

PROGETTARE UNA SCUOLA NZEB

EDIFICIO SCOLASTICO - LICEO
ARTISTICO “CARAVAGGIO”

Lina Castillo



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Architettura e Design

**Corso di Laurea Magistrale in Architettura e
Costruzione Città**

Anno accademico 2021/2022

Tesi di Laurea Magistrale

PROGETTARE UNA SCUOLA NZEB

**EDIFICIO SCOLASTICO - LICEO
ARTISTICO “CARAVAGGIO”**

Relatori

Prof. Lorenzo Savio

Prof.ssa Francesca Thiebat

Candidato: Lina Castillo

Settembre 2022

	ABSTRACT	
	INTRODUZIONE	
1	BACKGROUND	
	1.1. Background	Pg. 09
	1.2. Definizioni nZEB e concetti correlati	Pg. 13
	1.3. Contesto Europeo	Pg. 17
	1.4. Requisiti minimi nella normativa italiana	Pg. 25
2	NZEB ED EDIFICI SCOLASTICI	
	2.1. Parametri per la progettazione degli edifici scolastici con l'obiettivo di raggiungere la qualificazione (nZEB).	Pg. 33
	2.1.1. Orientamento	Pg. 35
	2.1.2. Comfort termico e isolamento	Pg. 36
	2.1.3. Tecnologie passive	Pg. 37
	2.1.4. Tecnologie attive	Pg. 40
	2.2. Analisi degli ambienti di apprendimento e di studio ottimali e qualità spaziale.	
	2.3. Progettazione degli spazi per le attività all'aperto come parte integrale degli edifici nZEB.	Pg. 42
	2.4. Modelli di edifici scolastici con basso consumo energetico	Pg. 44
3	ANALISI DELLE TECNOLOGIE E MATERIALI DI FACCIATA E COPERTURA	
	3.1. Importanza del sistema de facciata e copertura sul rendimento energetico dell'edificio	Pg. 59
	3.2. Comfort interno e caratteristiche dell'involucro	Pg. 62
	3.3. Superfici opache e vetrate	Pg. 63
	3.4. Facciate a doppia pelle e sistemi di schermature	Pg. 65
	3.6. Sistemi di copertura	Pg. 76
4	PROPOSTA ATTUALE DELL'EDIFICIO SCOLASTICO NZEB	
	4.1. Descrizione della proposta di disegno attuale e obiettivi del progetto	Pg. 79
	4.2. Analisi del contesto e orientamento	Pg. 83
	4.3. Proposta architettonica, strutturale e distribuzione spaziale	Pg. 88
	4.4. Analisi dell'edificio: materiali e stratigrafie, strutture opache verticali e orizzontali, copertura e	Pg. 108

componenti finestrati.	Pg. 125
4.5. Analisi energetico dell'edificio nel software Edilclimma	Pg. 171

5

PROPOSTA DI PROGETTO DELL'EDIFICIO SCOLASTICO

5.1. Strategie d'intervento	Pg. 174
5.2. Descrizione della proposta di progetto	Pg. 198
5.2.1. Planimetria di progetto: Piante, sezioni e prospetti	Pg. 204
5.2.2. Analisi della proposta: Materiali e stratigrafie, strutture opache verticali e orizzontali, copertura e componenti finestrati.	Pg. 244
5.3. Simulazione energetica nel software Edilclimma	Pg. 250
5.4. Analisi comparativa delle proposte di progetto.	Pg. 253

CONCLUSIONI

ALLEGATI

Allegato 1 - Appendice A. Descrizione dell'edificio di riferimento e parametri di verifica del Decreto Ministeriale del 26 di Giugno di 2015.
Allegato 2 - Regolamento edilizio nella regione di Lombardia.
Allegato 3 - Normativa relativa all'edilizia scolastica

BIBLIOGRAFIA

ABSTRACT

Diversi governi a livello mondiale stanno indirizzando sforzi per ridurre l'impatto ambientale delle costruzioni, non solo da un punto di vista tecnico (ricerca di materiali, tecniche e attrezzature alternative) ma anche a livello normativo. In Italia, l'art. 5 del D.L. 63/2013, entrato in vigore dal 1 giugno 2021 e convertito in Legge n. 90 del 3 agosto 2013, prevede l'obbligo a tutti gli edifici di nuova costruzione o quelli soggetti a ristrutturazione di primo livello, ad essere NZEB (Nearly Zero Energy Buildings), d'accordo con i parametri di progettazione contenuti nel Decreto Ministeriale dello Sviluppo Economico del 26/06/2015 - "Requisiti minimi". NZEB significa che il fabbisogno di energia primaria annuale dell'edificio deve essere minimo e prodotta in maggior parte da fonti di energia rinnovabile.

Nel quadro di questa normativa, gli studi di architettura e le imprese edili italiane iniziano un processo di formazione e approfondimento tecnico per la progettazione di edifici con dette caratteristiche. È questa l'origine di questo lavoro: una ricerca in collaborazione con lo studio di architettura e ingegneria Esi Pro Srl., che comprende una proposta per la realizzazione della nuova sede del Liceo Artistico 'Caravaggio' sito nel comune di Milano. Il progetto, alla conclusione del presente lavoro accademico, è in una fase preliminare. Lo scopo di questa tesi e lo studio di questa proposta già presentata al Comune e di proporre idee per un possibile miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio attraverso l'uso di materiali più sostenibili ed ecocompatibili, contestualmente riqualificando alcuni spazi interni ed esterni con l'idea di migliorare la qualità spaziale, questo per cercare di inserirla nelle successive fasi progettuali.

Per quanto riguarda la metodologia utilizzata, durante una prima fase ha avuto luogo un'analisi generale riguardo i parametri normativi degli edifici NZEB. Nella seconda fase l'obiettivo è stato individuare e approfondire i requisiti per progettare scuole di questa tipologia in particolare. La terza fase comprende un'indagine sulle particolari tecnologie riscontrate ad utilizzare. E nell'ultima fase si descrivono le proposte progettuali, si esegue un'analisi energetica di ciascuna, e si sviluppa un'analisi comparativa delle stesse, a modo di generare una serie di parametri per la futura progettazione di edifici con queste caratteristiche.

Lo sviluppo di questo lavoro mette in evidenza che, minimizzando l'uso di materiali altamente inquinanti nella sua produzione come il calcestruzzo, e invece, utilizzando prevalentemente materiali alternativi attraverso l'abbinamento delle tecnologie moderne con tecniche tradizionali è possibile migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio riducendo l'impatto ambientale e allo stesso tempo offrire un'architettura di qualità.

INTRODUZIONE

"Human activity is now global and is the dominant cause of most contemporary environmental change. The impacts of human activity will probably be observable in the geological stratigraphic record for millions of years into the future, which suggests that a new epoch has begun!"

Scienziati e teorici di tutto il mondo sostengono che ci troviamo in una nuova era geologica: l'Antropocene. Questa è l'epoca a cui si fa riferimento nella frase di apertura. Come affermano Simon et al. questa nuova epoca è caratterizzata dall'attività umana come principale motore del cambiamento atmosferico e quindi climatico. In tutto il mondo si continua a studiare questo fenomeno, ma la comunità scientifica non è ancora d'accordo sull'origine di questa nuova era. Almeno, ciò su cui concordano è che il cambiamento climatico esiste, che lo stiamo vivendo e che ora è il momento di agire.

La rapida crescita demografica delle città richiede una rapida produzione di beni da consumare, alcuni di questi processi sono altamente inquinanti e alcuni dei prodotti che ne derivano non sono biodegradabili.

Come abitanti delle città il nostro ruolo nel limitare questo fenomeno è davvero limitato, dal nostro livello l'unica cosa che possiamo fare è di riorganizzare le nostre pratiche quotidiane e di cercare di cambiare abitudini per mitigare, almeno poco a poco, il nostro impatto sul pianeta.

Oltre a tutte queste preoccupazioni, ce n'è un'altra, ed è la pandemia di Covid che ha iniziato a diffondersi alla fine del 2019 e all'inizio del 2020. Oggi, all'inizio del 2022, esistono alcune patologie derivati da essa, come la variante Delta e la più recente Omicron, e attualmente continua a far parte del nostro mondo quotidiano e probabilmente lo sarà ancora per un bel po' finché non si troverà una cura totale per debellare la pandemia o addirittura doversi adattare a vivere. Il pianeta sta cambiando, quindi, possiamo solo riflettere su nuove visioni e costruzioni delle città e degli spazi che abitiamo.

In questo quadro, la questione di ripensare le città trova un senso, perché gli spazi non possono più essere concepiti nello stesso modo di prima, la virtualità è ormai uno spazio più comune nella

1) Lewis, Simon L, and Mark A Maslin. "Defining the Anthropocene." *Nature* (London) 519.7542 (2015): 171-80. Web. Pg. 1

nostra vita; lo smart working, persino le lezioni virtuali in scuole, liceo e università. Esistono nuove applicazioni che ci permettono fare praticamente tutto senza dover interagire con il mondo esterno, perché il mondo sta diventando sempre più uno spazio virtuale da cui si può accedere direttamente da casa nel pieno comfort. Ed è per questo che anche la casa deve essere ripensata per queste “nuove” funzioni. Tuttavia, nel mentre ci stiamo adattando a vivere con questa malattia e stiamo gradualmente riabituando gli spazi fisici ma adesso in maniera diversa. Attualmente è necessario riconcettualizzarli.

Oggi dobbiamo pensare a nuove forme di progettazione, per esempio, dobbiamo pensare in spazi più grandi visto che dobbiamo considerare una certa distanza di sicurezza, il contatto non deve essere più stretto tra gli utenti, devono anche avere una maggiore capacità di ventilazione, oltre a rispettare le norme igieniche e sanitarie. D'altra parte, la scelta dei materiali può influenzare il comfort interno e la salute attraverso le emissioni causate da alcuni di essi. A tutto questo va aggiunto il comfort termico, gli spazi devono essere termicamente confortevoli e adattabili ai bruschi cambiamenti climatici che stiamo affrontando. Tutto questo aggiunge nuove sfide e alza gli standard nel campo dell'architettura e dell'ingegneria sulla scena mondiale.

Per questa ragione, le normative si aggiornano costantemente alzando gli standard per la progettazione di nuovi edifici e la ristrutturazione di quelli esistenti, al fine di trovare un approccio migliore a tutti questi problemi. È importante che un edificio abbia alti standard di rendimento energetico e riduca al minimo la produzione di CO₂, sia durante la sua vita che durante la sua costruzione e anche nell'approvvigionamento di materie prime e materiali, riducendo i costi di gestione e manutenzione future. In poche parole, questa è la definizione di un edificio ad energia quasi zero (NZEB - Nearly-Zero Energy Building).

Lo scopo di questa tesi è quello di fornire alcuni parametri di progettazione per questa tipologia edilizia che possono essere utilizzati in progetti futuri e che possono essere utili in futuri concorsi o gare pubbliche attraverso l'analisi comparativa di due proposte progettuali (una sviluppata in team e una sviluppata in maniera individuale) di un edificio scolastico NZEB sito nel Comune di Milano.

I parametri da confrontare saranno: la tecnologia dell'involucro (e con questo le dispersioni termiche), i materiali utilizzati, le tecnologie passive ed attive, la progettazione delle aree interne ed esterne, e il fabbisogno di energia primaria da fonti rinnovabili e non rinnovabili.

La questione degli edifici NZEB nel settore scolastico, diventa importante poiché diversi studi² hanno dimostrato che ci sono molte scuole in tutto il paese situate in vecchi edifici che richiedono una ristrutturazione e persino di trasferirli in nuovi edifici quando la sua ristrutturazione comporta più perdite che benefici, non solo perché i loro schemi energetici stanno diventando obsoleti, ma anche perché ci si aspetta che questi interventi possano migliorare il comfort, offrendo allo stesso tempo spazi che incoraggino la creatività e l'apprendimento nei bambini e nei giovani.

Nella prima parte verranno fornite alcune definizioni nell'area del NZEB e una panoramica dello scenario attuale in Europa e Italia, con alcuni concetti chiave per comprendere meglio il suo contesto di applicazione, i suoi requisiti minimi nella normativa italiana, alcune linee guida dello standard edilizio e alcuni concetti e definizioni importanti.

La seconda parte consiste in uno studio approfondito del panorama NZEB nell'architettura scolastica e si espongono alcuni parametri di progettazione, così come lo studio degli spazi esterni come parte integrante di questa tipologia edilizia. In seguito, saranno presentati alcuni casi di studio di diverse tipologie ma che comunque presentano bassi consumi energetici.

La terza parte comprende uno studio specifico sulla progettazione dell'involucro edilizio, poiché si considera che un design ottimale può influenzare positivamente le prestazioni energetiche dell'edificio, e saranno presentati alcuni parametri di progettazione e considerazioni da prendere durante la fase progettuale.

La quarta parte consiste nell'analisi della proposta attuale per un edificio scolastico situato a Milano, Italia, sviluppata insieme agli architetti e ingegneri che conformano la squadra di disegno dello studio di architettura e ingegneria Esi.Pro Srl a Torino. Questo edificio per richiesta del comune deve soddisfare lo standard NZEB previsto dalla normativa italiana.

Dall'analisi della proposta attuale (che adesso è nella prima fase progettuale), e una volta sviluppata l'analisi energetica, nella quinta parte di questa tesi si analizzerà una proposta di progetto che permetterà a questo edificio di raggiungere una prestazione energetica superiore proponendo materiali e tecniche alternative e allo stesso tempo cercando sempre un equilibrio a livello architettonico riqualificando alcuni spazi.

² Bazzocchi, Frida, Cecilia Ciacci, Vincenzo Di Naso, and Andrea Rocchetti. 2019. "NZEB Schools: Global Sensitivity Analysis to Optimize Design Features of School Buildings." ResearchGate. IOP Publishing. July 30, 2019. https://www.researchgate.net/publication/334778087_NZEB_schools_global_sensitivity_analysis_to_optimize_design_features_of_school_buildings.

1

BACKGROUND

1.1.

BACKGROUND

Durante gli ultimi decenni, il tema della sostenibilità è stato in cima all'agenda globale. Fondamentale per i governi e attuare politiche che promuovano lo sviluppo sostenibile delle città e dei paesi, attraverso accordi e convenzioni dal protocollo di Kyoto, il protocollo di Stoccolma, il COP21 e anche il più recente COP26 a Glasgow, che punta a impegnare i paesi che sono all'interno di questo accordo a garantire una riduzione delle emissioni prima del 2050 raggiungendo un livello di emissioni nette zero e cerca di limitare l'aumento della temperatura a 1.5°C, per cui i paesi dovrebbero: accelerare il processo di eliminazione del carbone, ridurre la deforestazione, accelerare il passaggio ai veicoli elettrici e incoraggiare gli investimenti nelle energie rinnovabili, così come proteggere le comunità e gli habitat, garantire grandi investimenti nella finanza climatica da parte dei paesi sviluppati e portare a termine la realizzazione degli obiettivi della COP21 a Parigi³.

Le conseguenze del cambiamento climatico sono chiaramente evidenziate nell'ultimo rapporto (2021) dell'IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, che sottolinea il ruolo dell'uomo come soggetto che ha generato un aumento della temperatura senza precedenti negli ultimi 2000 anni, rispetto agli anni 1850-1900 fino al 2020 si registra un aumento della temperatura di 1,1°C. Se non si applicano misure rigorose per controllare le emissioni di gas serra su larga scala, la prospettiva potrebbe essere vicina a un aumento della temperatura di 5°C entro il 2100, il che implicherebbe un'alta concentrazione di gas serra. (Grafici 1 e 2).

Le precipitazioni estreme possono intensificarsi del 7% per ogni aumento di 1°C della temperatura, perché l'atmosfera può trattenere più acqua a causa della temperatura più alta, producendo più evaporazione e maggiori precipitazioni, per non parlare dell'acidificazione degli oceani, dei cambiamenti climatici sempre più frequenti e intensi, dei cambiamenti nelle zone polari come si può osservare dallo scioglimento dei ghiacciai globali (diminuzione del 40% del ghiaccio al polo artico dal 1979), il riscaldamento degli oceani, l'aumento del livello del mare e la diminuzione della copertura nevosa primaverile dagli anni '50.

Tuttavia, in questo panorama dell'Antropocene, non abbiamo finora discusso adeguatamente il ruolo dell'architettura e delle costruzioni. Da un lato, è difficile parlarne, poiché non è un compito facile analizzare l'influenza del cambiamento climatico sull'uso

³) COP26 Goals - Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP26) alla SEC - Glasgow 2021, 2021

Grafico 1.0: Cambiamenti nella temperatura superficiale globale rispetto al 1850-1900

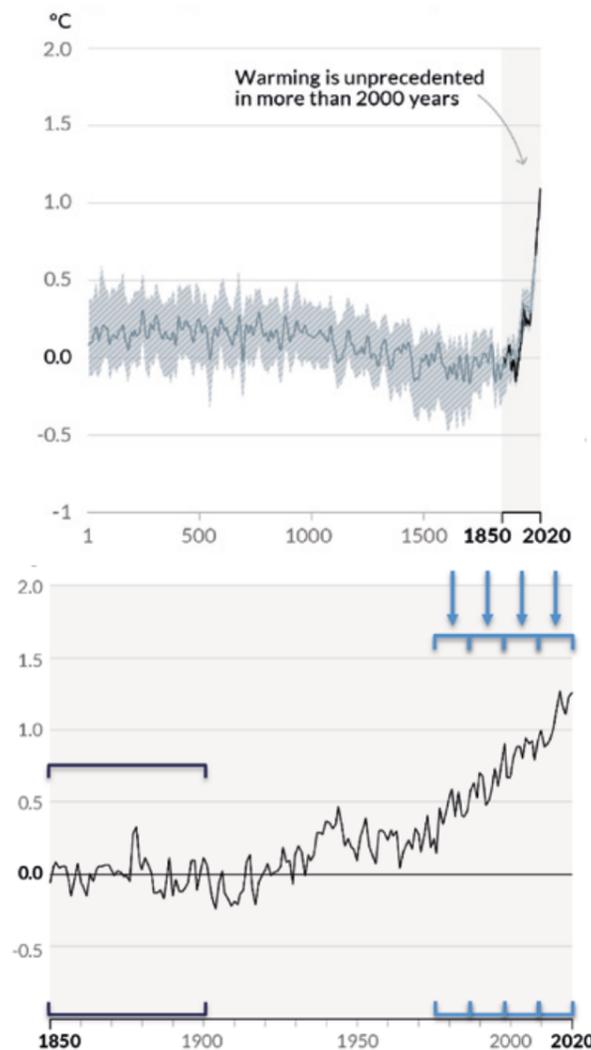


Grafico 1.1.: Emissioni future che causeranno un'ulteriore riscaldamento globale

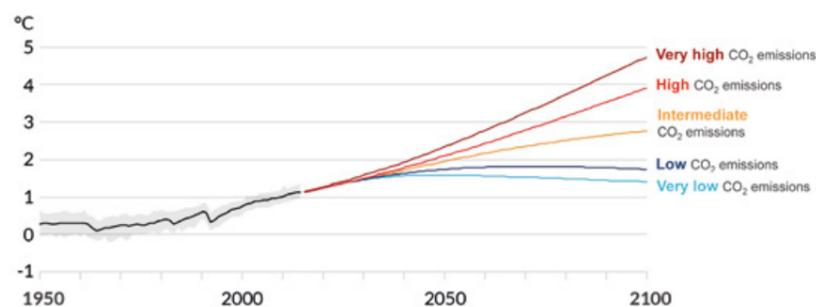


Grafico 1.0 e 1.1: Cambiamenti nella temperatura superficiale globale ed emissioni future. Fonte: IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi

dell'energia negli edifici.

Un aspetto chiave per aumentare le loro prestazioni può essere attraverso la comprensione di diversi fattori nel processo di

progettazione, dalla concezione dell'origine dei materiali, il loro metodo di raccolta e il modo in cui saranno utilizzati fino al funzionamento effettivo dell'edificio. Il cambiamento climatico è imminente e lo è anche la crescita delle città e dei paesi.

Per questo motivo, un paio di anni fa, sono cominciate ad emergere diverse ipotesi, su quali percorsi l'economia e la produzione globale dovrebbero prendere per garantire che questo sviluppo sostenibile si realizzi, e che possa essere trasportato o reinterpretato nel campo dell'architettura e della costruzione in un certo modo.

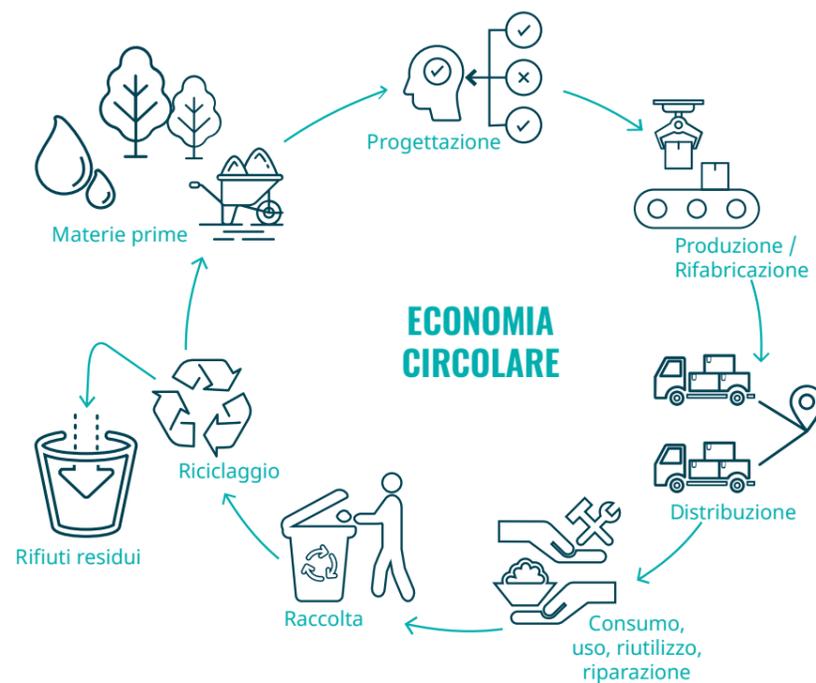
A tal fine, l'economia circolare è stata indicata come una metodologia per affrontare il cambiamento climatico che, in teoria, cerca di proteggere l'ambiente in quanto presuppone un nuovo modello di produzione e consumo ottimizzando le risorse, "riducendo il consumo di materie prime" e utilizzando i rifiuti, riciclandoli o dando loro una nuova vita e trasformandoli in nuovi prodotti (Figura 1). Tuttavia, questo modello è stato criticato da esperti che sostengono che non fa altro che sostenere il modello economico capitalista imposto a livello globale, poiché incoraggiando i prodotti derivati dal sistema industriale ad essere riutilizzati e riciclati più volte, e incentiva che questi prodotti continuino ad essere prodotti nella stessa quantità e con la promessa che possano anche essere riutilizzati o riciclati, ma la loro produzione comporterebbe ancora la generazione di emissioni derivanti dai combustibili fossili utilizzati nei loro processi produttivi o nei processi produttivi che ne derivano (ad esempio la produzione di metallo che ironicamente molte fonti di energia rinnovabile dipendono dall'uso di questo materiale).

In questo momento storico in cui stiamo vedendo che viviamo su un pianeta dalle risorse finite, e che non possiamo continuare a sfruttarle nella stessa misura perché implicherebbe praticamente l'estinzione dell'essere umano; forse l'obiettivo principale a cui dovremmo aderire è la riduzione: la minimizzazione estensiva dell'uso delle risorse.

Tuttavia, questa è una strada lunga, soprattutto in un campo come l'architettura, poiché la costruzione di edifici presuppone l'uso di materiali come il cemento, il metallo, il vetro, la colla, persino la plastica, tra gli altri. Comunque, tutti questi materiali sono ancora utilizzati nonostante la sua produzione inquinante, infatti qua sorge la preoccupazione dei governi, dato che le città continueranno a crescere e avranno bisogno di più edifici e spazi, quindi sarà necessario trovare materiali alternativi.

Per questo si parla anche dell'uso di materiali più resistenti, che possano durare di più e avere una vita utile più lunga. Inoltre,

Figura 1.0: Economia circolare



molti edifici attuali e vecchi in tutto il mondo emettono CO₂ durante la sua costruzione e funzionamento, oltre a coinvolgere una grande quantità di energia per il loro funzionamento quotidiano, che è generalmente prodotta da fonti di energia non rinnovabili.

Da un paio di decenni questo quadro ha cominciato a cambiare, dato che l'efficienza energetica è una priorità per l'Unione Europea e le Nazioni Unite e si fanno sempre più sforzi per migliorarne la portata attraverso direttive e regolamenti in base ai quali, gli edifici devono essere costruiti e ristrutturati.

Detto ciò, nel nostro campo, stanno evolvendo le normative e da un po' che si parla degli edifici ad energia quasi zero (Nearly Zero Energy Buildings), degli edifici ad energia zero (Net Zero Energy Buildings) e incluso degli edifici ad energia positiva (Plus Energy Buildings) con l'idea di costruire edifici più efficienti a livello energetico. Tra queste normative ed standard, si trova l'ultimo Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) che anche punta su una miglioria della efficienza stabilita per gli NZEB (Nearly Zero Energy Buildings), la certificazione CasaClima anche in Italia, il Passiv Haus Standard che ha iniziato in Germania, la certificazione LEED nata negli Stati Uniti, e tutti gli standard stabilite per ogni nazione e per l'Unione Europea e accolti in Italia con i decreti ministeriali di cui approfondiremo nei seguenti capitoli.

Figura 1.0: Economia Circolare. Fonte: Elaborazione dell'autore basato su: Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi | Attualità | Parlamento europeo. (2015, February 12). Europa.eu. <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>

Inoltre, esistono anche diversi tipi di analisi che stanno emergendo per quanto riguarda le scelte sostenibili in ognuna delle fasi progettuali di un edificio, ad esempio, l'Analisi del Ciclo di Vita (LCA - Life Cycle Assessment in inglese) che è direttamente collegata all'energia incorporata (Embodied Energy) dell'edificio e che assume l'intero processo di produzione di ogni materiale durante il suo ciclo di vita, dalle emissioni che sono state generate con la sua produzione ai benefici ambientali che possono essere derivati da esso; L'EPD - Environmental Product Declaration come un rapporto completo che include la LCA per fornire informazioni ambientali su un prodotto in un formato comune rendendo più facile per i costruttori, gli architetti, gli ingegneri e anche i proprietari di case scoprire quali prodotti comprare, come sono stati prodotti, quali materie prime contengono e da dove provengono, ecc.; il CFD che è una tecnica usata per modellare il comportamento dei fluidi e la temperatura dell'aria tra gli spazi, e che è uno strumento importante per studiare le condizioni interne prima che l'edificio sia costruito, permettendo di provare e selezionare le soluzioni più efficaci; tra gli altri.

Tuttavia, ai fini di questa tesi non si intende affrontare ciascuno di essi, in quanto implicherebbe un obiettivo diverso, in questo caso l'obiettivo è quello di progettare un edificio che pur essendo energeticamente efficiente, utilizzi anche i materiali più sostenibili possibile e anche di studiare i benefici che un design ottimale può fornire nella fase educativa di adolescenti e dei giovani, per raggiungere infine un risultato di classificazione come edificio NZEB che definiremo nei capitoli successivi.

1.2. DEFINIZIONI NZEB E CONCETTI CORRELATI

Il Parlamento europeo, attraverso la direttiva 2018/844 del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sull'efficienza energetica contenuta nell'EPBD - Energy Performance of Building Directive⁴ prevede "lo sviluppo di un sistema energetico sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato"⁵, considerando che circa il 36% delle emissioni dell'Unione Europea sono attribuibili al settore dell'edilizia e con quest'ultima normativa arriva l'obbligo di migliorare il rendimento energetico degli edifici esistenti e di quelli nuovi (NZEB), chiede strategie nazionali di ristrutturazione degli edifici e indicatori di intelligenza e cerca di incentivare lo sviluppo di infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici. L'enfasi di questa tesi è principalmente sui primi due punti in quanto si riferiscono al settore dell'edilizia.

4) La EPBD mira a promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici all'interno dell'Unione europea, tenendo conto delle condizioni climatiche esterne e locali, nonché dei requisiti climatici interni e dell'efficacia dei costi. "The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) – EPB Standards – EPB Center | EPB Standards." 2022. Epb.center. 2022. <https://epb.center/epb-standards/energy-performance-buildings-directive-epbd/>.

5) "DIRECTIVE (EU) 2018/844 of the EUROPEAN PARLIAMENT and of the COUNCIL of 30 May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings and Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency (Text with EEA Relevance)." n.d. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/>

In Italia, queste norme sono state adottate con l'art. 5 del D.L. 63/2013, convertito in Legge n. 90 del 3 agosto 2013 in cui si stabilisce a che a partire dal 1 giugno 2021 tutti gli edifici di nuova costruzione e quelli soggetti a ristrutturazione di primo livello a essere NZEB (Nearly Zero Energy Buildings) d'accordo con i parametri contenuti nel Decreto Ministeriale Dello Sviluppo Economico del 26/06/2015 - "Requisiti minimi" che indica i parametri per il calcolo delle prestazioni di un edificio NZEB. Per favorire la crescita dei edifici NZEB in Italia si ha creato il PANZEB - Piano di azione finalizzato ad aumentare il numero degli edifici ad energia quasi zero.

Anche se è difficile stabilire un concetto generalizzato di un edificio NZEB⁶ a causa della grande variazione dei regolamenti tecnici da paese a paese, può essere determinato in termini generali e sulla base delle definizioni trovate nei regolamenti europei di cui sopra, come Ascione et al.⁷, affermano che un **edificio NZEB** è un edificio altamente efficiente dal punto di vista energetico, con un fabbisogno di energia molto basso o quasi nullo, il cui consumo energetico sia soddisfatto da energie di fonti rinnovabili prodotta in loco. Inoltre, sarebbe ideale che questi edifici siano efficienti dal punto di vista dei costi durante il loro ciclo di vita e che implementino la metodologia di costo ottimale.

Questo significa che gli edifici dovrebbero mirare a ridurre la loro domanda di energia e, come menzionato precedentemente, anche a ridurre le emissioni di gas serra.

Tuttavia, quando si parla di fonte di energia rinnovabile, c'è una premessa ed è che non si può pensare alla produzione di energia senza pensare prima nel disegno dell'edificio, cioè nella fase di progettazione si devono includere nel progetto soluzioni di riscaldamento e raffreddamento passivo, ad esempio energia di massa termica, energia solare, ventilazione, sistemi di schermature, ecc., con la idea di ridurre il fabbisogno energetico nelle stagioni invernale ed estive. Ciò significa che, se fin dall'inizio il progetto è concepito per ridurre il più possibile l'uso di energia, alla fine questi risparmi energetici non dovranno essere prodotti da fonti di energia rinnovabile. Una premessa molto semplice di capire e un po' meno facile di progettare.

Oltre a tutte queste condizioni si considera che un edificio nZEB (Si considera in Italia di classe energetica A), presuppone non solo la progettazione sostenibile e bioclimatica come menzionato precedentemente, ma anche deve considerare i seguenti parametri:

- Adeguata integrazione nel contesto.
- Correttamente orientato con l'obiettivo di sfruttare al massimo

6) Kurnitski J., Allard F., Braham D., Goeders G., Heiselberg P., Jagemar L., Kosonen R., Lebrun J., Mazzarella L., Railio J., Seppänen O., Schmidt M., & Virt M. (2011). How to define nearly net zero energy buildings nZEB - REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast.

7) Ascione, Fabrizio, Rosa Francesca De Masi, Filippo de Rossi, Silvia Ruggiero, and Giuseppe Peter Vanoli. 2017. "NZEB Target for Existing Buildings: Case Study of Historical Educational Building in Mediterranean Climate." Energy Procedia 140 (December): 194-206. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.135>.

8) Lechner, Norbert. Heating, Cooling, Lighting. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated, 2014. Web.

le risorse naturali come il sole e il vento (relazionato alle tecnologie passive dette anteriormente).

- Ben isolato secondo la premessa <<the more insulation the better>>, questo per questione di risparmio a livello economico e anche perché incrementa il comfort termico, funzionando nella stagione invernale e anche estiva⁸.
- Dotato di impianti tecnologicamente avanzati.
- Il calore deve essere captato il più possibile in inverno e fermato in estate.
- Le dispersioni di calore devono essere minime, si devono dettagliare bene i ponti termici.
- In più, l'edificio nZEB dovrebbe essere caratterizzato per le bassissime spese di gestione cioè un comfort elevato e costi ridotti.

Per comprendere meglio la tematica degli edifici nZEB alcuni altri concetti possono essere importanti:

Prestazione energetica (EP) - secondo la normativa EN ISO 52000-1. Questa si considera come l'energia primaria globale che l'edificio richiede per soddisfare il fabbisogno di riscaldamento nella stagione invernale, la climatizzazione estiva, la ventilazione, l'approvvigionamento di acqua calda sanitaria e l'illuminazione artificiale in relazione all'area climatizzata (EP_{gl}).

Per calcolare la prestazione energetica globale deve essere prima considerata la quantità di energia utilizzata per ogni servizio energetico menzionato precedentemente; ai fini di questo l'EP può comprendere l'energia non rinnovabile (EP_{nren}) o la somma dell'energia che proviene da fonte di energia non rinnovabile e la rinnovabile, così:

$$EP_{tot} = EP_{nren} + EP_{ren}$$

e di la stesa maniera si calcolerà la prestazione globale totale così:

$$EP_{gl,tot} = EP_{gl,nren} + EP_{gl,ren}$$

Percentuale di copertura del fabbisogno energetico complessivo da fonti rinnovabili (RER), questa si tratta del rapporto tra l'energia primaria rinnovabile e l'energia primaria totale⁹.

$$RER = EP_{ren} / EP_{tot}$$

Energia primaria¹⁰, determinata nella direttiva EPBD, consiste nella energia proveniente da fonti rinnovabili e non rinnovabili che non ha avuto nessun processo di conversione o trasformazione.

Energia prodotta¹⁰, definita nella normativa EN 15603:2008 corrisponde all'energia, espressa per vettore energetico, fornita ai sistemi tecnici dell'edificio attraverso il confine del sistema, per

soddisfare gli usi presi in considerazione (ad esempio riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, acqua calda sanitaria, illuminazione, elettrodomestici ecc.

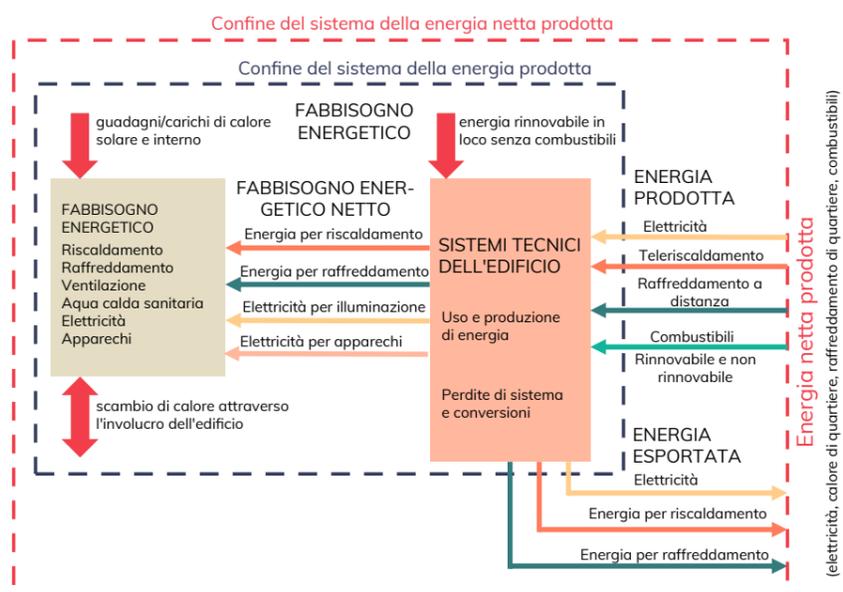
Energia esportata¹⁰, determinata nella normativa EN 15603:2008, che corrisponde all'energia, espressa per vettore energetico, fornita dai sistemi tecnici per l'edilizia attraverso il confine del sistema e utilizzata al di fuori del confine del sistema.

Energia netta prodotta¹⁰, definita nella normativa EN 15603:2008, e che corrisponde all'energia consegnata meno l'energia esportata, entrambe espresse per vettore energetico.

Coefficiente di emissione di CO2¹⁰, definita nella normativa EN 15603:2008, in cui si determina che per un vettore energetico dato corrisponde alla quantità di CO2 emessa nell'atmosfera per unità di energia fornita.

Confine del sistema¹⁰, definito nella normativa EN 15603:2008, è il confine che include al suo interno tutte le aree associate all'edificio (sia all'interno che all'esterno dell'edificio) dove l'energia viene utilizzata o prodotta.

Figura 1.1: Confine del sistema



Il confine energetico dell'energia netta consegnata e come si forma dal bisogno di energia, l'uso di energia dei sistemi tecnici dell'edificio, la produzione di energia rinnovabile in loco, l'energia consegnata e l'energia esportata. Il riquadro del "fabbisogno energetico" si riferisce alle stanze di un edificio ed entrambe le linee di confine del sistema possono essere interpretate come il confine del sito dell'edificio.

9) La trasformazione degli edifici pubblici in nZEB (edifici a energia quasi zero) / Corrado, Vincenzo; Murano, Giovanni; Paduos, Simona; Riva, Giovanni. - In: LA TERMOTECNICA. - ISSN 0040-3725. - STAMPA. - 2(2017), pp. 46-51.

10) Jarek Kurnitski, Francis Allard, D Braham, and M Virta. 2011. "How to Define Nearly Net Zero Energy Buildings NZEB-REHVA Proposal for Uniformed National Implementation..." ResearchGate. unknown. 2011. https://www.researchgate.net/publication/284670277_How_to_define_nearly_net_zero_energy_buildings_nZEB-REHVA_proposal_for_uniformed_national_implementation_of_EPBD_recast. Traduzione dall'autore di questa tesi.

11) Gaspari, Jacopo. Climate Responsive Building Envelopes from Façade Shading Systems to Adaptive Shells. Milano: Angeli, 2020. Print. Ricerche Di Tecnologia Dell'architettura 1330.115. pp 16 -17

12) D'Agostino, Delia, Sofia Tsemekidi Tzeiranaki, Paolo Zangheri, and Paolo Bertoldi. 2021. "Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) Development in Europe." Energy Strategy Reviews 36 (July): 100680. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100680>.

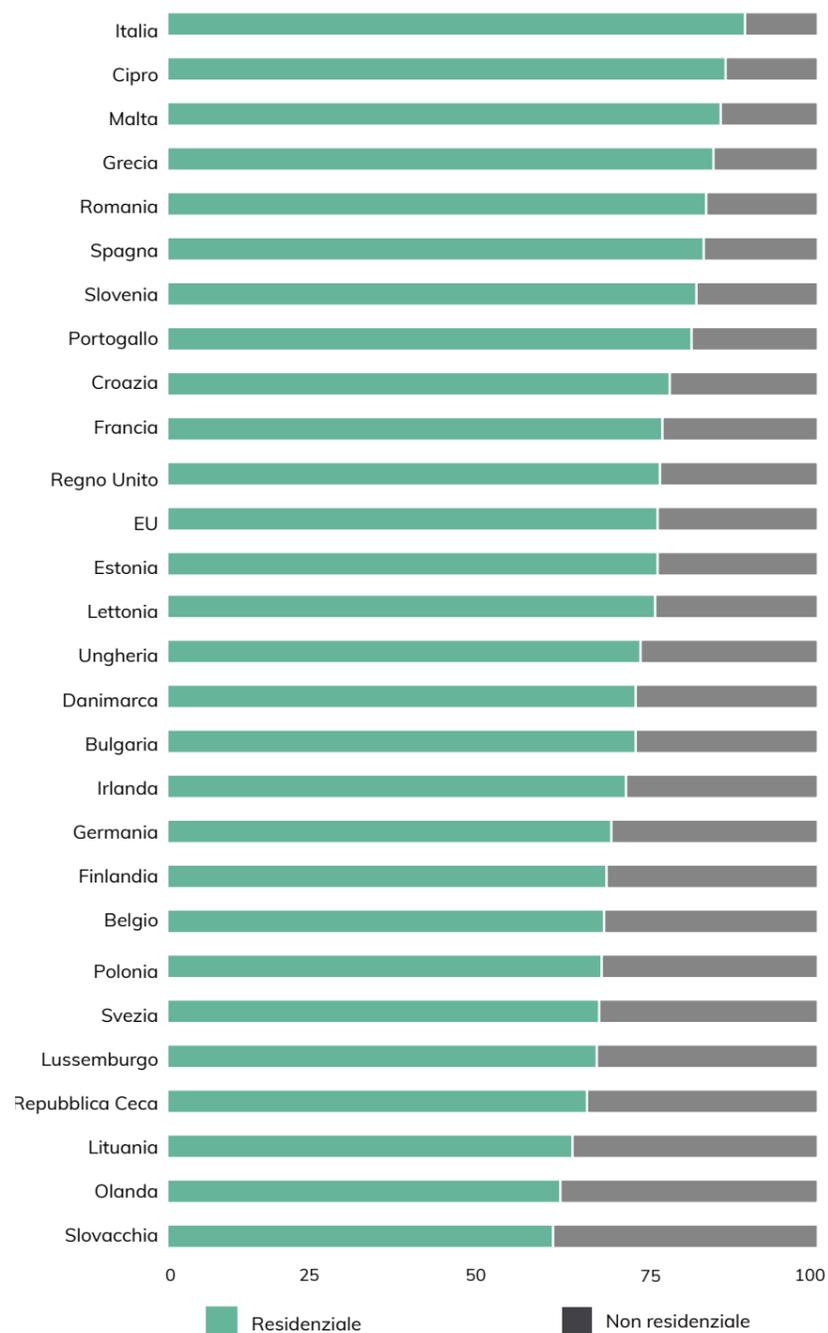
1.3. CONTESTO EUROPEO

Per capire meglio il quadro degli edifici NZEB in Europa, è necessario prima farsi un'idea di ciò che esiste oggi. Si tratta di un lavoro già realizzato dall'Unione Europea, che si è occupata di monitorare gli edifici esistenti nei diversi paesi che la compongono. Questa analisi ha dimostrato che la maggior parte dello stock è concentrato negli edifici residenziali. Questa condizione è soddisfatta con alcune variazioni tra i paesi e la maggior parte di questa tipologia di edifici è di nuova costruzione. Per esempio, se guardiamo il grafico 3, l'Italia ha circa l'85% dello stock di edifici residenziali, una percentuale che condivide con Cipro e Malta, mentre le percentuali più basse, con il 60% dello stock residenziale, sono condivise da Slovacchia, Paesi Bassi e Austria. D'altra parte, in quanto riguarda gli edifici non residenziali, la percentuale di edifici per uffici in media è del 30%, il commercio all'ingrosso del 27% e l'istruzione del 16%.

D'accordo con Gaspari¹¹, la domanda media di energia di una famiglia è stimata a 180 kWh/m² all'anno in condizioni climatiche normali, tuttavia, questa domanda può variare a seconda della zona climatica in cui si trova. Per esempio, si stima che in media la domanda di energia per il riscaldamento è tra 80 e 100 kWh/m² all'anno nei paesi in cui le condizioni climatiche permettono una bassa domanda di energia per il riscaldamento, come i paesi dell'Europa meridionale e del Mediterraneo come Portogallo, Malta, Spagna, Cipro, Grecia, Italia. Mentre i paesi situati al nord e che sono caratterizzati da un clima di base più freddo, per esempio la Polonia, la Repubblica Ceca, il Lussemburgo, la Lettonia e l'Estonia possono facilmente raggiungere una domanda di più di 180 kWh/m² all'anno.

Anche se questa tesi non si concentra sugli edifici residenziali, è importante avere un calcolo degli edifici esistenti con l'idea di quantificare gli edifici che devono essere ristrutturati perché i loro schemi energetici non sono adattati ai nuovi requisiti e quindi il loro impatto è ancora maggiore in termini di quantità di energia che richiedono per il loro funzionamento. Questi edifici sono stati costruiti in periodi in cui le norme non esistevano nemmeno, come lo dimostra lo studio condotto dal Buildings Performance Institute Europe [BPIE]¹² dove si è scoperto che circa la metà dello stock è stato costruito alla fine della Seconda guerra mondiale e negli anni '70 fino al dopoguerra quando la domanda di alloggi è aumentata negli anni '80 e '90 e si guardiamo più lontano c'è parte dello stock che risale prima da 1945.

Grafico 1.2: Ripartizione della superficie degli edifici per destinazioni d'uso



Una situazione simile si verifica nel caso di edifici non residenziali come per il caso nostro, le scuole. Secondo Bazzocchi et al¹³, almeno nel caso italiano, lo stock di scuole è caratterizzato dalla loro bassa efficienza energetica visto l'epoca in cui sono state costruite, risalgono al 1976 (anche prima) anno in cui è stata approvata la prima legislazione italiana sulla riduzione del consumo energetico negli edifici. Ora, d'altra parte, quando parliamo di quantificare lo stock

Grafico 1.2: Ripartizione della superficie degli edifici per destinazioni d'uso. Fonte: Elaborazione dell'autore basato su: Commissione Europea - EU Buildings Factsheets https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets_en

esistente, passiamo al caso degli NZEB. A questo scopo, è stato creato ZEBRA 2020, che consiste in un osservatorio per gli edifici NZEB che ha l'obiettivo di fornire informazioni e dati relativi alle politiche e alla ottimizzazione energetica all'interno dell'Unione Europea tramite il così detto "observatory for NZEBs". Con questo sistema, si aspira anche alla creazione di un database utile per guidare lo sviluppo e stabilire degli standard di NZEB¹⁴. Questo database copre 17 paesi e circa l'89% del patrimonio edilizio europeo.

Anche se esiste uno standard europeo generale per gli edifici NZEB, a livello nazionale gli Stati membri definiscono i criteri NZEB in modo simile ma non identico. Il progetto ZEBRA 2020 ha creato una metodologia con la quale ha definito un criterio generale secondo le tendenze del mercato e che combina un'analisi qualitativa e quantitativa degli standard di prestazione energetica secondo ogni contesto.

Si considera che gli edifici migliore che NZEBs sono gli edifici ad energia zero (Net Zero Energy Buildings) o edifici ad energia positiva (Plus Energy Buildings) (Grafico 1.3 e 1.4).

Secondo questa analisi (Grafico 1.5) è evidente che la grande maggioranza degli edifici nZEB sono di recente costruzione (per ovvie ragioni, che sono state spiegate in precedenza parlando della grande percentuale di edifici consolidati che appartengono a periodi precedenti alla normativa), e che la maggior parte di questi sono ad uso residenziale, che come accennato all'inizio di questo capitolo, è la necessità primaria nella crescita delle città di offrire nuovi spazi abitativi.

In questo modo, si può anche vedere che la Francia è il paese con il maggior numero di nuovi edifici residenziali e non residenziali costruiti secondo gli standard NZEB, la Polonia ha anche un gran numero di nuovi edifici non residenziali, mentre l'Austria segue la Francia con il maggior numero di nuovi edifici residenziali. L'Italia in questa classifica è in una posizione migliore per quanto riguarda gli edifici residenziali, ma ha una percentuale molto bassa di edifici NZEB per altri usi non residenziali.

La letteratura contemporanea si concentra molto sull'architettura residenziale, con questa tesi intendiamo studiare più in profondità l'architettura non residenziale e in particolare le scuole e i licei, capendo il deficit in cui si trova questa tipologia architettonica e ciò è supportato dalle figure qui riportate.

Inoltre, ZEBRA 2020 ha sviluppato una classificazione per zone climatiche dove gli edifici nZEB sono stati monitorati. Da lì, dopo

13) Bazzocchi, Frida, Cecilia Ciacci, Vincenzo Di Naso, and Andrea Rocchetti. 2019. "NZEB Schools: Global Sensitivity Analysis to Optimize Design Features of School Buildings." ResearchGate. IOP Publishing. July 30, 2019. https://www.researchgate.net/publication/334778087_NZEB_schools_global_sensitivity_analysis_to_optimize_design_features_of_school_buildings.

14) "ZEBRA 2020 -NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020 Strategies for a Nearly Zero-Energy Building Market Transition in the European Union." 2016. https://www.zebra2020.eu/website/wp-content/uploads/2014/08/ZEBRA2020_Strategies-for-nZEB_07_LQ_single-pages-1.pdf pg 8.

Grafico 1.3: Nuove edifici residenziali costruiti d'accordo alla definizione nZEB o migliore che nZEB

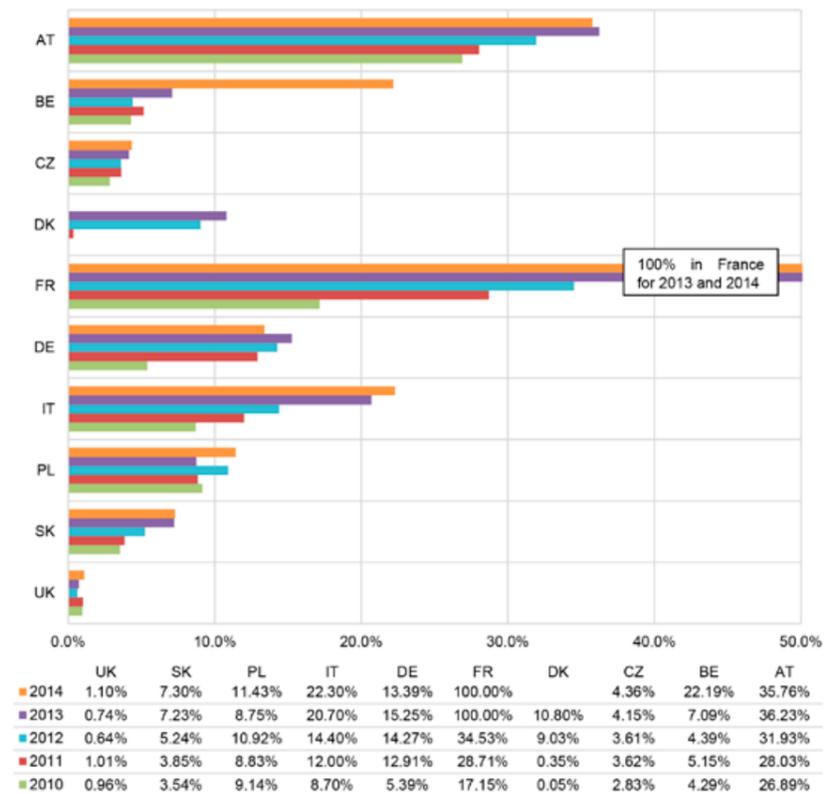
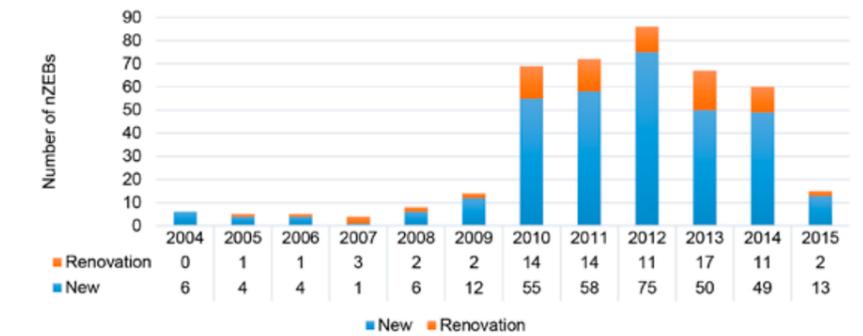


Grafico 1.5: Distribuzione di edifici nZEBs per anno di costruzione o ristrutturazione



aver quantificato il numero di edifici NZEB per zona climatica, è stata prodotta una mappa che indica la posizione di questi edifici (Tabella 1.0 a 1.2 e figura 1.2).

L'Italia settentrionale presenta un maggior numero di edifici NZEB, mentre invece, la parte meridionale mostra uno sviluppo leggermente meno favorevole, a differenza della Francia, della Germania e dell'Austria che mostrano una distribuzione più equilibrata di edifici NZEB sul loro territorio.

D'altra parte, la Romania, la Spagna, la Svezia ed il Regno Unito non mostrano una grande quantità di edifici NZEB, questo può essere dovuto ad un mancato recepimento nazionale delle iniziative NZEB.

Per misurare il rendimento energetico degli edifici, l'osservatorio ha selezionato una serie di criteri, per concludere infine che il loro rendimento dovrebbe essere misurato attraverso l'indicatore della domanda di energia per il riscaldamento (kWh/m²anno).

Per misurare questo indicatore, sono state considerate le seguenti strategie:

- Soluzioni passive di efficienza energetica, per esempio soluzioni di involucro edilizio in termini di muri, tetto, finestre, ecc. e tramite strategie passive per favorire ad esempio la ventilazione naturale, ecc.
- Soluzioni attive di efficienza energetica, nelle quali vengono utilizzate diverse tecnologie meccaniche/automatiche/domotiche per stabilire e controllare l'efficienza energetica di un edificio, per esempio, la ventilazione meccanica, i sistemi di riscaldamento come caldaia (gas o biomassa...), pompa di calore, ecc; e sistemi di raffreddamento (solo in caso di zone calde), il building automation system, ecc.

Grafico 1.4: Nuove edifici non residenziali costruiti d'accordo alla definizione nZEB o migliore che nZEB

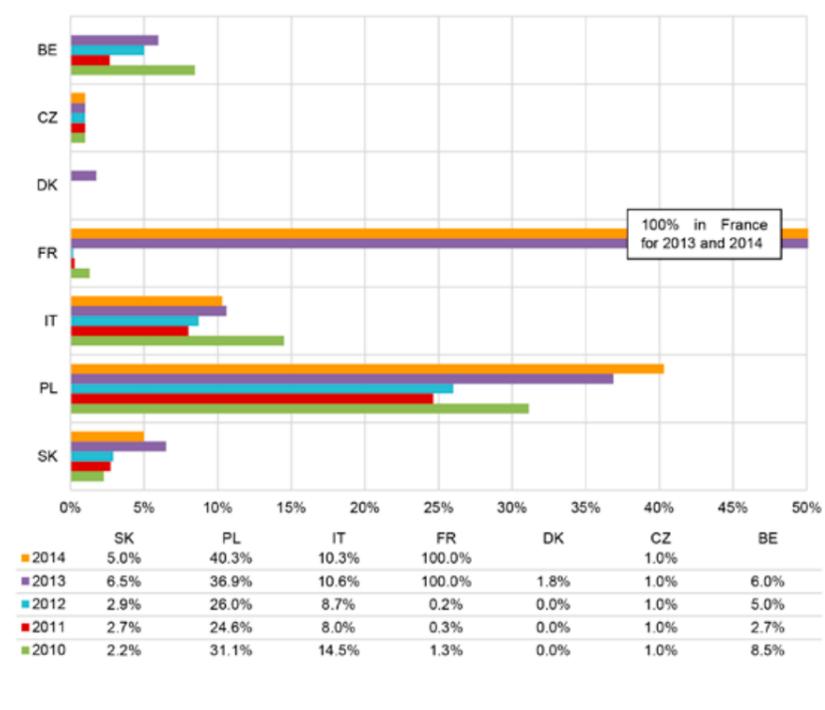


Grafico 1.3 e 1.4: Distribuzione edifici nZEB per destinazioni d'uso. Fonte: "ZEBRA2020: NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020 Nearly Zero-Energy Building (NZEB) Technology Solutions, Cost Assessment and Performance." n.d. https://www.zebra2020.eu/website/wp-content/uploads/2014/08/Zebra2020_Deliverable-5.1_Report.pdf. Pag. 12-14

Grafico 1.5: Distribuzione nZEBs per anno di costruzione. Fonte: "ZEBRA 2020 -NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020 Strategies for a Nearly Zero-Energy Building Market Transition in the European Union." 2016. https://www.zebra2020.eu/website/wp-content/uploads/2014/08/ZEBRA2020_Strategies-for-nZEB_07_LQ_single-pages-1.pdf pg 17.

Tabella 1.0: Zone climatiche definite da ZEBRA 2020

Climatic Zone	Heating and cooling degree days	Climate
Zone A	Buildings with HDDs >= 1962 CDDs >= 525	Cold winters and warm summers
Zone B	Buildings with HDDs >= 1962 CDDs < 525	Cold winters and mild summers
Zone C	Buildings with HDDs < 886 CDDs >= 525	Warm winters and warm summers
Zone D	Buildings with HDDs between 886 and 1962 CDDs < 525	Temperate winters and mild summers
Zone E	Buildings with HDDs between 886 and 1962 CDDs >= 525	Temperate winters and warm summers

Tabella 1.1: Distribuzione di nZEB per zone climatiche e destinazioni d'uso

Climatic Zone	Residential	Non-residential	Total
Zone A	6	6	12
Zone B	137	104	241
Zone C	11	1	12
Zone D	54	24	78
Zone E	53	15	68
Europe 17	261	150	411

Tabella 1.2: Distribuzione di nZEB per zone climatiche e tipologia d'intervento

Climatic Zone	New buildings	Renovation	Total
Zone A	12	0	12
Zone B	190	51	241
Zone C	11	1	12
Zone D	62	16	78
Zone E	58	10	68
Europe 17	333	78	411

Figura 1.2: Mappa di distribuzione di edifici nZEB secondo le zone climatiche

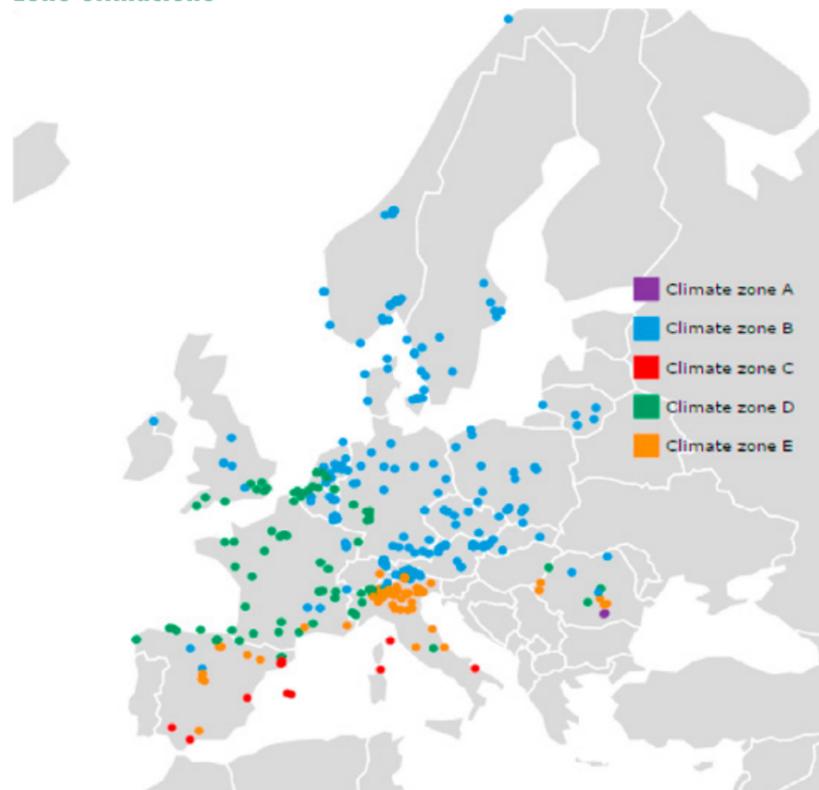


Tabella 1.0, 1.1 e 1.2 e figura 1.2: Distribuzione nZEB per zone climatiche definite da ZEBRA 2020. Fonte: "ZEBRA2020: NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020 Nearly Zero-Energy Building (NZEB) Technology Solutions, Cost Assessment and Performance." n.d. https://www.zebra2020.eu/website/wp-content/uploads/2014/08/Zebra2020_Deliverable-5.1_Report.pdf. Pag. 17-18

- Soluzioni di energia rinnovabile nei nZEB, nelle quali vengono utilizzate le diverse fonti di energia rinnovabile per soddisfare il fabbisogno energetico della struttura. Un esempio è la

produzione di elettricità tramite l'utilizzo di pannelli fotovoltaici o la produzione di energia termica tramite l'implementazione di pannelli solari termici.

Non esiste un criterio unificato per quanto riguarda la quantità di energia primaria che un edificio NZEB dovrebbe consumare, poiché gli obiettivi sono fissati dai piani di ogni paese, alcuni più ambiziosi di altri. Tuttavia, secondo uno studio di D'Agostino et al.¹⁵, in cui sono state analizzate le prestazioni degli edifici nZEB in termini di consumo energetico, possiamo avere un quadro degli obiettivi differenziati per zone climatiche. Per gli edifici residenziali, i livelli di riferimento della prestazione energetica variano tra i 35 e i 125 kWh/m²anno, mentre per gli edifici non residenziali variano

Tabella 1.3: Livelli di riferimento della prestazione energetica (kWh/m²anno) per tipologia edilizia d'accordo alla zona climatica

Climate zone	Building type	NZEBs Benchmark level		NZEB targets (kWh/m ² y)
		Net primary use (on-site RES excluded) (kWh/m ² y)	Total primary use (kWh/m ² y)	
Mediterranean (e.g. Catania, Athens, Larnaca, Luga, Seville, Palermo)	residential	40–55	85–100	35–100
	non-residential	20–30	80–90	60–175
Oceanic (e.g. Paris, Amsterdam, Berlin, Brussels, Copenhagen)	residential	15–30	50–65	15–70
	non-residential	40–55	85–100	40–150
Continental (e.g. Budapest, Bratislava, Ljubljana, Milan, Vienna)	residential	20–40	50–70	20–125
	non-residential	40–55	85–100	25–125
Nordic (e.g. Stockholm, Helsinki, Riga, Stockholm, Gdansk, Tovarene)	residential	40–65	65–90	65–95
	non-residential	55–70	85–100	95–110

¹⁵ D'Agostino, Delia, Sofia Tsemekidi Tzeiranaki, Paolo Zangheri, and Paolo Bertoldi. 2021. "Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) Development in Europe." Energy Strategy Reviews 36 (July): 100680. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100680>.

Tabella 1.3: Livelli di riferimento della prestazione energetica (kWh/m²anno) per tipologia edilizia d'accordo alla zona climatica. Fonte: D'Agostino et al. (2021) pg 5.

Anche se la informazione è tanto diversa, ci sono anche enti che hanno studiato questa problematica e hanno stabilito il fabbisogno energetico medio per gli edifici NZEB nei paesi dell'UE che, nella maggior parte dei casi, sono compresi tra i 25-30 kWh/m² all'anno, in alcuni casi questo valore è superiore ma non supera mai i 50 kWh/m² all'anno.

In questo studio gli edifici NZEB monitorati sono distribuiti in cinque zone climatiche, nel caso italiano, la zona predominante è

la zona E, caratterizzata da inverni miti ed estate calde.

Per la zona climatica E, ZEBRA2020 ha stabilito che per i nuovi edifici non residenziali la domanda di riscaldamento è compresa tra 6 e 36 kWh/(m³/anno), con una media di 24,8 kWh/(m³/anno), mentre per gli edifici ristrutturati è compresa tra 3 e 14 kWh/(m³/anno). Stabilisce anche che i materiali isolanti più comunemente utilizzati sono la lana di roccia per le pareti e il tetto, e il polistirene espanso. La fibra di legno è anche molto utilizzata ma soprattutto negli edifici residenziali. Nel caso dei serramenti, le tipologie più utilizzate sono il triplo vetro e il doppio vetro basso emissivo.

In questa zona, le strategie passive più utilizzate sono la schermatura (50%), la ventilazione naturale (43%), il raffreddamento notturno (36%) e la geotermia (36%).

In quanto riguarda la ventilazione, il sistema più utilizzato è quello di ventilazione meccanica con recupero di calore nel 90% dei casi. In corrispondenza al sistema di riscaldamento, la tecnologia più utilizzata è la pompa di calore mentre invece, nella produzione di acqua calda sanitaria si utilizza di un sistema di generazione autonomo. Nel sistema di raffreddamento vengono anche utilizzate delle pompe di calore ma in questo caso, viene impiegata l'acqua per raffreddare gli spazi.

L'uso di pannelli fotovoltaici è diffuso come sistema di produzione di energia rinnovabile sia negli edifici non residenziali nuovi che in quelli ristrutturati (rispettivamente tra il 43% e il 100%); i pannelli solari termici invece, sono meno frequenti in questa zona climatica.

Inoltre, la domanda di energia frigorifera sta diventando sempre più alta a livello europeo. Rispetto al 1990, la media è aumentata dell'8% all'anno, con un tasso superiore a quello della domanda di energia per il riscaldamento. La distribuzione di apparecchiature per il raffreddamento dell'aria rimane limitata (2,9% nel 2016) ma con una copertura poco omogenea negli gli stati membri, l'80% delle abitazioni equipaggiate sono in Grecia e in Cipro, il 60% in Malta e Spagna e circa il 35% in Bulgaria, Croazia e Italia.

È anche importante considerare che gli elettrodomestici, i dispositivi e le apparecchiature informatiche efficienti hanno un impatto sul consumo di energia elettrica e che contribuiscono a migliorare l'efficienza energetica degli edifici, così come i sistemi di illuminazione che ogni giorno si cerca di rendere questi sistemi più efficienti. Questi dovrebbero anche essere supportati da un design ottimizzato del involucro edilizio per consentire una maggiore illuminazione naturale ed un'ulteriore riduzione del consumo di energia artificiale.

Per quanto riguarda il settore dei servizi, la domanda di energia per il riscaldamento nel 2016 ha rappresentato il 46% dell'energia consumata da questo settore, una percentuale che è diminuita rispetto ai periodi precedenti (ad esempio il 63% nel 1990 e il 51% nel 2005) e che continuerà a diminuire grazie ai miglioramenti delle prestazioni energetiche di questi edifici. Nel frattempo, circa il 39% della domanda di energia è associato alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione e il consumo di energia per il raffreddamento dell'aria rappresenta il 5%, si prevede che questa percentuale continuerà a crescere a causa dei cambiamenti di temperatura e dello stile di vita delle persone.

1.4. REQUISITI MINIMI NELLA NORMATIVA ITALIANA PER GLI EDIFICI NZEB

Come menzionato precedentemente nel sottocapitolo 1.2 la direttiva 2010/31/UE in cui si definiscono i parametri per la progettazione degli edifici NZEB è stata adottata in Italia attraverso il Decreto di Legge n. 63 del 4 de giugno del 2013 convertito in legge in agosto del 2013. Il quadro normativo che si riferisce all'efficienza energetica in materia edilizia è contenuto nel decreto ministeriale dello sviluppo economico del 26 di giugno del 2015 in cui si determina il concetto di edificio ad energia quasi zero come richiesto dalla direttiva europea, oltre che è una introduzione di valori limite nuovi e rafforzati per questa tipologia edilizia e introduce una nuova metodologia di calcolo.

Insieme a questa normativa entrata in vigore a partire del 1° Ottobre del 2015 le linee guida APE (Attestato di prestazione energetica) in cui si definisce una nuova classificazione e certificazione energetica e adeguamento delle linee guida nazionali.

Come spiegato anche precedentemente, in base a questi decreti la prestazione energetica degli edifici è calcolata sulla base della quantità di energia necessaria all'anno per soddisfare le esigenze dell'uso standard del edificio e corrisponde al fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria per il riscaldamento, il raffrescamento, per la ventilazione, la produzione di acqua calda sanitaria e, nel settore non residenziale, per l'illuminazione, gli impianti ascensori e le scale mobili. Più specificamente è stato definito che:

1. La prestazione energetica si determina in conformità con la normativa tecnica UNI e CTI in materia.
2. Il fabbisogno energetico annuale si computa con rispetto

all'energia primaria per singolo servizio energetico, con intervalli di calcolo mensile.

- Si opera la compensazione tra i fabbisogno energetici e l'energia di fonti rinnovabile prodotta e utilizzata all'interno del confine del sistema, con le seguenti condizioni:
 - Solo per contribuire ai fabbisogno di energia del medesimo vettore (elettricità con elettricità, energia termica con energia termica).
 - Fino a copertura totale del corrispondente fabbisogno o vettore energetico utilizzato.
- Con l'obiettivo di verificare il rispetto dei requisiti minimi per legge; si deve effettuare il calcolo della energia primaria totale e della energia primaria non rinnovabile ottenute applicando i pertinenti fattori di conversione in energia primaria totale $f_{P,tot}$ e in energia primaria non rinnovabile $f_{P,nren}$ di cui si riferisce la Tabella 1.4

il fattore di conversione in energia primaria totale $f_{P,tot}$ è pari a:

$$f_{P,tot} = f_{P,nren} + f_{P,ren}$$

dove:

- $f_{P,nren}$: fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile
- $f_{P,ren}$: fattore di conversione in energia primaria rinnovabile

Tabella 1.4: Fattori di conversione in energia primaria

Vettore energetico	$f_{P,nren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$
Gas naturale ⁽¹⁾	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide ⁽²⁾	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose ⁽²⁾	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete ⁽³⁾	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento ⁽⁴⁾	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento ⁽⁴⁾	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico ⁽³⁾	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno - free cooling ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno - pompa di calore ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00

⁽¹⁾ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.

