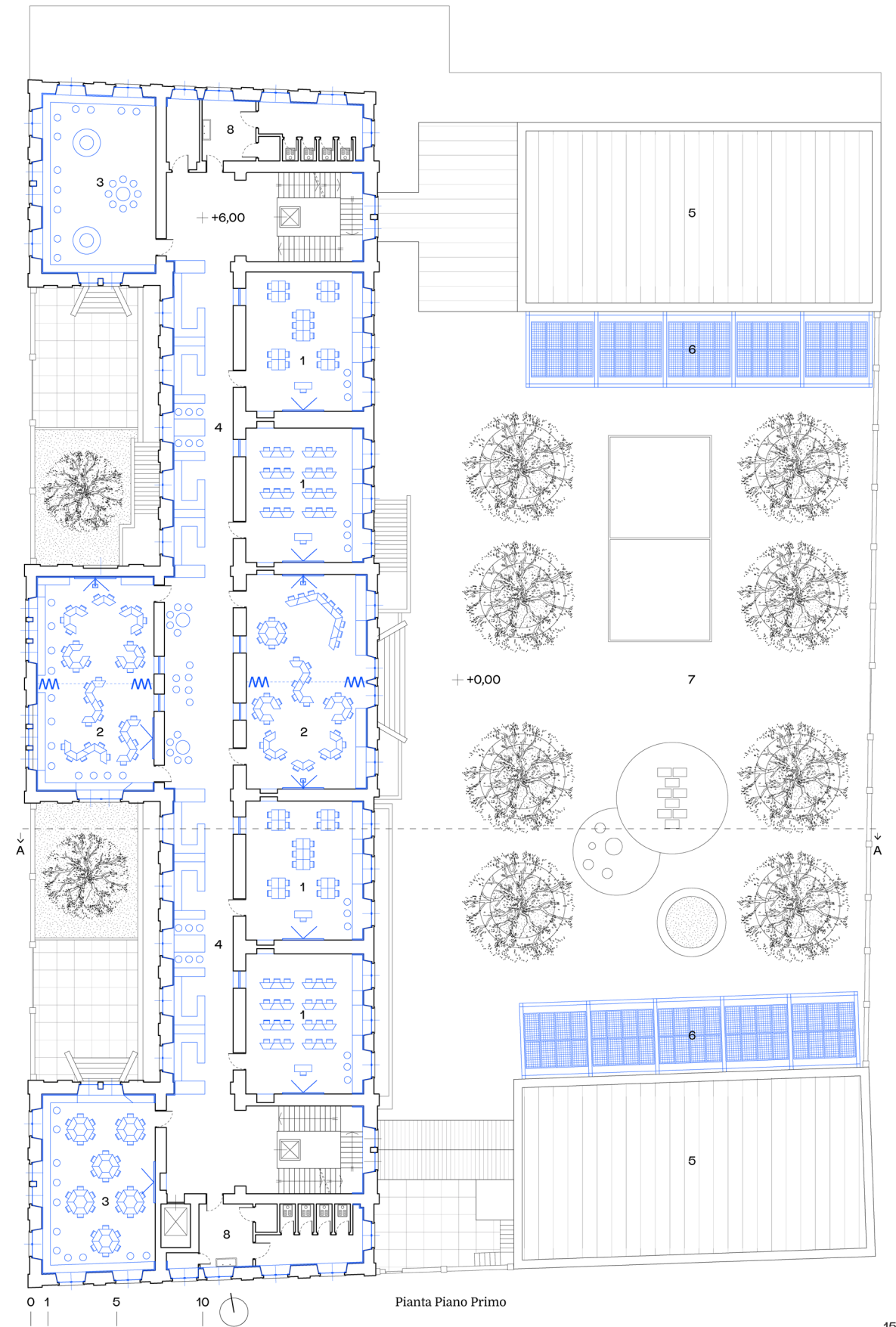
di 64 pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino sulla copertura piana "dell'edificio palestra" a sud. Tale posizione, seppur goda di un irraggiamento minore (1258,35 kWh/m²a) a causa della non inclinazione, non è ombreggiata a sud da edifici circostanti, con una produzione di energia annua in grado di soddisfare il fabbisogno di energia elettrica dell'edificio.

La terza, da attuare in caso di parere negativo, consiste nell'aggiunta di pensiline fotovoltaiche all'interno della corte dell'edificio. Trovandoci in un'area circoscritta da bassi fabbricati, tali strutture, anteposte ai due "edifici palestra", hanno la duplice funzione di fornire agli studenti delle aree ombreggiate di estensione esterna della palestra, in cui poter svolgere attività fisica individuali, collettive e di svago e al contempo ridurre la richiesta

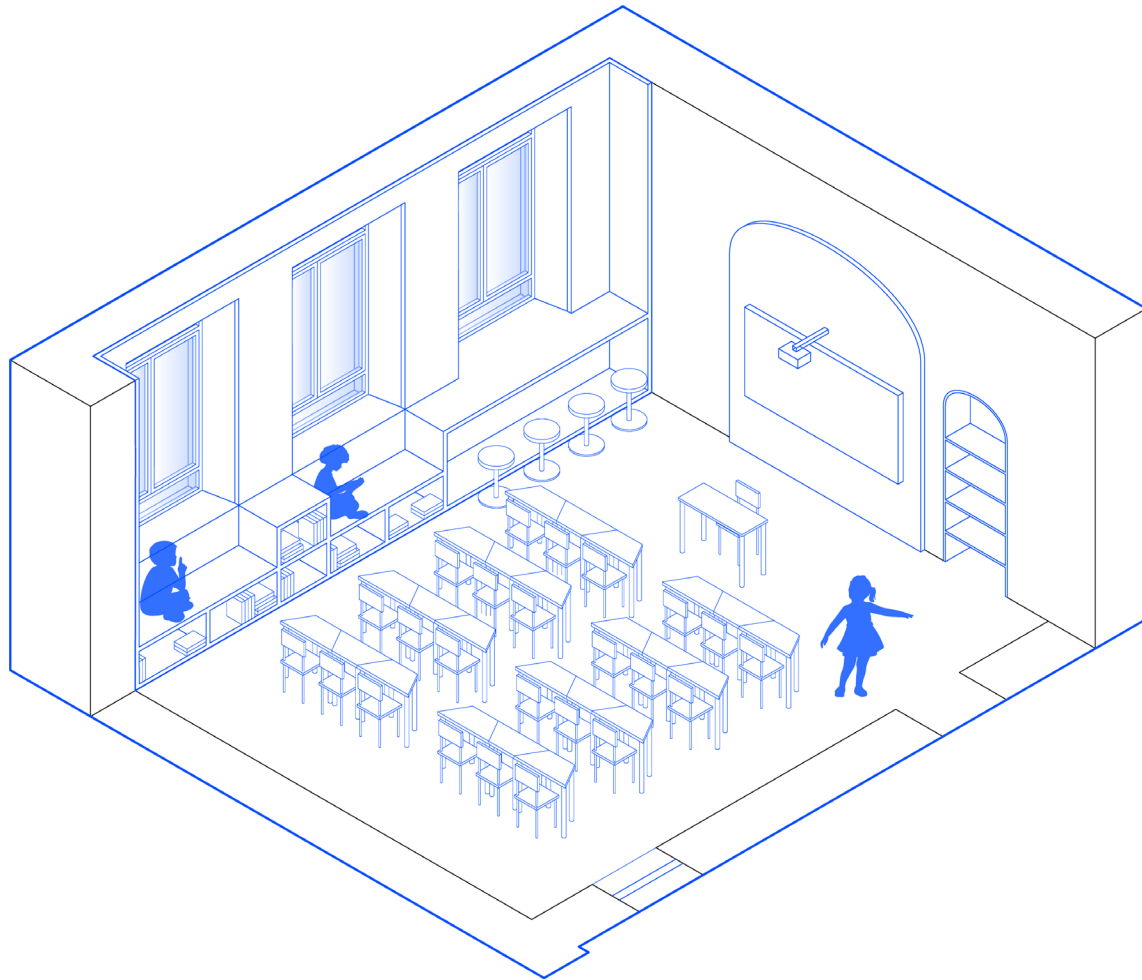
di energia elettrica dalla rete attraverso la produzione fotovoltaica. Tali pensiline, sono pensate come strutture metalliche indipendenti, completamente reversibili, di aspetto leggero e altezza pari a quella degli edifici a cui si antepongono.

In totale, sono in grado di ospitare 64 pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino, che attraverso la loro produzione energetica, riescono a soddisfare il fabbisogno di energia elettrica annua dell'edificio.

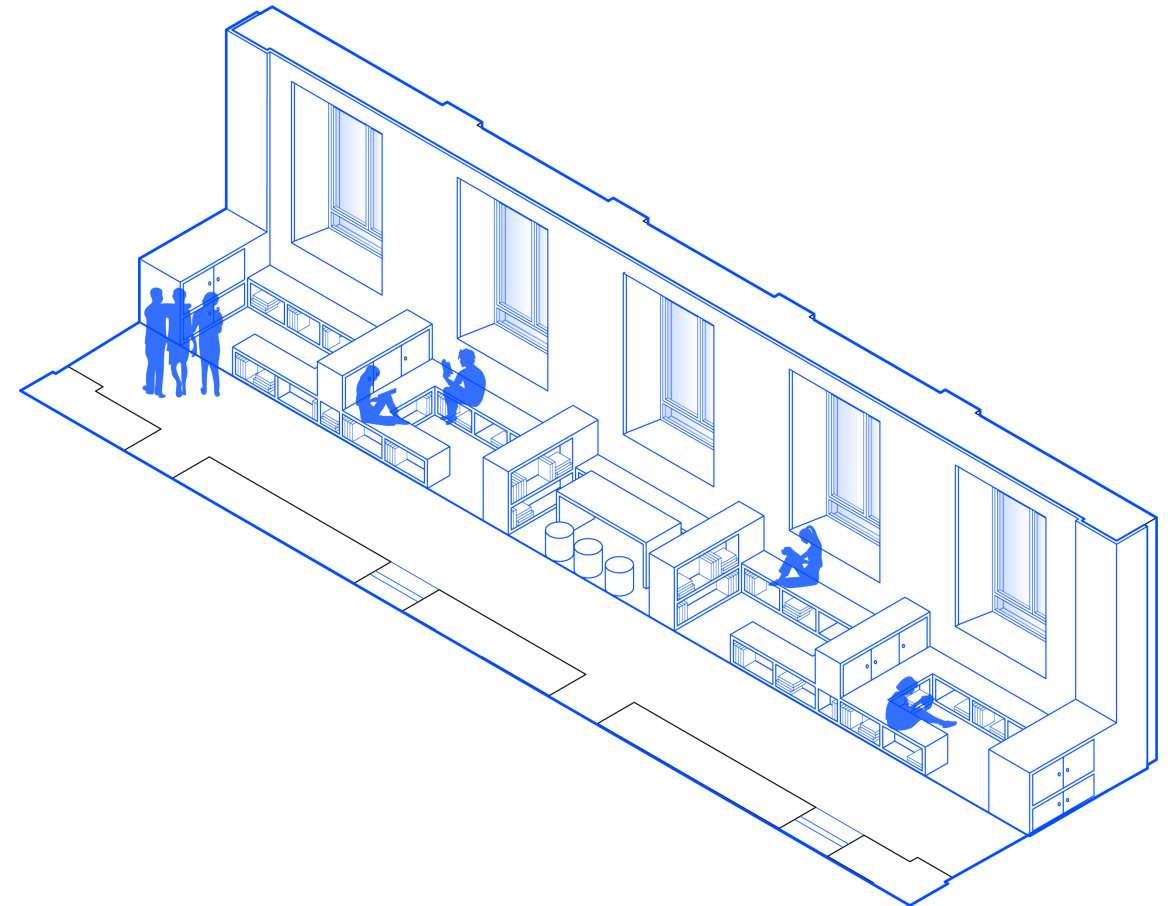
- Aula didattica **1**
- Aula atelier **2**
- Laboratorio **3**
- Corridoio Attrezzato **4**
- Edificio Palestra **5**
- Pensilina Fotovoltaica **6**
- Cortile Esterno **7**
- Bagno **8**



Aula didattica



Corridoio attrezzato



PARETE ESTERNA	[665 mm]
Trasmittanza U:	0,23 W/m²K
Interno - Esterno	
1- Controparete in legno	[30 mm]
2-Freno al vapore	[1,0 mm]
3-Isolante Aerogel - Amagel A2	[60 mm]
4-Muratura piena	[570 mm]
5-Intonaco	[15 mm]

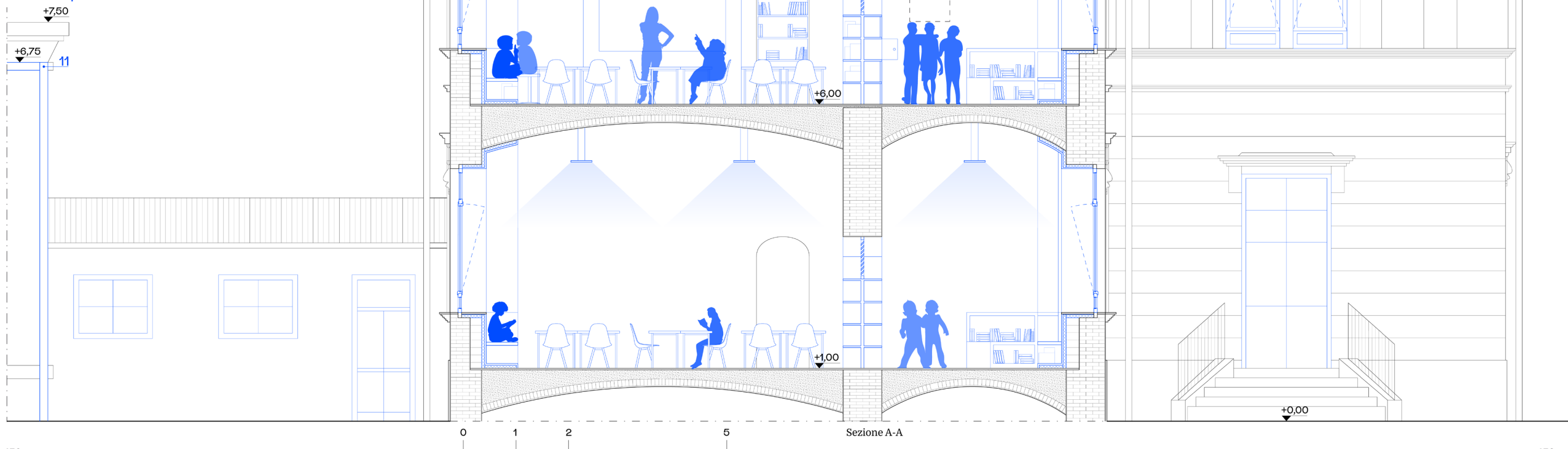
TETTO [freddo]	[445-945 mm]
Trasmittanza U:	0,23 W/m²K
Interno - Esterno	
5-Intonaco	[15 mm]
4-Muratura piena	[120 mm]
6-Riempimento volta	[210-710 mm]
7- EPS - Polistirene espanso	[100 mm]

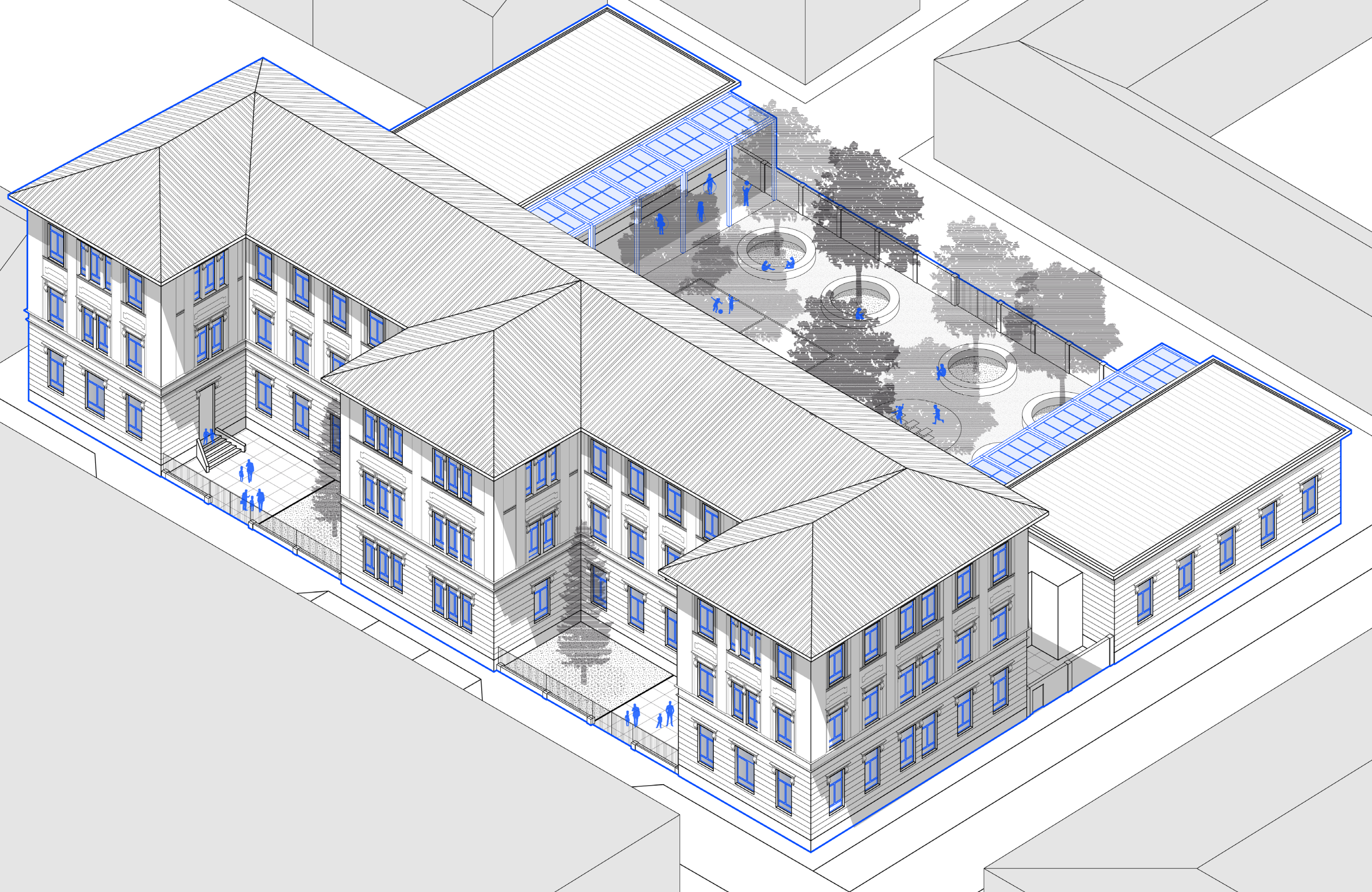
INVOLUCRO TRASPARENTE	
Trasmittanza U:	1,20 W/m²K
8- TELAIO	
Trasmittanza U:	1,80 W/m²K
Telaio in legno	[80 mm]
9- VETRO (e - i)	
Trasmittanza U:	1,00 W/m²K
Vetro stratificato	[8 mm]
Intercapedine con Argon 90%	[16 mm]
Vetro basso emissivo	[4 mm]

10- Griglia acustica

11- Pensilina Fotovoltaica

12- Lampade a led



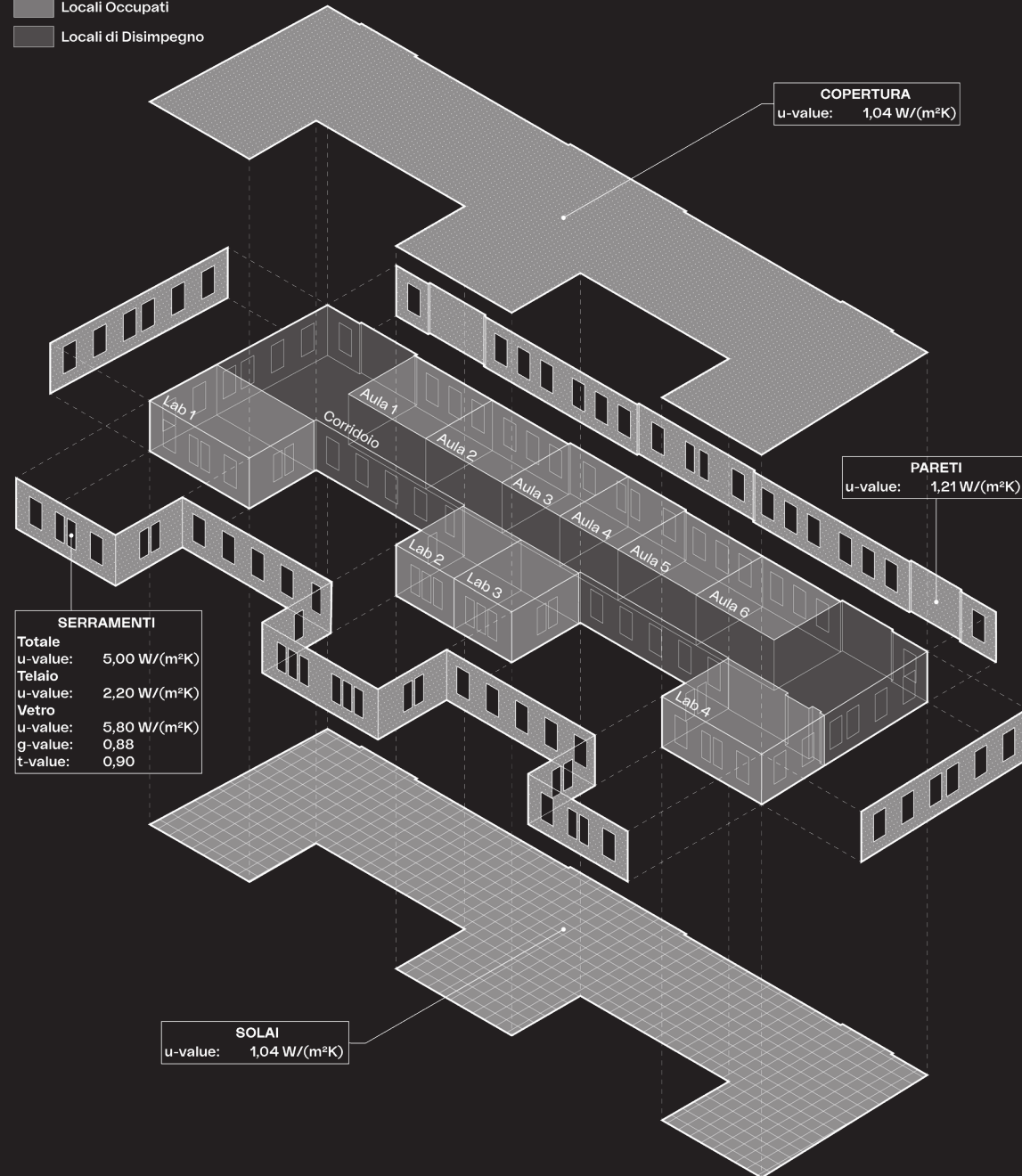


Pre Intervento

MODELLO ENERGETICO

Legenda:

- Superficie Adiabatica
- Superficie Esterna
- Locali Occupati
- Locali di Disimpegno

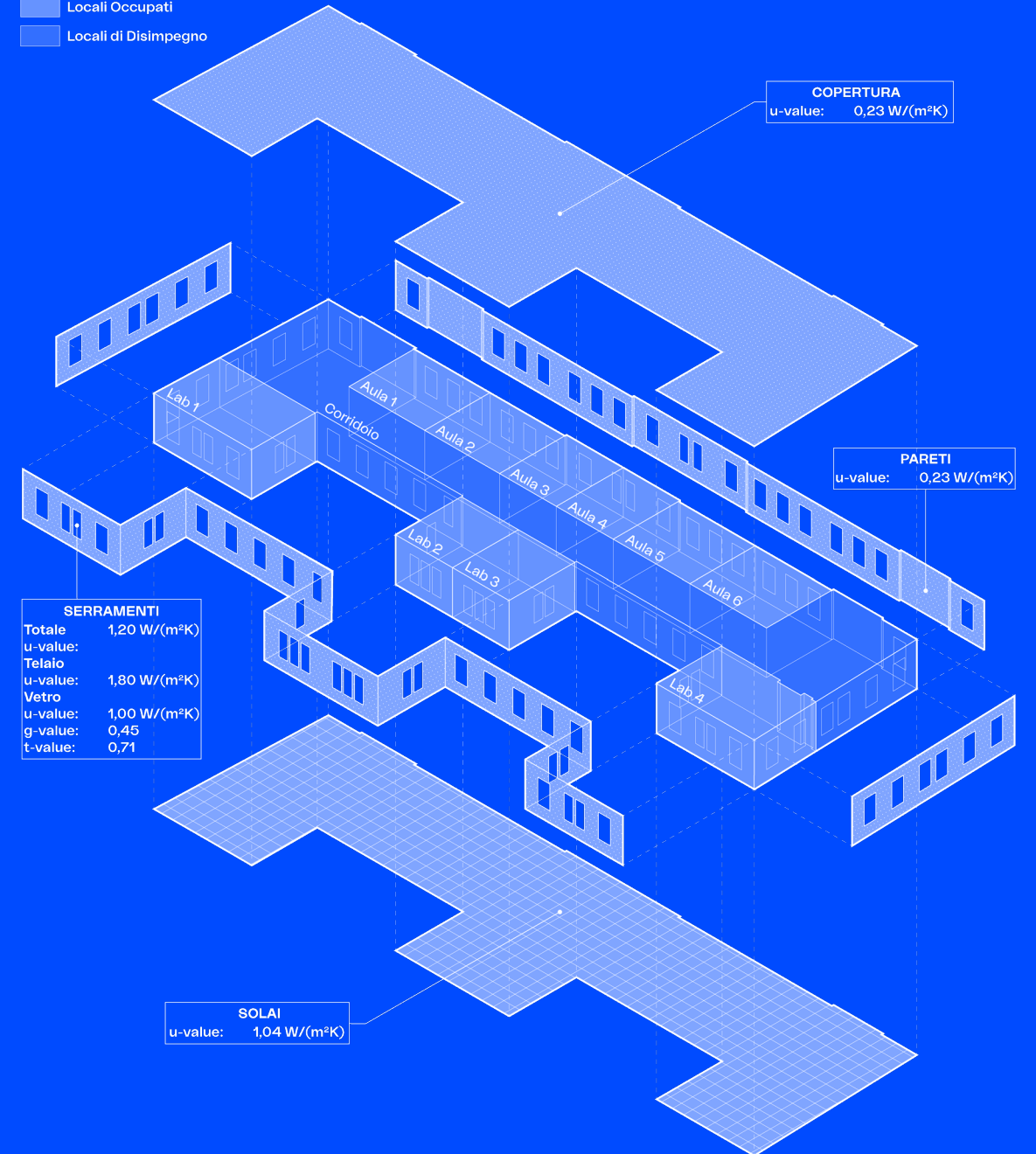


Post Intervento

MODELLO ENERGETICO

Legenda:

- Superficie Adiabatica
- Superficie Esterna
- Locali Occupati
- Locali di Disimpegno



CHIUSURE VERTICALI OPACHE

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Mattoni pieni	57	1800	7	840	0,90
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40

Trasmittanza Termica: 1,21 W/(m²K)

Condensa superficiale: No

Condensa interstiziale: No

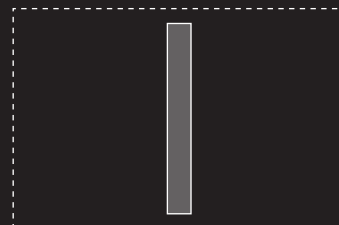
COPERTURA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Mattoni pieni	12	2000	7	840	0,90
Riempimento volte	45	1400	3	1250	0,58

Trasmittanza Termica: 1,04 W/(m²K)

CHIUSURE VERTICALI TRASPARENTI

Esterno

Planibel Clearlite
4 mm

Interno

Trasmittanza Termica: 5,80 W/(m²K)

Fattore Solare: 0,88

Trasmissione Luminosa: 0,90

CHIUSURE OPACHE VERTICALI

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Pannelli in fibra di legno	3	800	8	2100	0,14
Freno al Vapore	0,1	300	26000	1800	0,3
Isolante Amagel-A2	5	200	13	1030	0,015
Mattoni pieni	50	1800	7	840	0,90
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40

Trasmittanza Termica: 0,23 W/(m²K)

Condensa superficiale: No

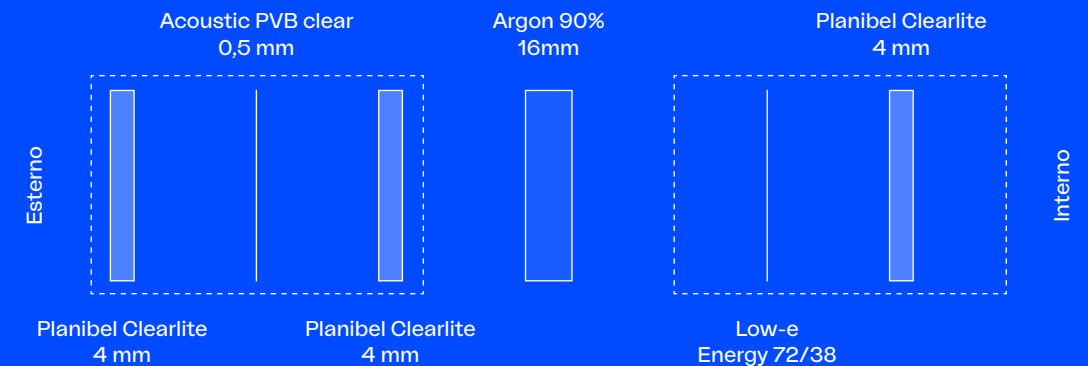
Condensa interstiziale: No

COPERTURA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Intonaco	1,5	800	8	2100	0,14
Mattoni pieni	12	200	13	1030	0,015
Riempimento volte	45	1400	3	1250	0,58
Isolante EPS	10	15	40	1340	0,035