⁽²⁾ Come definite dall'allegato X del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

⁽³⁾ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.

⁽⁴⁾ Fattore assunto in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza, conformemente al quanto previsto al paragrafo 3.2.

⁽⁵⁾ Valori convenzionali funzionali al sistema di calcolo.

Parametri normativi secondo il DM 26/06/2015:

D'accordo con l'appendice A del decreto ministeriale in menzione si prevede che la performance dell'edificio che si sta progettando sia messa a paragone con un edificio standard o 'di riferimento'

che deve essere un edificio identico a quello di progetto in termini di:

- Geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superficie degli elementi costruiti e dei componenti)
- Localizzazione territoriale
- Orientamento
- Situazione al contorno
- Destinazioni d'uso
- Caratteristiche termiche d'involucro

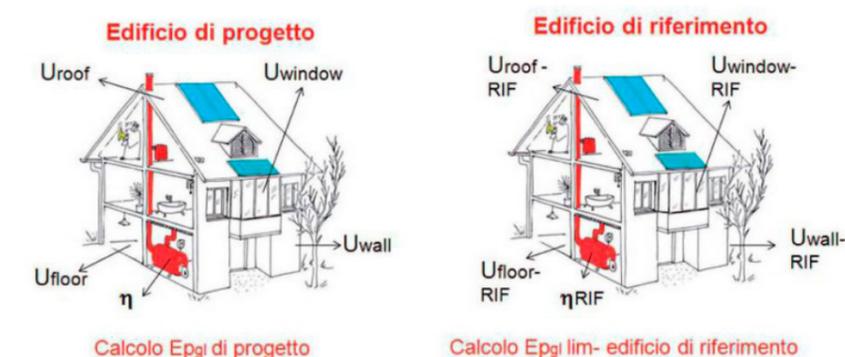
In quanto riguarda agli impianti tecnici si devono considerare quelli previsti dall'edificio di riferimento.

Per tutti gli input non definiti dal decreto si devono prevedere i valori dell'edificio reale.

Per quanto riguarda ai parametri normativi riferirsi all'allegato 1 - **Appendice A. Descrizione dell'edificio di riferimento e parametri di verifica del Decreto Ministeriale del 26 di Giugno di 2015 (Aggiornate ai 2021)** dove sono evidenziati in rosso i valori di riferimento per il caso di studio di questa tesi.

Tutti i parametri normativi descritti in questo regolamento sono stati verificati con la normativa di Lombardia in cui si presentano le zone climatiche E e F, e sono stati trovati gli stessi valori nelle normative a confronto per cui possiamo prendere i valori del decreto.

Figura 1.3: Edificio di progetto e di riferimento



Regolamento edilizio nella regione di Lombardia

In questa sezione si menzioneranno alcuni aspetti riferiti propriamente alla questione architettonica dell'edificio in progetto con rispetto alla normativa edilizia di Lombardia.

Il regolamento edilizio della regione di Lombardia è stato approvato per gli articoli 28 e 29 della legge regionale n. 12/2005 e questo regolamento si applica a tutti gli interventi ordinati dalla normativa vigente, dal Piano di Governo del Territorio (PGT) e dagli ulteriori strumenti pianificatori.

Figura 1.3: Edificio di progetto e di riferimento. Fonte: Erba, Valeria. 2015. "Edifici a Energia Quasi Zero. Nuove Norme E Prescrizioni | Il Giornale Del Serramento." Il Giornale Del Serramento. July 20, 2015. <https://www.ilgiornaledelserramento.it/edifici-a-energia-quasi-zero-nuove-norme-e-prescrizioni/>.

Tabelle 1.4: Fattori di conversione in energia primaria. Fonte: Capitolo, Descrizione Dell'edificio, D Riferimento, Parametri Di, and Verifica Sommario. n.d. "Appendice A." https://www.mise.gov.it/images/stories/normativa/DM_requisiti_minimi_appendiceA.pdf. Pg. 30.

Il PGT è uno strumento di pianificazione urbanistica a livello comunale che sostituisce il Piano Regolatore Generale - PRG (che ancora si utilizza come riferimento per altri comuni).

Il Regolamento Edilizio di Milano contiene disposizioni per la tutela dei valori ambientali e architettonici, per il decoro e la qualità urbana ed edilizia, per l'igiene e la sicurezza cittadina ed è entrato in vigore dal 26 di novembre del 2014 e adottato dal Consiglio Comunale con Deliberazione n. 9 (seduta consiliare del 14 aprile 2014).

L'obiettivo di questa tesi non è quello di approfondire in questo regolamento, ma di studiare le direttrici chiave per lo sviluppo del edificio in questione facendo attenzione ai requisiti normativi per gli edifici pubblici di nuova costruzione e sono quelle che si citeranno nell'allegato 2.

ALTEZZA MEDIA DEI LOCALI

Tabella 1.5: Altezza media dei locali

Altezza media dei locali principali	≤ 2.70 m
Altezza media dei locali accessori	≤ 2.40 m
Altezza media dei locali di servizi	≤ 2.10 m
È consentita la progettazione dei locali con altezza inferiore a 2.10m sempre che l'uso sia esclusivamente come ripostiglio, guardaroba o per l'alloggiamento d'impianti d'accordo con le esigenze tecniche del progetto.	

AERAZIONE E ILLUMINAZIONE NATURALE

Altezza minimi dei locali	≤ 2.10 m
È consentita la progettazione dei locali con altezza inferiore a 2.10m sempre che l'uso sia esclusivamente come ripostiglio, guardaroba o per l'alloggiamento d'impianti d'accordo con le esigenze tecniche del progetto.	

Per il calcolo della aerazione naturale i serramenti che possono essere computate devono prospettare su spazi aperti tipo via/piazza, cortile e patio con alcune eccezioni presente nel articolo 109.

Le parti che sono apribili nei serramenti che sono misurate al lordo del telaio degli infissi devono essere superiore 1/10 del piano del calpestio del medesimo ambiente.

Queste parte apribili possono essere paralleli o inclinate con

rispetto al piano di calpestio.

I serramenti a ribalta e i lucernari si possono computare per l'intera luce architettonica se sono apribili a un angolo maggiore o uguale a 30°.

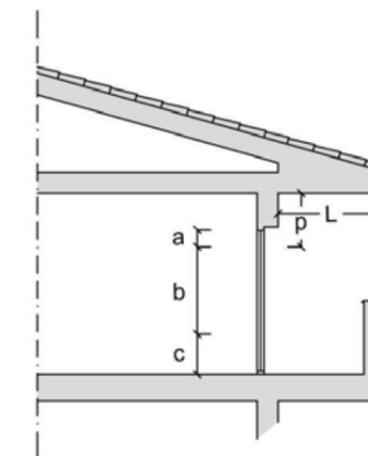
Per quanto riguarda al requisito di illuminazione naturale e diretta tipo perimetrale zenitale o mista il regolamento lo considera soddisfatto quando: "la superficie totale dell'apertura finestrata, misurata convenzionalmente alla luce architettonica detratta l'eventuale porzione ad altezza inferiore a 60 cm dal pavimento, sia pari ad almeno 1/10 della superficie di pavimento del locale interessato... la distanza tra il serramento e il punto più distante da questo del pavimento di ogni singolo locale non superi 2,5 volte l'altezza da terra del punto più elevato della superficie finestrata.

Per distanze maggiori che comunque non devono essere superiori a 3,5 volte l'altezza, l'area complessiva delle parti trasparenti misurate come sopra non deve essere inferiore a 1/8 dell'area del pavimento"¹⁶

Le serre bioclimatiche non comportano riduzione dei rapporti aeroilluminanti.

Per quanto riguarda alla ventilazione degli servizi igienici, questi devono essere dotati sia di ventilazione meccanica controllata

Figura 1.4: Schema esplicativo della superficie illuminanti utile



¹⁶ "Regolamento Edilizio Del Comune Di Milano - Comune Di Milano." 2022. Milano.it. 2022. <https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/urbanistica-ed-edilizia/sportello-unico-edilizia/regolamento-edilizio>. Pg. 68-69.

Figura 1.4: Schema esplicativo della superficie illuminanti utile. Fonte: "Regolamento Edilizio Del Comune Di Milano - Comune Di Milano." 2022. Milano.it. 2022. <https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/urbanistica-ed-edilizia/sportello-unico-edilizia/regolamento-edilizio>. Pg. 69.

Legenda

- L** = lunghezza dell'oggetto superiore
 - P** = proiezione dell'oggetto = $L/2$ si calcola solo per $L > 150$ cm.
 - a** = superficie finestrata utile per $1/3$ o $1/2$ agli effetti dell'illuminazione
 - b** = superficie utile agli effetti dell'illuminazione
 - c** = superficie anche se finestrata comunque non utile ai fini dell'illuminazione ($c = 60$ cm)
- La superficie finestrata utile è uguale a: $b + 1/3$ o $1/2$ a.

(V.M.C.) con aerazione attivata in espulsione continua 6 vol./h o con aspirazione forzata intermittente, oppure con aerazione naturale, quindi devono essere dotati da finestre apribili all'esterno o verso cavedio con misura superiore a 0.50 mq e pari ad almeno 1/10 della superficie del locale nel caso in cui questo abbia una superficie superiore ai 5mq.

CAVEDI

Tabella 1.6: Dimensioni dei cavedi

Altezza	Lato minimo	Superficie minima
Fino a 8m	2,50m	6mq
Fino a 12m	3,00m	9mq
Fino a 18m	3,50m	12mq
Oltre a 18m	4,00m	16mq

Normativa relativa all'edilizia scolastica

La normativa per cui si regola l'edilizia di nuove costruzioni scolastiche è il Decreto Ministeriale del 18 di Dicembre di 1975.

La prima considerazione di questo regolamento è l'ubicazione della scuola, che ovviamente deve essere studiata in termini di morfologia urbana dell'ambiente in cui sarà inserita, tenendo conto delle preesistenze urbane, storiche e naturali, nonché delle nuove proiezioni urbane e del loro rapporto con i centri urbani, così come del loro rapporto con gli edifici esistenti intorno.

La sua progettazione dovrebbe anche prendere in considerazione i mezzi di trasporto con cui gli studenti raggiungeranno la scuola, che nel caso di una scuola secondaria di secondo grado gli studenti possono scegliere quale tipo di trasporto pubblico o privato utilizzeranno e fornire l'accesso a questa vasta gamma.

La normativa indica che le dimensioni ottimali in termini di efficienza nella fornitura di servizi educativi, per il caso delle scuole secondarie di secondo grado (caso di studio) è di 10 classi che corrisponde a 250 alunni e massima di 60 classi che corrisponde a 1500 alunni come spiegato nell'allegato 3 - Tabella 1.

In quanto all'area della scuola la normativa indica che è preferibile sia progettata come una superficie regolare e possibilmente panneggiate e **l'area non coperta della scuola deve essere alberata e verde. Questo con l'obiettivo di consentire anche lo svolgimento di attività all'aperto (attività educative e ginnico-sportive).**

La normativa è molto enfatica per quanto riguarda all'ampiezza degli spazi all'aperto e del suo valore e indica i seguenti valori di ampiezza per la costruzione di un edificio scolastico:

Inoltre, la normativa indica che: "L'area coperta dagli edifici non deve essere superiore alla terza parte dell'area totale. Il rapporto tra l'area dei parcheggi e il volume dell'edificio di cui all'art. 18 della legge 6 agosto 1967, n. 765 deve essere non inferiore ad 1 m² su ogni 20 m³ di costruzione"¹⁷. Questo si evidenzia nella tabella 2 e 3 dell'allegato.

La presente normativa specifica anche che non sono ammessi cortili chiusi o aperti senza una motivazione e una volta sia dimostrato mediante il calcolo la condizione dell'illuminazione.

Nella tabella 4 dell'allegato sono descritti le altezze standard di piano secondo il tipo di spazio, mentre nella tabella 5 si trovano gli indici standard di superficie netta per il caso dei licei scientifici (quello che si pretende sviluppare) secondo le sue categorie di attività (didattiche, collettive o complementari alle attività collettive) e anche sono definite gli standard per le attività sportive.

Come sappiamo l'attività pedagogica è dinamica cioè le metodologie di insegnamento e la maniera in cui si attende alle lezioni cambia d'accordo non solo alle nuove tecnologie se non alle nuove forme di concepire l'educazione, quello che serve agli studenti di oggi forse non funzionerà nella stessa misura agli studenti futuri ed è per questo che questo regolamento fa enfasi in proporre che gli spazi devono essere facilmente adattabile a queste condizioni dinamiche e anche le aule devono essere in capacità di albergare nuove attrezzature per il lavoro individuale e di gruppo, e questo ovviamente varia in funzione del tipo di scuola. In modo che la normativa indica che per il tipo di scuola di questa tesi, le partizioni interne devono essere facilmente rimovibile e il pavimento deve essere continuo al fine di facilitare l'operi di adattamento. Anche queste aule devono servire sia per l'attività teoriche e per le pratiche per quanto gli impianti devono essere anche flessibili.

Tabella 1.5 e 1.6. Fonte: Elaborate dall'autore basate su dati trovate nel "Regolamento Edilizio Del Comune Di Milano - Comune Di Milano." 2022. Milano.it. 2022. <https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/urbanistica-ed-edilizia/sportello-unico-edilizia/regolamento-edilizio>.

17) "Decreto Ministeriale 18 Dicembre 1975." Articoli 2.13 e 2.14. 2022. Edscuola.it. 2022. <https://www.edscuola.it/archivio/norme/decreti/dm181275.html>.

2

NZEB ED EDIFICI SCOLASTICI

2.1.

PARAMETRI PER LA PROGETTAZIONE DEGLI EDIFICI SCOLASTICI CON L'OBIETTIVO DI RAGGIUNGERE LA QUALIFICAZIONE (NZEB).

Per riferirsi a alcuni parametri chiave per la progettazione degli edifici scolastici citiamo il Progetto ZEMedS (Zero Energy MEDiterranean Schools) che nasce dal consorzio di quattro paesi mediterranei come sono la Spagna, la Francia, l'Italia e la Grecia. Questo progetto è cofinanziato dalla Commissione Europea attraverso il Programma Energia Intelligente per l'Europa (IEE). Il suo obiettivo è quello di promuovere le azioni necessarie affinché le scuole nelle regioni mediterranee possano essere riabilite per diventare edifici a energia quasi zero (NZEB).

Questo team ha sviluppato una sorta di kit con gli strumenti per fornire un know-how per orientare a loro che si occupano della progettazione e della costruzione di questa tipologia edilizia. Anche se l'obiettivo di questo progetto è quello di raggiungere la qualificazione NZEB - edifici a energia quasi zero -, in realtà va puntando a raggiungere una qualificazione meglio che NZEB ed

Figura 2.0: Criteri chiave per la scuola nZEB

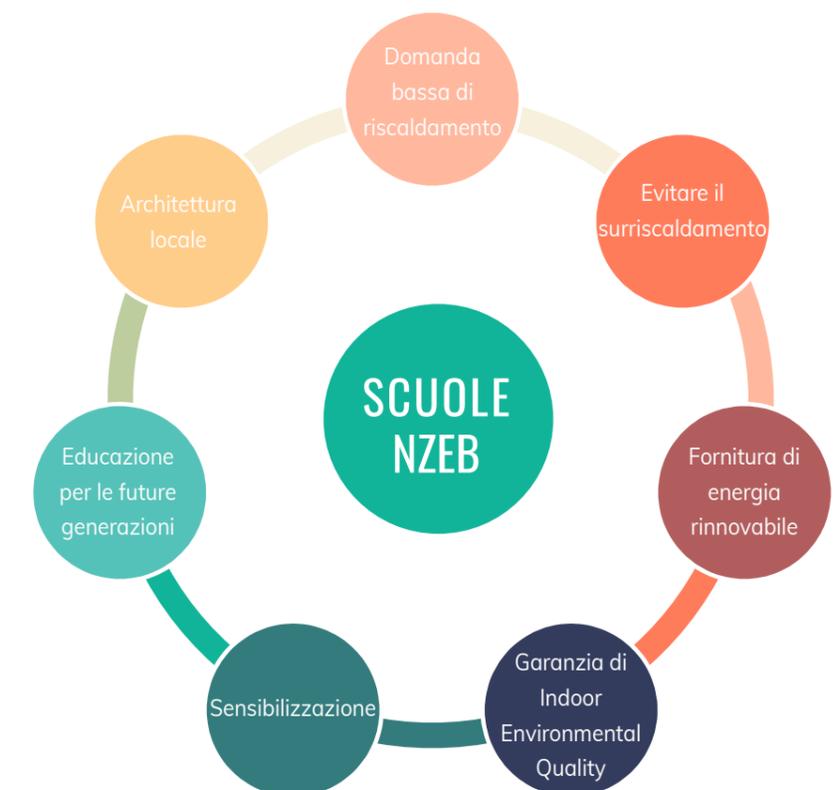


Figura 2.0: Criteri chiave per la scuola NZEB. Fonte: Elaborazione dell'autore basato su: Gaitani, Niki. 2016. "ZEMedS School Technical & Financial Toolkit NZEB* Renovation for Mediterranean Schools." Academia.edu. February 23, 2016. https://www.academia.edu/22346829/ZEMedS_School_Technical_and_Financial_Toolkit_nZEB_renovation_for_Mediterranean_schools.

è quella di Net Zero Energy Building - Edificio ad energia zero-. Su questa linea, gli autori affermano che un edificio a Energia Netta Zero deve soddisfare i seguenti requisiti:

1. Il bilancio energetico annuale delle fonti di energia non rinnovabili è al massimo pari a zero.

$$C_{PE} - \text{Prod}_{RES} \leq 0$$

C_{PE} = Inteso come l'energia primaria per tutti gli usi (riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, acqua calda sanitaria, cucina, illuminazione ed elettricità specifici). I coefficienti di conversione sono quelli nazionali.

Prod_{RES} = produzione di energia rinnovabile locale ogni anno in energia primaria

Se l'energia rinnovabile locale non è disponibile (da dimostrare con uno studio di fattibilità) sono possibili queste opzioni (in ordine di priorità):

- Installazione Fonti energetiche alternative nel quartiere/ cittadina
- 100% di elettricità verde dalla rete (da dimostrare con il contratto di energia)

2. La scuola Net Zero Energy ha un consumo energetico finale massimo consentito di 40kWh/m²anno.

$$C_{FE} \leq 40 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$$

C_{FE} = Inteso come i consumi finali di energia per tutti gli usi (riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, illuminazione ed elettricità specifica) ad eccezione dell'acqua calda sanitaria e della cucina (che non sono presenti in tutte le scuole).

Riscaldamento, raffreddamento, ventilazione $C_{HVAC} \leq 20 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$

Illuminazione $C_{lighting} \leq 5 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$

ICT ed elettrodomestici $C_{elec} \leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$

3. La scuola Net Zero Energy deve assicurare un ambiente sano e confortevole per gli utenti dell'edificio

Per questo l'Indoor Air Quality garantito deve essere:

$$CO_2 \leq 1000 \text{ ppm}$$

Nel periodo estivo il tempo massimo di surriscaldamento deve essere:

T superiore a 28 °C ≤ 40 ore/ano durante l'utilizzazione

2.1.1. ORIENTAMENTO

Per garantire l'efficienza energetica di cui sopra, è necessario raggiungere un equilibrio tra tecnologie attive e passive.

Per raggiungere questo obiettivo, il primo passo nella progettazione di un edificio è il suo orientamento in quanto in corretto orientamento assicura l'accesso al sole invernale ed evita quello estivo.

Sappiamo che a livello cittadino spesso l'orientamento dell'edificio è determinato dalle strade in cui si inserisce il progetto, soprattutto quando si tratta di piccoli lotti. Tuttavia, ci sono alcuni orientamenti stradali che sono "ideali" per consentire la prima premessa con cui si è iniziato questo capitolo: l'orientamento est-ovest, che massimizza l'accesso al sole invernale grazie al fatto che proviene da sud, ma può anche massimizzare l'ombra dalla mattina al pomeriggio in estate.

Parlando specificamente di architettura scolastica, ci sono diversi fattori da tenere in considerazione quando si parla di orientamento dell'edificio. Sappiamo che la stragrande maggioranza delle scuole o degli istituti educativi prevede spazi ricreativi; in climi moderati questi spazi possono essere situati per lo più all'aperto, mentre in climi con temperature estreme, calde e fredde, sarà necessario pianificare spazi ricreativi stagionali all'interno. Inoltre, quando si parla di spazi ricreativi è necessario pensare ad ambienti diversi, cioè sufficientemente caldi e soleggiati per sedersi e socializzare e sufficientemente ombreggiati per trovare sollievo quando il tempo è caldo.

Per questo la vegetazione, la scelta del luogo e il contesto sono importanti, poiché da essi dipenderà la generazione di questi diversi ambienti.

Anche altri fattori, come i giardini che richiedono la luce diretta del sole o l'uso di pannelli fotovoltaici, sono validi per la ricerca dell'orientamento ideale.

Per garantire tutti questi fattori, è necessaria una pianificazione termica, nel senso che gli spazi sono orientati in base alle esigenze, all'uso o all'attività dei singoli ambienti; ad esempio, gli spazi che richiedono o tollerano temperature più basse dovrebbero essere orientati verso il lato nord dell'edificio (Figura 2.1).

Un esempio di pianificazione termica di una scuola (può osservarsi

Figura 2.1 e 2.2: Zonizzazione termica e configurazione scuola. Fonte: Elaborazione dall'autore basato su: Lechner, Norbert. Heating, Cooling, Lighting. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated, 2014. Web. Pg. 469-470.

nella figura 2.2) è quello in cui le aule sono orientate a sud-est per fornire tutto l'anno luce calda da sud, dalla mattina alla sera. L'area della mensa e dell'auditorium, che non richiede necessariamente finestre, può essere collocata nell'area centrale, lo spazio più fresco nell'area settentrionale dove può essere la palestra, mentre sulla facciata ovest è possibile collocare l'area

Figura 2.1: Zonizzazione termica per le stagioni invernale ed estiva

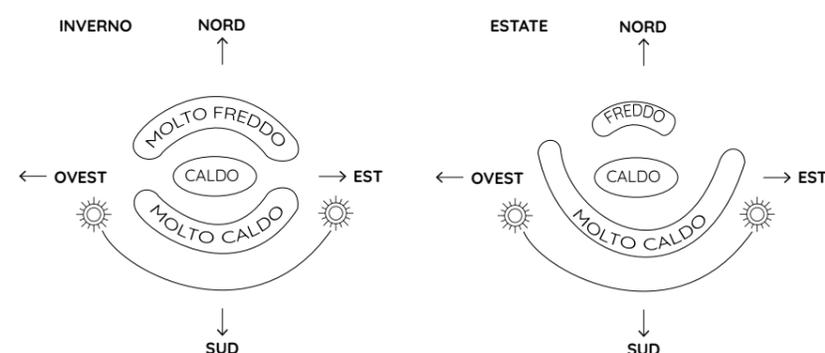
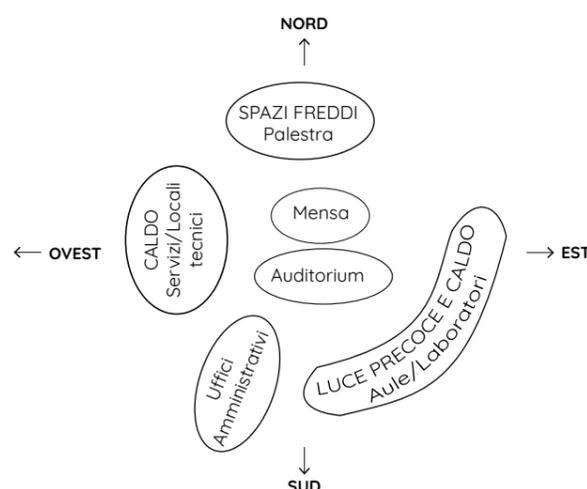


Figura 2.2: Configurazione possibile di una scuola secondo l'orientamento



2.1.2. COMFORT TERMICO E ISOLAMENTO

Una delle caratteristiche di un edificio con alta efficienza energetica è la sua capacità per fornire uno spazio confortevole per l'essere umano. Per questo, i livelli di temperatura e umidità devono essere dentro di un rango oltre ad essere equilibrati durante il giorno.

In questo punto, una serie di parametri che sono oggetti di studio di discipline scientifiche insieme alle preferenze personali giocano

¹⁸⁾ Roberto, Gonzalo, and Rainer Vallentin. Passive House Design. München: Detail Business Information GmbH, The, 2014. Web.

un ruolo importante nella definizione di comfort.

D'accordo con Roberto Gonzalo e Rainer Vallentin¹⁸ esistono 4 parametri che affettano una persona presente in uno spazio:

1. Temperatura di radiazione delle superficie circondanti
2. Temperatura ambiente
3. Velocità relativa dell'aria vicino al corpo umano
4. Umidità

Alcuni autori affermano che la cultura può essere anche un fattore per cui si può costruire una definizione di comfort; mentre che per il contrario, altri autori affermano che su questo non ci sono sufficienti evidenze di grandi differenze nella concezione di comfort attribuibile ai fattori culturali assicurando anche che questa è una funzione biologica. Infatti, c'è una grande scoperta di Ole Fanger rispetto alla relazione biologica tra l'essere umano e la sua funzione di equilibrio corpo-calore, e ci sono alcuni fattori importanti in questo caso:

1. L'attività e la generazione di calore che essa comporta
2. Gli abbigliamento, in particolare la resistenza termica e la tenuta al vento
3. Processi fisici come conduzione termica, radiazione termica, convezione ed evaporazione nel e sul corpo e nell'interazione con l'ambiente circostante

Secondo questi autori, la media degli edifici residenziali e di uffici in quanti ai livelli di comfort supportato per un 90-95% delle persone interrogate (per il caso dell'edificio scolastico possiamo assumere anche gli stessi parametri) la temperatura dell'aria deve essere fissata intorno ai 21°C con la possibilità di essere aggiustata secondo la necessità.

2.1.3. TECNOLOGIE PASSIVE

Esistono vari tipi di tecnologie passive, sia per il riscaldamento che per il raffreddamento degli ambienti, nonché tecnologie tradizionali e moderne.

In primo luogo, verrà discussa la tecnologia passiva per il raffreddamento degli edifici.

Per affrontare questo problema e poiché l'obiettivo è creare comfort durante l'estate (periodo di surriscaldamento), esistono due opzioni:

1. Raffreddare l'edificio, per cui è necessario rimuovere il calore per mezzo di un dissipatore di calore.
2. Aumentare la zona di comfort in misura sufficiente a includere

l'elevata temperatura interna, nel qual caso è necessario modificare uno degli altri fattori dell'ambiente termico, ad esempio l'umidità o la velocità dell'aria. In questo caso, le persone sperimentano un maggiore comfort termico anche se l'edificio non viene effettivamente raffreddato.

Secondo Norbert Lechner¹⁹, esistono diversi tipi di sistemi di raffreddamento passivo, di cui possiamo citare alcuni:

- Raffreddamento ventilativo --> si riferisce alla ventilazione durante il giorno e la notte con l'intento di aumentare l'evaporazione della pelle che a sua volta genera comfort termico, ventilazione incrociata, effetto stack.
- Raffreddamento notturno --> si tratta di una ventilazione notturna per raffreddare l'edificio per il giorno successivo.
- Raffreddamento radiante diretto --> Si verifica quando la struttura del tetto di un edificio viene raffreddata dalla radiazione verso il cielo notturno.
- Raffreddamento radiante diretto --> l'irraggiamento verso il cielo notturno raffredda il fluido di trasferimento del calore, che a sua volta raffredda l'edificio.
- Raffreddamento evaporativo diretto --> l'acqua viene spruzzata nell'aria che entra nell'edificio, riducendo al minimo la temperatura dell'aria ma aumentandone l'umidità, quindi non è raccomandato per l'uso in climi umidi.
- Raffreddamento evaporativo indiretto --> L'evaporazione raffredda l'aria che entra nell'edificio senza aumentare l'umidità interna.
- Accoppiamento diretto --> Quando l'edificio è protetto dalla terra e perde calore direttamente verso la terra.
- Accoppiamento indiretto --> l'aria entra nell'edificio attraverso

¹⁹ Lechner, Norbert. Heating, Cooling, Lighting. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated, 2014. Web. Pg. 267-268

Figura 2.3: Tipologie di raffreddamento ventilativo

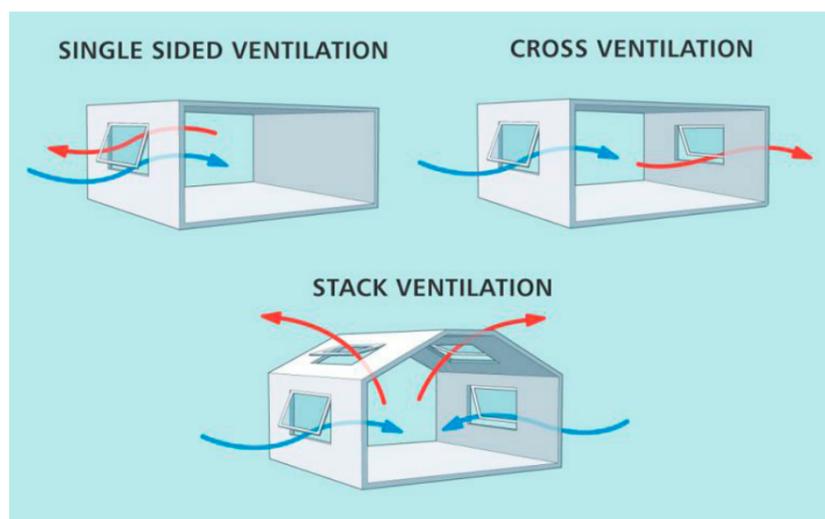


Figura 2.3. Tipologie di raffreddamento ventilativo.

Fonte: "Natural Ventilation in Schools Using Window Actuators | Teal Products." 2021. Teal Products. April 23, 2021. <https://www.tealproducts.com/latest-news/natural-ventilation-in-schools-using-window-actuators>.

Figura 2.4. Tipologie di pareti di trombe. Fonte: Hu, Zhongting, Wei He, Jie Ji, and Shengyao Zhang. 2017. "A Review on the Application of Trombe Wall System in Buildings." Renewable and Sustainable Energy Reviews 70 (April): 976-87. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.003>.

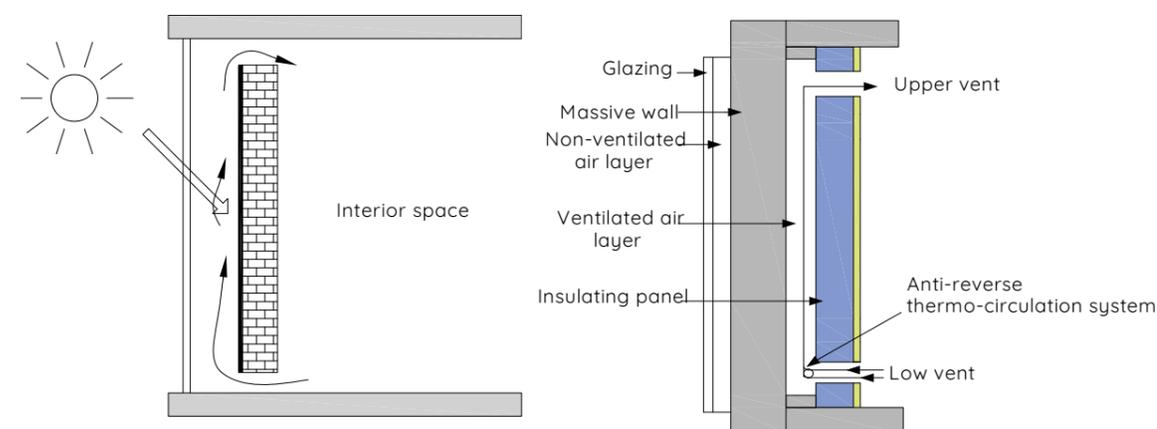


Figura 2.4: Tipologie di pareti di trombe

i tubi di terra.

- De-umidificazione con un essiccante --> rimozione del calore latente

A volte è necessaria una combinazione di diverse di queste tecniche.

Per quanto riguarda i sistemi di riscaldamento solare passivo, si tratta di sistemi in grado di raccogliere, immagazzinare e ridistribuire l'energia solare senza l'utilizzo di dispositivi meccanici come ventilatori, pompe o regolatori. Questi sistemi si basano principalmente sugli elementi di base che compongono l'edificio, come finestre, pareti e pavimenti. Un esempio è l'uso delle pareti non solo come elementi divisorii e/o strutturali, ma anche come elementi di accumulo del calore.

Tutti i sistemi di riscaldamento solare passivo sono composti da almeno due elementi principali: un collettore che consiste in un elemento vetrato rivolto a sud e un accumulatore di energia che generalmente consiste in una massa termica come la pietra o l'acqua. Dalla relazione di queste due variabili nascono sistemi diversi, ma secondo Norbert Lechner sono tre i concetti chiave:

1. Guadagno di calore diretto: Ovviamente ogni superficie di vetro esposta a sud crea un guadagno di calore diretto mentre esposta a nord genera perdite. Questo è il concetto dell'effetto serra che consiste nel raccogliere e intrappolare la radiazione solare durante il giorno, per trattenere il calore è necessario aggiungere massa termica che può essere una lastra di cemento, muratura o acqua.
2. Pareti di trombe: Costituito da un muro all'interno della facciata costituito da un muro appena dentro la vetrata esposta a sud.

3. Spazi solari: è uno spazio che può essere considerato una serra aggiunta all'edificio, che può contenere o meno piante, e il calore raccolto da questo spazio viene distribuito al resto dell'edificio attraverso finestre, porte e prese d'aria.

2.1.4. TECNOLOGIE ATTIVE

Come lo abbiamo già menzionato prima, alcuni autori tra quali possiamo menzionare a Gonzalo e Vallentin¹⁷ affermano che in certi casi può non esistere la necessità di utilizzare sistemi attivi per raffreddamento dato che è possibile assumere che gli utenti degli edifici possono accettare condizioni climatiche più alte durante il periodo estivo. Tuttavia, essendo che la loro ricerca è stata indirizzata sul Passiv Haus Standard nei paesi del centro di Europa dove la temperatura è moderata in estate, per il caso di questa tesi, considereremo la necessità d'implementare un sistema attivo di raffreddamento essendo che la temperatura sarà più alta nel periodo estivo dal fatto che si trova nella parte meridionale del continente con un clima mediterraneo.

Tuttavia, visti i limiti climatici che si sono verificati di recente che hanno portato a temperature elevate in molte aree del mondo, i sistemi attivi stanno diventando una selezione più comune in quasi tutto il mondo, il che non è necessariamente positivo, visto che questi sistemi consumano energia elettrica, tante volte il nostro comfort termico è al di sopra di un beneficio o di un deterioramento ambientale.

È chiaro che, quando si parla di tecnologie attive, ci si riferisce principalmente ai sistemi meccanici come pompe, ventilatori, ecc., ma anche a sistemi come i pannelli fotovoltaici e i pannelli solari che si distinguono per due ragioni principali: i pannelli fotovoltaici sono utilizzati per produrre energia elettrica di alta qualità, mentre i pannelli solari producono bassa qualità di energia termica. In altre parole, uno produce elettricità, e gli altri si occupano del riscaldamento dell'acqua.

Secondo Norbert Lechner, affinché una fonte di energia sia ideale, deve essere sostenibile o rinnovabile, non inquinante, non deve essere pericolosa per le persone o per il pianeta, deve produrre energia di alta qualità che può essere utilizzata per qualsiasi scopo, deve fornire energia dove serve, che sia silenzioso, che non abbia bisogno di manutenzione e che abbia bassi costi di esercizio, per evidenziarne alcune caratteristiche.

In commercio esistono due tipologie fondamentali di pannelli fotovoltaici, quelli che sono indipendenti ma dipendono dalle batterie per funzionare o quelli che sono collegati alla rete. L'utilizzo di pannelli con batterie ne aumenta i costi e la manutenzione. Per il sistema connesso alla rete, è necessario un inverter per modificare la corrente continua del generatore fotovoltaico in corrente alternata (CA) alla corretta tensione di rete.

C'è una grande varietà di usi e modi alternativi per installare i pannelli fotovoltaici dai tetti coperti con pannelli, ai tetti a shed e alle facciate realizzate con pannelli. Ci sono anche vetri che hanno celle fotovoltaiche, ecc.

L'uso di questa tecnologia, ma non solo, anche degli impianti tecnologici che avvengono nell'edificio è condizionato dalle loro prestazioni, ovviamente. In genere, le prestazioni di questa apparecchiatura sono indicate nelle schede tecniche con la lettera n.

L'analisi delle prestazioni energetiche di un edificio passa attraverso lo studio del sistema edificio-impianti, che implica la comprensione dell'edificio come un organismo in cui la sinergia dei suoi elementi lo fa funzionare in modo efficiente (per elementi si intendono non solo le apparecchiature meccaniche, ma anche i materiali, le pareti, le facciate, le finestre, i pannelli, le porte, ecc. che compongono l'edificio) e che condizionerà il tipo di impianti da installare e il loro funzionamento.

Il sistema costruttivo ad alta efficienza energetica deve essere attentamente progettato in base all'effettivo fabbisogno energetico dell'edificio, per questo l'involucro della facciata gioca un ruolo fondamentale nel contribuire a ridurre il fabbisogno energetico e quindi influenza la scelta dei sistemi ad alta efficienza

Figura 2.5: Schema impianto termico

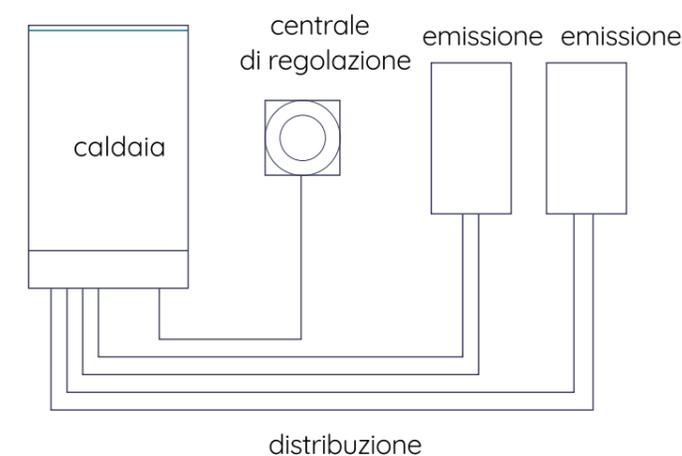


Figura 2.5. Schema impianto termico. Modificato dall'autore. Fonte: "Cappello Mario, Il sistema edificio-impianto: il concetto di rendimento e la sua applicazione negli impianti termici". http://collegio.geometri.bs.it/pdf/2010/8148_015.pdf. Pg. 2.

energetica, In generale, i sistemi di isolamento termico “ideali” sono caratterizzati da prezzi bassi, alta efficienza di produzione di calore, basso impatto ambientale, possibilità di utilizzare fonti di energia rinnovabili, bassa manutenzione ed economicità, e bassi requisiti di spazio.

Per quanto riguarda gli impianti di riscaldamento, il sistema di riscaldamento invernale può avere una forte influenza sulla prestazione energetica finale dell'edificio. Come si può vedere nella figura precedente, questo sistema è composto principalmente da 4 fasi: generazione, regolazione, distribuzione ed emissione.

2.2. ANALISI DEGLI AMBIENTI DI APPRENDIMENTO E DI STUDIO OTTIMALI E DI QUALITÀ SPAZIALE

È risaputo che una scuola sostenibile crea un ambiente di apprendimento ottimale.

Ecco perché la scelta di materiali durevoli, di sistemi con alti prestazioni e di una buona manutenzione da modo che l'edificio funzioni efficientemente. La possibilità di monitorare il comportamento dell'edificio rende più facile individuare eventuali problemi e risolverli in tempo.

Inoltre, una scuola sostenibile può avere un impatto sulla comunità, non solo all'interno della scuola, ma può sensibilizzare a cambiare stile di vita e dimostrare che il risparmio energetico è possibile. Quando gli studenti vivono in uno spazio di questo tipo, porteranno queste abitudini nella loro vita personale e quando cresceranno.

Studi condotti in tutto il mondo hanno dimostrato che le performance degli studenti nella lettura e nella valutazione sono strettamente correlate all'ingresso della luce naturale attraverso lucernari e finestre, come discusso dall'autrice Lisa Gelfand²⁰, che cita studi condotti negli Stati Uniti che hanno dimostrato che gli studenti in aule illuminate a giorno ottengono punteggi più alti nelle valutazioni rispetto agli studenti in aule con meno luce naturale. La luce diffusa dell'orientamento nord è una fonte ideale di luce naturale. La luce in combinazione con la vista verso l'esterno sono fattori che possono ispirare calma e comfort.

Ma non solo l'illuminazione naturale è importante, anche le condizioni acustiche si sono dimostrate un fattore cruciale, nel senso che quanto meglio uno studente ascolta, tanto migliore è il processo di apprendimento.

20) Gelfand, Lisa, and Eric Corey Freed. Sustainable School Architecture Design for Primary and Secondary Schools. Hoboken: Wiley, 2010. Print.

21) Corsi, R, V Torres, M Sanders, and K Kinney. n.d. "CARBON DIOXIDE LEVELS and DYNAMICS in ELEMENTARY SCHOOLS: RESULTS of the TESIAS STUDY." <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB6553.pdf>.

Figura 2.6: Ventilazione a dislocamento. Fonte: Javed, Saqib, Ivar Ørnes, Tor Helge Dokka, and Sverre Holøs. 2021. "Evaluating the Use of Displacement Ventilation for Providing Space Heating in Unoccupied Periods Using..." ResearchGate. MDPI. February 11, 2021. https://www.researchgate.net/publication/349259884_Evaluating_the_Use_of_Displacement_Ventilation_for_Providing_Space_Heating_in_Unoccupied_Periods_Using_Laboratory_Experiments_Field_Tests_and_Numerical_Simulations.

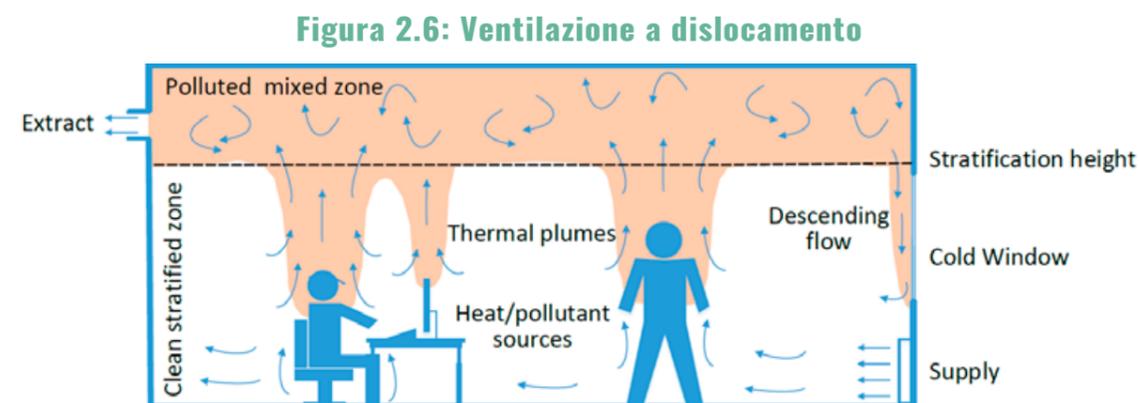
Un fattore importante per garantire una qualità acustica importante è nella scelta dei materiali dell'involucro e del sistema di ventilazione in modo che questo sia progettato per non generare disturbi all'interno delle aule. La ventilazione dovrebbe entrare tramite lamelle acustiche o finestre che aprono verso spazi calmi.

I tempi di riverberazione si devono analizzare e con questo scegliere superfici assorbenti che generalmente sono insalate nei controsoffitti e nelle pareti.

E da qui torniamo al tema della qualità dell'aria interna, perché come detto nel corso di questa tesi, la qualità dell'aria interna può influire positivamente o negativamente sulle persone che abitano gli spazi, quando si utilizzano materiali che producono VOC (Composti organici volatili) o che generano qualche emissione della propria materia prima composta da sostanze chimiche, queste genererebbero un disagio nelle persone e incluso a farle ammalare.

La ventilazione a dislocamento può essere una strategia che può contribuire a migliorare la qualità dell'aria. Questa consiste nella distribuzione dell'aria nello spazio in cui l'aria esterna condizionata viene fornita a bassa velocità da diffusori di alimentazione dell'aria situati vicino al livello del pavimento ed estratta al di sopra dell'area occupata, di solito all'altezza del soffitto.

Per illustrare l'importanza della tematica della qualità dell'aria nelle scuole, si espone il caso di uno studio sviluppato in Texas per studiare il comfort nell'ambiente scolastico; questo è il progetto Air@School che mira a misurare i livelli di CO₂ nelle aule scolastiche attraverso una ricerca su trenta scuole campione. I risultati di questo studio ha dimostrato che la maggioranza delle scuole ha superato i limiti di comfort stabiliti dalla normativa (1000ppm) e che nei 20% dei casi entro 30 minuti dall'ingresso degli studenti i limiti di comfort era già triplicati (3000ppm)²¹ Questo è preoccupante visto che questo può influenzare negativamente



l'attività didattica e generare malessere tanto ai professori come agli studenti.

Ovviamente non possiamo prescindere dal tema che abbiamo affrontato nel corso di questa ricerca, ovvero il comfort termico. Gli occupanti dell'edificio devono avere la possibilità di controllare e creare condizioni termiche adatte a loro, attraverso l'uso di termostati, finestre apribili o apparecchiature manovrabili.

Tuttavia, per creare il comfort termico è necessario tenere conto della temperatura dell'aria, dell'umidità, del movimento dell'aria (m/s) e della temperatura media radiante (MRT). La MRT è definita come la temperatura uniforme di un involucro (o ambiente) immaginario in cui il trasferimento di calore radiante dal corpo umano è uguale al trasferimento di calore radiante nell'involucro (o ambiente) reale non uniforme. Ad esempio, se in una giornata invernale soleggiata ci si siede di fronte a una finestra esposta a sud e si sente molto caldo, anche se la temperatura del vento è di 24°C, quando il sole tramonta è probabile che ci si senta più freschi, anche se la temperatura continua a essere di 24°C.

Sistemi di ombreggiamento e finestre meglio isolate hanno un grande impatto sui livelli di MRT.

2.3. PROGETTAZIONE DEGLI SPAZI PER LE ATTIVITÀ ALL'APERTO COME PARTE INTEGRALE DEGLI EDIFICI NZEB

Il tessuto urbano è composto da diversi elementi, come lo spazio costruito, gli spazi di circolazione pedonale e veicolare, le reti di trasporto pubblico, gli elementi naturali come i fiumi, i sentieri verdi, i parchi e le aree verdi classificate come spazi aperti che sono organizzati in diversi modelli e che definiscono la qualità dell'ambiente costruito.

L'approccio progettuale, il sistema costruttivo, le scelte tecniche e tecnologiche e la selezione dei materiali hanno una grande determinazione sulla forma che gli edifici assumono in termini di comfort interno ed esterno, come abbiamo sottolineato nel paragrafo precedente. Una questione molto importante in questo contesto è il disegno degli spazi aperti e i materiali scelti per la loro progettazione, così come l'equilibrio tra aree permeabili (aree verdi) e aree impermeabili (inteso come percorsi pedonali e piazze), che a sua volta determina la qualità degli spazi intermedi (*in-between spaces*). Questo argomento è di vitale importanza,

22) Ferrao & Fernandex, 2013; Agenzia Europea dell'Ambiente.

infatti molto spesso l'interazione e la circolazione tra le aree esterne e le aree interne dell'edificio non sono progettate come una entità unica. Per questo motivo si creano frammentazioni tra gli spazi difficili da gestire. Nell'ambito della ricerca scientifica è anche intuibile la poca importanza che è stata data a questo argomento negli ultimi anni. Infatti, gli ultimi avanzi tecnologici sono generalmente interessati esclusivamente al risparmio energetico, lasciando a un lato l'interazione e il funzionamento degli spazi aperti con quelli interni e a sua volta il benessere degli utenti/cittadini.²²

Poiché questi spazi sono i luoghi dove le future generazioni saranno educate e dove trascorreranno gran parte della loro vita e del loro tempo, la loro progettazione non può essere disgiunta dagli spazi intermedi, in quanto giocano un ruolo definitivo nel benessere dei giovani e degli adolescenti, sia per stabilire relazioni sociali, impegnarsi in attività fisiche, godere di attività curricolari ed extracurricolari o semplicemente per prendere una boccata d'aria fresca e riposare.

2.4. MODELLI DI EDIFICI SCOLASTICI CON BASSO CONSUMO ENERGETICO

Gli esempi considerati in questa tesi come possibili riferimenti progettuali per il futuro edificio scolastico sono stati scelti in base su alcuni fattori come la forma, l'orientamento, l'area, la capienza, e le scelte ambientale ed energetiche, i materiali costruttivi, in modo che possano essere utili per lo scopo.

Desa Mahkota School

Anno	2013
Localizzazione	Kuala Lumpur, Malaysia
Architetti	Eleena Jamil
Superficie lorda	13.000 m ²
Capienza	1.200 students

Questa scuola ha una capacità di 36 aule e 12 laboratori, area amministrativa, sale riunioni, biblioteca e mensa. Si rivolge a studenti tra i 12 e i 17 anni. La scuola è stata costruita su un sito elevato di 1,8 ettari situato a Kuala Lumpur.

Una delle caratteristiche principali di questa scuola è la sua disposizione, poiché è stata progettata con l'intenzione di generare una relazione tra lo spazio interno ed esterno. Si

Figura 2.7, 2.8 e 2.9. Fonte: "Desa Mahkota School / Eleena Jamil Architect." 2014. ArchDaily. January 28, 2014. <https://www.archdaily.com/470704/desa-mahkota-school-eleena-jamil-architect>

componi di volumi lineari di diverse altezze che sono organizzati in modo tale da creare cortili tra di loro. Questi cortili hanno anche la funzione di mantenere gli spazi freschi durante il giorno.

Figura 2.7 - Foto generale Desa Mahkota School



Questa disposizione genera a sua volta un'esperienza di circolazione con diversi spazi che la arricchiscono ed è qui che gli spazi aperti come i corridoi e le aree di gioco informali diventano lo spazio dove i bambini e i giovani giocano e socializzano, oltre ad essere spazi dove l'educazione informale e l'interazione tra studenti e insegnanti possono avvenire.

L'uso del design passivo è evidente nella distribuzione spaziale, le aule sono a un solo lato e hanno aperture sul lato di sopravvento e di sottovento che permettono la ventilazione incrociata, in modo che gli spazi siano altamente ventilati e illuminati.

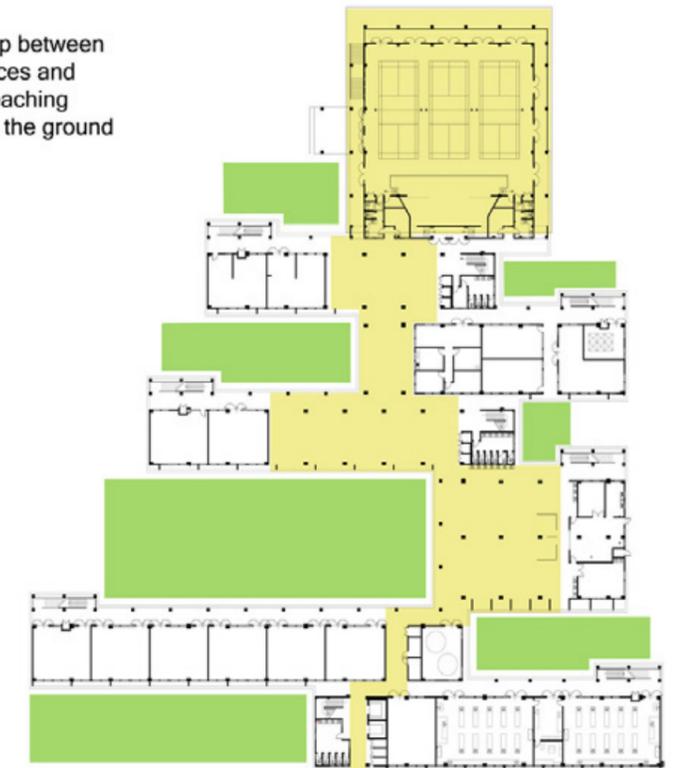
Per quanto riguarda le facciate est e ovest, che potrebbero essere le più difficili da progettare a causa della loro esposizione diretta al sole durante la mattina e il pomeriggio, il problema viene evitato posizionando le finestre sulle facciate nord e sud.

Come sistema di ombreggiamento, pinne e sporgenze sono state usate su tutte le facciate sud e corridoi aperti sulle facciate nord riducendo l'entrata diretta della luce solare.

I pavimenti e i soffitti sono stati lasciati a vista per regolare la temperatura giornaliera grazie alla loro massa. In questo caso, il calore viene assorbito dalle lastre di cemento e rilasciato di notte

Figura 2.8- Planimetria generale

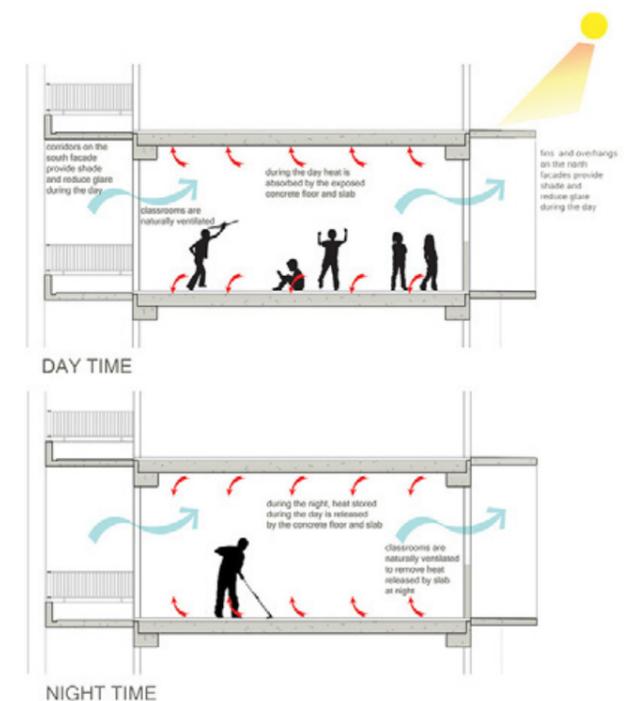
relationship between green spaces and informal teaching spaces on the ground floor



quando le stanze non sono occupate.

Le stanze sono anche ventilate naturalmente di notte per liberare il calore dagli spazi.

Figura 2.9 - Schema ventilazione



Erlev School

Anno	2021
Localizzazione	Haderslev, Denmark
Architetti	Arkitema
Superficie lorda	5.800 m ⁰
Capienza	500 studenti

Figura 2.10 - Foto generale Erlev School



Questo progetto è pioniere nella sua tipologia in Danimarca, e non solo, ma anche nella regione scandinava, in quanto segna una nuova generazione di scuole in legno, infatti ha vinto concorsi di architettura e si è posizionato come il miglior edificio scolastico del 2021.

L'idea principale di questo edificio è raggiungere un equilibrio sostenibile a livello sociale, economico e ambientale. Il suo design è un esperimento di diverse tecniche e materiali applicati in modi nuovi, o meglio, configurati in modi alternativi.

All'interno, è caratterizzato dall'aver spazi "aperti" che sono configurati dalla sua geometria per incoraggiare la curiosità e la creatività negli studenti. Oltre a questo, la scuola dispone di diverse tipologie spaziali in cui variano le dimensioni delle aule e quindi anche la loro funzionalità, creando anche spazi più privati, come spazi più grandi della dimensione di un'aula tradizionale, ma dispone anche di aule tradizionali, generando dinamismo, diversità e ricchezza spaziale.

Gli spazi aperti di questo edificio si caratterizzano per essere aree

Figura 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13.
Fonte: "Erlev School / Arkitema." 2021. ArchDaily. October 29, 2021. <https://www.archdaily.com/971052/erlev-school-arkitema>.

verdi con protezione, che consente non solo attività ricreative ma anche educative. Questi spazi funzionano anche per la popolazione locale della città e non solo per gli studenti.

Figura 2.11 - Foto spazio all'aperto Erlev School

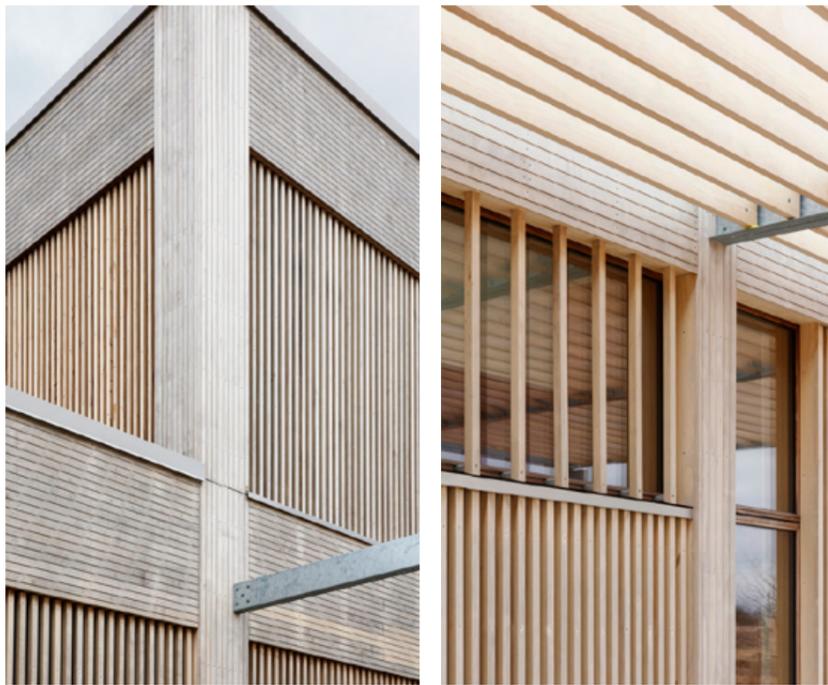


Per quanto riguarda i materiali utilizzati nella costruzione di questa scuola, si isolano alcuni materiali più comuni come il cemento o il metallo, per utilizzare come struttura portante il legno lamellare (CLT - Cross laminated timber). Questo materiale, al di là dei suoi benefici ambientali e proprio perché è caratterizzato da una bassa energia incorporata, genera un aspetto visivo attraente, e anche l'esperienza sensoriale dell'utente è più forte, grazie alla sua consistenza, sensazione e suono, è un ambiente più familiare per l'utente umano, implicando un certo contatto con l'esterno ma generando questo spazio vitale all'interno.

Figura 2.12 - Foto interiore



Figura 2.13 - Foto dettagli legno



Scuola Media 'L. Orsini'

Anno	2008
Localizzazione	Imola, Italia
Architetti/ Ingegneri	Arch. Andrea Dal Fiume, Ing. Odine Manfroni, METEC&SAGGESE, Ing. Mario Grosso
Superficie lorda	5.800 m ²
Capienza	425 studenti

Figura 2.14 - Foto generale Scuola Media 'L. Orsini'



La progettazione di questo edificio avviene dalla idea di generare una costruzione sostenibile in cui si integrano tutte le discipline e i saperi dall'ambito della architettura all'ambito della ingegneria, con l'obiettivo di creare un edificio che non solo fosse funzionale ma che per il fatto di essere sostenibile fosse anche un modello per i cittadini.

La progettazione si è orientata alla visione di edificio-impianto. Secondo Mario Grosso questo progetto si considera innovativo per "In particolare le innovazioni hanno riguardato le tecnologie costruttive, i materiali, la distribuzione delle funzioni, l'utilizzo di fonti rinnovabili, l'integrazione combinata di sistemi meccanici e passivi, l'integrazione di diverse tecnologie volte al contenimento dei consumi energetici e all'aumento dell'efficienza, l'attenzione alla manutenzione, al riciclaggio e allo smaltimento dei rifiuti, il processo di cantiere e la predisposizione di sonde per un successivo monitoraggio della struttura"²¹.

Questo edificio si compone di 3 piano fuori terra e uno interrato. L'orientamento del edificio si progetta con l'intenzione di captare al massimo la radiazione solare che servirà per aumentare gli apporti invernali e per garantire un corretto funzionamento dei componenti solari che fanno parte del sistema impiantistico.

Sulla facciata sud sono stati collocati le aule mentre che nella facciata nord si trovano i laboratori, gli uffici e altri spazi complementari. Sulla facciata si trovano alcuni collegamenti verticali che uniscono la copertura con il piano tecnico interrato e che sostengono il sistema Solarwall che è integrato in facciata.

Figura 2.15 - Foto interiore Scuola Media 'L. Orsini'



²¹ Chiesa, Giacomo & Grosso, Mario. (2015). Sustainable school buildings.

Per quanto riguarda ai sistemi di schermature in questi corpi verticale si è posizionato un sistema meccanico con l'obiettivo di operare le lamelle orientabili.

L'isolamento naturale scelto composto da sughero e fibra di legno, supera gli standard indicati dalla normativa vigente raggiungendo un U-value di 0.14W/m²K.

Con l'idea di disperdere il calore che assorbito durante il periodo di sole nelle giornate di estate la copertura è ventilata.

Figura 2.16 - Foto interiore Scuola Media 'L. Orsini'

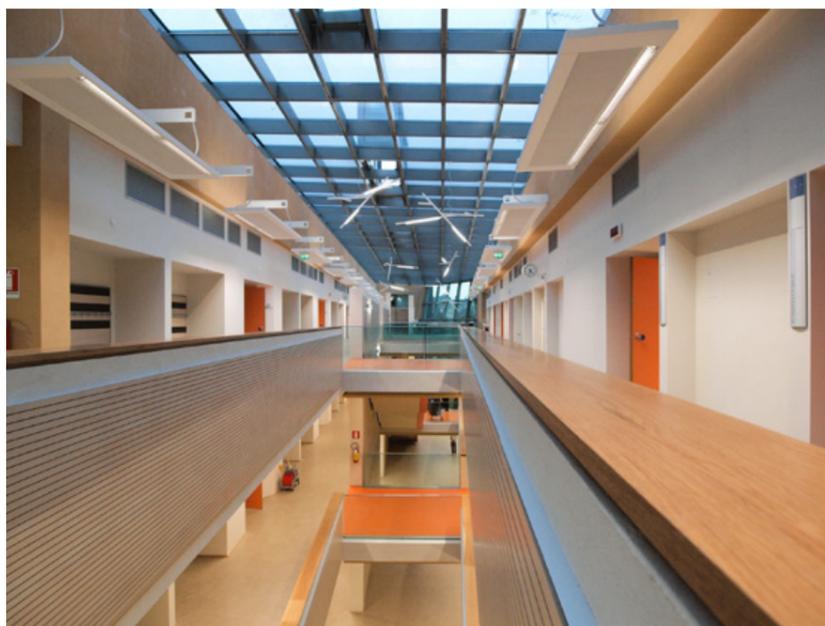


Figura 2.17 - Foto esteriore Scuola Media 'L. Orsini'



Questa scuola, che pure, per il periodo in cui è stata costruita e completata, è un progetto pionieristico in termini di basso consumo energetico richiesto per il suo funzionamento (37,5 kWh/m²/anno), raggiungendo livelli addirittura inferiori a quelli dei progetti attualmente considerati NZEB. Va notato che i materiali utilizzati per l'isolamento sono naturali e sostenibili, come il sughero e la fibra di legno, che per il caso delle strutture opache verticali e della copertura riesce a raggiungere i valori basi degli edifici NZEB attualmente.

Interessante è anche il design della sua facciata, che coincide con l'attuale tendenza all'utilizzo di lamelle regolabili meccanicamente, in quanto questo sistema permette non solo di adattarsi alle varie situazioni di luce e ombra prodotte dal movimento del sole e dalla sua angolazione, ma consente anche agli utenti di poter adattare l'orientamento di questo sistema per il loro comfort.

Figura 2.18: Sistema schermante Scuola "L. Orsini"

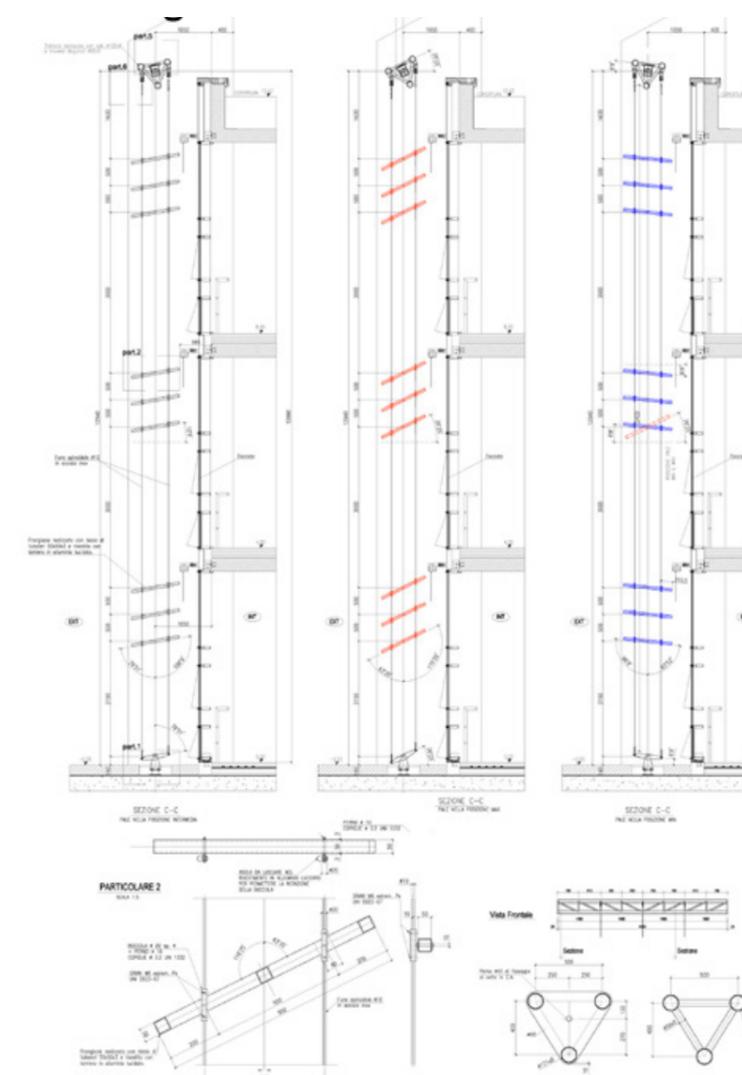


Figura 2.14 a 2.18. Fonte: Chiesa, Giacomo & Grosso, Mario. (2015). Sustainable school buildings.

Energy-Plus Primary School Hohen Neuendorf

Anno	2011
Localizzazione	Hohen Neuendorf, Germany
Architetti/ Ingegneri	Ingo Lütkemeyer, Jens Krause
Superficie lorda	6.553 m ⁰
Capienza	540 studenti

Figura 2.19: Foto generale - Progetto Plus Energy School Hohen Neuendorf



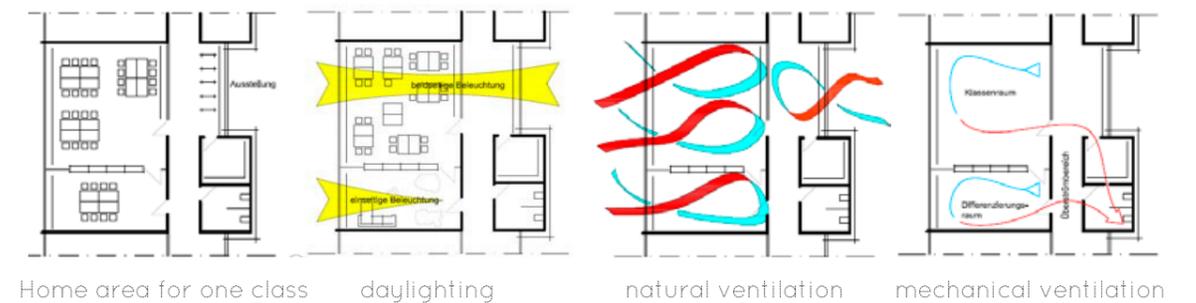
La scuola primaria in Hohen Neuendorf è il primo edificio scolastico in Germania che produce più energia di quella che richiede per funzionare (tenendo conto che il progetto data da 2011).

Questo progetto produce addirittura 0,5 kWh/m²/anno in più. Ciò può essere dovuto al suo carattere innovativo, sia dal punto di vista architettonico che impiantistico. A livello architettonico la progettazione si basa su uno spazio didattico multifunzionale in combinazione con un'aula didattica più piccola, uno spazio di circolazione estesa, un armadio e un'unità sanitaria per ogni classe. Il concetto tecnico di ventilazione, luce e illuminazione si basa su questo schema di distribuzione spaziale (figura 2.20).