Trasmittanza Termica: 0,23 W/(m²K)

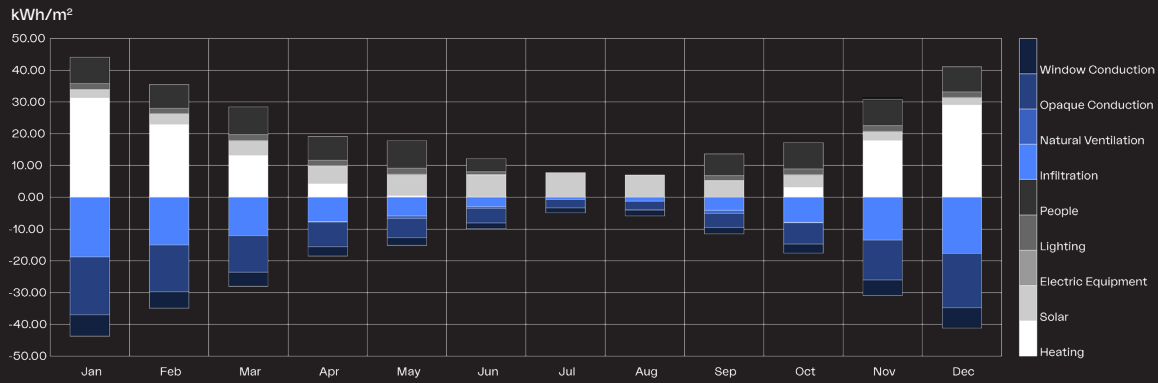
CHIUSURE VERTICALI TRASPARENTI

Planibel Clearlite
4 mmPlanibel Clearlite
4 mmLow-e
Energy 72/38Trasmittanza Termica: 1,00 W/(m²K)

Fattore Solare: 0,45

Trasmissione Luminosa: 0,71

THERMAL BALANCE



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER RISCALDAMENTO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER ILLUMINAMENTO ARTIFICIALE

$$E_{ill} = 16,97 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$E_{p\ ill} = 41,07 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

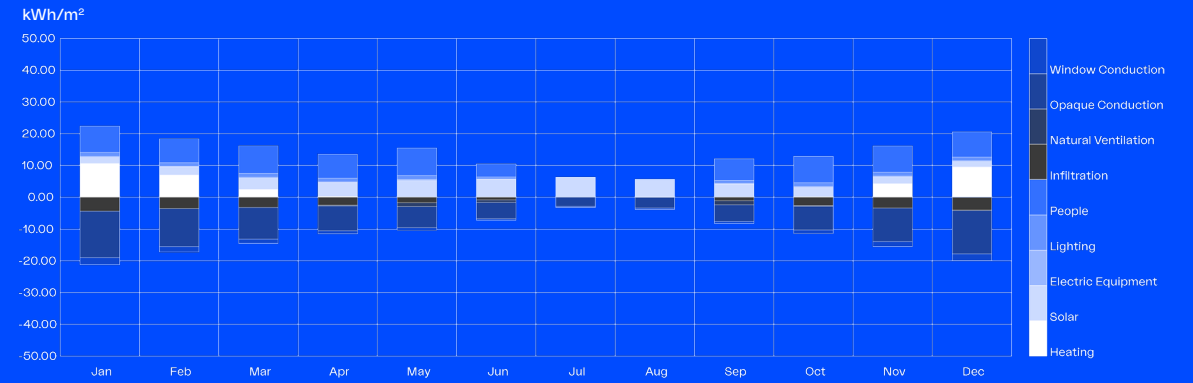
PRODUZIONE FOTOVOLTAICA ANNUA

Impianto fotovoltaico non presente

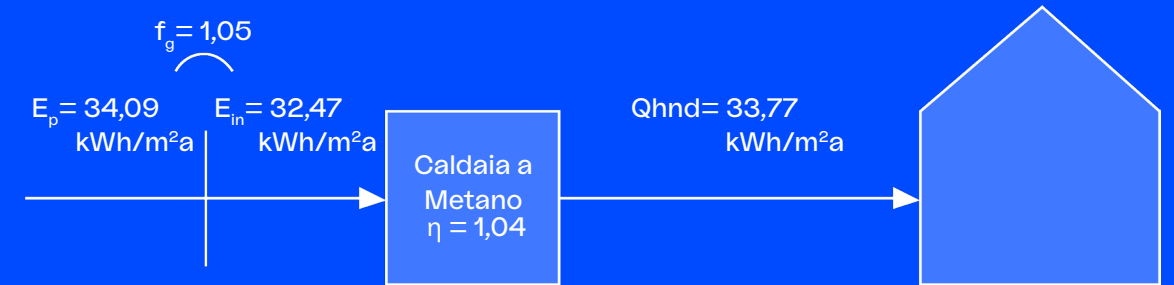
FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE

$$E_{p\ tot} = 223,44 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

THERMAL BALANCE



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER RISCALDAMENTO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER ILLUMINAMENTO ARTIFICIALE

$$E_{ill} = 11,31 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$E_{p\ ill} = 27,37 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

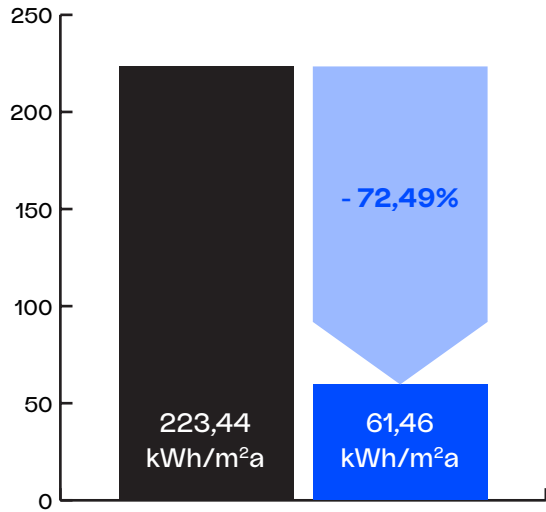
PRODUZIONE FOTOVOLTAICA ANNUA

Non considerata a causa dell'incertezza del suo permesso di inserimento in un edificio storico vincolato.

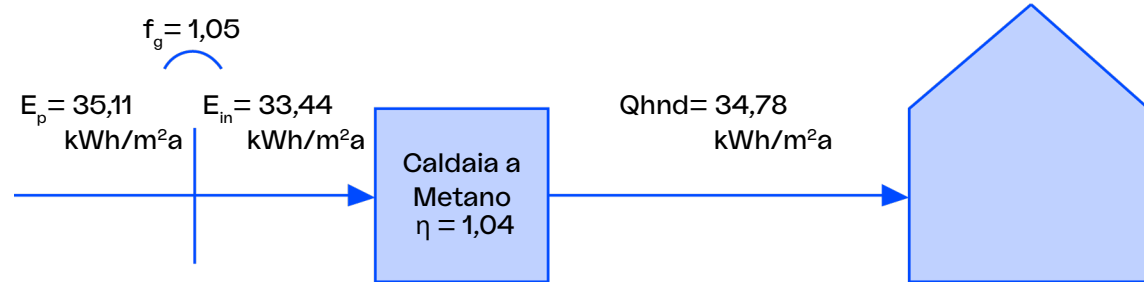
FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE

$$E_{p\ tot} = 61,46 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

RIDUZIONE ANNUA DEL CONSUMO ENERGETICO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE DELL'EDIFICIO DI RIFERIMENTO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER ILLUMINAMENTO ARTIFICIALE

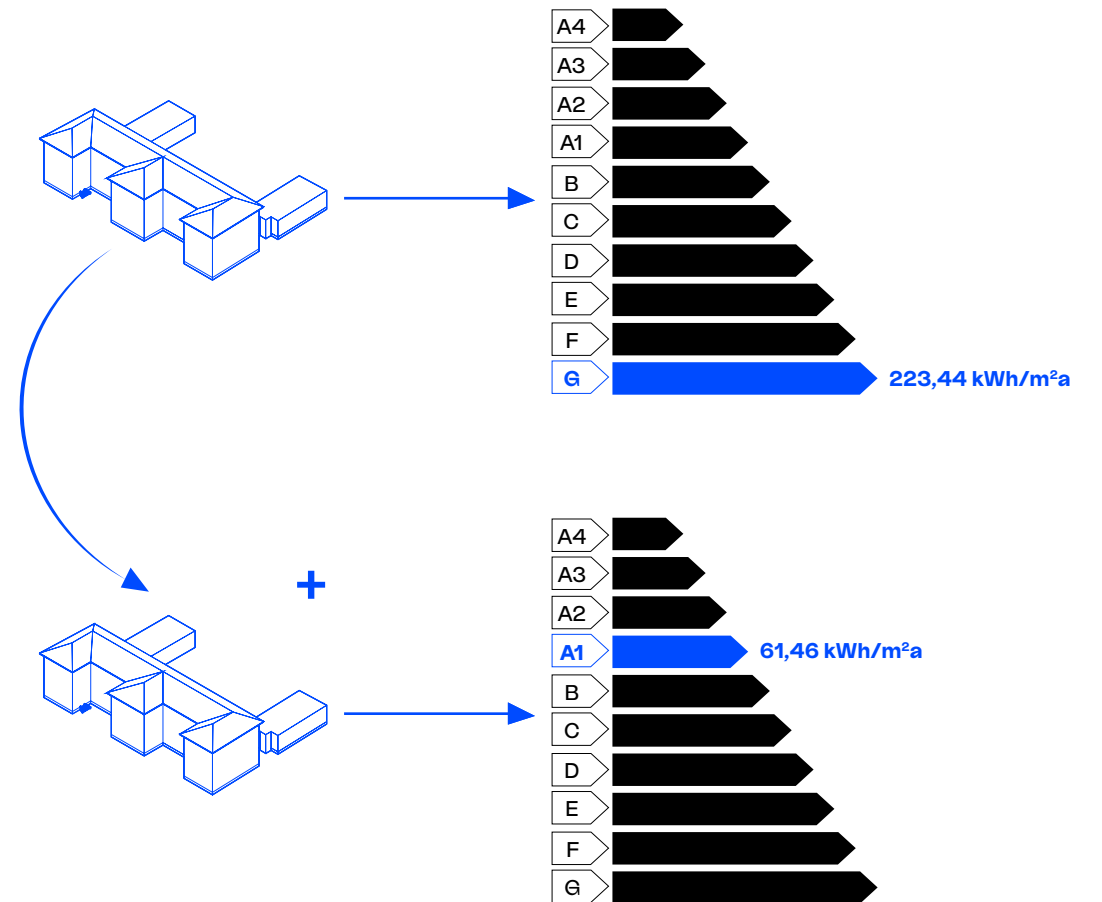
$E_{ill} = 11,31 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
 $E_{p,ill} = 27,37 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE

$E_{p,tot} = 62,48 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

CALCOLO CLASSE ENERGETICA

	Classe A4	$\leq 24,99$
$24,99 <$	Classe A3	$\leq 37,49$
$37,49 <$	Classe A2	$\leq 49,98$
$49,98 <$	Classe A1	$\leq 62,48$
$62,48 <$	Classe B	$\leq 74,98$
$74,98 <$	Classe C	$\leq 93,72$
$93,72 <$	Classe D	$\leq 124,96$
$124,96 <$	Classe E	$\leq 162,45$
$162,45 <$	Classe F	$\leq 218,68$
	Classe G	$> 218,68$



Mid Refurbishment

4.4



Istituto Comprensivo “C. Alvaro - P.Gobetti”

Via Giuseppe Romita 19



Rilievo Fotografico

“Il contesto”



21. Sanino F. Istituto Comprensivo "Corrado Alvaro - Piero Gobetti", Torino, 2024



22. Sanino F. Istituto Comprensivo "Corrado Alvaro - Piero Gobetti", Torino, 2024



23. Sanino F. Istituto Comprensivo "Corrado Alvaro - Piero Gobetti", Torino, 2024

“L’ edificio”



25. Istituto Comprensivo "Corrado Alvaro - Piero Gobetti", Torino, 2019



24. Future Urban Legacy Lab. Istituto Comprensivo "Corrado Alvaro - Piero Gobetti", Torino, 2021



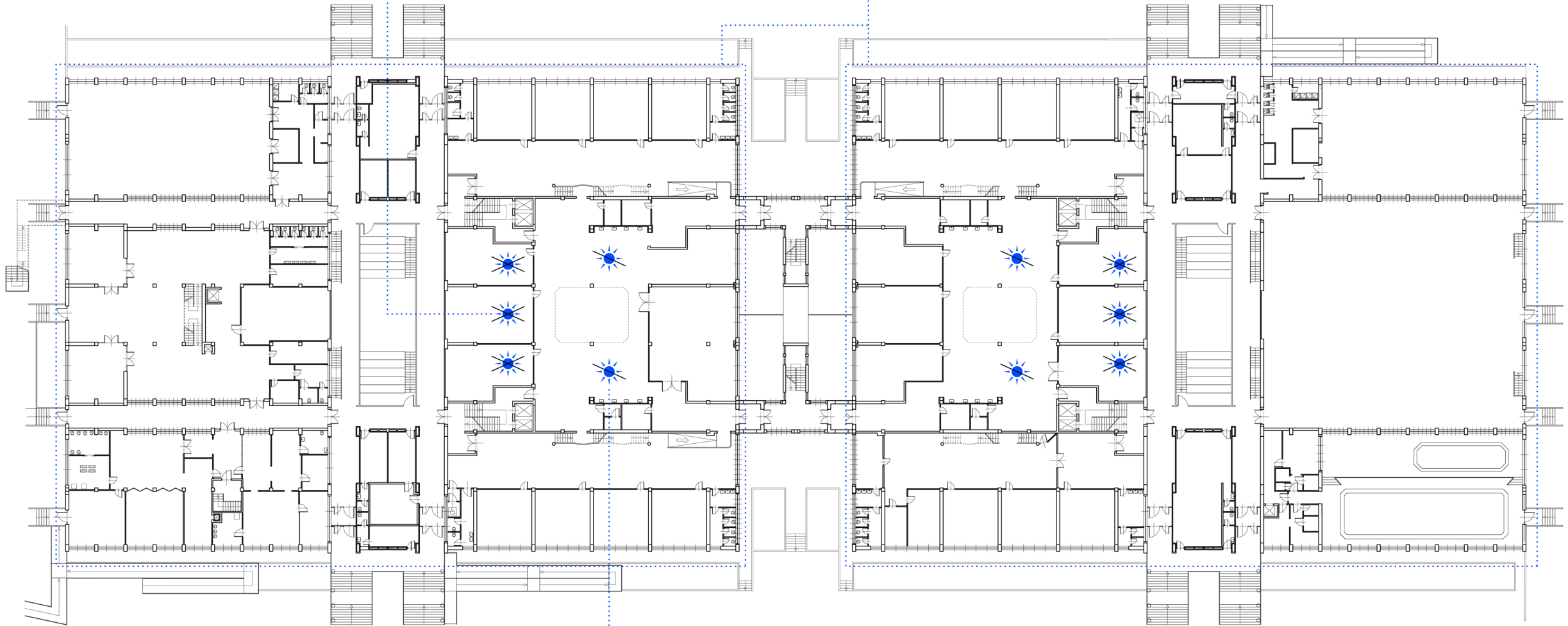
26. Sanino F. Istituto Comprensivo "Corrado Alvaro - Piero Gobetti", Torino, 2024

Stato di fatto

“Potenzialità e Criticità +/-”

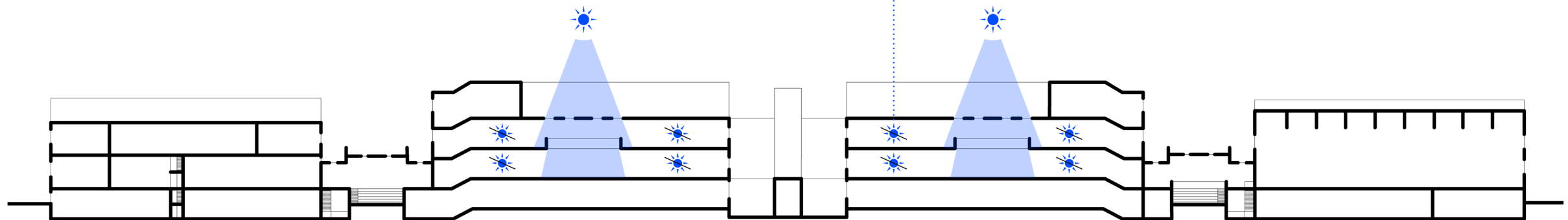
- Spazi con assenza di illuminazione naturale
Oltre a essere requisito fondamentale per la salubrità dell'ambiente, favorisce la concentrazione e una maggiore efficienza nell'apprendimento e nell'esecuzione dei compiti.

+ Simmetria dell'edificio
L'edificio scolastico è composto da due parti uguali, speculari rispetto a un asse di simmetria verticale centrale



0 5 10
1 Pianta Piano Rialzato

- Spazi con illuminazione naturale insufficiente
Le grandi ampiezze dei fabbricati che contraddistinguono gli edifici a piastra, provocano spesso problemi di illuminazione naturale negli spazi centrali privi di affacci verso l'esterno. Nel caso studio analizzato, l'illuminazione naturale della grande corte centrale a doppia altezza è garantita solo da piccoli velux industriali, tale situazione crea importanti zone buie all'interno dell'ambiente.



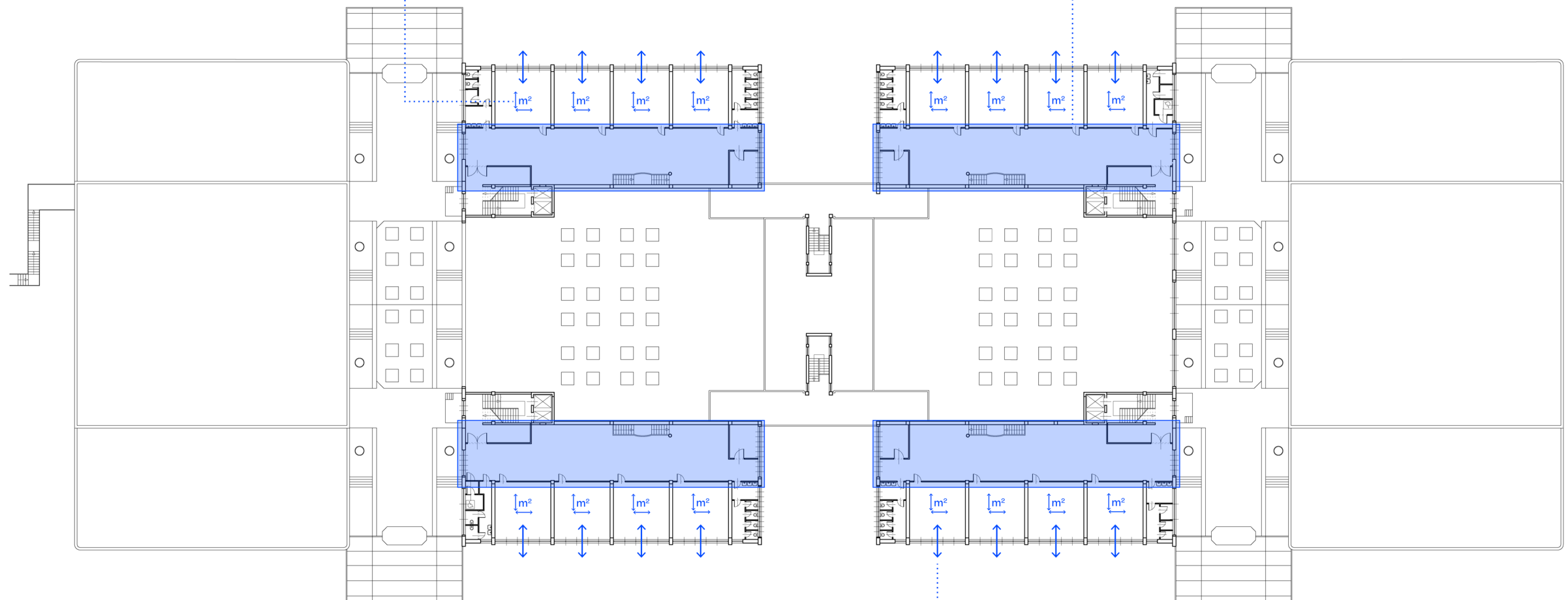
Schema di Sezione Longitudinale

- **Dimensione delle aule ridotta**

Le aule, organizzate con un sistema rigido e una metratura ridotta, sono adatte allo svolgimento della classica didattica frontale, senza dar spazio ai nuovi modelli di didattica alternativa.

+ **Ampi spazi distributivi di fronte alle aule**

Costituiscono un importante potenziale di trasformazione dello spazio. Attualmente pur avendo dimensioni tali da poter accogliere diverse funzioni, questi spazi, utilizzati unicamente per fini distributivi, risultano dispersivi.



0 5 10
1
Pianta Piano Secondo

- **Scarso rapporto interno/esterno**

L'assenza di un collegamento diretto verso l'esterno, limita le modalità di erogazione delle lezioni, senza dar spazio alla nuova didattica. Inoltre la distanza dal cortile sottostante non permette agli studenti di passare i cambi d'ora e l'intervallo all'aperto.

Strategia d'azione

L'intervento di "Mid Refurbishment" corrisponde a una riqualificazione energetica con ricadute sull'ambiente didattico.

L'esplorazione progettuale di "Mid Refurbishment" è stata applicata all'Istituto Comprensivo "C. Alvaro -P. Gobetti" in Via Giuseppe Romita 19. L'edificio selezionato, appartiene alla categoria di edifici modello ripetuti denominata: E10, E11, E13. Completato nel novembre 1976, l'edificio è posizionato nell'omonima zona di espansione, "complesso scolastico E10",⁵⁷ nel quartiere di Mirafiori Nord, nel quale il comune decide di riunire gli spazi destinati alle attività scolastiche creando un complesso che dall'asilo nido porti fino alla media. Le porzioni posizionate agli estremi di questi blocchi sono progettati per accogliere la scuola dell'infanzia e le attrezzature sportive, mentre i due blocchi centrali, ospitano i gradi del primo ciclo di istruzione. Il piano seminterrato, oggi per la maggior parte dismesso a causa di problemi sanitari riguardanti illuminazione e aerazione, occupa l'intera impronta dell'edificio ed è stato originariamente progettato per accogliere attività di quartiere.⁵⁸ La struttura è realizzata in cemento armato, che offre grande libertà nella disposizione degli ambienti.

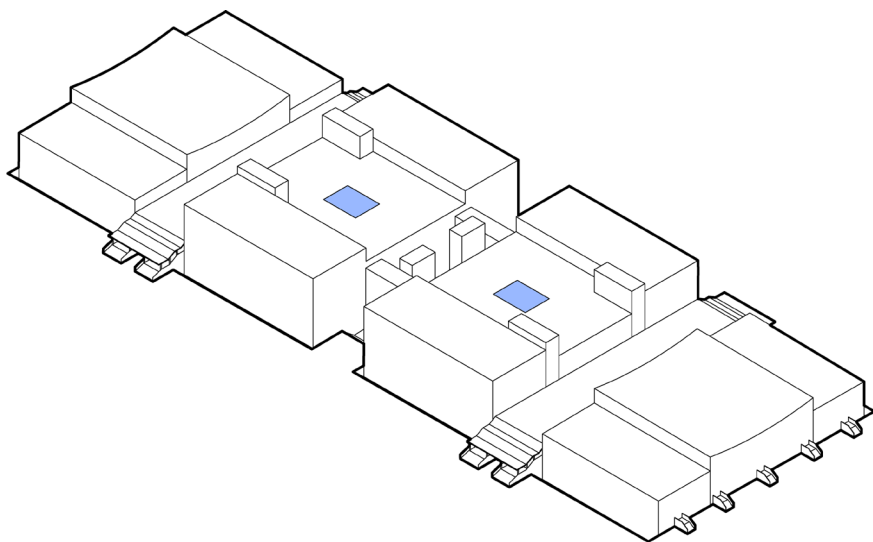
Il Mid Refurbishment, costituisce una possibilità per abbattere i consumi energetici, le emissioni di CO₂ dell'edificio e per ripensare gli spazi di apprendimento interni. Il risultato di tale intervento, permette di ottenere un notevole miglioramento del comfort interno e dell'esperienza didattica. Consiste nella sostituzione dell'involucro opaco esterno, dell'involucro trasparente esterno e della copertura, nell'inserimento di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica e nel ripensamento e ridistribuzione dell'ambiente di apprendimento.

57. Museo Torino. Scuola elementare Piero Gobetti. <https://www.museotorino.it/view/s/a686ca0379b-4417b82966272e6a58173>

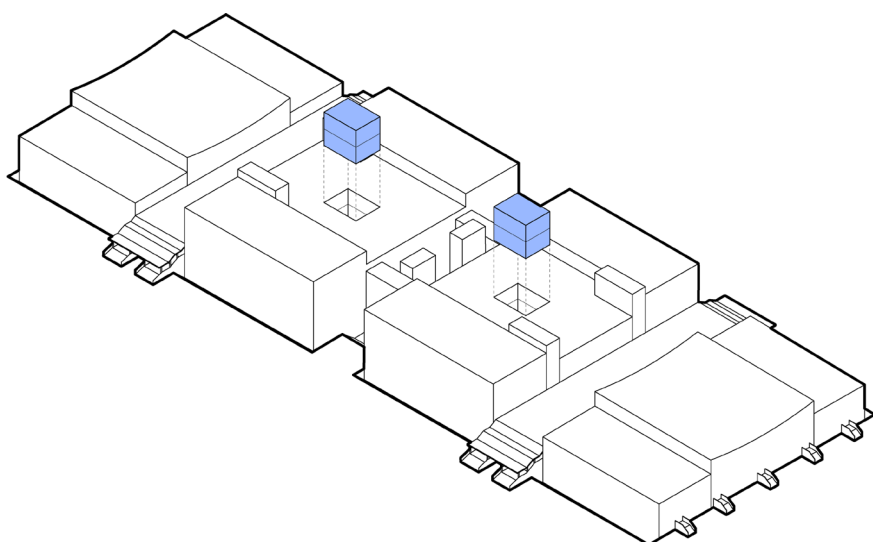
58. Barioglio, C. & Campobenedetto, D. (2022). L'infrastruttura della città. 37 progetti per 167 edifici, pp. 69, 227, p. 168.

1 - APERTURA DELLE CORTI INTERNE

/ Individuazione delle corti



/ Apertura delle corti

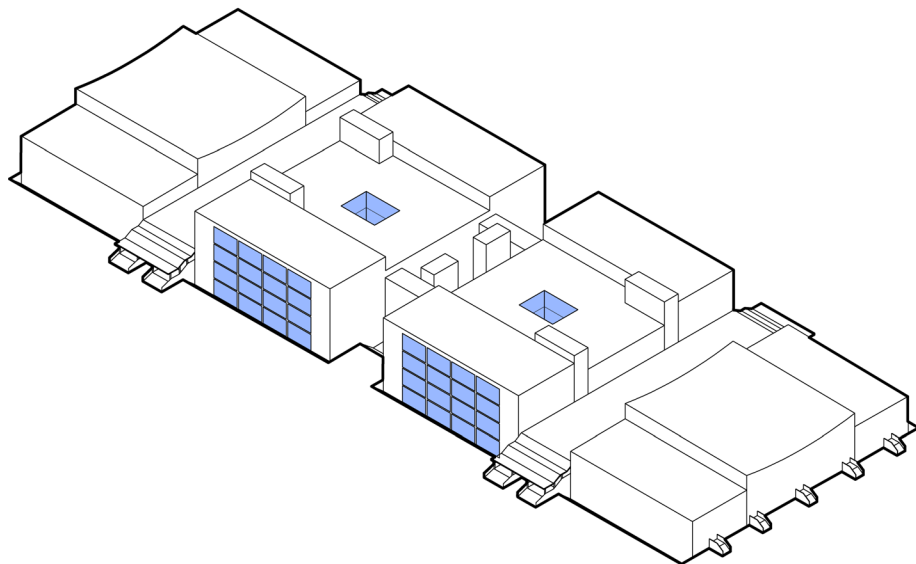


Trattandosi di un grande fabbricato a “piastra”, composto da blocchi con grandi luci, l’edificio, presenta diversi problemi dal punto di vista dell’illuminazione naturale. In particolare il grande spazio/corridoio centrale a doppia altezza e le aule affacciate ad esso, soffrono di scarsa illuminazione naturale, dovuta dalla sola presenza di ventiquattro piccoli lucernari industriali in policarbonato, volti a illuminare due piani di edificio.

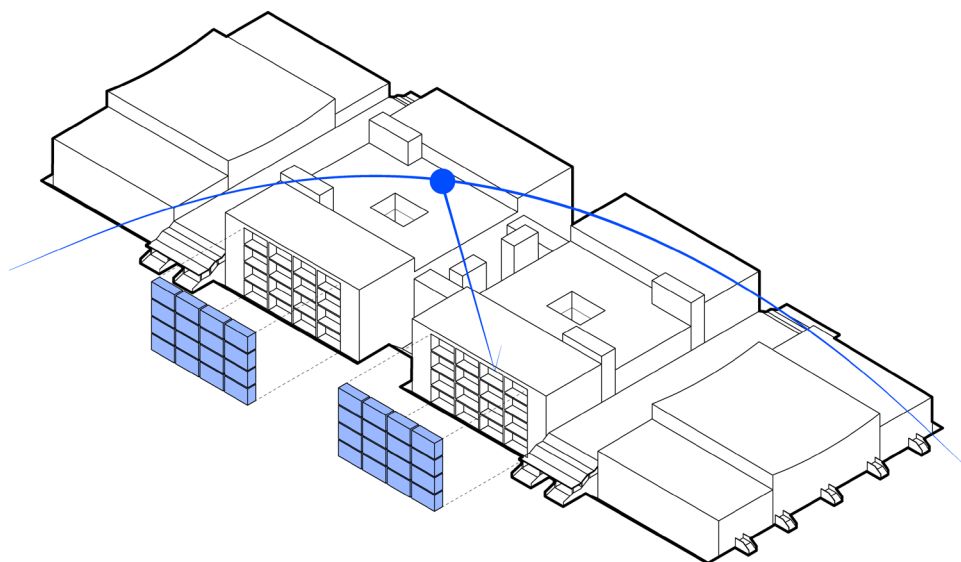
La demolizione della copertura in corrispondenza dello spazio centrale a doppia altezza, punta a creare una corte interna fruibile dall’utenza studentesca e in grado di fornire affaccio esterno e illuminazione naturale ad una serie di ambienti d’uso comune, come corridoi e laboratori. Si andrà a creare una sorta di patio verde, del cui affaccio potranno godere due dei tre piani dell’edificio.

1 - APERTURA DEI LOGGIATI ESTERNI E SOSTITUZIONE INVOLUCRO TRASPARENTE

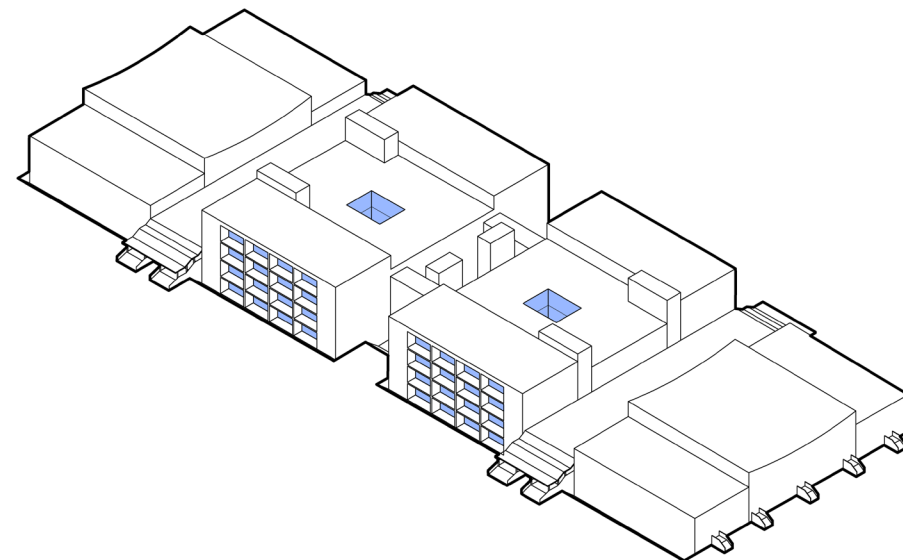
/ Individuazione delle aule esposte a Sud-Est



/ Apertura dei loggiati



/ Individuazione delle aule esposte a Sud-Est

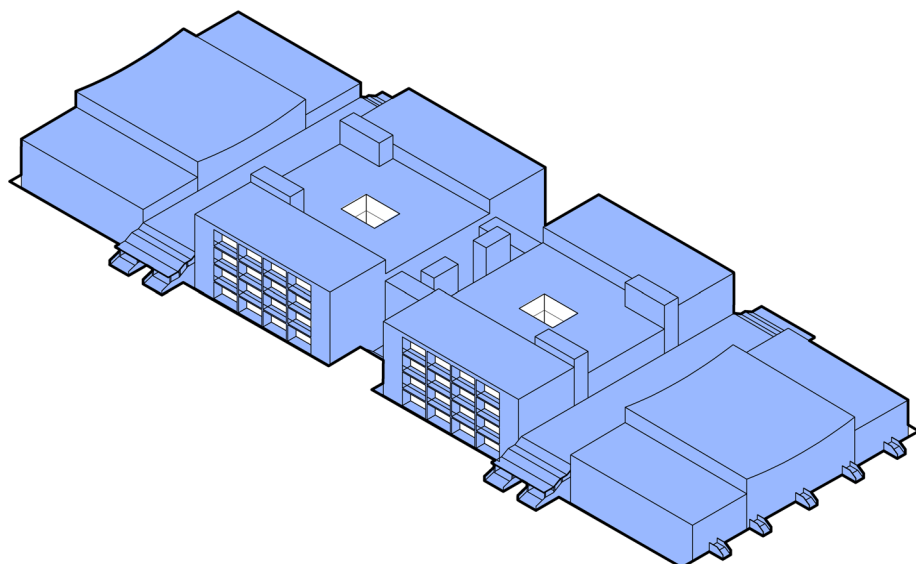


L'incremento della superficie vetrata nelle aule, permette una miglior distribuzione della luce all'interno dell'ambiente e un maggior contatto con l'esterno. Al contempo, però, la maggior radiazione solare in ingresso nel periodo estivo, in vista anche dei futuri cambiamenti climatici, potrebbe creare numerose situazioni di discomfort, dovuto al surriscaldamento dell'ambiente interno. Traslando le classi verso il corridoio, mantenendo comunque la distanza di sicurezza dettata dalla normativa antincendio, è possibile ricavare un loggiato esterno lungo tutta la lunghezza delle aule. Tale azione, ha il duplice vantaggio di schermare la radiazione solare estiva indesiderata, permettendo invece a quella invernale desiderata, l'ingresso all'interno dell'ambiente. L'altro vantaggio, consiste nella creazione di un ambiente esterno in fronte a ogni aula, estendendo gli spazi di apprendimento anche all'aperto. In un edificio di questa struttura e dimensioni, tale azione, assume un'importanza ancora maggiore, infatti, a causa della distanza e dell'elevato numero di studenti, i tempi per il raggiungimento del cortile e del ritorno in aula,

occupano gran parte della ricreazione. La creazione del loggiato, diventa, oltre a un'estensione dell'aula per fini didattici, uno spazio di svago a contatto con l'ambiente esterno, in cui passare l'intervallo e il tempo libero.

L'involucro trasparente, è stato sostituito, utilizzando serramenti con telaio in pvc, per ottenere migliori performance e leggerezza. Sono presenti infatti, serramenti di grandi dimensioni, con apertura scorrevole, la leggerezza del telaio, gioca quindi un ruolo chiave per facilitarne l'apertura anche ai bambini. La stratigrafia dell'elemento trasparente, è formata da: (esterno-interno) vetro stratificato acustico, formato da due lastre di vetro da 4 mm con all'interno film plastico per ridurre la propagazione acustica del suono da un vetro all'altro, intercapedine ad Argon di 16 mm e vetro trasparente 4 mm con trattamento basso emissivo in faccia per ridurre la dispersione di calore. Attraverso tale configurazione è possibile raggiungere una trasmittanza termica di 1,20 W/m²K e una notevole riduzione dell'inquinamento acustico esterno.

3 - SOSTITUZIONE DELL' INVOLUCRO OPACO

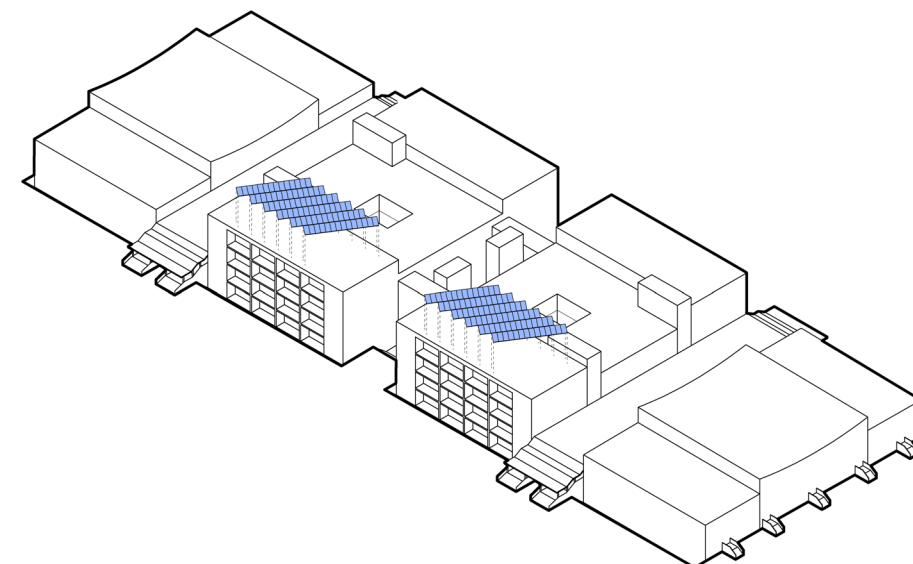


La creazione di un nuovo involucro, opaco a seguito delle demolizioni, permette la realizzazione degli interventi descritti precedentemente ottenendo performance energetiche ottimali. Per la realizzazione dell'involucro opaco esterno, è stata scelta una tecnologia a secco, composta da materiali naturali a base legno. Tale parete offre notevoli vantaggi:

- Elevata efficienza energetica, essendo i tamponamenti verticali, realizzati interamente in legno con un'elevata percentuale di materiali coibenti è possibile raggiungere valori di isolamento termico ragguardevoli a fronte di spessori complessivi ridotti.
- La riduzione dei tempi di cantiere, in quanto composta da elementi già pronti per l'uso specifico. La velocità di realizzazione è un fattore importante per questa tipologia di interventi, in quanto onde evitare una lunga interruzione del servizio scolastico, il tempo a disposizione per il completamento degli interventi corrisponde per lo più con i mesi di pausa estiva.
- Basso impatto ambientale, essendo

composta interamente da materiali naturali, durante la fase di produzione, costruzione e fine vita dell'edificio, l'impatto ambientale è minimo, grazie alla possibilità di smontare e riciclare i vari materiali. Per l'isolamento della copertura, si è scelto di utilizzare i pannelli Dachrock, pannelli rigidi in lana di roccia ad elevata resistenza a compressione che ne permette la calpestabilità, configurandosi come soluzione ideale per coperture piane a "tetto caldo". Grazie alla loro bassa conducibilità termica (0,040 W/mK), permettono di raggiungere bassi valori di trasmittanza termica.

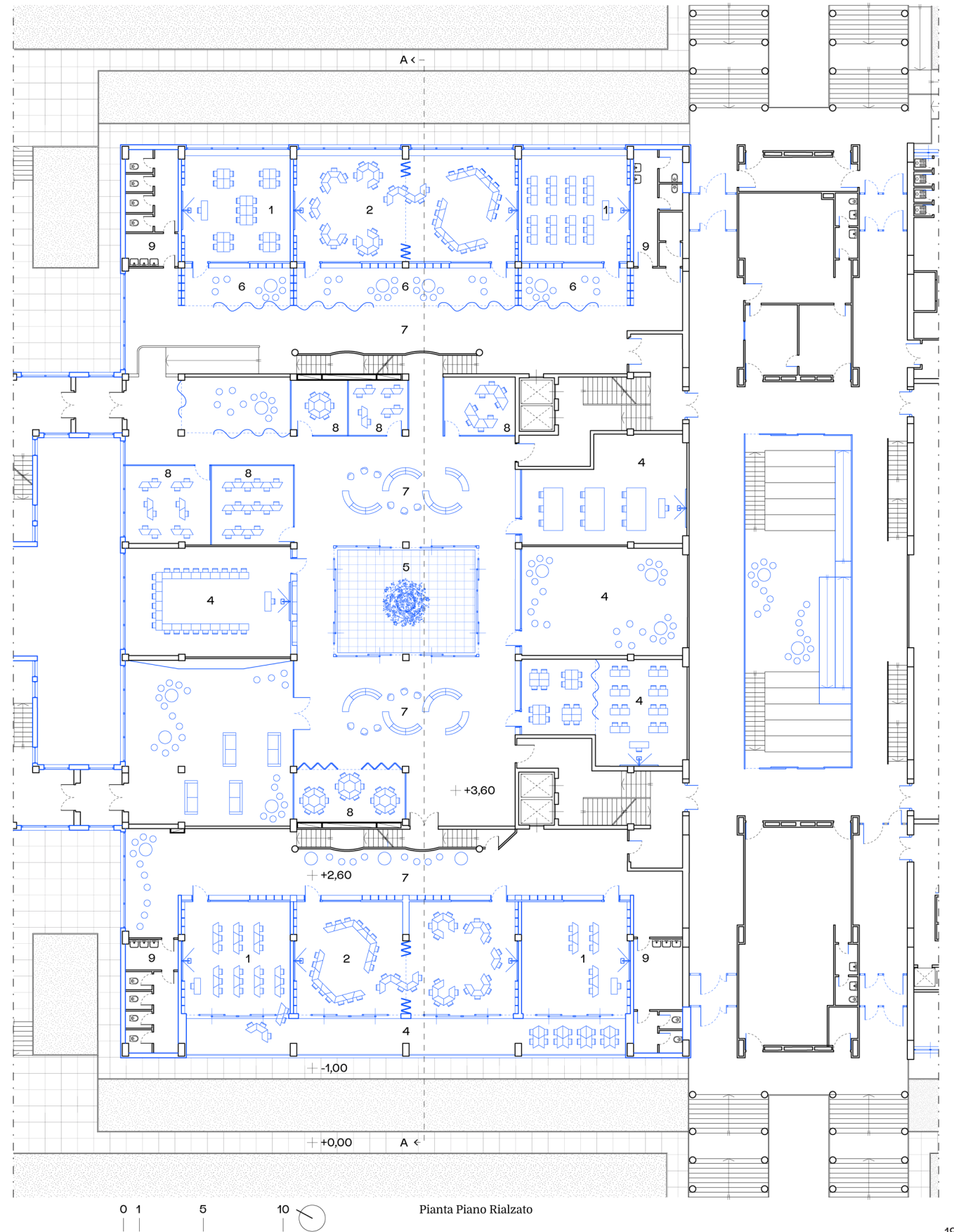
4 - SOSTITUZIONE E IMPLEMENTAZIONE DELL' IMPIANTO FOTOVOLTAICO



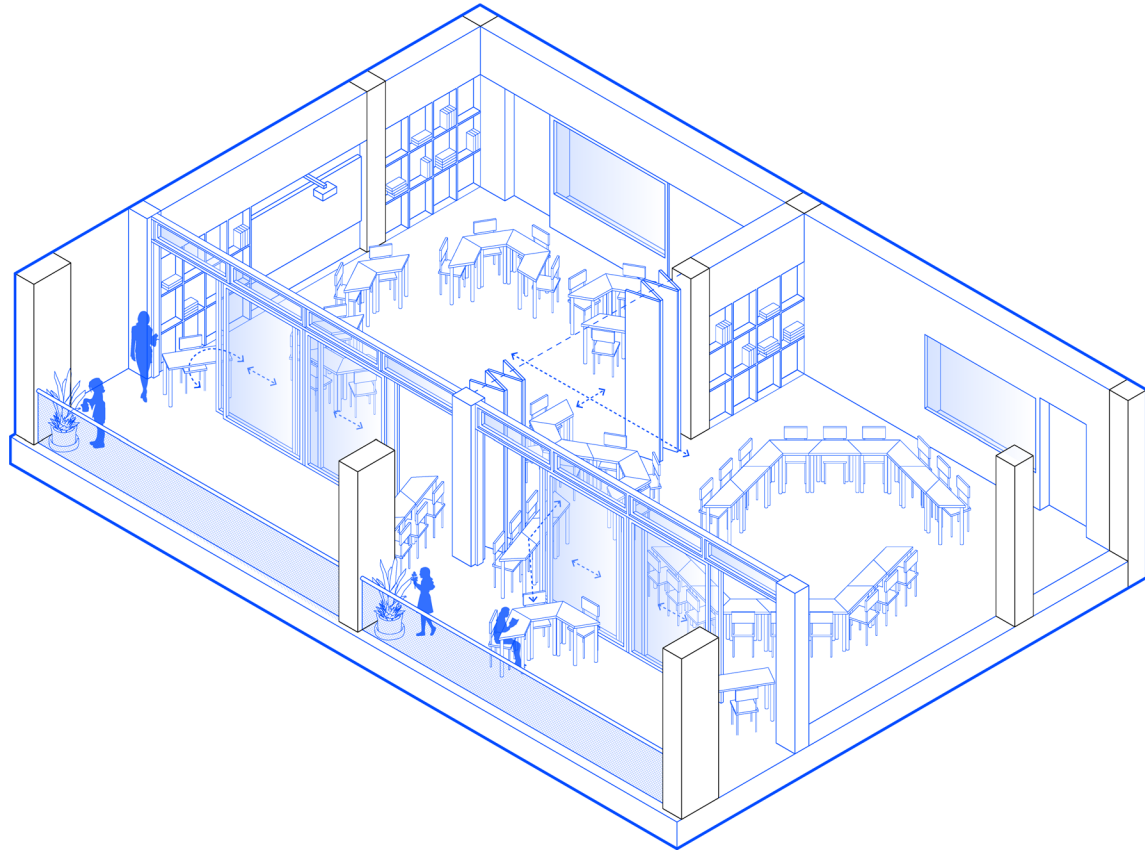
L'edificio, presenta già un impianto fotovoltaico composto da 108 pannelli, orientati a sud, con un'efficienza nell'ordine del 15%.

L'intervento, consiste nella sostituzione dei pannelli fotovoltaici esistenti con elementi di nuova generazione a migliore efficienza e nell'implementazione dell'impianto, arrivando a 164 pannelli fotovoltaici. Grazie a tale azione, è possibile passare da una produzione totale annua di 43.929,16 a 104.230,08 con un incremento del 57,85%.

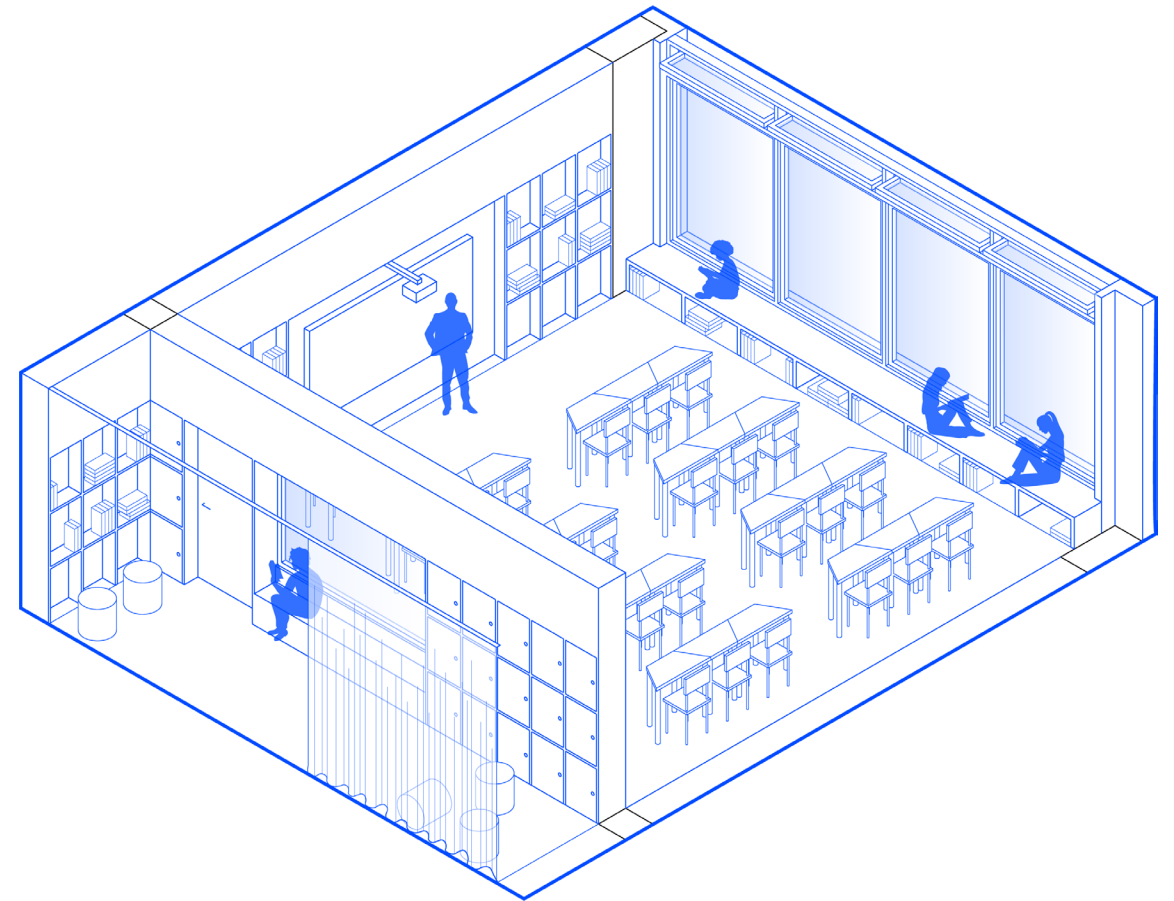
- Aula didattica **1**
- Aula atelier **2**
- Laboratorio **3**
- Loggiato esterno **4**
- Corte interna **5**
- Estensione dell'aula nel corridoio **5**
- Corridoio multifunzionale **7**
- Aree per attività di gruppo **8**
- Bagno **9**



Aula atelier

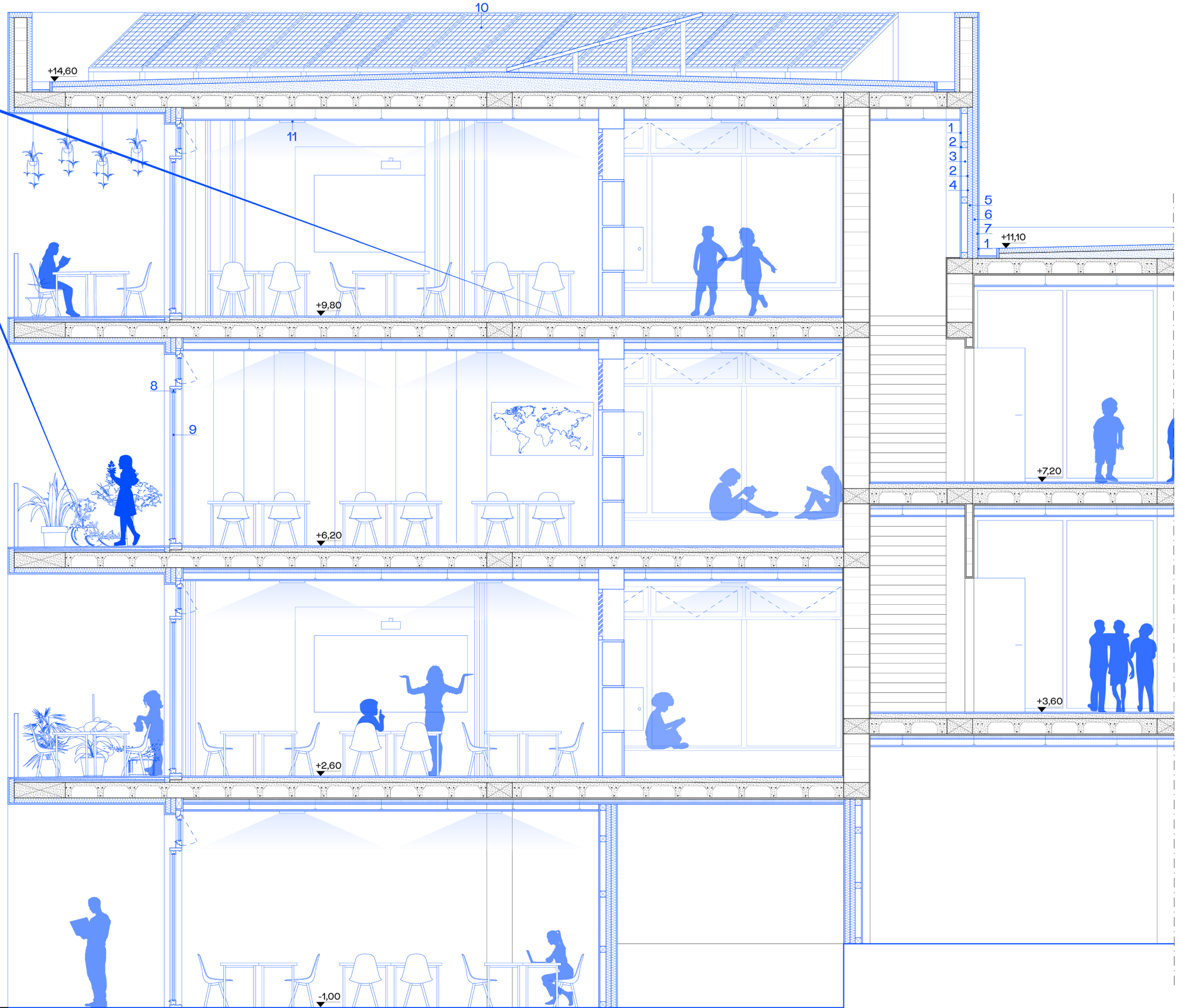


Aula didattica



21 dicembre ore 12:00
21°

21 giugno ore 12:00
68°



PARETE ESTERNA [300 mm]
Trasmittanza U: 0,18 W/m²K

Interno - Esterno

1- Intonaco	[15 mm]
2- Pannello OSB	[20 mm]
3- Listellatura in legno e intercapedine ad aria	[50 mm]
2- Pannello OSB	[20 mm]
4- Freno vapore	[1,0 mm]
5- Pannelli in fibra di legno rigidi	[80 mm]
6- Pannelli in fibra di legno flessibili	[80 mm]
7- Pannelli in fibra di legno bituminata	[20 mm]
1- Intonaco	[15 mm]

INVOLUCRO TRASPARENTE
Trasmittanza U: 1,20 W/m²K

8- TELAIO
Trasmittanza U: 2,00 W/m²K
Telaio in PVC [80 mm]

9- VETRO
Trasmittanza U: 1,00 W/m²K
Vetro stratificato [8 mm]
Intercapedine con Argon 90% [16 mm]
Vetro basso emissivo [4 mm]

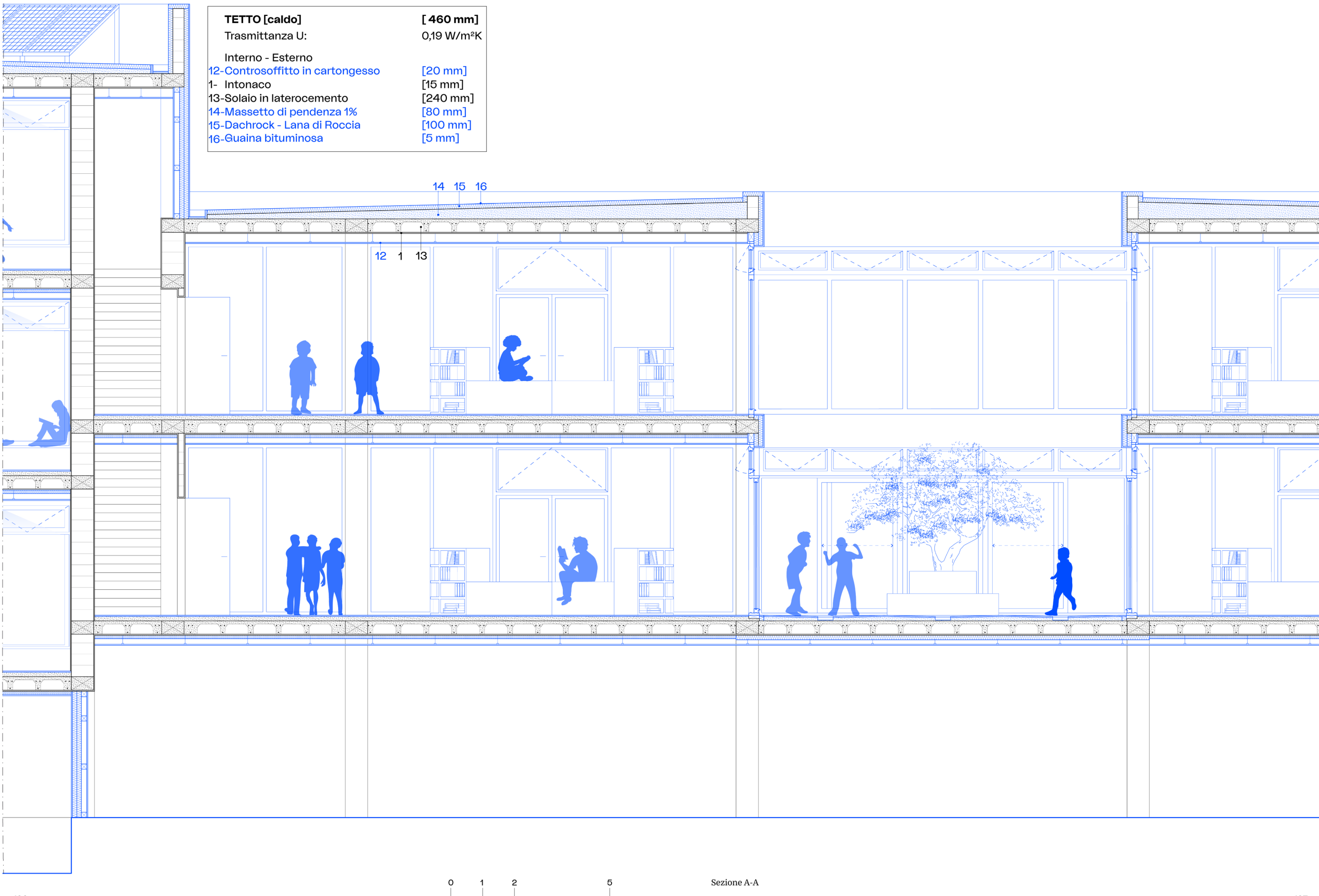
PANNELLI FOTOVOLTAICI (Silicio Monocristallino)