Grazie alla combinazione di questi sistemi, è possibile garantire una ventilazione naturale e controllata. I vantaggi di entrambi i tipi di ventilazione creano un buon equilibrio tra comfort termico, qualità dell'aria ed efficienza energetica. La ventilazione dell'aula è ottenuta principalmente con una rapida ventilazione naturale durante le pause, utilizzando le finestre di sfiatione a tutta altezza controllate da un motore. Solo con questo tipo di ventilazione i livelli di CO₂ aumentano rapidamente durante le lezioni. Per

Figura 2.19. Schema di distribuzione, ventilazione e illuminazione - Progetto Plus Energy School Hohen . Fonte: Batteiger, Stephan. 2022. "Energy-plus School, Hohen Neuendorf - LEGEP Software." Legep.de. 2022. <https://lekep.de/projekte/grundschule-niederheide-hohen-neuendorf/?lang=en>.

Figura 2.20: Schema di distribuzione, ventilazione e illuminazione - Progetto Plus Energy School Hohen



questo motivo viene abbinata a una piccola quantità di ventilazione meccanica per smorzare queste grandezze.

Il buon comfort termico in estate è ottenuto grazie al reffrescamento passivo notturno attraverso le finestre di ventilazione controllate dal motore che raffreddano le grandi superfici di accumulo termico (figura 2.21 e 2.22).

Inoltre, per garantire un'efficiente ombreggiatura, e allo stesso tempo l'illuminazione naturale e guadagni di energia solare

Figura 2.21: Finestre per ventilazione naturale

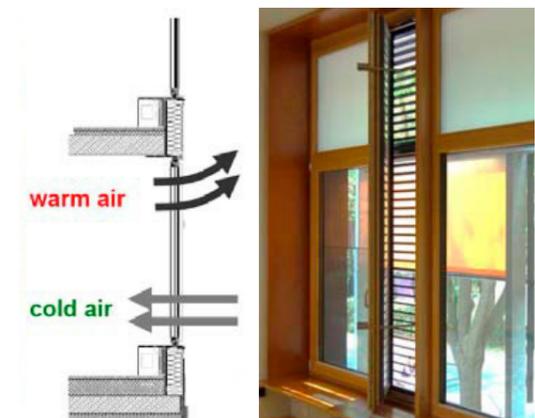
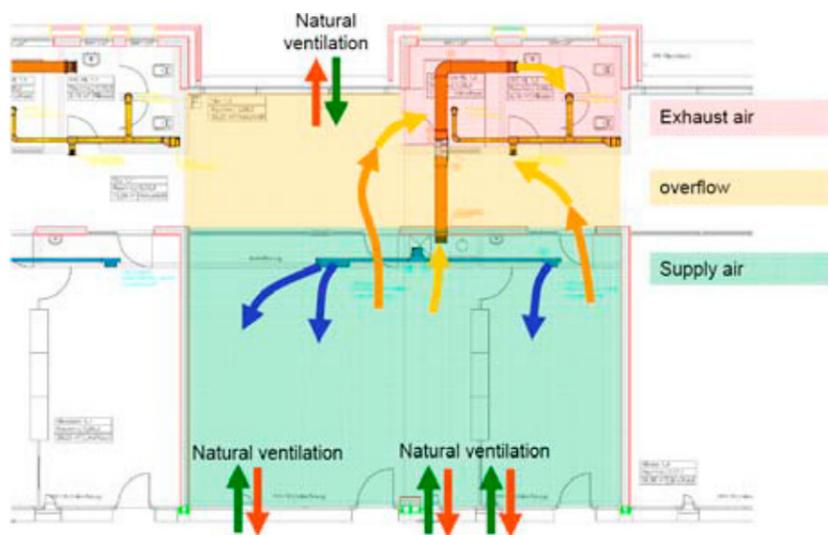


Figura 2.20, 2.21, 2.22 e 2.23.. Fonte: Lütkemeyer, Ingo, Ing Architekt Bda, and Jens Krause. n.d. "Energy-plus Primary School, Hohen Neuendorf, Germany." Accessed September 3, 2022. <https://ibus-architekten.de/Aktuelles/GSHN-SBC-helsinki-paper-06a.pdf>. Pag. 3.

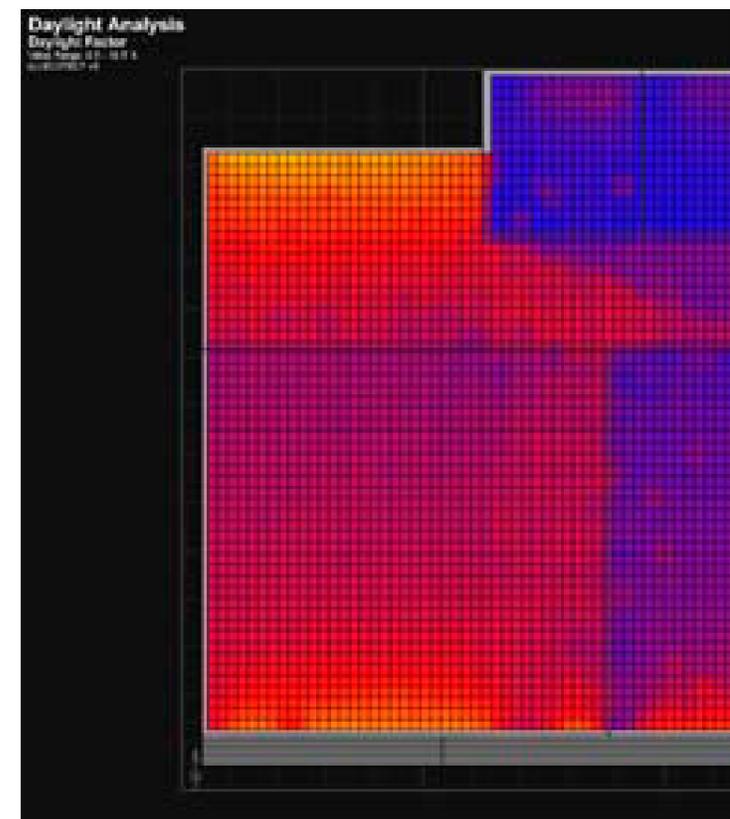
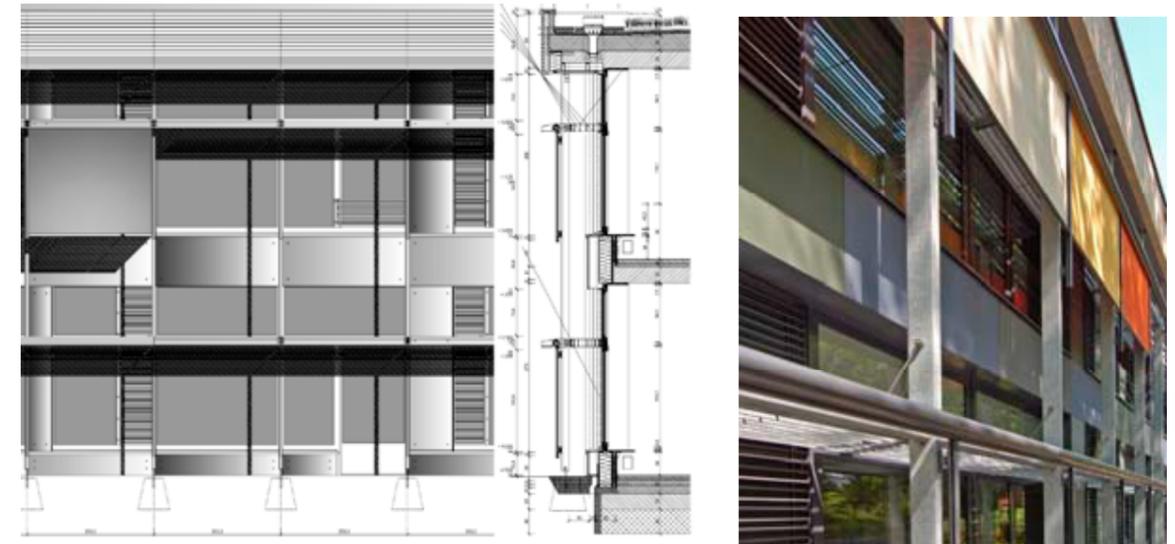
Figura 2.22: Ventilazione ibrida



passiva, le facciate delle aule, orientate a sud, sono state studiate nei minimi dettagli. Le tende esterne fisse proteggono le finestre dalla radiazione solare incidente in estate, mentre le tende verticali in tessuto consentono un controllo solare efficiente in base alle esigenze dell'utente.

In questo progetto è stato utilizzato il calcestruzzo come accumulatore termico per cui non è stato rivestito, e la maggior parte di tutte le superfici delle pareti disponibili è coperta da assorbitori acustici a banda larga altamente efficienti per garantire la qualità acustica.

Figura 2.23: Facciate sud e sistema di ombreggiamento



3

ANALISI DELLE TECNOLOGIE E MATERIALI DI FACCIATA E COPERTURA

3.1.

IMPORTANZA DEL SISTEMA DE FACCIATA E COPERTURA SUL RENDIMENTO ENERGETICO DELL'EDIFICIO

Per capire perché è importante studiare e riflettere sulla facciata di un edificio, forse dobbiamo risalire alle origini dell'architettura, alla recentemente tanto rinomata <<architettura vernacolare>>, dove l'orientamento, l'esposizione, l'ombreggiamento diretto o indiretto venivano studiati in relazione al contesto. Oggi, per ottenere spazi confortevoli per i futuri utenti, è essenziale definire le funzioni dell'edificio, le ore di utilizzo, le esigenze di comfort interno, la vista esterna, le condizioni climatiche, l'orientamento, l'angolo del sole, la direzione del vento, le risorse naturali e la loro disponibilità, tra gli altri, vale a dire, che sono fattori che caratterizzano l'architettura vernacolare. Questi elementi sono quantificabili e misurabili e possono essere tradotti in parametri di progettazione. Nel seguito, approfondiremo l'importanza dell'involucro dell'edificio e daremo una linea guida delle possibili alternative da utilizzare a seconda dei fattori qui menzionati.

Nel campo dell'architettura, la facciata gioca un ruolo importante nella sua forma e nella sua estetica, poiché è il primo approccio visivo delle persone e gli utenti quando si avvicinano a un edificio. Un'altra caratteristica importante è come fonte di luce e garantisce anche la possibilità di ventilazione naturale per gli spazi interni che il progetto ospiterà.

La sua progettazione richiede una certa abilità tecnica per trovare i materiali, le tecniche di costruzione e le tecnologie da utilizzare che si adattino adeguatamente all'edificio e al contesto in cui è situato. Tuttavia, è noto che la facciata è anche la separazione tra gli spazi interni condizionati e lo spazio esterno non condizionato.

Inoltre, e soprattutto in contesti dove ci sono cambiamenti stagionali di temperatura, la facciata di solito contiene l'isolamento termico <<questa precisazione è fatta perché alcune parti dell'America Latina come la Colombia, un paese situato sull'equatore, e in particolare Bogotá, la sua capitale, ha un clima temperato subtropicale di montagna con una temperatura media di 14 ° C, dove non ci sono grandi sbalzi di temperatura durante l'anno, motivo per cui non è necessario negli edifici residenziali in particolare, lo strato di isolamento termico, né è comune utilizzare sistemi di raffreddamento o riscaldamento (questa situazione è diversa negli edifici commerciali o educativi a causa del numero di persone in questi edifici)>>. Gli diversi strati che si usano nella

facciata compongono la cosiddetta stratigrafia di facciata, cioè una parete composta da più strati, con l'obiettivo di garantire una risposta adeguata alle diverse condizioni climatiche locali; motivo per cui è importante prestare attenzione alla sua progettazione, in quanto un'adeguata prestazione termica può avere un effetto positivo sul risparmio energetico.

Una delle principali condizioni che l'involucro deve soddisfare per garantire un funzionamento corretto è tramite i serramenti, a modo di assicurare la tenuta d'aria, questo vuol dire che si devono impedire le perdite d'aria verso l'interno o verso l'esterno, proteggendo così la temperatura degli spazi interni dalle correnti d'aria.

La seconda condizione della facciata è quella di ottenere il massimo sfruttamento del sole nella fase invernale, tuttavia, qui sorge una questione importante da affrontare che è il surriscaldamento, soprattutto in quelle zone con un clima tendenzialmente caldo in estate il che viene preso in considerazione per questa tesi.

Le condizioni che possono influenzare l'efficacia delle prestazioni della facciata sono: il modo in cui vengono utilizzati gli spazi interni, poiché ovviamente il numero di persone in uno spazio può aumentare o diminuire l'indice di calore, la ventilazione trasversale, la tipologia dell'edificio e l'orientamento.

Come abbiamo già accennato nella fase iniziale di questa tesi, il cambiamento climatico è una questione di urgenza globale, che è anche una delle ragioni per cui negli ultimi decenni sono stati fatti sempre più sforzi e anche studi e ricerche per trovare soluzioni adeguate alla progettazione delle facciate di edifici nuovi ed esistenti, dimostrando i benefici energetici di una progettazione ottimale.

Questi sforzi per migliorare l'efficienza energetica attraverso le facciate si riflettono nell'imposizione di regolamenti e standard menzionati sopra, che a loro volta possono essere visti nelle cifre del consumo energetico annuale per gli edifici residenziali (180 kWh/m²anno) e non residenziali (che possono raggiungere i 300 kWh/m²anno) (capitolo 2).

Altre cifre che riflettono questi miglioramenti possono essere viste nella domanda di energia per il riscaldamento che è scesa al 67% nel 2016 rispetto al 69% del 2005 e al 72% del 1990²³. Parte di questo miglioramento è attribuito all'aumento delle prestazioni dell'involucro di facciata, poiché l'adozione di soluzioni tecnologiche e di strati isolanti più appropriati contribuisce a ridurre la domanda di energia per il riscaldamento.

23) Gaspari, Jacopo. Climate Responsive Building Envelopes from Façade Shading Systems to Adaptive Shells. Milano: Angeli, 2020. Print. Ricerche Di Tecnologia Dell'architettura 1330.115.

Per quanto riguarda la selezione dei materiali nel processo di progettazione delle facciate, ci sono altri fattori da prendere in considerazione. Uno di questi è quello di valutare la reazione e le variazioni termiche che ogni materiale che compone la stratigrafia può subire, in questo modo si può prevenire la condensazione e le patologie correlate.

Le conseguenze di queste patologie sono legate alla qualità dell'aria interna e possono influenzare la salute dei futuri utenti, che in alcuni casi, può portare a malattie e disagi fisici e persino mentali.

Un design ottimale della facciata dovrebbe anche essere in grado di prendere in considerazione le variazioni climatiche giornaliere e stagionali, in modo che la facciata abbia la capacità di adattarsi alle condizioni esterne e fornire comfort interno.

Secondo Gaspari²³, un edificio che raggiunge un alto rendimento energetico durante l'estate dipende da:

- La capacità di rimuovere, almeno in parte, l'entrata di fonti di calore.
- L'uso della ventilazione notturna
- La capacità di raffreddare direttamente una parte della massa dell'edificio
- Aria di ventilazione preraffreddata
- Fornire una protezione efficace dal sole per mezzo di elementi ombreggianti all'esterno della facciata, il che è particolarmente importante quando la facciata contiene un'alta percentuale di vetro e può quindi ricevere grandi quantità di calore. Le facciate che generalmente contengono un'alta percentuale di vetro si trovano nei progetti del nord Europa, a causa del bisogno di luce naturale dove l'estate non è così lunga come nei paesi del sud.

È anche importante considerare che gli edifici altamente isolati non hanno buone prestazioni in estate, poiché il calore tende a rimanere intrappolato all'interno della struttura e non riesce a dissiparsi attraverso la "pelle" dell'edificio. Questo fenomeno si verifica quando la temperatura esterna è inferiore a quella interna, situazione poco comune in Europa meridionale o centrale, dovuto a che le condizioni climatiche sono moderate con rispetto ai climi caldi.

Tuttavia, esiste anche la premessa del "più isolamento c'è, meglio è"²⁴, poiché da diversi punti di vista l'isolamento termico dell'involucro edilizio crea tanti benefici. In primo luogo, fa risparmiare denaro e, in secondo luogo, aumenta il comfort termico sia in inverno che in estate: secondo la legge dei "rendimenti decrescenti" spiegata da Lechner, ogni volta che si

24) Lechner, Norbert. Heating, Cooling, Lighting. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated, 2014. Web.

raddoppia la quantità di isolamento, la perdita di calore si dimezza, e con questo è possibile utilizzare un sistema di riscaldamento e raffreddamento più piccolo e meno costoso. Altri aspetti da considerare nella scelta dell'isolante sono la resistenza all'umidità e al fuoco, i fumi non tossici, la stabilità e la resistenza fisica nel tempo.

3.2. COMFORT INTERNO E CARATTERISTICHE DELL'INVOLUCRO

L'ambiente interno di un edificio è di vitale importanza, come abbiamo già menzionato in precedenza in questa tesi, soprattutto nelle scuole, poiché la ricerca ha dimostrato che lo spazio in cui si svolgono le attività di insegnamento può influenzare non solo la salute degli studenti ma anche la loro capacità di concentrazione. Per ottenere spazi internamente piacevoli, ci sono un certo numero di variabili da affrontare, per esempio, le condizioni di illuminazione naturale e artificiale, il comfort termico, l'acustica e anche l'estetica e la materialità dello spazio. Sappiamo quanto sia importante lo spazio in cui si svolgono le proprie attività quotidiane in una temperatura che possa essere piacevole e mediamente costante (vedere capitolo 2), e sappiamo anche che se viene affrontato correttamente ha un'implicazione diretta sul campo energetico e sul suo potenziale risparmio.

E non è una novità affermare che in materia di comfort termico interno uno dei principali fattori che agiscono direttamente su di esso è l'involucro della facciata. Se è progettato correttamente, la temperatura interna sarà confortevole. Ed è a questo punto che sorge l'importanza di valutare la quantità di radiazioni che si prevede passino attraverso la facciata, per la quale l'uso di sistemi di schermature, l'orientamento, la tecnica di costruzione e il tipo di materiale sono fattori chiave, poiché la temperatura sarà gestita dalla conduzione attraverso le pareti e il tetto, sebbene ci siano anche guadagni di calore prodotti dalle attività interne, come il calore umano, le attrezzature, i sistemi di illuminazione e di condizionamento dell'aria, ecc.

La conduzione del calore avviene dal lato caldo al lato freddo di un materiale, il che significa che in un edificio avviene dalla parte dell'edificio esposta alla temperatura più alta alla parte con una temperatura più bassa.

Una facciata rivolta a sud o a sud-est, dominata dal vetro, avrà molto più guadagno di calore delle facciate rivolte verso gli altri

punti cardinali.

Quando si tratta di comfort interno, l'umidità relativa è un problema che deve essere affrontato. In molti degli edifici non ristrutturati, l'involucro dell'edificio è in costante scambio di calore e vapore acqueo all'esterno a causa di infiltrazioni, che successivamente porteranno all'umidità all'interno che può portare a funghi e potenzialmente innescare problemi di salute per quelli che usano lo spazio.

In alcuni esempi di edifici ristrutturati questo è stato risolto assicurando la tenuta d'aria e/o controllando il ricambio d'aria con l'aiuto di sistemi meccanici.

Infine, altri fattori importanti per garantire un comfort interno ottimale sono legati all'ingresso della luce naturale negli spazi e al comfort visivo, cioè la vista dall'interno verso l'esterno (Capitolo 2).

3.3. SUPERFICI OPACHE E VETRATE

La conduttività termica dei componenti della facciata, generalmente espressa in λ (W/mK) rappresenta la capacità dell'involucro della facciata di ridurre i guadagni di calore, nonché dallo strato di isolamento termico che influenza la trasmittanza termica totale.

Come sappiamo, la temperatura è una condizione dinamica che non si riflette solo nelle stagioni ma anche nelle variazioni di temperatura giornaliera. Un esempio di ciò sono le variazioni di temperatura nel periodo estivo, poiché le temperature più intense hanno luogo in tarda mattinata, verso mezzogiorno e durante le prime ore della sera quando si verificano i maggiori guadagni di calore.

Pertanto, la facciata deve essere preparata ad adattarsi ai nuovi e diversi stati durante il giorno.

Come possiamo vedere nella figura 3.0 il flusso di calore su una sezione del muro o del tetto proveniente dall'esterno impiega un periodo di tempo (tempo di ritardo) per raggiungere l'altro lato del muro. La diminuzione derivata dall'intensità del calore si chiama fattore di decadimento.

In generale, una parete leggera richiederà meno tempo per

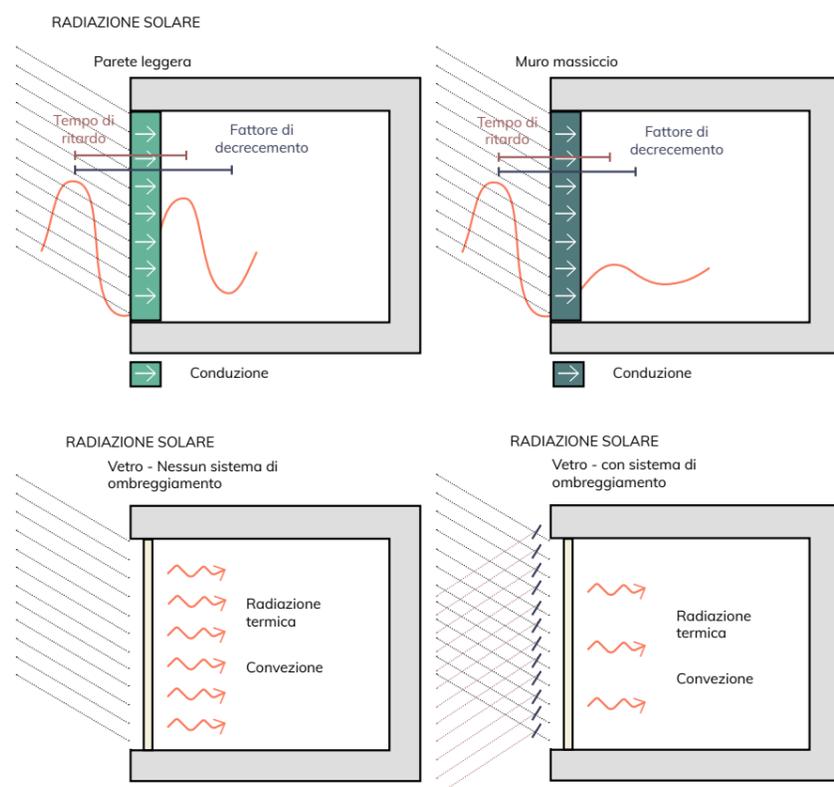
trasmettere la temperatura esterna all'interno, mentre una parete solida impiegherà più tempo per trasmetterla, il che costringerebbe il calore a fluire nella direzione opposta contribuendo alla riduzione del calore all'interno degli spazi interni e incidendo in modo positivo per mantenere lo spazio in un'adeguata condizione di comfort²⁵.

Un'altra ragione per cui l'involucro della facciata può aiutare a ridurre l'uso di sistemi di raffreddamento meccanico e assicurare una condizione interna confortevole è attraverso strategie di progettazione passiva come l'uso della massa dell'involucro della facciata come un accumulo di calore, in climi estremi, in particolare, è molto conveniente poiché significa un ritardo nella domanda di raffreddamento.

Inoltre, grazie al fenomeno della radiazione termica (che comporta il trasporto di energia per mezzo di onde elettromagnetiche), le superfici di vetro partecipano anche alla trasmissione del calore.

In questo caso, il flusso di calore è condizionato dall'indice di emittenza e di assorbimento dei materiali di ricezione e di emissione.

Figura 3.0: Flusso di calore su una sezione di muro proveniente dall'esterno



25) Gaspari, 2018.

Le superfici vetrate trasmettono parzialmente il calore all'interno delle stanze per mezzo della radiazione solare, ed è per questo che il sistema di ombreggiamento dell'edificio si trova all'esterno, evitando così che la radiazione colpisca direttamente il vetro. Quando gli elementi di ombreggiamento sono utilizzati all'interno degli spazi, la loro incidenza è più simile a un mediatore per controllare il passaggio della luce, ma non influisce sul trasferimento di calore.

Ci sono molti esempi di sistemi di schermature che vengono utilizzati non solo in elementi in vetro ma anche sulle superfici non trasparenti con lo stesso obiettivo precedentemente spiegato.

Negli ultimi decenni sono state sviluppate finestre con doppi e tripli vetri ad alte prestazioni con rivestimento delle superfici dei pannelli con materiali a bassa emissione o rivestimenti solari selettivi che hanno migliorato il controllo del trasferimento di calore attraverso elementi trasparenti.

Attualmente l'adozione di soluzioni passive sta diventando sempre più una strategia per un bilancio termico e a sua volta al fine di ridurre la domanda di energia dell'edificio, in modo tale da garantire la tenuta dell'aria attraverso il sistema di finestre che impedisce la perdita di calore dall'interno verso l'esterno, tuttavia, particolare attenzione dovrebbe essere data nelle diverse stagioni climatiche poiché in estate l'impatto della radiazione solare sulle superfici trasparenti può provocare il surriscaldamento.

Con l'obiettivo di assicurare comfort in edifici con vetrate da pavimento a soffitto (circa 3m di altezza), finestre Passiv Haus certificate devono raggiungere un valore U (U-value) totale per tutta la finestra di $\leq 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ se si vuole omettere i radiatori sotto le finestre.

3.4. FACCIATE A DOPPIA PELLE E FACCIATE VENTILATE E SISTEMI SCHERMATURE

Figura 3.0: Flusso di calore su una sezione di muro proveniente dall'esterno.
Fonte: Elaborazione dell'autore basato su: Gaspari, Jacopo. Climate Responsive Building Envelopes from Façade Shading Systems to Adaptive Shells. Milano: Angeli, 2020. Print. Ricerche Di Tecnologia Dell'architettura 1330.115. economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi

Oltre alla soluzione mediante sistemi di ombreggiamento, è possibile utilizzare alcune altre opzioni, come intrappolare l'aria attraverso pareti cave o l'aria può diventare parte attiva di un sistema di pareti trombe.

Per includere l'aria all'interno del parametro di progettazione, un'altra considerazione diventa importante, cioè la velocità

dell'aria che influenzerà direttamente il comportamento delle facciate a doppia pelle o delle facciate ventilate. In questi casi, l'obiettivo è quello di utilizzare l'aria per estrarre alcuni dei guadagni di calore assorbiti dalla facciata, simile all'effetto Venturi, in una cabina dedicata dove scorre l'aria.

Quando il calore viene trasmesso da un fluido, in questo caso l'aria, si chiama convezione e dipende da diversi elementi come la posizione (orizzontale o verticale) della superficie, l'orientamento, ma soprattutto dipende dalla velocità dell'aria. Quando la velocità è data da un vento esterno si chiama convezione forzata, mentre, quando non c'è vento, la convezione è prodotta dalla differenza di temperatura o densità all'interno della cavità e si chiama convezione libera. Il risultato è che un flusso verso l'alto di aria calda viene sostituito da aria fredda che entra dal basso.

Negli edifici ad alte prestazioni, le facciate sono solitamente composte da componenti in vetro ricoperti di protezione termica e doppi vetri con bassi valori U tra 1,0 e 1,7 W / m²K

Studi scientifici dall'Università di Scienze Applicate di Stoccarda²⁴ condotti sui modelli di facciata dinamica hanno dimostrato che i guadagni di calore dall'irraggiamento solare trasmessi direttamente attraverso la facciata o indirettamente come flusso di calore secondario dall'irradiazione assorbita possono essere ridotti mediante l'uso di dispositivi di ombreggiamento.

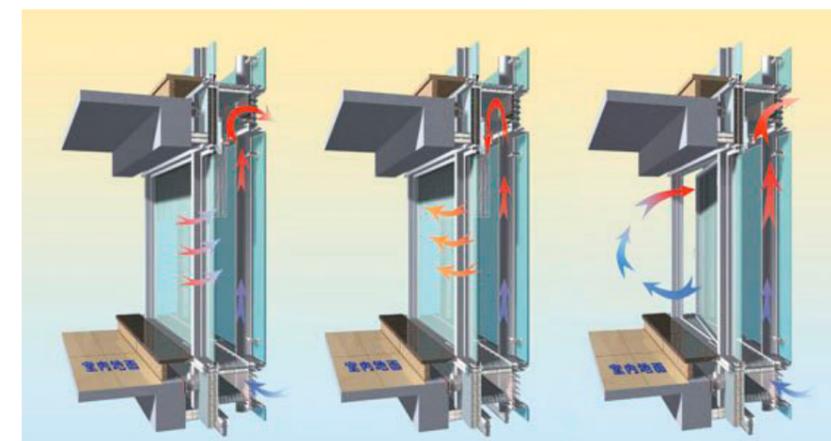
Il sistema di ombreggiamento può ridurre la trasmissione di energia solare per irraggiamento in un intervallo compreso tra il 55% e il 90% a seconda ovviamente della sua forma, materialità, colore e posizione.

Tre sono le tipologie principali che raggiungono un adeguato comfort termico: facciata con ventilazione meccanica dell'aria esausta, doppia facciata ventilata naturalmente e facciata con ventilazione meccanica dell'aria erogata.

Rispetto ai sistemi di ombreggiamento convenzionali, la facciata a doppia pelle offre un modo più efficiente per controllare la domanda di raffreddamento, ma ha effetti limitati sulla domanda di riscaldamento, mentre la facciata impoverita dall'aria riduce la domanda di riscaldamento, ma non la domanda di raffreddamento.

La facciata a doppia pelle porta grandi benefici per il comfort interno perché la ventilazione naturale contribuisce a creare un ambiente piacevole mediante l'effetto stack (figura 3.1). Tuttavia,

Figura 3.1: Facciata a doppia pelle



ha risultati limitati per quanto riguarda la domanda di riscaldamento.

La risposta alla domanda su come evitare il surriscaldamento è di solito implementando un sistema di ombreggiamento lungo la facciata, come menzionato precedentemente.

Le tende o le lamelle possono essere posizionate nella cavità interna o esterna e orizzontalmente o verticalmente per intercettare la radiazione solare.

La funzionalità regolabile degli elementi delle facciate a doppia pelle, pur consumando energia elettrica, è necessaria per controllare e garantire che la strategia progettuale sia efficace.

Gli studi hanno dimostrato²⁶ che la facciata a doppia pelle può ridurre i carichi freddi di circa il 7-15% e quando la protezione solare è integrata l'energia di raffreddamento può essere compresa tra il 13-14% a seconda del colore e della posizione.

È difficile stabilire parametri di progettazione per gli elementi di ombreggiatura da utilizzare nell'edificio, poiché attualmente non ci sono parametri concreti su cui sia possibile basare la scelta della soluzione più appropriata. Tuttavia, Gaspari propone nella figura 3.2 una classificazione delle possibili soluzioni che possono essere utilizzate per scegliere il sistema di facciata.

Pertanto, è considerato di vitale importanza e al primo livello, la posizione del sistema di ombreggiatura che ai fini di questa tesi considereremo sistemi di facciata situati sul lato esterno della facciata. La seconda classificazione è legata alla definizione geometrica del sistema inteso come relazione geometrica rispetto alla facciata, secondo questa Gaspari elenca alcune tipologie di facciata spiegate nel grafico.

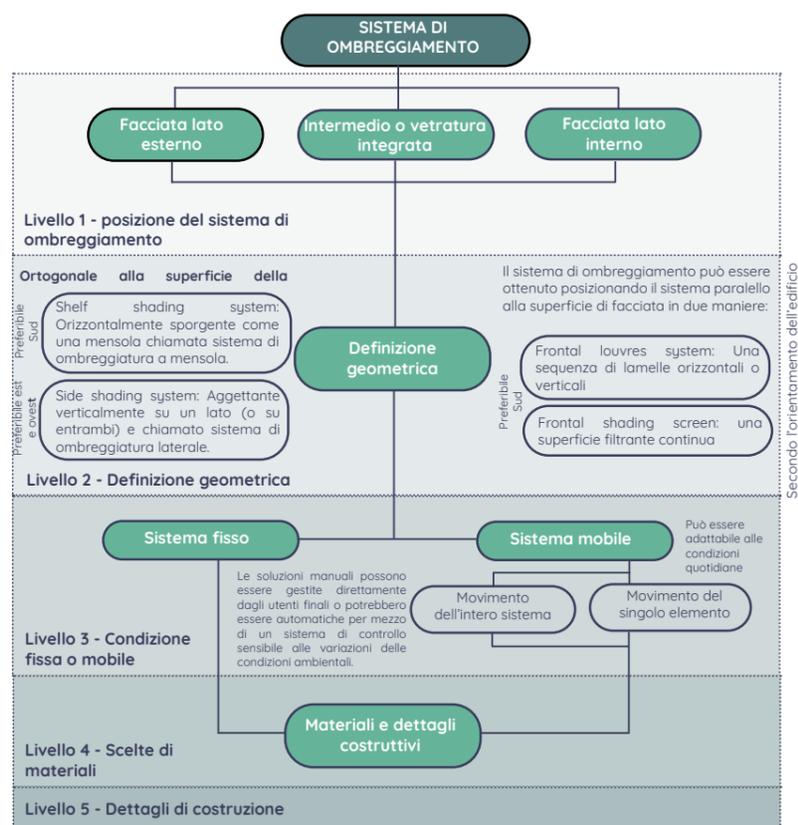
Si è deciso di sostenere gran parte di questo capitolo nello studio

Figura 3.1: Facciata a doppia pelle. Fonte: "Involucri Efficienti: Le Facciate a Doppia Pelle - DSF (Double Skin Facades)." 2013. Prefabbricati Sul Web. 2013. <http://www.prefabbricatisulweb.it/guida/involucri-efficienti-le-facciate-a-doppia-pelle-dsf-double-skin-facades.html>.

²⁶ Gaspari, 2020

di questo autore, poiché fornisce un'idea di possibili soluzioni da utilizzare su cui successivamente si baserà l'edificio in studio. Alcune delle tipologie classificate possono essere viste nelle seguenti immagini.

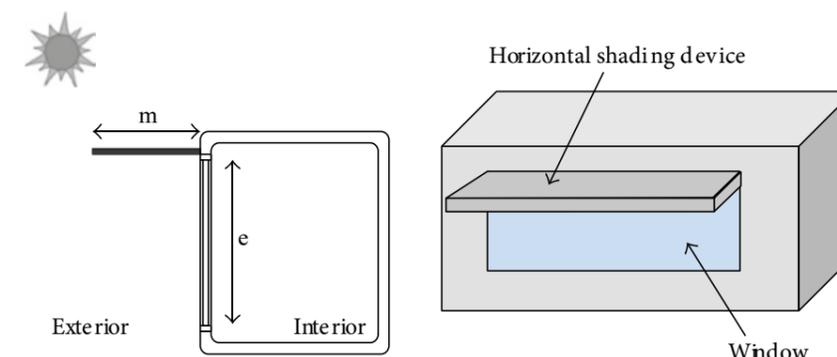
Figura 3.2: Classificazione dei sistemi di schermature



- Tipo *shelf shading system* possiamo vedere nelle immagini (figura 3.3) l'uso dell'elemento orizzontale come sistema di ombreggiatura, essendo un elemento abbastanza comune che fornisce ombra sia a una singola finestra che a una grande facciata in vetro, questo può risaltare come parte della struttura o può essere un elemento adiacente installato sulla facciata e inoltre, può essere un elemento solido, con strisce orizzontali o membrana. È importante ricordare che questo sistema può generare ponti termici ed è per questo che la continuità strutturale viene solitamente evitata. D'altra parte, aggiungendo peso alla struttura per questo caso, sono preferibili materiali più leggeri come doghe metalliche o di legno, lamiera perforate o membrane tessili. Questo sistema generalmente si utilizza nell'orientamento sud, est e ovest, ma principalmente nell'orientamento sud.

Figura 3.2: Classificazione dei sistemi di schermature.
Fonte: Elaborazione dall'autore basato su Gaspari, 2020

Figura 3.3: Shelf shading system - Schermatura orizzontale



Per dimensionare il sistema di ombreggiatura sono necessarie alcune informazioni come la latitudine del luogo e il numero di giorni in cui si presume che la facciata sarà ombreggiata.

- Tipo *side shading system* come nella immagine (figura 3.4) questo sistema viene utilizzato in modo simile al sistema a scaffale, in quanto l'idea è quella di sfruttare l'effetto dell'ombra quando si tratta del sole proveniente dall'orientamento est o ovest. Consiste in un elemento verticale che emerge dalla superficie della facciata. Questo elemento può essere ruotato a varie angolazioni con l'intenzione di adattarsi all'effetto ombra desiderato e può essere un sistema fisso o mobile. Possono essere utilizzati diversi materiali, come lastre di metallo o pietra. Quando lo spazio tra gli elementi verticali diventa più piccolo, tende a sovrapporsi alla tipologia di lamelle (frontal shading louvres) o screen (frontal shading screen). Come per la tipologia precedente, un aspetto di maggiore preoccupazione è il sistema di installazione alla facciata

Figura 3.3: Shelf shading system - Schermatura orizzontale. Fonte: Kim, Seok-Hyun, Kyung-Ju Shin, Hyo-Jun Kim, and Young-Hum Cho. 2017. "A Study on the Effectiveness of the Horizontal Shading Device Installation for Passive Control of Buildings in South Korea." International Journal of Polymer Science 2017: 1-11. <https://doi.org/10.1155/2017/3025092>.

Figura 3.4: Side shading system - Schermatura verticale. Fonte: "Shading Devices - 2030 Palette." 2022. 2030palette.org. 2022. <http://2030palette.org/shading-devices/>.

Figura 3.4: Side shading system - Schermatura verticale



per motivi di ponti termici (frontal shading louvres) o screen (frontal shading screen).

Allo stesso modo, essendo così tanti elementi installati ripetutamente, è insolito che il sistema sia manuale ma tende ad essere adottato quando il sistema può essere fissato a una posizione periodica, ad esempio, dalle stazioni, tuttavia, è più comune trovare il sistema automatico poiché consente una regolazione giornaliera del sistema.

- Tipo *frontal shading system*, vedere immagini (figura 3.5) conosciuto anche come *brise-soleil*, è costituito da due tipologie, quelle orientate verticalmente o quelle orizzontale. Solitamente quando l'orientamento è est o ovest, come nel caso precedente è consigliabile installare il sistema verticalmente mentre nel caso dell'orientamento sud a causa degli effetti della radiazione solare che penetra negli spazi quando il suo orientamento è verticale impattando direttamente sul vetro sono abbastanza inefficienti, ecco perché la disposizione orizzontale è più utilizzata nell'orientamento a sud.

Nella composizione architettonica della facciata, questi elementi tendono a nascondere le finestre che di solito appaiono visibili una volta aperto il sistema, quindi in generale è un sistema operabile.

Nel caso delle persiane verticali, la rotazione è il sistema mobile più frequente perché permette di regolare il singolo elemento (in modo tale che lo spazio tra ciascuno sia lo spessore dell'elemento e una volta ruotato occupi lo stesso spazio) o l'insieme di elementi (per mezzo di

Figura 3.5: Frontal shading system - Schermatura verticale/orizzontale



Figura 3.5: Side shading system - Schermatura verticale/orizzontale. Fonte: "Schermature Solari Orizzontali E Verticali - Tende - Schermature Solari." 2022. Rifaidate.it. 2022. <https://www.rifaidate.it/arredamento/tende/schermature-solari-orizzontali-e-verticali.asp>.

una cerniera che permette la sua rotazione a 90° o a vari angoli). Inoltre, è possibile un movimento di transizione, che è un movimento parallelo alla facciata che si muove su una guida comune.

Alternative simili esistono anche quando le strutture scorrevoli sono costituite da griglie orizzontali. Un'altra considerazione è la definizione dell'angolo d'inclinazione nel caso delle lamelle orizzontali, questo angolo può essere determinato nel processo di progettazione, esso può essere fisso o variabile, il che porterebbe ad un sistema di lamelle mobili.

I materiali generalmente utilizzati sono: legno, profili metallici ad anima piena o vuota, estrusioni di ceramica o forse altri materiali a seconda del loro peso, dimensione e geometria.

- Tipo *frontal shading screen* vedere immagini (figura 3.6) questa soluzione si riferisce a quelli che sono uno strato parallelo alla superficie del vetro con l'intenzione di generare un filtro solare, può essere utilizzato individualmente su ogni finestra o può essere applicato a tutta la facciata. Inoltre, può essere un elemento rigido come una lamiera perforata, una piastra metallica stampata o può essere un tessuto che si estende dalla parte superiore della facciata.

Figura 3.6: Frontal shading screen - Schermatura verticale

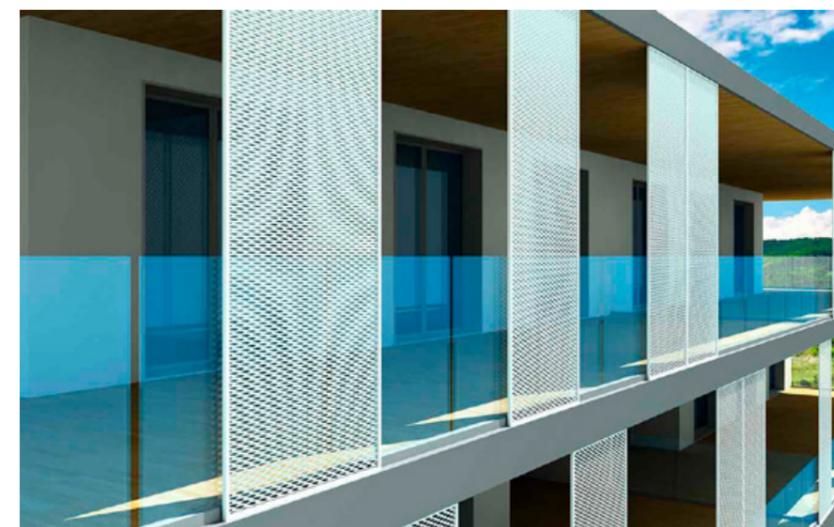


Figura 3.6: Frontal shading screen - Schermatura verticale. Fonte: BT-GRP-IT-01. 2022. "Frangisole in Alluminio: Schermature Solari Efficienti E Vantaggiose." BT Group. BT Group. January 20, 2022. <https://btgroup.it/frangisole-in-alluminio/>.

La sua capacità di generare ombra e allo stesso tempo trasparenza visiva è legata alla capacità del filtro che si valuta generalmente per mezzo del suo fattore di

apertura, cioè il raggio tra la sua superficie opaca e trasparente. Questo valore si esprime in percentuale, indicando la quantità di luce che passa attraverso il filtro, quindi, maggiore è la percentuale, maggiore è la sua capacità di abbagliare e la capacità di visione.

Un'alternativa architettonica può essere quella di alternare il sistema con schermi dello stesso materiale con diversi fattori di apertura.

Il potenziale di generare ombra è valutato dall'angolo di incidenza solare sulla superficie dello schermo che influenza la trasmittanza del sole e della luce, quindi, la riflettanza deve essere considerata anche quando si desidera includere questa soluzione in un progetto.

Questi elementi possono essere anche mobili, possono essere pannelli che ruotano sul loro asse verticale passando dall'essere pannelli paralleli alla facciata a perpendicolari e in questo caso essendo simili alla tipologia di ombreggiatura laterale, per ovvi motivi questi devono essere pannelli rigidi che non sono facilmente deformabili.

Un'altra opzione di movimento è che i pannelli sono pieghevoli permettendo loro di essere raccolti o espansi a seconda delle necessità, questa soluzione è molto utile nell'orientamento sud, poiché oltre a sfruttare la protezione solare fornita con lo schermo è possibile sfruttare l'effetto ombra generato dalla piega (figura 3.7).

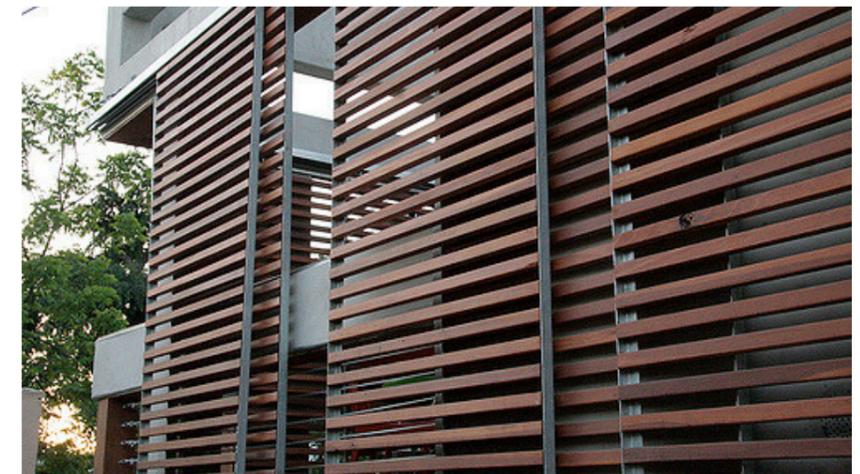
Infine, è anche possibile avere un insieme di pannelli che si muovono su una guida (figura 3.8). È importante menzionare che quando questi sistemi sono azionati manualmente, la loro

Figura 3.7: Pannelli pieghevoli



Figura 3.7: Pannelli pieghevoli
Fonte: "Renson Cilium - Motorised Wooden Folding Shutters and Lattices." 2020. Roselló. December 15, 2020. <https://rosellosolar.com/en/productos/wooden-folding-lattice/>.

Figura 3.8: Pannelli mobili su guida



efficacia può variare a seconda delle regolazioni che gli utenti possono apportare.

Figura 3.9: Classificazione dei sistemi di schermature rappresentato graficamente

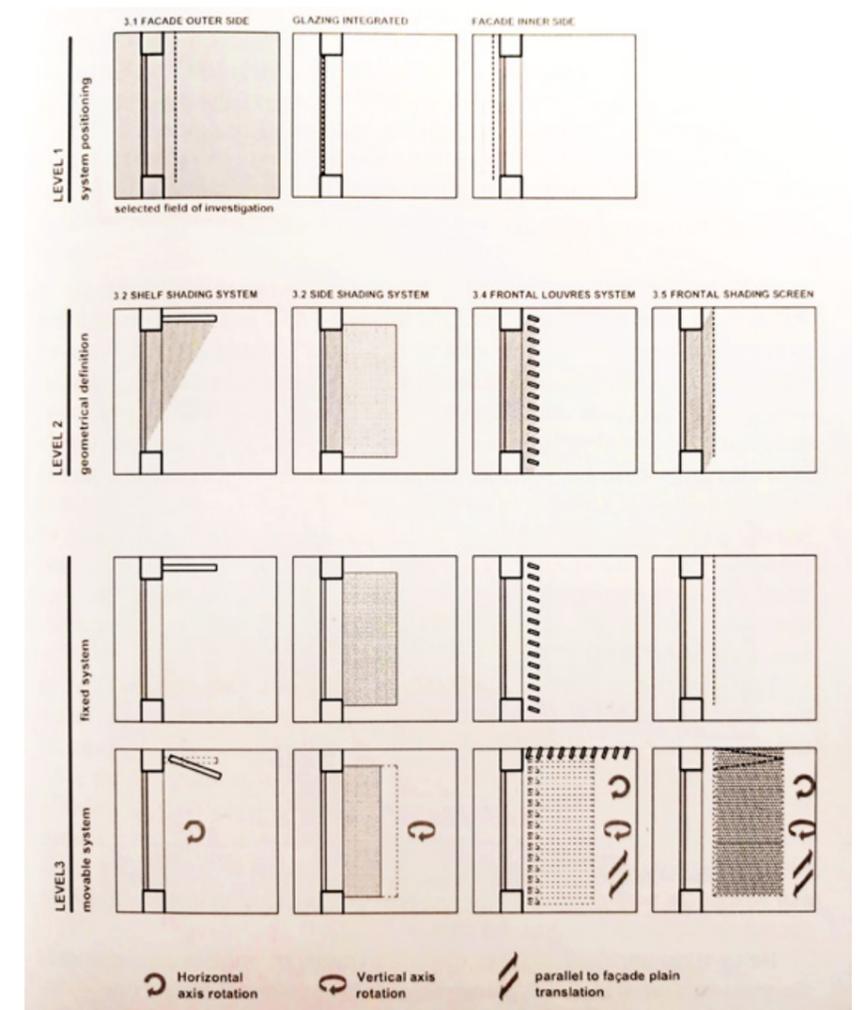


Figura 3.8: Pannelli mobili su guida. Fonte: Infobuildenergia. 2015. "Schermature Solari: Risparmio Energetico, Detrazioni Fiscali." Infobuildenergia. May 27, 2015. <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/le-schermature-solari-risparmio-energetico-e-detrazioni-fiscali/>.

Figura 3.9: Classificazione dei sistemi di schermature rappresentato graficamente
 Fonte: Gaspari, 2020

Attualmente i parametri progettuali sono variati molto e la progettazione della facciata corrisponde non solo a un linguaggio estetico ma anche come risposta tecnica per influenzare la riduzione della domanda di energia. Queste due situazioni generano alcuni problemi, ad esempio, la necessità di grandi superfici vetrate per consentire: l'accumulo di calore, l'ingresso di luce naturale e per fornire vista verso l'esterno, ma che può causare abbagliamento e surriscaldamento come già menzionato prima.

Il fatto che una facciata sia mobile non è innovativo in sé, dato che abbiamo già visto molte facciate mobili in giro per il mondo da alcuni anni, una proposta che può essere innovativa è quella proposta da Gaspari in quanto riguarda a trovare soluzioni che siano controllate da un sistema centralizzato di CPU che possa regolare il sistema di ombreggiatura in tempo reale, rilevando le variazioni climatiche attraverso sensori, questo può essere chiamato Adaptive Building Envelope (ABE).

Un esempio di questo tipo di facciata è la facciata sud dell'Institut du Monde Arabe (IMA) di Parigi completata nel 1980 dall'architetto Jean Nouvel (figura 3.10).

Da queste ABE, c'è la facciata cinetica ("kinetic facade") che è una facciata apparentemente continua creata da una serie di piccoli quadrati che si muovono guidati dalla ventilazione naturale. Questo è anche l'origine dei materiali intelligenti che si dividono in:

- Sistemi attivi, quando sono controllati con uno stimolo elettrico attivato dalla CPU.
- Sistemi passivi, quando il materiale stesso funziona come un sensore che elabora e agisce. Questi reagiscono generalmente a parametri ambientali come: la temperatura, l'umidità, la luce ecc. e fornisce una soluzione immediata. Esempi: leghe a memoria di forma, materiali a cambiamento di fase, vetro fotocromatico, termo-bimetallo, ecc.

Alcuni di questi sistemi utilizzano principi della biologia con l'idea di ottenere materiali che rispondono naturalmente al loro ambiente, e molti di essi non richiedono l'uso di energia per il funzionamento, sono chiamati adattabilità a zero energia²⁷.

Tuttavia, essendo questo sistema autonomo, non può essere controllato dagli utenti, il che in qualche modo può influenzare il loro senso di soddisfazione, soprattutto quando si tratta di comfort visivo. Questi sistemi, a loro volta, sono classificati in due gruppi: sensibili all'umidità e termoregolatori, che, come abbiamo visto, sono due fattori legati al risparmio energetico e al comfort

27) Barozzi et al., 2016

interno. Alcuni di questi materiali agiscono attraverso l'espansione termica.

Gli attuatori attivi rappresentano la prima generazione di involucri adattivi, questo tipo di facciata è in grado di rilevare le condizioni dell'ambiente circostante per mezzo di sensori e permettere a un sistema CPU di controllo remoto di elaborare le informazioni e definire la regolazione più appropriata da applicare agli elementi di ombreggiamento.

Tuttavia, alcuni dei materiali utilizzati nel caso dei "materiali a memoria di forma" sono polimeri (Shape memory polymers - SMPs), il che mette in dubbio il loro carattere 'sostenibile'. Tuttavia, quelli che sono materiali naturali, come il legno o la fibra di legno possono essere opzioni interessanti da utilizzare, in questo caso il loro costo-beneficio dovrebbe essere valutato, in quanto subiscono alcune variazioni per renderli adattabili, il che rappresenta un aumento dei costi, tenendo presente che uno dei requisiti di un edificio NZEB, come detto sopra, è che sia costo ottimale.

Forse la sua economicità può essere evidenziata a lungo termine, nei costi di manutenzione e funzionamento dell'edificio.

Interessante potrebbe essere anche il riutilizzo dei materiali al fine di convertirli in materiali adattivi, con questo si potrebbe affrontare la questione della sostenibilità. Queste opzioni sono ancora in fase di studio e pochissime di esse sono state lanciate sul mercato o utilizzate in progetti reali per il momento.

Figura 3.10: Facciata sud dell'Institut du Monde Arabe (IMA)



Figura 3.10: Facciata sud dell'Institut du Monde Arabe (IMA) Fonte: "Institut Du Monde Arabe | Aga Khan Development Network." 2022. Akdn.org. 2022. <https://www.akdn.org/architecture/project/institut-du-monde-arabe>.

3.6. SISTEMI DI COPERTURA

La scelta del tipo di struttura del tetto, dell'inclinazione, del carico di vento e dei requisiti di installazione.

Le coperture piane in genere non sono piatte, in quanto devono avere una pendenza minima per evitare il deflusso dell'acqua piovana. Le finiture di questo tipo di coperture sono solitamente costituite da diversi strati di feltro rinforzato con fibre di vetro posato in catrame caldo; coperture monostrato, a membrana o applicate a liquido e realizzate in vari materiali sintetici; e bitume modificato o "a fiamma" che viene riscaldato durante la posa. In genere questi materiali hanno una finitura nera, che non è riflettente; tuttavia, questo problema può essere risolto installando strati di materiali trasparenti o riflettenti²⁸.

La riflettanza del materiale di copertura deve essere superiore a 0,7. In una scala da 0 a 1, zero rappresenta che il tetto assorbe tutta la radiazione solare e 1 significa che è completamente riflettente²⁸.

Mentre i valori di emittanza, in altre parole la sua capacità di rilasciare il calore assorbito, devono essere superiori a 0,8.

Questo è importante perché i cool roof possono contribuire a ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio e ad aumentare la durata della membrana, che è esposta e spesso tende a deteriorarsi.

Un altro tipo di tetto è il tetto verde, dove l'acqua viene assorbita dalle piante e traspirata, riducendo la velocità e la quantità di deflusso. Il corretto assemblaggio dell'isolamento e del terreno necessario per sostenere le piante riduce gli sbalzi di temperatura e aumenta la durata della membrana del tetto.

Possono essere modulari con strati di drenaggio, tessuto filtrante, substrato di coltivazione e piante e possono essere mobili e incastrati tra loro. Nelle scuole i tetti verdi hanno la stessa connotazione di altri edifici, ma potrebbero servire a renderli visibili agli studenti.

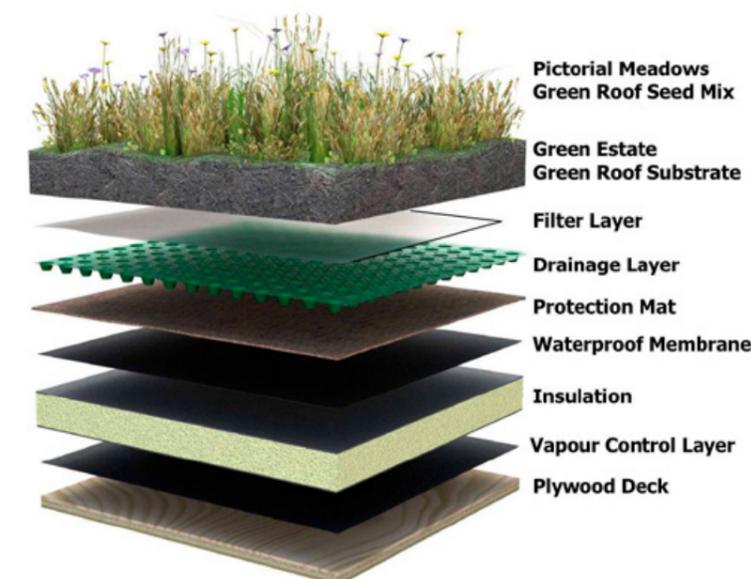
La scelta delle piante deve essere fatta con attenzione e tenere conto del clima, del tipo e della profondità media di crescita. Questi tetti richiedono di solito una manutenzione piuttosto impegnativa, perché, a meno che non siano modulari come spiegato sopra, trovare una perdita può essere un compito difficile, dato che è necessario rimuovere terra e piante.

I tetti possono anche essere progettati non necessariamente per supportare la vegetazione, ma anche pannelli fotovoltaici o solari,

incompatibili con i tetti verdi, o possono anche servire come sistema di approvvigionamento di acqua piovana. connotazione di altri edifici ma potrebbero servire a renderli visibili agli studenti. La scelta delle piante deve essere fatta con cura e tenendo conto del clima, della tipologia e della profondità media di crescita. Questi tetti di solito richiedono molta manutenzione, perché a meno che non siano modulari come spiegato prima, trovare una perdita può essere un compito difficile poiché è necessario rimuovere terra e piante.

Le coperture possono anche essere progettate non necessariamente per supportare la vegetazione, ma anche pannelli fotovoltaici o solari, incompatibili con i tetti verdi, o possono anche fungere da sistema di approvvigionamento dell'acqua piovana.

Figura 3.11: Green roof



28) Gelfand, Lisa, and Eric Corey Freed. Sustainable School Architecture Design for Primary and Secondary Schools. Hoboken: Wiley, 2010. Print.

Figura 3.11: Green Roof. Fonte: "Green Roof, Not Only Green." 2015. City, People and Sustainability. 2015. <https://lianaxiong.weebly.com/blog/green-roof-not-only-green>.

4

PROPOSTA ATTUALE DELL'EDIFICIO SCOLASTICO NZEB

4.1.

DESCRIZIONE DELLA PROPOSTA ATTUALE

Attraverso un'associazione di imprese, composta da un soggetto finanziatore, un soggetto realizzatore (e il costituendo RTP di progettazione, composto da ESI.PRO S.r.l., Studio Ing. Rolando, Geol. Negro, Ing. Campagna) come previsto dalla Legge D.Lgs. 50/16, si ha deciso di depositare una 'proposta spontanea' seguendo l'esigenza della Città Metropolitana di Milano di ridurre le locazioni passive di edifici scolastici²⁵.

Questa proposta spontanea riguarda la progettazione definitiva, esecutiva e la costruzione e la manutenzione ordinaria ed straordinaria per la durata di 20 anni di un nuovo edificio scolastico in sostituzione dell'attuale Liceo "Caravaggio" e di un impianto sportivo in città, la cui esecuzione è proposta attraverso lo strumento della locazione finanziaria degli interventi necessari per la realizzazione e il quale è supportato da un progetto di fattibilità che descrive la tipologia, la qualità e le caratteristiche degli edifici che si intendono progettare.

Ai fini di questa tesi, solo alcune caratteristiche chiave di questa proposta saranno descritte in termini di architettura, cioè la distribuzione spaziale, la posizione, l'orientamento, la materialità, la tipologia strutturale, e alcuni aspetti economici di grande rilevanza, così come gli aspetti riguardanti al suo impatto energetico e tutte le funzioni previste dal Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975.

Questo progetto consiste nella costruzione di due edifici. Il primo è un edificio scolastico indipendente ma collegato tramite un portico a un secondo edificio composto da due palestre che ospitano le attività sportive della scuola come basket e pallavolo, le attività extrascolastiche e anche per l'attività ordinaria di educazione fisica.

Per la progettazione dell'edificio in questione il quadro esigenziale espresso dall'Ente è stato preso in considerazione e questo indica i punti descritti nella figura 4.0.

Una volta che la proposta è pronta, si invia all'Amministrazione per la sua revisione e dopo che questa è ricevuta per l'Amministrazione questa la dovrà inserire negli strumenti di programmazione triennale, dichiarandola nel contempo di pubblico interesse.

Finalmente, i documenti amministrativi e il progetto saranno messi a gara con il metodo dell'Offerta più vantaggiosa per la

29) Locazione: Contratto con cui un contraente concede a un altro il godimento di una casa mobile o immobile, per un tempo determinato e per un determinato compenso. Fonte: "Locazione: Significato E Definizione - Dizionari." 2018. Locazione: Significato E Definizione - Dizionari - La Repubblica. 2018. <https://dizionari.repubblica.it/Italiano/L/locazione.html>.

Locazione passiva: La locazione passiva è quel contratto di locazione dove la pubblica amministrazione è conduttore di un immobile di proprietà di terzi. Fonte: Risponde Alessandro Bernasconi. 2013. "Contratti Di Locazione Passiva - ItaliaOggi.it." Italiaoggi.it. ItaliaOggi. 2013. <https://www.italiaoggi.it/news/contratti-di-locazione-passiva-1821031#:~:text=La%20locazione%20passiva%20%C3%A8%20quel,immobile%20di%20propriet%C3%A0%20di%20terzi>.

Figura 4.0: Spazi richiesti per il Comune di Milano

Con riferimento alla Vostra richiesta prot. 0134009/05/06/2019 si forniscono qui di seguito alcuni elementi che potranno permettere la verifica di fattibilità di costruzione di nuovo edificio scolastico ai sensi dell'art. 187 del D.Lgs ii. 50/2016 sull'area di proprietà di Città Metropolitana sita in Via don Calabria di superficie utile di circa mq 19.700,00.

L'attuale Liceo artistico Caravaggio con sede in via Prinetti n. 10 — Milano, in uno stabile di proprietà privata in locazione, ha i seguenti indirizzi di studio: "Architettura e ambiente", "Arti figurative", "Audiovisivo multimediale", "Design" e "Grafica".

Per l'anno scolastico 2019/2020 è prevista la formazione di n. classi 36 (di cui 8 classi prime)

Dimensionamento totale nel quinquennio: 37/40 classi (circa 1.000 studenti).

1) Fabbisogni spazi:

Aule per didattica frontale	22	Almeno 50 mq
Aule per studenti disabili	1	Almeno 50 mq
Aule/laboratori (aule utilizzate anche per discipline di architettura e design)	10	Almeno 70 mq
Laboratori	11 discipline pittoriche e plastiche	Almeno 70 mq
	5 discipline grafico multimediali	Almeno 70 mq
	3 architettura e design	Almeno 70 mq
	1 chimica/fisica da 60 mq + 1 scienze da almeno 50 mq (la scuola chiede due ambienti separati)	Totale: almeno 110 mq
Spazi diversi	Aula ricevimento parenti	50 mq
	Aula magna	150 mq
	Aula mostre	100 mq
	Auletta per forno (per cottura ceramiche)	20/30 mq
	Biblioteca/emeroteca	150 mq
	Aula docenti	
	Uffici (presidenza, DGSA, auletta, vicepreside, uffici per 8 amministrativi, 2/3 aulette per personale ATA sui piani, sala stampa, sala medica (?)).	
	Palestra (divisibile per consentire il contemporaneo utilizzo da parte di due classi)	
Bar		
Magazzini		

sua valutazione e per la aggiudicazione.

In fase di analisi se hanno elaborato diversi soluzioni architettoniche e di distribuzione spaziale, e una volta presentata la prima soluzione progettuale, l'Amministrazione ha richiesto di aggiungere alcuni locale al fine di arrivare alla soluzione attuale, che è più ampia e contiene i volumi richiesti.

Come spiegato prima, questo progetto si compone di questi due edifici collegati tra loro tramite un porticato, di cui uno consiste in quattro piani fuori terra a destinazione scolastica su una pianta regolare con una manica rettangolare, dal quale il piano terra si sviluppa su una superficie lorda di pavimentazione di circa 2.410 mq e gli altri tre piani su una superficie lorda di circa 1.930 mq per un totale pari a circa 8.200 mq; e la palestra che consta di un edificio a un piano fuori terra che accoglie due spazi polivalente separate da un setto comandato elettricamente che si sviluppano su una superficie di circa 1.725 mq. Nello spazio aperto dove

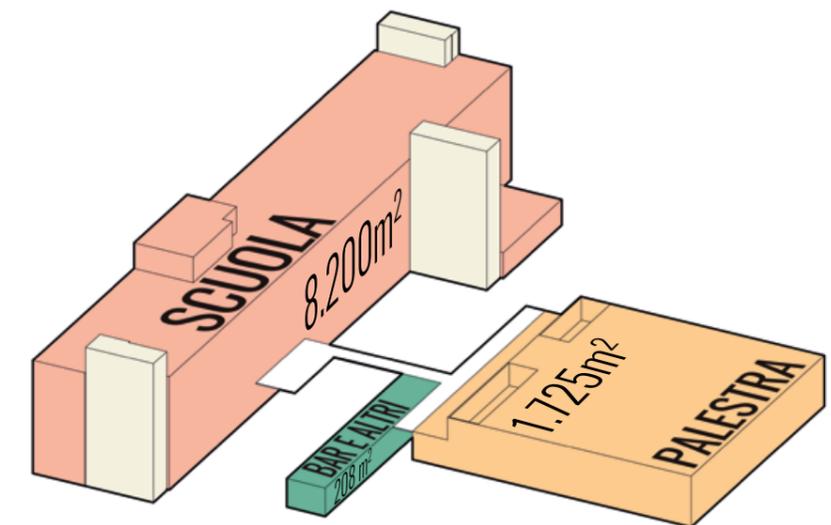
L'informazione descritta in questo capitolo è stata presa dal capitolato speciale descrittivo e prestazione del progetto di fattibilità sviluppato per lo studio di architettura e ingegneria Esi Pro Srl. e ristrutturata ai fini di questa tesi dall'autore.

questi due edifici si incontrano, c'è un edificio a un piano dove si trovano il bar, gli spogliatoi e i servizi igienici, la cabina di trasformazione e la centrale idrica antincendio sviluppati su una superficie di 208 mq.

L'area dove si trovano gli edifici menzionati comprende 11.252 mq. L'accesso è garantito tramite la via Don Calabria.

Per il convogliamento delle acque bianche, il progetto prevede un bacino di laminazione che si trova nella zona sud del lotto e corrisponde a un'area di 1200 mq e una profondità media di circa 3m.

Figura 4.1: Schema di progetto



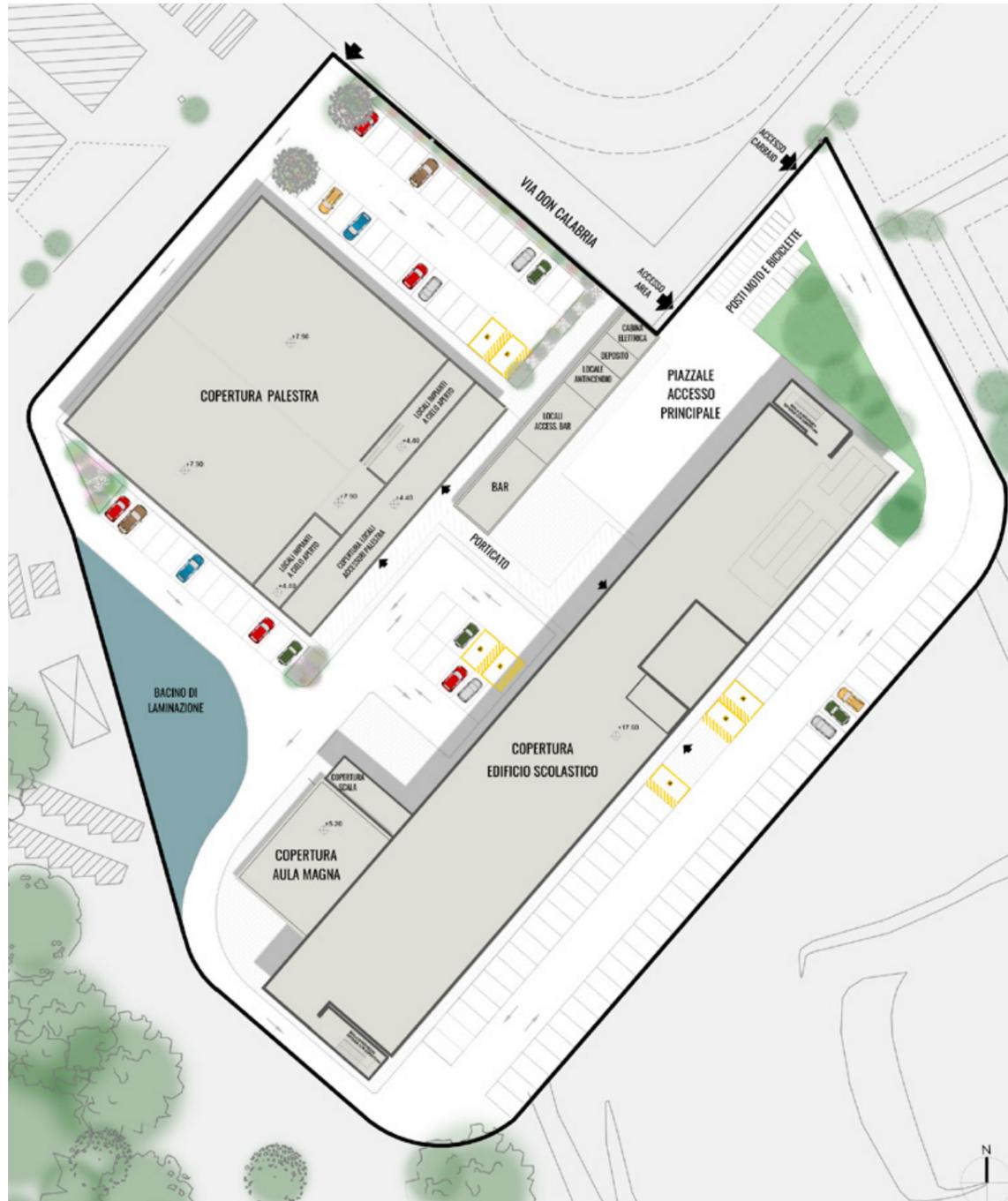
Obiettivi del progetto:

L'obiettivo principale di questo progetto è quello di creare un edificio scolastico **funzionale** che si adatti al suo contesto immediato è allo stesso tempo si integri anche nella città e che sia **all'avanguardia** dal punto di vista **tecnologico**. Contemporaneamente, dovrebbe offrire **flexibilità** per i cambiamenti nel tempo, tipo le aule e i laboratori (e in generale tutti li spazi) possono essere adattabili a diversi attività e alle nuove esigenze che possono non essere solo legate alle attività scolastiche.

Questo spazio è concepito con l'obiettivo di renderlo uno **spazio di vita** dove gli scambi informali possono facilmente avvenire tra le persone negli spazi aperti e nelle aree comuni e gli scambi formali negli spazi più privati, come la biblioteca, i laboratori e le aule. Essere così intimamente connessi al Parco Lambro permette una **connessione diretta con l'ambiente naturale**, da qui l'idea

Figura 4.1. Elaborazione dall'autore.

Figura 4.2: Planimetria di progetto scala 1:750



di portare il verde all'interno dell'edificio attraverso grandi superfici trasparenti in modo che l'edificio diventi un **teatro all'aperto** in cui godere della natura.

- Dal punto di vista **architettonico**, l'obiettivo è che il progetto sia facilmente accessibile, che utilizzi **materiali durevoli ed ecologici**, soluzioni tecnologiche innovative, la **luce come elemento principale per la valorizzazione degli spazi e la**

Figura 4.2. Elaborazione dall'autore basata su planimetria sviluppata per lo studio Esi Pro Srl.

razionalizzazione delle risorse fin dalla fase di costruzione e durante la vita utile dell'immobile.

- Dal punto di vista della **sicurezza**, il progetto deve essere sicuro in termini di **resistenza ai carichi e all'azione sismica**, in termini di elementi e **materiali che aiutano a dissimulare la diffusione del fuoco**, e quindi rispettare i requisiti di prevenzione incendi e le uscite di emergenza, che sia sicuro dal punto di vista **igienico-sanitario**, nel senso che i suoi materiali mitigano l'emissione di sostanze tossiche e/o nocive per il corpo umano, oltre a garantire la corretta **ventilazione** e ampiezza degli spazi, tenendo conto anche delle norme per evitare la diffusione di malattie, prendendo come esempio la pandemia di covid.
- A livello ambientale, l'edificio deve consumare la **minor quantità di energia**, cioè raggiungere gli obiettivi **NZEB**, una distribuzione ottimale degli spazi interni con l'obiettivo di massimizzare l'esposizione, l'uso di sistemi di ombreggiamento per proteggere dalla radiazione solare, la **produzione di schemi di energia rinnovabile** in conformità con gli obiettivi stabiliti dalla legge, l'uso di materiali ed elementi a basso impatto ambientale, **l'ottimizzazione del consumo di energia e acqua**, e infine l'ottimizzazione a livello **acustico**.

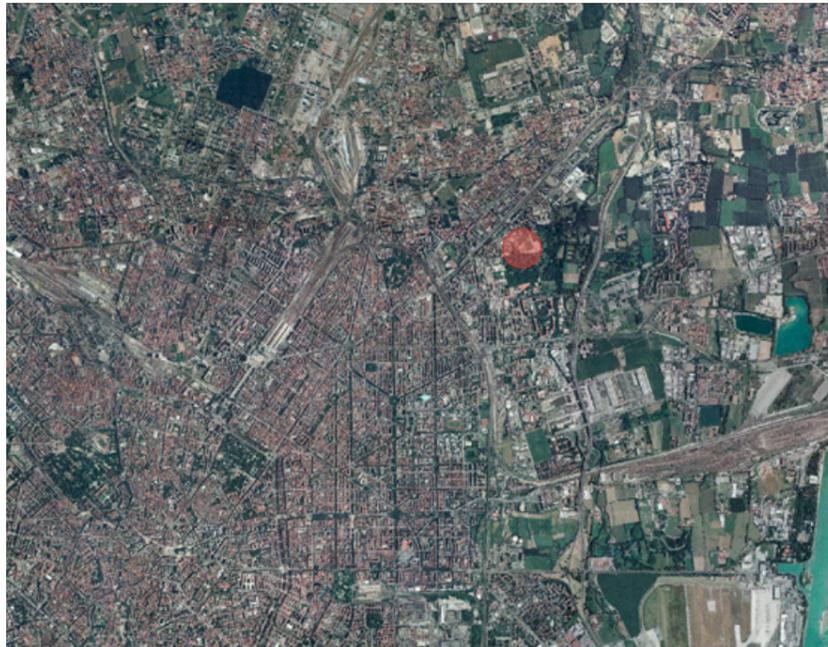
4.2. ANALISI DEL CONTESTO E ORIENTAMENTO

L'area in cui sarà localizzato il progetto è nella città di Milano, più precisamente nel quartiere Cimiano del municipio 3, nel quadrante nord/est rispetto al tessuto urbano del centro città, vicino al bordo del tessuto urbano e vicino al parco Lambro. Questa zona ha una grande accessibilità per mezzo della rete stradale, adiacente all'area di studio è l'incrocio della strada Palmanova da sud-ovest a nord-ovest, questa strada è molto importante perché costituisce il tratto di penetrazione urbana della strada statale 11 Padana Superiore. Inoltre, questa zona è ben collegata con le reti di trasporto pubblico, tra cui da via Palmanova la linea 2 della metropolitana che attraversa il centro di Milano e collega Gessate/ Gologno con Assago.

Gli edifici che circondano l'area di intervento sono principalmente edifici residenziali di media densità, così come alcune imprese commerciali di medie dimensioni.

L'informazione descritta in questo capitolo è stata presa dal capitolato speciale descrittivo e prestazione del progetto di fattibilità sviluppato per lo studio di architettura e ingegneria Esi Pro Srl. e ristrutturate ai fini di questa tesi dall'autore.

Figura 4.3: Ortofoto scala 1:1000 della città di Milano con individuazione dell'area di progetto



Nelle immediate vicinanze del sito d'intervento ci sono diversi edifici scolastici e diversi impianti sportivi.

Per quanto riguarda all'orientamento del progetto nel lotto abbiamo analizzato le seguenti variabili: la dimensione, la geometria e la posizione degli elementi trasparenti in facciata al fine di sfruttare al massimo la luce naturale. La progettazione e la scelta delle superfici vetrate hanno tenuto conto delle loro proprietà di trasmissione della luce e delle loro caratteristiche di isolamento termico per limitare la dispersione di calore.

La prima idea è di distribuire le aperture sulla lunghezza delle pareti perché ben sappiamo della importanza della luce naturale per le attività didattiche e di approfittare al massimo le facciate con maggiore esposizione al sole, prevedendo anche sistemi di ombreggiamento all'esterno con l'obiettivo di diminuire l'abbagliamento e allo stesso tempo il surriscaldamento, quindi, si studia che l'edificio sfrutti al massimo gli apporti solari in inverno e li riduca notevolmente in estate.

Si è fatto uno studio preliminare delle condizioni di soleggiamento del progetto riportato nella figura 4.7.

Il progetto è caratterizzato da una forma compatta per minimizzare le perdite di calore, un involucro opaco e trasparente con alte prestazioni termiche, e una concentrazione di superfici vetrate a sud per massimizzare i guadagni solari.

I pannelli fotovoltaici saranno installati sul tetto dell'edificio scolastico e sul tetto della palestra per produrre l'energia necessaria ad alimentare le macchine elettriche, soprattutto

durante l'estate. Pannelli solari termici saranno anche installati sul tetto dell'edificio scolastico.

Figura 4.4: Ortofoto scala 1:1000 della città di Milano con individuazione dell'area di progetto



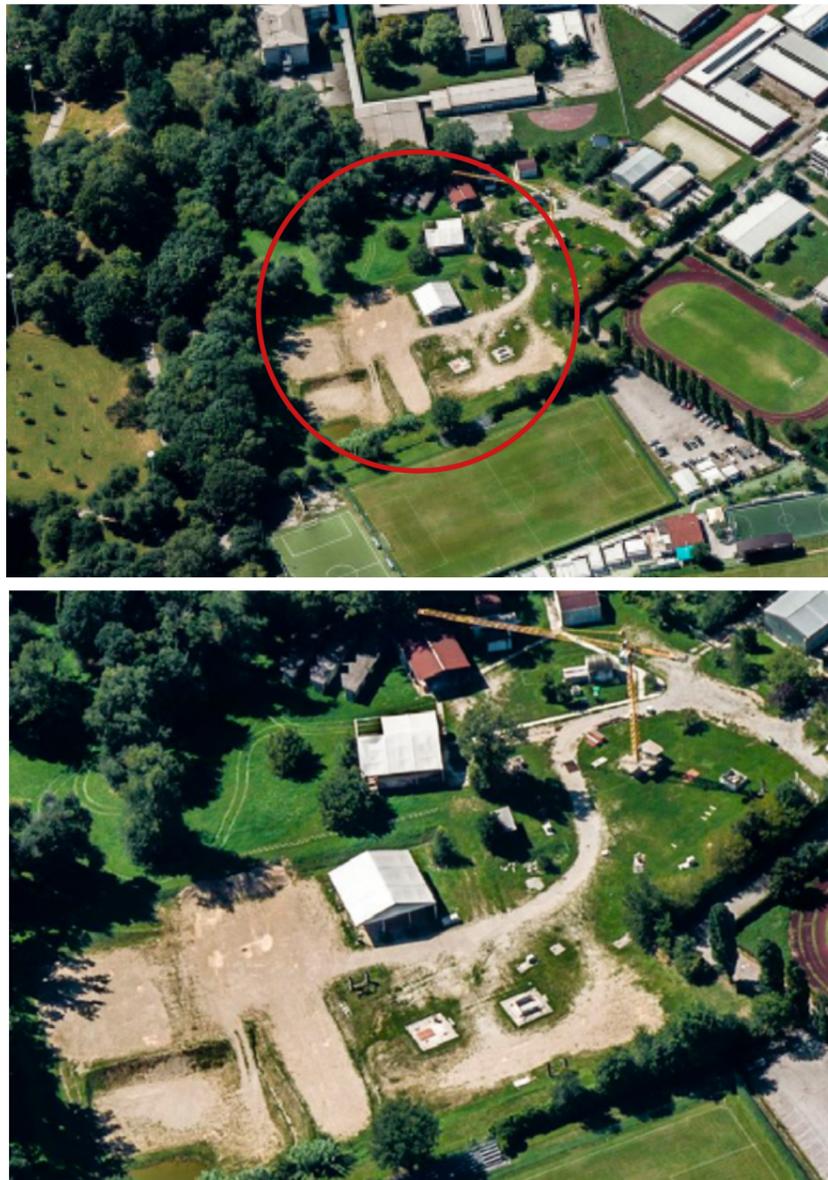
● AREA DI INTERVENTO

Figura 4.5: Ingrandimento dell'area di intervento



L'informazione descritta in questo capitolo è stata presa dal capitolato speciale descrittivo e prestazione del progetto di fattibilità sviluppato per lo studio di architettura e ingegneria Esi Pro Srl. e ristrutturata ai fini di questa tesi dall'autore.

Figura 4.6: Ingrandimento dell'area di intervento



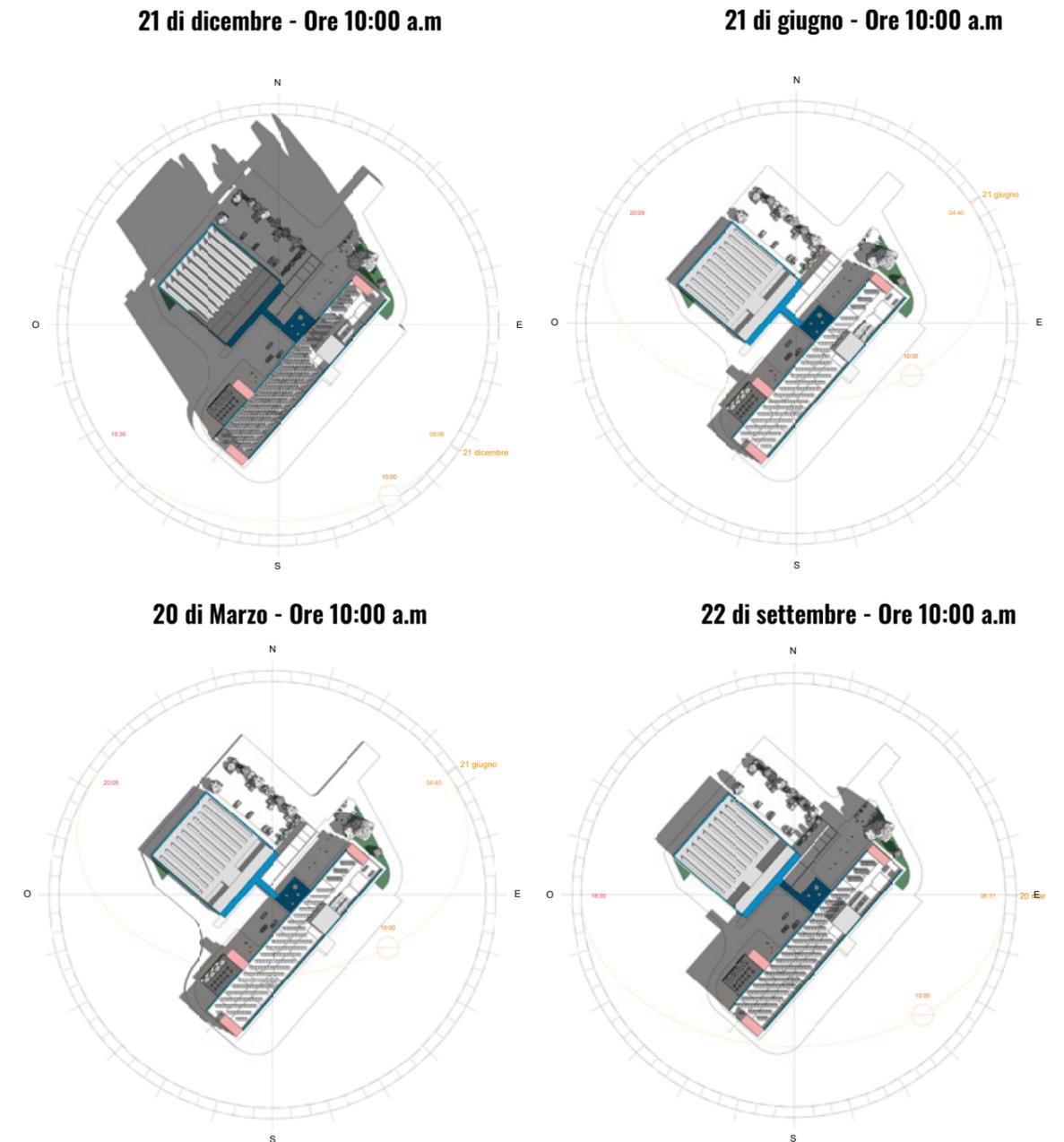
L'impianto sportivo è composto da due volumi interconnessi: uno ospita le due palestre polivalenti di circa 40 m x 33 m per una superficie totale di circa 1.320 metri quadrati, mentre l'altro volume è destinato a ospitare gli spogliatoi e i locali accessori e misura circa 40 m x 10 m per una superficie totale di circa 405 metri quadrati.

Le palestre saranno di tipo B1 e verranno utilizzate per le seguenti discipline: calcio indoor, pallacanestro, pallavolo, oltre alle attività ginniche che il corpo docente riterrà più opportune. Saranno costruite con caratteristiche tale che possano avere l'approvazione delle rispettive federazioni sportive.

L'impianto sportivo sarà al servizio della scuola, ma potrà essere

L'informazione descritta in questo capitolo è stata presa dal capitolato speciale descrittivo e prestazione del progetto di fattibilità sviluppato per lo studio di architettura e ingegneria Esi Pro Srl. e ristrutturata ai fini di questa tesi dall'autore.

Figura 4.7: Condizioni di soleggiamento



utilizzato anche dal pubblico in orari non scolastici, con accesso e parcheggio separati dal complesso scolastico. Pertanto, per motivi di sicurezza e per evitare la sovrapposizione di percorsi interni ed esterni, l'edificio scolastico è stato separato dal volume che ospita le palestre polifunzionali, con entrambi gli ingressi pedonali e veicolari separati.

Figura 4.7. Elaborazione dall'autore.

4.3.

PROPOSTA ARCHITETTONICA, STRUTTURALE E DISTRIBUZIONE SPAZIALE

Pianta Piano Terra

Il piano terra ha un ingresso principale attraverso un grande atrio di distribuzione centrale e aule e servizi igienici che corrono lungo i lati.

Il piano terra è composto dai seguenti spazi:

Tabella 4.0: Destinazione d'uso piano terra

CANT.	SPAZIO
1	Atrio di ingresso
-	Vani scale e ascensori
1	Blocco uffici direttivi e amministrativi con relativi servizi igienici
1	Aula Insegnanti
1	Aula ricevimento parenti
1	Sala medica e relativi servizi igienici
1	Sala stampa
5	Laboratori normali con relativi servizi igienici
1	Aula Magna
1	Biblioteca
1	Archivio
1	Nucleo di servizi igienici per visitatori
1	Locale tecnico
1	Aula disabili
1	Aula per le attività didattiche normali

In una manica separata situata nelle immediate vicinanze della palestra e dei suoi locali accessori:

Tabella 4.1: Destinazione d'uso piano terra locali accessori

CANT.	SPAZIO
1	Bar e relativi locali accessori
1	Locale antincendio
1	Deposito

Pianta Piano Primo

Il piano primo si compone dei seguenti spazi:

Tabella 4.2: Destinazione d'uso piano primo

CANT.	SPAZIO
-	Vani scale e ascensori
1	Locale tecnico
9	Aule per le attività didattiche normali con relativi servizi igienici
8	Laboratori con relativi servizi igienici
2	Nuclei di servizi igienici a servizio del personale
1	Deposito
1	Auletta per il personale A.T.A.

Pianta Piano Secondo

Il piano secondo si compone dei seguenti spazi:

Tabella 4.3: Destinazione d'uso piano secondo

CANT.	SPAZIO
-	Vani scale e ascensori
8	Laboratori con relativi servizi igienici
7	Aule per le attività didattiche normali con relativi servizi igienici
1	Laboratorio di scienze e relativo locale preparazione
1	Auletta forno
2	Nuclei di servizi igienici per il personale
1	Locale tecnico
1	Deposito
1	Auletta per il personale A.T.A.

Pianta Piano Terzo

Il piano terzo si compone dei seguenti spazi:

Tabella 4.4: Destinazione d'uso piano terzo

CANT.	SPAZIO
-	Vani scale e ascensori
7	Aule per le attività didattiche normali
9	Laboratori
2	Nuclei di servizi igienici per gli alunni
2	Nuclei di servizi igienici per il personale
2	Depositi
1	Auletta per il personale A.T.A.
1	Locale tecnico

L'informazione descritta in questo capitolo è stata presa dal capitolato speciale descrittivo e prestazione del progetto di fattibilità sviluppato per lo studio di architettura e ingegneria Esi Pro Srl. e ristrutturate ai fini di questa tesi dall'autore.

FIGURA 4.8 - PIANTE PIANO TERRA



Figura 4.8. Elaborazione dall'autore basata su planimetria sviluppata per lo studio Esi Pro Srl.



FIGURA 4.9 - PIANTA PIANO PRIMO



Figura 4.9. Elaborazione
dall'autore basata su
planimetria sviluppata per lo
studio Esi Pro Srl.

FIGURA 4.10 - PIANTE PIANO SECONDO DELLA SCUOLA



FIGURA 4.11 - PIANTE PIANO TERZO DELLA SCUOLA



Figura 4.10 e 4.11. Elaborazione dall'autore basata su planimetria sviluppata per lo studio Esi Pro Srl.

FIGURA 4.12 - PIANTE PIANO COPERTURA DELLA GENERALE

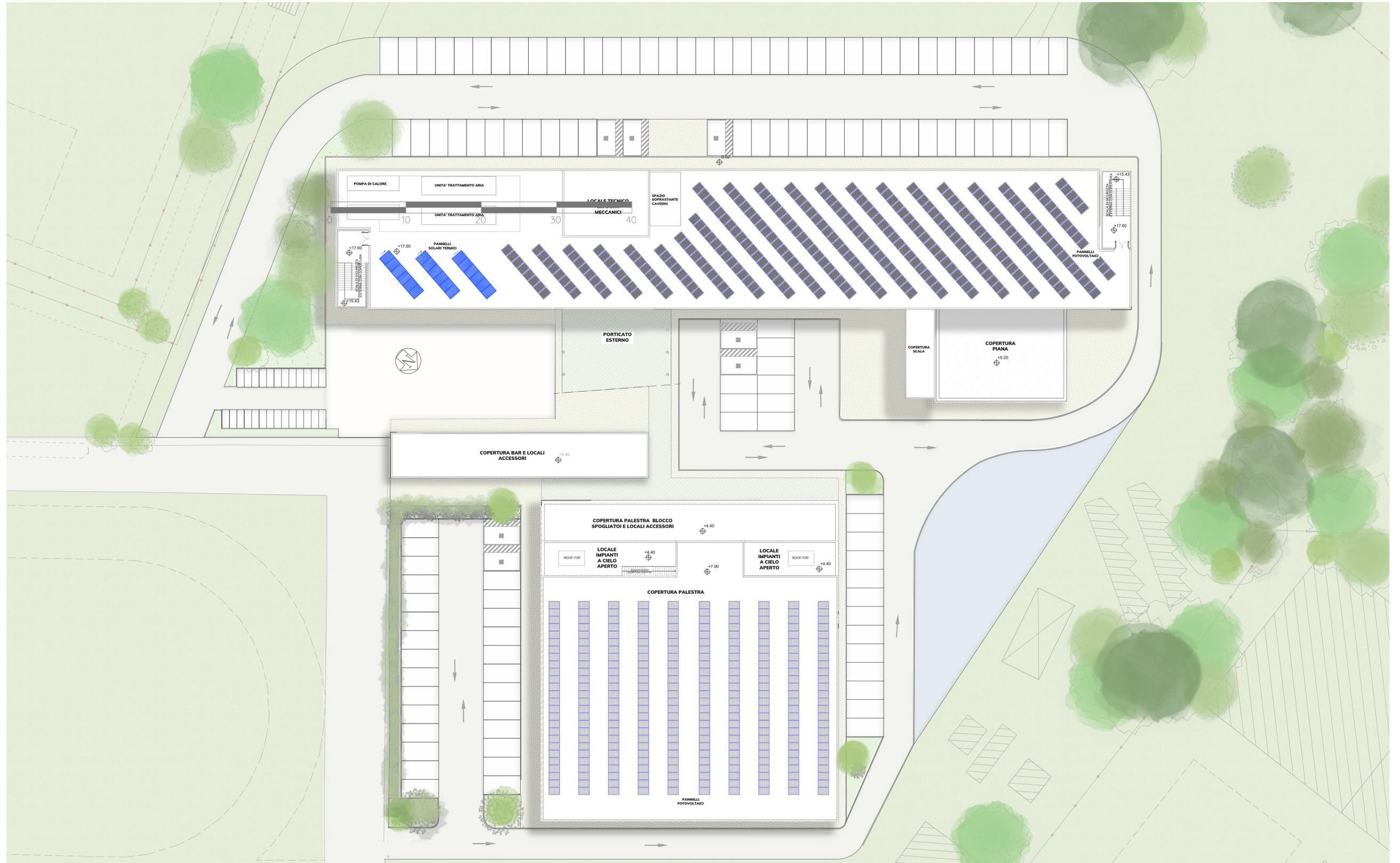


Figura 4.12. Elaborazione dall'autore basata su planimetria sviluppata per lo studio Esi Pro Srl.

FIGURA 4.13 - SEZIONE A-A' - EDIFICIO SCOLASTICO

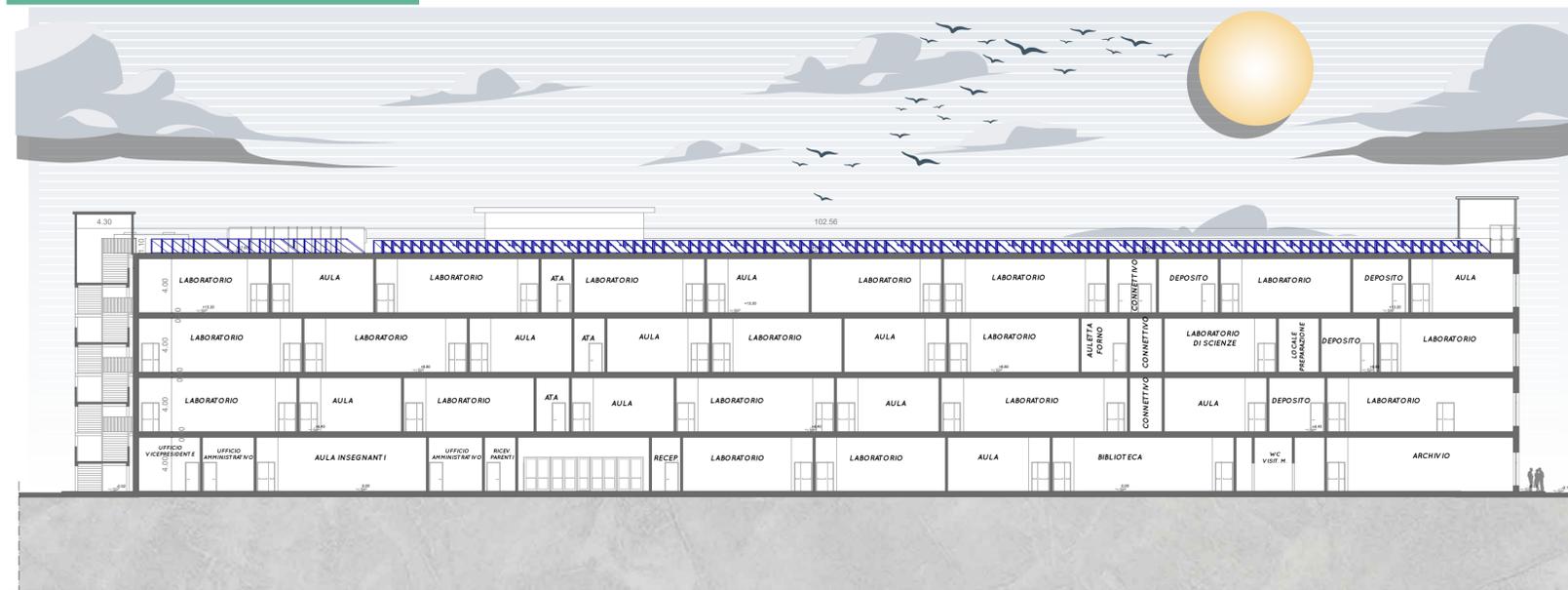


FIGURA 4.14 - SEZIONE TRASVERSALE DELL'EDIFICIO SCOLASTICO

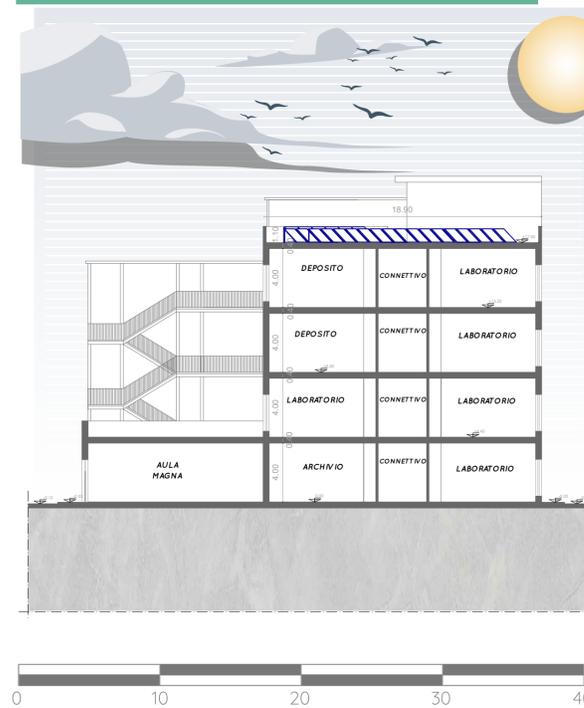


FIGURA 4.15 - SEZIONE C-C' EDIFICIO PALESTRA

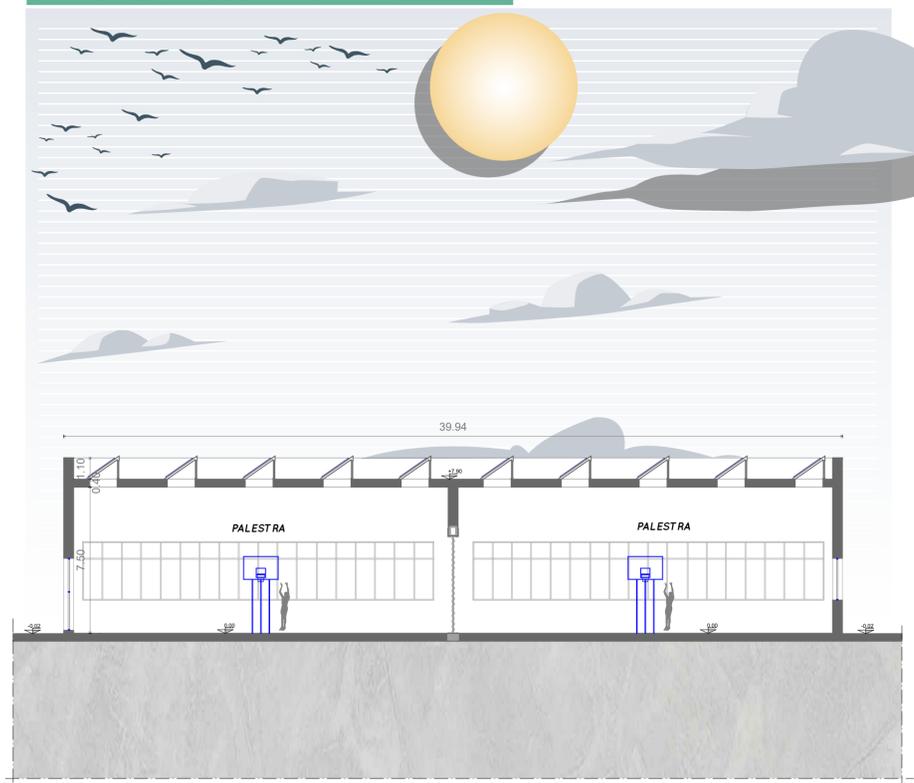
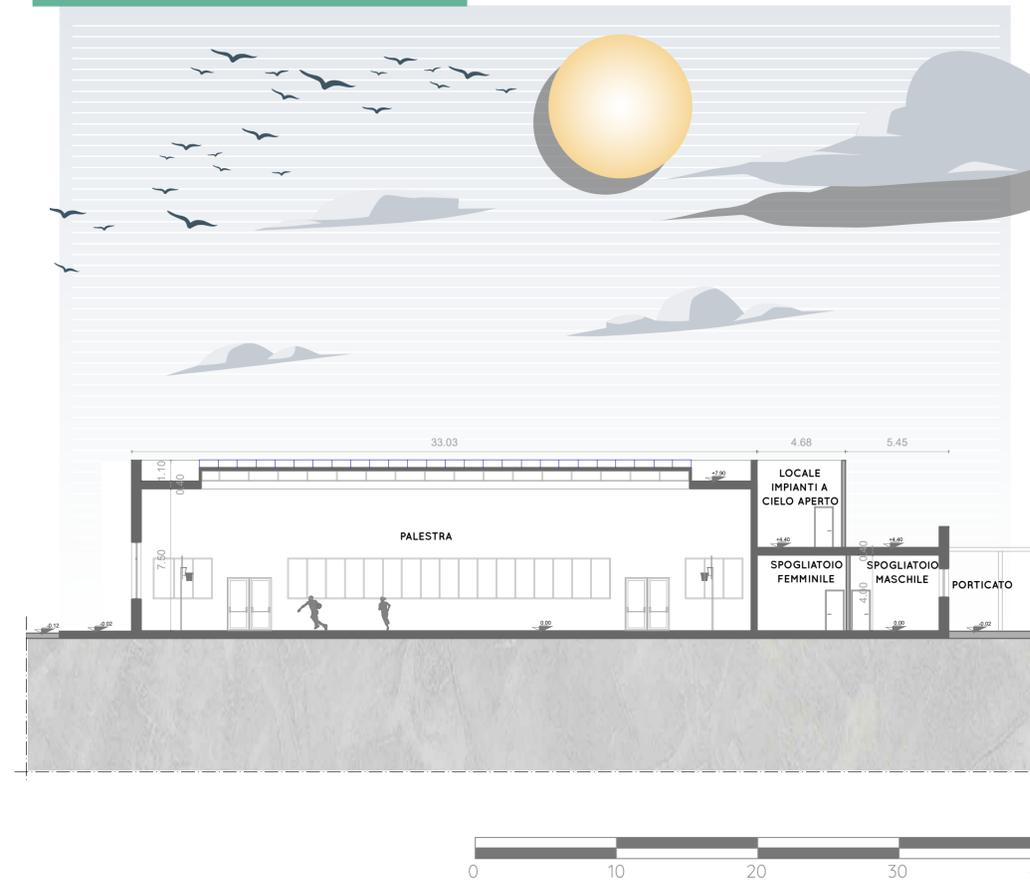


FIGURA 4.16 - SEZIONE D-D' - EDIFICIO PALESTRA



NAVIGATORE PIANTE COPERTURE

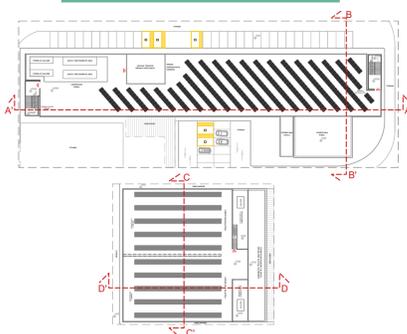


Figura 4.13 a 4.16, Elaborazione dall'autore basata su planimetria sviluppata per lo studio Esi Pro Srl.

FIGURA 4.17 - PROSPETTO NORD-OVEST - EDIFICIO SCUOLA

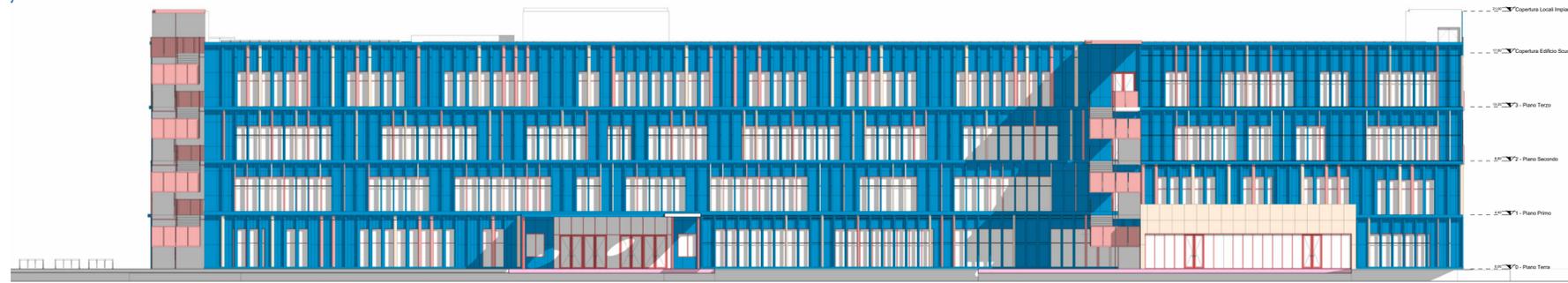


FIGURA 4.18 - PROSPETTO NORD-EST - EDIFICIO SCUOLA



FIGURA 4.19 - PROSPETTO SUD-EST - EDIFICIO SCUOLA

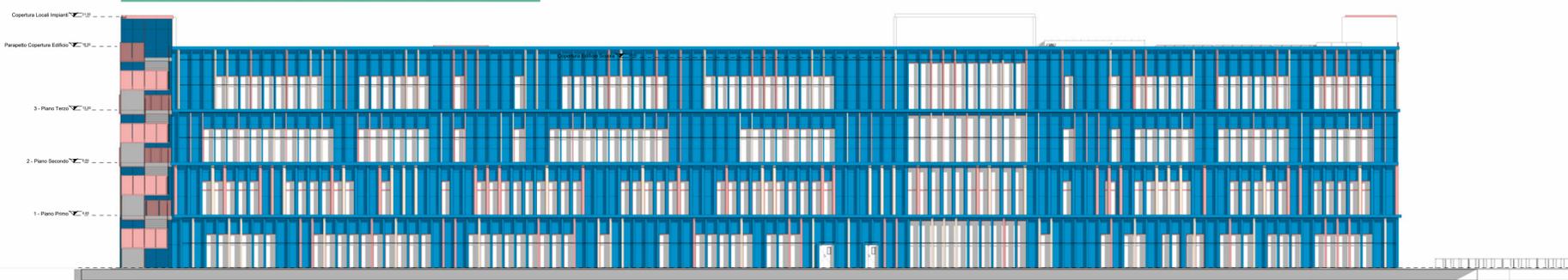


FIGURA 4.20 - PROSPETTO SUD-EST - EDIFICIO SCUOLA

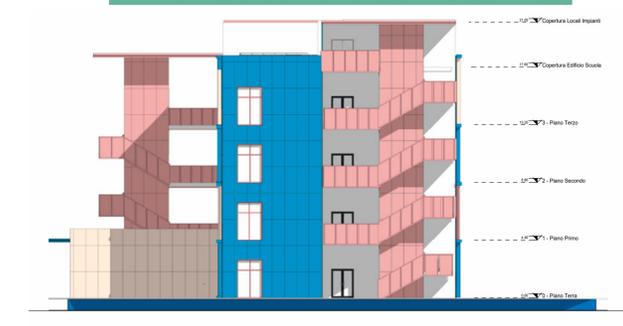


FIGURA 4.21 PROSPETTO SUD-EST - EDIFICIO PALESTRA E BAR E LOCALI TECNICI

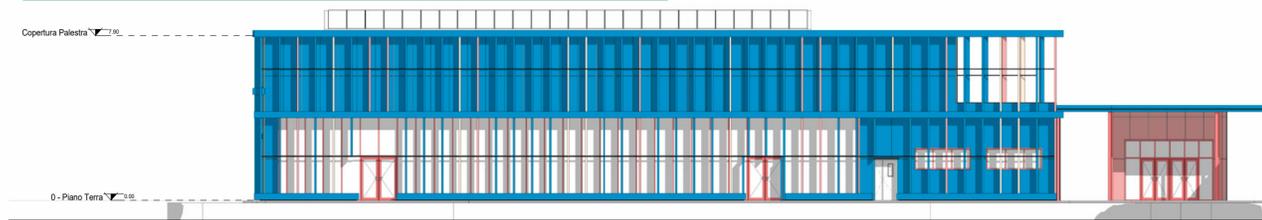


FIGURA 4.22 - PROSPETTO NORD-EST - EDIFICIO PALESTRA E BAR E LOCALI TECNICI



FIGURA 4.23 - PROSPETTO NORD-OVEST - EDIFICIO PALESTRA E BAR E LOCALI TECNICI

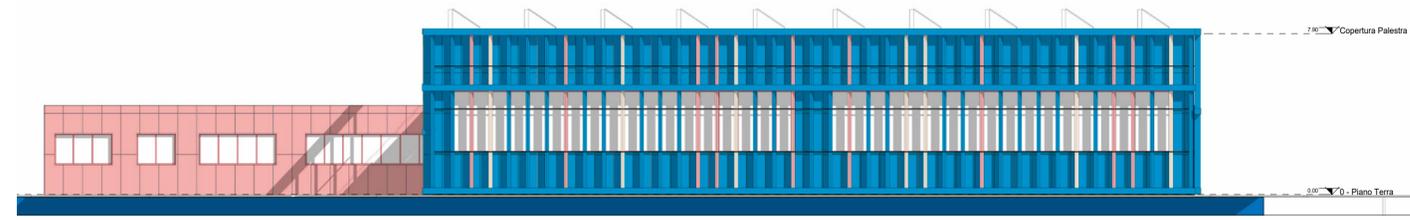


FIGURA 4.24 - PROSPETTO SUD-OVEST - EDIFICIO PALESTRA E BAR E LOCALI TECNICI

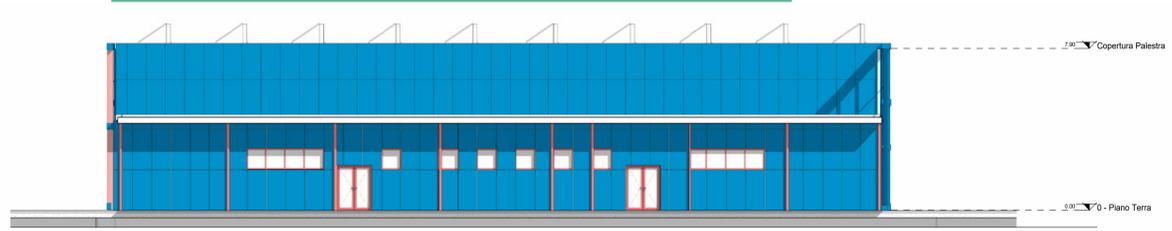
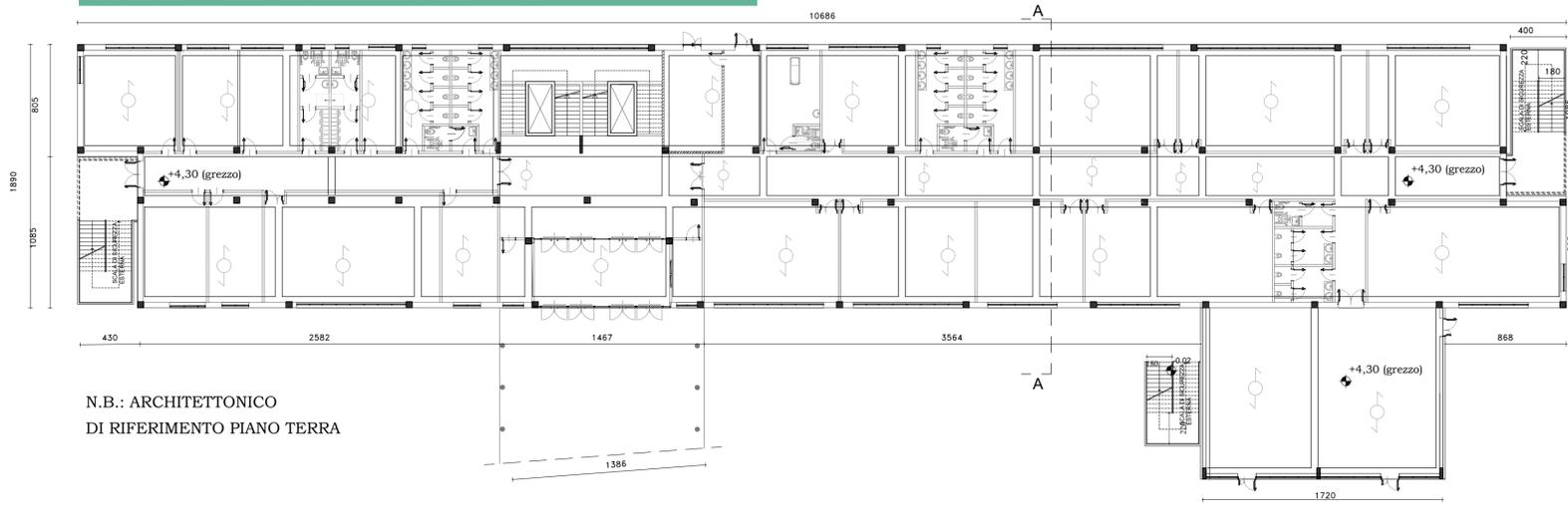


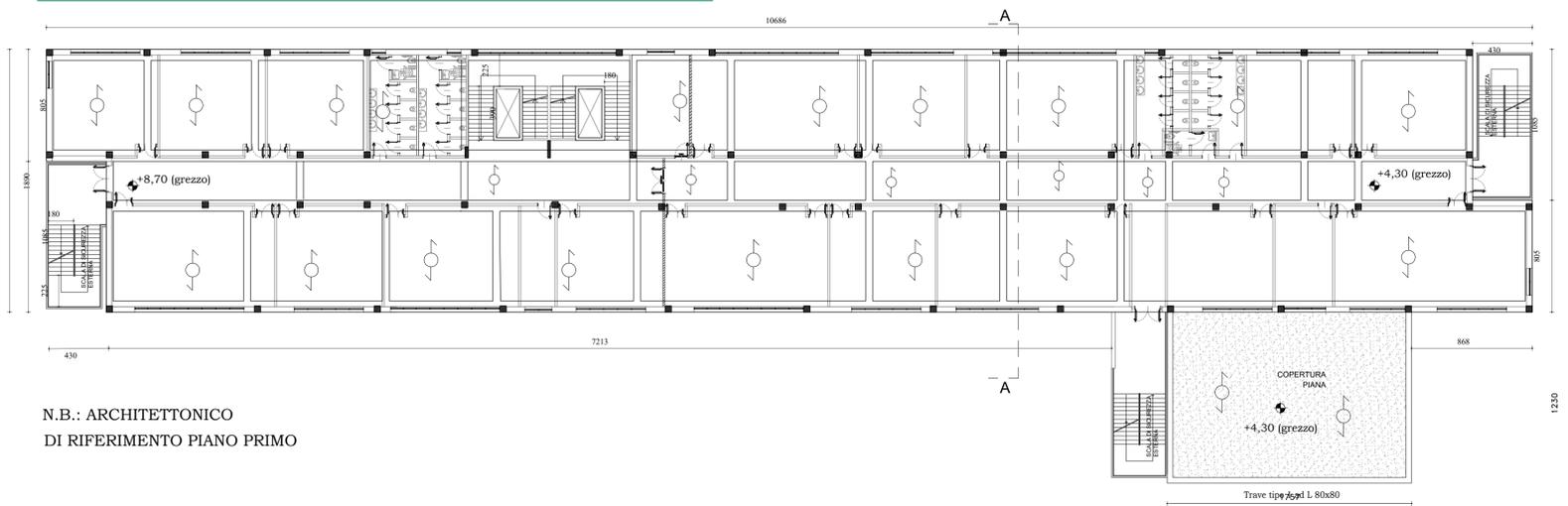
Figura 4.19 a 4.24. Elaborazione dall'autore basata su planimetria sviluppata per lo studio Esi Pro Srl.

FIGURA 4.25 - SCHEMA CARPENTERIA PIANO PRIMO SCUOLA



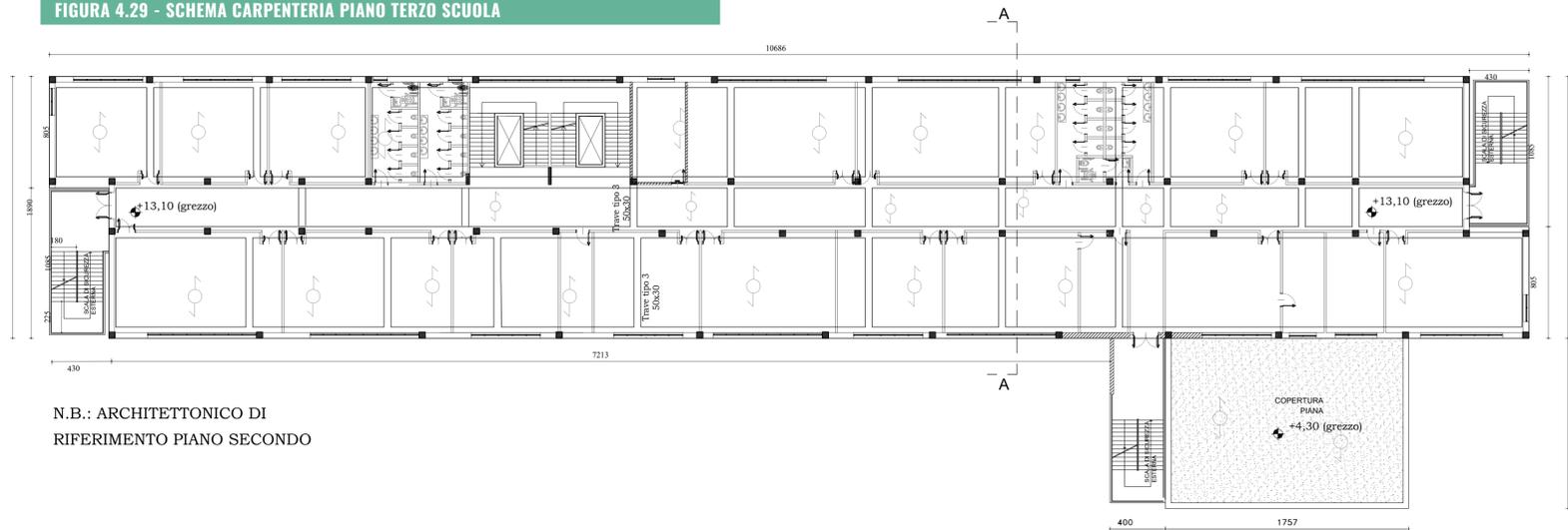
N.B.: ARCHITETTONICO
DI RIFERIMENTO PIANO TERRA

FIGURA 4.27 - SCHEMA CARPENTERIA PIANO SECONDO SCUOLA



N.B.: ARCHITETTONICO
DI RIFERIMENTO PIANO PRIMO

FIGURA 4.29 - SCHEMA CARPENTERIA PIANO TERZO SCUOLA



N.B.: ARCHITETTONICO DI
RIFERIMENTO PIANO SECONDO



Figura 4.25 a 4.30.
Progettazione strutturale per
Studio Ing. Rolando per Esi Pro
Srl.

FIGURA 4.26 - DETTAGLIO STRUTTURA PIANO PRIMO

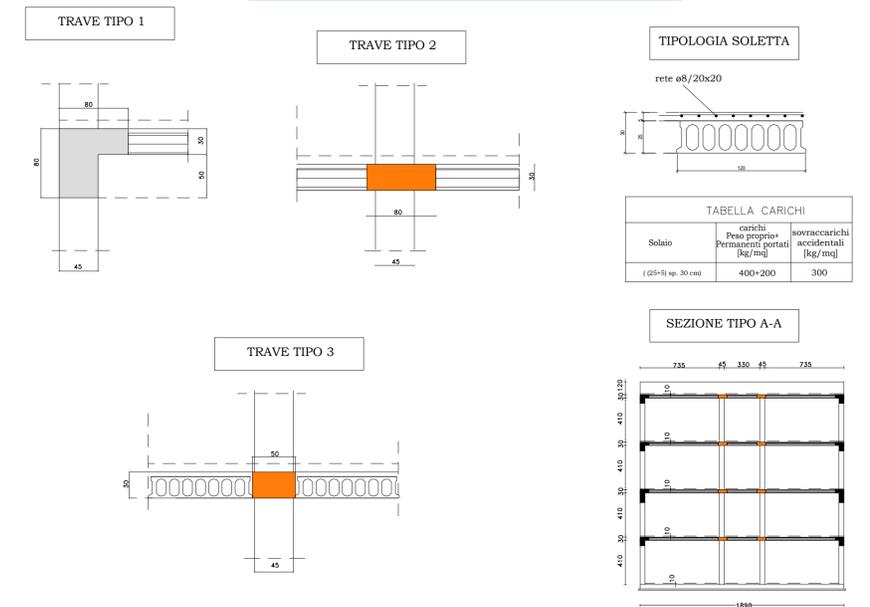


FIGURA 4.28 - DETTAGLIO STRUTTURA PIANO SECONDO

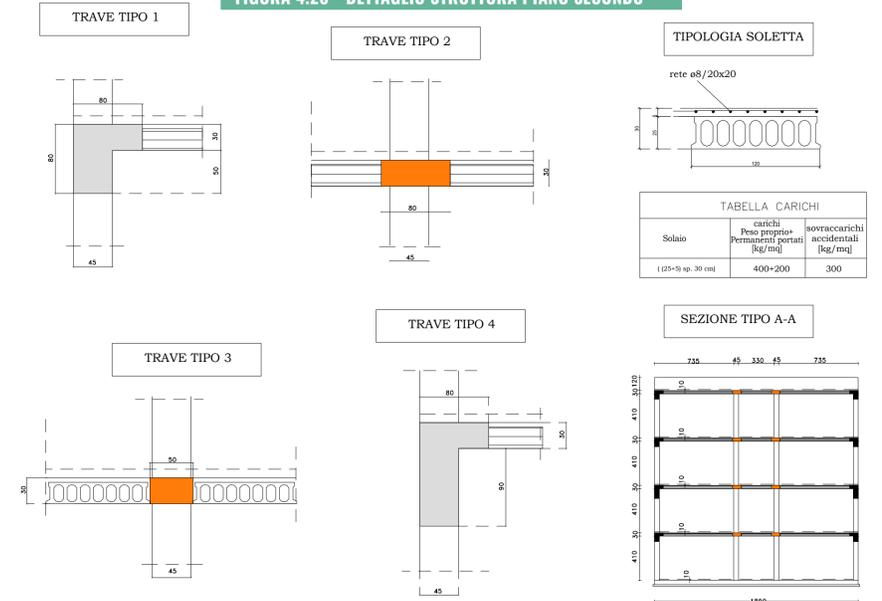


FIGURA 4.30 - DETTAGLIO STRUTTURA PIANO TERZO

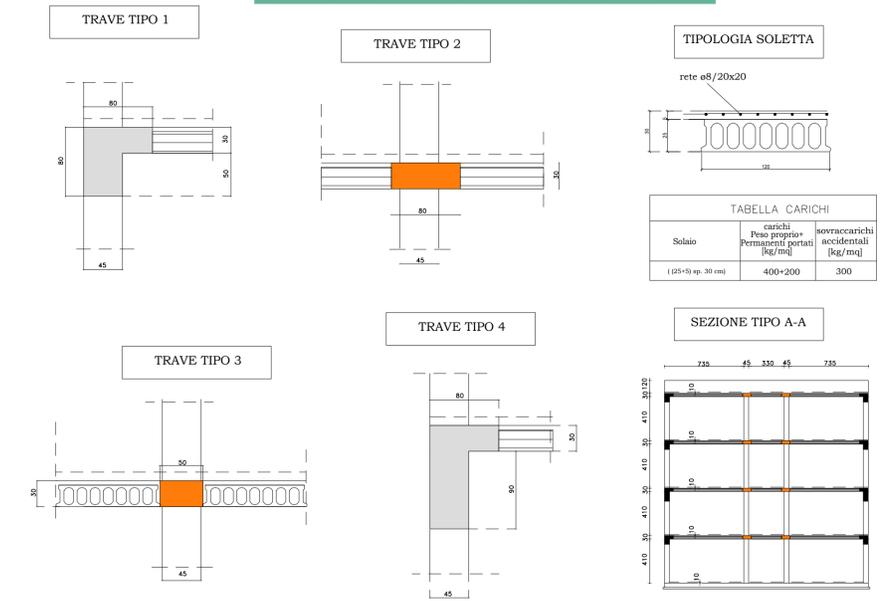
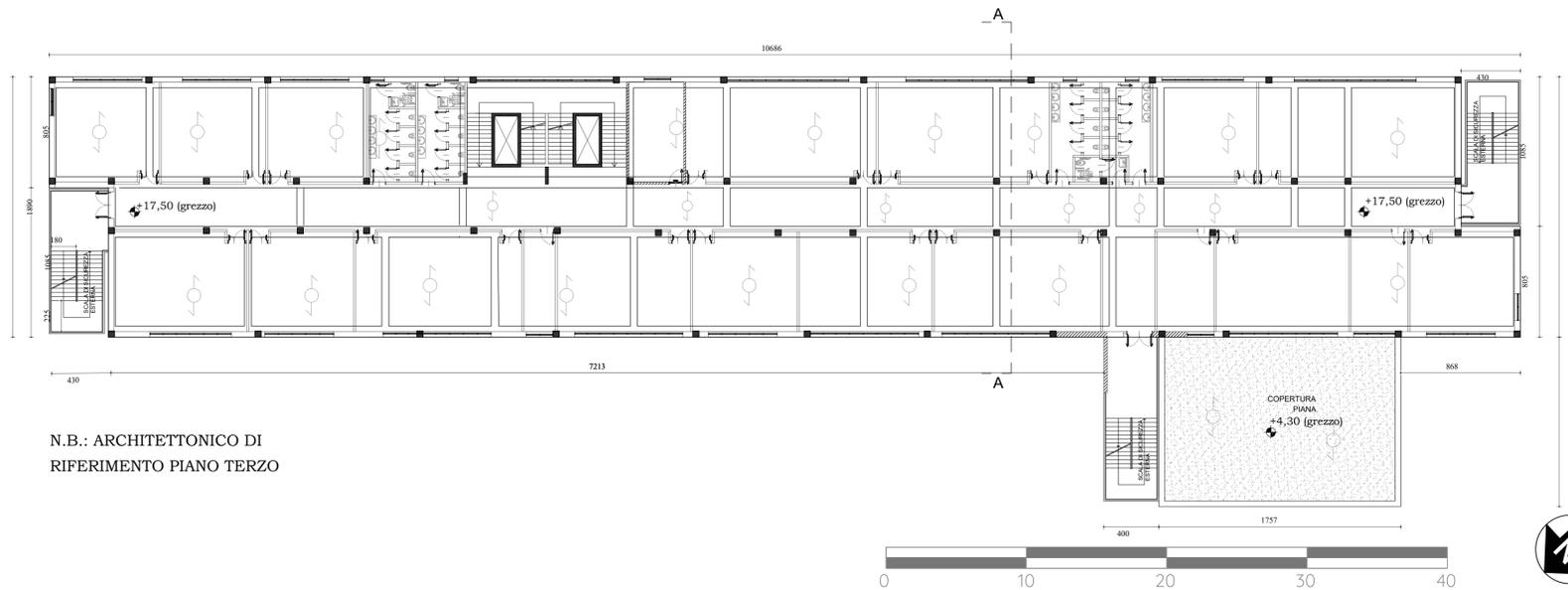


FIGURA 4.31 - SCHEMA CARPENTERIA PIANO TERZO SCUOLA



N.B.: ARCHITETTONICO DI RIFERIMENTO PIANO TERZO

Figura 4.31 e 4.32. Progettazione strutturale per Studio Ing. Rolando per Esi Pro Srl.

FIGURA 4.32 - DETTAGLIO STRUTTURA PIANO COPERTURA

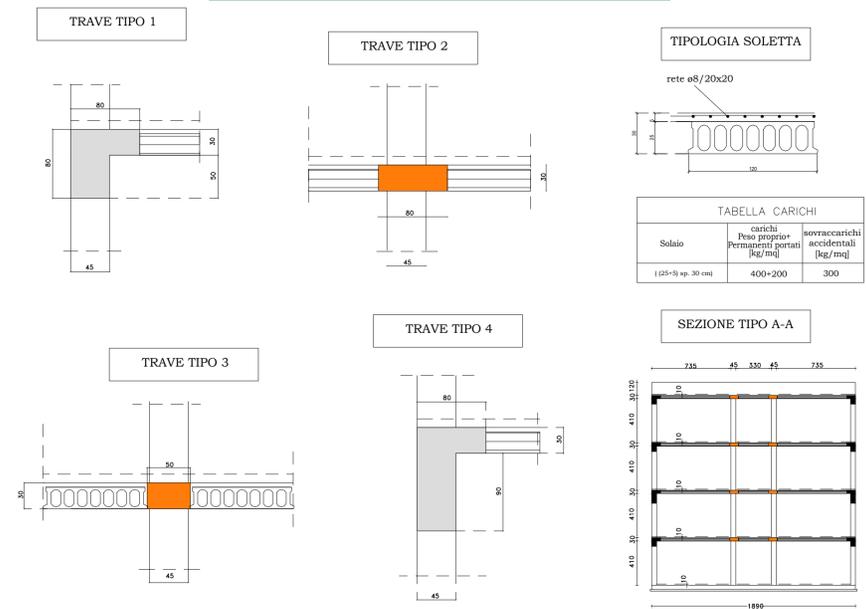
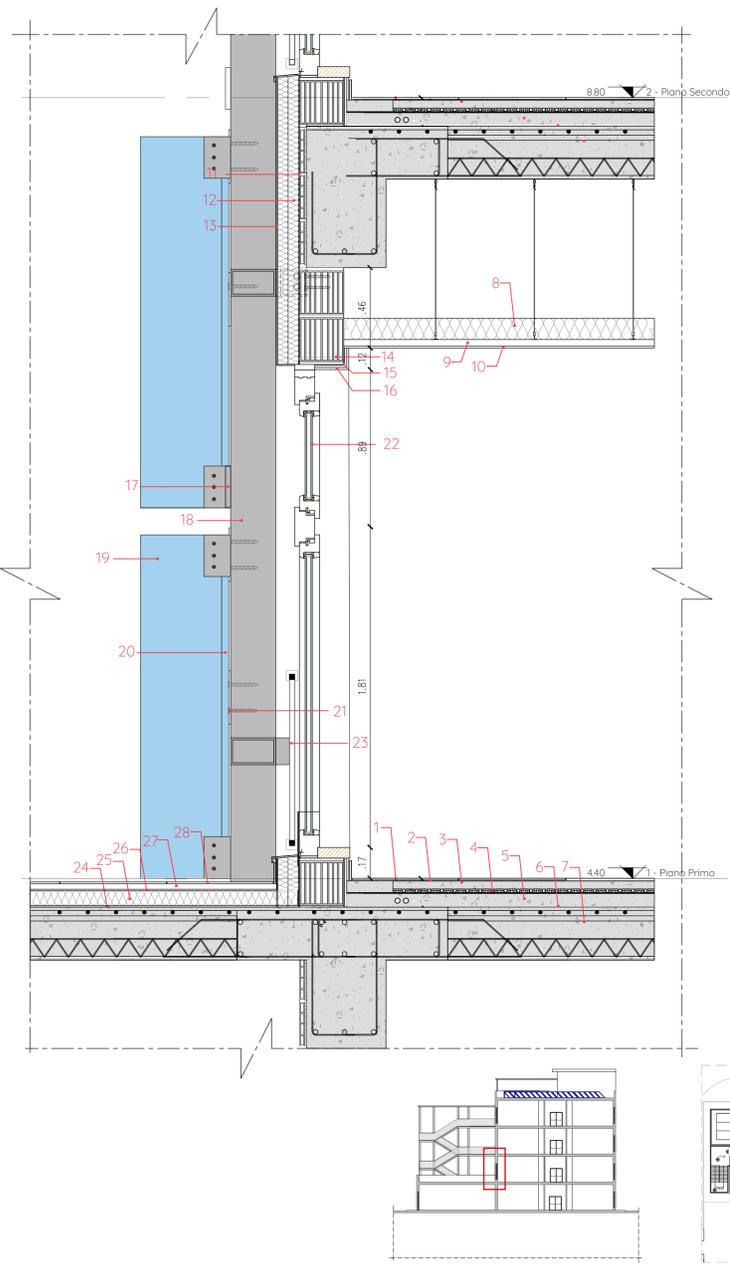


FIGURA 4.33 - DETTAGLIO COSTRUTTIVO INVOLUCRO EDILIZIO ESCALA 1:20



- PAVIMENTO/SOFFITO INTERNO**
- 1 - Pavimento in gres ceramico a tutta massa formato 30x60cm (aule per la didattica) e spazi per attività speciali
 - 2 - Collante
 - 3 - Massetto cementizio armato preconfezionato in centrale di betonaggio. Spessore min 5cm armato con rete elettrosaldata a maglia 10x10 e Ø4mm
 - 4 - Pannelli radianti a pavimento (nei locali in cui sono previsti) e strato isolante
 - 5 - Sottofondo di cemento alleggerito con argilla espansa / passaggio canalizzazioni impiantistiche
 - 6 - Telo di protezione
 - 7 - Solai prefabbricati tipo "predalles" o in alternativa solette piene in calcestruzzo armato o alveolari
 - 8 - Isolamento acustico
 - 9 - Struttura del controsoffitto
 - 10 - Controsoffitto in cartongesso
- PARETI (INTERIORE)**
- 14 - Tamponatura perimetrali da realizzarsi tramite l'utilizzo di blocchi in laterizio
 - 15 - Freno vapore
 - 16 - Doppia lastra di cartongesso
- INVOLUCRO**
- 17 - Sistema mobile per frangisole
 - 18 - Struttura metallica principale per il sistema sistema di schermatura e i pannelli di facciata
 - 19 - Frangisole mobile in lamiera microforata
 - 20 - Pannelli per rivestimento di facciata prefabbricati in lana minerale compressa con strato intermedio inorganico termoisulante (tipo rockpanel) spessore pari a 8 mm.
 - 21 - Ancoraggio pannelli di facciata
 - 22 - Finestra a doppio vetro basso emissivo con telaio in alluminio con apertura superiore verso l'interno
 - 23 - Parapetto anticaduta su struttura metallica ancorata alla parete
- PARETI (ESTERIORE)**
- 11 - Telo antivento
 - 12 - coibentazione a cappotto realizzata con pannelli termoisolanti incollati tramite uno strato adesivo
 - 13 - Rasatura + idropittura
- TERRAZZO - COPERTURA AULA MAGNA**
- 24 - Barriera al vapore
 - 27 - Pannello isolante
 - 28 - Membrana impermeabilizzante
 - 29 - Massetto
 - 30 - Pavimento in gres porcellanato per esterni

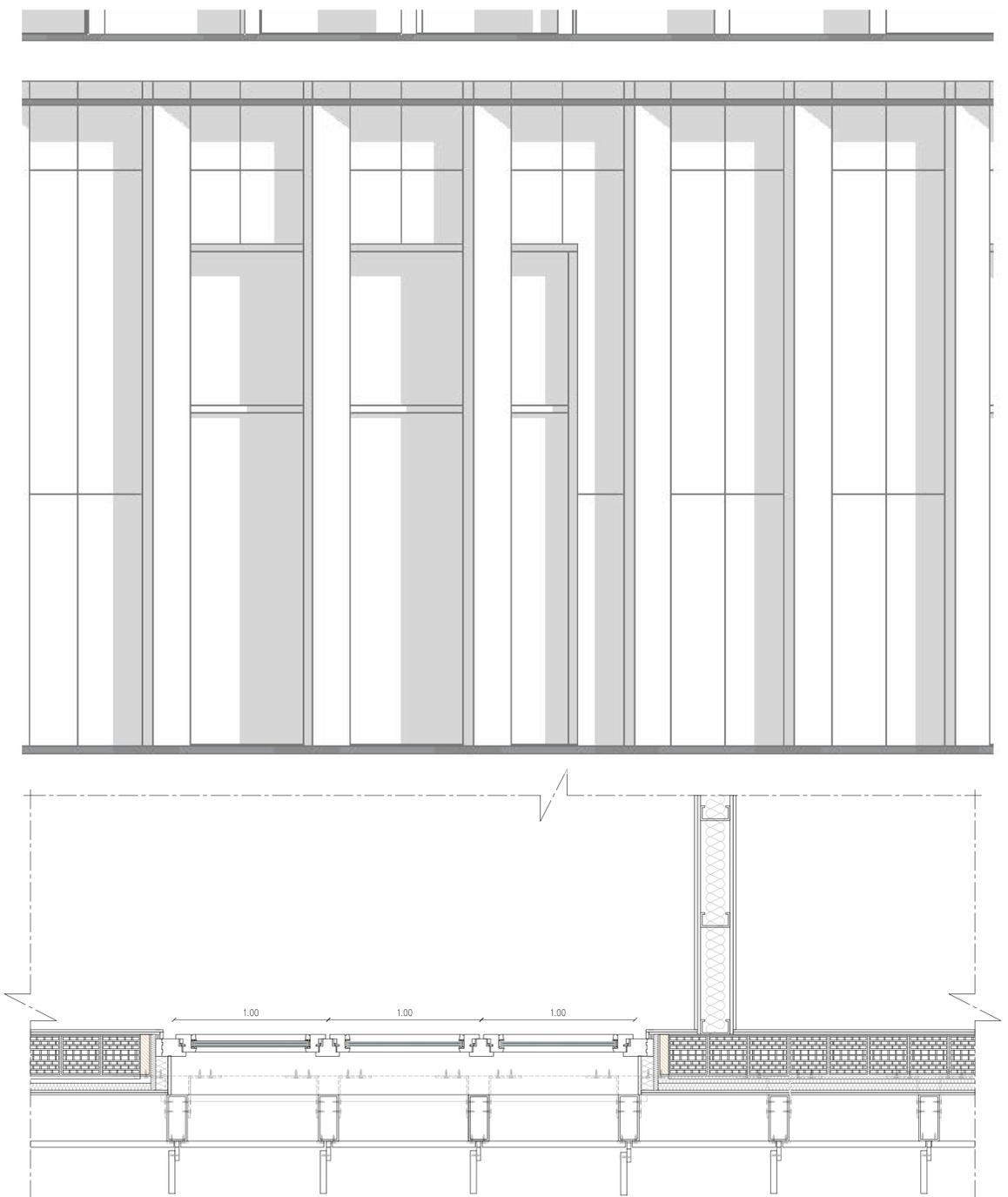


Figura 4.33. Elaborazione dall'autore.