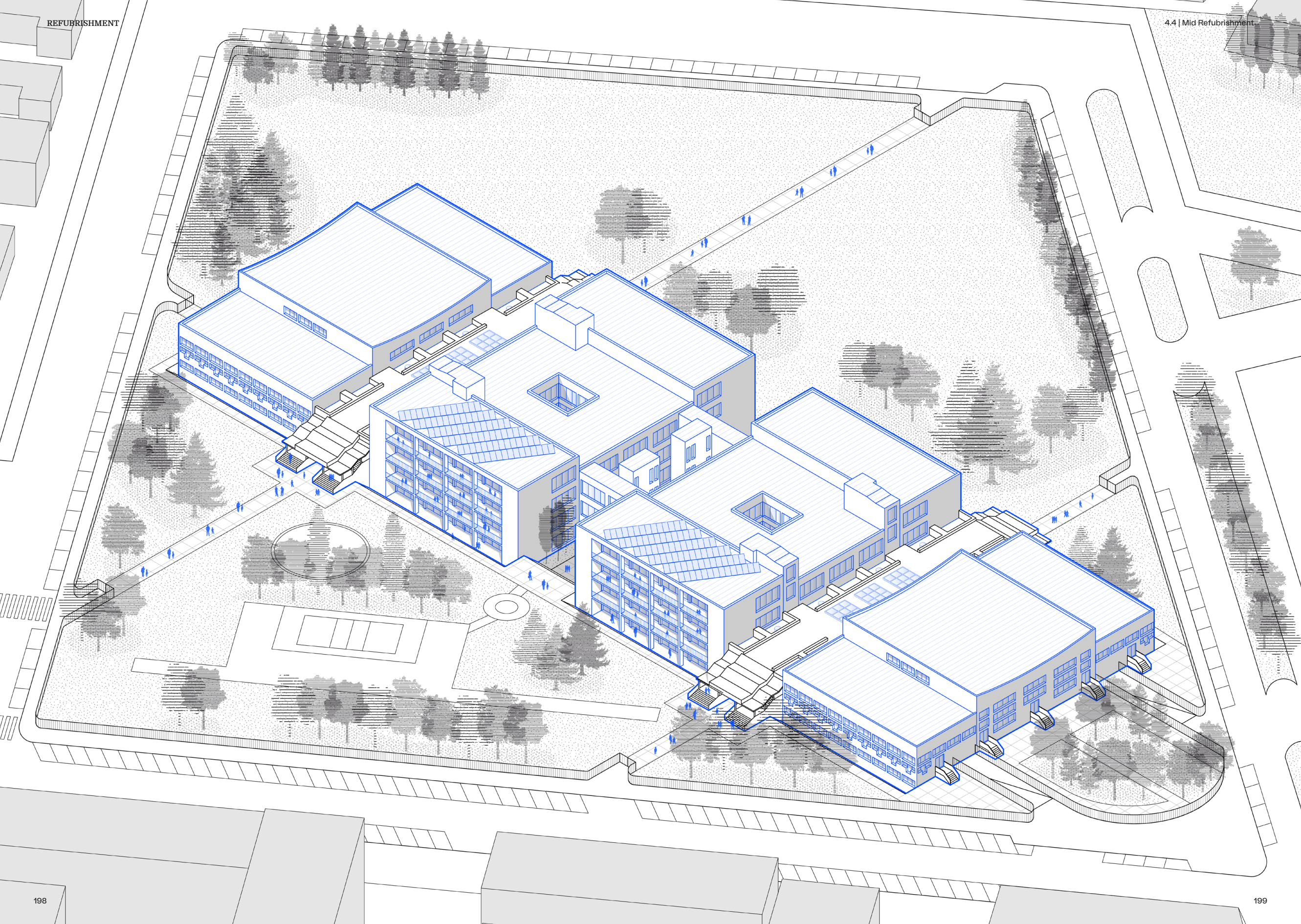
10- Rendimento η: 0,25
Irraggiamento annuo: 1495,41 kWh/m²

Numero di pannelli installati: 164
Produzione annua totale: 104.230,08 kWh

11- Lampade a led
+0,00

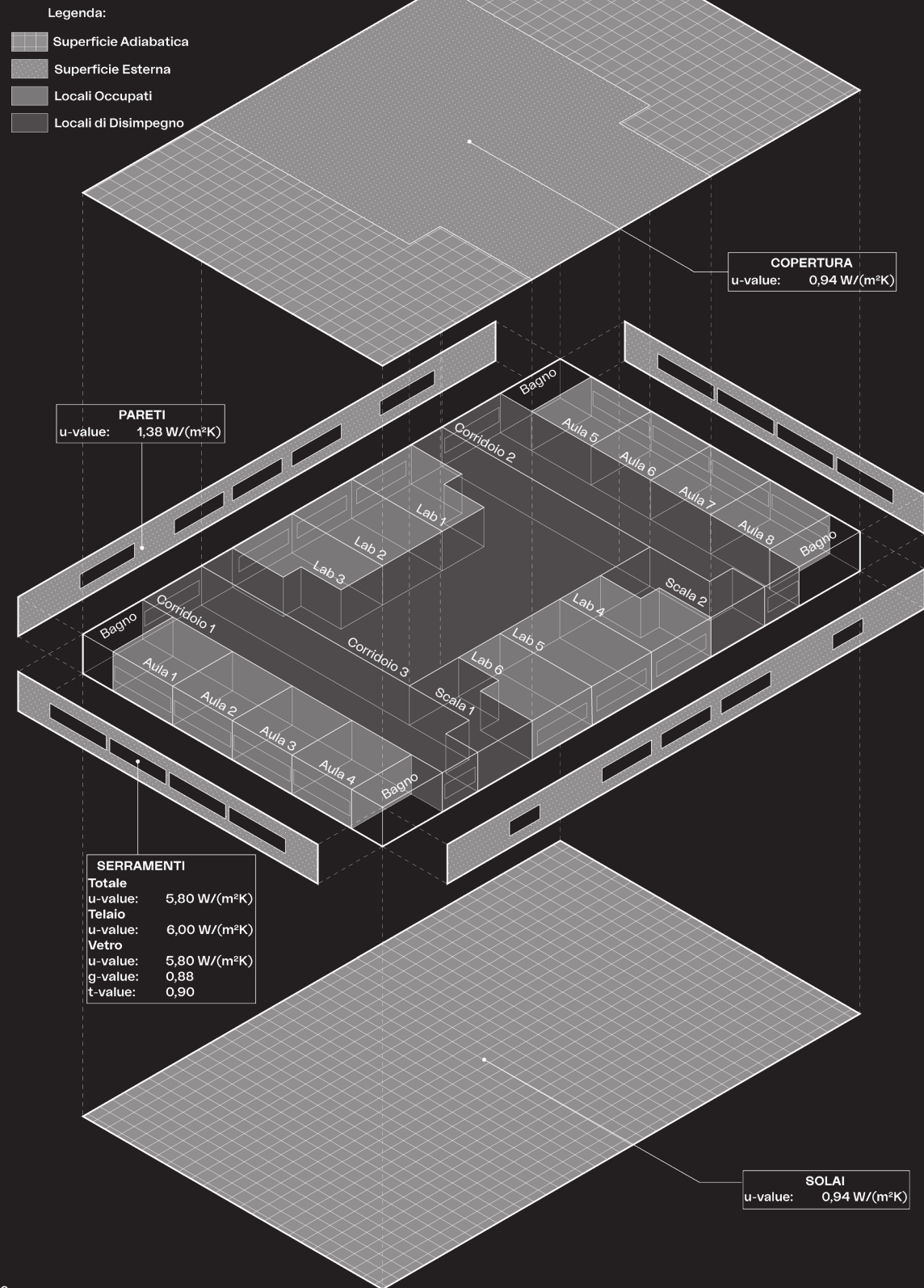
0 1 2 5 Sezione A-A





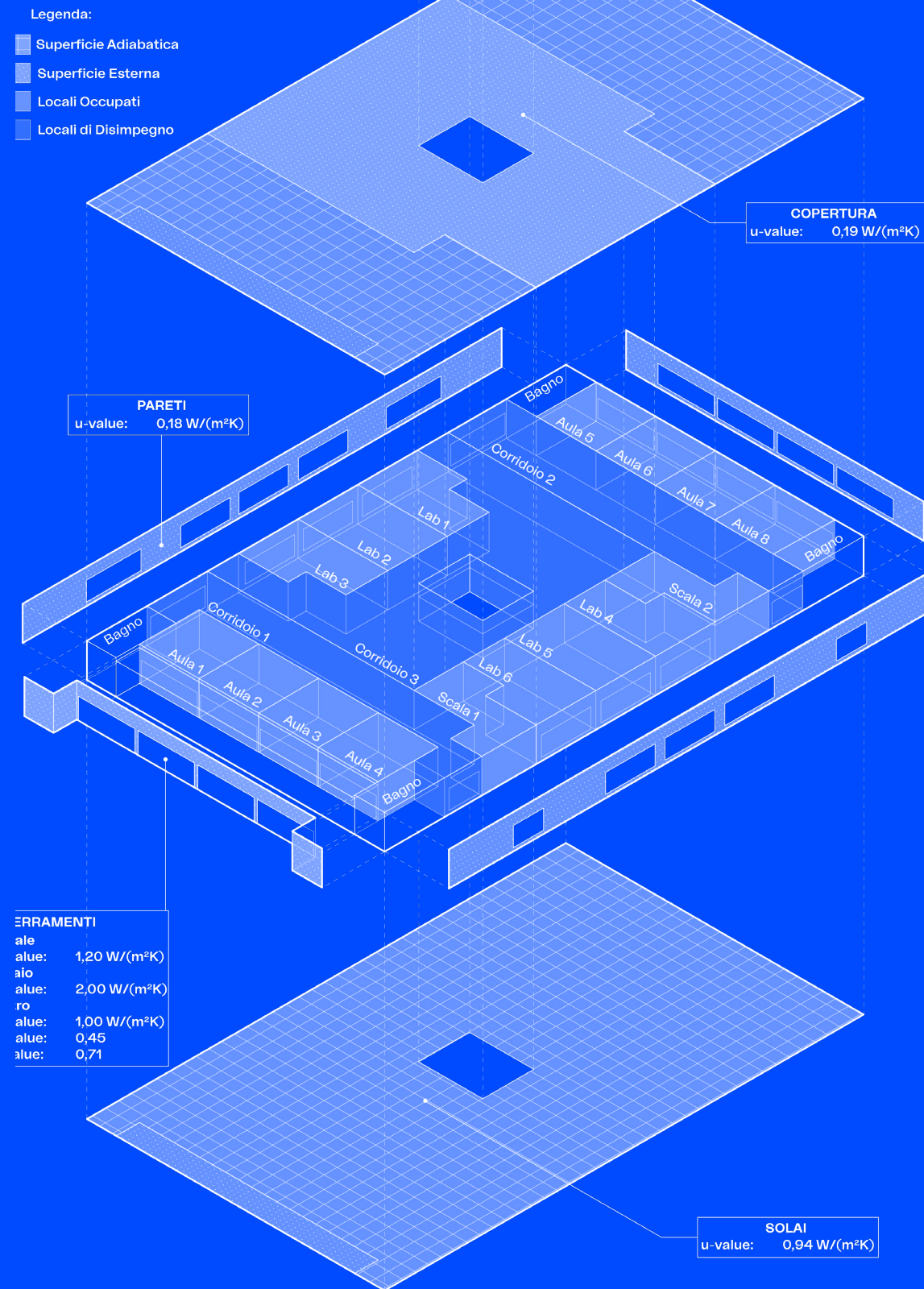
Pre Intervento

MODELLO ENERGETICO



Post Intervento

MODELLO ENERGETICO



CHIUSURA VERTICALE OPACA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Mattoni pieni	8,0	800	7	840	0,3
Intercapedine aria	11	1	1	1005	
Mattoni pieni	8,0	800	7	840	0,3
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40

Trasmittanza Termica: 1,38 W/(m²K)

Condensa superficiale: No

Condensa interstiziale: No

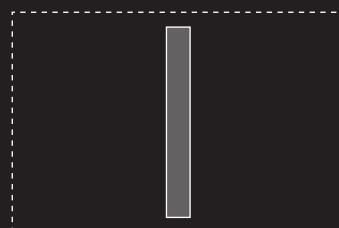
COPERTURA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Solaio laterocemento	24	800	7	840	0,3
Massetto pendenza 1%	8,0	2000	24	840	1,40
Guaina bituminosa	0,4	1250	100000	170	0,17

Trasmittanza Termica: 0,94 W/(m²K)

CHIUSURA VERTICALE TRASPARENTE

Esterno

Planibel Clearlite
4 mm

Interno

Trasmittanza Termica: 5,80 W/(m²K)

Fattore Solare: 0,88

Trasmmissione Luminosa: 0,90

Valori degli elementi opachi calcolati tramite il foglio excel "involucro", sviluppato dal DENERG del Politecnico di Torino.

Valori degli elementi trasparenti calcolati tramite il software "glass configurator" di AGC.

CHIUSURA VERTICALE OPACA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Pannello OSB	2,0	550	30	1600	0,13
Aria listellatura in legno	5,0	1	1	1005	
Pannello OSB	2,0	550	30	1600	0,13
Freno vapore	0,1	300	26000	1800	0,30
Isolante fibra legno rigid.	8,0	110	3	2100	0,039
Isolante fibra legno fless.	8,0	50	1	2100	0,038
Pannelli fibra di legno bit.	2,0	280	5	2100	0,05
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40

Trasmittanza Termica: 0,18 W/(m²K)

Condensa superficiale: No

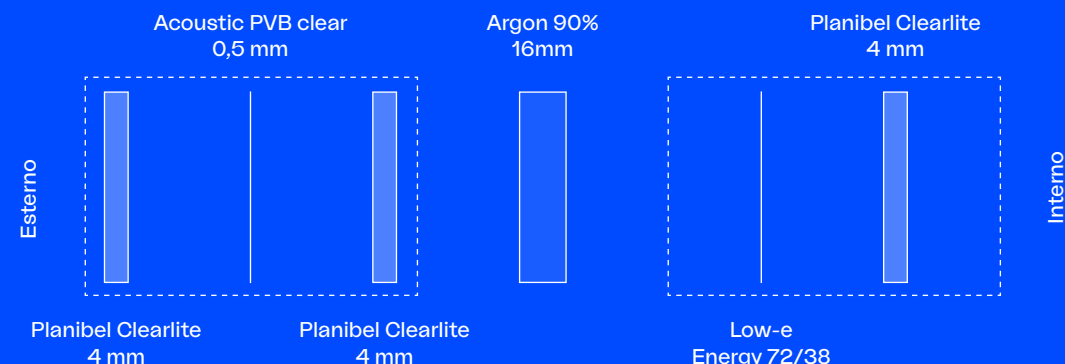
Condensa interstiziale: No

COPERTURA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Cartongesso	2,0	900	9	1090	0,21
Intercapedine aria	16	1	40	1005	
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Solaio laterocemento	24	800	7	840	0,3
Massetto pendenza 1%	8,0	2000	24	840	1,40
Lana di Roccia Dachrock	10	150	1	1030	0,04
Guaina bituminosa	0,4	1250	100000	170	0,17

Trasmittanza Termica: 0,19 W/(m²K)

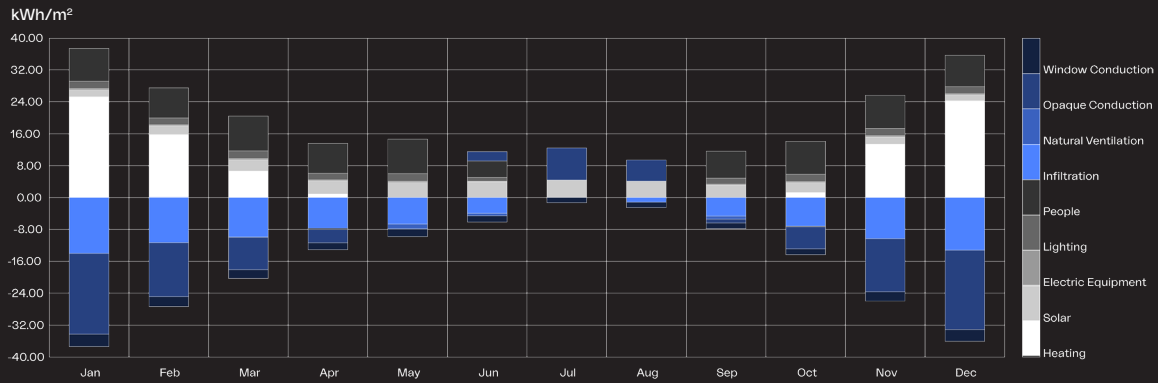
CHIUSURA VERTICALE TRASPARENTE

Planibel Clearlite
4 mmPlanibel Clearlite
4 mmLow-e
Energy 72/38Trasmittanza Termica: 1,00 W/(m²K)

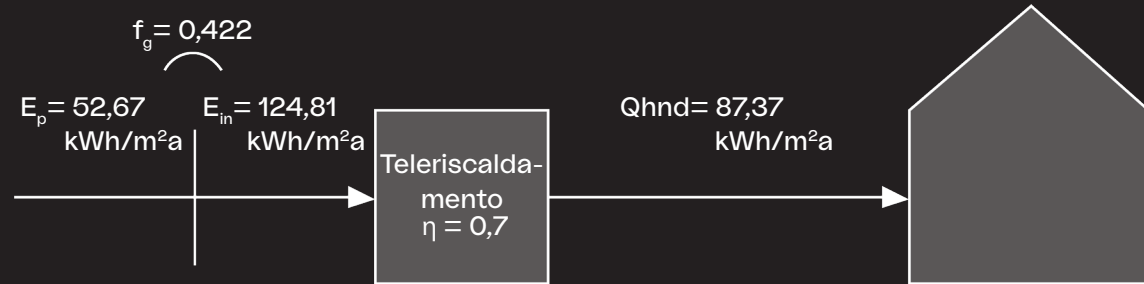
Fattore Solare: 0,45

Trasmmissione Luminosa: 0,71

THERMAL BALANCE



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER RISCALDAMENTO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER ILLUMINAMENTO ARTIFICIALE

$E_{ill} = 16,97$ kWh/m²a
 $E_{p\ ill} = 41,07$ kWh/m²a

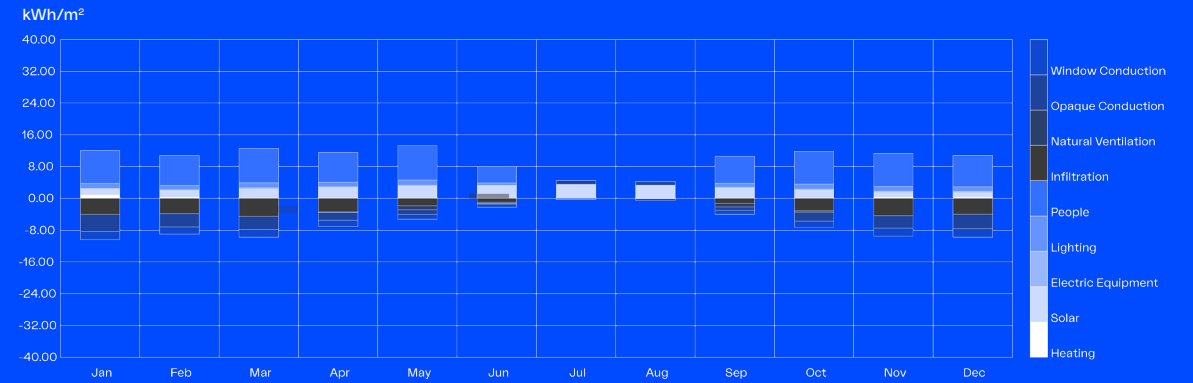
PRODUZIONE FOTOVOLTAICA ANNUA

$E_{ren} = 4,59$ kWh/m²a
 $E_{p\ ren} = 11,11$ kWh/m²a

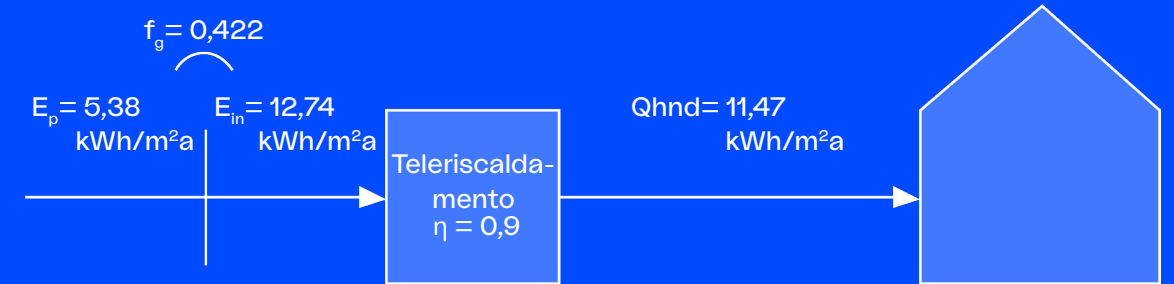
FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE

$E_{p\ tot} = 93,74$ kWh/m²a

THERMAL BALANCE



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER RISCALDAMENTO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER ILLUMINAMENTO ARTIFICIALE

$E_{ill} = 11,31$ kWh/m²a
 $E_{p\ ill} = 27,37$ kWh/m²a

PRODUZIONE FOTOVOLTAICA ANNUA

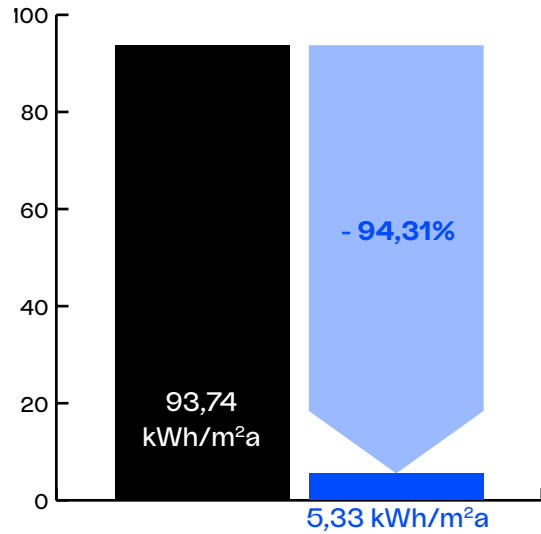
$E_{ren} = 11,33$ kWh/m²a
 $E_{p\ ren} = 27,42$ kWh/m²a

FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE

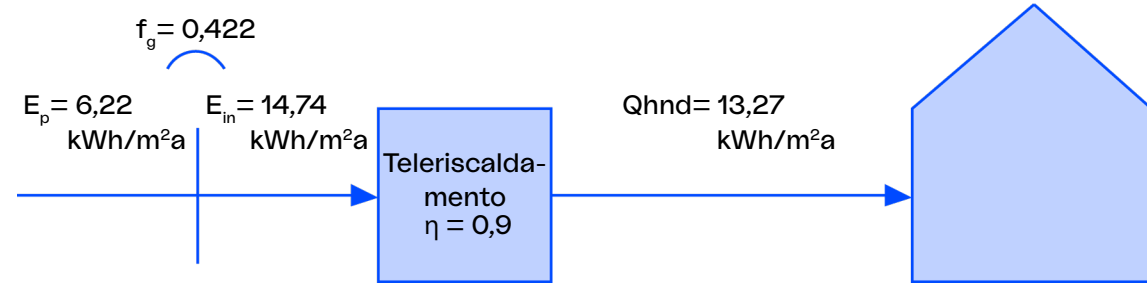
$E_{p\ nren} = 32,75$ kWh/m²a

$E_{p\ tot} = 5,33$ kWh/m²a

RIDUZIONE ANNUA DEL CONSUMO ENERGETICO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE DELL'EDIFICIO DI RIFERIMENTO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER ILLUMINAMENTO ARTIFICIALE

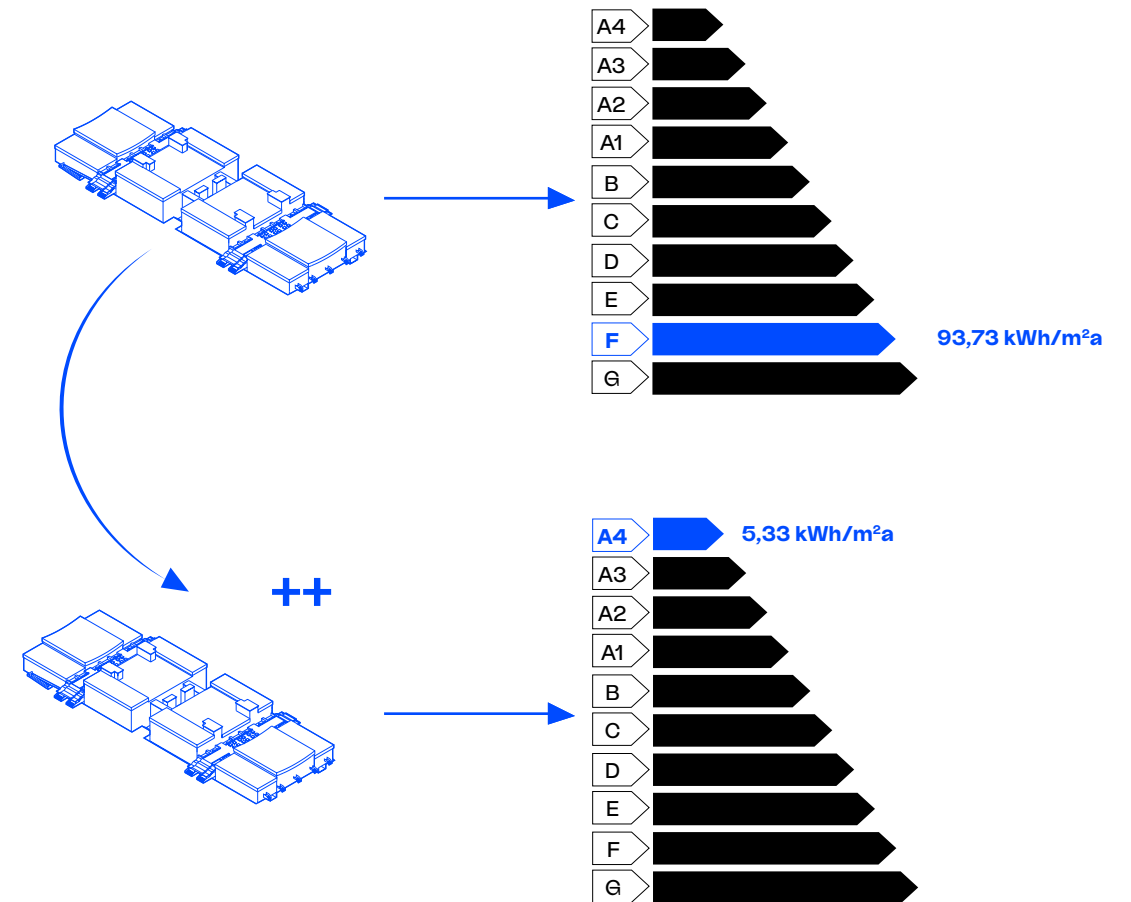
$E_{ill} = 11,31 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
 $E_{p,ill} = 27,37 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE

$E_{p,tot} = 33,59 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

CALCOLO CLASSE ENERGETICA

	Classe A4	$\leq 13,44$
$13,44 <$	Classe A3	$\leq 20,15$
$20,15 <$	Classe A2	$\leq 26,87$
$26,87 <$	Classe A1	$\leq 33,59$
$33,59 <$	Classe B	$\leq 40,31$
$40,31 <$	Classe C	$\leq 50,39$
$50,39 <$	Classe D	$\leq 100,77$
$67,18 <$	Classe E	$\leq 87,33$
$87,33 <$	Classe F	$\leq 117,57$
	Classe G	$> 117,57$



Deep Refurbishment

4.5



Istituto Comprensivo Leonardo Da Vinci
Via degli Abeti 13



Rilievo Fotografico

“Il contesto”



28. Sanino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024



29. Sanino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024



30. Sanino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024

“L’edificio”