FIGURA 4.34 - RENDER GENERALE



ESI.PRO
ARCHITETTURA E INGEGNERIA

Figura 4.34. Elaborazione dall'autore per Esi Pro Srl.

4.4.

ANALISI DELL'EDIFICIO: MATERIALI E STRATIGRAFIE, STRUTTURE OPACHE VERTICALI E ORIZZONTALI, COPERTURA E COMPONENTI FINESTRATI.

Per la progettazione degli edifici che compongono il progetto si hanno presso in considerazione diverse normative nell'ambito dei valori di trasmittanza (D.M. 26.06.2015), la normativa antincendi, il CAM e la normativa acustica

Per soddisfare i criteri ambientali minimi (CAM) i laterizi utilizzati per le tamponature perimetrali (che verranno descritti da seguito) saranno costituiti per almeno il 10% del peso del prodotto da materiale riciclato o recuperato.

Questo requisito deve essere dimostrato per l'Appaltatore tramite una dichiarazione ambientale di tipo III conforme alla norma UNI EN 15804 e alla norma ISO 14025 oppure attraverso un'asserzione ambientale del produttore conforme alla norma ISO 14021 che dovrà essere verificata da un organismo terzo che dimostri il rispetto del criterio.

Per quanto riguarda agli isolamenti termici ed acustici previsti nel progetto, questi materiali rispetteranno i seguenti requisiti di prevenzioni incendi e CAM:

- “L'isolante deve essere privo di ritardanti di fiamma che siano oggetto di restrizioni o proibizioni previste da normative nazionali o comunitarie applicabili;
- Non deve essere prodotto con agenti espandenti con un potenziale di riduzione dell'ozono superiore a zero;
- Non deve essere prodotto o formulato utilizzando catalizzatori al piombo quando spruzzati o nel corso della formazione della schiuma di plastica;
- Se prodotto da una resina di polistirene espandibile, gli agenti espandenti devono essere inferiori al 6% del peso del prodotto finito;
- Se costituiti da lane minerali, queste devono essere conformi alla nota Q o alla nota R di cui al regolamento (CE) n. 1272/2008 (CLP)[leggi anche Classificazione di pericolo e altri aspetti normativi] e s.m.i. (29)
- Se il prodotto finito contiene uno o più dei componenti elencati nella seguente tabella, questi devono essere costituiti da materiale riciclato e/o recuperato secondo le quantità minime indicate, misurato sul peso del prodotto finito”³⁰

In materia di normativa acustica il riferimento normativo di base è il D.P.C.M 5 dicembre 1997 “Determinazione dei requisiti acustici

³⁰ Redazione Tecnica. 2020. “Superbonus 110%, Pannelli Isolanti Devono Rispettare I CAM | Ediltecnico.it.” Ediltecnico. July 27, 2020. <https://www.ediltecnico.it/79371/superbonus-110-i-pannelli-isolanti-devono-rispettare-i-cam/>.

L'informazione descritta in questo capitolo è stata presa dal capitolato speciale descrittivo e prestazione del progetto di fattibilità sviluppato per lo studio di architettura e ingegneria Esi Pro Srl. e ristrutturate ai fini di questa tesi dall'autore.

Tabella 4.5: Percentuali quantità di materiali riciclato e/ recuperato

	Isolante in forma di pannello	Isolante stipato, a spruzzo/insufflato	Isolante in materassi
Celulosa		80%	
Lana di vetro	60%	60%	60%
Lana di roccia	15%	15%	15%
Perlite espansa	30%	40%	8%-10%
Fibre in poliestere	60-80%		60 - 80%
Polistirene espanso	dal 10% al 60% in funzione della tecnologia adottata per la produzione	dal 10% al 60% in funzione della tecnologia adottata per la produzione	
Polistirene estruso	dal 5 al 45% in funzione della tipologia del prodotto e della tecnologia adottata per la produzione		
Poliuretano espanso	1-10% in funzione della tipologia del prodotto e della tecnologia adottata per la produzione	1-10% in funzione della tipologia del prodotto e della tecnologia adottata per la produzione	
Agglomerato di Poliuretano	70%	70%	70%
Agglomerati di gomma	60%	60%	60%
Isolante riflettente in alluminio			15%

passivi degli edifici”.

In questa normativa si definiscono le prestazioni che gli edifici devono avere con rispetto a:

- Isolamento dai rumori aerei tra differenti unità immobiliari
- Isolamento dai rumori esterni
- Isolamento dai rumori da calpestio
- Isolamento dai rumori di impianti a funzionamento continuo e discontinuo
- Tempo di riverbero (per aule e palestre delle scuole), secondo i seguenti parametri:
 - R'_w Indice del potere fono-isolante apparente;
 - L'_{nw} Indice del livello di rumore di calpestio dei solai, normalizzato rispetto all'assorbimento acustico;
 - $D_{2m,nT,w}$ Indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata, normalizzato rispetto al tempo di riverberazione;
 - L_{ASmax} Livello di pressione sonora ponderata A misurata con costante di tempo Slow;
 - L_{Aeq} Livello equivalente di pressione sonora ponderata A.

Per ogni uno di questi criteri ci sono valori da rispettare in opera reportati nelle seguenti tabelle in funzione delle diverse destinazioni d'uso.

In particolare i valori di R'_w e $D_{2m,nT,w}$ sono valori minimi pertanto più sono alti i valori rilevati migliore è l'isolamento acustico offerto dall'elemento costruttivo oggetto di verifica, mentre L'_{nw} , L_{ASmax} , L_{Aeq} sono valori massimi, pertanto più sono bassi i valori rilevati migliore è l'isolamento acustico raggiunto.

Per il nostro caso si fa riferimento agli edifici di Categoria E.

- R'_w indice del potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti (R') in opera (w) tra aule in orizzontale ≥ 50 dB;

Tabella 4.6: Classificazione acustica degli edifici per destinazione d'uso

Categoria A:	edifici adibiti a residenza o assimilabili
Categoria B:	edifici adibiti ad uffici e assimilabili
Categoria C:	edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
Categoria D:	edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
Categoria E:	edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
Categoria F:	edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
Categoria G:	edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

Tabella 4.7: Valori limite dei parametri acustici

Categorie di cui alla Tab. A	Parametri				
	R' _w	D _{2m,n,T,w}	L' _{n,w}	L _{ASmax}	L _{Aeq}
D	55	45	58	35	25
A, C	50	40	63	35	25
E	50	48	58	35	25
B, F, G	50	42	55	35	35

- b. $D_{2m,n,T,w}$ indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,n,T}$) in opera (w) ≥ 48 dB;
- c. $L'_{n,w}$ indice del livello di rumore di calpestio di solai normalizzato tra aule in verticale ($L'n$) in opera (w) ≥ 58 dB;

Per quanto riguarda gli impianti la rumorosità prodotta non dovrà superare i seguenti limiti:

- a. L_{ASmax} con costante di tempo slow per i servizi a funzionamento discontinuo (ad es. scarichi dei bagni o ascensori) ≤ 35 dB;
- b. L_{Aeq} per i servizi a funzionamento continuo (ad es. pompe della centrale termica) ≤ 25 dB.

Recentemente la normativa UNI 11532-2:2020 e in Lombardia la L.R. 11/2020 hanno introdotto delle novità nella valutazione del tempo di riverberazione ottimale per ambienti scolastici e nel progetto acustico per edifici nZEB.

Il Decreto 11 ottobre 2017 obbliga le pubbliche amministrazioni a richiedere nelle gare di appalto degli edifici pubblici il rispetto di Criteri Ambientali Minimi (CAM) e particolare attenzione è rivolta ai requisiti di efficienza energetica ed acustica.

In Regione Lombardia, inoltre, la L.R. 11/2020, meglio conosciuta come Legge di semplificazione 2020, ha introdotto alcune interessanti variazioni alla legislazione di riferimento in materia di

acustica a livello regionale, cioè la L.R. 13/2001: i progetti di edifici di nuova costruzione, quindi gli edifici catalogati come nZEB per il calcolo energetico, dovranno essere corredati da valutazione e dichiarazione da parte di tecnico competente in acustica che ne attesti il rispetto dei requisiti acustici richiesti dal DPCM 5-12-1997.

Dato che le prestazioni acustiche richieste in un ambiente dipendono fortemente dalle attività a cui saranno destinati, la norma fornisce innanzitutto un prospetto che classifica le possibili destinazioni d'uso:

Una volta definita la categoria, la norma spiega come calcolare il tempo di riverberazione ottimale Tot dell'ambiente, in funzione

Tabella 4.8: Classificazione acustica per attività svolta nell'ambiente

Categoria	Attività svolta nell'ambiente
A1	Musica
A2	Parlato /conferenza
A3	Lezione/comunicazione come parlato/ conferenza (aule grandi) interazione insegnante studente
A4	Lezione/comunicazione, incluse aule speciali
A5	Sport
A6	Aree e spazi non destinati all'apprendimento e biblioteche

del volume V.

Per gli ambienti appartenenti alla categoria A6 la norma fornisce un valore ottimale del tempo di riverberazione in funzione dell'area di assorbimento acustico A, del volume netto V e della altezza h dell'ambiente in esame.

La norma UNI 11532-2 specifica anche il tipo di occupazione dell'ambiente che è stata considerata nella stima del tempo di riverberazione ottimale: in generale si tratta dello stato arredato ed occupato all'80% della capienza indicata a progetto, solo per gli ambienti in categoria A.5 si è considerato un ambiente non

STRATIGRAFIA DEGLI ELEMENTI OPACHI VERTICALI - SCUOLA

Involucro e finiture esterne

L'informazione descritta in questo capitolo è stata presa dal capitolato speciale descrittivo e prestazione del progetto di fattibilità sviluppato per lo studio di architettura e ingegneria Esi Pro Srl. e ristrutturate ai fini di questa tesi dall'autore.

Per la progettazione dell'involucro si hanno presso in considerazione i parametri normativi precedentemente menzionati (D.M. 26.06.2015) per l'edificio di riferimento relativi al periodo 2019/2021 ($U=0.26W/m^2K$).

La tipologie delle pareti che compongono l'involucro della scuola è costituita da diversi strati evidenziati nella seguente figura:

Figura 4.35: Schema Involucro Edificio Scolastico

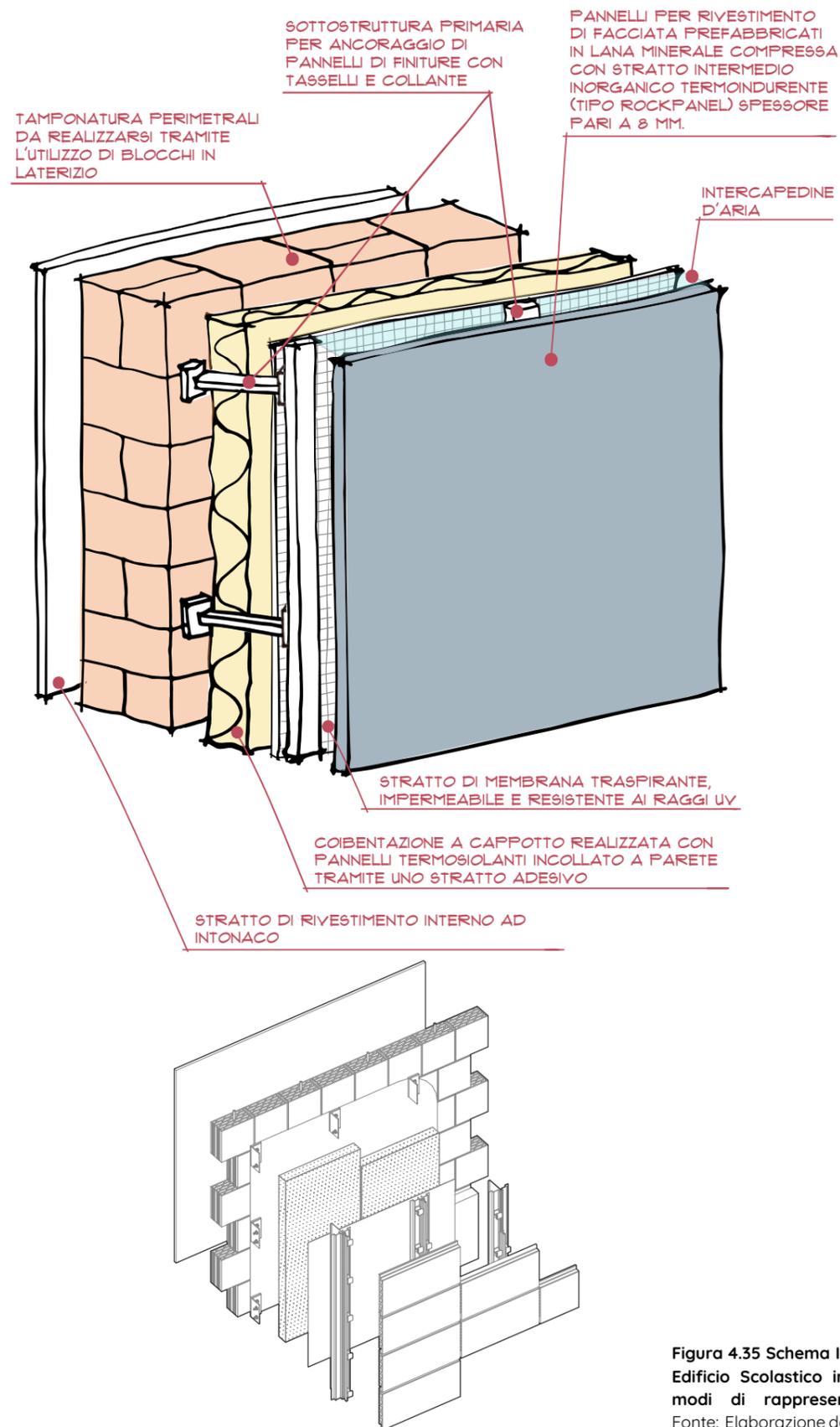


Figura 4.35 Schema Involucro Edificio Scolastico in diversi modi di rappresentazione. Fonte: Elaborazione dell'autore

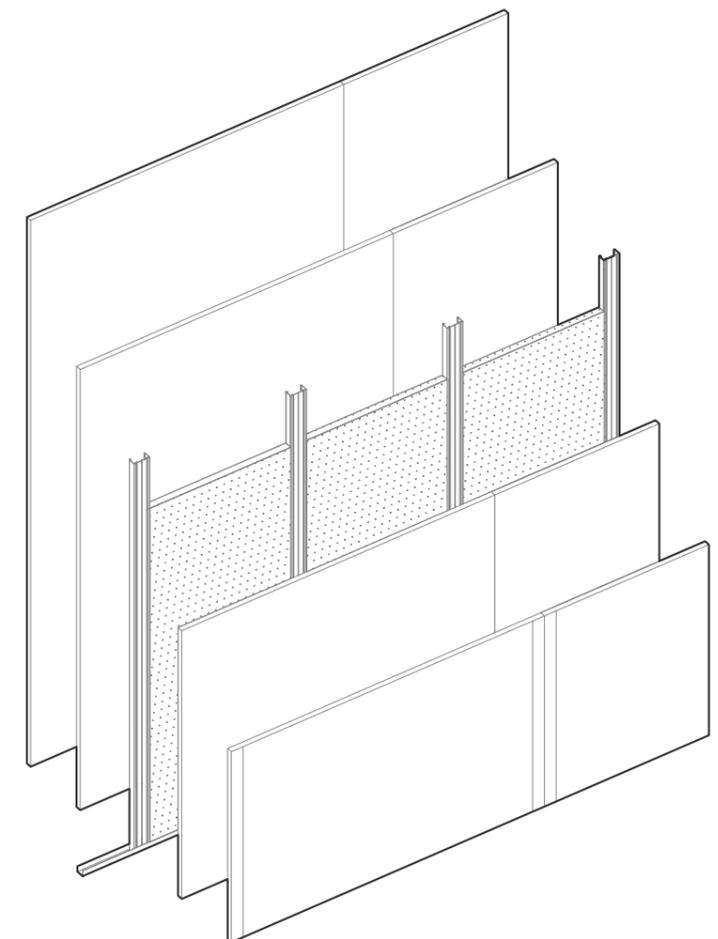
PARTIZIONI INTERNE (Edificio scolastico e palestra)

Le partizioni interne saranno tipo "a secco" per cui si utilizzeranno pareti in cartongesso per la realizzazione dei divisori secondari. Saranno composte da una singola orditura metallica con doppio rivestimento per lato, in pannelli di cartongesso da 12,5 mm e con strato isolante termoacustico in lana di roccia posto in opera nello spessore dell'orditura metallica.

Si prevede una orditura metallica verticale (1 montante ogni 40 cm lineari) e una struttura per il fissaggio della lavagna nella parete corrispondente in ogni aula.

Riguardo alle divisione interne principali cioè tra depositi/centrale termica e locali con presenza continuativa di persone si prevede l'utilizzo di blocchi cavi di cemento con finitura intonacata, mentre i muri divisori dei locali wc saranno realizzati in laterizio con finitura intonacata e le divisioni interni tagliafuoco da realizzarsi in blocchi cavi di cemento con finitura intonacata o faccia a vista aventi le caratteristiche REI necessarie.

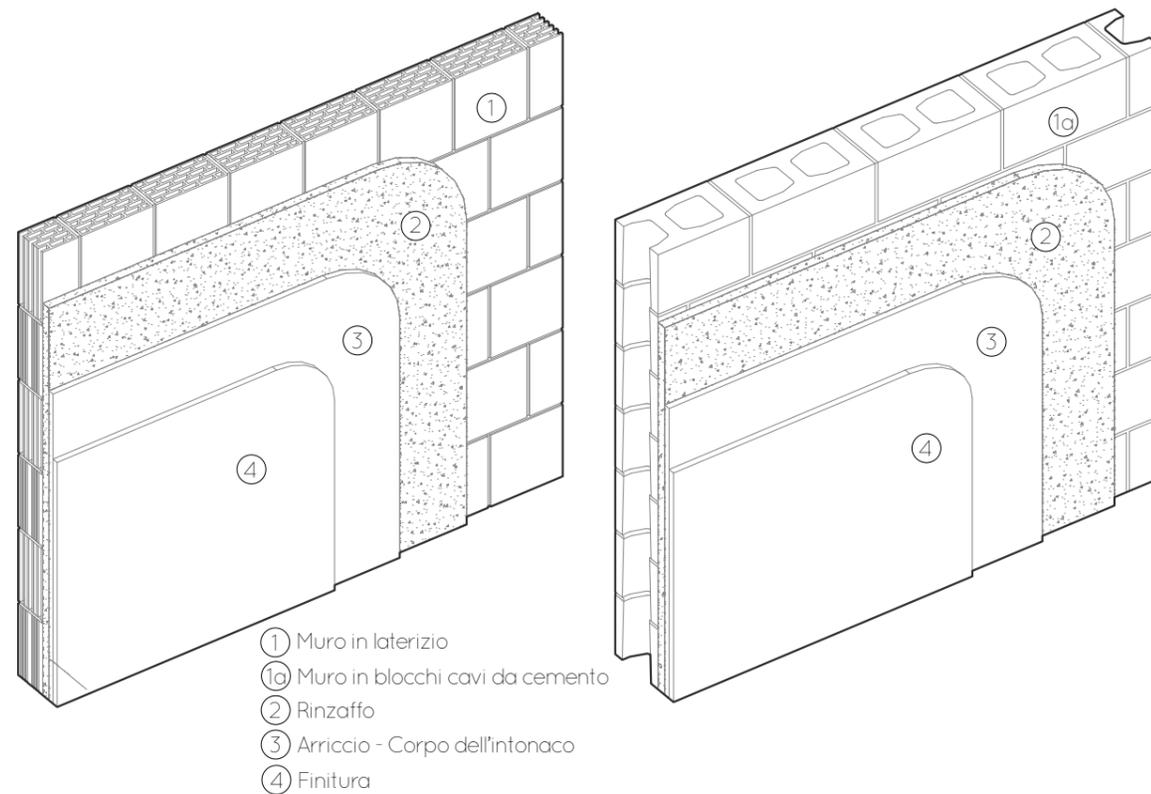
Figura 4.36: Partizioni interne in cartongesso



L'informazione descritta in questo capitolo è stata presa dal capitolato speciale descrittivo e prestazione del progetto di fattibilità sviluppato per lo studio di architettura e ingegneria Esi Pro Srl. e ristrutturate ai fini di questa tesi dall'autore.

Figura 4.36. Elaborazione dell'autore

Figura 4.37: Partizioni tradizionali in blocchi cavi di cemento e laterizio previsti per i depositi



Parete mobili insonorizzate

Con l'idea di generare elementi che consentano la maggiore flessibilità spaziale possibile per lo svolgimento delle attività scolastiche e per consentire spazi più ampi che rispondano alle esigenze dell'educazione contemporanea, sono state previste pareti mobili tra alcuni spazi (aule e/o laboratori).

Queste pareti mobili avranno un'altezza del vano, saranno installate per mezzo di singoli elementi in grado di manovrare nelle diverse direzioni su guide scorrevoli in alluminio, fissate al soffitto.

Componenti della parete:

- Telaio costituito da profili in acciaio e alluminio saldati tra loro e predisposto per il fissaggio dei pannelli del soffitto
- Isolamento acustico con pannelli in lana di roccia (potere fono-isolante delle partizioni interne > 40 dB);
- Rivestimento con pannelli di truciolato di 16 mm di spessore;
- Inserimento di porte a battente singole o doppie;
- Spessore massimo di 108 mm.

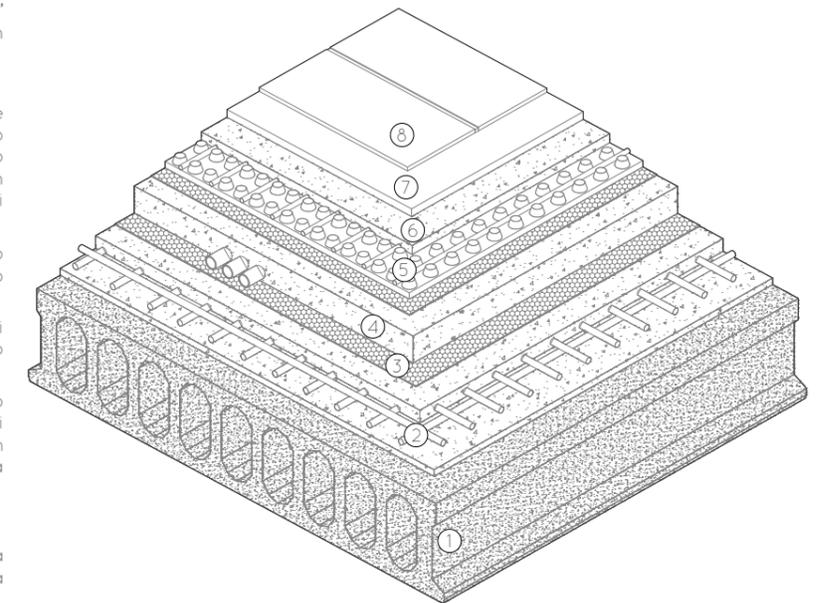
Figura 4.37 e 4.38.
 Elaborazione dell'autore.

STRATIGRAFIA DEGLI ELEMENTI OPACHI ORIZZONTALI - SCUOLA SOLAI

Come indicato nella descrizione della struttura dell'edificio, i solai del terreno, i solai interpiano e il solaio della copertura saranno costituiti da elementi prefabbricati del tipo "predalles" o, in alternativa, da solai riempiti di calcestruzzo armato. Gli elementi che completano la stratigrafia dell'elemento orizzontale saranno realizzati come segue:

Figura 4.38: Stratigrafia solaio tipo

- ① Solaio prefabbricato tipo "predalles" o in alternativa solette piene in calcestruzzo armato o alveolari
- ② Rete Ø8
- ③ Isolamento acustico tramite tappetino fonoassorbente realizzato con membrana di bitume polimero elastomerica accoppiata ad un tessuto non tessuto e ad uno strato di fibra di poliestere
- ④ Sottofondo di cemento alleggerito con argilla espansa / passaggio canalizzazioni impiantistiche
- ⑤ Pannelli radianti a pavimento (nei locali in cui sono previsti) e strato isolante
- ⑥ Massetto cementizio armato preconfezionato in centrale di betonaggio. Spessore min 5cm armato con rete elettrosaldata a maglia 10x10 e Ø4mm
- ⑦ Collante
- ⑧ Pavimento in gres ceramico a tutta massa formato 30x60cm (aule per la didattica) e spazi per attività speciali



Il tipo di pavimento in gres ceramico descritto nell'immagine precedente sarà utilizzato per gli spazi didattici ordinari e per gli spazi destinati alle attività speciali, e lo stesso tipo ma in formati diversi per i locali accessori e gli ambienti umidi come i servizi igienici, spogliatoi, ecc. con le rispettive impermeabilizzazioni in uno strato di malta cementizia bicomponente elastica a base di leganti cementizi, inerti selezionati di grana fine, fibra sintetica, additivi speciali e polimeri sintetici, mentre per i locali tecnici sarà utilizzato il cls elicotterato.

Per quanto riguarda i controsoffitti, questi saranno realizzati nei locali destinati alla attività collettiva cioè aule e laboratori, aula magna, superficie connettive, ecc, e saranno in fibra minerale su una struttura metallica di supporto formata da profili a T sospesi al soffitto con una pendenza regolabile.

Nei locali tecnici non è prevista la installazione dei controsoffitti. Inoltre, nei locali umidi, i pannelli di cartongesso dei controsoffitti saranno resistenti all'umidità.

I controsoffitti avranno un contenuto pari al 5% in peso di materie riciclate e/o recuperate e/o dei sottoprodotti.

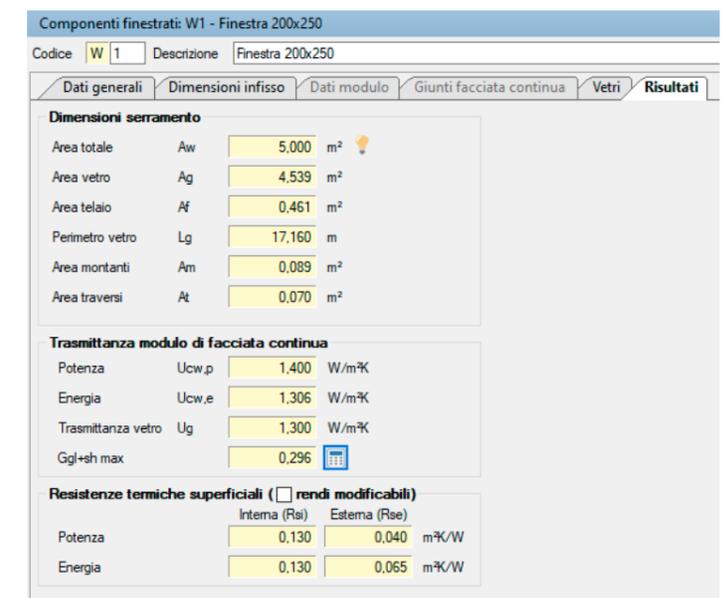
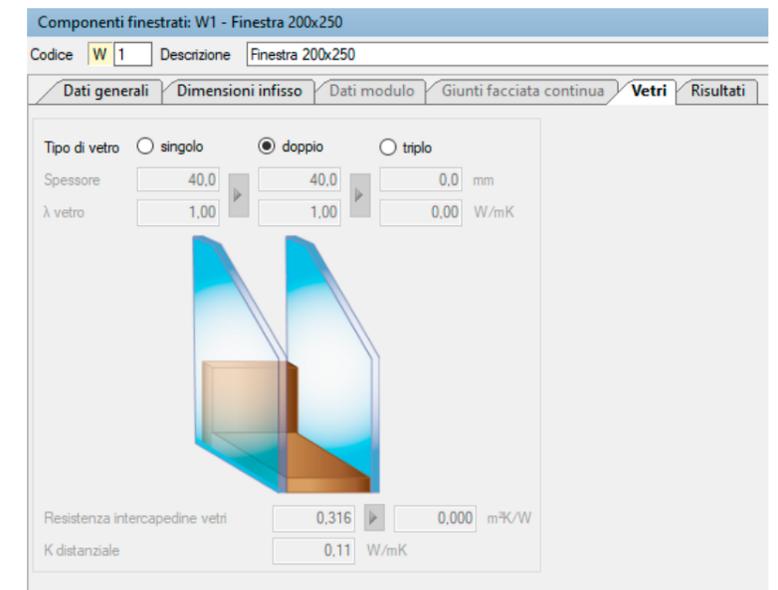
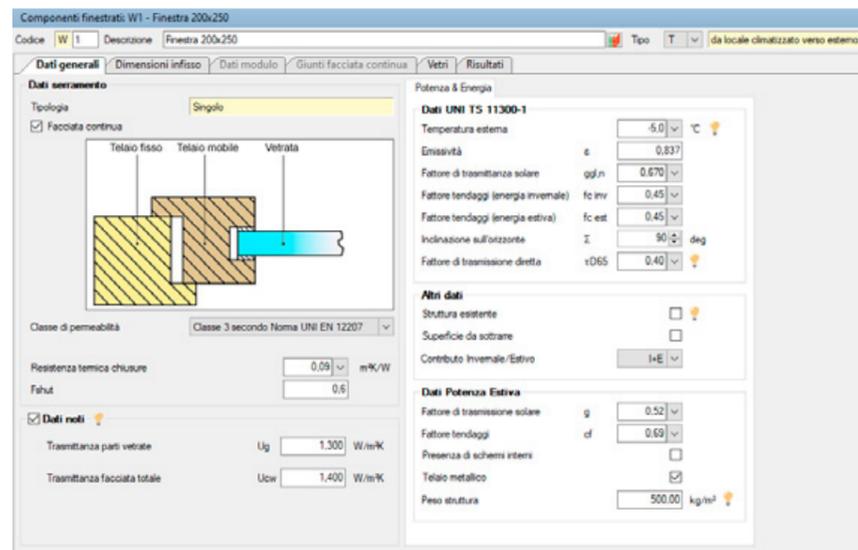
DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI TRASPARENTI - SCUOLA

Come indicato nel corso della tesi e sulla base dei file allegati che fanno riferimento allo standard NZEB, in base alla zona climatica in questione (zona climatica E), gli involucri trasparenti devono avere un valore di trasmittanza termica (U) non superiore a 1,40 W/m²K.

I serramenti metallici esterni saranno composti da telaio in profilati in alluminio con taglio termico e vetro tipo basso-emissivo. Il serramento sarà classificato con valore minimo classe 3. Le aperture saranno di tipologia a battente e/o vasistas a seconda della destinazione d'uso del locale.

Come menzionato precedentemente per il calcolo energetico si ha utilizzato il software Edilclima dove si sono inseriti i dati e le caratteristiche dei serramenti come si illustra nelle seguenti immagini:

Figura 4.39: Tipologia di serramenti dell'edificio scolastico



SISTEMI DI CONTROLLO DELLA LUCE SOLARE- SCUOLA

Il progetto prevede l'installazione di sistemi di ombreggiamento per orientare la luce e controllare l'abbagliamento, nella consapevolezza che questo fattore può essere determinante per lo svolgimento delle attività scolastiche all'interno degli spazi. Questo sistema sarà installato soprattutto sulle facciate esposte a sud-est.

Questi dispositivi rispetteranno le prestazioni di schermatura solare di classe 2 o superiore come definito nella norma UNI EN 14501:2006.

I frangisole saranno costituiti da lamelle ellissoidali in alluminio estruso di dimensioni pari a 150x35 mm, mentre la loro struttura sarà composta da profili verticali tubolari con dimensioni di 60x60

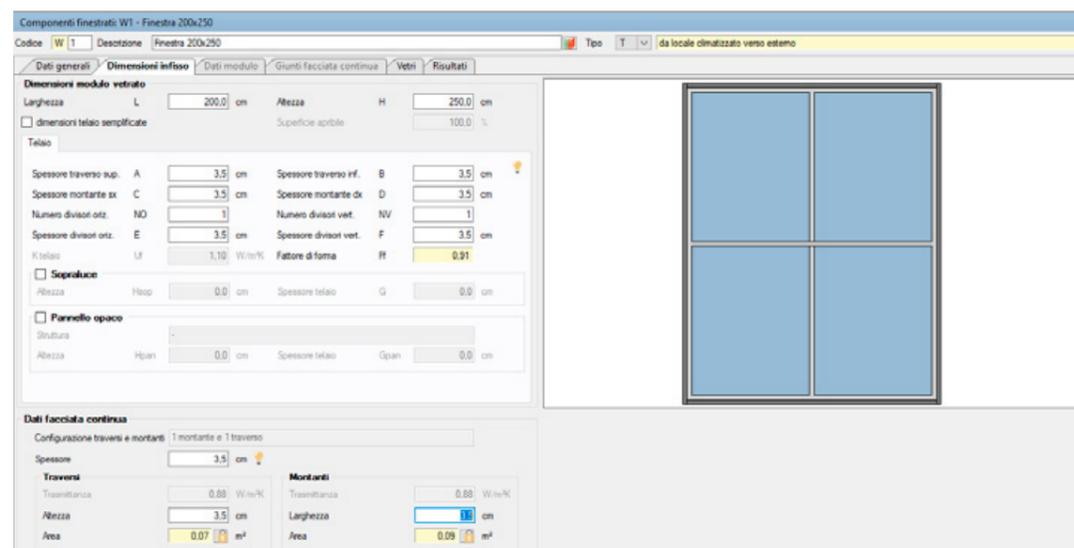
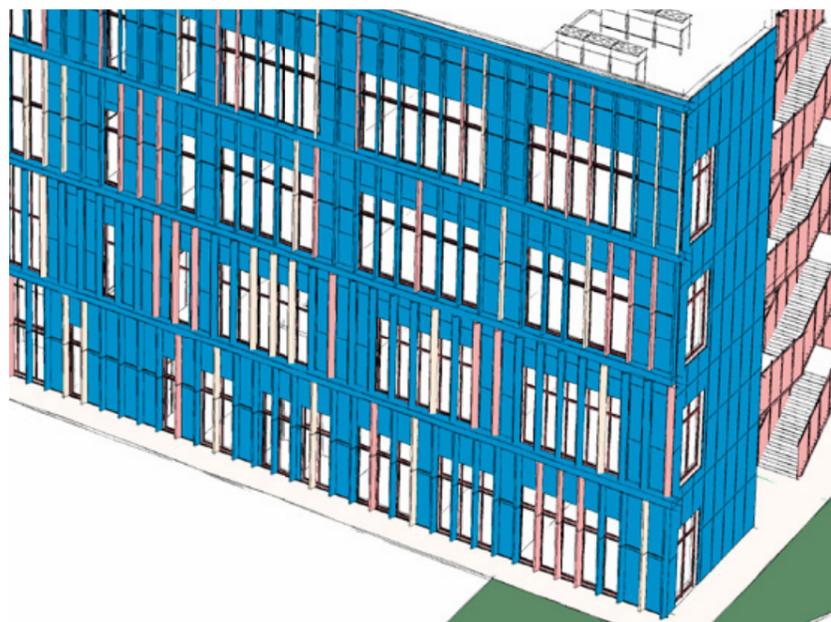


Figura 4.40 Catture di immagini software Edilclima.

mm. Anche le barre di orientamento saranno realizzate in alluminio estruso con dimensioni di circa 30x20 mm.

Ogni modulo formato dai montanti avrà una lunghezza di 3100 mm e un'altezza di 4000 mm (Figura 4.33).

Figura 4.40: Sistema di ombreggiamento



SCALE

Per le scale dell'edificio si prevede la fornitura e la posa in opera di due scale in carpenteria metallica che servono come vie di fuga e per l'accesso a copertura.

Figura 4.41: Scale



STRATIGRAFIA DEGLI ELEMENTI OPACHI VERTICALI - PALESTRA

Per quanto riguarda all'involucro dell'edificio corrispondente alla palestra scolastica, le pareti saranno costituite da pannelli prefabbricati in calcestruzzo con interposto isolante termico-acustico, in cui dal lato interno sarà fornita una controparete in cartongesso con pannelli ad alta densità, invece dal lato esterno della facciata sarà fornita una struttura autoportante per l'ancoraggio dei pannelli per rivestimento di facciata (tipo Rockpanel) di spessore pari a 8mm.

Figura 4.42: Schema Involucro Edificio Palestra

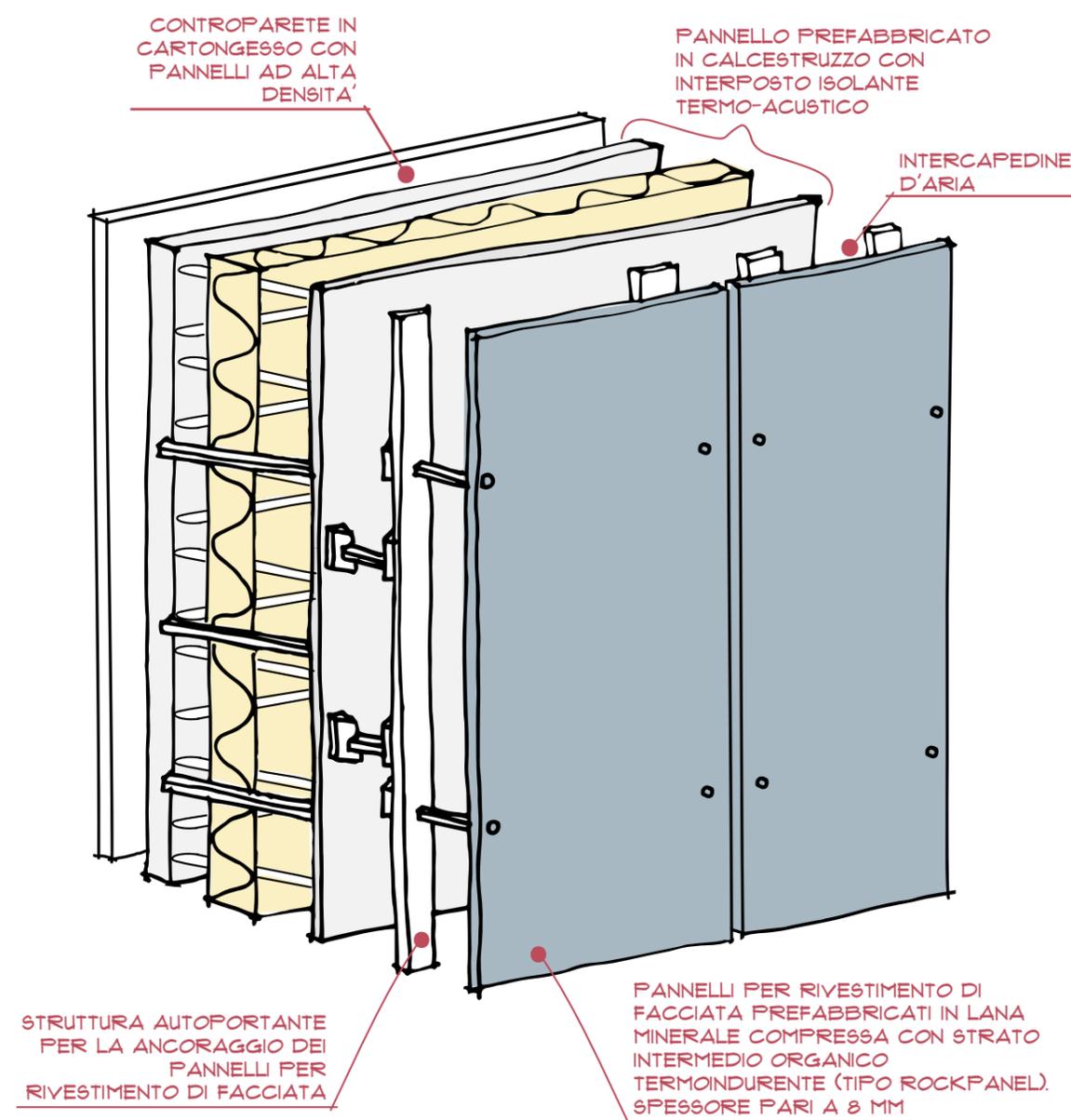


Figura 4.40 a 4.42.
Elaborazione dall'autore.

PARETI MOBILI- PALESTRA

Per la separazione dell'area di gioco, verrà fornita una tenda divisoria mobile. Sarà costituito da una doppia pelle di vinipelle con intercapedine di 40/50 cm attivata da dispositivi elettromeccanici.

DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI TRASPARENTI - PALESTRA

Per quanto riguarda gli elementi trasparenti dell'edificio della palestra, sono state previste due tipologie diverse, divise per spazio:

1. Telaio in alluminio con superficie trasparente in policarbonato alveolare con protezione dai raggi U.V. su entrambi i lati e resistenza al fuoco Euro Classe B-s2, d0, classe 1 EN 13501-1. Questa tipologia sarà utilizzata nelle aperture del campo da gioco.
2. Telaio in alluminio con superficie trasparente in vetro basso emissivo. Il serramento sarà classificato con valore minimo: Classe 3. Questa tipologia sarà utilizzata nei locali accessori della palestra.

Entrambi tipologie rispettano i criteri NZEB secondo la normativa riguardo ai valori di trasmittanza già menzionati precedentemente per il caso del 'edificio scolastico.

Figura 4.43: Tipologia di serramenti con superfici trasparenti in policarbonato dell'edificio della palestra

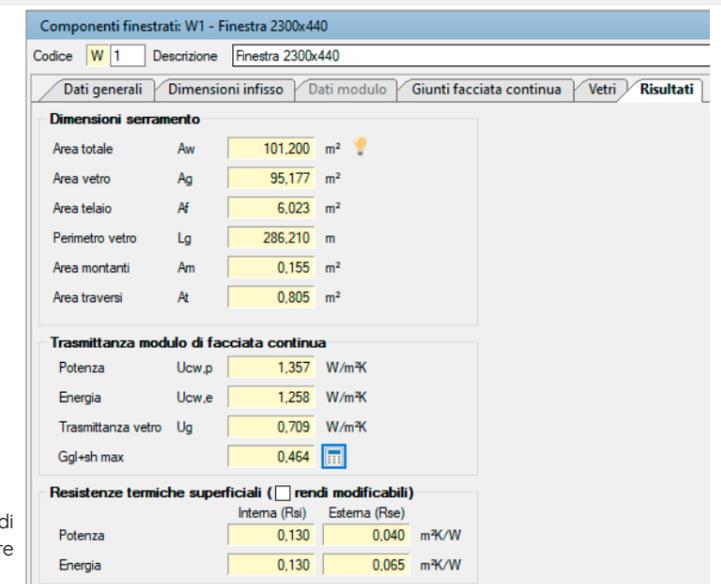
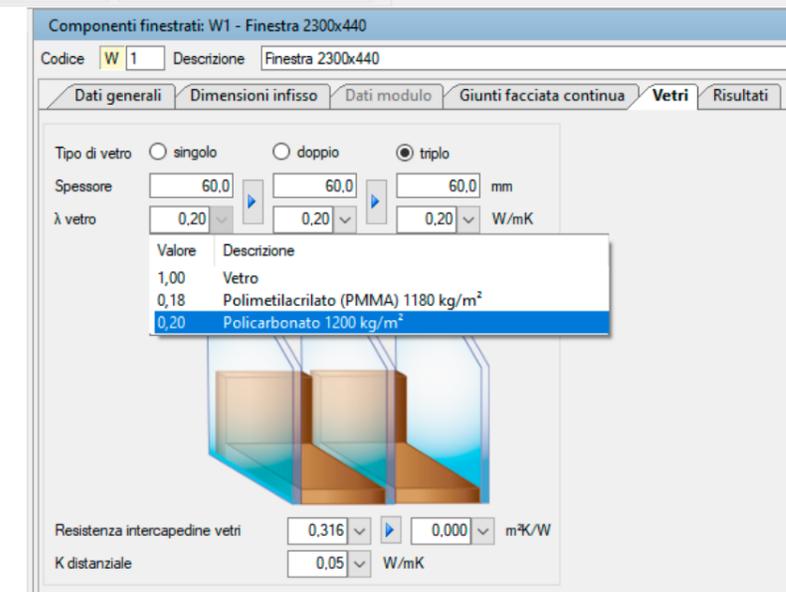
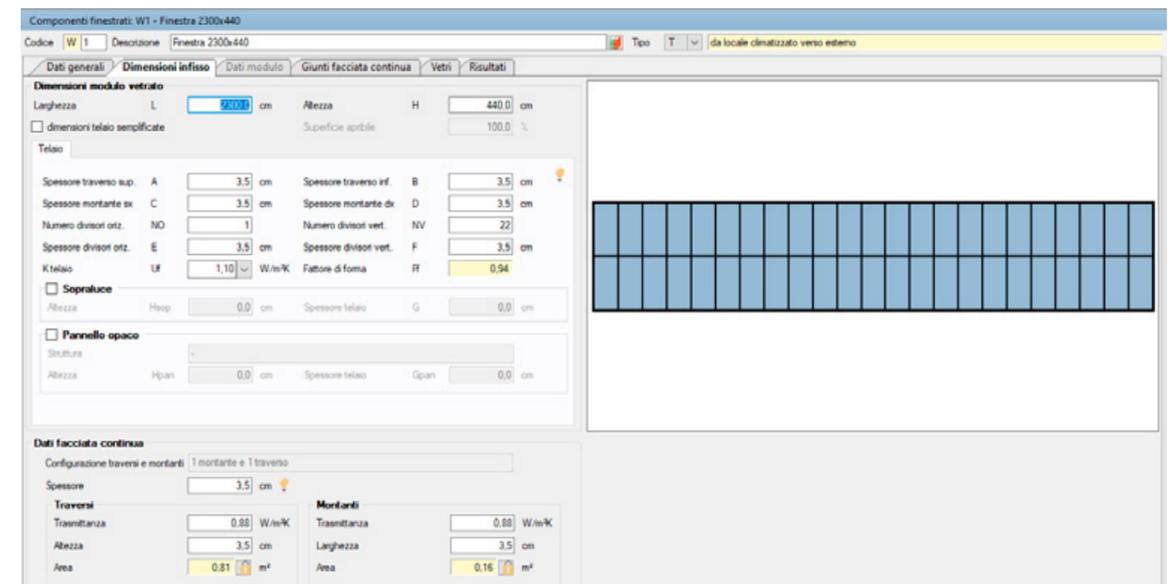
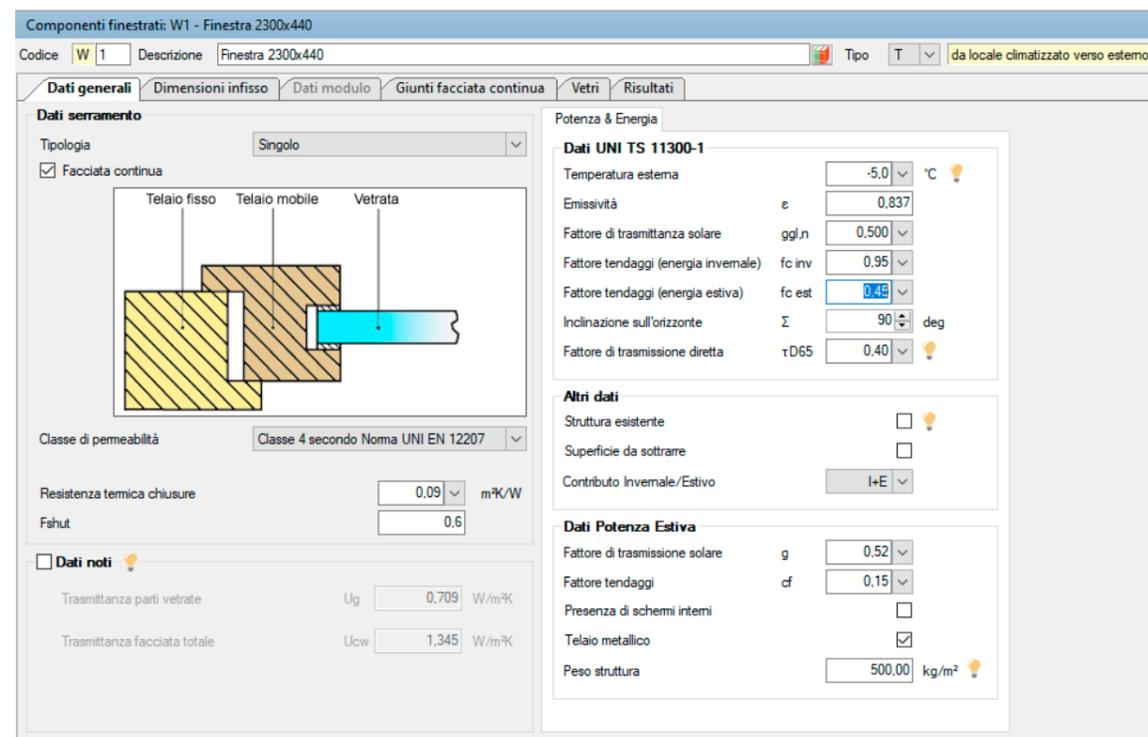
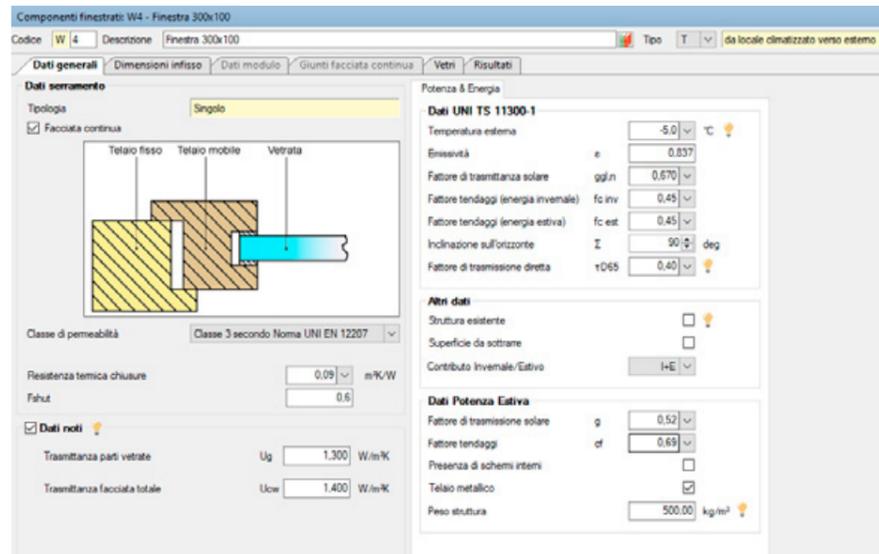


Figura 4.43 Catture di immagini software Edilclima.

Figura 4.44: Tipologia di serramenti con superfici trasparenti in vetro basso emissivo dell'edificio della palestra

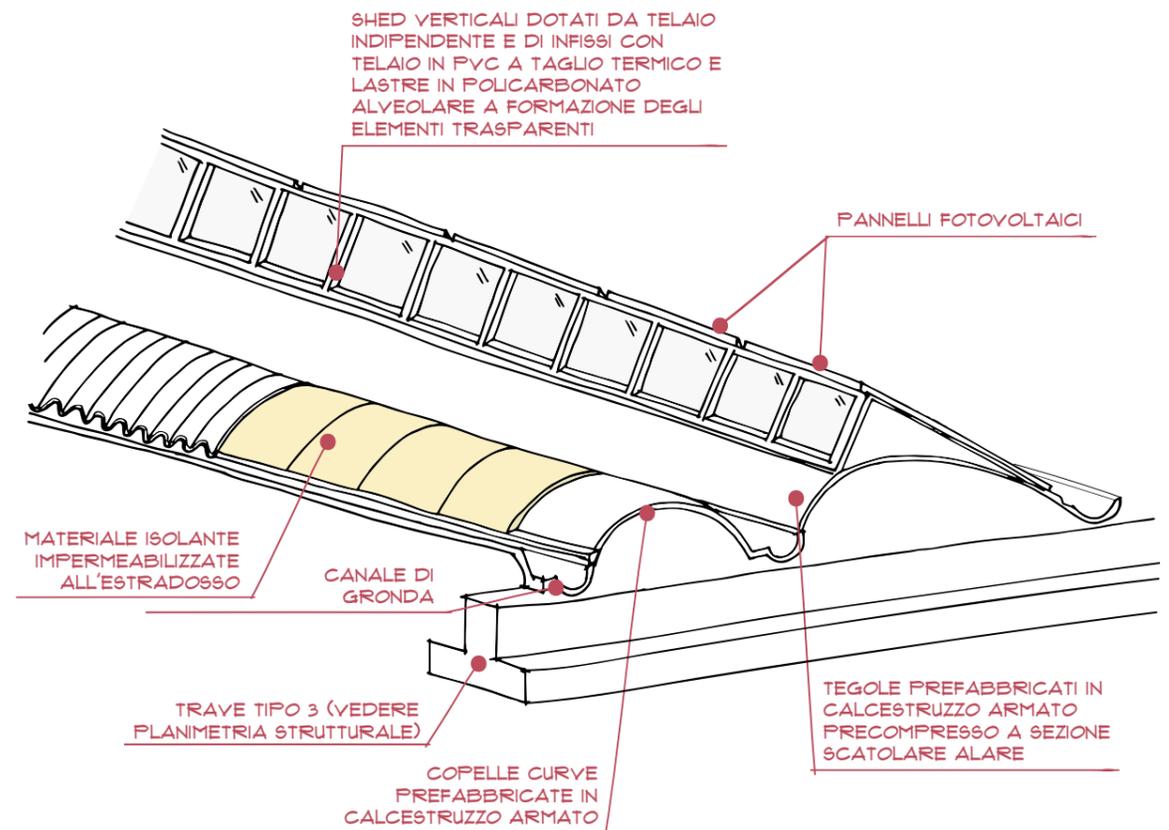
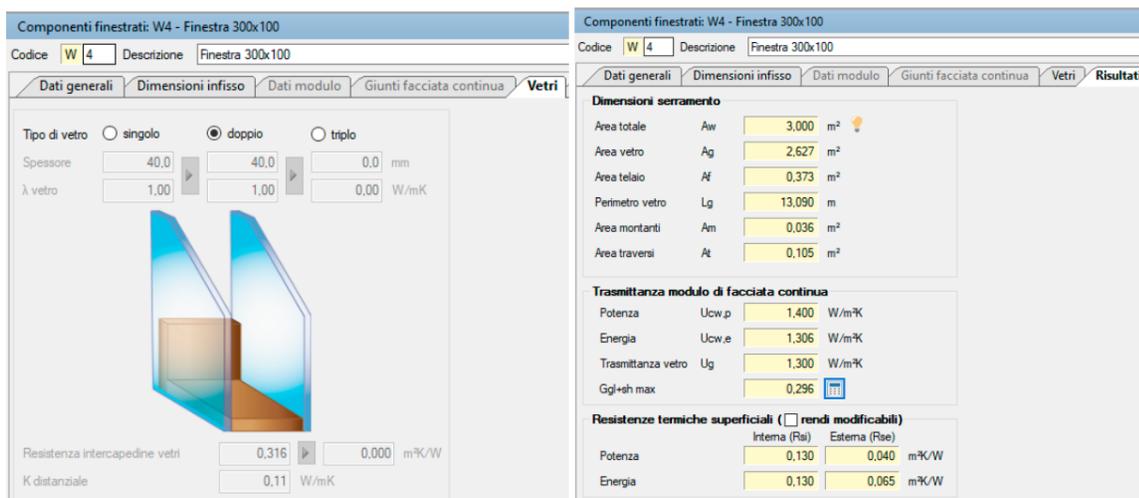
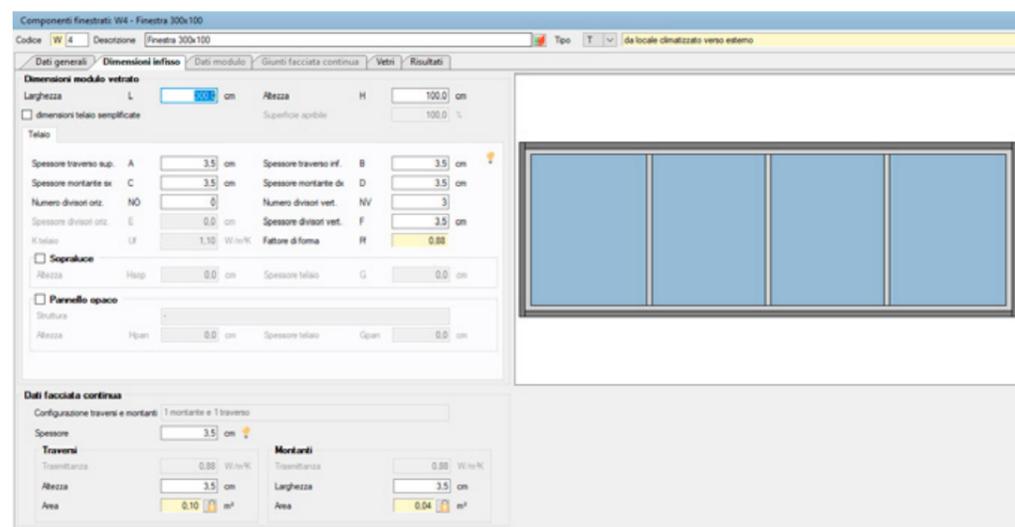


DESCRIZIONE COPERTURA- PALESTRA

Poiché questi due tipi di spazio si trovano nell'edificio della palestra, sono previsti due tipi di copertura:

1. Copertura piana per gli spazi accessori alla palestra; questo tipo di copertura sarà composta da:
 - Porzione portante prefabbricata
 - Massetto alleggerito
 - Barriera al vapore
 - Strato isolante termico-acustico
 - Strato di pendenza a realizzarsi in cls alleggerito
 - Guaina impermeabilizzante con indice SRI (Solar Reflectance Index) pari ad almeno 76
 - Cordoli in cls propedeutici
2. Copertura a "shed" per le aree dedicate alle attività sportive aventi le seguenti caratteristiche:

Figura XX: Tipologia di serramenti dell'edificio della palestra



PAVIMENTO - PALESTRA

Figura 4.44. Cature di immagini software Edilclima. **Figura 4.45.** Elaborazione all'autore

Per i pavimenti dell'edificio della palestra nei spazi corrispondenti ai locali umidi (servizi igienici, spogliatoi, ecc.) ai locali accessori e agli spazi distributivi riferirsi alla stesa tipologia in pavimento in gres ceramico utilizzato nell'edificio scolastico.

Mentre per il campo da gioco polivalente si prevede una pavimentazione sportiva in PVC, nello specifico sarà della tipologia LVT, ovvero Luxury Vinyl Tile, idonea per far fronte ad un'elevata frequenza di calpestio. La composizione di questa tipologia sarà la seguente:

- Uno strato superficiale di usura (spessore tra 0,3 e 0,6 mm)
- Uno strato decorativo (la finitura visibile)
- Uno strato sportivo in PVC con interposta fibra di vetro (o soluzione equivalente).

Lo spessore totale della pavimentazione sarà pari ad almeno 2,5 mm.

Figura 4.46: Tipologia di serramenti dell'edificio della palestra

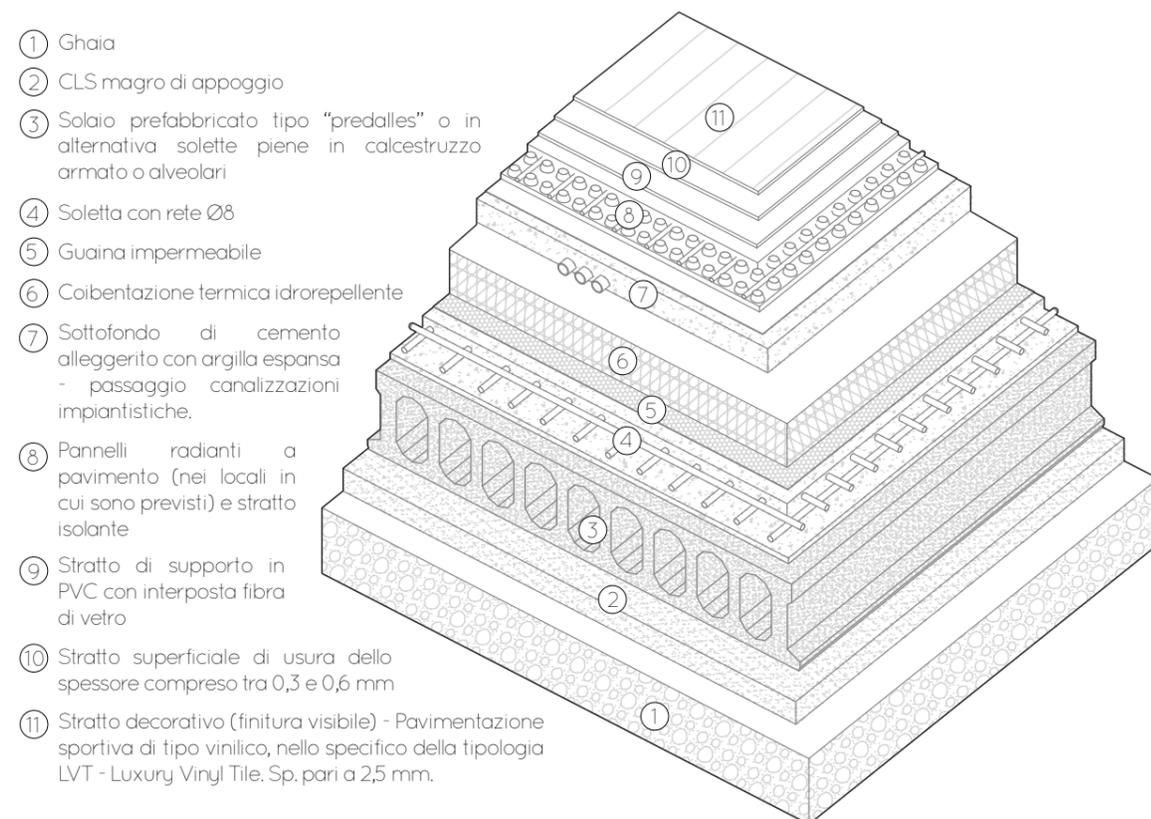


Figura 4.46. Elaborazione all'autore

4.5.

ANALISI ENERGETICA DELL'EDIFICIO IN SOFTWARE EDILCLIMA

Per motivi pratici e per facilitare il collegamento dei file revit (utilizzando il tipo di file IFC) con il software Edilclima, sono stati creati due file separati, uno per l'edificio scolastico e l'altro per l'edificio della palestra, ovviamente considerando in ognuno le ombre proiettate dall'altro.

In primo luogo, i dati prodotti dal software per l'edificio scolastico e, in secondo luogo, i dati per l'edificio della palestra.

EDIFICIO SCOLASTICO

INPUT INIZIALE

Caratteristiche geografiche

Località	Milano
Provincia	Milano
Altitudine s.l.m.	122m
Latitudine nord	45° 27'
Longitudine est	9° 11'
Gradi giorno DPR 412/93	2404
Zona climatica	E

Località di riferimento

Per dati invernali	Milano
Per dati estivi	Milano

Stazioni di rilevazione

Per la temperatura	Milano - via Juvara
Per l'irradiazione	Milano - via Juvara
Per il vento	Milano - via Juvara

Caratteristiche del vento

Regione di vento:	A
Direzione prevalente	Sud-Ovest
Distanza dal mare	> 40 km
Velocità media del vento	1,7 m/s
Velocità massima del vento	3,4 m/s

Dati invernali

Temperatura esterna di progetto	-5,0 °C
Stagione di riscaldamento convenzionale	dal 15 ottobre al 15 aprile

Dati estivi

Temperatura esterna bulbo asciutto	31,9 °C
Temperatura esterna bulbo umido	23,1 °C

L'analisi energetico è stato sviluppato nella sua totalità dall'autore.

Tabella 4.9: Temperature esterne medie mensili

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	4	7,1	10,6	13,4	19,4	22,8	24,5	24,3	19,8	14,1	7,5	3,5

Tabella 4.47: Irradiazione solare media mensile

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m ²	1,6	2,3	3,7	5,3	7,6	10	9,4	6,7	4,5	2,6	1,5	1,3
Nord-Est	MJ/m ²	1,8	3	5,3	8	10,2	12,7	12,6	9,8	7,1	3,4	1,7	1,4
Est	MJ/m ²	4,1	5,8	8,6	11	12,5	14,7	15,2	12,9	10,9	6	3,4	3
Sud-Est	MJ/m ²	7,4	8,7	10,8	11,7	11,7	13	13,6	12,8	12,7	8,3	5,7	5,4
Sud	MJ/m ²	9,6	10,4	11,4	10,5	9,7	10,4	10,8	11	12,4	9,4	7,1	6,9
Sud-Ovest	MJ/m ²	7,4	8,7	10,8	11,7	11,7	13	13,6	12,8	12,7	8,3	5,7	5,4
Ovest	MJ/m ²	4,1	5,8	8,6	11	12,5	14,7	15,2	12,9	10,9	6	3,4	3
Nord-Ovest	MJ/m ²	1,8	3	5,3	8	10,2	12,7	12,6	9,8	7,1	3,4	1,7	1,4
Orizz. Diffusa	MJ/m ²	2,2	3,2	5	6,5	8,3	9,8	8,8	7,5	5,8	3,6	2,1	1,9
Orizz. Diretta	MJ/m ²	2,7	4,2	6,8	9,5	10,7	13,1	14,5	11,6	9,4	4,4	2,2	1,7

Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione:	270	W/m ²
---	-----	------------------

Grafica 4.0: Irradiazione solare

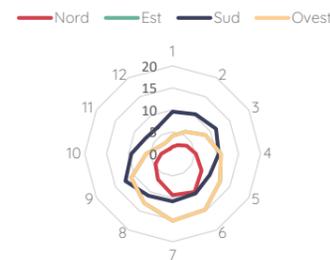


Tabella 4.10: Elenco componenti

Muri

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y _{IE}	Sfasamento	C _T	ε	α	θ	Ue
			[mm]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[h]	[kJ/m ² K]	[-]	[-]	[°C]	[W/m ² K]
M1	D	Tramezzo cartongesso doppio	120	135	0,986	-4,208	49,74	0,9	0,6	-	2,451
M2	T	Muro di facciata (Rockpanel)	406,5	203	0,033	-11,94	28,96	0,9	0,6	-5	0,201
M4	D	Tramezzo cartongesso impianti	220	135	2,055	-2,781	38,69	0,9	0,6	-	2,641
M5	D	Muro Ascensore	370	720	0,251	-10,77	61,81	0,9	0,6	-	1,934

Pavimenti

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y _{IE}	Sfasamento	C _T	ε	α	θ	Ue
			[mm]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[h]	[kJ/m ² K]	[-]	[-]	[°C]	[W/m ² K]
P1	N	Solaio prefabbricato	457	705	0,069	-14,76	63,25	0,9	0,6	20	0,97
P2	G	Solaio prefabbricato verso terreno	562	718	0,014	-16,12	65,25	0,9	0,6	-5	0,146
P3	T	Copertura piana	558,8	579	0,017	-16,96	40,95	0,9	0,6	-5	0,22
P4	N	Pavimento locali umidi	457,8	706	0,068	-14,8	62,64	0,9	0,6	20	0,967
P5	U	Pavimento locali tecnici	457,8	706	0,068	-14,8	62,64	0,9	0,6	20	0,967

Soffiti

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y _{IE}	Sfasamento	C _T	ε	α	θ	Ue
			[mm]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[h]	[kJ/m ² K]	[-]	[-]	[°C]	[W/m ² K]
S1	N	Solaio prefabbricato	537	849	0,068	-16,29	69,43	0,9	0,6	20	1,02
S2	T	Copertura piana	602	624	0,011	-18,36	69,03	0,9	0,6	-5	0,219

Legenda simboli

Sp	Spessore struttura
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci
Y _{IE}	Trasmittanza termica periodica della struttura
Sfasamento	Sfasamento dell'onda termica
C _T	Capacità termica areica
ε	Emissività
α	Fattore di assorbimento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
Ue	Trasmittanza di energia della struttura

Componenti finestrati

Cod	Tipo	Descrizione	vetro	ε	ggl,n	fc inv	fc est	H	L	Ug	Uw	θ	Agf	Lgf
								[cm]	[cm]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[m]
W1	T	Finestra 200x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	200	1,3	1,4	-5	4,539	17,16
W2	T	Finestra 600x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	600	1,3	1,4	-5	13,783	51,76
W3	T	Finestra 1000x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	1000	1,3	1,4	-5	23,028	86,36
W4	T	Finestra 500x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	500	1,3	1,4	-5	11,388	47,76
W5	T	Finestra 100x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	100	1,3	1,4	-5	2,227	8,51
W6	T	Finestra 900x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	900	1,3	1,4	-5	20,717	77,71
W7	T	Finestra 300x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	300	1,3	1,4	-5	6,85	25,81
W8	T	Finestra 1000x400	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	360	1000	1,3	1,4	-5	33,604	108,36
W9	T	Finestra 1100x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	1100	1,3	1,4	-5	25,339	95,01
W10	T	Finestra 800x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	800	1,3	1,4	-5	18,406	69,06
W11	T	Finestra 150x190	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	190	150	1,3	1,4	-5	2,553	10,11
W12	T	Finestra 250x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	250	1,3	1,4	-5	5,736	19,16
W13	T	Porta ingresso principale	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	300	970	1,3	1,4	-5	32,499	110,46
W14	T	Porta Aula Magna	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	300	1685	1,3	1,4	-5	55,952	192,28
W15	T	Finestra 400x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	400	1,3	1,4	-5	9,329	25,16

Legenda simboli

ε	Emissività
ggl,n	Fattore di trasmittanza solare
fc inv	Fattore tendaggi (energia invernale)
fc est	Fattore tendaggi (energia estiva)
H	Altezza
L	Larghezza
Ug	Trasmittanza vetro
Uw	Trasmittanza serramento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
Agf	Area del vetro
Lgf	Perimetro del vetro

Analizzando l'informazione del capitolato di progetto, descritta nel sottocapitolo precedente (riguardo ai materiali e la stratigrafia che si pretende utilizzare per la realizzazione dell'edificio), questi materiali si hanno analizzato nel software in cui secondo i parametri normativi del D.M del 26 di giugno di 2015 i valori di riferimento sono soddisfatti per quanto riguarda alla trasmittanza termica delle superficie opache verticali, orizzontali e le superficie trasparenti (vedere Allegato 1).

Tabella 4.11: Dettaglio delle dispersioni per trasmissione dei componenti

Dettaglio delle dispersioni per trasmissione dei componenti

Dispersioni strutture opache:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U	θ_e	S_{Tot}	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
			[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[W]	[%]
M2	T	Muro di facciata (Rockpanel)	0,202	-5	3183,55	18074	19,5
P2	G	Solaio prefabbricato verso terreno	0,146	-5	1678,47	6142	6,6
S2	T	Copertura piana	0,22	-5	1906,82	10475	11,3
Totale:						34.691	38

Dispersioni strutture trasparenti:

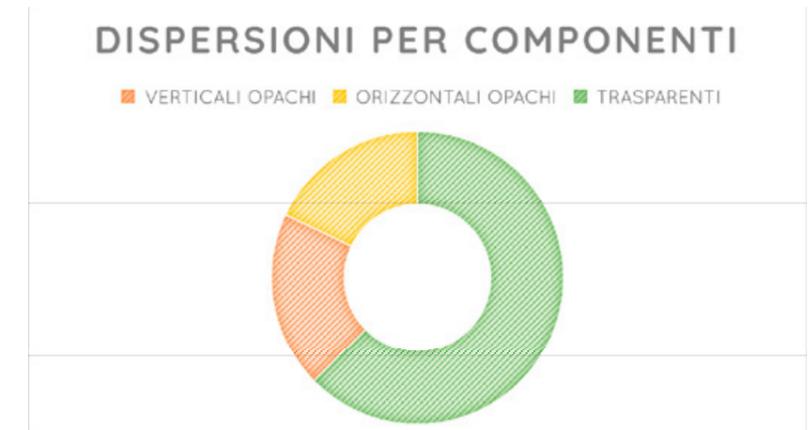
Cod	Tipo	Descrizione elemento	U	θ_e	S_{Tot}	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
			[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[W]	[%]
W1	T	Finestra 200x250	1,4	-5	108,36	4280	4,6
W2	T	Finestra 600x250	1,4	-5	183,6	7202	7,8
W3	T	Finestra 1000x250	1,4	-5	101,76	3918	4,2
W4	T	Finestra 500x250	1,4	-5	293,48	11612	12,5
W5	T	Finestra 100x250	1,4	-5	47,16	1816	2
W6	T	Finestra 900x250	1,4	-5	68,7	2645	2,9
W7	T	Finestra 300x250	1,4	-5	23,07	888	1
W8	T	Finestra 1000x400	1,4	-5	145,92	5618	6,1
W9	T	Finestra 1100x250	1,4	-5	55,94	2154	2,3
W10	T	Finestra 800x250	1,4	-5	305,55	12263	13,2
W11	T	Finestra 150x190	1,4	-5	5,94	239	0,3
W12	T	Finestra 250x250	1,4	-5	25,72	1035	1,1
W13	T	Porta ingresso principale	1,4	-5	104,76	3850	4,2
W15	T	Finestra 400x250	1,4	-5	10,23	412	0,4
Totale:						57.931	62,5

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica del ponte termico
θ_e	Temperatura di esposizione dell'elemento
S_{Tot}	Superficie totale su tutto l'edificio dell'elemento disperdente
L_{Tot}	Lunghezza totale su tutto l'edificio del ponte termico
Φ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione
% Φ_{Tot}	Rapporto percentuale tra il Φ_{tr} dell'elemento e il Φ_{tr} totale dell'edificio

Grafica 4.1: Dispersioni per componenti

DISPERSIONI PER COMPONENTE		
ELEMENTI	[W]	[%]
VERTICALI OPACHI	18.074	19,5
ORIZZONTALI OPACHI	16.617	17,9
TRASPARENTI	57.931	62,5



Come era di sperarsi, il software ha calcolato che gli elementi che presentano una maggiore percentuale di dispersione termica sono gli elementi trasparenti perché come ben sappiamo attraverso un materiale come il vetro il calore passa più facilmente rispetto a un materiale opaco. Questo anche può indicarci che per ridurre la dispersione termica di questi elementi se puoi considerare una tipologia di vetro che sia più performante, ad esempio, con un maggiore isolamento, cioè un triplo vetro basso emissivo e a controllo solare che anche può aiutare a ridurre il consumo elettrico per il condizionamento, con l'utilizzo di questa terza lastra che forma un'altra camera riempita con gas Argon, si potrebbe arrivare a un Ug di 0,6 W/m²K, paragonandolo con l'attuale valore Ug di 1,40 W/m²K

Per quanto riguarda alle dispersione termiche degli elementi opachi anche era di aspettarsi che gli elementi verticale fossero più disperdente dagli elementi orizzontali, questo perché ovviamente c'è una maggiore superficie in contatto con l'ambiente esterno. Per quanto riguarda a questi superficie anche si potrebbe considerare un maggiore spessore di isolamento oppure in alternativa un altro materiale.

La superficie con minore dispersioni sono le superficie orizzontali, in specifico il solaio contro terra e il solaio della copertura, mentre i solai interpiani per essere nella zona climatizzata non rappresentano maggiori dispersioni, speciale attenzione deve essere messa nei ponti termici.

Tabella 4.12: Dispersioni per trasmissione raggruppate per esposizione

Dispersioni per Trasmissione raggruppate per esposizione:

Prospetto Nord-Est:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M2	Muro di facciata (Rockpanel)	0,202	-5	337,01	2.043	2,2
W1	Finestra 200x250	1,4	-5	15,48	650	0,7

Totale:	2.693	2,9
---------	-------	-----

Prospetto Sud-Est:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M2	Muro di facciata (Rockpanel)	0,202	-5	1253,43	6966	7,5
W1	Finestra 200x250	1,4	-5	20,64	795	0,9
W2	Finestra 600x250	1,4	-5	107,1	4123	4,5
W3	Finestra 1000x250	1,4	-5	101,76	3918	4,2
W4	Finestra 500x250	1,4	-5	114,84	4421	4,8
W5	Finestra 100x250	1,4	-5	47,16	1816	2
W6	Finestra 900x250	1,4	-5	68,7	2645	2,9
W7	Finestra 300x250	1,4	-5	23,07	888	1
W8	Finestra 1000x400	1,4	-5	145,92	5618	6,1
W9	Finestra 1100x250	1,4	-5	55,94	2154	2,3
W10	Finestra 800x250	1,4	-5	20,37	784	0,8

Totale:	34.128	36,8
---------	--------	------

Prospetto Sud-Ovest:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M2	Muro di facciata (Rockpanel)	0,202	-5	378,03	2005	2,2
W1	Finestra 200x250	1,4	-5	20,64	759	0,8

Totale:	2.764	3
---------	-------	---

Prospetto Nord-Ovest:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M2	Muro di facciata (Rockpanel)	0,202	-5	1215,08	7060	7,6
W1	Finestra 200x250	1,4	-5	51,6	2077	2,2
W2	Finestra 600x250	1,4	-5	76,5	3079	3,3
W4	Finestra 500x250	1,4	-5	178,64	7190	7,8
W10	Finestra 800x250	1,4	-5	285,18	11478	12,4
W11	Finestra 150x190	1,4	-5	5,94	239	0,3
W12	Finestra 250x250	1,4	-5	25,72	1035	1,1
W13	Porta ingresso principale	1,4	-5	34,92	1406	1,5
W15	Finestra 400x250	1,4	-5	10,23	412	0,4

Totale:	33.976	37
---------	--------	----

Prospetto Orizzontale:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
P2	Solaio prefabbricato verso terreno	0,146	-5	1678,47	6142	6,6
S2	Copertura piana	0,22	-5	1906,82	10475	11,3

Totale:	16.617	17,9
---------	--------	------

Prospetto non disperdente:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
W13	Porta ingresso principale	1,4	-5	69,84	2.444	2,6

Totale:	2.444	3
---------	-------	---

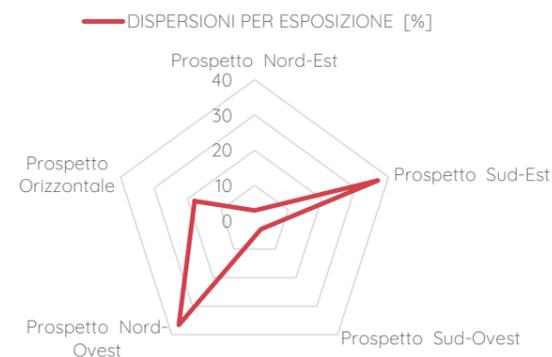
Legenda simboli

U	Trasmittanza termica di un elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica di un ponte termico
θ_e	Temperatura di esposizione dell'elemento
Sup.	Superficie di un elemento disperdente
Lungh.	Lunghezza di un ponte termico
Φ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione
% Φ_{Tot}	Rapporto percentuale tra il Φ_{tr} dell'elemento e il totale dei Φ_{tr}

Grafica 4.2: Dispersioni per esposizione

DISPERSIONI PER ESPOSIZIONE		
ESPOSIZIONE	[W]	[%]
Prospetto Nord-Est	2.693	2,9
Prospetto Sud-Est	34.128	36,8
Prospetto Sud-Ovest	2.764	3,0
Prospetto Nord-Ovest	33.976	36,6
Prospetto Orizzontale	16.617	17,9

DISPERSIONI PER ESPOSIZIONE [%]



Secondo le tabelle precedenti si è calcolata la dispersioni di ogni elemento analizzata in base alla loro superficie esposta al rispettivo orientamento esterno.

D'accordo alla grafica 4.2 in cui si analizzano le dispersioni secondo la quantità totale di watts persi per ogni esposizioni, gli elementi con esposizione sud-est e nord-ovest sono gli elementi che rappresentano una maggiore dispersione, questo vuol dire che si deve fare speciale attenzione a questi elementi visto che i prospetti orientati in questi esposizioni ricevono il sole della mattina e del pomeriggio rispettivamente, quindi sono gli elementi più esposti alla radiazione solare per cui i materiali e isolamenti e gli elementi trasparenti devono essere scelti con maggiore rigidità.

Tabella 4.13: Dispersioni per ventilazione

Dispersioni per Ventilazione:

Nr.	Descrizione zona termica	V_{netto}	Φ_{ve}
		[m ³]	[W]
1	Zona climatizzata 1	28701,8	109294
Totale			109.294

Legenda simboli

V_{netto} | Volume netto della zona termica
 Φ_{ve} | Potenza dispersa per ventilazione

Tabella 4.14: Dispersioni totali

Dispersioni totali:

Coefficiente di sicurezza adottato 1,00

Nr.	Descrizione zona termica	Φ_{hl}	$\Phi_{\text{hl,sic}}$
		[W]	[W]
1	Zona climatizzata 1	201916	201916
Totale		201.916	201.916

Legenda simboli

Φ_{hl} | Potenza totale dispersa
 $\Phi_{\text{hl,sic}}$ | Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

Nella tabella 4.13 si descrivono le dispersione per ventilazione per il volume dell'edificio, queste perdite possono essere di due tipi:

- Perdite volontarie che si devono alla ventilazione degli ambienti;
- Perdite non volontarie che occorrono quando non c'è una corretta tenuta all'aria.

Mentre nella tabella 4.14 si descrivono le dispersioni totali dell'edificio dovuta sia ai materiale che alla ventilazione. Questi analisi si fanno secondo la normativa UNI TS 11300-1.

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE

Categoria DPR 412/93	E.7
Superficie esterna	6.597,34 m ²
Superficie utile	7.279,55 m ²
Volume lordo	35.897,80 m ³
Volume netto	29.172,68 m ³
Rapporto S/V	0,18 m ⁻¹

Opzioni di calcolo:

Stagione di calcolo Convenzionale dal 15 ottobre al 15 aprile

Durata della stagione 183 giorni

Temperatura esterna di progetto -5,0 °C

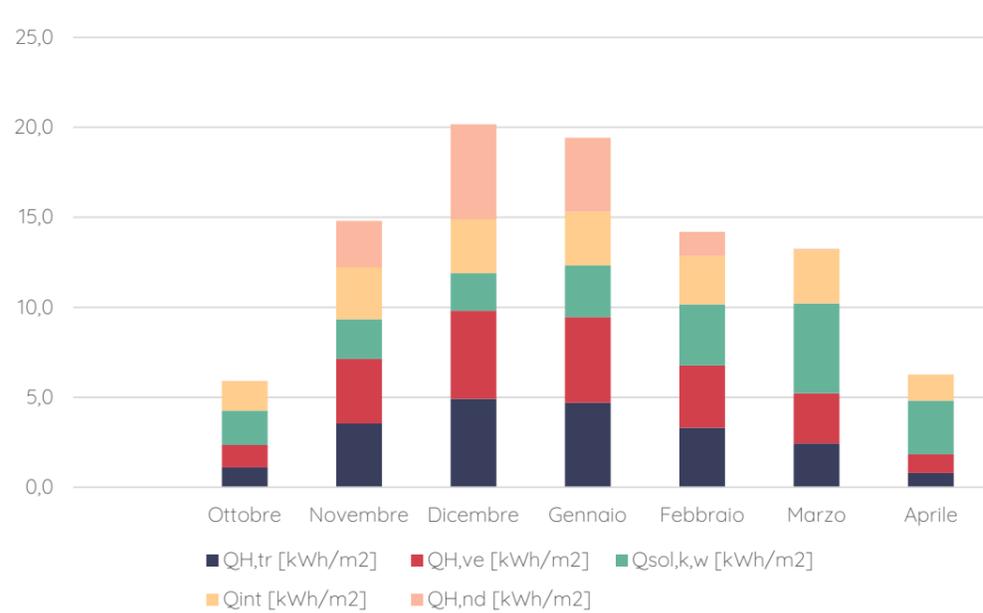
Tabella 4.15: Fabbisogno di energia utile invernale

Mese	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,nt}$	$Q_{sol,k,w}$	$Q_{sol,k,w}$	Q_{int}	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,nd}$
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]
Ottobre	8.064	1,11	1.536	9.013	1,24	18.612	13.932	1,91	11.880	1,63	25.812	122	0,02
Novembre	25.784	3,54	3.765	26.148	3,59	55.697	16.050	2,20	20.965	2,88	37.015	18.796	2,58
Dicembre	35.769	4,91	3.927	35.665	4,90	75.362	15.179	2,09	21.664	2,98	36.843	38.524	5,29
Gennaio	34.220	4,70	3.718	34.584	4,75	72.522	20.962	2,88	21.664	2,98	42.626	29.936	4,11
Febbraio	24.077	3,31	3.741	25.185	3,46	53.004	24.747	3,40	19.567	2,69	44.314	9.725	1,34
Marzo	17.728	2,44	5.047	20.318	2,79	43.093	36.355	4,99	21.664	2,98	58.019	370	0,05
Aprile	5.769	0,79	2.097	7.564	1,04	15.431	21.745	2,99	10.483	1,44	32.228	2	0,00
Totale	151.412	20,80	23.832	158.478	21,77	333.722	148.969	20,46	127.887	17,57	276.856	97.475	13,39

Legenda simboli

- $Q_{H,tr}$ Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache ($Q_{sol,k,h}$)
- $Q_{H,tr}$ Energia dispersa per extraflusso
- $Q_{H,ve}$ Energia dispersa per ventilazione
- $Q_{H,nt}$ Totale energia dispersa = $Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$
- $Q_{sol,k,w}$ Apporti solari attraverso gli elementi finestrati
- Q_{int} Apporti interni
- Q_{gn} Totale apporti gratuiti = $Q_{sol} + Q_{int}$
- $Q_{H,nd}$ Energia utile

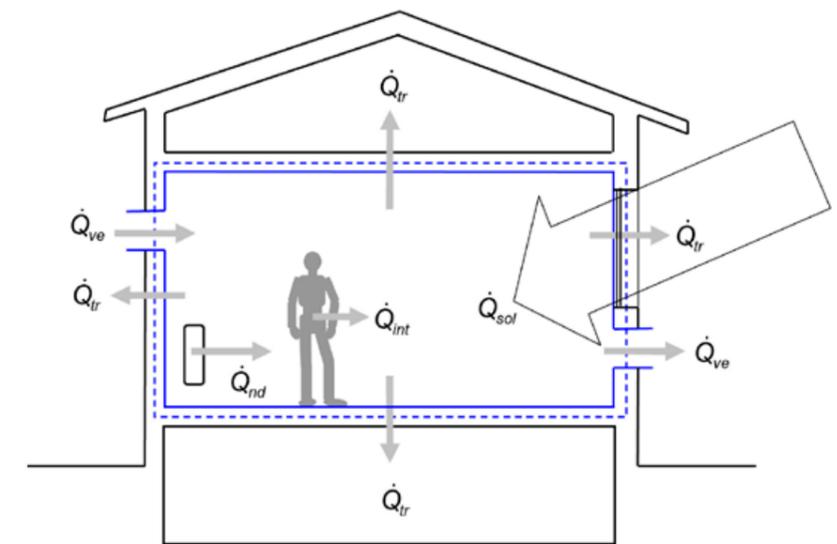
Grafica 4.3: Fabbisogno di energia utile invernale



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE		
$Q_{H,tr}$	[kWh/m ²]	20,8
$Q_{H,ve}$	[kWh/m ²]	21,8
$Q_{sol,k,w}$	[kWh/m ²]	20,5
Q_{int}	[kWh/m ²]	17,6
$Q_{H,nd}$	[kWh/m ²]	13,4

Una volta ottenuti i risultati del fabbisogno di energia utile per l'inverno nel software, è stata analizzata l'incidenza per metro quadro. Questa analisi è riassunta nel grafico XX in cui sono visualizzate le perdite energetiche più importanti, tra cui l'energia persa per trasmissione meno gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache, e l'energia persa per ventilazione; queste perdite non rappresentano una grande quantità e per questo, grazie anche agli apporti interni (come persone, lampade, macchine, ecc.) il fabbisogno energetico per l'inverno di 13,4 kWh/m²/anno non è molto elevato con rispetto ad alcuni casi di edifici NZEB studiati in precedenza. Fare riferimento all'immagine XX.

Figura 4.47: Termini del bilancio energetico dell'edificio



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE ESTIVA

Categoria DPR 412/93	E.7
Superficie esterna	6.597,34 m ²
Superficie utile	7.279,55 m ²
Volume lordo	35.897,80 m ³
Volume netto	29.172,68 m ³
Rapporto S/V	0,18 m ⁻¹

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo	Vicini presenti
Stagione di calcolo	Reale dal 21 gennaio al 14 novembre
Durata della stagione	298 giorni

Figura 4.47. Termini del bilancio energetico dell'edificio. Fonte: Prof. Arch. Antonio Carbonari 2012. Corso di tecnica del controllo ambientale - A.A. 2012-2013. "Bilancio energetico dell'edificio".

Tabella 4.15: Fabbisogno di energia utile stagione estiva

Mese	Q _{c,tr}	Q _{c,tr}	Q _{c,r}	Q _{c,ve}	Q _{c,ve}	Q _{c,ht}	Q _{sol,k,w}	Q _{sol,k,w}	Q _{int}	Q _{int}	Q _{gn}	Q _{c,nd}	Q _{c,nd}
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]
Gennaio	16.034	2,20	1.448	16.030	2,20	33.512	7.438	1,02	7.687	1,06	15.125	0	0,00
Febbraio	36.207	4,97	3.741	36.899	5,07	76.847	24.747	3,40	19.567	2,69	44.314	5	0,00
Marzo	31.157	4,28	5.047	33.288	4,57	69.491	36.355	4,99	21.664	2,98	58.019	682	0,09
Aprile	23.165	3,18	4.415	26.357	3,62	53.937	43.490	5,97	20.965	2,88	64.455	11.168	1,53
Maggio	9.879	1,36	4.579	14.266	1,96	28.724	50.745	6,97	21.664	2,98	72.409	43.686	6,00
Giugno	1.282	0,18	5.633	6.694	0,92	13.610	57.303	7,87	20.965	2,88	78.268	64.658	8,88
Luglio	-2.598	-0,36	5.742	3.242	0,45	6.386	59.234	8,14	21.664	2,98	80.898	74.512	10,24
Agosto	-1.207	-0,17	5.401	3.675	0,50	7.868	50.051	6,88	21.664	2,98	71.715	63.847	8,77
Settembre	9.408	1,29	5.646	12.969	1,78	28.023	41.942	5,76	20.965	2,88	62.907	34.884	4,79
Ottobre	24.321	3,34	3.418	25.722	3,53	53.461	25.405	3,49	21.664	2,98	47.069	963	0,13
Novembre	16.483	2,26	2.005	16.501	2,27	34.989	7.490	1,03	9.784	1,34	17.274	0	0,00
Totale	164.130	22,55	47.076	195.643	26,88	406.849	404.200	55,53	208.253	28,61	612.454	294.406	40,44

Legenda simboli

- Q_{c,tr} Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache (Q_{sol,k,c})
- Q_{c,r} Energia dispersa per extraflusso
- Q_{c,ve} Energia dispersa per ventilazione
- Q_{c,ht} Totale energia dispersa = Q_{c,tr} + Q_{c,ve}
- Q_{sol,k,w} Apporti solari attraverso gli elementi finestrati
- Q_{int} Apporti interni
- Q_{gn} Totale apporti gratuiti = Q_{sol} + Q_{int}
- Q_{c,nd} Energia utile

Grafica 4.4: Fabbisogno di energia utile stagione estiva



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA		
Q _{c,tr}	[kWh/m ²]	22,5
Q _{c,ve}	[kWh/m ²]	26,9
Q _{sol,k,w}	[kWh/m ²]	55,5
Q _{int}	[kWh/m ²]	28,6
Q _{c,nd}	[kWh/m ²]	40,4

Una volta ottenuti i risultati del fabbisogno di energia utile per l'inverno nel software, è stata analizzata l'incidenza per metro quadro. Questa analisi è riassunta nel grafico 4.4 in cui sono visualizzate le perdite energetiche più importanti, tra cui l'energia persa per trasmissione meno gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache, e l'energia persa per ventilazione; queste perdite non rappresentano una grande quantità e per questo, grazie anche agli apporti interni (come persone, lampade, macchine, ecc.) il fabbisogno energetico per l'inverno di 13,4 kWh/m²/anno non è molto elevato con rispetto ad alcuni casi di edifici NZEB studiati in precedenza.

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA

Con i dati ottenuti in precedenza rispetto alla energia utile per le stagioni invernale ed estiva si hanno scelto gli impianti in corrispondenza che meglio coprivano i fabbisogni in ogni caso.

Servizio di riscaldamento

Caratteristiche impianto aeraulico:

Tipo di impianto Ventilazione meccanica bilanciata

Dispositivi presenti Ricuperatore di calore, Riscaldamento aria

Dati per il calcolo della ventilazione meccanica effettiva:

Ricambi d'aria a 50 Pa n₅₀ 1 h⁻¹

Coefficiente di esposizione al vento e 0,10 -

Coefficiente di esposizione al vento f 15,00 -

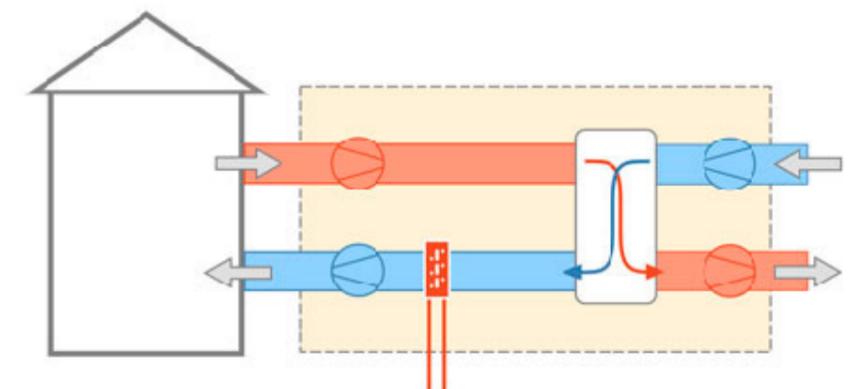
Ricambio d'aria medio per ventilazione naturale nei locali con ventilazione meccanica ibrida n 0,5 h⁻¹

Fattore di efficienza della regolazione FC_{ve,H} 1,00 -

Ore di funzionamento dell'impianto hf 12,00 -

Rendimento nominale del ricuperatore ηH_{nom} 0,80

Figura 4.48: Diagramma servizio di riscaldamento



Condotta di estrazione dagli ambienti (ETA):

Temperatura di estrazione da ambienti	20,0°C
Potenza elettrica dei ventilatori	1465 W
Portata del condotto	14060,68 m ³ /h

Condotta di immissione negli ambienti (SUP):

Temperatura di immissione in ambienti	20,0 °C
Potenza elettrica dei ventilatori	1.491 W
Portata del condotto	1.4310,30 m ³ /h

Condotta di aspirazione dell'aria esterna (ODA):

Differenza di temperatura per scambio con il terreno	20,0°C
Potenza elettrica dei ventilatori	1.491 W
Portata del condotto	14.310,30 m ³ /h

Sottosistema di generazione

Dati generali:

Servizio	Ventilazione
Tipo di generatore	Rendimento di generazione mensile noto
Potenza utile nominale	$\Phi_{gn,Pn}$ 197,13 kW

Tabella 4.16: Sottosistema di generazione

Dati generali :	
Servizio	Ventilazione
Tipo di generatore	Rendimento di generazione mensile noto
Metodo di calcolo	-

Potenza utile nominale	$\Phi_{gn,Pn}$	197,13	kW
------------------------	----------------	--------	----

Rendimento mensile di generazione η_{gn}

Gen	Febb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Vettore energetico :

Tipo Energia elettrica

Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$	0,47	-
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$	1,95	-
Fattore di conversione in energia primaria	f_p	2,42	-
Fattore di emissione di CO ₂		0,46	kg _{CO2} /kWh

Intermittenza

Regime di funzionamento Continuo

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	94,3	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	98	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{H,du}$	94	%
Rendimento di distribuzione primaria	$\eta_{H,dp}$	100	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{H,gen,p,nren}$	127	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. totale)	$\eta_{H,gen,p,tot}$	63,6	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{H,g,p,nren}$	686,8	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. totale)	$\eta_{H,g,p,tot}$	242	%

Dettaglio rendimenti dei singoli generatori :

Generatore	$\eta_{H,gen,ut}$	$\eta_{H,gen,p,nren}$	$\eta_{H,gen,p,tot}$
	[%]	[%]	[%]
Pompa di calore - secondo UNI/TS 11300-4	248	127	64

Legenda simboli

$\eta_{H,gen,ut}$	Rendimento di generazione rispetto all'energia utile
$\eta_{H,gen,p,nren}$	Rendimento di generazione rispetto all'energia primaria non rinnovabile
$\eta_{H,gen,p,tot}$	Rendimento di generazione rispetto all'energia primaria totale

Circuito per riscaldamento

Caratteristiche sottosistema di emissione:

Tipo di terminale di erogazione	Radiatori su parete esterna isolata
Temperatura di mandata di progetto	80,0 °C
Potenza nominale dei corpi scaldanti	284.407 W
Fabbisogni elettrici	0 W

Rendimento di emissione 93,3 %

Caratteristiche sottosistema di regolazione:

Tipo	Per singolo ambiente + climatica
Caratteristiche	P banda proporzionale 1 °C
Rendimento di regolazione	98,0 %

Caratteristiche sottosistema di distribuzione utenza:

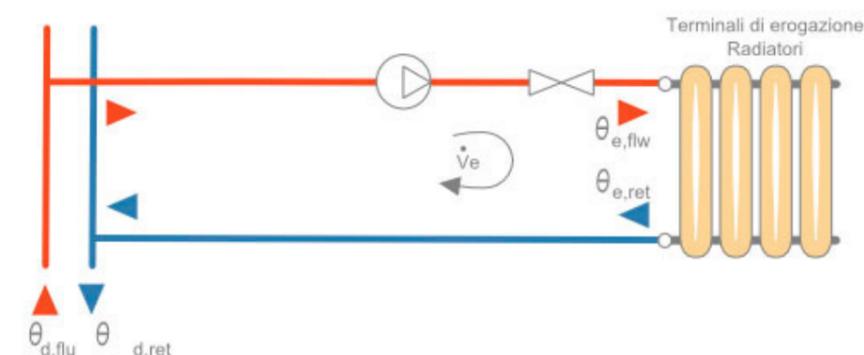
Metodo di calcolo	Semplificato
Tipo di impianto	Centralizzato a distribuzione orizzontale
Posizione impianto	Impianto a piano terreno, su ambiente non riscaldato o terreno con distribuzione a collettori
Isolamento tubazioni	Isolamento con spessori conformi alle prescrizioni del DPR n. 412/93

Numero di piani	1
Fattore di correzione	1,00
Rendimento di distribuzione utenza	94,0 %

Temperatura dell'acqua - Riscaldamento

Tipo di circuito Valvole termostatiche, bitubo

Figura 4.49: Diagramma radiatori



Maggiorazione potenza corpi scaldanti	10,0	%
ΔT nominale lato aria	50,0	°C
Esponente n del corpo scaldante	1,30	-
ΔT di progetto lato acqua	20,0	°C
Portata nominale	13.461,61	kg/h
Criterio di calcolo	Temperatura di mandata variabile	
Temperatura di mandata massima	80,0	°C
ΔT mandata/ritorno	20,0	°C

Servizio acqua calda sanitaria

Tabella 4.17: Rendimenti impianto acqua calda sanitaria

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore
Rendimento di erogazione	$\eta_{W,er}$	100
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{W,du}$	93
Rendimento di generazione (risp. a en. utile)	$\eta_{W,gen,ut}$	381
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{W,gen,p,nren}$	195
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non tot.)	$\eta_{W,gen,p,tot}$	73
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{W,g,p,nren}$	792
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. tot.)	$\eta_{W,g,p,tot}$	79

Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria [l/g] :

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

Categoria DPR 412/93 **E.7**
 Temperatura di erogazione **40,0 °C**

Temperatura di alimentazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3

Fabbisogno giornaliero per posto 0,2 l/g posto
 Numero di posti 2000*

Fattore di occupazione [%]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*Si ha fatto l'ipotesi con 2.000 persone nell'edificio.

Sottosistema di generazione

Dati generali:	
Servizio	Riscaldamento e acqua calda sanitaria
Tipo di generatore	Pompa di calore
Metodo di calcolo	secondo UNI/TS 11300-4
Marca/Serie/Modello	VISSMANN Srl/Energycal AW PRO MT 95.2-250.2/Energycal AW PRO MT 250.2
Tipo di pompa di calore	Elettrica
Temperatura di disattivazione	$\theta_{H,off}$ 20,0°C (per riscaldamento)
Sorgente fredda	Aria esterna
Temperatura di funzionamento (cut-off)	minima -20,0 °C massima 40,0 °C
Sorgente calda	Acqua di impianto
Temperatura di funzionamento (cut-off)	minima 20,0 °C massima 80,0 °C
Temperatura della sorgente calda (acqua sanitaria)	70,0 °C
Prestazioni dichiarate:	
Coefficiente di prestazione	COPe 3,5
Potenza utile Pu	284,41 kW
Potenza elettrica assorbita	Pass 81,26 kW
Temperatura della sorgente fredda	θ_f 7 °C
Temperatura della sorgente calda	θ_c 80 °C
Fattori correttivi della pompa di calore:	
Potenza di progetto Pdes (a -10°C)	210,49 kW

Figura 4.50: Pompa di calore per il servizio di riscaldamento



Pannelli solari fotovoltaici

Tabella 4.18: Rendimento impianto fotovoltaico

Energia elettrica da produzione fotovoltaica [kWh]:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
4.017,0	4.543,0	6.675,0	7.496,0	8.252,0	9.207,0	9.852,0	8.775,0	7.791,0	4.947,0	3.059,0	2.898,0

Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	QH,p,nren	14192 kWh/anno
Fabbisogno di energia primaria totale	QH,p,tot	40278 kWh/anno
Rendimento globale medio stagionale (rispetto all'energia primaria non rinnovabile)	$\eta_{H,g,p,nren}$	686,8 %
Rendimento globale medio stagionale (rispetto all'energia primaria totale)	$\eta_{H,g,p,tot}$	242,0 %
Consumo di energia elettrica effettivo		7.278 kWh/anno

Figura 4.51: Scheda tecnica pannelli fotovoltaici

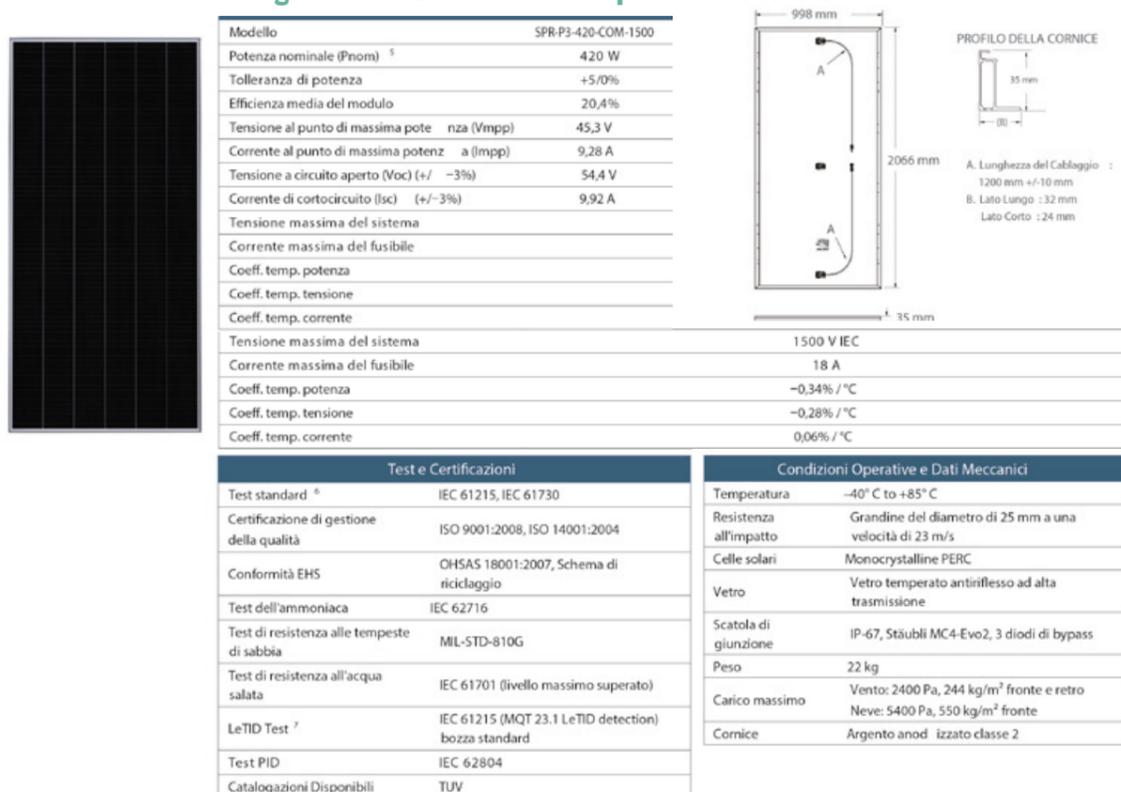
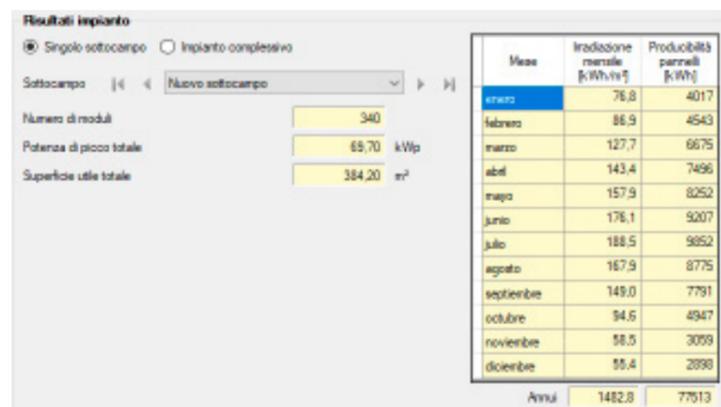


Figura 4.52: Irradiazione mensile e productibilità pannelli

E' prevista l'installazione di 340 pannelli fotovoltaici sul tetto con una superficie di 1,13 m² che copriranno il 59,7% del fabbisogno energetico annuale. La tabella seguente spiega la relazione tra l'irraggiamento mensile e la produzione di energia dei pannelli fotovoltaici per mese:



Servizio di raffrescamento

Per il servizio di raffrescamento si è pensato in una produzione separata con impianto centralizzato diverso a quello per il riscaldamento. Le caratteristiche di questo impianto si citano in seguito:

Tabella 4.19: Rendimento impianto di raffrescamento

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore
Rendimento di emissione	$\eta_{C,e}$	98
Rendimento di regolazione	$\eta_{C,rg}$	96
Rendimento di distribuzione	$\eta_{C,d}$	100
Rendimento di generazione (risp. a en. utile)	$\eta_{C,gen,ut}$	590
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{C,gen,p,nren}$	303
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non tot.)	$\eta_{C,gen,p,tot}$	244
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{C,g,p,nren}$	566
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. tot.)	$\eta_{C,g,p,tot}$	284

Sottosistema di generazione

Dati generali:

Servizio	Raffrescamento
Tipo di generatore	Pompa di calore
Metodo di calcolo	secondo UNI/TS 11300-3

Marca/Serie/Modello	TEON/RETINA/365
Tipo di pompa di calore	Elettrica
Potenza frigorifera nominale	$\Phi_{gn,nom}$ 273,00 kW

Sorgente unità esterna	Acqua
Temperatura acqua in ingresso al condensatore	30,0 °C

Sorgente unità interna	Acqua
Temperatura acqua in uscita dal condensatore	7,0 °C

Vettore energetico:	Energia elettrica
Tipo	Energia elettrica
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$ 0,470
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$ 1,950
Fattore di conversione in energia primaria	f_p 2,420
Fattore di emissione di CO2	0,4600 kgCO ₂ /kWh

Figura 4.53: Pompa di calore per il servizio di raffrescamento



Fabbisogni illuminazione

Per calcolare i requisiti illuminotecnici, è stata effettuata un'analisi preliminare secondo la norma EN 12464-1 - Requisiti illuminotecnici per interni (zone), compiti e attività. Questa norma indica i valori di riferimento in base all'illuminamento medio mantenuto (lx) per ogni tipologia di spazio. Una volta ottenuto questo valore per ogni spazio considerato all'interno dell'area climatizzata, è stata utilizzata la seguente formula per trasformare i lux in watt:

Calcolo dei lux in watt con superficie in metri quadrati:

La potenza P in watt (W) è uguale all'illuminamento E_v in lux (lx) per la superficie A in metri quadrati (m^2), divisa per l'efficacia luminosa η in lumen per watt (lm/W) (in questo caso si è deciso di utilizzare apparecchi LED con un'efficacia di 90 lumen per watt):

$$P(W) = E_v(lx) \times A(m^2) / \eta(lm/W)$$

Tabella 4.20: Fabbisogni illuminazione artificiale

Fabbisogni elettrici per illuminazione dei locali climatizzati

Zona	Locale	Descrizione	$Q_{ill,art,a}$ [kWh _{art}]	$Q_{ill,int}$ [kWh _{int}]
1	64	AULA 11	73	73
1	1	PRESIDENZA	232	232
1	90	AULA 18	291	291
1	91	LABORATORIO 25	375	375
1	92	AULA 19	291	291
1	93	AULA 22	294	294
1	94	AULA 20	273	273
1	95	LABORATORIO 26	464	464
1	96	CONNETTIVO	650	650
1	97	ATA 4	92	92
1	99	WC M 7	24	24
1	100	LABORATORIO 27	94	94
1	5	UFFICIO VICEPRES.	223	223
1	6	UFFICIO AMMIN. 1	187	187
1	7	AULA INSEGNANTI	390	390
1	8	UFFICIO AMMIN. 2	216	216
1	9	RICEV. PARENTI	56	56
1	10	CONNETTIVO	158	158
1	11	ATRIO DI INGRESSO	553	553
1	12	RECEPTION	53	53
1	13	LOC. TEC. IMPIANTI 1	106	106
1	14	SALA MEDICA	242	242
1	101	LOC. TEC. IMPIANTI 4	113	113
1	102	LABORATORIO 22	528	528
1	103	LABORATORIO 23	473	473
1	104	LABORATORIO 28	375	375
1	105	AULA 23	294	294
1	106	LABORATORIO 29	464	464
1	107	DEPOSITO 6	133	133
1	65	CONNETTIVO	211	211
1	66	LABORATORIO 17	472	472
1	67	AULA 12	291	291
1	108	AULA 21	289	289
1	109	LABORATORIO 30	375	375
1	110	LABORATORIO 24	554	554
1	111	DEPOSITO 5	119	119
1	112	AULA 24	296	296
1	113	WC DA. 6	48	48
1	114	WC PERS. F 8	21	21
1	115	WC PERS. M 7	21	21
1	2	SALA STAMPA	160	160

Fabbisogni mensili per illuminazione

Mese	Giorni	$Q_{ill,art,a}$ [kWh _{art}]	$Q_{ill,int}$ [kWh _{int}]	Q_{ill} [kWh _{int}]	$Q_{p,ill}$ [kWh]
Gennaio	31	2.739	2.739	2.739	5.340
Febbraio	28	2.358	2.358	2.358	4.599
Marzo	31	2.474	2.474	2.474	4.825
Aprile	30	2.344	2.344	2.344	4.571
Maggio	31	2.399	2.399	2.399	4.679
Giugno	30	2.313	2.313	2.313	4.511
Luglio	31	2.394	2.394	2.394	4.667
Agosto	31	2.403	2.403	2.403	4.685
Settembre	30	2.395	2.395	2.395	4.670
Ottobre	31	2.561	2.561	2.561	4.994
Novembre	30	2.615	2.615	2.615	5.099
Dicembre	31	2.779	2.779	2.779	5.419
TOTALI		29.774	29.774	29.774	58.059

Legenda simboli

$Q_{ill,art,a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale
$Q_{ill,int,p}$	Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill,int,u}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale
$Q_{ill,int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione
$Q_{ill,est}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione
Q_{ill}	Fabbisogno di energia elettrica totale
$Q_{p,ill}$	Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione

1	2	SALA STAMPA	160	160
1	3	DGSA	162	162
1	4	UFFICIO AMMIN. 3	108	108
1	118	WCF 6	24	24
1	15	WC	4	4
1	16	LABORATORIO 4	375	375
1	17	AULA DISABILI	257	257
1	18	LABORATORIO 1	430	430
1	19	AULA 1	294	294
1	20	LABORATORIO 5	375	375
1	21	BIBLIOTECA	969	969
1	22	LABORATORIO 2	514	514
1	23	LABORATORIO 3	367	367
1	24	ARCHIVIO 1	608	608
1	25	CONNETTIVO	401	401
1	26	AULA MAGNA	1.350	1.350
1	27	SPOGL. ATA 1	20	20
1	28	WC PERS. M 1	20	20
1	29	WC PERS. F 1	82	82
1	30	WC D. 1	8	8
1	31	WC PERS. M 2	20	20
1	32	WC D. 3	8	8
1	33	WC PERS. F 2	78	78
1	34	WC VISIT. M.	12	12
1	35	WC VISIT. F.	12	12
1	36	WC DA. 2	9	9
1	116	INGRESSO	50	50
1	117	SPOGL. ATA 2	16	16
1	37	AULA 2	70	70
1	98	WC F 8	24	24
1	38	AULA 3	291	291
1	39	LABORATORIO 9	457	457
1	40	AULA 7	294	294
1	41	AULA 4	273	273
1	42	LABORATORIO 10	440	440
1	43	ATA 2	100	100
1	44	AULA 8	283	283
1	45	CONNETTIVO	425	425
1	46	LOC. TEC. IMPIANTI 2	104	104
1	47	LABORATORIO 6	394	394
1	48	LABORATORIO 11	432	432
1	49	AULA 5	245	245
1	50	CONNETTIVO	381	381
1	51	AULA 9	294	294
1	52	LABORATORIO 12	595	595
1	53	LABORATORIO 7	383	383
1	54	WC PERS. M 3	23	23
1	55	WC PERS. F 4	92	92
1	56	AULA 10	294	294
1	57	AULA 6	291	291
1	58	DEPOSITO 3	119	119
1	59	LABORATORIO 13	537	537
1	60	LABORATORIO 8	312	312
1	61	WC M 3	24	24
1	62	WC F 4	24	24
1	63	WC DA. 4	8	8
1	68	AULA 13	275	275
1	69	LABORATORIO 18	464	464
1	70	WC M 5	37	37
1	71	AULA 15	294	294
1	72	ATA 3	92	92
1	73	AULA 16	294	294
1	74	LOC. TEC. IMPIANTI 3	81	81
1	75	LABORATORIO 14	482	482
1	76	LABORATORIO 19	375	375

1	77	AULA 17	294	294
1	78	LABORATORIO 15	546	546
1	79	LABORATORIO 20	375	375
1	80	AULETTA FORNO	73	73
1	81	LABORATORIO DI SCIENZE	322	322
1	82	WC PERS. F 6	20	20
1	83	WC PERS. M 5	20	20
1	84	AULA 14	305	305
1	85	LABORATORIO 16	554	554
1	86	DEPOSITO 4	123	123
1	87	LOCALE PREP.	115	115
1	88	LABORATORIO 21	388	388
1	89	WC DA. 5	8	8

Legenda simboli

$Q_{ill,art,a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill,int,p}$	Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill,int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna

Pannelli solari termici

Numero totale di collettori solari	18
Superficie totale di apertura dei collettori	41,40 m ²
Consumo annuale di energia elettrica	514 kWh
Percentuale di copertura per acqua sanitaria	79,9 %
Percentuale di copertura per riscaldamento	7,0 %

Tabella 4.21: Dettaglio impianto solare termico

Mese	I _r [kWh]	Q _{solare} [kWh]	η _{solare} [%]	Q _{W,aux,solare} [kWh]	Q _{H,aux,solare} [kWh]
Gennaio	3.181	417	13	1	25
Febbraio	3.598	650	18	17	13
Marzo	5.286	401	8	44	0
Aprile	5.937	388	7	50	0
Maggio	6.535	401	6	55	0
Giugno	7.292	388	5	61	0
Luglio	7.803	401	5	65	0
Agosto	6.950	401	6	58	0
Settembre	6.170	388	6	52	0
Ottobre	3.918	401	10	33	0
Novembre	2.423	1.608	66	2	18
Dicembre	2.295	30	1	0	19
TOTALI	61.387	5.872	10	438	76

Legenda simboli

I _r	Irradiazione solare captata dall'impianto solare
Q _{solare}	Producibilità solare dei pannelli
η _{solare}	Rendimento dell'impianto solare
Q _{W,aux,solare}	Consumo energia elettrica per acqua sanitaria
Q _{H,aux,solare}	Consumo energia elettrica per riscaldamento

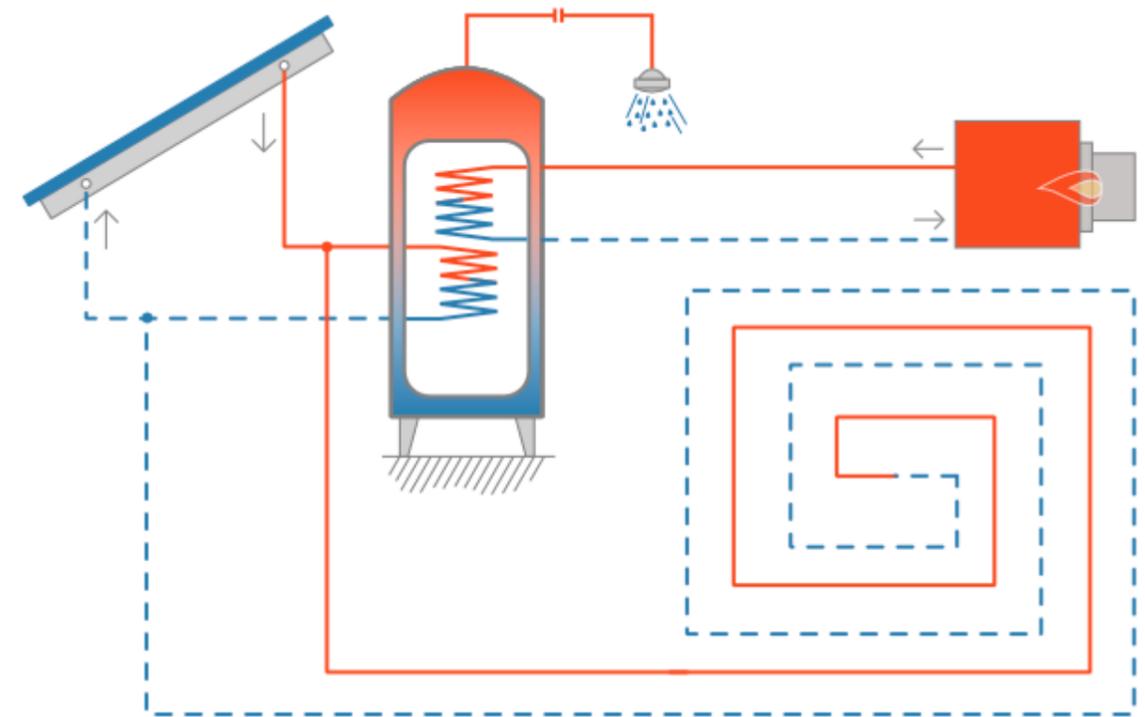
Dati posizionamento pannelli

Orientamento rispetto al sud	γ 0,0°
Inclinazione rispetto al piano orizzontale	β 35,0°
Coefficiente di riflettenza (albedo)	0,27

Dati collettore solare

Collettore solare utilizzato	RIELLO/CS25 R/CS 25 R
Superficie di apertura del singolo collettore	2,30 m ²
Superficie lorda del singolo collettore	2,57 m ²
Rendimento del collettore a perdite nulle	η ₀ 0,75
Coefficiente di perdita lineare	a ₁ 3,910 W/m ² K
Coefficiente di perdita quadratico	a ₂ 0,003 W/m ² K ²
Coefficiente di modifica angolo di incidenza	IAM 0,95
Fabbisogni elettrici	
Potenza assorbita dagli ausiliari	257 W
Ore di funzionamento annue	2000 h

Figura 4.54: Schema di distribuzione pannelli solare termici



FABBISOGNI E CONSUMI TOTALI

Tabella 4.22: Fabbisogni e consumi totali - Proposta 1

Edificio : Edificio scolastico	DPR 412/93	E.7	Superficie utile	7.280	m ²
--------------------------------	------------	-----	------------------	-------	----------------

Fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

Servizio	Q _{p,nren}	Q _{p,ren}	Q _{p,tot}	EP _{nren}	EP _{ren}	EP _{tot}
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Riscaldamento	14.192	26.086	40.278	1,95	3,58	5,53
Acqua calda sanitaria	551	5.006	5.558	0,08	0,69	0,76
Raffrescamento	52.023	51.671	103.694	7,15	7,10	14,24
Ventilazione	13.049	15.931	28.980	1,79	2,19	3,98
Illuminazione	20.126	24.303	44.430	2,76	3,34	6,10
TOTALE	99.942	122.998	222.940	13,73	16,90	30,63

Vettori energetici ed emissioni di CO₂

Vettore energetico	Consumo	U.M.	CO ₂	Servizi
			[kg/anno]	
Energia elettrica	51.252	kWhel/anno	23.576	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria, Raffrescamento, Ventilazione, Illuminazione

Zona 1: Zona climatizzata 1	DPR 412/93	E.7	Superficie utile	7.280	m ²
-----------------------------	------------	-----	------------------	-------	----------------

Fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

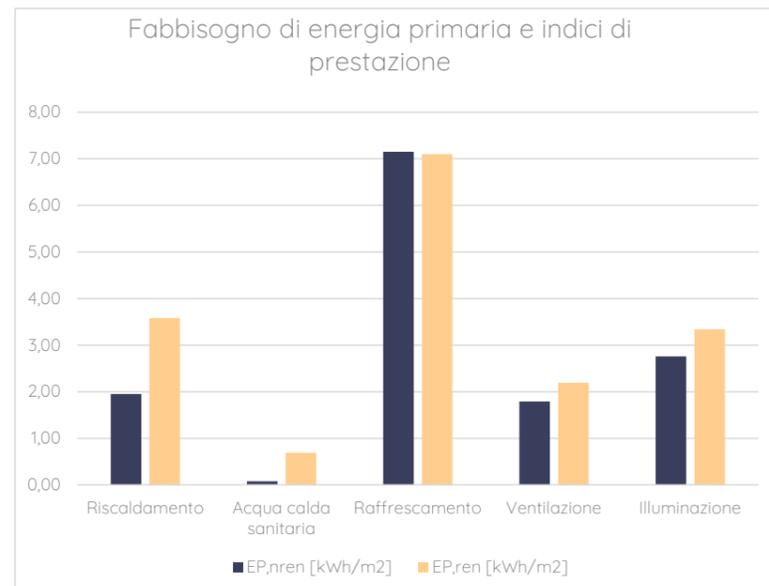
Servizio	Q _{p,nren}	Q _{p,ren}	Q _{p,tot}	EP _{nren}	EP _{ren}	EP _{tot}
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Riscaldamento	14.192	26.086	40.278	1,95	3,58	5,53
Acqua calda sanitaria	551	5.006	5.558	0,08	0,69	0,76
Raffrescamento	52.023	51.671	103.694	7,15	7,10	14,24
Ventilazione	13.049	15.931	28.980	1,79	2,19	3,98
Illuminazione	20.126	24.303	44.430	2,76	3,34	6,10
TOTALE	99.942	122.998	222.940	13,73	16,90	30,63

Vettori energetici ed emissioni di CO₂

Vettore energetico	Consumo	U.M.	CO ₂	Servizi
			[kg/anno]	
Energia elettrica	51.252	kWhel/anno	23.576	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria, Raffrescamento, Ventilazione, Illuminazione

Tabella 4.5: Riassunto fabbisogni e consumi totali - Proposta 1

Servizio	EP _{nren} [kWh/m ²]	EP _{ren} [kWh/m ²]
Riscaldamento	1,95	3,58
Acqua calda sanitaria	0,08	0,69
Raffrescamento	7,15	7,10
Ventilazione	1,79	2,19
Illuminazione	2,76	3,34



VERIFICHE DI LEGGE

Figura 4.55: Catture di immagini - Software Edilclima

Verifiche di legge D.Interm. 26.06.15 | Verifiche di legge DLgs 3 Marzo 2011 n.28

Fase: Fase II - 1 Gennaio 2019 edifici pubblici e 1 Gennaio 2021 altri edifici | Edificio ad energia quasi zero

Zona: Zona climatizzata 1

Superficie disperdente oggetto di intervento (Sint): 6597,34 m²

Superficie disperdente totale (S): 6597,34 m²

Percentuale di superficie disperdente interessata dall'intervento (Sint/S): 100,00 %

Edifici di nuova costruzione

Impianto di riscaldamento esistente

Impianto produzione acqua calda sanitaria esistente

Impianto di raffrescamento esistente

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,040 ≥	0,038	-
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75 ≥	0,46	W/m ² K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	13,71 >	13,39	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	45,19 >	40,44	kWh/m ²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	90,72 >	30,63	kWh/m ²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Dettagli - Verifica termoigrometrica

Cod.	Tipo	Descrizione	Condensa superficiale	Condensa interstiziale
M2	T	Muro di facciata (Rockpanel)	Positiva	Positiva
P1	N	Solaio prefabbricato	Positiva	Positiva
P4	N	Pavimento locali umidi	Positiva	Positiva
S1	N	Solaio prefabbricato	Positiva	Positiva
S2	T	Copertura piana	Positiva	Positiva

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,040 ≥	0,038	-
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75 ≥	0,46	W/m ² K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	13,71 >	13,39	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	45,19 >	40,44	kWh/m ²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	90,72 >	30,63	kWh/m ²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Dettagli - Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: D.Interm. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	
Area solare equivalente estiva	273,99 m ²
Superficie utile	7279,55 m ²

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,040 ≥	0,038	-
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75 ≥	0,46	W/m ² K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	13,71 >	13,39	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	45,19 >	40,44	kWh/m ²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	90,72 >	30,63	kWh/m ²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Dettagli - Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: D.Interm. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	
Zona climatica: E	
Cat. DPR 412/93: E.7	
Rapporto S/V: 0,18 m ⁻¹	

Tipologia elemento	Htr [W/K]
Pareti	635,00
Pavimenti	0,00
Soffitti	416,71
Ponti termici	0,00
Finestre	1956,53

Coefficiente globale scambio termico: 3008,24 W/K

Superficie esterna lorda: 6597,34 m²

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica temoigrometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,040 ≥	0,038	-
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75 ≥	0,46	W/m²K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	13,71 >	13,39	kWh/m²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	45,19 >	40,44	kWh/m²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	90,72 >	30,63	kWh/m²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Valore ammissibile		Valore calcolato	
Riferimento	D.Intem. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	Categoria DPR 412/93	E.7
Fabbisogno di energia utile	99833,50 kWh	Superficie pianta netta	7279,55 m²
		Fabbisogno di energia utile	97474,53 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica temoigrometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,040 ≥	0,038	-
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75 ≥	0,46	W/m²K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	13,71 >	13,39	kWh/m²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	45,19 >	40,44	kWh/m²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	90,72 >	30,63	kWh/m²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Valore ammissibile		Valore calcolato	
Riferimento	D.Intem. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	Categoria DPR 412/93	E.7
Fabbisogno di energia utile	328979,72 kWh	Superficie pianta netta	7279,55 m²
		Fabbisogno di energia utile	294405,67 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica temoigrometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,040 ≥	0,038	-
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75 ≥	0,46	W/m²K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	13,71 >	13,39	kWh/m²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	45,19 >	40,44	kWh/m²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	90,72 >	30,63	kWh/m²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Valore ammissibile		Valore calcolato																																	
Riferimento	D.Intem. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	Categoria DPR 412/93	E.7																																
		Superficie pianta netta	7279,55 m²																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Servizio</th> <th>EP [kWh/m²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Riscaldamento</td><td>6,64</td></tr> <tr><td>Acqua calda sanitaria</td><td>0,90</td></tr> <tr><td>Raffrescamento</td><td>56,87</td></tr> <tr><td>Ventilazione</td><td>17,79</td></tr> <tr><td>Illuminazione</td><td>8,52</td></tr> <tr><td>Trasporto</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>Totale</td><td>90,72</td></tr> </tbody> </table>		Servizio	EP [kWh/m²]	Riscaldamento	6,64	Acqua calda sanitaria	0,90	Raffrescamento	56,87	Ventilazione	17,79	Illuminazione	8,52	Trasporto	0,00	Totale	90,72	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Servizio</th> <th>EP [kWh/m²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Riscaldamento</td><td>5,53</td></tr> <tr><td>Acqua calda sanitaria</td><td>0,76</td></tr> <tr><td>Raffrescamento</td><td>14,24</td></tr> <tr><td>Ventilazione</td><td>3,98</td></tr> <tr><td>Illuminazione</td><td>6,10</td></tr> <tr><td>Trasporto</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>Totale</td><td>30,63</td></tr> </tbody> </table>		Servizio	EP [kWh/m²]	Riscaldamento	5,53	Acqua calda sanitaria	0,76	Raffrescamento	14,24	Ventilazione	3,98	Illuminazione	6,10	Trasporto	0,00	Totale	30,63
Servizio	EP [kWh/m²]																																		
Riscaldamento	6,64																																		
Acqua calda sanitaria	0,90																																		
Raffrescamento	56,87																																		
Ventilazione	17,79																																		
Illuminazione	8,52																																		
Trasporto	0,00																																		
Totale	90,72																																		
Servizio	EP [kWh/m²]																																		
Riscaldamento	5,53																																		
Acqua calda sanitaria	0,76																																		
Raffrescamento	14,24																																		
Ventilazione	3,98																																		
Illuminazione	6,10																																		
Trasporto	0,00																																		
Totale	30,63																																		

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	13,71 >	13,39	kWh/m²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	45,19 >	40,44	kWh/m²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	90,72 >	30,63	kWh/m²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Dettagli - Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento					
Impianti					
Nr.	Servizi	Verifica	ng_amm [%]	ng [%]	
1	Riscaldamento	Positiva	206,4 ≤	242,0	
2	Acqua calda sanitaria	Positiva	66,4 ≤	78,6	
3	Raffrescamento	Positiva	79,5 ≤	283,9	

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Copertura totale da fonte rinnovabile	Positiva	55,00 <	55,35	%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	Positiva	55,00 <	90,08	%
Verifica potenza elettrica installata	Positiva	0,00 <	69,70	kW

Valore ammissibile		Valore calcolato	
Riferimento	DLgs 3.3.2011 n. 28, Allegato 3 - comma 1	Percentuale da fonte rinnovabile	55,3 %
		Energia primaria rinnovabile	82764 kWh
		Energia primaria non rinnovabile	66766 kWh
		Energia primaria totale	149530 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Copertura totale da fonte rinnovabile	Positiva	55,00 <	55,35	%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	Positiva	55,00 <	90,08	%
Verifica potenza elettrica installata	Positiva	0,00 <	69,70	kW

Valore ammissibile		Valore calcolato	
Riferimento	DLgs 3.3.2011 n. 28, Allegato 3 - comma 1	Percentuale di copertura	90,1 %
		Energia primaria rinnovabile	5006 kWh
		Energia primaria non rinnovabile	551 kWh
		Energia primaria totale	5558 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Copertura totale da fonte rinnovabile	Positiva	55,00 <	55,35	%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	Positiva	55,00 <	90,08	%
Verifica potenza elettrica installata	Positiva	0,00 <	69,70	kW

Valore ammissibile		Valore calcolato	
Riferimento	DLgs 3.3.2011 n. 28, Allegato 3 - comma 3	Potenza elettrica installata	69,70 kW
		Superficie in pianta a livello del terreno	0,00 m²

Attestati		Riepilogo							
Attestati energetici		Nr. zona	Descrizione	Cat. DPR 412	Sup. netta [m²]	Vol. lordo [m³]	EPgl,nren	U.M.	Classe energetica
Zona climatizzata 1		1	Zona climatizzata 1	E.7	7279,55	35897,80	13,73	kWh/m²-anno	A4

Avendo effettuato tutte le verifiche energetiche dell'edificio, come attualmente presentato al Comune di Milano, secondo il software l'edificio è conforme ai parametri NZEB, soddisfacendo un basso consumo di energia primaria di 13.73 kWh/m²-anno ed essendo considerato di classe energetica A4.