31. Sanino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024



32. Sanino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024



33. Sanino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024



34. Sanino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024



35. Sanino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024

36. Samino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024



37. Samino F. Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci", Torino, 2024

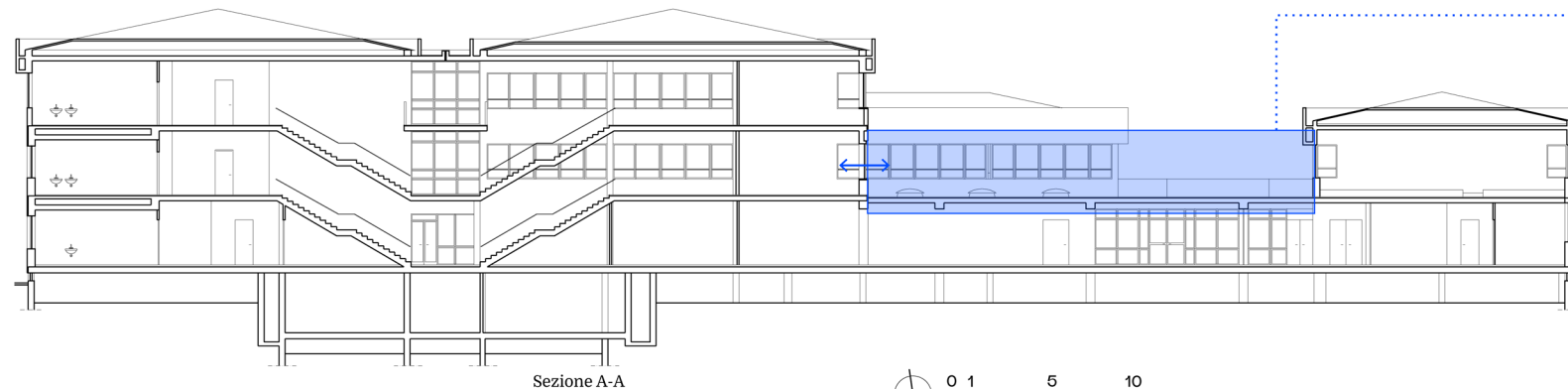


Stato di fatto

“Potenzialità e Criticità +/-”



Pianta Piano Primo



Sezione A-A

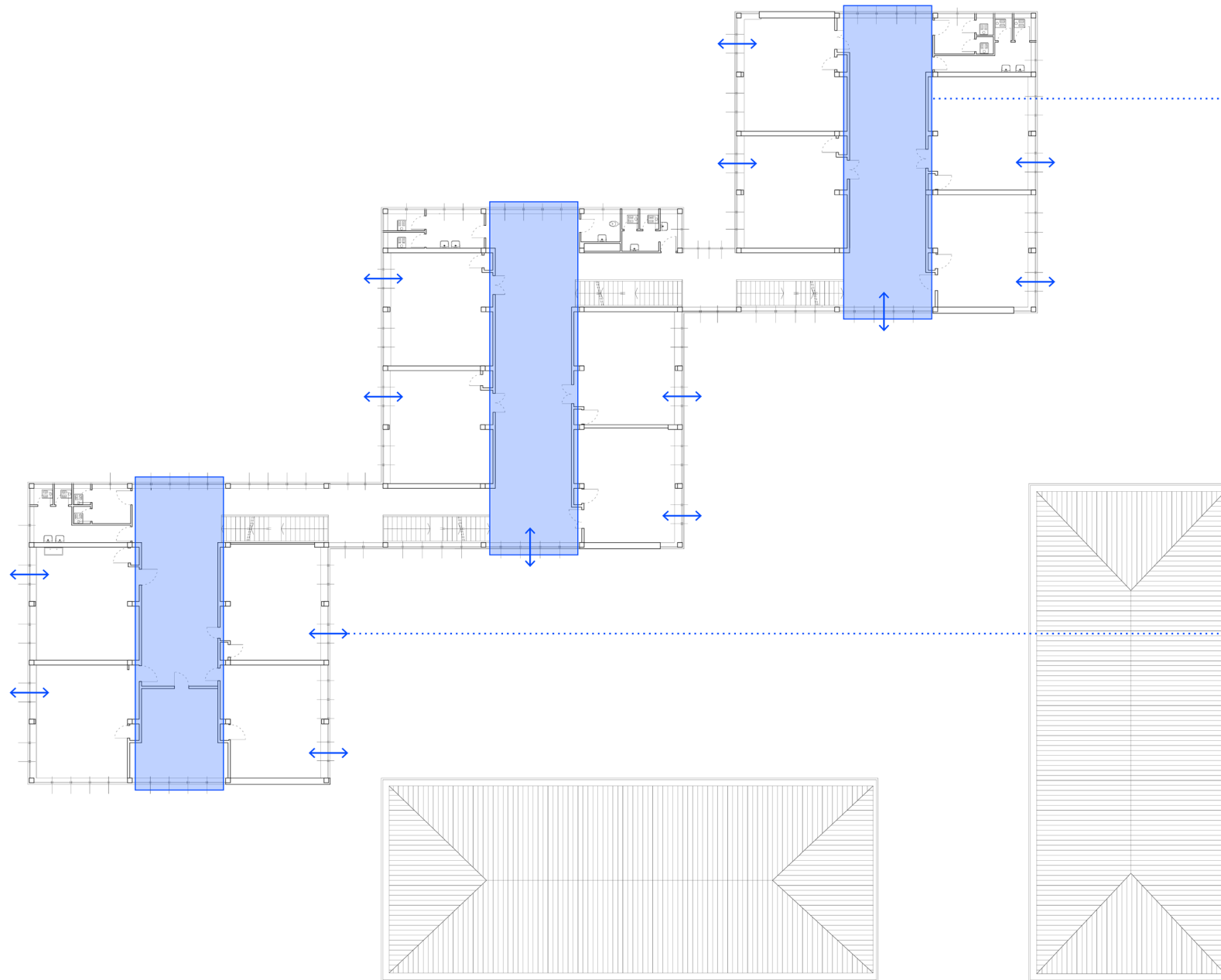


- Dimensione delle aule ridotta

Le aule, organizzate con un sistema rigido e una metratura ridotta, sono adatte allo svolgimento della classica didattica frontale, senza dar spazio ai nuovi modelli di didattica alternativa.

- Copertura non calpestabile

L'ampia copertura non calpestabile, è un'opportunità mancata di estensione dell'ambiente didattico verso l'esterno.



+ Ampii spazi distributivi di fronte alle aule

Costituiscono un importante potenziale di trasformazione dello spazio. Attualmente pur avendo dimensioni tali da poter accogliere diverse funzioni, questi spazi, utilizzati unicamente per fini distributivi, risultano dispersivi.

- Scarso rapporto interno/esterno

L'assenza di un collegamento diretto verso l'esterno, limita le modalità di erogazione delle lezioni, senza dar spazio alla nuova didattica. Inoltre la distanza dal cortile sottostante non permette agli studenti di passare i cambi d'ora e l'intervallo all'aperto.

Strategia d'azione

L'intervento di "Deep Refurbishment" corrisponde a una riqualificazione energetica con anche ricadute sull'ambiente didattico interno e la sua estensione verso esterno.

L'esplorazione progettuale di "Deep Refurbishment" è stata applicata all'Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci" in Via degli Abeti 13. L'edificio selezionato, appartiene alla categoria di edifici modello ripetuti denominata: Alberti. L'edificio, venne costruito nel 1974, quando la costruzione di Falchera nuova impone la creazione di una realtà scolastica che risponda all'esigenza formativa dei giovani dell'ora neonato quartiere.⁵⁹ L'edificio, è composto da un corpo edilizio articolato in tre blocchi che accolgono le aule, distribuiti tramite un corridoio centrale i cui cambi di direzione definiscono tre cluster di aule e due corpi edilizi che accolgono attività sportive, collegati tramite una piazza coperta centrale.⁶⁰ La struttura portante è realizzata in cemento armato, che offre libertà nella disposizione spaziale degli ambienti. L'esterno è rivestito interamente da piccole piastrelle ceramiche di colore ocra posizionate a mosaico. Il Deep Refurbishment, costituisce una possibilità per abbattere i consumi energetici, le emissioni di CO₂ dell'edificio e per ripensare gli spazi di apprendimen-

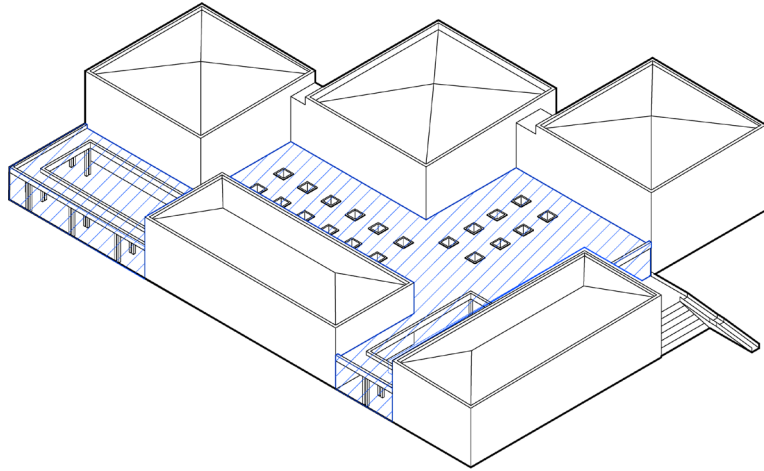
to interni ed estenderli verso l'esterno. Il risultato di tale intervento, permette di ottenere un notevole miglioramento del comfort interno e dell'esperienza didattica. Consiste nella sostituzione dell'involucro opaco esterno, dell'involucro trasparente esterno e della copertura, nell'inserimento di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica, nel ripensamento e redistribuzione dell'ambiente di apprendimento interno e nella sua estensione verso l'ambiente esterno.

59. Museo Torino. *Scuola Media Leonardo da Vinci*. <https://www.museotorino.it/view/s/754b83006d4f-4f35a99e47c1fceb66af>

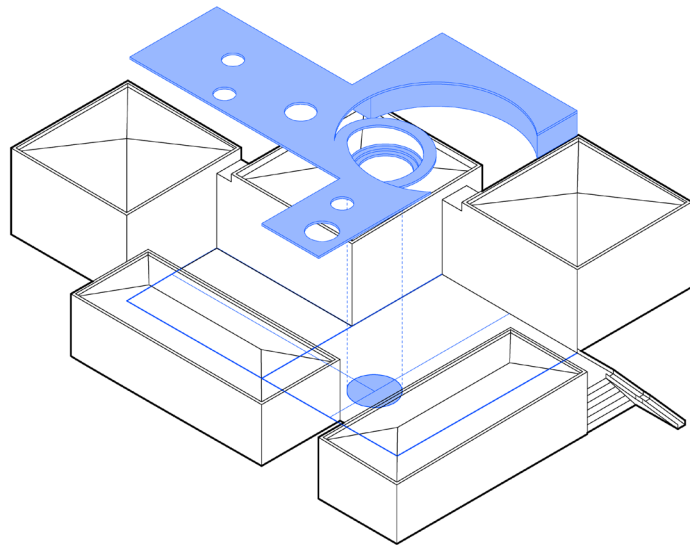
60. Barioglio, C. & Campobenedetto, D. (2022). *L'infrastruttura della città. 37 progetti per 167 edifici*, pp. 69, 227, p. 140.

1 - SOSTITUZIONE DELLA PIAZZA COPERTA CENTRALE

/ Individuazione delle aule esposte a Sud-Est



/ Individuazione delle aule esposte a Sud-Est

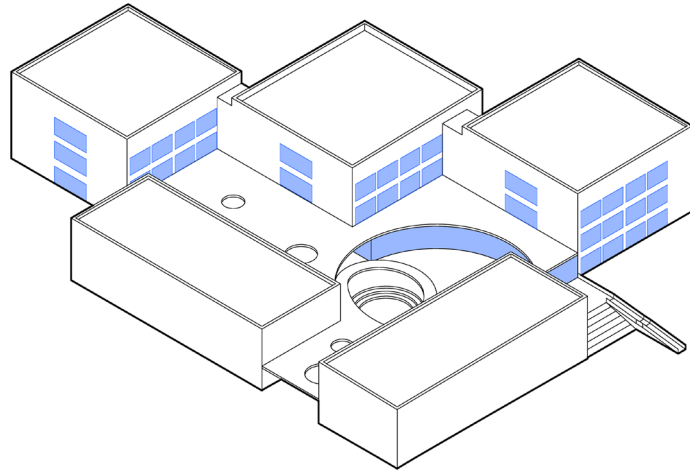


La piazza coperta centrale di collegamento, presenta un'ampia copertura non calpestabile in corrispondenza di aule e corridoi del primo piano dell'edificio scolastico. Lasciare inutilizzato e inaccessibile uno spazio aperto così ampio e centrale, rappresenta un'opportunità mancata.

La demolizione della copertura esistente non calpestabile e la sua sostituzione con una praticabile, punta a creare un ambiente scolastico che integra all'interno del suo sistema anche aree esterne volte a stimolare la creatività, il benessere e l'interazione sociale tra gli studenti.

Si andranno quindi a utilizzare i nuovi spazi per svolgere lezioni all'esterno, favorendo una didattica più dinamica e meno vincolata agli spazi chiusi e per le attività ricreative, fornendo uno spazio sicuro in cui favorire la socializzazione e il gioco.

1 - SOSTITUZIONE E INCREMENTO DELL' INVOLUCRO OPACO TRASPARENTE

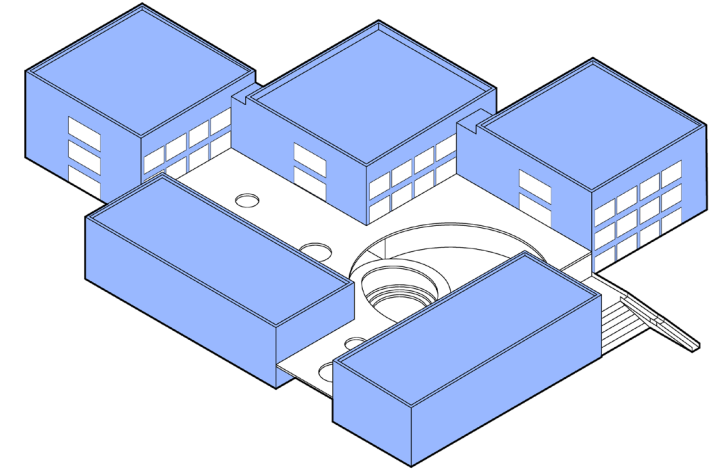


L'incremento della superficie vetrata nelle aule, permette una miglior distribuzione della luce naturale all'interno dell'ambiente, migliorando significativamente la concentrazione e le prestazioni cognitive degli studenti. Inoltre, crea un maggior senso di connessione con l'ambiente esterno, riducendo il senso di "chiusura". Dal punto di vista energetico, contribuisce a diminuire i consumi grazie alla minore necessità di illuminazione artificiale e al contributo degli apporti solari positivi invernali.

L'involucro trasparente, è stato sostituito, utilizzando serramenti con telaio in pvc, per ottenere migliori performance e leggerezza. Sono presenti infatti, serramenti di grandi dimensioni, con apertura scorrevole, la leggerezza del telaio, gioca quindi un ruolo chiave per facilitarne l'apertura anche ai bambini. La stratigrafia dell'elemento trasparente, è composta da: (esterno-interno) vetro trasparente 4 mm con trattamento basso emissivo in posizione 2, intercapedine ad Argon di 16 mm e vetro stratificato acustico, composto da due lastre di vetro da 4 mm con

all'interno film plastico per ridurre la propagazione acustica del suono da un vetro all'altro. Attraverso tale configurazione è possibile raggiungere una trasmittanza termica di $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ e una notevole riduzione dell'inquinamento acustico esterno.

3 - SOSTITUZIONE DELL' INVOLUCRO OPACO

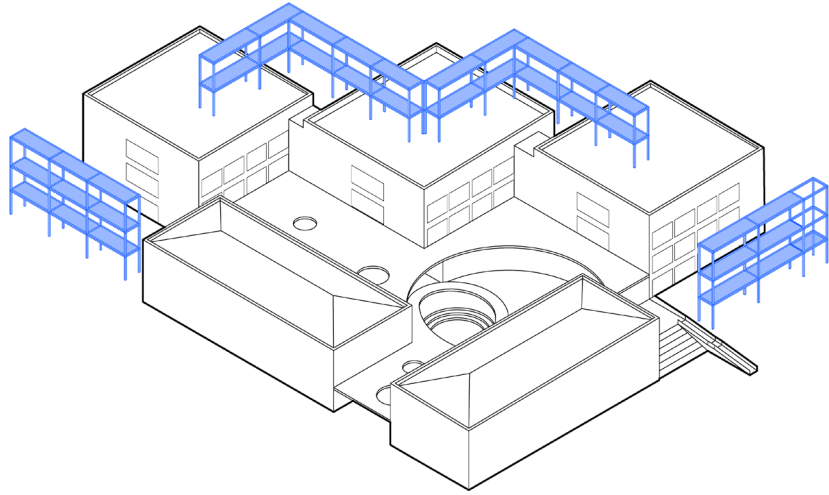


La creazione di un nuovo involucro, opaco a seguito delle demolizioni, permette di ottenere performance energetiche ottimali. Per la realizzazione dell'involucro opaco esterno, è stata scelta una tecnologia a secco, composta da materiali naturali a base legno. Tale parete offre notevoli vantaggi:

- Elevata efficienza energetica, essendo i tamponamenti verticali, realizzati interamente in legno con un'elevata percentuale di materiali coibenti è possibile raggiungere valori di isolamento termico ragguardevoli a fronte di spessori complessivi ridotti.
- La riduzione dei tempi di cantiere, in quanto composta da elementi già pronti per l'uso specifico. La velocità di realizzazione è un fattore importante per questa tipologia di interventi, in quanto onde evitare una lunga interruzione del servizio scolastico, il tempo a disposizione per il completamento degli interventi corrisponde per lo più con i mesi di pausa estiva.
- Basso impatto ambientale, essendo composta interamente da materiali na-

turali, durante la fase di produzione, costruzione e fine vita dell'edificio, l'impatto ambientale è minimo, grazie alla possibilità di smontare e riciclare i vari materiali. Per la copertura, si è scelto il rifacimento attraverso la realizzazione di una copertura piana con guaina bituminosa. L'isolamento della stessa è garantito tramite pannelli Dachrock, pannelli rigidi in lana di roccia ad elevata resistenza a compressione che ne permette la calpestabilità, configurandosi come soluzione ideale per coperture piane a "tetto caldo". Grazie alla loro bassa conducibilità termica ($0,040 \text{ W/mK}$), permettono di raggiungere bassi valori di trasmittanza.

4 - INSERIMENTO DEI BALLATOI ESTERNI



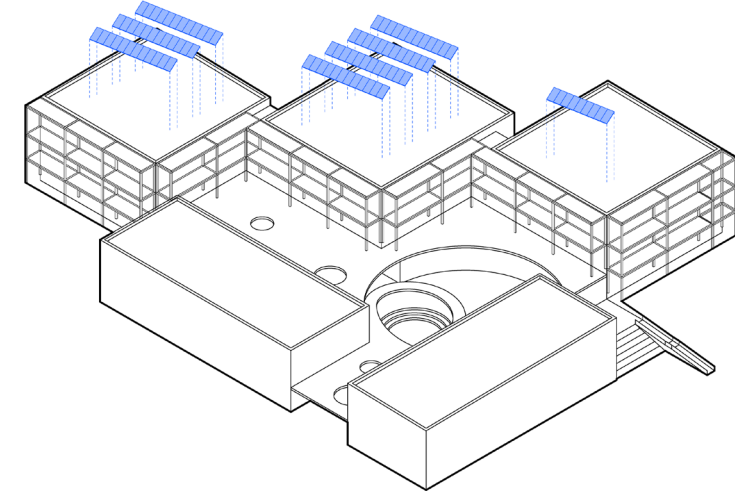
L'incremento della superficie vetrata nelle aule, permette una miglior distribuzione della luce all'interno dell'ambiente e un maggior contatto con l'esterno. Al contempo, però, la maggior radiazione solare in ingresso nel periodo estivo, in vista anche dei futuri cambiamenti climatici, potrebbe creare numerose situazioni di discomfort, dovute al surriscaldamento dell'ambiente interno.

La realizzazione di ballatoi esterni, strutturalmente indipendenti, di fronte alle facciate orientate a sud e sud-est, permette di schermare la radiazione solare estiva indesiderata, permettendo al contempo l'ingresso all'interno dell'ambiente a quella invernale desiderata.

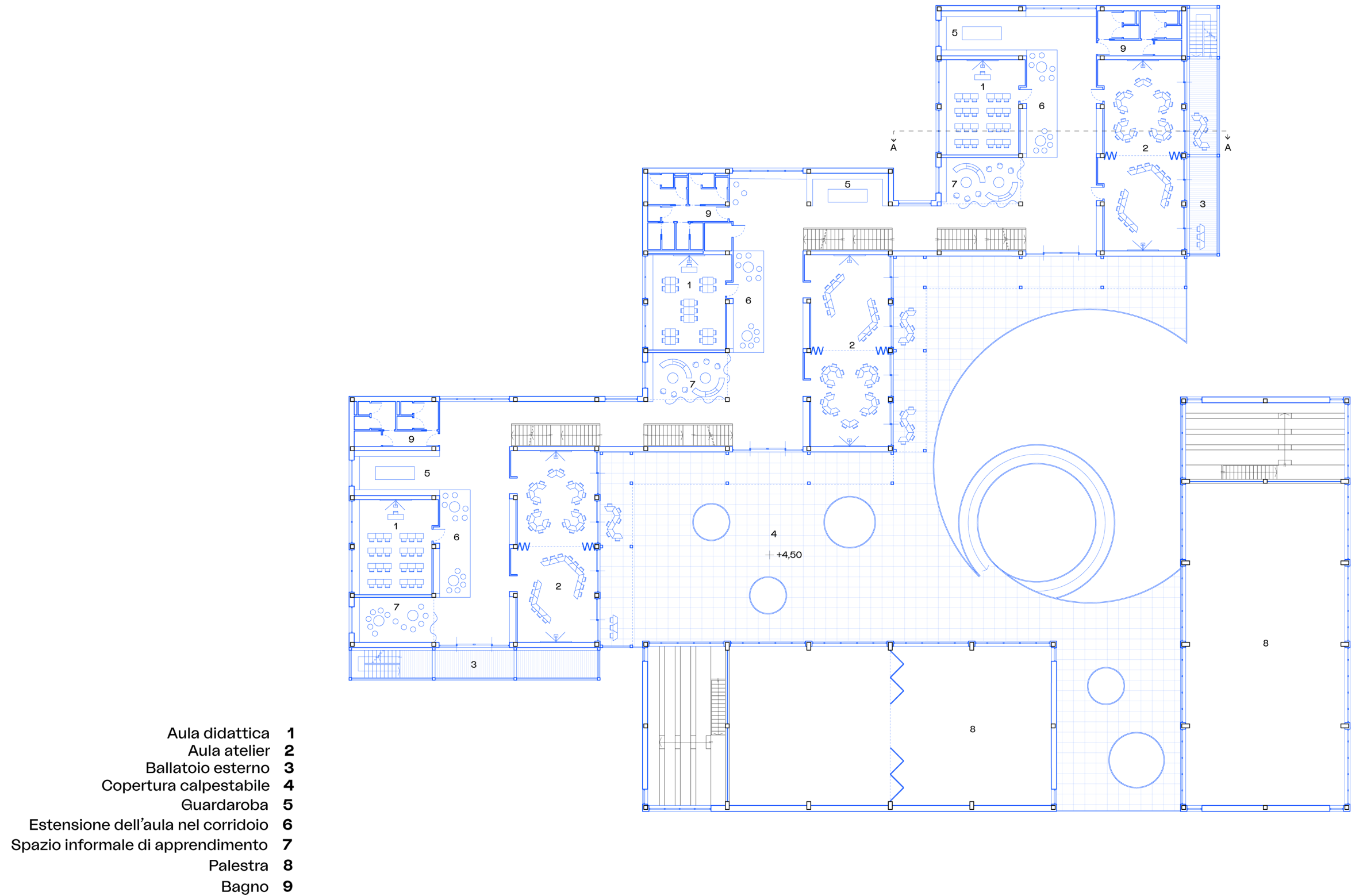
I ballatoi esterni, producono un duplice vantaggio, oltre a schermare dalla radiazione solare estiva, creano un ambiente esterno in fronte a ogni aula, estendendo gli spazi di apprendimento anche all'aperto. Tale intervento, completa l'azione iniziata con la creazione della nuova copertura calpestabile, offrendo così oltre a un'estensione dell'aula per fini didattici, uno spazio di svago a contatto con l'am-

biente esterno, in cui passare l'intervallo e il tempo libero.

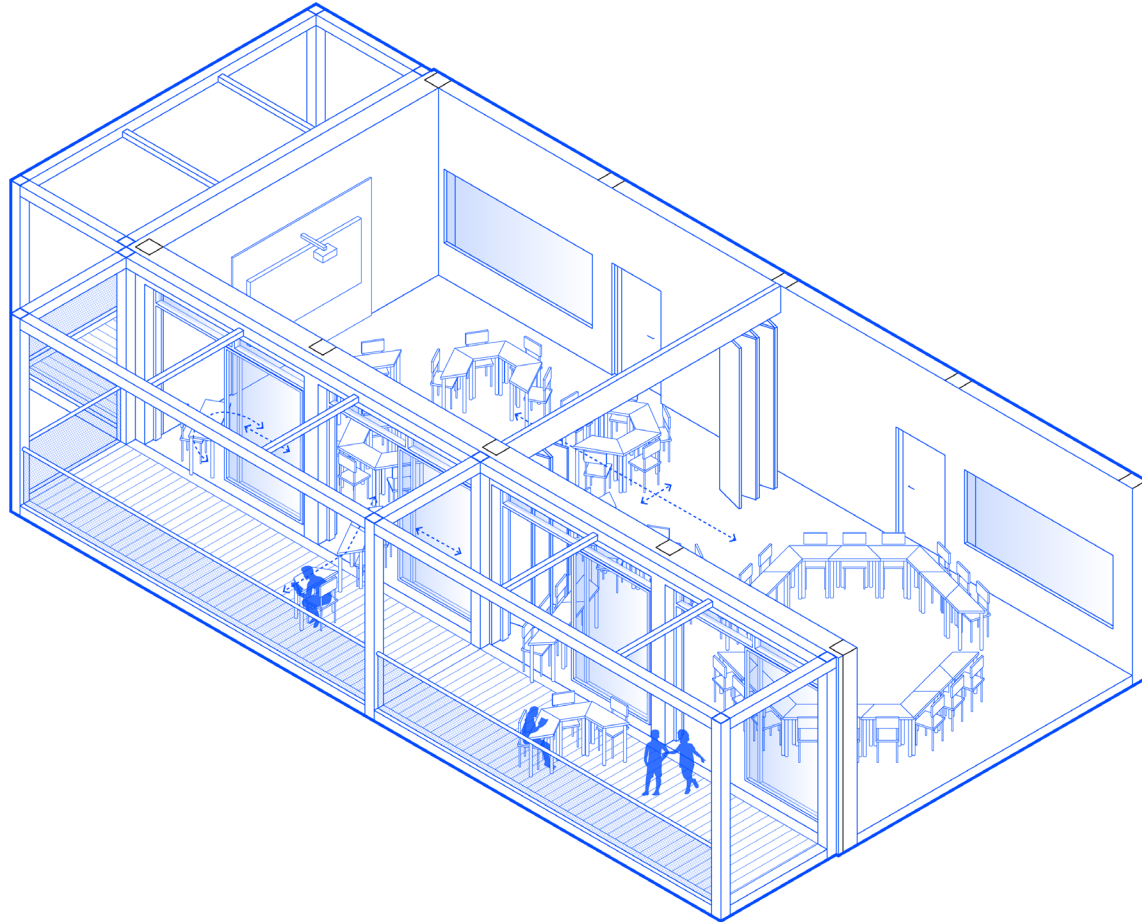
3 - INSERIMENTO DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO



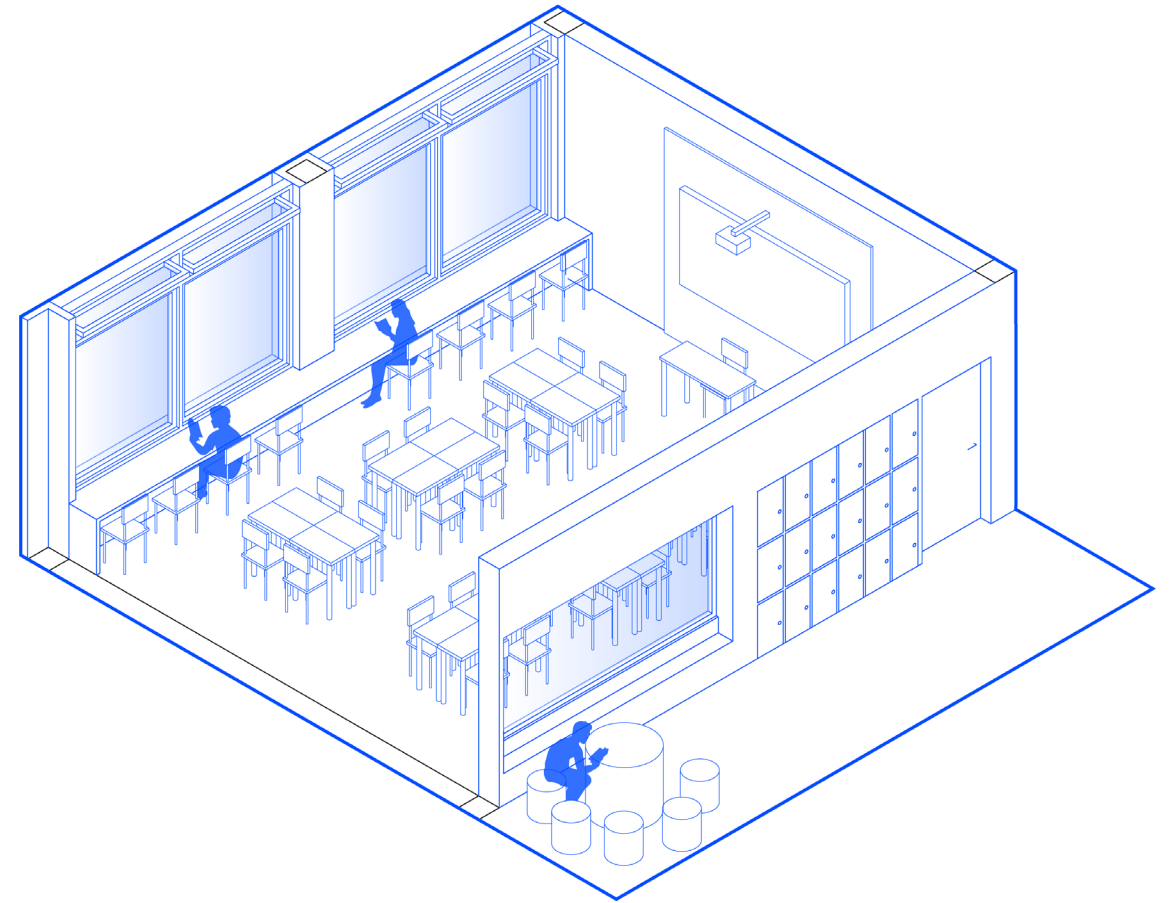
L'intervento, consiste nell'inserimento in copertura di 93 pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino, orientati a sud e inclinati di 30 gradi. La combinazione dell'impianto fotovoltaico con il sistema di riscaldamento a pompa di calore, permette di sopperire l'intero fabbisogno di energia annuo dell'edificio, portando il bilancio a 0.