EDIFICIO PALESTRA

INPUT INIZIALE

Caratteristiche geografiche

Località	Milano
Provincia	Milano
Altitudine s.l.m.	122 m
Latitudine nord	45° 27'

Longitudine est 9° 11'
Gradi giorno DPR 412/93 2404
Zona climatica E
Località di riferimento Milano
Stazioni di rilevazione Milano - via Juvara

Caratteristiche del vento

Regione di vento: A
Direzione prevalente Sud-Ovest
Distanza dal mare > 40 km
Velocità media del vento 1,7 m/s
Velocità massima del vento 3,4 m/s

Dati invernali

Temperatura esterna di progetto -5,0 °C
Stagione di riscaldamento convenzionale dal 15 ottobre al 15 aprile

Dati estivi

Temperatura esterna bulbo asciutto 31,9 °C
Temperatura esterna bulbo umido 23,1 °C
Umidità relativa 48,0 %
Escursione termica giornaliera 12 °C

Tabella 4.22: Temperature esterne medie mensili

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	4	7,1	10,6	13,4	19,4	22,8	24,5	24,3	19,8	14,1	7,5	3,5

Tabella 4.23: Irradiazione solare media mensile

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m ²	1,6	2,3	3,7	5,3	7,6	10	9,4	6,7	4,5	2,6	1,5	1,3
Nord-Est	MJ/m ²	1,8	3	5,3	8	10,2	12,7	12,6	9,8	7,1	3,4	1,7	1,4
Est	MJ/m ²	4,1	5,8	8,6	11	12,5	14,7	15,2	12,9	10,9	6	3,4	3
Sud-Est	MJ/m ²	7,4	8,7	10,8	11,7	11,7	13	13,6	12,8	12,7	8,3	5,7	5,4
Sud	MJ/m ²	9,6	10,4	11,4	10,5	9,7	10,4	10,8	11	12,4	9,4	7,1	6,9
Sud-Ovest	MJ/m ²	7,4	8,7	10,8	11,7	11,7	13	13,6	12,8	12,7	8,3	5,7	5,4
Ovest	MJ/m ²	4,1	5,8	8,6	11	12,5	14,7	15,2	12,9	10,9	6	3,4	3
Nord-Ovest	MJ/m ²	1,8	3	5,3	8	10,2	12,7	12,6	9,8	7,1	3,4	1,7	1,4
Orizz. Diffusa	MJ/m ²	2,2	3,2	5	6,5	8,3	9,8	8,8	7,5	5,8	3,6	2,1	1,9
Orizz. Diretta	MJ/m ²	2,7	4,2	6,8	9,5	10,7	13,1	14,5	11,6	9,4	4,4	2,2	1,7

Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione: 270 W/m²

Grafico 4.6: Irradiazione solare

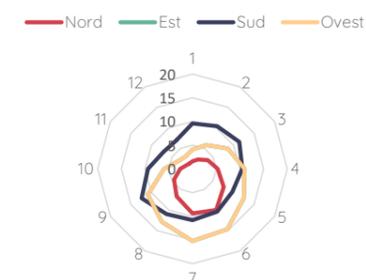


Tabella 4.24: Elenco componenti

Muri

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y _{TE}	Sfasamento	C _T	ε	α	θ	Ue
			[mm]	[kg/m ²]	[W/m ² °K]	[h]	[kJ/m ² °K]	[-]	[-]	[°C]	[W/m ² °K]
M1	T	Muro di facciata (Rockpanel)	316,5	149	0,069	-10,81	48,549	0,9	0,6	-5	0,206

Pavimenti

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y _{TE}	Sfasamento	C _T	ε	α	θ	Ue
			[mm]	[kg/m ²]	[W/m ² °K]	[h]	[kJ/m ² °K]	[-]	[-]	[°C]	[W/m ² °K]
P3	N	Solaio prefabbricato	457	705	0,069	-14,762	63,25	0,9	0,6	20	0,97
P4	G	Solaio prefabbricato verso terreno	562	718	0,014	-16,118	65,248	0,9	0,6	-5	0,146
P5	T	Copertura piana	558,8	579	0,017	-16,962	40,953	0,9	0,6	-5	0,225
P6	N	Pavimento locali umidi	457,8	706	0,068	-14,798	62,641	0,9	0,6	20	0,967
P7	U	Pavimento locali tecnici	457,8	706	0,068	-14,798	62,641	0,9	0,6	20	0,967

Soffitti

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y _{TE}	Sfasamento	C _T	ε	α	θ	Ue
			[mm]	[kg/m ²]	[W/m ² °K]	[h]	[kJ/m ² °K]	[-]	[-]	[°C]	[W/m ² °K]
S1	N	Solaio prefabbricato	537	849	0,068	-16,293	69,432	0,9	0,6	20	1,02
S2	T	Copertura piana	602	624	0,011	-18,363	69,032	0,9	0,6	-5	0,219

Componenti finestrati

Cod	Tipo	Descrizione	vetro	ε	ggl,n	fc inv	fc est	H	L	Ug	Uw	θ	Agf	Lgf
								[cm]	[cm]	W/m ²	[W/m ² °K]	[°C]	[m ²]	[m]
W1	T	Finestra 2300x440	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	440	2300	1,3	1,4	-5	95,177	286,21
W2	T	Finestra 3100x440	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	440	3100	1,3	1,4	-5	132,84	390,01
W3	T	Finestra 3500x440	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	440	3500	1,3	1,4	-5	150,02	440,37
W4	T	Finestra 300x100	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	100	300	1,3	1,4	-5	2,627	13,09
W5	T	Finestra 100x100	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	100	100	1,3	1,4	-5	0,865	3,72
W6	T	Finestra 400x100	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	100	400	1,3	1,4	-5	3,557	15,09

Legenda simboli

- ε Emissività
- ggl,n Fattore di trasmittanza solare
- fc inv Fattore tendaggi (energia invernale)
- fc est Fattore tendaggi (energia estiva)
- H Altezza
- L Larghezza
- Ug Trasmittanza vetro
- Uw Trasmittanza serramento
- θ Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
- Agf Area del vetro
- Lgf Perimetro del vetro

Tabella 4.25: Dispersioni per componenti

Dispersioni strutture opache:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U	θ_e	S_{Tot}	Φ_{tr}	$\% \Phi_{Tot}$
			[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[W]	[%]
M1	T	Muro di facciata (Rockpanel)	0,207	-5	796,46	4656	31,1
Totale:						4656	31,1

Dispersioni strutture trasparenti:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U	θ_e	S_{Tot}	Φ_{tr}	$\% \Phi_{Tot}$
			[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[W]	[%]
W1	T	Finestra 2300x440	1,4	-5	101,35	4257	28,4
W2	T	Finestra 3100x440	1,4	-5	136,55	5018	33,5
W4	T	Finestra 300x100	1,4	-5	12,56	495	3,3
W5	T	Finestra 100x100	1,4	-5	6,42	247	1,6
W6	T	Finestra 400x100	1,4	-5	8,36	322	2,1
Totale:						10338	68,9

Grafica 4.7: Dispersioni per esposizione

■ VERTICALI OPACHI ■ ORIZZONTALI OPACHI ■ TRASPARENTI

DISPERSIONI PER COMPONENTE		
ELEMENTI	[W]	[%]
VERTICALI OPACHI	4.656	31,1
ORIZZONTALI OPACHI	0	0
TRASPARENTI	20.677	137,8



Tabella 4.26: Dispersioni per esposizione

Prospetto Nord-Est:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	$\% \Phi_{Tot}$
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M1	Muro di facciata (Rockpanel)	0,207	-5	93,12	580	3,9
W1	Finestra 2300x440	1,4	-5	101,35	4257	28,4
W4	Finestra 300x100	1,4	-5	6,28	264	1,8
Totale:					5100	34

Prospetto Nord-Est:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	$\% \Phi_{Tot}$
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M1	Muro di facciata (Rockpanel)	0,207	-5	93,12	580	3,9
W1	Finestra 2300x440	1,4	-5	101,35	4257	28,4
W4	Finestra 300x100	1,4	-5	6,28	264	1,8
Totale:					5100	34

Prospetto Sud-Est:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	$\% \Phi_{Tot}$
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M1	Muro di facciata (Rockpanel)	0,207	-5	343,06	1957	13,1
W5	Finestra 100x100	1,4	-5	6,42	247	1,6
W6	Finestra 400x100	1,4	-5	8,36	322	2,1
Totale:					2526	16,8

Prospetto Sud-Ovest:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	$\% \Phi_{Tot}$
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M1	Muro di facciata (Rockpanel)	0,207	-5	57,92	315	2,1
W2	Finestra 3100x440	1,4	-5	136,55	5018	33,5
W4	Finestra 300x100	1,4	-5	6,28	231	1,5
Totale:					5564	37,1

Prospetto Nord-Ovest:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	$\% \Phi_{Tot}$
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M1	Muro di facciata (Rockpanel)	0,207	-5	302,36	1804	12
Totale:					1804	12

Grafica 4.8: Dispersioni per esposizione

— DISPERSIONI PER ESPOSIZIONE [W] — DISPERSIONI PER ESPOSIZIONE [%]

DISPERSIONI PER ESPOSIZIONE		
ESPOSIZIONE	[W]	[%]
Prospetto Nord-Est	34	34,1
Prospetto Sud-Est	2.526	16,8
Prospetto Sud-Ovest	5.564	37,1
Prospetto Nord-Ovest	1.804	12

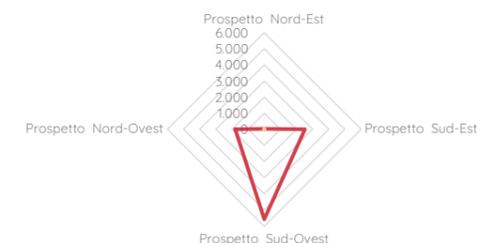


Tabella 4.27: Dispersioni per ventilazione

Dispersioni per Ventilazione:

Nr.	Descrizione zona termica	V_{netto}	Φ_{ve}
		[m ³]	[W]
1	Zona climatizzata 1	7111,5	23705
Totale		23705	197.129

Legenda simboli

V_{netto} | Volume netto della zona termica
 Φ_{ve} | Potenza dispersa per ventilazione

Tabella 4.28: Dispersioni totali

Dispersioni totali:

Coefficiente di sicurezza adottato 1,00

Nr.	Descrizione zona termica	Φ_{hl}	$\Phi_{\text{hl,sic}}$
		[W]	[W]
1	Zona climatizzata 1	38699	38699
Totale		38699	38699

Legenda simboli

Φ_{hl} | Potenza totale dispersa
 $\Phi_{\text{hl,sic}}$ | Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE

Categoria DPR 412/93	E.6 (2)
Superficie esterna	1.398,18 m ²
Superficie utile	1.616,25 m ²
Volume lordo	11.830,93 m ³
Volume netto	7.111,48 m ³
Rapporto S/V	0,12 m ⁻¹

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo	Vicini presenti
Stagione di calcolo Convenzionale	dal 15 ottobre al 15 aprile
Durata della stagione	183 giorni

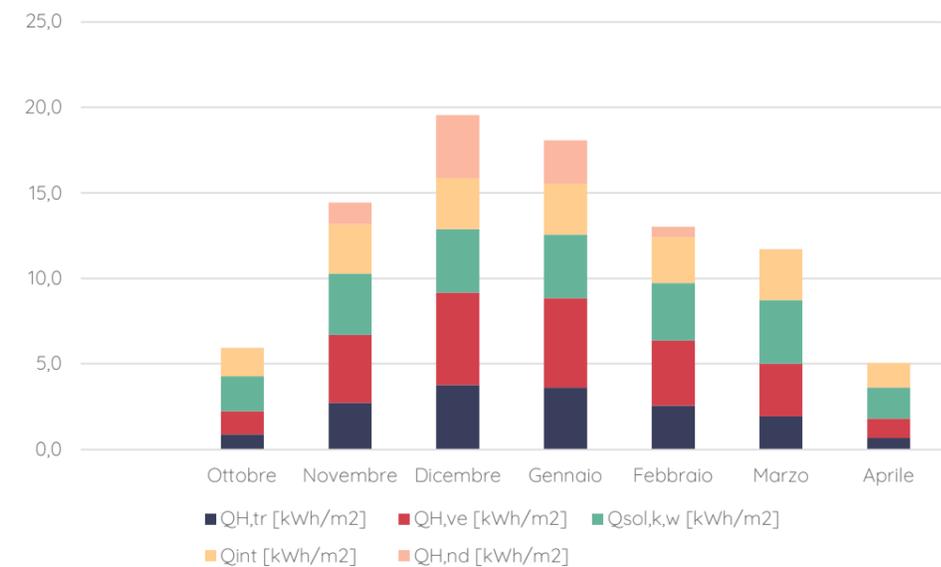
Tabella 4.29: Fabbisogno di energia utile invernale

Mese	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,int}$	$Q_{sol,k,w}$	$Q_{sol,k,w}$	Q_{int}	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,nd}$
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]
Ottobre	1.406	0,87	239	2.206	1,36	3.852	2.902	1,80	3.297	2,04	6.199	3	0,00
Novembre	4.402	2,72	586	6.400	3,96	11.389	3.703	2,29	5.819	3,60	9.522	2.042	1,26
Dicembre	6.086	3,77	611	8.730	5,40	15.428	3.444	2,13	6.012	3,72	9.457	5.978	3,70
Gennaio	5.829	3,61	579	8.466	5,24	14.873	4.798	2,97	6.012	3,72	10.810	4.114	2,55
Febbraio	4.137	2,56	582	6.165	3,81	10.884	5.113	3,16	5.431	3,36	10.544	963	0,60
Marzo	3.123	1,93	786	4.973	3,08	8.883	7.243	4,48	6.012	3,72	13.255	18	0,01
Aprile	1.064	0,66	326	1.852	1,15	3.242	4.177	2,58	2.909	1,80	7.086	0	0,00
Totale	26.047	16,12	3.710	38.792	24,00	68.549	31.381	19,42	35.493	21,96	66.874	13.118	8,12

Legenda simboli

$Q_{H,tr}$ | Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache ($Q_{sol,k,h}$)
 $Q_{H,tr}$ | Energia dispersa per extralflusso
 $Q_{H,ve}$ | Energia dispersa per ventilazione
 $Q_{H,int}$ | Totale energia dispersa = $Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$
 $Q_{sol,k,w}$ | Apporti solari attraverso gli elementi finestrati
 Q_{int} | Apporti interni
 Q_{gn} | Totale apporti gratuiti = $Q_{sol} + Q_{int}$
 $Q_{H,nd}$ | Energia utile

Grafica 4.9: Fabbisogno di energia utile invernale



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE		
$Q_{H,tr}$	[kWh/m ²]	16,1
$Q_{H,ve}$	[kWh/m ²]	24,0
$Q_{sol,k,w}$	[kWh/m ²]	19,4
Q_{int}	[kWh/m ²]	22,0
$Q_{H,nd}$	[kWh/m ²]	8,1

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE

Categoria DPR 412/93	E.6 (2)
Superficie esterna	1.398,18 m ²
Superficie utile	1.616,25 m ²
Volume lordo	11.830,93 m ³
Volume netto	7.111,48 m ³
Rapporto S/V	0,12 m ⁻¹

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo	Vicini presenti
Stagione di calcolo Reale	dal 22 gennaio al 14 novembre
Durata della stagione	297 giorni

Dati climatici della località:

Altitudine s.l.m.	122 m
Gradi giorno	2404
Zona climatica	E
Temperatura esterna di progetto	-5,0 °C

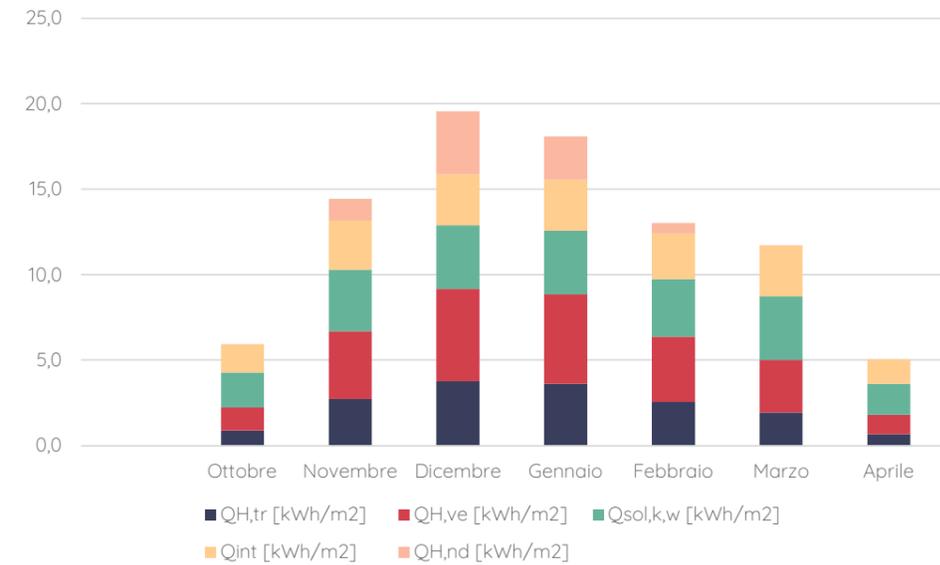
Tabella 4.30: Fabbisogno di energia utile stagione estiva

Mese	Q _{c,tr}	Q _{c,tr}	Q _{c,cr}	Q _{c,ve}	Q _{c,ve}	Q _{c,ht}	Q _{sol,k,w}	Q _{sol,k,w}	Q _{int}	Q _{int}	Q _{gn}	Q _{c,nd}	Q _{c,nd}
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]
Gennaio	2.475	1,53	206	3.559	2,20	6.239	1.548	0,96	1.940	1,20	3.487	0	0,00
Febbraio	6.196	3,83	582	9.032	5,59	15.811	5.113	3,16	5.431	3,36	10.544	4	0,00
Marzo	5.404	3,34	786	8.148	5,04	14.337	7.243	4,48	6.012	3,72	13.255	369	0,23
Aprile	4.102	2,54	687	6.452	3,99	11.241	8.354	5,17	5.819	3,60	14.172	2.984	1,85
Maggio	1.895	1,17	713	3.492	2,16	6.100	9.539	5,90	6.012	3,72	15.552	9.452	5,85
Giugno	481	0,30	877	1.638	1,01	2.996	10.614	6,57	5.819	3,60	16.433	13.436	8,31
Luglio	-166	-0,10	894	794	0,49	1.521	10.943	6,77	6.012	3,72	16.956	15.434	9,55
Agosto	11	0,01	841	899	0,56	1.751	9.390	5,81	6.012	3,72	15.403	13.651	8,45
Settembre	1.746	1,08	879	3.175	1,96	5.800	8.228	5,09	5.819	3,60	14.046	8.246	5,10
Ottobre	4.197	2,60	532	6.296	3,90	11.026	5.292	3,27	6.012	3,72	11.304	789	0,49
Novembre	2.810	1,74	312	4.039	2,50	7.161	1.728	1,07	2.715	1,68	4.444	1	0,00
Totale	29.151	18,04	7.309	47.524	29,40	83.983	77.992	48,25	57.603	35,64	135.596	64.368	39,83

Legenda simboli

Q _{c,tr}	Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache (Q _{sol,k,c})
Q _{c,cr}	Energia dispersa per extraflusso
Q _{c,ve}	Energia dispersa per ventilazione
Q _{c,ht}	Totale energia dispersa = Q _{c,tr} + Q _{c,ve}
Q _{sol,k,w}	Apporti solari attraverso gli elementi finestrati
Q _{int}	Apporti interni
Q _{gn}	Totale apporti gratuiti = Q _{sol} + Q _{int}
Q _{c,nd}	Energia utile

Grafica 4.10: Fabbisogno di energia utile stagione estiva



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE		
Q _{H,tr}	[kWh/m ²]	16,1
Q _{H,ve}	[kWh/m ²]	24,0
Q _{sol,k,w}	[kWh/m ²]	19,4
Q _{int}	[kWh/m ²]	22,0
Q _{H,nd}	[kWh/m ²]	8,1

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA

Come per il edificio scolastico i dati ottenuti in precedenza rispetto alla energia utile per le stagioni invernale ed estiva si hanno scelto gli impianti in corrispondenza che meglio coprivano i fabbisogni in ogni caso.

Servizio di riscaldamento

Caratteristiche impianto aerulico:

Tipo di impianto Ventilazione meccanica bilanciata
Dispositivi presenti Ricuperatore di calore, Riscaldamento aria

Dati per il calcolo della ventilazione meccanica effettiva:

Ricambi d'aria a 50 Pa	n ₅₀	1	h ⁻¹
Coefficiente di esposizione al vento	e	0,10	-
Coefficiente di esposizione al vento	f	15,00	-
Ricambio d'aria medio per ventilazione naturale nei locali con ventilazione meccanica ibrida	n	0,5	h ⁻¹
Fattore di efficienza della regolazione	FC _{ve,H}	1,00	-
Ore di funzionamento dell'impianto	hf	12,00	-
Rendimento nominale del ricuperatore	ηH _{nom}	0,80	-

Figura 4.55: Diagramma servizio di riscaldamento

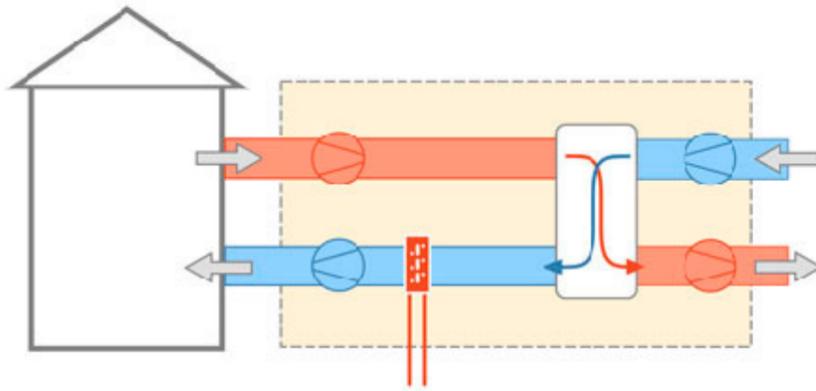
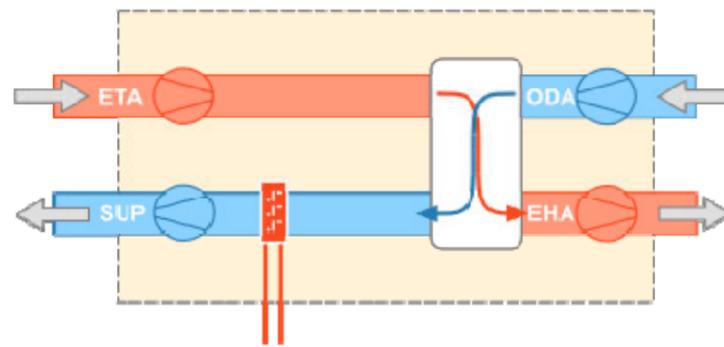


Figura 4.56: Diagramma caratteristiche dei condotti



Condotto di estrazione dagli ambienti (ETA):

Temperatura di estrazione da ambienti	20,0 °C
Potenza elettrica dei ventilatori	370 W
Portata del condotto	3.555,74 m ³ /h

Condotto di immissione negli ambienti (SUP):

Temperatura di immissione in ambienti	20,0 °C
Potenza elettrica dei ventilatori	0 W
Portata del condotto	3.555,74 m ³ /h

Condotto di aspirazione dell'aria esterna (ODA):

Differenza di temperatura per scambio con il terreno	0,0 °C
Potenza elettrica dei ventilatori	0 W
Portata del condotto	3.555,74 m ³ /h

Tabella 4.31: Servizio di riscaldamento

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	94	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	98	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{H,du}$	99	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{H,gen,p,nren}$	124	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. totale)	$\eta_{H,gen,p,tot}$	62	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{H,g,p,nren}$	591	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. totale)	$\eta_{H,g,p,tot}$	111	%

Dettaglio rendimenti dei singoli generatori :

Generatore	$\eta_{H,gen,ut}$	$\eta_{H,gen,p,nren}$	$\eta_{H,gen,p,tot}$
	[%]	[%]	[%]
Pompa di calore - secondo UNI/TS 11300-4	242	124	62

Legenda simboli

$\eta_{H,gen,ut}$	Rendimento di generazione rispetto all'energia utile
$\eta_{H,gen,p,nren}$	Rendimento di generazione rispetto all'energia primaria non rinnovabile
$\eta_{H,gen,p,tot}$	Rendimento di generazione rispetto all'energia primaria totale

Circuito Riscaldamento

Caratteristiche sottosistema di emissione:

Tipo di terminale di erogazione	Radiatori su parete esterna isolata
Temperatura di mandata di progetto	85,0 °C
Potenza nominale dei corpi scaldanti	75.853 W
Fabbisogni elettrici	0 W

Rendimento di emissione	93,0 %
--------------------------------	--------

Caratteristiche sottosistema di regolazione:

Tipo	Per singolo ambiente + climatica
Caratteristiche	P banda proporzionale 1 °C

Rendimento di regolazione	98,0 %
----------------------------------	--------

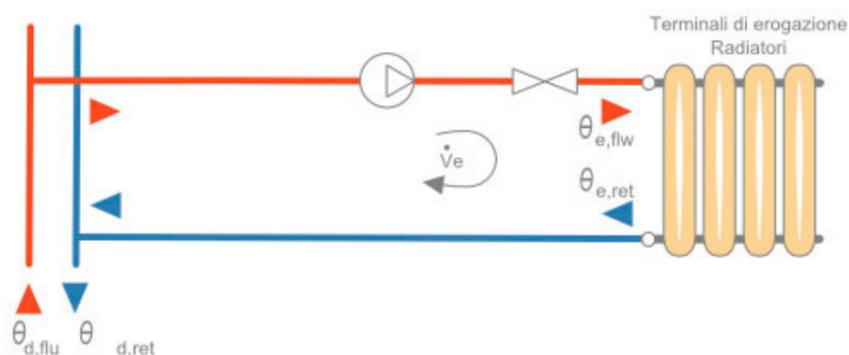
Caratteristiche sottosistema di distribuzione utenza:

Metodo di calcolo	Semplificato
Tipo di impianto	Autonomo, edificio condominiale
Posizione impianto	Impianto a piano intermedio
Posizione tubazioni	-
Isolamento tubazioni	Isolamento con spessori conformi alle prescrizioni del DPR n. 412/93
Numero di piani	-
Fattore di correzione	1,00
Rendimento di distribuzione utenza	99,0 %
Fabbisogni elettrici	0 W

Temperatura dell'acqua - Riscaldamento

Tipo di circuito Valvole termostatiche, bitubo

Figura 4.57: Diagramma radiatori



Maggiorazione potenza corpi scaldanti	10,0 %
ΔT nominale lato aria	50,0 °C
Esponente n del corpo scaldante	1,30 -
ΔT di progetto lato acqua	20,0 °C
Portata nominale	3.590,29 kg/h
Criterio di calcolo	Temperatura di mandata variabile
Temperatura di mandata massima	80,0 °C
ΔT mandata/ritorno	40,0 °C
Sovratemperatura della valvola miscelatrice	5,0 °C

Aqua calda sanitaria

Dati generali:

Servizio	Riscaldamento, ventilazione e acqua calda sanitaria
Tipo di generatore	Pompa di calore
Metodo di calcolo	secondo UNI/TS 11300-4
Marca/Serie/Modello	AIC Italia Srl/Aurax 4Tubi/75
Tipo di pompa di calore	Elettrica
Temperatura di disattivazione	$\theta_{H,off}$ 20,0 °C (per riscaldamento)
Sorgente fredda	Aria esterna
Temperatura di funzionamento (cut-off) minima	-20,0 °C
Temperatura di funzionamento (cut-off) massima	43,0 °C
Sorgente calda	Acqua di impianto
Temperatura di funzionamento (cut-off) minima	25,0 °C
Temperatura di funzionamento (cut-off) massima	60,0 °C
Temperatura della sorgente calda (acqua sanitaria)	55,0 °C

Pannelli fotovoltaici

Per la simulazione energetica nel software si hanno utilizzato la stessa tipologia dei pannelli fotovoltaici utilizzati per la simulazione dell'edificio scolastico.

Tabella 4.32: Pannelli fotovoltaici

Energia elettrica da produzione fotovoltaica [kWh]											
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
1.687	2.301	4.062	5.330	6.540	7.629	8.021	6.575	5.064	2.754	1.432	1.239
Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile					$Q_{H,p,nren}$	2.219 kWh/anno					
Fabbisogno di energia primaria totale					$Q_{H,p,tot}$	11.800 kWh/anno					
Rendimento globale medio stagionale (rispetto all'energia primaria non rinnovabile)					$\eta_{H,p,p,nren}$	591 %					
Rendimento globale medio stagionale (rispetto all'energia primaria totale)					$\eta_{H,p,p,tot}$	111 %					
Consumo di energia elettrica effettivo						1.138 kWh/anno					

Servizio di raffrescamento

Contrario a quello che si è considerato per l'edificio scolastico, per la palestra si ha fatto la simulazione per la ventilazione considerando un impianto con produzione combinata con riscaldamento. Cioè si utilizza la stessa pompa di calore con le seguenti caratteristiche:

Tabella 4.33: Rendimento impianto di raffrescamento

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{C,e}$	98	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{C,rg}$	96	%
Rendimento di distribuzione	$\eta_{C,d}$	100	%
Rendimento di generazione (risp. a en. utile)	$\eta_{C,gen,ut}$	590	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{C,gen,p,nren}$	303	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non tot.)	$\eta_{C,gen,p,tot}$	244	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{C,g,p,nren}$	2.118.270	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. tot.)	$\eta_{C,g,p,tot}$	416	%

Caratteristiche sottosistema di emissione:

Tipo di terminale di erogazione Ventilconvettori idronici

Fabbisogni elettrici 393 W

Caratteristiche sottosistema di regolazione:

Tipo Controllo singolo ambiente

Caratteristiche Regolazione modulante (banda 2°C)

Caratteristiche sottosistema di emissione:

Tipo di terminale di erogazione Ventilconvettori idronici

Fabbisogni elettrici 393 W

Caratteristiche sottosistema di regolazione:

Tipo Controllo singolo ambiente

Caratteristiche Regolazione modulante (banda 2°C)

Fabbisogni termici **Tabella 4.34: Fabbisogni termici impianto di raffrescamento**

Mese	gg	$Q_{C,nd}$	$Q_{C,sys,out}$	$Q_{C,sys,out,cont}$	$Q_{C,sys,out,corr}$	Q_{Cr}	Q_v	$Q_{C,gen,out}$	$Q_{C,gen,in}$
		[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Gennaio	31	0	6	6	6	7	0	7	1
Febbraio	28	4	218	218	218	232	0	232	39
Marzo	31	369	3.465	3.465	3.465	3.683	0	3.683	624
Aprile	30	2.984	6.527	6.527	6.527	6.938	0	6.938	1.176
Maggio	31	9.452	11.399	11.399	11.399	12.116	70	12.186	2.065
Giugno	30	13.436	14.356	14.356	14.356	15.259	520	15.779	2.674
Luglio	31	15.434	15.883	15.883	15.883	16.883	1.189	18.071	3.063
Agosto	31	13.651	14.161	14.161	14.161	15.052	1.338	16.390	2.778
Settembre	30	8.246	10.028	10.028	10.028	10.659	0	10.659	1.807
Ottobre	31	789	3.790	3.790	3.790	4.028	0	4.028	683
Novembre	30	1	18	18	18	19	0	19	3
Dicembre	31	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALI	365	64.368	79.851	79.851	79.851	84.876	3.116	87.992	14.914

Grafica 4.11: Fabbisogno di energia termica per raffrescamento



Per calcolare i requisiti illuminotecnici, è stata effettuata un'analisi uguale a quello fatto per l'edificio scolastico basato nella norma EN 12464-1 - Requisiti illuminotecnici per interni (zone), compiti e attività, in cui si è utilizzata la seguente formula:

$$P(W) = E_v(lx) \times A(m^2) / \eta(lm/W)$$

Tabella 4.35: Fabbisogno servizio d'illuminazione

FABBISOGNI SERVIZIO ILLUMINAZIONE

Fabbisogni elettrici per illuminazione dei locali climatizzati

Zona	Locale	Descrizione	$Q_{ill,int,a}$	$Q_{ill,int}$
			[kWh _a]	[kWh _a]
1	1	SPOGL. MASC. 1	56	56
1	2	SPOGL. FEM. 1	58	58
1	3	INGRESSO PALESTRA 1	84	84
1	4	INFERMERIA	368	368
1	5	SPOGL. M. DOC. 1	43	43
1	6	SPOGL. F. DOC. 1	40	40
1	7	SPOGL. F. DOCENTI 2	41	41
1	8	SPOGL. M. DOC. 2	42	42
1	9	INGRESSO PALESTRA 2	156	156
1	10	SPOGL. MASCHILE 2	56	56
1	11	SPOGL. FEMMINILE 2	58	58
1	12	CAMPO POLIFUNZIONALE	7.486	7.486
1	13	CAMPO POLIFUNZIONALE 2	7.971	7.971
1	15	WC	7	7
1	16	ANTI WC	6	6
1	17	WC M1	156	156
1	18	WC F1	38	38
1	19	DEP. 1	133	133
1	20	DEP. 2	133	133
1	21	WC F2	38	38
1	22	WC M2	39	39

Legenda simboli

$Q_{ill,int,a}$ Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
 $Q_{ill,int}$ Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna

Tabella 4.36: Fabbisogno mensile e complessivi per illuminazione

Mese	Giorni	$Q_{ill,int,a}$	$Q_{ill,int,p}$	$Q_{ill,int}$	$Q_{ill,est}$	Q_{ill}	$Q_{p,ill}$
		[kWh _{el}]	[kWh]				
Gennaio	31	1.495	0	1.495	0	1.495	2.915
Febbraio	28	1.324	0	1.324	0	1.324	2.583
Marzo	31	1.433	0	1.433	0	1.433	2.794
Aprile	30	1.373	0	1.373	0	1.373	2.677
Maggio	31	1.412	0	1.412	0	1.412	2.754
Giugno	30	1.364	0	1.364	0	1.364	2.659
Luglio	31	1.410	0	1.410	0	1.410	2.750
Agosto	31	1.414	0	1.414	0	1.414	2.757
Settembre	30	1.387	0	1.387	0	1.387	2.704
Ottobre	31	1.454	0	1.454	0	1.454	2.835
Novembre	30	1.439	0	1.439	0	1.439	2.805
Dicembre	31	1.503	0	1.503	0	1.503	2.932
TOTALI		17.008	0	17.008	0	17.008	33.166

Legenda simboli

$Q_{ill,int,a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill,int,p}$	Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill,int,u}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali non climatizzati
$Q_{ill,int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna
$Q_{ill,est}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale esterna
Q_{ill}	Fabbisogno di energia elettrica totale
$Q_{p,ill}$	Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione

FABBISOGNI ILLUMINAZIONE COMPLESSIVI

Fabbisogni per il servizio illuminazione di ogni zona

Zona	$Q_{ill,int,a}$	$Q_{ill,int}$	Q_{ill}	$Q_{p,ill}$
	[kWh _{el}]	[kWh _{el}]	[kWh _{el}]	[kWh]
1 - Zona	17.008	17.008	17.008	33.166
TOTALI	17.008	17.008	17.008	33.166

Legenda simboli

$Q_{ill,int,a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill,int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna
Q_{ill}	Fabbisogno di energia elettrica totale
$Q_{p,ill}$	Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione

FABBISOGNI E CONSUMI TOTALI

Tabella 4.37: Fabbisogni e consumi totali - Edificio Palestra

Edificio : Palestra per uso scolastico e	DPR 412/93	E.6 (2)	Superficie utile	1.616	m ²
--	------------	---------	------------------	-------	----------------

Fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

Servizio	$Q_{p,nren}$	$Q_{p,ren}$	$Q_{p,tot}$	$EP,nren$	EP,ren	EP,tot
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Riscaldamento	2.219	9.581	11.800	1	6	7
Raffrescamento	3	15.453	15.456	0	10	10
Ventilazione	327	1.532	1.858	0	1	1
Illuminazione	3.551	16.043	19.594	2	10	12
TOTALE	6.100	42.609	48.710	4	26	30

Riscaldamento	1	6
Ventilazione	0	1
Illuminazione	2	10

Vettori energetici ed emissioni di CO₂

Vettore energetico	Consumo	U.M.	CO ₂	Servizi
Energia elettrica	3.128	kWhel/anno	1.439	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria, Raffrescamento, Ventilazione, Illuminazione

Zona 1: Zona climatizzata 1	DPR 412/93	E.6 (2)	Superficie utile	1.616	m ²
-----------------------------	------------	---------	------------------	-------	----------------

Fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

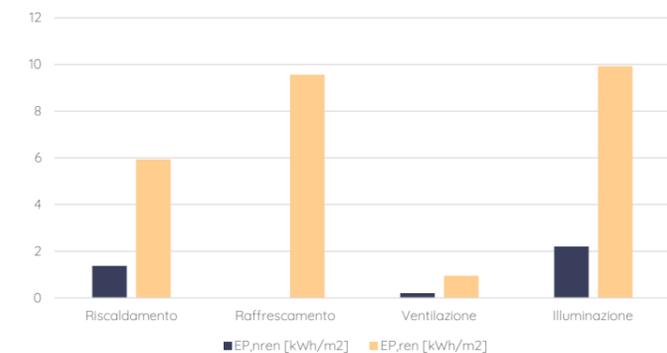
Servizio	$Q_{p,nren}$	$Q_{p,ren}$	$Q_{p,tot}$	$EP,nren$	EP,ren	EP,tot
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Riscaldamento	2.219	9.581	11.800	1	6	7
Raffrescamento	3	15.453	15.456	0	10	10
Ventilazione	327	1.532	1.858	0	1	1
Illuminazione	3.551	16.043	19.594	2	10	12
TOTALE	6.100	42.609	48.710	4	26	30

Vettori energetici ed emissioni di CO₂

Vettore energetico	Consumo	U.M.	CO ₂	Servizi
Energia elettrica	3.128	kWhel/anno	1.439	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria, Raffrescamento, Ventilazione, Illuminazione

Servizio	$EP,nren$ [kWh/m ²]	EP,ren [kWh/m ²]
Riscaldamento	1	6
Raffrescamento	0	10
Ventilazione	0	1
Illuminazione	2	10

Grafica 4.12: Fabbisogno di energia e consumi totali



VERIFICHE DI LEGGE

Tabella 4.58: Catture di immagini - Software Edilclima

Verifiche di legge D.Interm. 26.06.15 Verifiche di legge DLgs 3 Marzo 2011 n.28

Fase: Fase II - 1 Gennaio 2019 edifici pubblici e 1 Gennaio 2021 al... Edificio ad energia quasi zero

Edificio: Palestra per uso scolastico e pubblico

Superficie disperdente oggetto di intervento (Sint): 1398,18 m²

Superficie disperdente totale (S): 1398,18 m²

Percentuale di superficie disperdente interessata dall'intervento (Sint/S): 100,00 %

Edifici di nuova costruzione

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoisometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Trasmittanza media divisori e strutture locali non climatizzati	-			

Dettagli - Verifica termoisometrica

Cod.	Tipo	Descrizione	Condensa superficiale	Condensa interstiziale
M1	T	Muro di facciata (Rockpanel)	Positiva	Positiva

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoisometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Trasmittanza media divisori e strutture locali non climatizzati	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva			

Dettagli - Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile

Nr.	Descrizione	Verifica	Asol,eq amm. [-]	Asol,eq [-]	Asol [m ²]	Su [m ²]
1	Zona climatizzata 1	Positiva	0,040	≥	0,034	54,24

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva			
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva			
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	8,62 >	8,12	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	44,19 >	39,83	kWh/m ²

Dettagli - Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)

Nr.	Descrizione	Cat. DPR 412	Verifica	Ht amm. [W/m ² K]	Ht [W/m ² K]	Ht Pavim. [W/m ² K]	Ht Pavimenti [W/m ² K]	Ht Soffitti [W/m ² K]	Ht Pareti [W/m ² K]	Ht Porti termici [W/m ² K]	Ht Finestre [W/m ² K]	Ht [W/m ² K]	S/V [m ²]	Ae [m ²]
1	Zona climatizzata 1	E.6 (2)	Positiva	0,75	≥	0,37	164,40	0,00	0,00	0,00	346,40	510,80	0,12	1398,18

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva			
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva			
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	8,62 >	8,12	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	44,19 >	39,83	kWh/m ²

Dettagli - Indice di prestazione termica utile per riscaldamento

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: D.Interm. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	Categoria DPR 412/93: E.6 (2)
Fabbisogno di energia utile: 13932,58 kWh	Superficie pianta netta: 1616,25 m ²
	Fabbisogno di energia utile: 13118,13 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	8,62 >	8,12	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	44,19 >	39,83	kWh/m ²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	89,36 >	30,14	kWh/m ²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Dettagli - Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: D.Interm. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	Categoria DPR 412/93: E.6 (2)
Fabbisogno di energia utile: 71415,71 kWh	Superficie pianta netta: 1616,25 m ²
	Fabbisogno di energia utile: 64368,45 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	8,62 >	8,12	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	44,19 >	39,83	kWh/m ²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	89,36 >	30,14	kWh/m ²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Dettagli - Indice di prestazione energetica globale

Valore ammissibile		Valore calcolato	
Riferimento: D.Interm. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	Categoria DPR 412/93: E.6 (2)	Superficie pianta netta: 1616,25 m ²	

Servizio	EP [kWh/m ²]	Servizio	EP [kWh/m ²]
Riscaldamento	8,55	Riscaldamento	7,30
Acqua calda sanitaria	0,00	Acqua calda sanitaria	0,00
Raffrescamento	45,32	Raffrescamento	9,56
Ventilazione	16,95	Ventilazione	1,15
Illuminazione	18,54	Illuminazione	12,12
Trasporto	0,00	Trasporto	0,00
Totale	89,36	Totale	30,14

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	8,62 >	8,12	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	44,19 >	39,83	kWh/m ²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	89,36 >	30,14	kWh/m ²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Dettagli - Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento

Nr.	Servizi	Verifica	ng amm. [%]	ng [%]
<input checked="" type="checkbox"/>	1 Riscaldamento	Positiva	100,8 ≤	111,2
<input checked="" type="checkbox"/>	2 Acqua calda sanitaria	Positiva	0,0 ≤	0,0
<input checked="" type="checkbox"/>	3 Raffrescamento	Positiva	97,5 ≤	416,4

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica potenza elettrica installata	Positiva	0,00 <	53,30	kW

Dettagli - Verifica potenza elettrica installata

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: DLgs 3.3.2011 n. 28, Allegato 3 - comma 3	Potenza elettrica installata: 53,30 kW
	Superficie in pianta a livello del terreno: 0,00 m ²

Copertura totale da fonte rinnovabile	Positiva	55,00 <	59,20	%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	Positiva	55,00 <	90,72	%
Verifica potenza elettrica installata	Positiva	0,00 <	69,75	kW

Dettagli - Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: DLgs 3.3.2011 n. 28, Allegato 3 - comma 1	Percentuale di copertura: 90,7 %
	Energia primaria rinnovabile: 5021 kWh
	Energia primaria non rinnovabile: 514 kWh
	Energia primaria totale: 5535 kWh

Verifica potenza elettrica installata	Positiva	0,00 <	53,30	kW
---------------------------------------	----------	--------	-------	----

Dettagli - Verifica potenza elettrica installata

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: DLgs 3.3.2011 n. 28, Allegato 3 - comma 3	Potenza elettrica installata: 53,30 kW
	Superficie in pianta a livello del terreno: 0,00 m ²

Nr. zona	Descrizione	Cat. DPR 412	Sup. netta [m ²]	Vol. lordo [m ³]	EPgl_nren	U.M.	Classe energetica
1	Zona climatizzata 1	E.6 (2)	1616,25	11830,93	3,77	kWh/m ² anno	A4

Avendo effettuato tutte le verifiche energetiche dell'edificio della palestra, come attualmente presentato al Comune di Milano, secondo il software l'edificio è conforme ai parametri NZEB, soddisfacendo un basso consumo di energia primaria di 3,77 kWh/m²anno ed essendo considerato di classe energetica A4.

In questa verifica si ha fatto anche evidente il fatto della mancanza di pannelli solari che possano coprire il fabbisogno di acqua calda sanitaria che può essere considerato nei seguenti step per la proposta di progetto.

5

PROPOSTA DI PROGETTO DELL'EDIFICIO SCOLASTICO

5.1. STRATEGIE D'INTERVENTO

Una volta effettuata tutta l'analisi energetica dell'edificio, si intende sviluppare una proposta di intervento integrale, non solo come miglioramento della parte energetica dal punto di vista dei materiali e degli impianti, ma anche a livello architettonico, si cercherebbe un miglioramento a livello spaziale, sia della distribuzione interna che della sua connessione con lo spazio intermedio e infine con lo spazio esterno, considerando che, come è stato spiegato nel corso di questa tesi, con le nuove sfide generate dalla pandemia del COVID, in termini di maggiore flessibilità e ampiezza spaziale e dove lo spazio aperto è diventato molto più importante, ma non solo, anche lo spazio virtuale che ha coperto gran parte delle nostre esigenze durante questo periodo che non sembra essere ancora finito. Ma è nello spazio aperto che sembra importante svolgere anche attività didattiche che stimolino i giovani a sviluppare le loro capacità cognitive in spazi molto più dinamici, sicuri e tranquilli e che a loro volta possano sviluppare la capacità di realizzarsi in un ambiente naturale.

“Un “spazio pensato” in senso pedagogico, dove ogni luogo diventa suggeritore di azioni, pensieri, interpretazioni ed emozioni”.¹

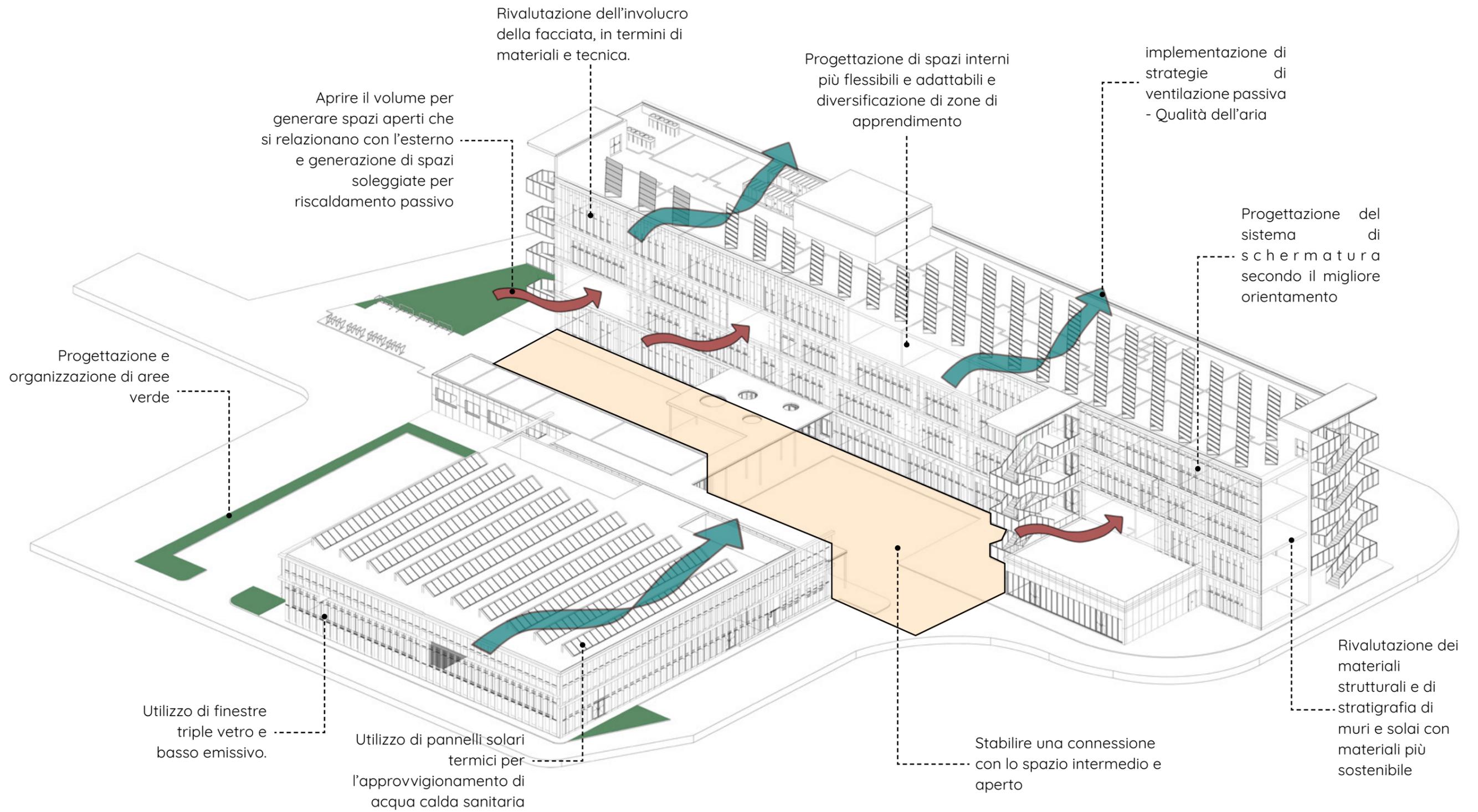
“Gli spazi dell'apprendimento sono tra quei luoghi che contribuiscono al benessere collettivo cui l'architettura, oggi più che mai, deve dare una risposta”.²

Elena Dorato nel suo libro “Architettura dell'educazione” (2021) afferma che “la qualità del luogo in cui si apprende influenzi la qualità del modo in cui si apprende”³¹. Anche l'autore afferma che la maniera in cui si progettano le scuole ad oggi alle volte può risultare obsoleto o inadeguato. Ad oggi, forse la solita dinamica frontale in cui le disposizione dei tavole è verso il professore chi è di fronte agli studenti deve essere magari ripensata. Lo studente dovrebbe avere le elementi ed stimoli in una maniera piu libera, nel senso che siano loro chi decidano la maniera in cui possono imparare ed studiare.

Di seguito verranno illustrate le strategie per lo sviluppo del progetto e si cercherà di migliorarne la qualità spaziale e ambientale all'interno dei parametri di un edificio NZEB.

³¹ Dorato, Elena. (2021). Architettura dell'Educazione.

Figura 5.0: Strategie d'intervento



5.2.

DESCRIZIONE DELLA PROPOSTA DI PROGETTO

Con l'obiettivo di migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio e di utilizzare materiali all'avanguardia e, a loro volta, più sostenibili per l'ecosistema, la proposta progettuale si è concentrata soprattutto sui materiali strutturali, passando dalla tradizionale struttura a solette composte di cemento armato di tipo 'predalles', al legno. In particolare, è stato utilizzato il laminato xlam, un materiale oggi molto utilizzato nei progetti scolastici e che funziona molto bene in questo tipo di progetti, per cui i laminati e le piastre di facciata sono composti da 5 strati di questo materiale, e le partizioni interne da 3 strati, essendo gran parte delle pareti strutturali, al fine di ottenere la distribuzione dei carichi.

Allo stesso modo, con lo stesso coraggio con cui si affronta il cambiamento di tutti i materiali principali, si è considerato che la facciata sia l'evidenza fisica, per cui si è deciso di mantenere il legno su tutte le facciate, tenendo anche conto del fatto che il colore blu scuro usato nella proposta precedente è un colore che assorbe molto calore, essendo questo un altro motivo per cambiare il materiale della facciata.

Per quanto riguarda i sistemi di ombreggiatura dell'edificio, si è deciso di lasciare l'intera facciata nord con pannelli verticali mobili, anch'essi in legno, mentre la facciata sud ha un sistema ibrido composto da questi stessi pannelli verticali e a loro volta con griglie orizzontali fisse nella struttura ma che possono ruotare internamente, perché come abbiamo visto nel corso della ricerca questo sistema funziona meglio per l'angolo del sole in estate sulla facciata che è più esposta alla luce solare (facciata sud).

Con questo e con le informazioni trovate sull'angolo del sole a Milano:

Milano --> 45° latitudine nord

$90^\circ - 45^\circ - 23^\circ = 22^\circ$ inverno

$90^\circ - 45^\circ + 23^\circ = 68^\circ$ stato

È stato calcolato come questo influisca sulla facciata e come dovrebbe essere progettato il sistema di ombreggiamento orizzontale.

A livello di distribuzione interna sono state apportate anche alcune modifiche, poiché per dare uno scopo a questi lunghi corridoi interni che portavano solo alle porte delle scale di emergenza, le dimensioni di alcuni laboratori e di alcune aule si sono ridotte per generare spazi aperti come i terrazzi, dove possono essere sviluppate altre tipologie di attività in cui si può

stabilire un collegamento con lo spazio aperto, questi spazi potrebbero essere utilizzati per opere di pittura ad olio o acrilica o attività che devono essere svolte in spazi coperti ma possono essere sviluppate un po' all'aperto incentivando questo rapporto con la natura che circonda l'edificio.

E non solo, per generare un certo dinamismo nelle facciate e per spezzare e generare una volumetria diversa da un rettangolo estruso, alcuni degli spazi che hanno sacrificato un po' della loro superficie per generare queste 'terrazze' sono pronunciati dall'esterno dalla facciata, in questo modo viene risolta la questione dello spazio 'perso' per la realizzazione di questi spazi semiaperti e la facciata assume una forma più dinamica e interessante.

In queste modifiche è cambiata anche la tipologia dei serramenti e anche le loro dimensioni, sempre rispettando 1/8 dell'area vetrata rispetto alla superficie dello spazio come dettato dal regolamento edilizio di Milano, inoltre serramenti più performanti di 3 verranno utilizzati vetri con trattamento basso emissivo e con un valore U per il vetro di: $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

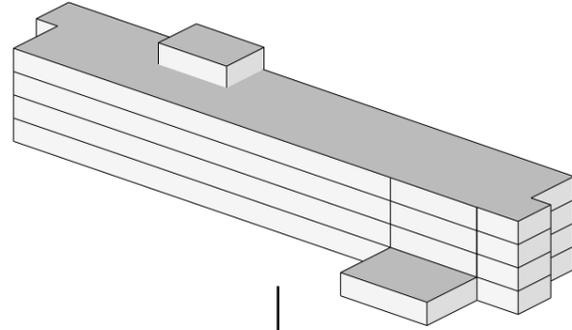
Per quanto riguarda il rapporto con lo spazio esterno, oltre alle suddette modifiche, è stato leggermente arretrato l'accesso principale e sono state realizzate più aree verdi, che nella precedente proposta erano molto scarse, per questo sono state ricollocate alcune aree di parcheggio, e 4 posti auto sono andati persi.

Si è deciso di mantenere la disposizione della palestra come era prima, ed è stata apportata l'unica modifica anche alla sua struttura, utilizzando lo stesso materiale dell'edificio scolastico, ovvero lastre di xlam e legno sulle facciate.

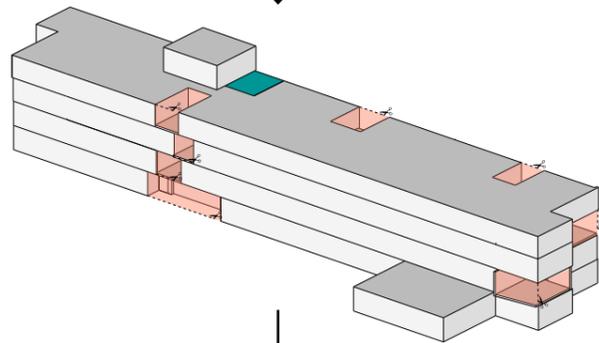
Per la circolazione verticale e per dargli personalità e generare altro spazio da condividere, accanto alla facciata principale sono stati realizzati degli stand che generano un vuoto orizzontale su tutti gli altri piani, tanto che la loro copertura è in vetro per generare illuminazione naturale e dispone di alcune griglie per generare un effetto albero per la ventilazione naturale delle aree di circolazione, queste griglie sono mobili, possono essere aperte o chiuse a seconda delle esigenze.

Figura 5.1: Schemi volumetrici

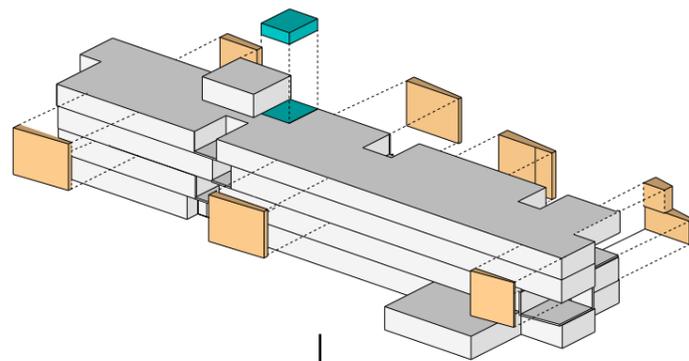
VOLUMETRIA INIZIALE



TAGLIO DEL VOLUME



AGGIUNTA DI VOLUMI + LUCERNARIO
CON GRIGLIE DI VENTILAZIONE



RISULTATO FINALE

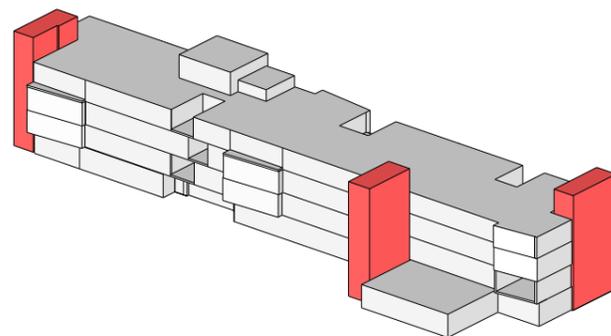


Figura 5.2: Assonometria esplosa

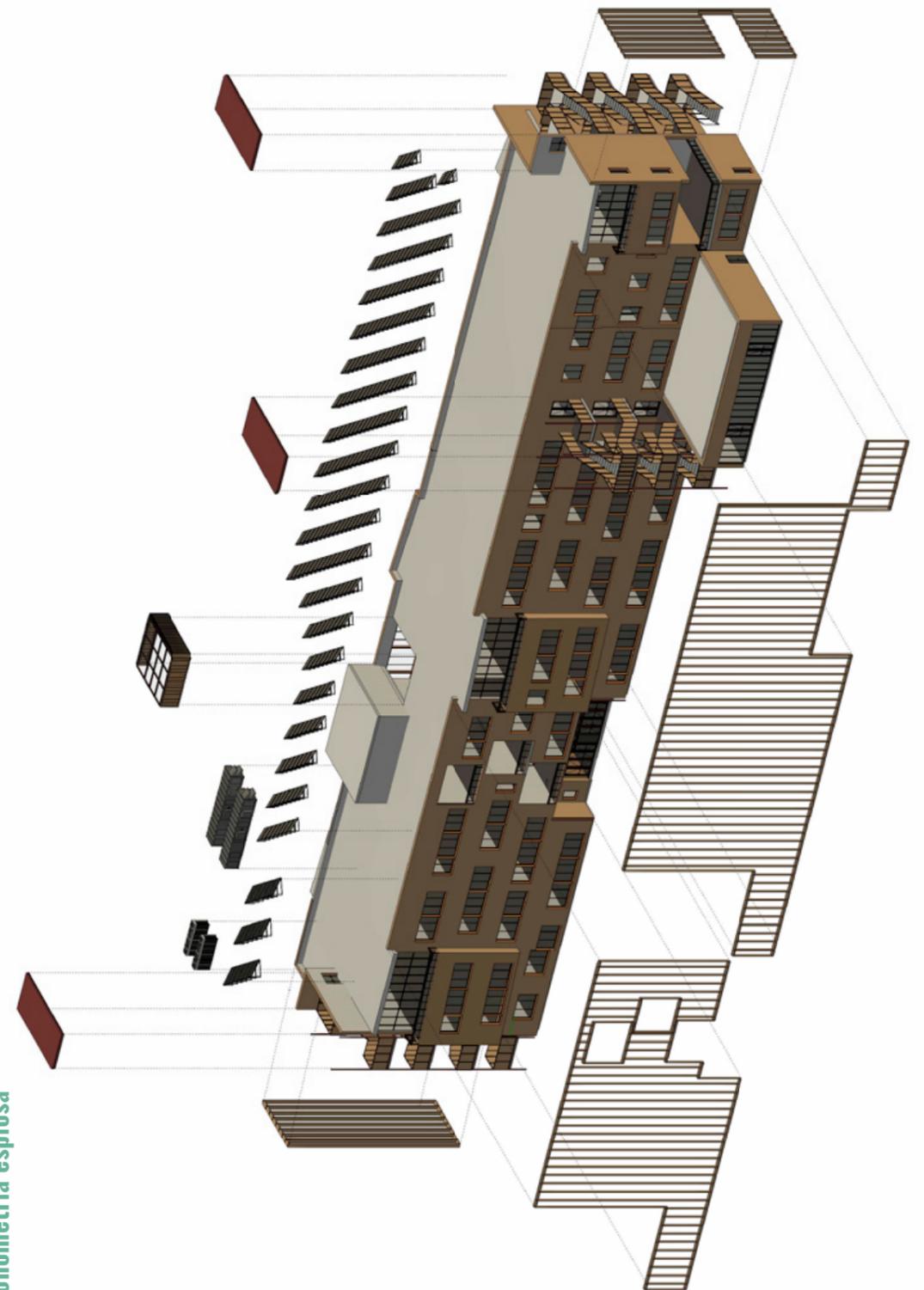


FIGURA 5.3- PIANTA PIANO TERRA



Figura 5.3. Elaborazione dall'autore.

FIGURA 5.4- PIANTA PIANO PRIMO



Figura 54. Elaborazione dall'autore..

FIGURA 5.5- PIANTA PIANO SECONDO



FIGURA 5.6- PIANTA PIANO TERZO

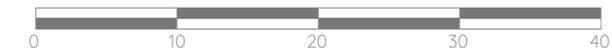


Figura 5.5 e 5.6. Elaborazione dall'autore.

FIGURA 5.7- PIANTA PIANO COPERTURA



Figura 5.8. Elaborazione dall'autore..



FIGURA 5.8- SEZIONE A-A' PROGETTO



FIGURA 5.9- SEZIONE B-B' PROGETTO

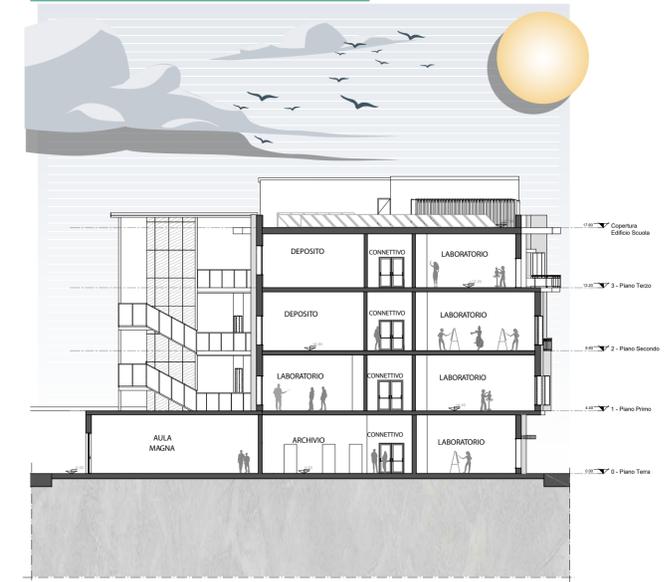


FIGURA 5.10- SEZIONE C-C' PROGETTO

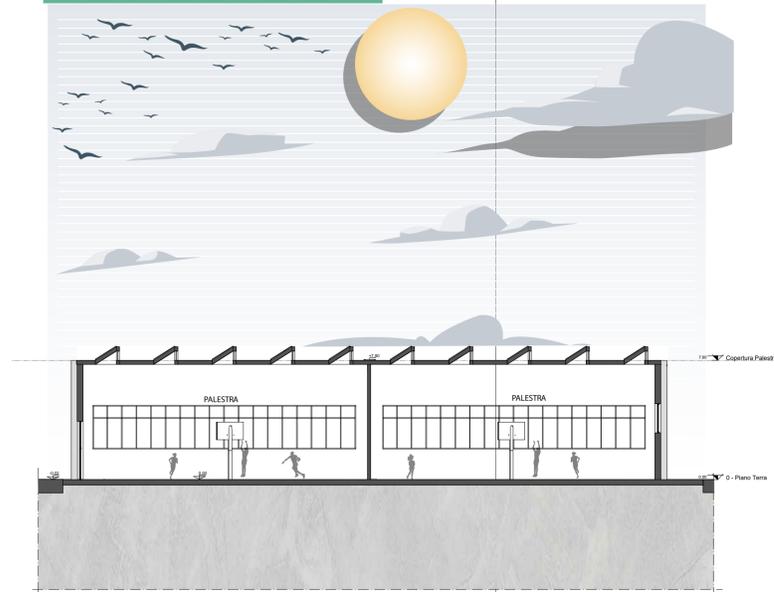
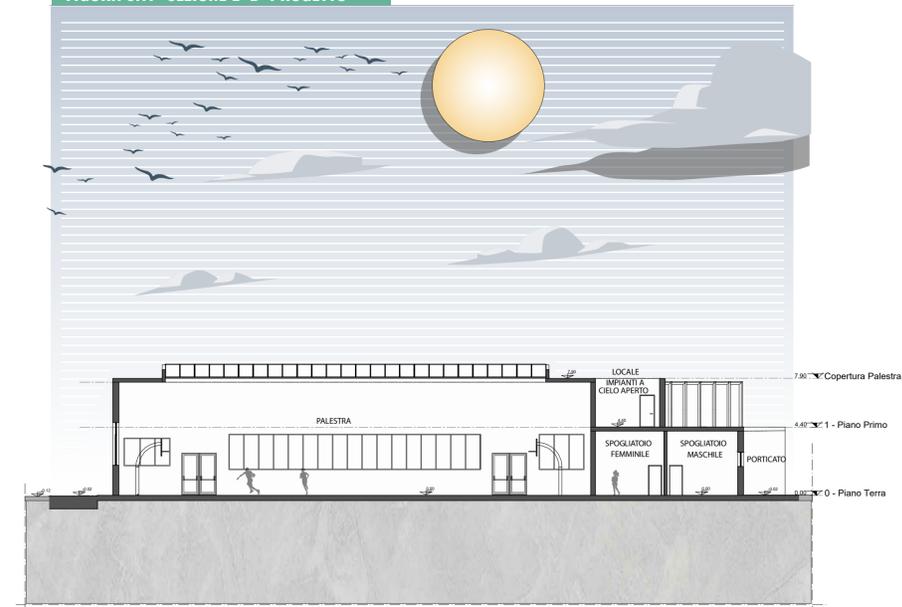