Aula atelier



Aula didattica



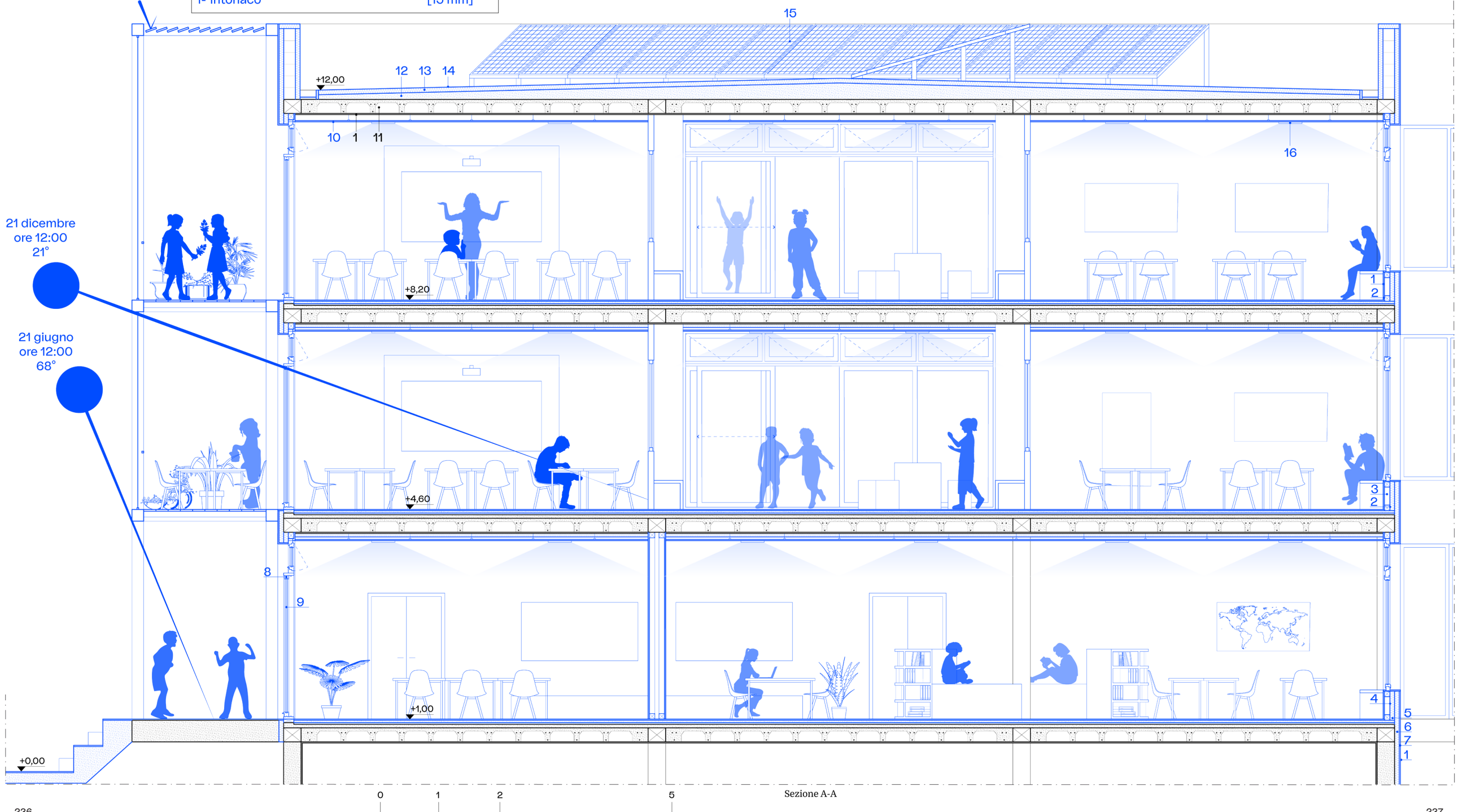
PARETE ESTERNA	[300 mm]
Trasmittanza U:	0,18 W/m ² K
Interno - Esterno	
1- Intonaco	[15 mm]
2- Pannello OSB	[20 mm]
3- Listellatura in legno e intercapedine ad aria	[50 mm]
2- Pannello OSB	[20 mm]
4- Freno vapore	
5- Pannelli in fibra di legno rigidi	[80 mm]
6- Pannelli in fibra di legno flessibili	[80 mm]
7- Pannelli fibra di legno bituminata	[20 mm]
1- Intonaco	[15 mm]

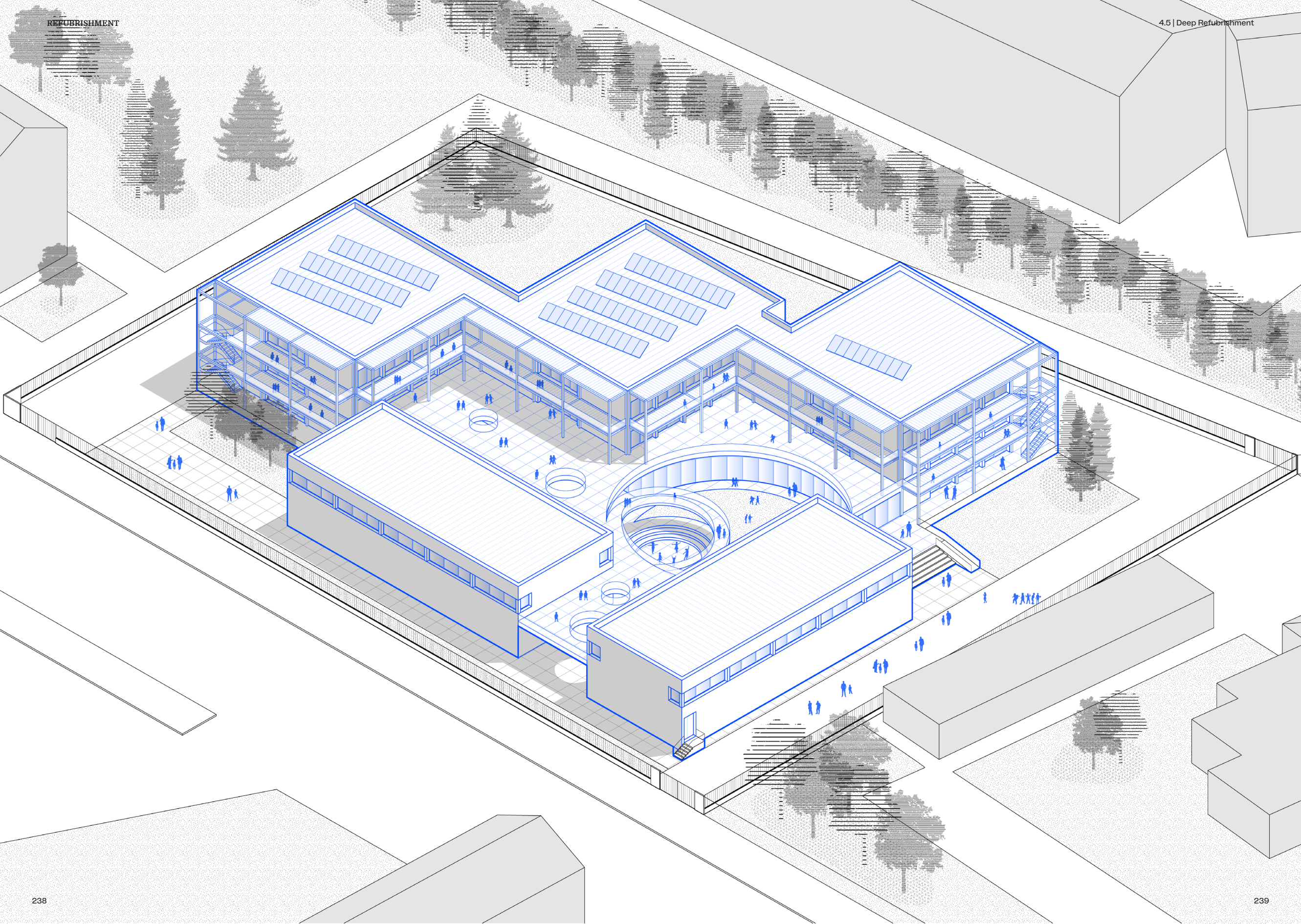
INVOLUCRO TRASPARENTE		
Trasmittanza U:	1,20 W/m ² K	
8- TELAIO		
Trasmittanza U:	2,00 W/m ² K	
Telaio in PVC	[80 mm]	
9- VETRO		
Trasmittanza U:	1,00 W/m ² K	
Vetro chiaro	[8 mm]	
Intercapedine con Argon 90%	[16 mm]	
Vetro basso emissivo	[4 mm]	

TETTO [caldo]	[460 mm]
Trasmittanza U:	0,19 W/m ² K
Interno - Esterno	
10- Controsoffitto in cartongesso	[20 mm]
1- Intonaco	[15 mm]
11- Solaio in laterocemento	[240 mm]
12- Massetto di pendenza 1%	[80 mm]
13- Dachrock - Lana di Roccia	[100 mm]
14- Guaina bituminosa	[5 mm]

15- PANNELLI FOTOVOLTAICI (Silicio Monocristallino)	
Rendimento η:	0,25
Irraggiamento annuo:	1495,41 kWh/m ²
Numero di pannelli installati:	93
Produzione annua totale:	57.851,56 kWh

16- Lampade a led



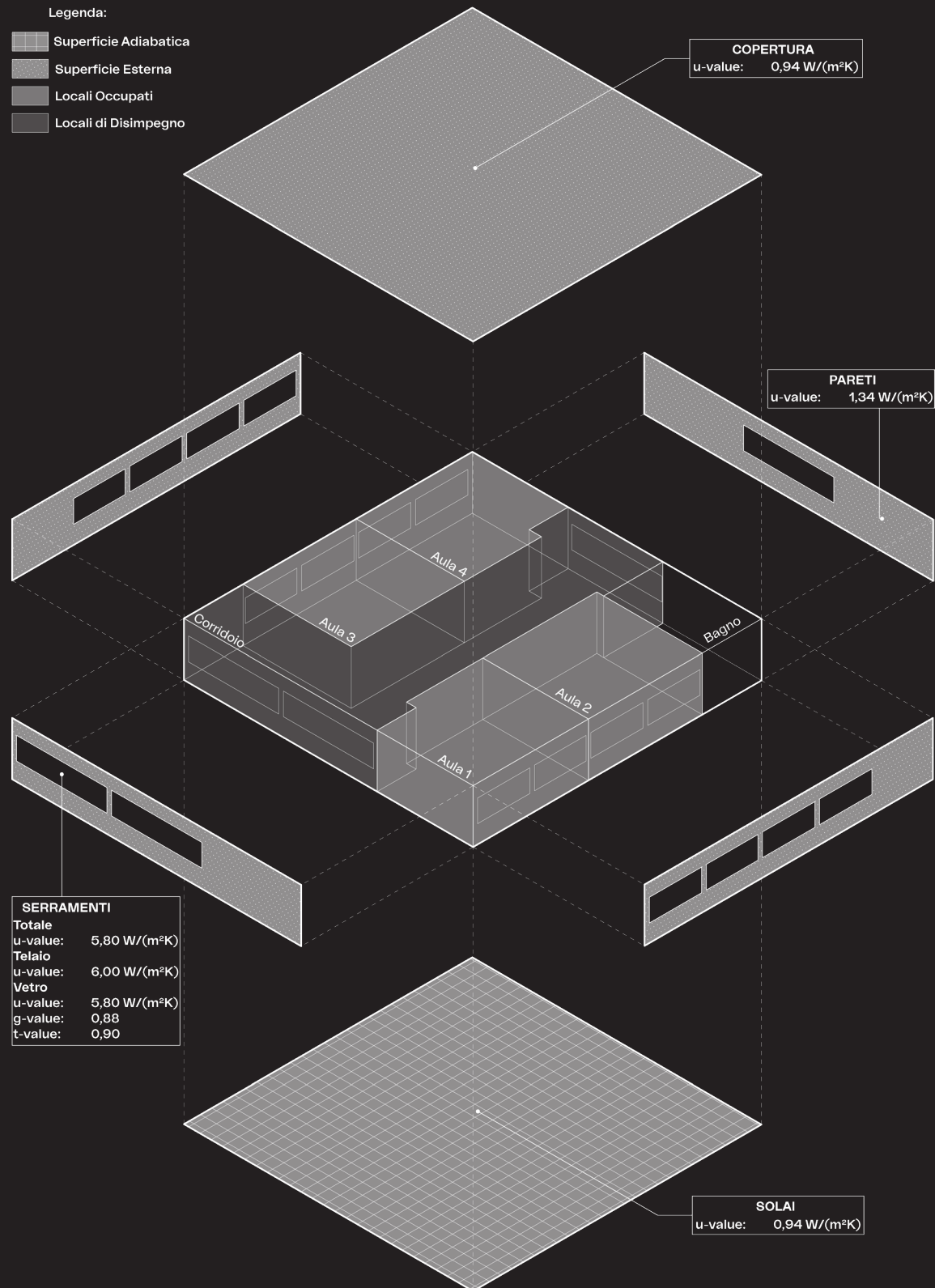


Pre Intervento

MODELLO ENERGETICO

Legenda:

- Superficie Adiabatica
- Superficie Esterna
- Locali Occupati
- Locali di Disimpegno

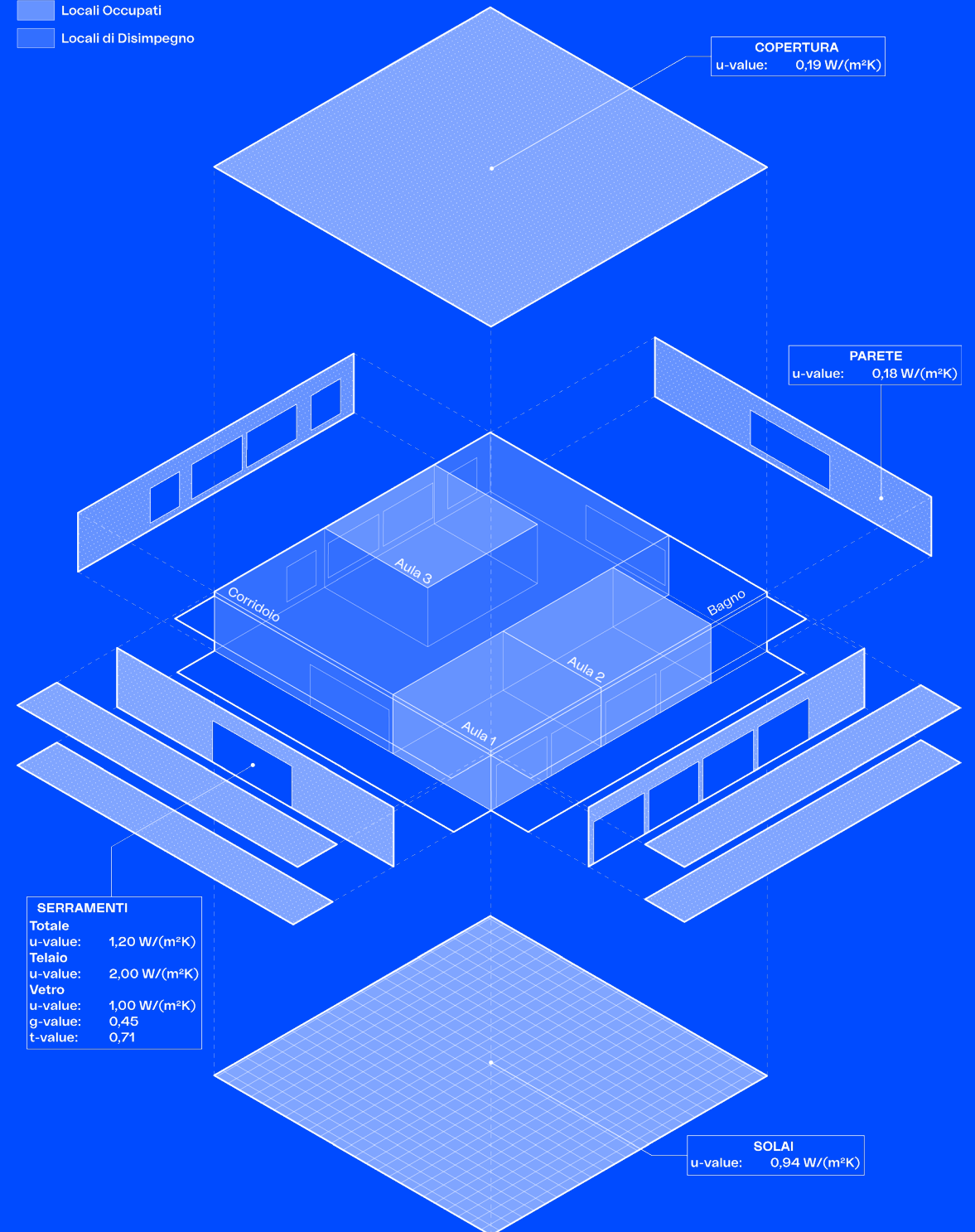


Post Intervento

MODELLO ENERGETICO

Legenda:

- Superficie Adiabatica
- Superficie Esterna
- Locali Occupati
- Locali di Disimpegno



CHIUSURA VERTICALE OPACA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Mattoni pieni	8,0	800	7	840	0,30
Intercapedine aria	11	1	1	1005	
Mattoni pieni	8,0	800	7	840	0,30
Piastrelle ceramiche	3,0	2300	213	840	1,00

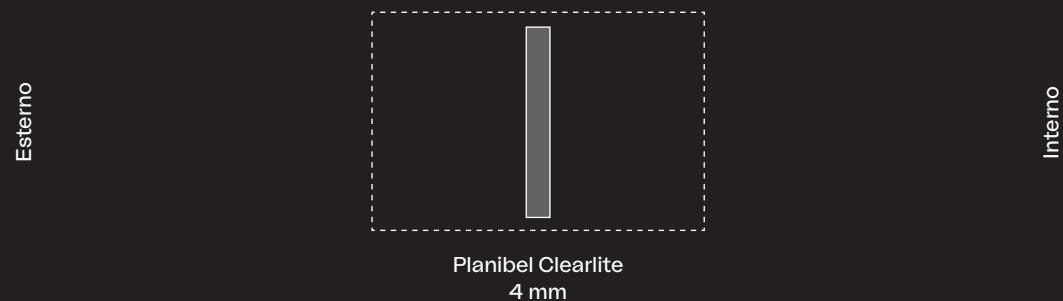
Trasmittanza Termica: 1,34 W/(m²K)

COPERTURA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Solaio laterocemento	24	800	7	840	0,3
Massetto	8,0	2000	24	840	1,40
Lamiera metallica	0,05	7800			52

Trasmittanza Termica: 0,94 W/(m²K)

CHIUSURA VERTICALE TRASPARENTE

Trasmittanza Termica: 5,80 W/(m²K)

Fattore Solare: 0,88

Trasmissione Luminosa: 0,90

Valori degli elementi opachi calcolati tramite il foglio excel "Involucro", sviluppato dal DENERG del Politecnico di Torino.

Valori degli elementi trasparenti calcolati tramite il software "glass configurator" di AGC.

CHIUSURA VERTICALE OPACA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Pannello OSB	2,0	550	30	1600	0,13
Aria listellatura in legno	5,0	1	1	1005	
Pannello OSB	2,0	550	30	1600	0,13
Freno vapore	0,1	300	26000	1800	0,30
Isolante fibra legno rigid.	8,0	110	3	2100	0,039
Isolante fibra legno fless.	8,0	50	1	2100	0,038
Pannelli fibra di legno bit.	2,0	280	5	2100	0,05
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40

Trasmittanza Termica: 0,18 W/(m²K)

Condensa superficiale: No

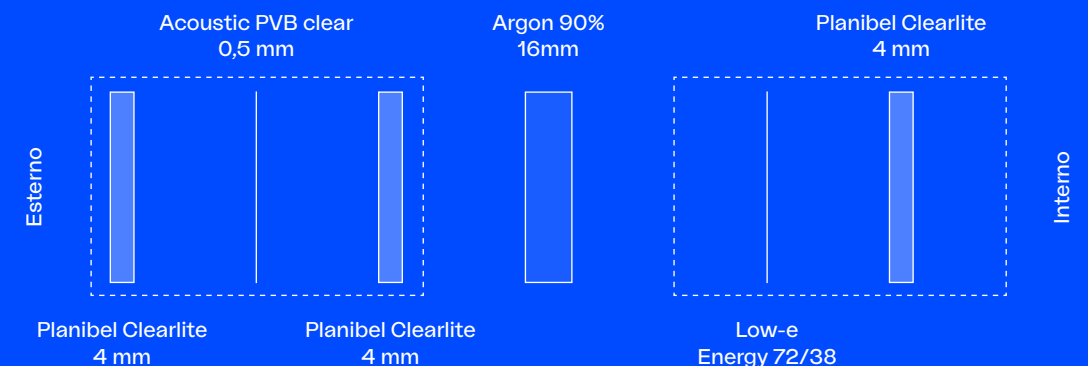
Condensa interstiziale: No

COPERTURA

Stratigrafia (int-est)	Spessore cm	Massa volumica kg/m ³	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico J/kg°C	Conducibilità termica W/m°C
Cartongesso	2,0	900	9	1090	0,21
Intercapedine aria	16	1	40	1005	
Intonaco	1,5	2000	24	840	1,40
Solaio laterocemento	24	800	7	840	0,3
Massetto pendenza 1%	8,0	2000	24	840	1,40
Lana di Roccia Dachrock	10	150	1	1030	0,04
Guaina bituminosa	0,4	1250	100000	170	0,17

Trasmittanza Termica: 0,19 W/(m²K)

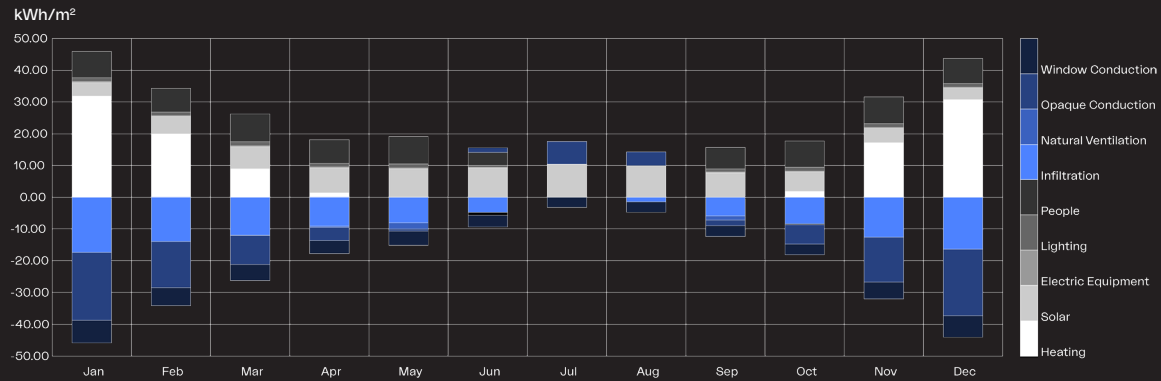
CHIUSURA VERTICALE TRASPARENTE

Trasmittanza Termica: 1,00 W/(m²K)

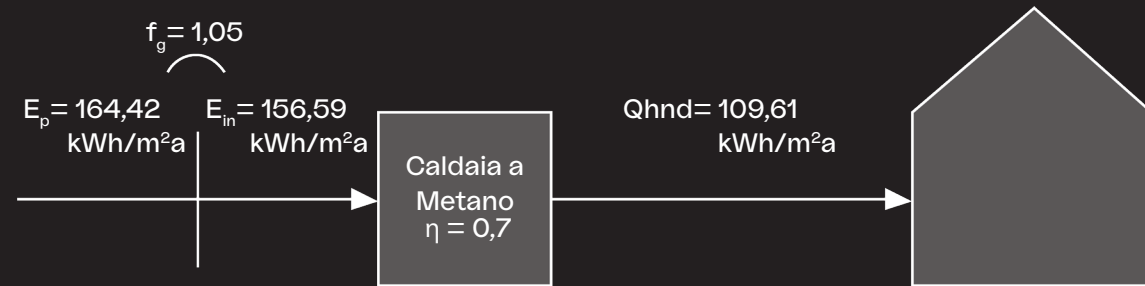
Fattore Solare: 0,45

Trasmissione Luminosa: 0,71

THERMAL BALANCE



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER RISCALDAMENTO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER ILLUMINAMENTO ARTIFICIALE

$E_{ill} = 16,97$ kWh/m²a
 $E_{p_{ill}} = 41,07$ kWh/m²a

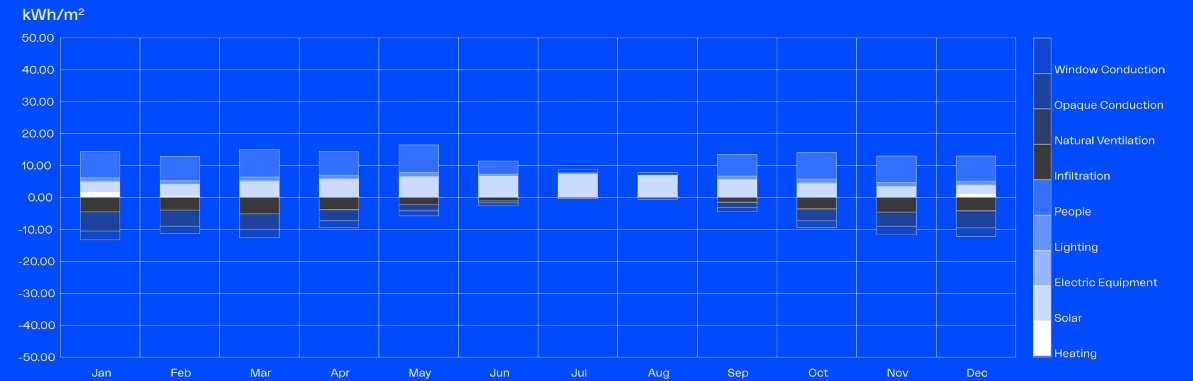
PRODUZIONE FOTOVOLTAICA ANNUA

Impianto fotovoltaico non presente

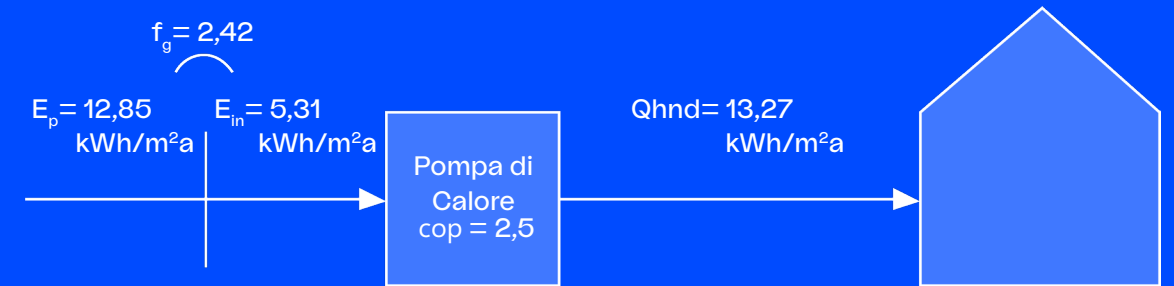
FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE

$E_{p_{tot}} = 205,49$ kWh/m²a

THERMAL BALANCE



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER RISCALDAMENTO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER ILLUMINAMENTO ARTIFICIALE

$E_{ill} = 11,31$ kWh/m²a
 $E_{p_{ill}} = 27,37$ kWh/m²a

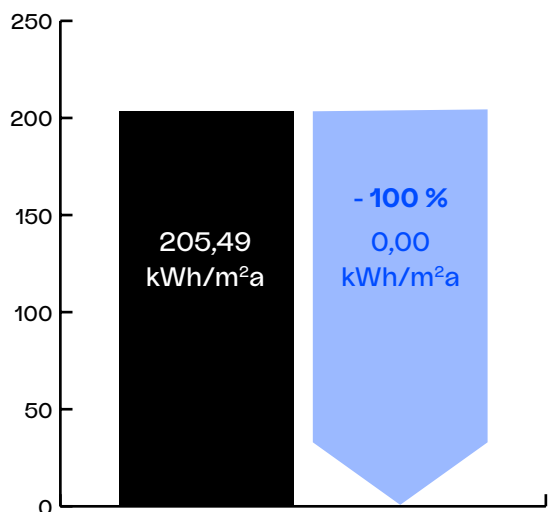
PRODUZIONE FOTOVOLTAICA ANNUA

$E_{ren} = 16,63$ kWh/m²a
 $E_{p_{ren}} = 40,25$ kWh/m²a

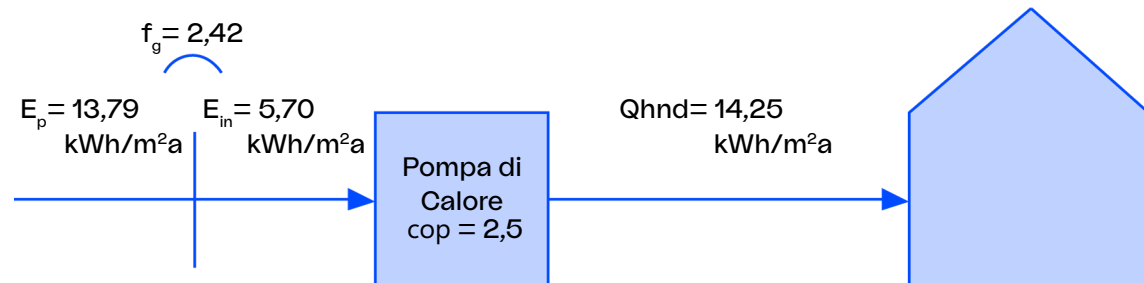
FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE

$E_{p_{nren}} = 40,22$ kWh/m²a
 $E_{p_{tot}} = 0,00$ kWh/m²a

RIDUZIONE ANNUA DEL CONSUMO ENERGETICO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE DELL'EDIFICIO DI RIFERIMENTO



FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA PER ILLUMINAMENTO ARTIFICIALE

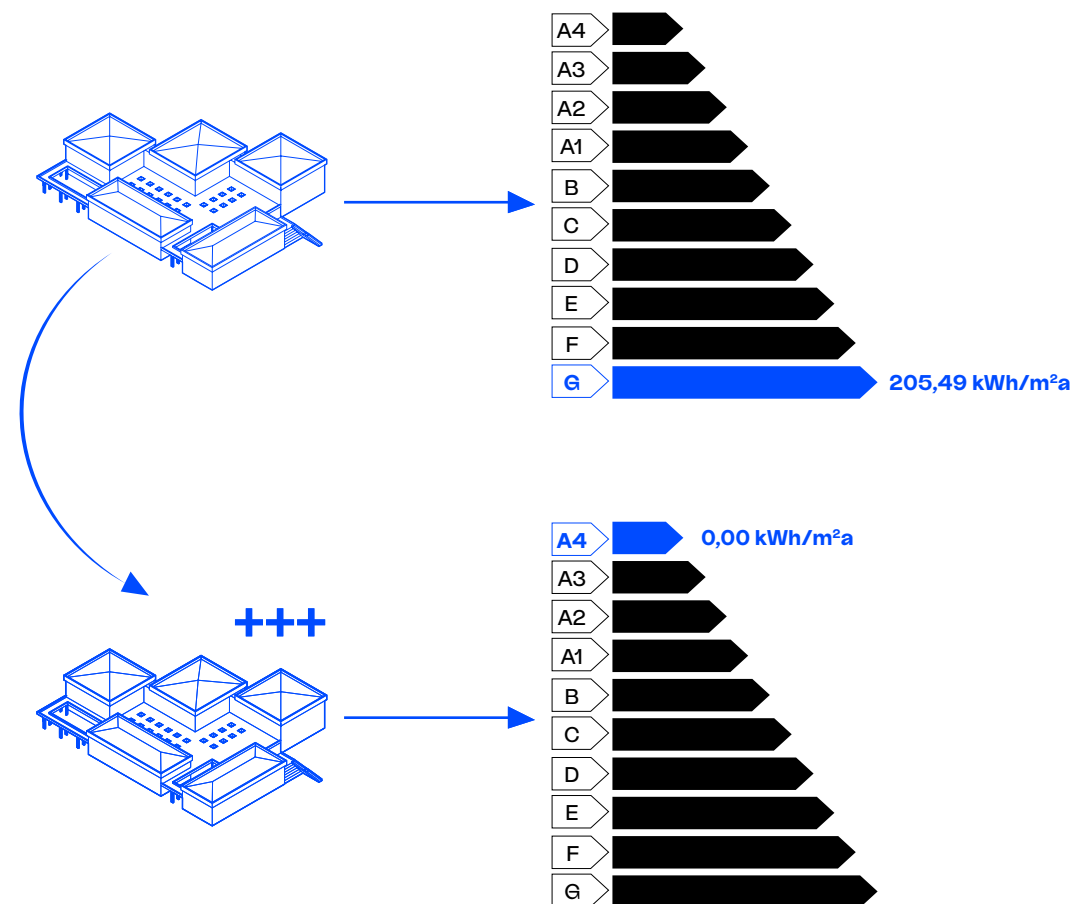
$E_{ill} = 11,31$ kWh/m²a
 $E_{p,ill} = 27,37$ kWh/m²a

FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA TOTALE

$E_{p,tot} = 41,16$ kWh/m²a

CALCOLO CLASSE ENERGETICA

	Classe A4	$\leq 16,64$
$16,64 <$	Classe A3	$\leq 24,97$
$24,97 <$	Classe A2	$\leq 33,29$
$33,29 <$	Classe A1	$\leq 41,61$
$41,61 <$	Classe B	$\leq 49,93$
$49,93 <$	Classe C	$\leq 62,42$
$62,42 <$	Classe D	$\leq 83,22$
$83,22 <$	Classe E	$\leq 108,19$
$108,19 <$	Classe F	$\leq 145,64$
	Classe G	$> 145,64$



Valutazione tecnico economica

4.6

La valutazione monetaria, è un indicatore decisionale chiave di fattibilità degli interventi di refurbishment analizzati. Tale analisi, è infatti utile a confrontare i risparmi generati nel tempo a seguito di un investimento iniziale, al fine di ottenere il **payback period**, ovvero il tempo necessario affinché i flussi di cassa positivi compensino l'uscita iniziale sostenuta. Il periodo individuato, spesso espresso in anni, stabilisce il livello di convenienza, minore è il tempo di recupero e maggiore sarà l'appetibilità dell'intervento.

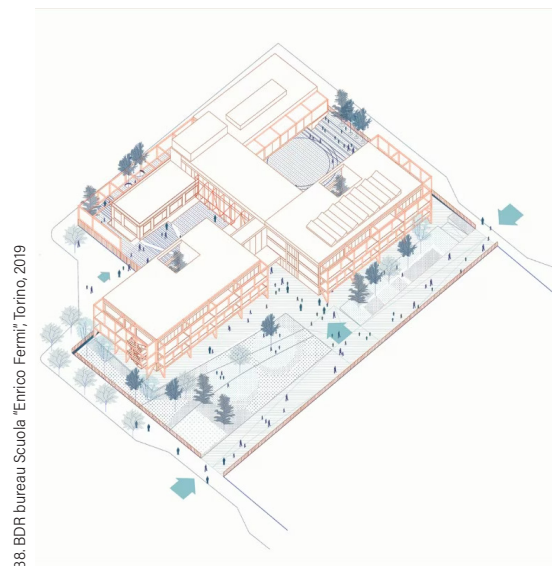
Al fine di rendere la valutazione economica il più esaustiva e completa possibile, è bene mettere a bilancio tutte le variabili, considerando quindi: i **costi d'investimento iniziale**; i **risparmi economici diretti** e i **risparmi economici indiretti**.

COSTI D'INVESTIMENTO INIZIALE

I costi d'investimento iniziale, sono dati dalle spese di realizzazione dell'intervento di refurbishment analizzato. La strategia adottata per la loro quantificazione, è stata quella di utilizzare dei costi parametrici di riferimento. La determinazione

del parametro, è avvenuta individuando, attraverso l'esplorazione di esempi e casi studio già realizzati, riferimenti progettuali che fossero il più possibile compatibili con le strategie di refurbishment analizzate. Tra questi, il più calzante, è l'intervento realizzato nel 2019, per la scuola secondaria di I grado "Enrico Fermi" a Torino, nell'ambito del progetto Torino fa Scuola. La ristrutturazione della scuola Fermi, è comparabile, per modalità e entità, a un intervento di Deep Refurbishment. "A consuntivo, il costo complessivo dell'intervento, incluse le opere edili, gli arredi e i compensi professionali, è stato di circa 1350 euro al metro quadro."⁶¹ Il parametro ottenuto, è certamente indicativo per la tipologia di intervento associata e ha inoltre l'importante pregio di discendere da un'esperienza reale recente e nella stessa città, portata a termine con successo. Dal 2019, ad oggi, 2024, soprattutto a seguito della pandemia e dei più recenti conflitti tra Stati, il potere d'acquisto è diminuito notevolmente e in particolare i materiali da costruzioni, hanno subito notevoli variazioni

61. Fondazione Giovanni Agnelli (2020). Rapporto sull'edilizia scolastica. *Conclusioni*, pp. 244-251, Cit. p. 249.



38. BDR bureau Scuola "Enrico Fermi", Torino, 2019



38. BDR bureau Scuola "Enrico Fermi", Torino, 2019

ni di prezzo. Sarebbe quindi decisamente imprudente dare tale dato per buono anche ai giorni nostri. Attraverso il servizio "Rivaluta" di Istat⁶², che calcola le variazioni percentuali negli anni, tra gli indici maggiormente utilizzati, tra cui quello sul costo di costruzione dei fabbricati, è stato possibile quantificare un aumento del 12% dei costi di costruzione odierni, rispetto al 2019. Per il calcolo del costo parametrico di riferimento relativo ai casi di "light refurbishment" e "mid refurbishment", è stato strutturato un approccio

analitico basato su parametri oggettivi e su un'analisi dettagliata delle differenze tra i progetti in analisi e il riferimento disponibile. Attribuito il peso a ciascun parametro, basandosi sull'impatto che questi hanno sui costi complessivi, per ciascun fattore, è stata determinata una percentuale di variazione del costo basata sulle differenze rispetto al progetto di riferimento. Attraverso il calcolo della variazione ponderata, è stato possibile ottenere i coefficienti correttivi relativi a ogni intervento.

Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci" Via degli Abeti 13

Deep Refurbishment

Costo parametrico di riferimento:

1.350,00 €/m²

Scuola secondaria di I grado "Enrico Fermi", Torino, 2019

Coefficiente correttivo:

+ 12%

Calcolato tramite il servizio "Rivaluta" di Istat, sezione "costo di costruzione dei fabbricati", dovuto all'incremento del costo dei materiali di costruzione dal 2019 ad oggi.

1.500,00 €/m²

62. Istat, *Rivaluta*. <https://rivaluta.istat.it/Rivaluta/>

Istituto Comprensivo "C. Alvaro - P. Gobetti"

Mid Refurbishment

Costo parametrico di riferimento:

1.500,00 €/m²

Stima relativa al Deep Refurbishment dell'Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci"

Coefficiente correttivo:

PARAMETRO	PESO RELATIVO	VARIAZIONE STIMATA	VARIAZIONE PONDERATA
Materiali	30 %	0 %	0 %
Serramenti	25 %	0 %	0 %
Tipologia di Intervento	25 %	-30 %	-7,5 %
Aggiunte Esterne	15 %	-100 %	-1 %
Impianti	5 %	-20 %	-15 %
Totale	100 %		-24 %

1.125,00 €/m²

Scuola Media "Pestalozzi"

Light Refurbishment

Costo parametrico di riferimento:

1.500,00 €/m²

Stima relativa al Deep Refurbishment dell'Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci"

Coefficiente correttivo:

PARAMETRO	PESO RELATIVO	VARIAZIONE STIMATA	VARIAZIONE PONDERATA
Materiali	30 %	-50 %	-15 %
Serramenti	25 %	-30 %	-7,5 %
Tipologia di Intervento	25 %	-60 %	-15 %
Aggiunte Esterne	15 %	-75 %	-1 %
Impianti	5 %	-20 %	-11,25 %
Totale	100 %		-50 %

750,00 €/m²

RISPARMI ECONOMICI DIRETTI

I risparmi economici diretti, sono dati dalla somma di due elementi: la **riduzione del fabbisogno di riscaldamento** e la **produzione dell'impianto fotovoltaico** (dove presente).

- La **riduzione del fabbisogno di riscaldamento**, consiste nella differenza tra la spesa economica annua per il fabbisogno di riscaldamento pre e post intervento. Per il calcolo, sono stati considerati dei prezzi attuali medi, relativi al costo del metano, di circa 0,15 euro al kWh e dell'energia elettrica, di circa 0,12 euro al kWh.

- La **produzione di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico**, è un importante fonte di risparmio economico, in quanto permette di utilizzare direttamente l'energia prodotta in loco senza acquistarla dalla rete. Nel caso di edifici ad uso scolastico, in cui il consumo e la produzione di energia elettrica sono allineati e concentrati nelle ore diurne, la convenienza è ancora maggiore, in quanto non si presenta il problema della conservazione dell'energia elettrica prodotta. All'interno del calcolo dei risparmi economici

diretti, l'energia annua prodotta da fotovoltaico, è stata sottratta al fabbisogno di riscaldamento annuo. Nel caso in cui l'energia prodotta da fotovoltaico sia maggiore rispetto a quella consumata dall'edificio, si considera per semplificazione, un prezzo di vendita per l'energia in eccesso pari a quello di acquisto.

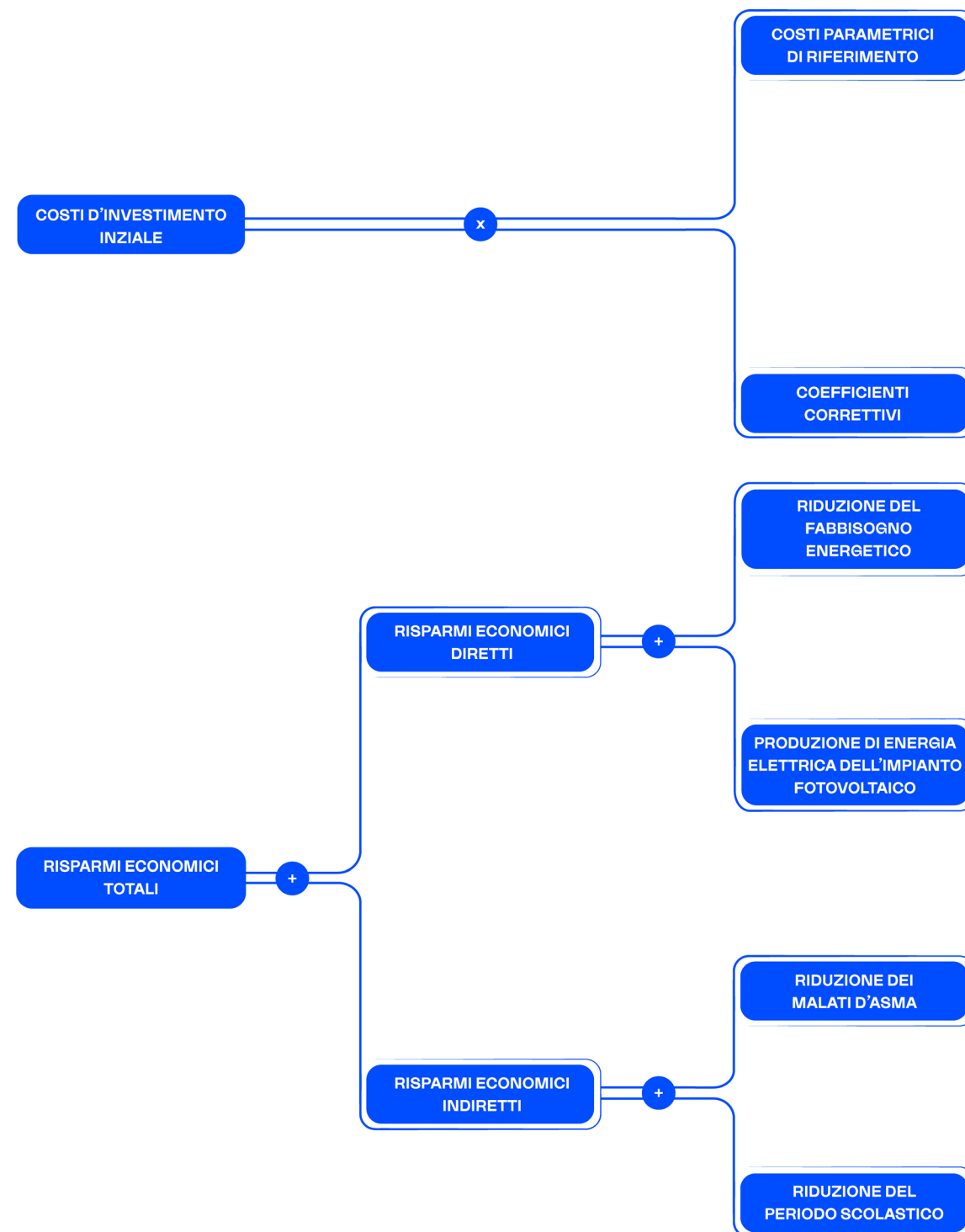
RISPARMI ECONOMICI INDIRETTI

I risparmi economici indiretti considerati, sono dati dalla somma di due elementi: il risparmio economico a seguito della **riduzione dei malati d'asma** e il risparmio a seguito della **riduzione del periodo scolastico**. Si assume, per la quantificazione dei risparmi, che gli edifici, a seguito dei vari interventi di refurbishment, raggiungano condizioni di comfort degli occupanti interno ottimali.

- La **riduzione dei malati d'asma**, è stata quantificata all'interno del secondo capitolo della seguente ricerca, in 98,80 euro anno per persona. Tale dato, è valido sia per gli studenti che per il corpo docente e il personale ata.

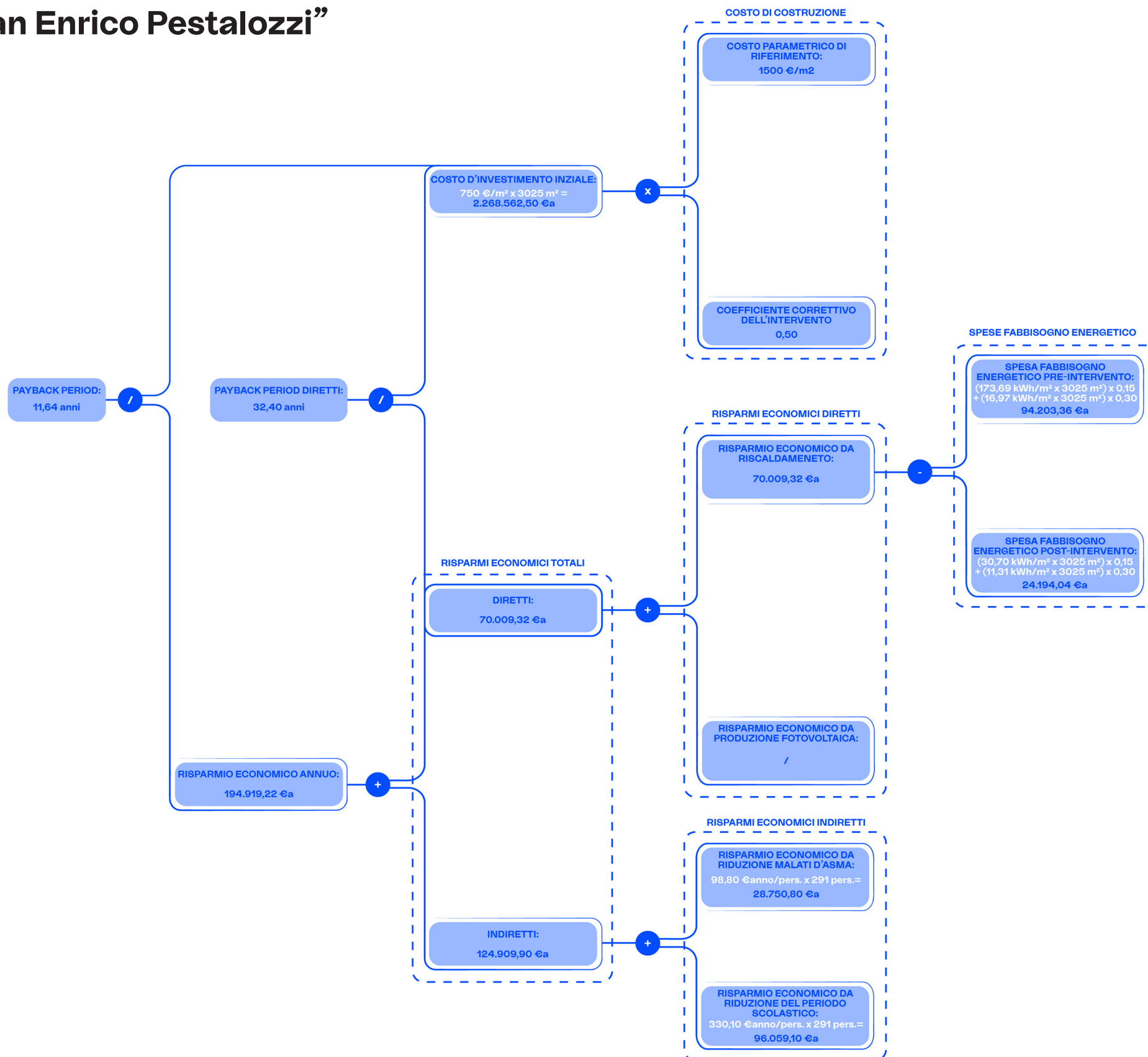
- La **riduzione del periodo scolastico**, è

stata quantificata anch'essa all'interno del secondo capitolo della seguente ricerca in 330,10 euro anno per studente. A differenza del precedente dato, quest'ultimo è riferito ai soli studenti.



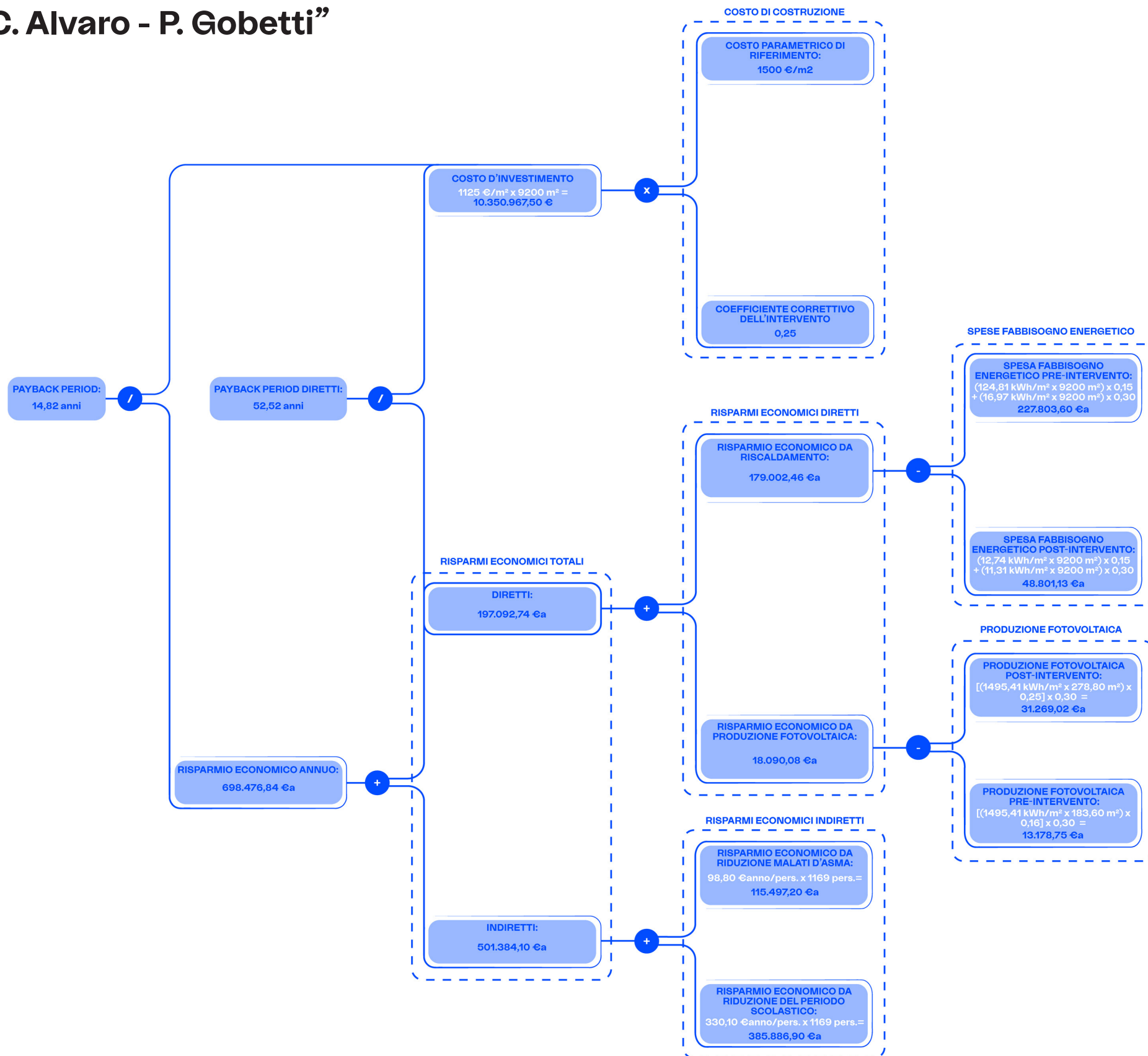
Scuola Elementare "Gian Enrico Pestalozzi"

Via Antonio Banfo 32



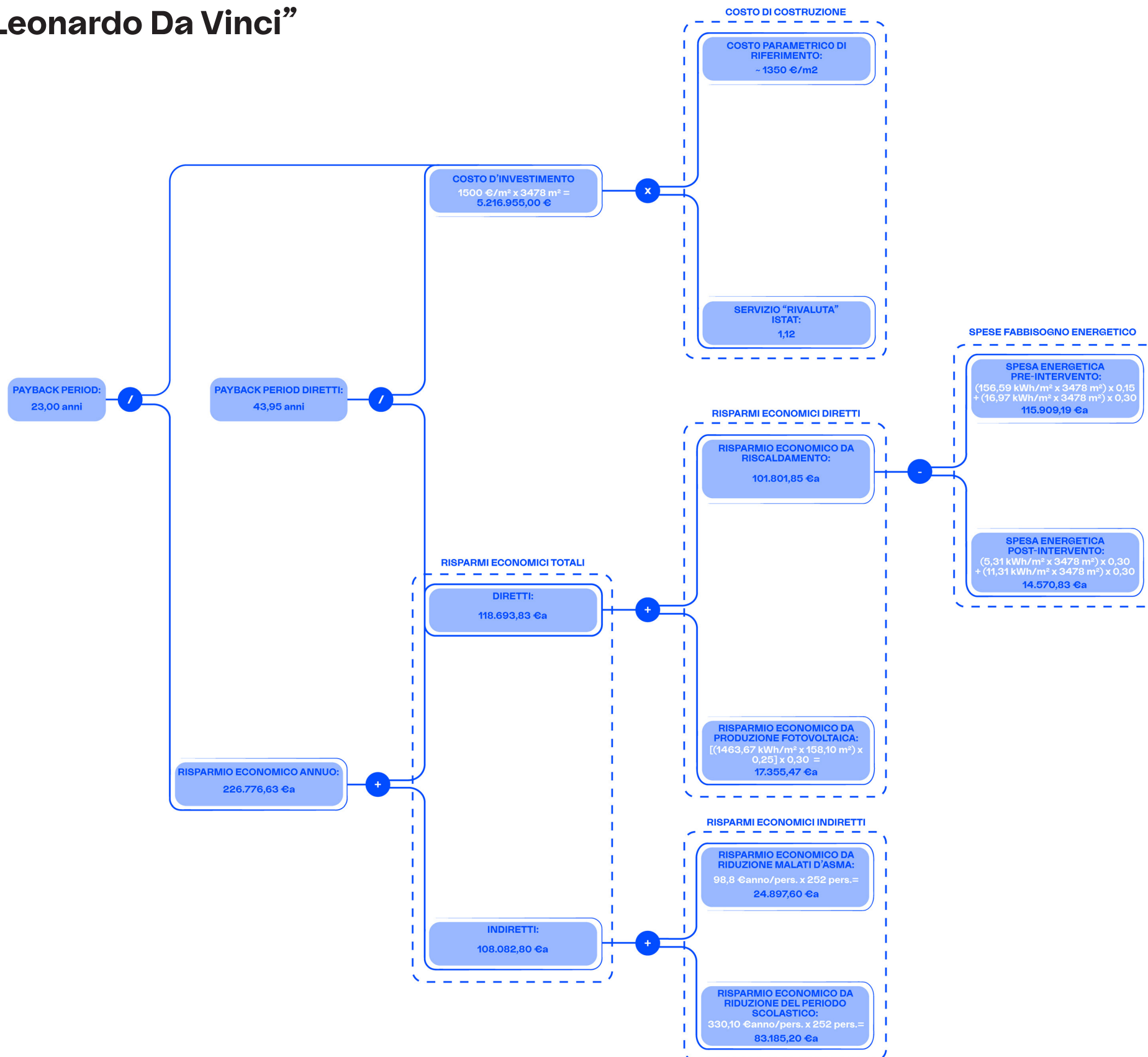
Istituto Comprensivo "C. Alvaro - P. Gobetti"

Via Giuseppe Romita 19



Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci"

Via degli Abeti 13



Conclusioni

Conclusioni

La riqualificazione energetica degli edifici scolastici rappresenta una sfida cruciale per l'Italia, non solo per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂, ma anche per il miglioramento del comfort interno e delle condizioni di apprendimento degli studenti. Nel caso specifico degli edifici scolastici torinesi analizzati in questa tesi, i risultati dimostrano come gli interventi di efficientamento energetico possano avere un impatto significativo, seppur con tempi di ritorno dell'investimento (payback period) variabili in funzione delle soluzioni adottate.

La vita utile degli interventi di riqualificazione energetica di questo tipo varia generalmente tra i venti e i trent'anni, in funzione dei materiali utilizzati e della corretta manutenzione successiva. Considerando un valore di vita utile medio di venticinque anni, osservando i soli risparmi diretti, dati dalla riduzione del consumo di energia, nessuno dei tre interventi risulta economicamente vantaggioso. Nel caso degli edifici pubblici, come le scuole, la valutazione della convenienza

economica si basa su criteri differenti rispetto alla classica analisi per edifici privati. La priorità infatti, non è esclusivamente il ritorno economico diretto, ma anche il beneficio sociale e ambientale a lungo termine.

Gli obiettivi di un investimento pubblico sono infatti:

- **Migliorare il benessere degli occupanti**, in questo caso studenti e personale scolastico.
- **Ridurre i costi operativi** per l'amministrazione pubblica nel lungo periodo.
- **Contribuire agli obiettivi di sostenibilità e transizione ecologica** a livello locale e nazionale.

Considerando anche questi fattori, la sostenibilità economica di un intervento pubblico può essere considerata accettabile anche con payback period superiori ai vent'anni, specialmente quando i benefici indiretti come la riduzione delle emissioni e l'aumento del comfort, giustificano l'investimento iniziale. Analizzando tale ipotesi, attraverso la stima di alcuni dei benefici indiretti, prodotti dall'aumento delle condizioni di comfort

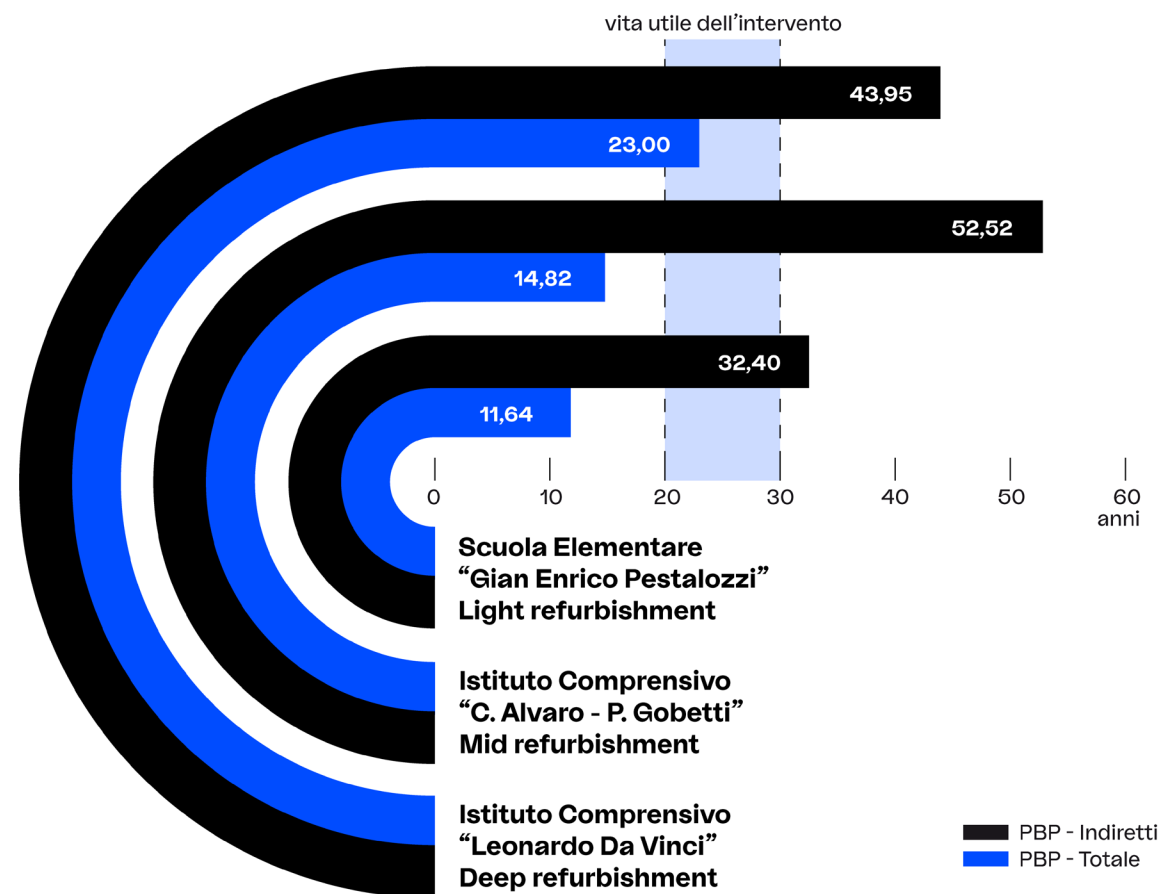
interno, i tempi di ritorno dell'investimento calano sensibilmente, restando compresi in un range tra i dodici e i ventitrè anni, periodo inferiore alla vita utile dell'intervento e quindi accettabile.

Osservando il grafico relativo al payback period, si evince che l'intervento con PBP più lungo è il mid refurbishment dell'Istituto Comprensivo "C. Alvaro - P. Gobetti". A rigor di logica, dovrebbe essere invece l'intervento più massivo, ovvero il deep refurbishment dell'Istituto Comprensivo "Leonardo Da Vinci". Tale differenza è giustificata dal fatto che l'Istituto Comprensivo "C. Alvaro - P. Gobetti", ha una dimensione nettamente "fuori scala", rispetto agli altri due edifici presi in analisi. La sua grandezza, porta alla quantificazione di un costo d'investimento iniziale estremamente alto, che necessita di conseguenza un lungo periodo temporale affinché venga recuperato tramite i risparmi energetici.

La situazione cambia però se guardiamo oltre ai risparmi diretti anche quelli indiretti, in questo caso, l'Istituto Comprensivo "C. Alvaro - P. Gobetti" è quello che

ne beneficia maggiormente. Il suo PBP si riduce notevolmente a causa dell'elevato numero di studenti che ospita, anche in questo caso "fuori scala" rispetto agli altri due edifici analizzati. Il grande apporto dei benefici indiretti fa sì che si riposizioni a metà dei tre interventi analizzati.

PAYPACK PERIOD



Le analisi tecnico economico, sono state effettuate al netto delle strategie di finanziamento continuative disponibili, approfondite nel primo capitolo di questa ricerca (pp. 40-45).

Confrontare l'investimento con le strategie di finanziamento è essenziale per identificare le soluzioni che massimizzano l'efficienza economica e ambientale. L'emissione da parte del Comune di **Green Bond**, permetterebbe la raccolta del quantitativo di denaro necessario all'investimento iniziale. I Green Bond per gli interventi scolastici dovrebbero avere una durata dai venti ai trent'anni, in linea con la vita utile degli interventi, consentendo un ammortamento adeguato dei costi e un allineamento con gli obiettivi di lungo termine. Nonostante le obbligazioni verdi abbiano registrato un'eccezionale accoglienza sul mercato, esiste un rischio legato alla possibilità di raccogliere meno fondi rispetto al necessario per coprire gli interventi.

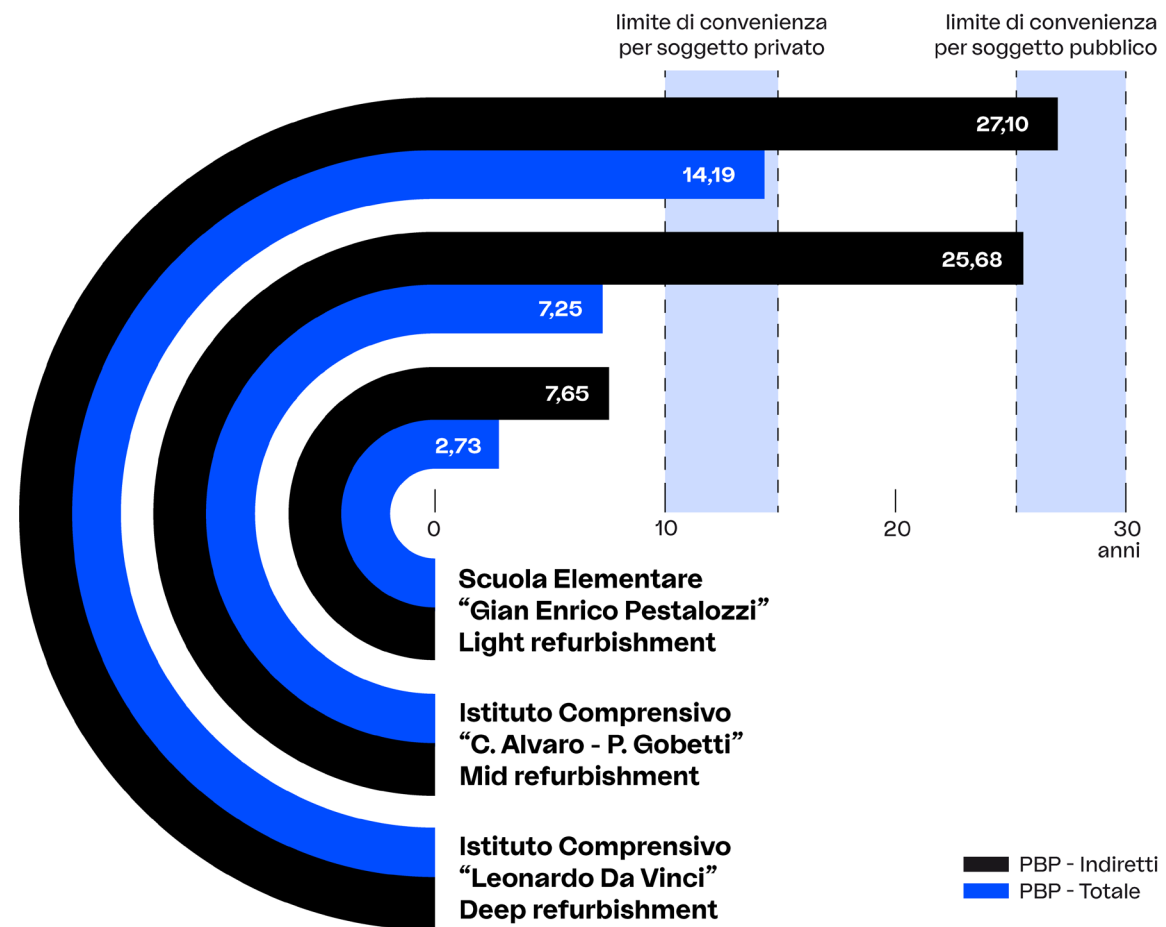
La collaborazione tra enti pubblici e privati, attraverso il **partenariato pubblico-privato**, permette di ridurre il peso

finanziario sugli enti pubblici e di accelerare i tempi di realizzazione degli interventi grazie alle competenze del settore privato. Affinché tale operazione risulti appetibile al soggetto privato, è necessario che il payback period dell'intervento non superi i dieci/quindici anni, permettendoli così di ottenere un ritorno economico sufficiente attraverso i risparmi energetici. Le analisi tecnico economico effettuate, hanno come payback period dei risparmi diretti, dati dalla riduzione del consumo energetico, periodi notevolmente maggiore a quello limite per la convenienza del privato. In questo caso, affinché l'intervento risulti realizzabile, il Comune deve contribuire economicamente per abbattere il rischio finanziario del soggetto privato. In mancanza di fondi comunali o regionali, tale azione può essere fatta attraverso il **conto termico**, incentivo emesso dal GSE, che mette a disposizione duecento milioni di euro ogni anno. Nel caso di edifici scolastici, ricopre fino al 100% delle spese di riqualificazione energetica fino a un massimo di 575 €/m².

Quest'ultima combinazione, rende particolarmente appetibile l'intervento di "light refurbishment" della Scuola Elementare Gian Enrico Pestalozzi, considerando il contributo del fondo GSE, il privato disposto a fare un contratto di partenariato pubblico privato otterrebbe un ritorno dell'investimento iniziale in soli 7,65 anni. La situazione è invece differente per gli interventi di "mid refurbishment" dell'Istituto Comprensivo Alvaro - Gobetti e di "deep refurbishment" dell'Istituto Comprensivo Leonardo Da Vinci, in cui il contributo del conto termico non è sufficiente a rendere appetibile l'inter-

vento con tempi di ritorno dell'investimento superiori ai venticinque anni. In quest'ultimi, affinché l'intervento risulti conveniente è necessario che il Comune contribuisca economicamente, con una somma all'incirca pari ai benefici indiretti generati dall'intervento.

PAYPACK PERIOD CONSIDERANDO IL CONTRIBUTO DEL CONTO TERMICO



In conclusione, la riqualificazione energetica degli edifici scolastici rappresenta un'opportunità per migliorare il patrimonio edilizio pubblico, per contribuire all'aumento del benessere e dell'istruzione degli studenti e raggiungere i più recenti obiettivi di sostenibilità imposti dall'Unione Europea.

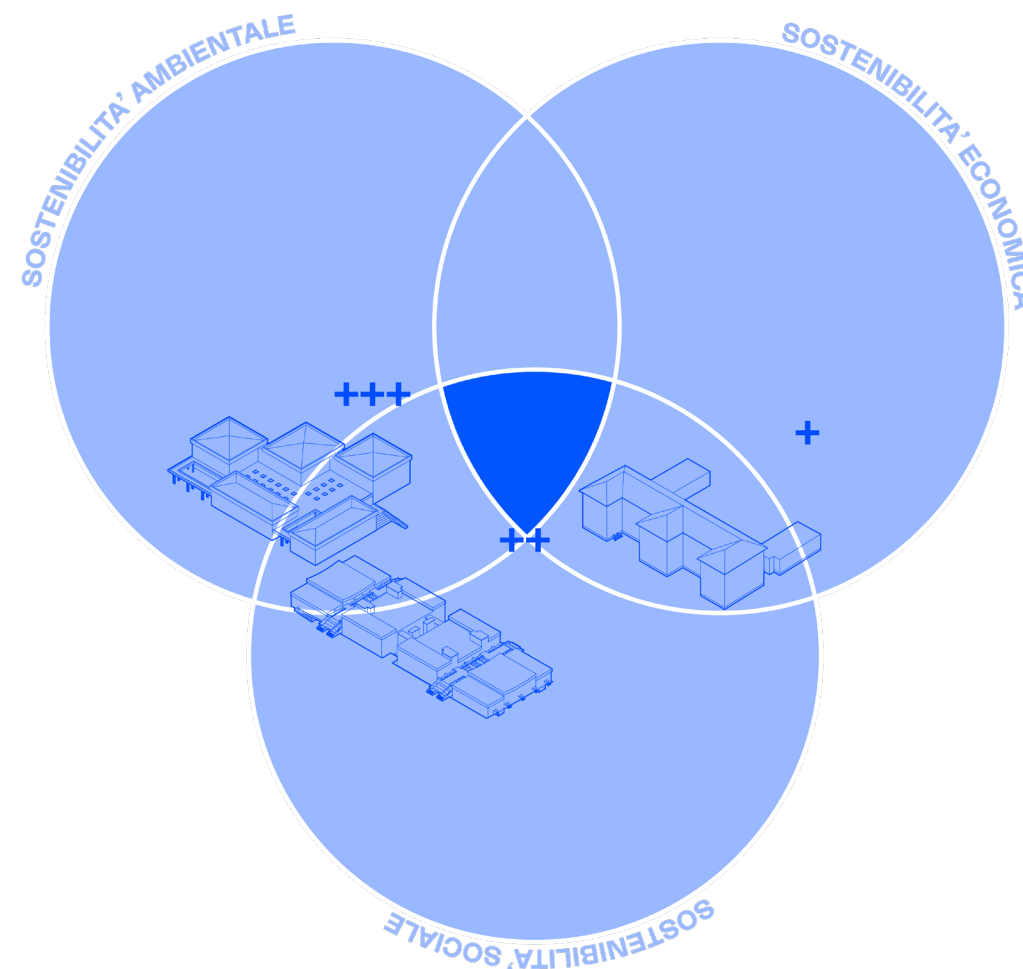
Le tre strategie di riqualificazione analizzate, producono risultati differenti, l'intervento di "light refurbishment" della Scuola Media G. E. Pestalozzi, si classifica come il più "sostenibile" dal punto di vista economico, mentre gli interventi di "mid refurbishment" dell'Istituto Comprensivo Alvaro - Gobetti e "deep refurbishment" dell'Istituto Comprensivo Leonardo Da Vinci si classificano come i più "sostenibili" dal punto di vista ambientale.

La realizzabilità di tali strategie, dipende fortemente dalla capacità di organizzare efficacemente le risorse e pianificare a monte gli investimenti pubblici, attraverso un processo decisionale ben strutturato, che tenga conto delle opportunità offerte dagli incentivi disponibili.

L'adozione di edifici archetipo, ovvero particolarmente rappresentativi delle tipologie edilizie prevalenti nel contesto torinese, come protagonisti delle tre strategie di riqualificazione, rende gli interventi altamente replicabili, adattabili ad altri edifici scolastici con caratteristiche simili.

Se scaliamo i risultati ottenuti all'intero patrimonio scolastico torinese, è facile dedurre che si tratta di un volume economico estremamente grande, che necessita della combinazione di tutte le strategie di finanziamento disponibili e che non può che essere realizzato in molti anni. Proprio per questo solo attraverso una pianificazione attenta e coordinata sarà possibile garantire il successo delle iniziative di riqualificazione, evitando sprechi di risorse e migliorando la capacità di attrarre finanziamenti privati.

Investire nella riqualificazione degli edifici scolastici non significa solo ridurre i costi energetici, ma anche migliorare il benessere delle future generazioni e sostenere la transizione verso un futuro più sostenibile.



Posizione delle tre strategie di intervento analizzate all'interno delle tre sfere della sostenibilità

Bibliografia

Barioglio, C., Campobenedetto, D. & Quaglio, C. *Dentro, fuori, oltre. Ripensare gli spazi dell'Istituto Comprensivo "C.Alvaro - P. Gobetti" a partire dalle sue potenzialità*. Torino. Full. 2021.

Barioglio, C. & Campobenedetto, D. *La scuola come modello, Due esperimenti di scuola-città a Torino, 1968-75*. FAMagazine, 56, pp. 81-92. 2022

Barioglio, C. & Campobenedetto, D. *L'infrastruttura della città*. Roma. LetteraVentidue. 2022.

Barioglio, C. & Campobenedetto, D. *Re-school: ripensare la scuola a partire dagli spazi*. Torino. Full. 2021.

Blue, R., Mcllory, J., Agar, B. *Beyond Energy Efficiency. Deep retrofits save more than just money*. Calgary. The Pembina Institute. 2024.

Brouwer, M. et al. *Top 15 energiezuinige scholen onderzoeksrapport 2016. In opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties*. Utrecht. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. 2016.

Buildings Performance Institute Europe. *Building 4 People, Methodology for quantification of the impact*. Brussels. BPIE. 2018.

Buildings Performance Institute Europe. *Building 4 People, Quantifying the impact of a better indoor environment in schools, offices and hospitals*. Brussels. BPIE. 2018.

Campobenedetto, D. *L'aula in discussione, l'occasione mancata delle norme per l'edilizia scolastica del 1956*. Atti e rassegna tecnica, 1, pp. 30-37. 2021

Checchi, P. *Di tutti i tipi*, in P. Checchi, P. Meringolo & C.Marcetti, *La scuola e la città*. (pp. 19-32). Firenze. Polistampa. 2010.

Corgnati, S. P., Corrado, V. & Filippi, M. *A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools*. Torino. Politecnico di Torino (DENERG). 2007.

Corgnati, S. P., Fabrizio, E., Ariaudo, F. & Rollino, L. *Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici) applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani*. Torino. ENEA. 2010.

Daisey, J. M., Angell, W. J., Apte M. G. *Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information*. United States. Indoor Environment Department, Lawrence Berkeley National Laboratory. 2003.

Dal Passo, F & Laurenti, A. *La scuola italiana, Le riforme del sistema scolastico dal 1848 ad oggi*. Roma. NovaLogos. 2017.

DETAIL Construction Tasks. *School Buildings, Spaces for Learning and the Community*. . Sandra Hofmeister. 2020.

Dias Pereira, L. et al. *Energy consumption in schools - A review paper*. Coimbra-Torino. Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra and ADAI - LAETA & TEBE Research Group, Department of Energy, Politecnico di Torino. 2014.

Emmitt, S. *Building Health and Wellbeing*. Londra. Routledge. 2023.

EPA. *Sensible Guide for Healthier School Renovations. Key Environmental Health Considerations When Renovating Schools*. United States. Environmental Protection Agency. 2016.

Eurofound. *Inadequate housing in Europe: Costs and consequences*. Luxembourg. Publications Office of the European Union. 2016.

Fondazione Giovanni Agnelli & Astrid. *Il PNRR per la scuola e l'università: a che punto siamo?*. Torino. Fondazione Agnelli. 2024.

Fondazione Giovanni Agnelli. *Rapporto sull'edilizia scolastica*. Bari-Roma. Laterza. 2019.

Futura. *Progettare, costruire e abitare la scuola*. Roma. Futura PNRR. 2022

Grun, G. & Urlaub, S. *Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe*. Stoccarda. Fraunhofer IBP. 2015.

Health and Environment Alliance. *Healthy buildings, healthier people*. Brussels. HEAL. 2018.

Heschong Mahone Group. *Windows and Classrooms: A Study of Student Performance and the Indoor Environment*. United States. California Energy Commission. 2003.

Isabella, F. *L'edilizia scolastica in Italia, precedenti e prospettive*. Firenze. La Nuova Italia. 1965.

Kawamura, A. et al. *Evaluation Method for Effects of Improvement of Indoor Environmental Quality on Productivity*. Japan. Waseda University. 2007.

National Audit Office. *The building schools for the future programme, renewing the secondary school estate*. Londra. The Stationery Office. 2009.

Pepe, D. *Scuole Ecocompatibili, dal nido per l'infanzia all'istituto superiore*. . DEI. 2009.

Righetti, F. *BSF, Building Schools for the Future*. in P. Checchi, P. Meringolo & C.Marcetti, *La scuola e la città*. (pp. 45-53). Firenze. Polistampa. 2010.

School of the Future. *Building construction elements. Guidelines for energy retrofitting - Towards zero emission schools with high performance indoor environment*. Stoccarda. Fraunhofer IBP. 2015.

School of the Future. *Improved indoor environmental quality, retrofit guidelines towards zero emission schools with high performance indoor environment*. Stoccarda. Fraunhofer IBP. 2014.

School of the Future. *Screening of Energy Renovation Measures for Schools - Italy*. Stoccarda. Fraunhofer IBP. 2014.

School of the Future. *Solution sets for zero emission / zero energy school buildings. Guidelines for energy retrofitting - Towards zero emission schools with high performance indoor environment*. Stoccarda. Fraunhofer IBP. 2016.

Sitografia

Agenda Digitale. *Il PNRR Scuola non decolla: ritardi e tagli che pesano sull'attuazione*. Da <https://www.agendadigitale.eu/scuola-digitale/il-pnrr-scuola-non-decolla-ritardi-e-tagli-che-pesano-sullattuazione/>

Camera dei Deputati. *Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. Da <https://temi.camera.it/leg19/pnrr>.

Huffpost. *Le scuole italiane? Un disastro per ambiente e salute*. Aggiornato il 27 Novembre 2023. Da https://www.huffingtonpost.it/dossier/terra/2023/11/27/news/le-scuole_italiane_un_disastro_per_ambiente_e_salute-14313185/

La Nuova Bussola Quotidiana. *Pnrr senza sussidiarietà a scuola: oldi troppi e mal spesi*. Da <https://lanuovabq.it/it/pnrr-senza-sussidiarieta-a-scuola-soldi-troppi-e-mal-spesi>

Ministero dell'Istruzione e del Merito. *Pubblicate le graduatorie delle aree dove saranno costruite le 216 scuole previste dal PNRR*. Da <https://www.miur.gov.it/-/pubblicate-le-graduatorie-delle-aree-dove-saranno-costruite-le-216-scuole-previste-dal-pnrr-aumentati-i-fondi-il-42-4-va-al-sud-bianchi-nuovi-edifici>

Museo Torino. *Edilizia Scolastica*. Da <https://www.museotorino.it/view/s/637e44460c51400eabc9aed1a-944f4ee>

Museo Torino. *Scuola elementare Gian Enrico Pestalozzi*. Da <https://www.museotorino.it/view/s/82e-3eea38a824b9f967d0ba4ec92f74d>

Museo Torino. *Scuola media Leonardo da Vinci*. Da <https://www.museotorino.it/view/s/754b-83006d4f4f35a99e47c1fceb6af>

Museo Torino. *Scuola elementare Piero Gobetti*. Da <https://www.museotorino.it/view/s/a686ca0379b-4417b82966272e6a58173>

Università degli studi di Firenze. *Legge sull'obbligo dell'istruzione elementare*. Aggiornato il 6 Giugno 2022. Da <https://www.sba.unifi.it/p580.html#:~:text=La%20legge%20Coppino%2C%20varata%20il,famiglie%20che%20disattendevano%20all'obbligo>.

Ringraziamenti

Giunto alla fine di questo percorso, ci tengo a ringraziare tutte le persone che mi sono state vicine durante questi anni.

Ai miei relatori, il professor Fabio Favoino e il professor Daniele Campobenedetto, per avermi guidato durante questo percorso, spronandomi a dare il meglio di me. Grazie per aver condiviso con me il vostro tempo e la vostra professionalità.

A Chechi, mia compagna di vita, il mio amore più grande, il mio ieri, il mio oggi e tutto il mio domani. Sei stata al mio fianco in ogni istante di questo percorso, dal test d'ingresso fino ad ora, sostenendomi con la tua dolcezza, la tua forza e il tuo infinito amore. In questi anni abbiamo condiviso insieme sogni, sacrifici, momenti difficili e gioie indescrivibili, costruendo giorno dopo giorno un cammino che non è fatto solo di traguardi, ma di vita vissuta mano nella mano. Se oggi raggiungo questo obiettivo, è anche grazie a te, alla tua presenza costante, ai tuoi sorrisi che hanno illuminato le nottate di lavoro più buie e alle tue parole che hanno dato voce alla mia determinazione.

Grazie per aver creduto in me, anche quando io stesso vacillavo, per essere stata il mio rifugio e la mia più grande motivazione. Questa vittoria è mia quanto tua, perché senza di te nulla avrebbe avuto lo stesso significato.

Ai miei genitori, che mi hanno permesso di intraprendere questo percorso sostenendomi ed appoggiandomi ogni giorno. Grazie per esser stati sempre presenti, dai compiti alle elementari fino ad ora.

A Massimo, che fin dall'inizio ha sempre creduto in me. Grazie per avermi insegnato a sognare in grande.

Ai miei nonni, che hanno creduto in me ancor prima che lo facessi io. Grazie per avermi sostenuto sempre, vedere nei vostri occhi tanta soddisfazione ad ogni mio traguardo, ha reso ogni vittoria più speciale.

A Margot, per avermi riempito di gioia in ogni momento di tristezza e per aver scodinzolato in ogni momento di felicità. Grazie per essere stata sulle mie gambe durante le mie giornate di studio.

Ai genitori di Chechi, che mi hanno sopportato e supportato. Grazie per avermi sostenuto nei momenti più difficili, trovando sempre il modo per farmi sorridere.

A me stesso, per non aver mai mollato, perché questo traguardo è il frutto di anni di impegno, sacrificio e dedizione. Quel bambino di qualche anno fa sarebbe felice di vedere il suo sogno realizzato.