FIGURA 5.11- SEZIONE D-D' PROGETTO



NAVIGATORE

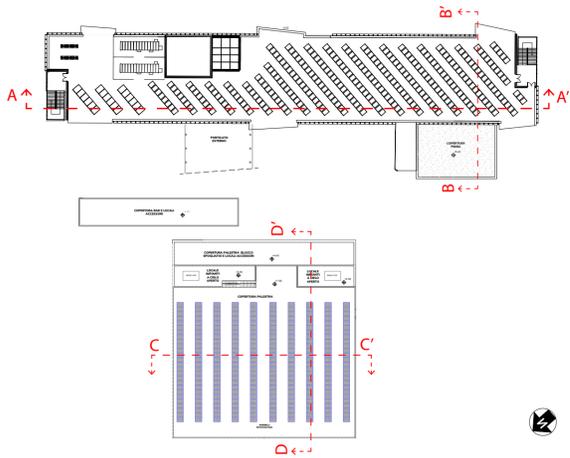


FIGURA 5.12 - PROSPETTO NORD - EST - EDIFICIO SCUOLA



FIGURA 5.13 - PROSPETTO SUD EST - EDIFICIO SCUOLA

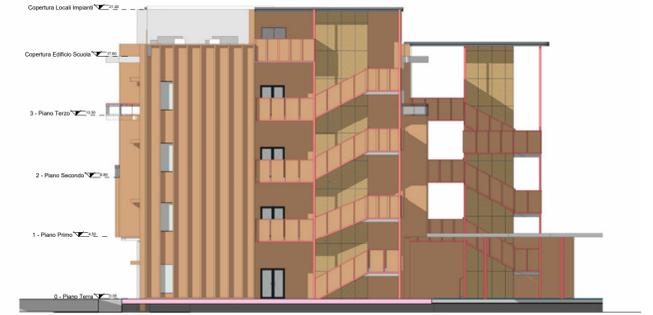


FIGURA 5.14 - PROSPETTO SUD - OVEST EDIFICIO SCUOLA



FIGURA 5.15 - PROSPETTO NORD-OVEST - EDIFICIO SCUOLA



FIGURA 5.16 - PROSPETTO SUD EST - EDIFICIO PALESTRA E BAR E LOCALI TECNICI



FIGURA 5.17 - PROSPETTO NORD-EST - EDIFICIO PALESTRA E BAR E LOCALI TECNICI

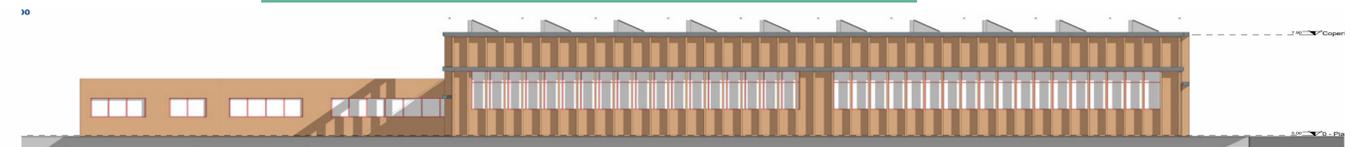


FIGURA 5.18 - PROSPETTO NORD-OVEST - EDIFICIO PALESTRA E BAR E LOCALI



FIGURA 5.19 - PROSPETTO SUD-OVEST - EDIFICIO PALESTRA E BAR E LOCALI TECNICI



FIGURA 5.20 - RENDER



FIGURA 5.21 - ASSONOMETRIE

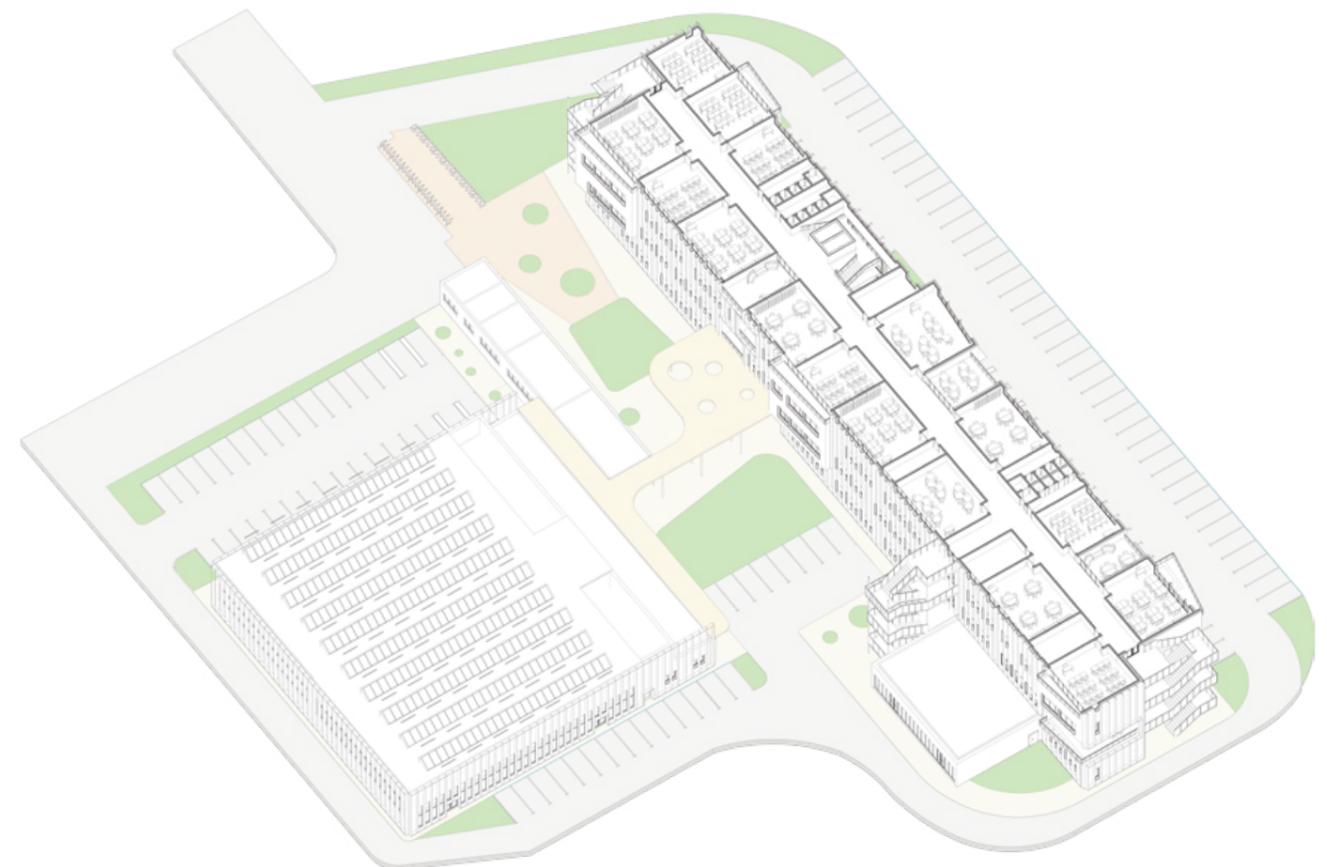
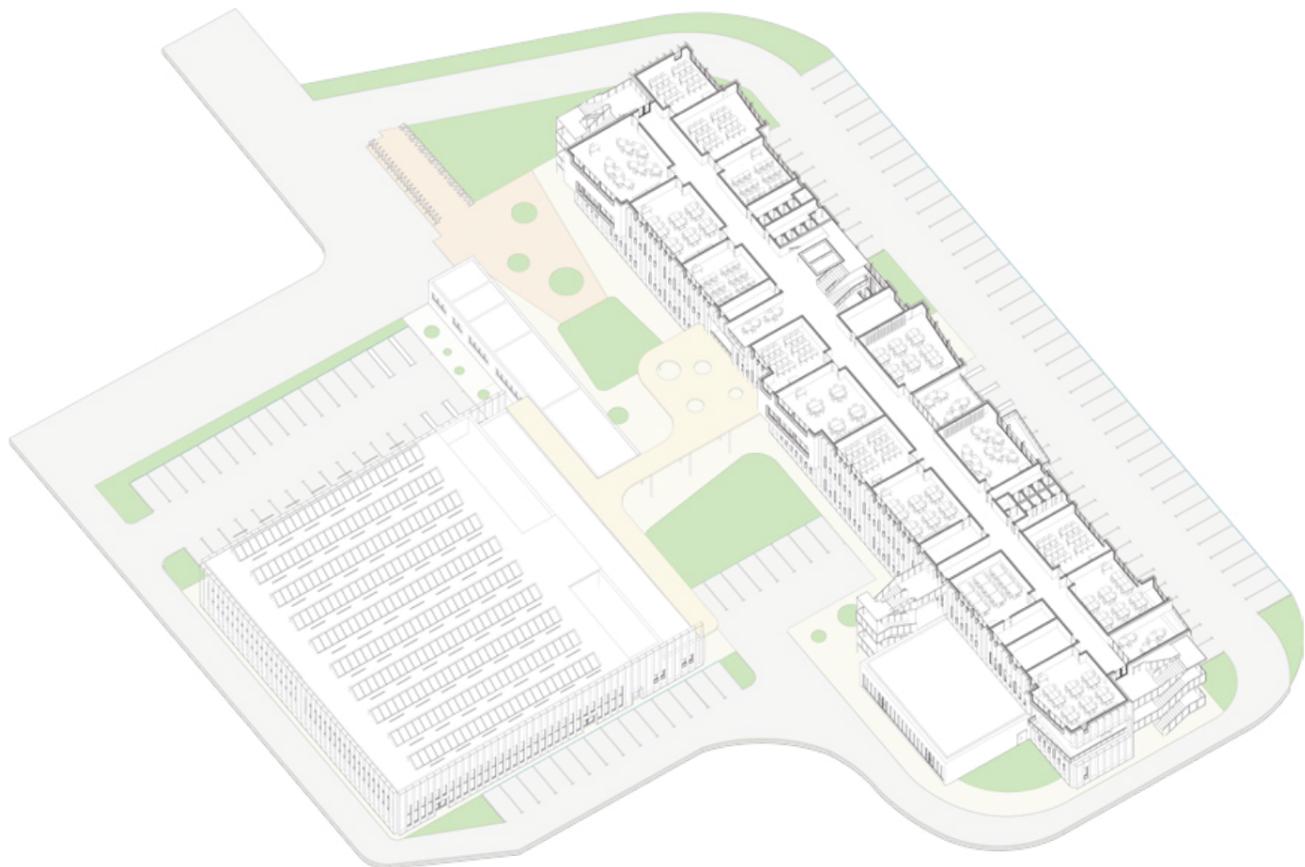
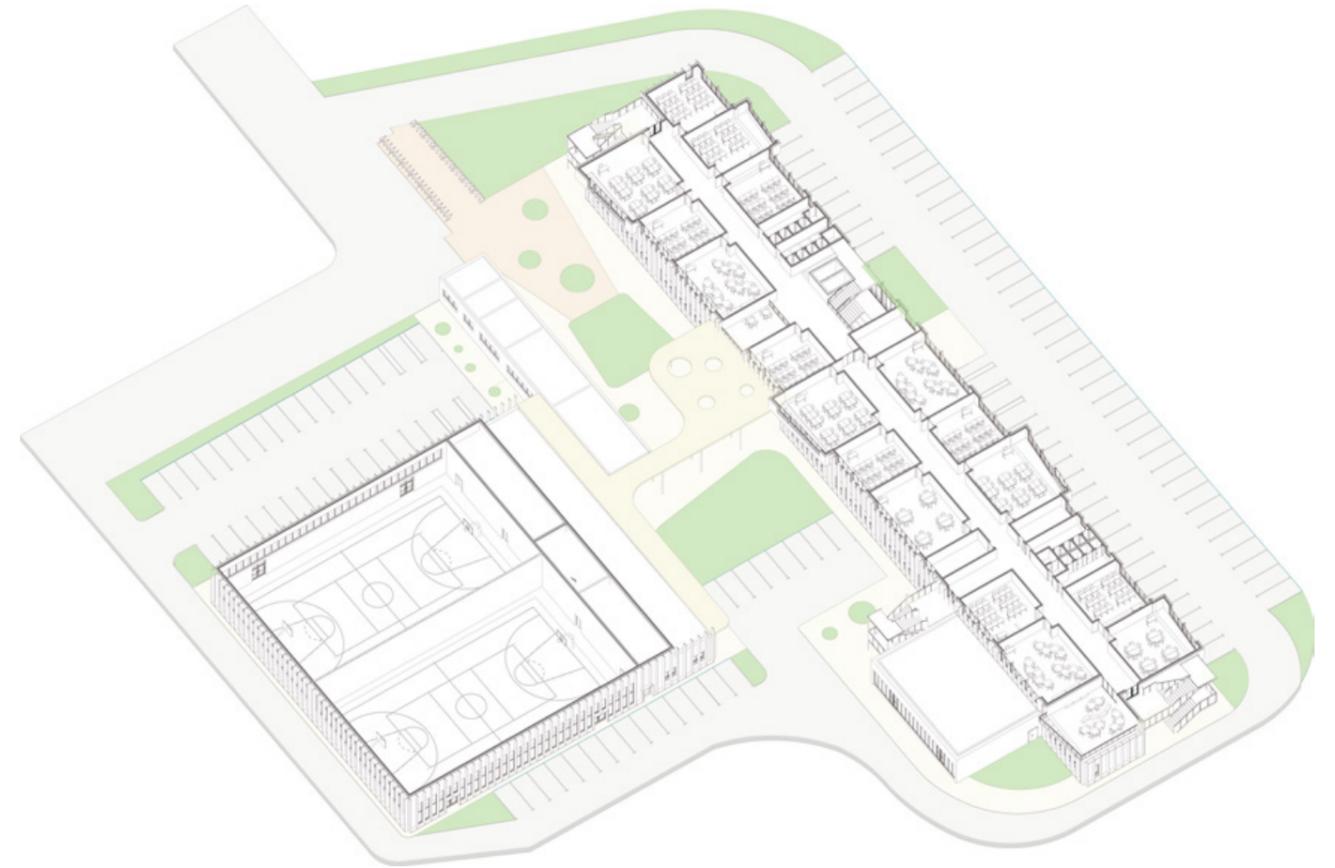
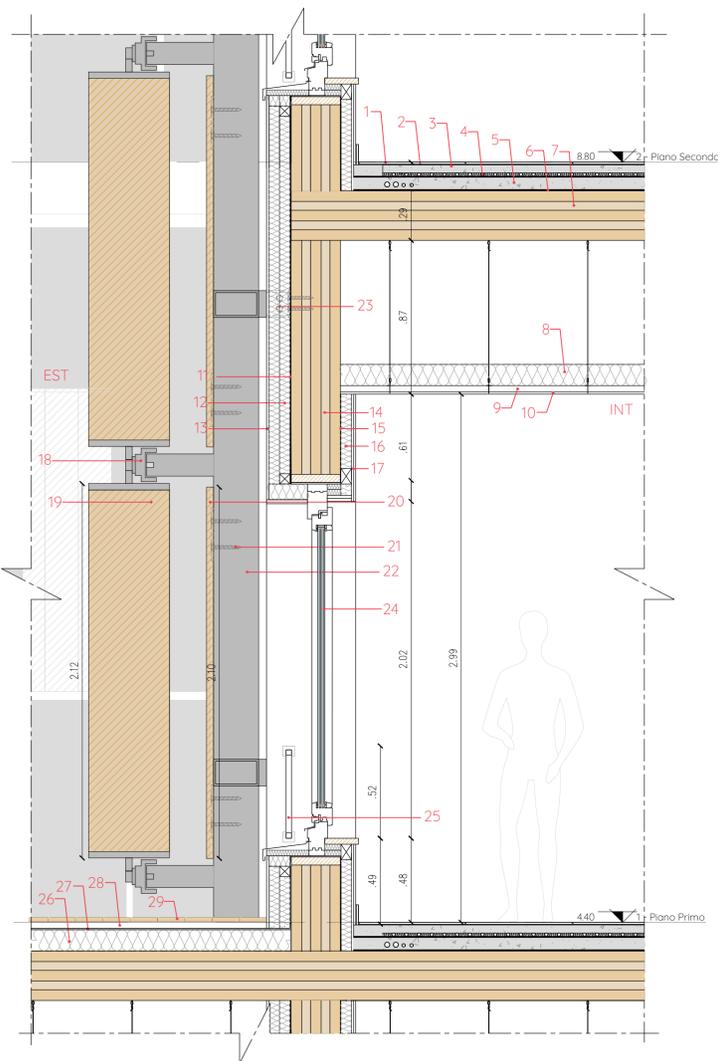


FIGURA 5.22 - DETTAGLIO COSTRUTTIVO SCALA 1:20



PAVIMENTO/SOFFITTO INTERNO

- 1 - Pavimento in gres ceramico a tutta massa formato 30x60cm (aule per la didattica) e spazi per attività speciali
- 2 - Collante
- 3 - Massetto cementizio armato prefezionato in centrale di betonaggio. Spessore min 5cm armato con rete elettrosaldata a maglia 10x10 e Ø4mm
- 4 - Pannelli radianti a pavimento (nei locali in cui sono previsti) e strato isolante
- 5 - Sottofondo di cemento alleggerito con argilla espansa / passaggio canalizzazioni impiantistiche
- 6 - Telo di protezione
- 7 - Pannello portante di solaio in X-lam/CLT
- 8 - Isolamento acustico
- 9 - Struttura del controsoffitto
- 10 - Controsoffitto in cartongesso

PARETI (ESTERIORE)

- 11 - Telo antivento
- 12 - Isolante in fibra di legno
- 13 - Rasatura + idropittura

PARETI (INTERIORE)

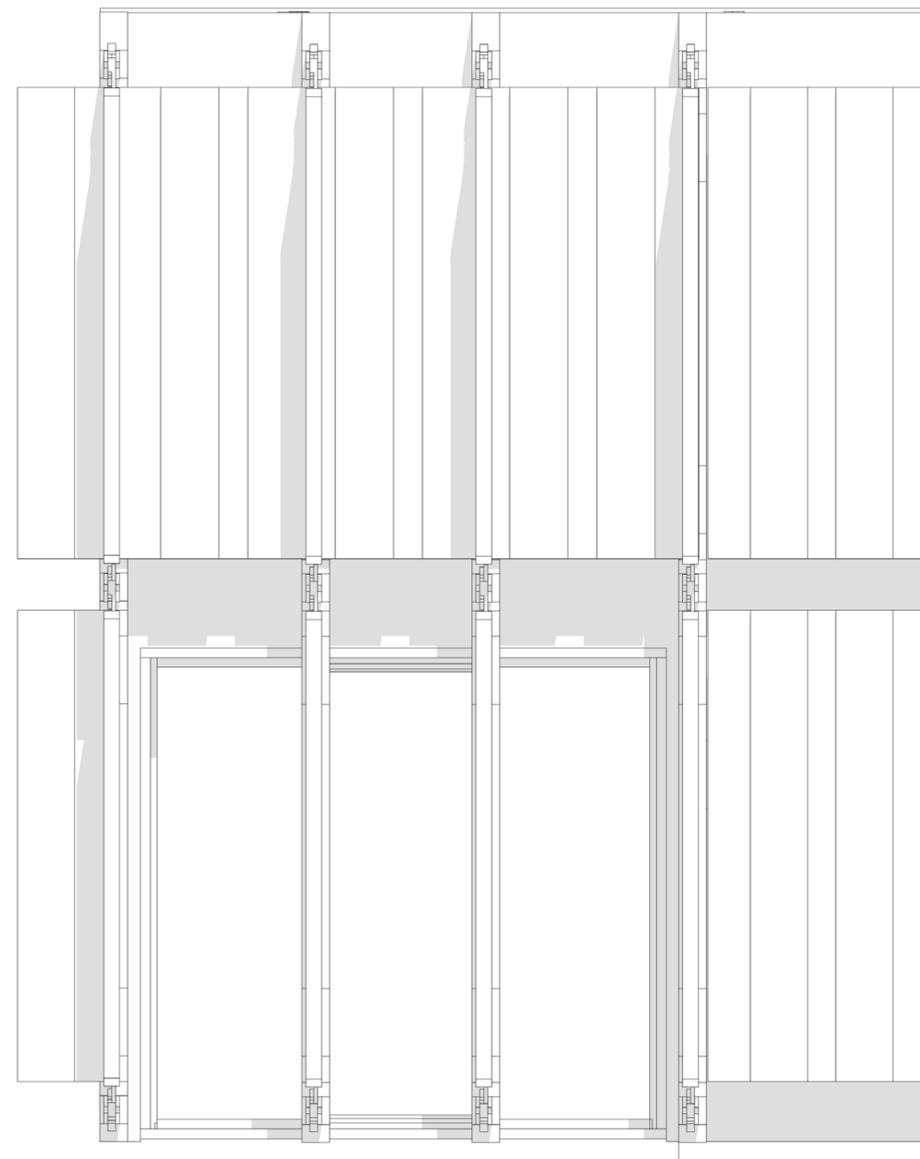
- 14 - Pannello portante in legno lamellare
- 15 - Freno vapore
- 16 - Isolante in fibra di legno
- 17 - Doppia lastra di cartongesso

INVOLUCRO

- 18 - Sistema mobile per frangisole
- 19 - Frangisole mobile in legno
- 20 - Pannello di facciata in legno
- 21 - Ancoraggio pannelli di facciata in legno
- 22 - Struttura metallica principale per il sistema sistema di schermatura e pannelli di facciate
- 23 - Ancoraggio struttura sistema di schermatura a struttura principale dell'edificio
- 24 - Finestra a triplo vetro basso emissivo con telaio in legno con apertura verso l'interno
- 25 - Parapetto anticaduta su struttura metallica ancorata alla parete

TERRAZZO - COPERTURA AULA MAGNA

- 26 - Strato di isolante
- 27 - Membrana di protezione
- 28 - Supporto metallico
- 29 - Tavolato in legno per esterno



+

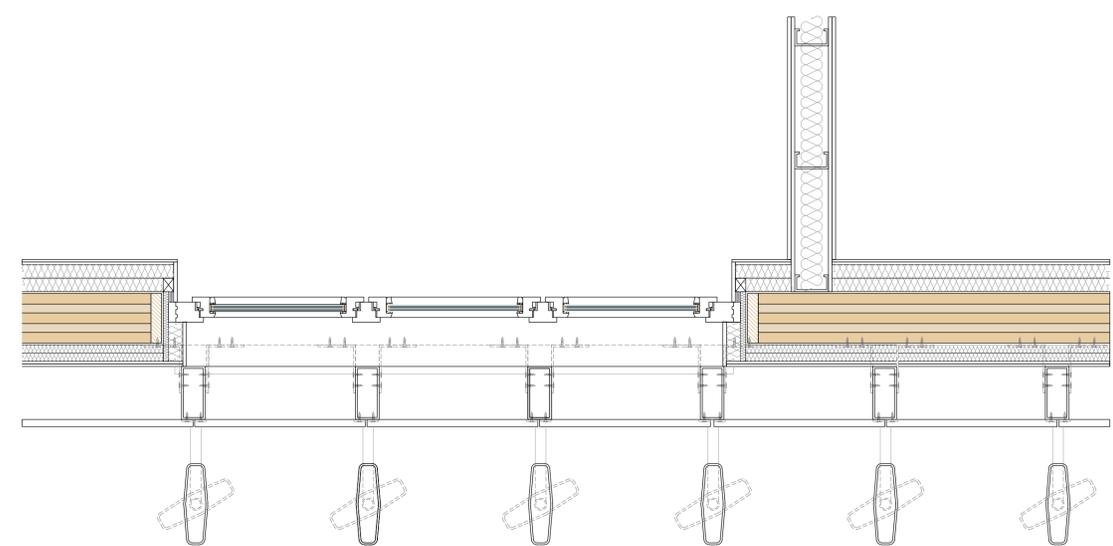
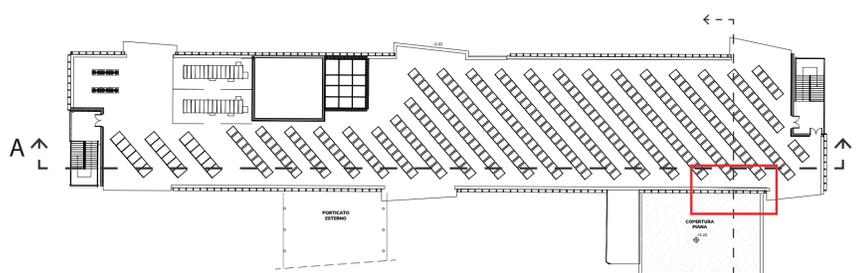
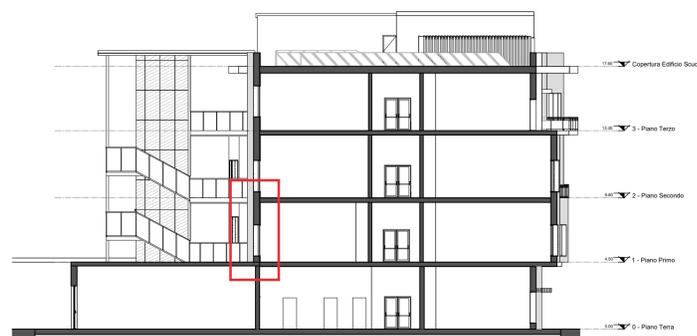
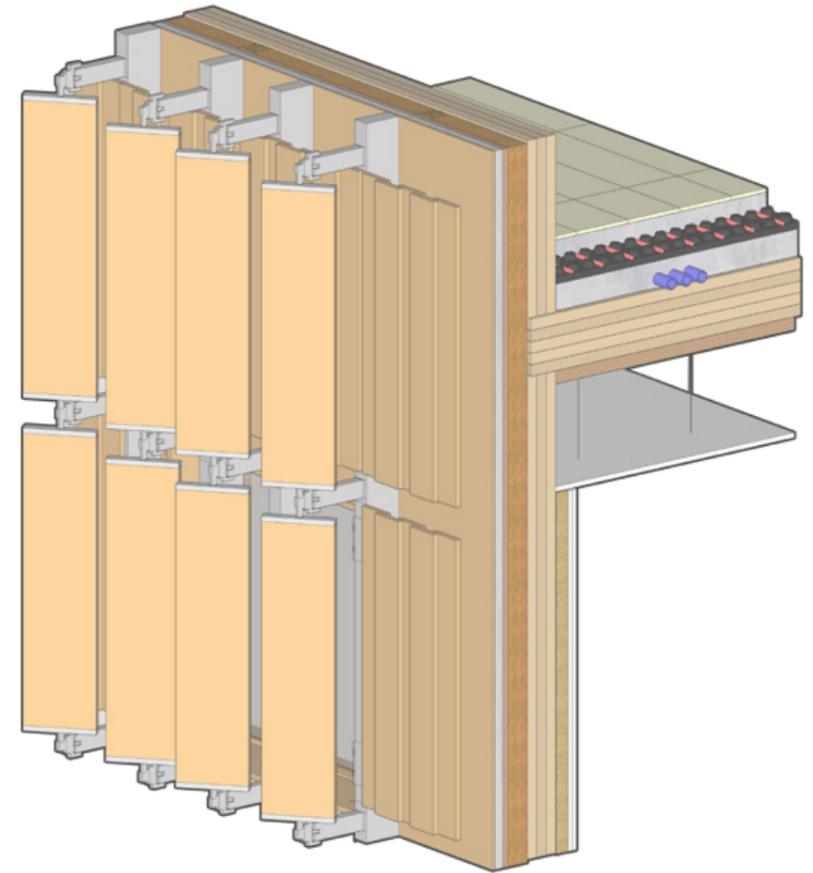
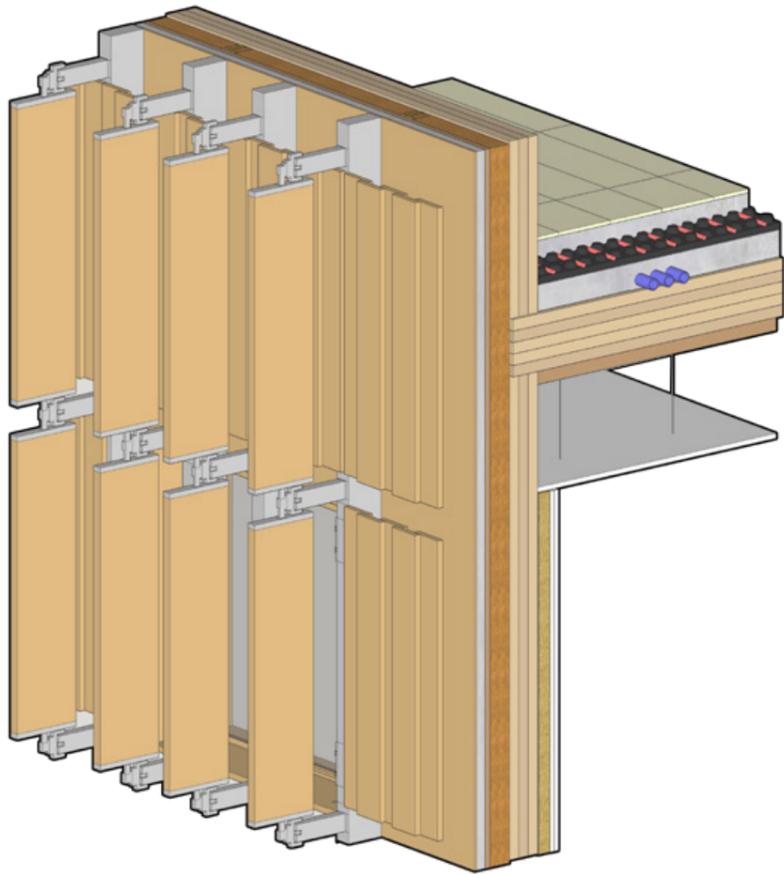
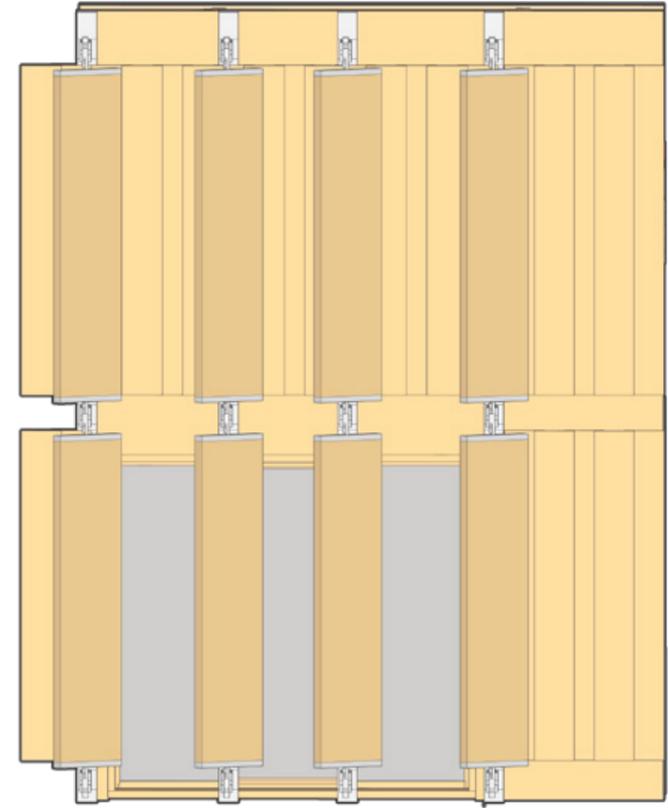
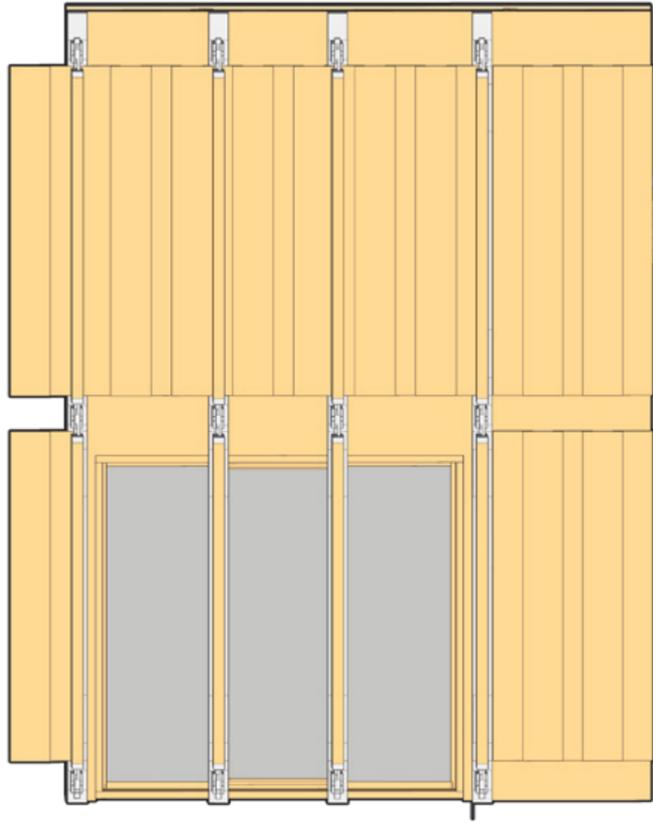


FIGURA 5.22 - VISTA SISTEMA D'INVOLUCRO



5.2.1.

ANALISI DELLA PROPOSTA: MATERIALI E STRATIGRAFIE, STRUTTURE OPACHE VERTICALI E ORIZZONTALI, COPERTURA E COMPONENTI FINISTRATI.

Come spiegato in precedenza, la nuova proposta mira a esplorare altri materiali da costruzione più rispettosi dell'ambiente, poiché sappiamo che l'energia incorporata del calcestruzzo è molto elevata, a causa del processo di produzione del cemento, che utilizza molta energia e le cui conseguenze sono altamente inquinanti. D'altra parte, il legno, un materiale che è stato utilizzato di recente, soprattutto in Europa e in Nord America, è un'alternativa molto più sostenibile perché la sua energia incorporata è molto più bassa di quella del calcestruzzo, in quanto è un materiale naturale e genera anche un elevato beneficio ambientale durante il periodo di crescita degli alberi. Come abbiamo già discusso nei capitoli precedenti, va anche detto che attualmente gli adesivi che vengono utilizzati per unire i laminati di legno, sono di solito molto inquinanti e persino tossici, e questo è uno dei suoi svantaggi. Tuttavia, considerando che ci sono più vantaggi che svantaggi, questo materiale è stato scelto come materiale strutturale principale dell'edificio. Ovviamente, per le fondamenta si utilizzerà il cemento armato, ma evitando o minimizzando il più possibile l'uso di questo materiale.

La stratigrafia dei muri e delle lastre sarà illustrata di seguito.

STRATIGRAFIA DEGLI ELEMENTI OPACHI VERTICALI

Per quanto riguarda all'involucro dell'edificio, le pareti saranno portanti costituite da pannelli in cross-lam con isolamento a capotto composto per fibra di legno, dopo di che va una cavità drenata e ventilata, la struttura e i pannelli che compongono la facciata, in questo caso saranno pannelli in legno. Dal lato interno sarà fornita una controparete in cartongesso con pannelli ad alta densità, con interposto isolante minerale naturale, tutto questo comprende uno spessore di 40 cm.

Mentre che per le pareti divisorie o tramezzi, queste saranno composte da pannelli in cartongesso, isolante minerale naturale (lana di roccia), struttura per i pannelli in cartongesso e i pannelli in X-lam.

Figura 5.23: Schema Involucro Proposta di progetto

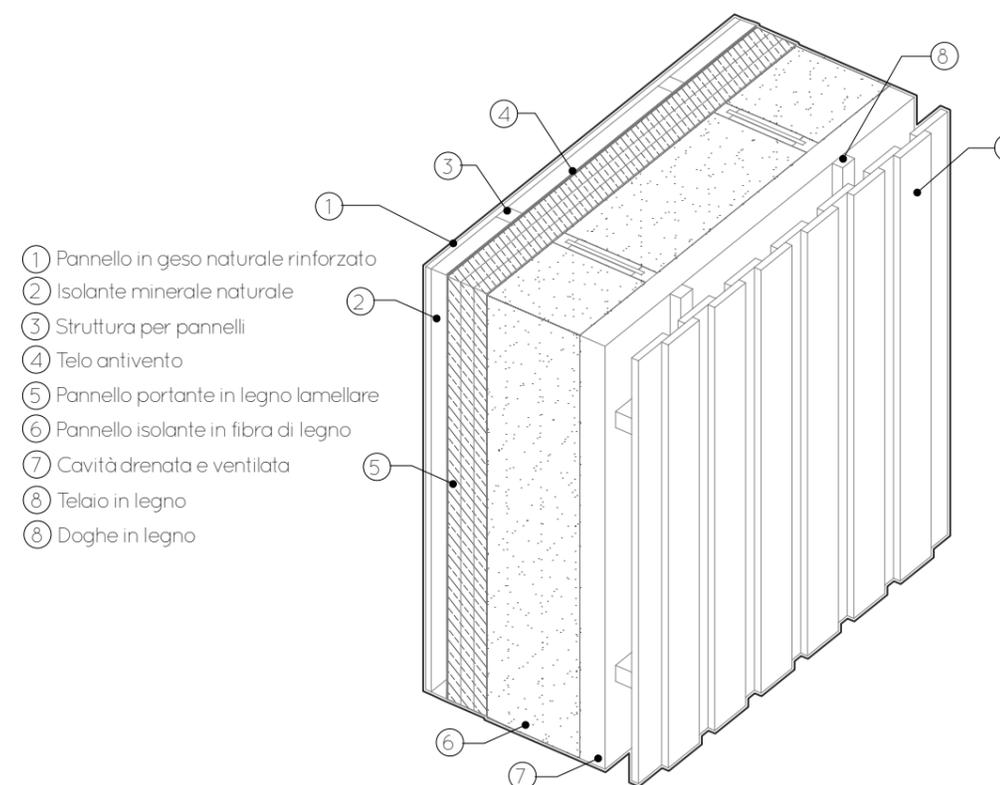
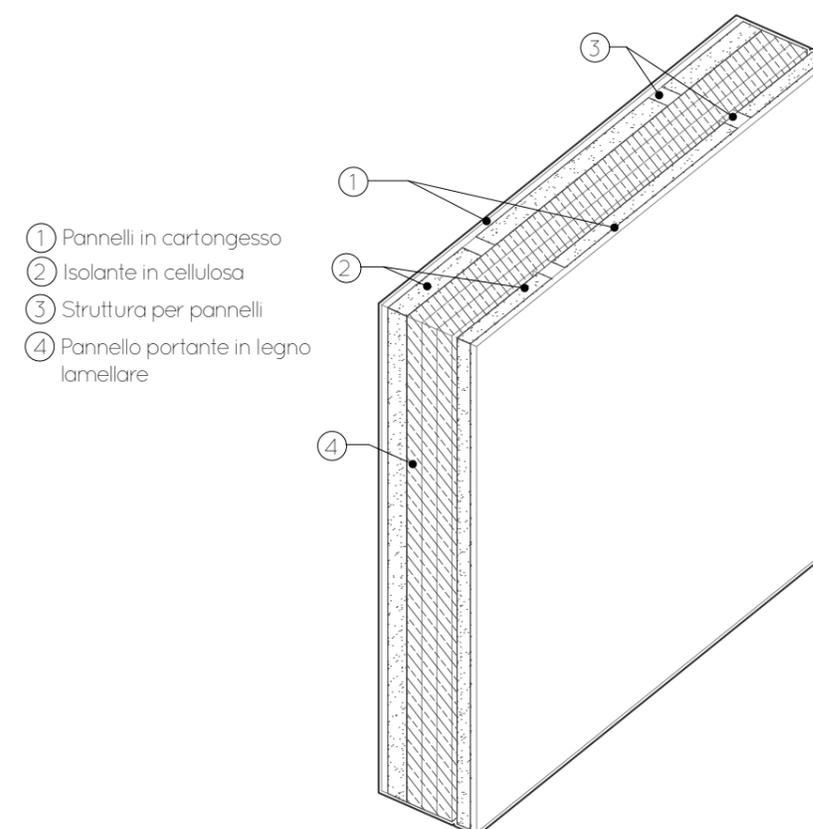


Figura 5.24: Schema Pareti divisorie

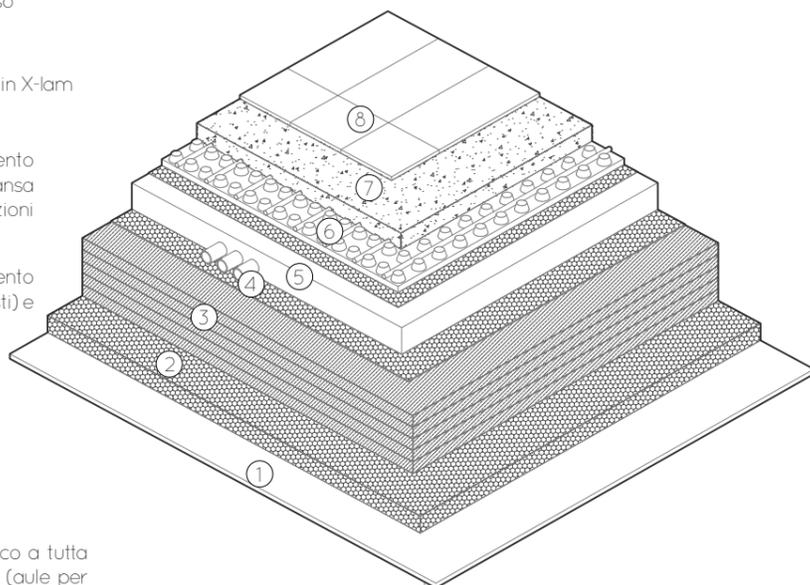


STRATIGRAFIA DEGLI ELEMENTI OPACHI ORIZZONTALI SOLAI

Per quanto riguarda ai solai della proposta di progetto, questi ugualmente si hanno progettato in legno lamellare come elemento portante, dal lato di sotto si trova in primo luogo il cartongesso, l'isolamento acustico, i pannelli portanti in legno lamellare un telo di protezione, il sottofondo per l'istallazione degli impianti, i pannelli radianti a pavimento ricoperti da un masetto armato e finalmente la pavimentazione en gres ceramico.

Figura 5.25: Stratigrafia solaio proposto tipo

- ① Controsoffitto in cartongesso
- ② Isolamento acustico
- ③ Pannello portante di solaio in X-lam
- ④ Telo di protezione
- ⑤ Sottofondo di cemento alleggerito con argilla espansa / passaggio canalizzazioni impiantistiche
- ⑥ Pannelli radianti a pavimento (nei locali in cui sono previsti) e strato isolante
- ⑦ Masetto cementizio armato prefezionato in centrale di betonaggio. Spessore min 5cm armato con rette elettrosaldata a maglia 10x10 e Ø4mm
- ⑧ Pavimento in gres ceramico a tutta massa formato 30x60cm (aule per la didattica) e spazi per attività speciali



DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI TRASPARENTI - SCUOLA

D'accordo con il risultato ottenuto nell'analisi energetico della proposta precedente, e nel corso di questa analisi si è compreso che gran parte della dissipazione di calore è dovuta agli elementi trasparenti e inoltre, trattandosi di un edificio di queste dimensioni e con l'obiettivo di soddisfare i requisiti di illuminazione del regolamento edilizio di Milano (1/8 della superficie dello spazio), questi elementi coprono una grande percentuale del progetto. Per questo motivo, per la proposta progettuale si è deciso di adottare sistemi trasparenti più performanti composti da triplo vetro basso emissivo con gas argon all'interno, e in questo modo è stato possibile ridurre il valore U iniziale di quasi 1/3.

Figura 5.26: Tipologia di serramenti dell'edificio scolastico

Componenti finestrate: W1 - Finestra 200x210

Codice **W 1** Descrizione Finestra 200x210

Tipologia **Singolo**

Facciata continua

Telaio fisso Telaio mobile Vetrata

Classe di permeabilità **Classe 4 secondo Norma UNI EN 12207**

Resistenza termica chiusure **0,09** m²K/W

Fakut **0,6**

Dati noti

Trasmissione parti vetrate **U_g 0,500** W/m²K

Trasmissione facciata totale **U_{fw} 0,950** W/m²K

Potenza & Energia

Dati UNI TS 11300-1

Temperatura esterna **-5,0** °C

Emissività **0,837**

Fattore di trasmissione solare **g_{gl,n} 0,500**

Fattore tendaggi (energia invernale) **fc inv 0,45**

Fattore tendaggi (energia estiva) **fc est 0,45**

Inclinazione sull'orizzonte **Σ 90** deg

Fattore di trasmissione diretta **tD65 0,69**

Altri dati

Struttura esistente

Superficie da sottrarre

Contributo Invernale/Estivo **I+E**

Dati Potenza Estiva

Fattore di trasmissione solare **g 0,69**

Fattore tendaggi **cf 0,68**

Presenza di schermi interni

Telaio metallico

Peso struttura **500,00** kg/m²

Componenti finestrate: W1 - Finestra 200x210

Codice **W 1** Descrizione Finestra 200x210

Tipologia **Singolo**

Dimensione modulo vetrato

Larghezza **L 2000** cm Altezza **H 2100** cm

dimensioni telaio semplificate Superficie vetrata **100,0** %

Telaio

Spessore traverso sup. **A 3,5** cm Spessore traverso inf. **B 3,5** cm

Spessore montante su **C 3,5** cm Spessore montante da **D 3,5** cm

Numero divisoni oriz. **NO 0** Numero divisoni vert. **NV 1**

Spessore divisoni oriz. **E 0,0** cm Spessore divisoni vert. **F 3,5** cm

K-telaio **LF 1,10** W/m²K Fattore di forma **ff 0,52**

Supraluce

Altezza **Hsup 0,0** cm Spessore telaio **G 0,0** cm

Pannello opaco

Struttura

Altezza **Hpan 0,0** cm Spessore telaio **Qpan 0,0** cm

Dati facciata continua

Configurazione traverso e montanti **1 montante e 1 traverso**

Spessore **3,5** cm

Traversi **Montanti**

Trasmissione **0,80** W/m²K **0,80** W/m²K

Altezza **3,5** cm **Larghezza 3,5** cm

Area **0,07** m² **Area 0,07** m²

Componenti finestrate: W1 - Finestra 200x210

Codice **W 1** Descrizione Finestra 200x210

Tipologia **Singolo** **doppio** **triplo**

Spessore **40,0** **40,0** **40,0** mm

λ vetro **1,00** **1,00** **1,00** W/mK

Resistenza intercapedine vetri **0,316** **0,000** m²K/W

K distanziale **0,11** W/mK

Componenti finestrati: W1 - Finestra 200x210			
Codice	W 1	Descrizione	Finestra 200x210
Dati generali		Dimensioni infisso	Dati modulo
Dimensioni serramento			
Area totale	Aw	4,200	m ²
Area vetro	Ag	3,847	m ²
Area telaio	Af	0,353	m ²
Perimetro vetro	Lg	11,910	m
Area montanti	Am	0,075	m ²
Area traversi	At	0,070	m ²
Trasmittanza modulo di facciata continua			
Potenza	Ucw,p	0,950	W/m ² K
Energia	Ucw,e	0,905	W/m ² K
Trasmittanza vetro	Ug	0,500	W/m ² K
Ggl+sh max		0,220	
Resistenze termiche superficiali (<input type="checkbox"/> rendi modificabili)			
		Interna (Rsi)	Esterna (Rse)
Potenza		0,130	0,040
Energia		0,130	0,065

DESCRIZIONE DEGLI SISTEMI DI SCHERMATURA

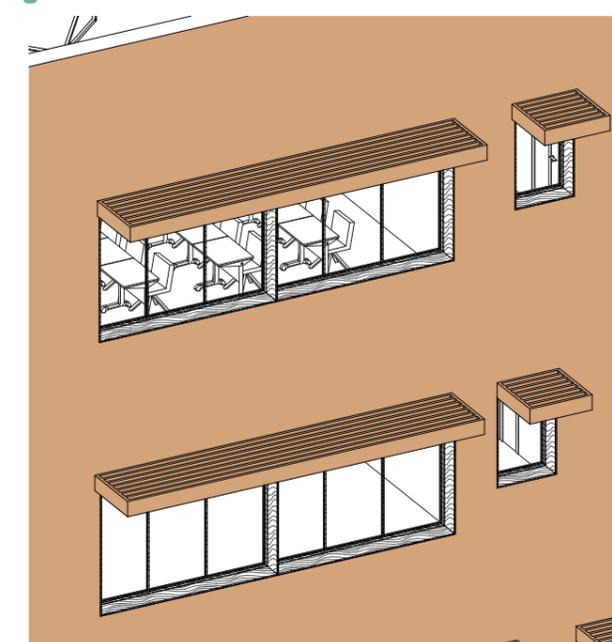
Come sistema di ombreggiamento si è deciso di utilizzare delle lastre di legno in posizione verticale o 'sistema di ombreggiamento frontale mobile' (vedi capitolo 3) sulla facciata nord, poiché d'estate è generalmente basso nel cielo ed ecco perché per questo orientamento il sistema di ombreggiamento orizzontale non funziona e i sistemi di ombreggiamento verticale sono più efficaci in questo orientamento. Come sistema di ombreggiamento si è deciso di utilizzare delle lastre di legno in posizione verticale o 'sistema di ombreggiamento frontale mobile' (vedi capitolo 3) sulla facciata nord, poiché d'estate è generalmente basso nel cielo ed ecco perché per questo orientamento il sistema di ombreggiamento orizzontale non funziona e i sistemi di ombreggiamento verticale sono più efficaci in questo orientamento.

Figura 5.27: Sistema di schermatura facciata nord



Per la facciata nord invece sono previste lamelle orizzontali a sbalzo nel piano orizzontale che possono anche essere mobili e ruotare sul proprio asse, questo sistema permette la libera circolazione dell'aria ed il carico di neve e vento è basso. Questa è la migliore alternativa per la facciata sud perché sono orientabili, possono bloccare il sole che è sempre sopra l'orizzonte e permettere la vista verso l'esterno. Inoltre, in estate, possono ridurre al minimo la raccolta di aria calda che si produce nella parte inferiore delle lamelle.

Figura 5.28-: Sistema di schermatura facciata sud



5.3. SIMULAZIONE ENERGETICA

L'input iniziale indicato nel software di Edilclima consiste nello stesso input per la proposta precedente. Di seguito viene analizzata la proposta architettonica, partendo dall'elenco delle sue componenti che sono state studiate nel sottocapitolo precedente.

Di seguito viene analizzata la proposta architettonica, partendo dall'elenco delle sue componenti che sono state studiate nel sottocapitolo precedente.

Come sappiamo, i valori che consideriamo importanti e che devono rispettare la normativa in termini di valore U sono le superfici che sono a contatto con l'esterno (superfici dissipative) o che sono a contatto con spazi non climatizzati. Per il caso attuale e anche per la proposta precedente, consideriamo l'intero edificio come climatizzato e per questo motivo il valore U dei solai e delle pareti interne non è considerato di primaria importanza.

Con la nuova stratigrafia costituita da doghe di legno, si continuano a rispettare i valori standard per le superfici opache verticali e orizzontali. Utilizzando un tipo di infisso più efficiente, il valore U si riduce notevolmente da 1,3/1,4 W/m²k a 0,5/0,6 W/m²k.

EDIFICIO SCOLASTICO

Tabella 5.0: Elenco componenti

Muri

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y _{TE}	Sfasamento	C _T	ε	α	θ	Ue
			[mm]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[h]	[kJ/m ² K]	[-]	[-]	[°C]	[W/m ² K]
M1	D	Tramezzo xlam con cartongesso doppio	170	37	0,225	-7,311	25,77	0,9	0,6	-	0,418
M2	T	Muro di facciata xlam	278,5	88	0,04	-14,22	27,39	0,9	0,6	-5	0,222
M3	D	Tramezzo xlam con cartongesso impianti	220	135	2,055	-2,781	38,69	0,9	0,6	-	2,641
M4	D	Muro Ascensore	370	720	0,251	-10,766	61,81	0,9	0,6	-	1,934

Pavimenti

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y _{TE}	Sfasamento	C _T	ε	α	θ	Ue
			[mm]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[h]	[kJ/m ² K]	[-]	[-]	[°C]	[W/m ² K]
P1	N	Solaio Xlam	280	305	0,052	-12,368	64,57	0,9	0,6	20	0,399
P2	G	Solaio in calcestruzzo armato verso terreno	551	996	0,01	-15,566	65,26	0,9	0,6	-5	0,151
P3	T	Copertura piana	271,8	98	0,064	-11,085	36,03	0,9	0,6	-5	0,207

Soffiti

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y _{TE}	Sfasamento	C _T	ε	α	θ	Ue
			[mm]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[h]	[kJ/m ² K]	[-]	[-]	[°C]	[W/m ² K]
S1	N	Solaio Xlam	280	305	0,079	-11,648	15,4	0,9	0,6	20	0,423
S3	T	Copertura piana	271,8	98	0,068	-10,321	33,32	0,9	0,6	-5	0,21

Legenda simboli

Sp	Spessore struttura
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci
Y _{TE}	Trasmittanza termica periodica della struttura
Sfasamento	Sfasamento dell'onda termica
C _T	Capacità termica areica
ε	Emissività
α	Fattore di assorbimento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
Ue	Trasmittanza di energia della struttura

Componenti finestrate

Cod	Tipo	Descrizione	vetro	ε	ggl,n	fc inv	fc est	H	L	Ug	Uw	θ	Agf	Lgf
								[cm]	[cm]	[W/m ²]	[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[m]
W1	T	Finestra 200x210	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	210	200	0,5	0,95	-5	3,847	11,91
W2	T	Finestra 900x210	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	210	900	0,5	0,95	-5	18,128	54,4
W3	T	Finestra 500x210	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	210	500	0,5	0,95	-5	9,653	33,87
W4	T	Finestra 100x210	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	210	100	0,5	0,95	-5	1,888	5,92
W5	T	Finestra 800x210	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	210	800	0,5	0,95	-5	16,098	48,34
W6	T	Finestra 300x210	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	210	300	0,5	0,95	-5	5,806	17,9
W7	T	Finestra 1000x300	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	300	1000	0,5	0,95	-5	28,172	77,83
W8	T	Finestra 700x210	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	210	700	0,5	0,95	-5	13,357	57,82
W9	T	Finestra 600x210	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	210	600	0,5	0,95	-5	12,038	36,22
W10	T	Finestra 100x150	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	150	100	0,5	0,95	-5	1,28	7,51
W11	T	Finestra 200x210	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	210	200	0,5	0,95	-5	3,847	11,91
W13	T	Porta ingresso principale	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	300	970	1,3	1,4	-5	32,499	110,46
W14	T	Porta Aula Magna	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	300	1685	1,3	1,4	-5	55,952	192,28
W15	T	Finestra 400x250	Doppio	0,837	0,67	0,45	0,45	250	400	1,3	1,4	-5	9,329	25,16

Legenda simboli

ε	Emissività
ggl,n	Fattore di trasmittanza solare
fc inv	Fattore tendaggi (energia invernale)
fc est	Fattore tendaggi (energia estiva)
H	Altezza
L	Larghezza
Ug	Trasmittanza vetro
Uw	Trasmittanza serramento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
Agf	Area del vetro
Lgf	Perimetro del vetro

Tabella 5.1: Dettaglio delle dispersioni per trasmissione dei componenti

Dispersioni strutture opache:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U	θ_e	S_{Tot}	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
			[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[W]	[%]
M2	T	Muro di facciata	0,223	-5	3542,64	22550	32,8
P2	G	Solaio prefabbricato verso terreno	0,151	-5	1952,24	7444	10,8
S3	T	Copertura piana	0,211	-5	14,04	74	0,1
Totale:						30.067	44

Dispersioni strutture trasparenti:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U	θ_e	S_{Tot}	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
			[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[W]	[%]
W1	T	Finestra 200x210	0,95	-5	242,33	6512	9,5
W2	T	Finestra 900x210	0,95	-5	77,16	2062	3
W3	T	Finestra 500x210	0,95	-5	75,25	1991	2,9
W4	T	Finestra 100x210	0,95	-5	48,62	1360	2
W5	T	Finestra 800x210	0,95	-5	259,35	6898	10
W6	T	Finestra 300x210	0,95	-5	32,4	862	1,3
W7	T	Finestra 1000x300	0,95	-5	121,84	3183	4,6
W8	T	Finestra 700x210	0,95	-5	90,12	2426	3,5
W9	T	Finestra 600x210	0,95	-5	322	8642	12,6
W10	T	Finestra 100x150	0,95	-5	12,72	369	0,5
W11	T	Finestra 200x210	0,95	-5	21,7	588	0,9
W13	T	Porta ingresso principale	1,4	-5	104,76	3850	5,6
Totale:						38.741	56

Legenda simboli

- U Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
- Ψ Trasmittanza termica lineica del ponte termico
- θ_e Temperatura di esposizione dell'elemento
- S_{Tot} Superficie totale su tutto l'edificio dell'elemento disperdente
- L_{Tot} Lunghezza totale su tutto l'edificio del ponte termico
- Φ_{tr} Potenza dispersa per trasmissione
- % Φ_{Tot} Rapporto percentuale tra il Φ_{tr} dell'elemento e il Φ_{tr} totale dell'edificio

Grafica 5.0: Dispersione per componenti

■ VERTICALI OPACHI ■ ORIZZONTALI OPACHI ■ TRASPARENTI

DISPERSIONI PER COMPONENTE		
ELEMENTI	[W]	[%]
VERTICALI OPACHI	22.550	32,8
ORIZZONTALI OPACHI	7.518	10,9
TRASPARENTI	38.741	56,3



Tabella 5.2: Dettaglio delle dispersioni per esposizione

Prospetto Nord-Est:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M2	Muro di facciata	0,223	-5	627,84	4284	6,2
W1	Finestra 200x210	0,95	-5	4,34	124	0,2
W4	Finestra 100x210	0,95	-5	6,63	189	0,3
Totale:					4.597	7

Prospetto Sud-Est:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M2	Muro di facciata	0,223	-5	1198,02	7538	11
W1	Finestra 200x210	0,95	-5	94,37	2465	3,6
W2	Finestra 900x210	0,95	-5	38,58	1008	1,5
W3	Finestra 500x210	0,95	-5	53,75	1404	2
W4	Finestra 100x210	0,95	-5	28,73	824	1,2
W5	Finestra 800x210	0,95	-5	156,45	4087	5,9
W6	Finestra 300x210	0,95	-5	19,44	508	0,7
W7	Finestra 1000x300	0,95	-5	121,84	3183	4,6
W8	Finestra 700x210	0,95	-5	30,04	785	1,1
W9	Finestra 600x210	0,95	-5	128,8	3365	4,9
W10	Finestra 100x150	0,95	-5	9,54	282	0,4
W11	Finestra 200x210	0,95	-5	4,34	113	0,2
Totale:					25.564	37

Prospetto Sud-Ovest:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M2	Muro di facciata	0,223	-5	534,33	3133	4,6
W1	Finestra 100x210	0,95	-5	6,63	165	0,2
Totale:					3.299	4,8

Prospetto Nord-Ovest:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M2	Muro di facciata	0,223	-5	1182,45	7594	11
W1	Finestra 200x210	0,95	-5	143,62	3923	5,7
W2	Finestra 900x210	0,95	-5	38,58	1054	1,5
W3	Finestra 500x210	0,95	-5	21,5	587	0,9
W4	Finestra 100x210	0,95	-5	6,63	181	0,3
W5	Finestra 800x210	0,95	-5	102,9	2810	4,1
W6	Finestra 300x210	0,95	-5	12,96	354	0,5
W8	Finestra 700x210	0,95	-5	60,08	1641	2,4
W9	Finestra 600x210	0,95	-5	193,2	5277	7,7
W10	Finestra 100x150	0,95	-5	3,18	87	0,1
W11	Finestra 200x210	0,95	-5	17,36	474	0,7
W13	Porta ingresso principale	1,4	-5	34,92	1406	2
Totale:					25.388	36,9

Prospetto Orizzontale:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
P2	Solaio prefabbricato verso terreno	0,151	-5	1952,24	7444	10,8
S3	Copertura piana	0,211	-5	14,04	74	0,1
Totale:					7.518	10,9

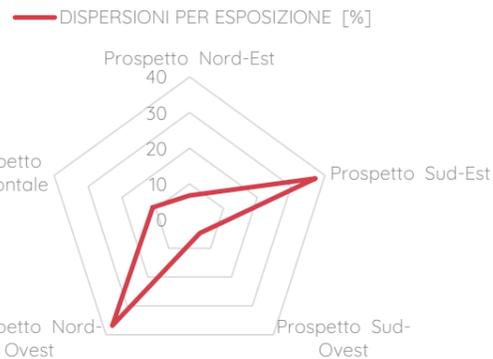
Prospetto non disperdente:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
W13	Porta ingresso principale	1,4	-5	69,84	2.444	3,6
Totale:					2.444	3,6

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica di un elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica di un ponte termico
θ_e	Temperatura di esposizione dell'elemento
Sup.	Superficie di un elemento disperdente
Lung.	Lunghezza di un ponte termico
Φ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione
% Φ_{Tot}	Rapporto percentuale tra il Φ_{tr} dell'elemento e il totale dei Φ_{tr}

Grafica 5.1: Dispersione per esposizione



ESPOSIZIONE	[W]	[%]
Prospetto Nord-Est	4.597	6,7
Prospetto Sud-Est	25.564	37,2
Prospetto Sud-Ovest	3.299	4,8
Prospetto Nord-Ovest	25.388	36,9
Prospetto Orizzontale	7.518	10,9

Dispersioni per Ventilazione:

Nr.	Descrizione zona termica	V _{netto}	Φ_{ve}
		[m ³]	[W]
1	Zona climatizzata 1	28.128	142.419
Totale			142.419

Dispersioni totali:

Coefficiente di sicurezza adottato 1,00			
Nr.	Descrizione zona termica	Φ_{ht}	$\Phi_{ht,sic}$
		[W]	[W]
1	Zona climatizzata 1	211.227	211.227
Totale		211.227	211.227

Legenda simboli

V _{netto}	Volume netto della zona termica
Φ_{ve}	Potenza dispersa per ventilazione

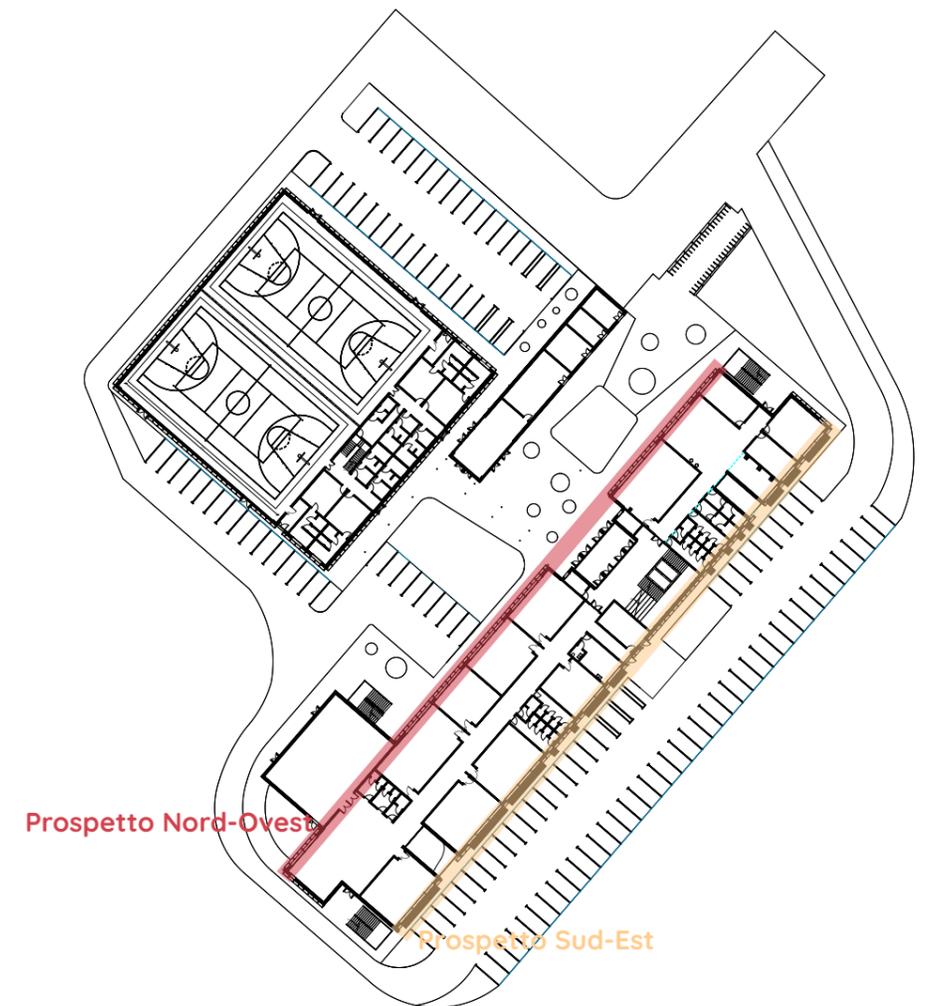
Legenda simboli

Φ_{ht}	Potenza totale dispersa
$\Phi_{ht,sic}$	Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

La maggiore dispersioni per componenti continuano ad essere le superficie vetrate arrivando ai 67,5%, le superficie opache verticale e orizzontale presentano dispersione molto basse di 20,7% e 12% rispettivamente, in confronto con le finestre.

Le facciate con maggiore dispersioni continuano ad essere i prospetti nord-ovest e prospetti sud-est , perché ovviamente essendo le facciate più lunghe, la superficie esposta verso l'esterno è maggiore, a questo si aggiungono tutte le superficie vetrate predominanti in questi due orientamenti.

Figura 5.29: Schema indicativo delle facciate che presentano più dispersioni



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE

Tabella 5.3: Fabbisogno di energia utile invernale

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE

secondo UNI EN ISO 13790 e UNI TS 11300-1

Edificio : Edificio scolastico

Categoria	E.7	-	Superficie	6.597,34 m ²
DPR 412/93			Volume lordo	35897,8 m ³
Superficie utile	7.279,55	m ²	Rapporto S/V	0,18 m ⁻¹
Volume netto	29172,7	m ³		

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

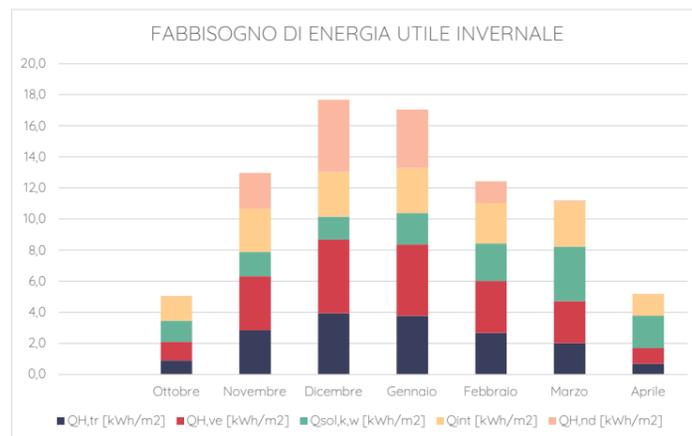
FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE

Mese	Q _{H,tr}	Q _{C,tr}	Q _{C,r}	Q _{C,ve}	Q _{C,ht}	Q _{sol,k,w}	Q _{int}	Q _{gn}	Q _{C,nd}	Q _{C,nd}			
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]			
Ottobre	6.637	0,91	916	8.722	1,20	16.275	9.807	1,35	11.475	1,58	21.282	168	0,02
Novembre	20.729	2,85	2.246	25.304	3,48	48.279	11.317	1,55	20.249	2,78	31.567	16.786	2,31
Dicembre	28.654	3,94	2.343	34.515	4,74	65.511	10.715	1,47	20.924	2,87	31.640	33.874	4,65
Gennaio	27.454	3,77	2.217	33.469	4,60	63.140	14.784	2,03	20.924	2,87	35.708	27.451	3,77
Febbraio	19.492	2,68	2.231	24.373	3,35	46.096	17.467	2,40	18.899	2,60	36.366	10.225	1,40
Marzo	14.740	2,02	3.010	19.663	2,70	37.413	25.557	3,51	20.924	2,87	46.481	604	0,08
Aprile	5.038	0,69	1.251	7.320	1,01	13.609	15.245	2,09	10.125	1,39	25.370	4	0,00
Totale	122.743	16,86	14.214	153.367	21,07	290.324	104.893	14,41	123.521	16,97	228.414	89.112	12,24

Legenda simboli

Q _{H,tr}	Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache (Q _{sol,k,r})
Q _{C,r}	Energia dispersa per extraflusso
Q _{C,ve}	Energia dispersa per ventilazione
Q _{C,ht}	Totale energia dispersa = Q _{C,tr} + Q _{C,ve}
Q _{sol,k,w}	Apporti solari attraverso gli elementi finestrati
Q _{int}	Apporti interni
Q _{gn}	Totale apporti gratuiti = Q _{sol} + Q _{int}
Q _{C,nd}	Energia utile

Grafica 5.2: Fabbisogno di energia utile invernale



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE		
Q _{H,tr}	[kWh/m ²]	16,9
Q _{C,ve}	[kWh/m ²]	21,1
Q _{sol,k,w}	[kWh/m ²]	14,4
Q _{int}	[kWh/m ²]	17,6
Q _{C,nd}	[kWh/m ²]	12,2

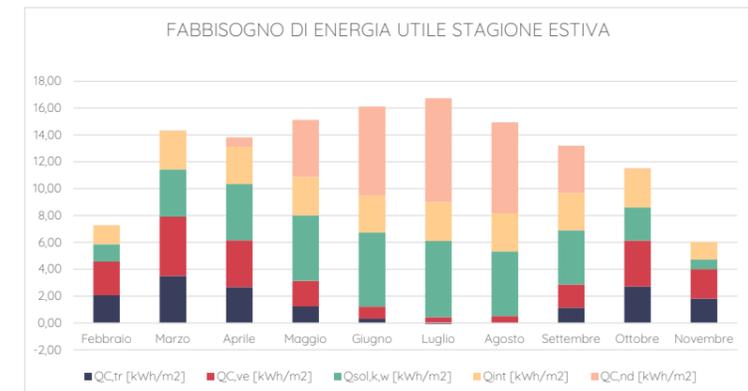
FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA

Mese	Q _{C,tr}	Q _{C,r}	Q _{C,ve}	Q _{C,ht}	Q _{sol,k,w}	Q _{int}	Q _{gn}	Q _{C,nd}	Q _{C,nd}				
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]				
Febbraio	14.980	2,06	1.269	18.371	2,52	34.620	9.357	1,29	10.125	1,39	19.482	1	0,00
Marzo	25.458	3,50	3.010	32.214	4,43	60.682	25.557	3,51	20.924	2,87	46.481	190	0,03
Aprile	19.355	2,66	2.633	25.507	3,50	47.495	30.490	4,19	20.249	2,78	50.739	4.932	0,68
Maggio	9.010	1,24	2.731	13.806	1,90	25.547	35.490	4,88	20.924	2,87	56.415	30.868	4,24
Giugno	2.364	0,32	3.360	6.478	0,89	12.202	40.059	5,50	20.249	2,78	60.308	48.106	6,61
Luglio	-669	-0,09	3.425	3.138	0,43	5.894	41.363	5,68	20.924	2,87	62.287	56.393	7,75
Agosto	139	0,02	3.221	3.556	0,49	6.916	35.047	4,81	20.924	2,87	55.971	49.055	6,74
Settembre	8.287	1,14	3.368	12.551	1,72	24.206	29.442	4,04	20.249	2,78	49.692	25.486	3,50
Ottobre	19.778	2,72	2.039	24.893	3,42	46.710	17.884	2,46	20.924	2,87	38.809	411	0,06
Novembre	13.226	1,82	1.196	15.968	2,19	30.390	5.281	0,73	9.450	1,30	14.731	0	0,00
Totale	111.928	15,38	26.252	156.481	21,50	294.661	269.970	37,09	184.944	25,41	454.915	215.445	29,60

Legenda simboli

Q _{C,tr}	Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache (Q _{sol,k,r})
Q _{C,r}	Energia dispersa per extraflusso
Q _{C,ve}	Energia dispersa per ventilazione
Q _{C,ht}	Totale energia dispersa = Q _{C,tr} + Q _{C,ve}
Q _{sol,k,w}	Apporti solari attraverso gli elementi finestrati
Q _{int}	Apporti interni
Q _{gn}	Totale apporti gratuiti = Q _{sol} + Q _{int}
Q _{C,nd}	Energia utile

Grafica 5.3: Fabbisogno di energia utile stagione estiva



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA		
Q _{C,tr}	[kWh/m ²]	15,4
Q _{C,ve}	[kWh/m ²]	21,5
Q _{sol,k,w}	[kWh/m ²]	37,1
Q _{int}	[kWh/m ²]	25,0
Q _{C,nd}	[kWh/m ²]	29,6

In questi grafici vediamo due schemi che agiscono in modo diverso ma sono coerenti con il comportamento dell'edificio. Nel caso della stagione invernale, le maggiori perdite di energia sono dovute alla ventilazione e ancora di più nei mesi più critici dell'inverno (dicembre e gennaio), i contributi interni delle persone e degli elementi finestrati sono bassi. Mentre nella stagione estiva accade il contrario (almeno nel caso degli apporti interni), il maggior contributo energetico è dato dagli elementi finestrati e dagli apporti interni, essendo evidente che i mesi con i maggiori

apporti da parte degli elementi finestrati sono ovviamente i mesi più critici dell'estate (maggio, giugno, luglio e agosto), tuttavia la perdita di energia per ventilazione è quantitativamente molto simile a quella della stagione invernale.

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA

Notando che con le nuove modifiche apportate alla proposta iniziale e vedendo che il suo fabbisogno energetico è minore sia in inverno che in estate, si è deciso di utilizzare la stessa marca di apparecchiature non antiche della proposta precedente ma con una potenza minore, poiché non è necessaria la stessa potenza e in questo modo si riduce anche il consumo energetico.

Servizio di riscaldamento

Caratteristiche impianto aeraulico:

Tipo di impianto Ventilazione meccanica bilanciata

Dispositivi presenti Ricuperatore di calore, Riscaldamento aria

Dati per il calcolo della ventilazione meccanica effettiva:

Ricambi d'aria a 50 Pa	n_{50}	1	h^{-1}
Coefficiente di esposizione al vento	e	0,10	-
Coefficiente di esposizione al vento	f	15,00	-
Ricambio d'aria medio per ventilazione naturale nei locali con ventilazione meccanica ibrida	n	0,5	h^{-1}
Fattore di efficienza della regolazione	$FC_{ve,H}$	1,00	-
Ore di funzionamento dell'impianto	hf	12,00	-
Rendimento nominale del ricuperatore	$\eta_{H_{nom}}$	0,80	-

Figura 5.30: Diagramma servizio di riscaldamento

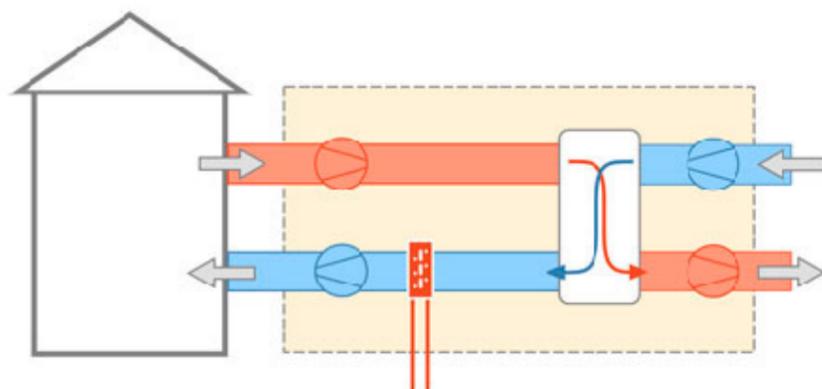
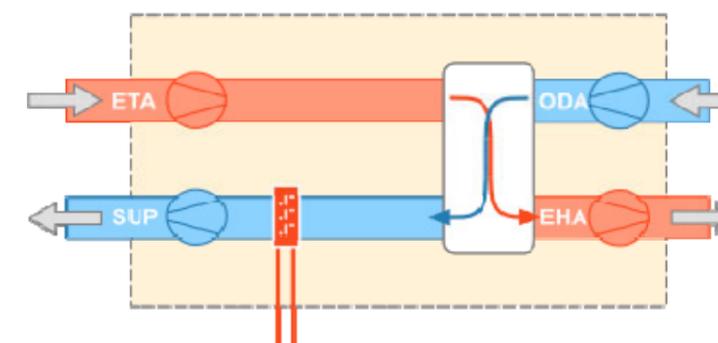


Figura 5.31: Diagramma caratteristiche dei condotti



Condotto di estrazione dagli ambienti (ETA):

Temperatura di estrazione da ambienti	20,0°C
Potenza elettrica dei ventilatori	1.465 W
Portata del condotto	14.031,695 m³/h

Condotto di immissione negli ambienti (SUP):

Temperatura di immissione in ambienti	20,0 °C
Potenza elettrica dei ventilatori	1.491 W
Portata del condotto	14.031,95 m³/h

Condotto di aspirazione dell'aria esterna (ODA):

Differenza di temperatura per scambio con il terreno	20,0°C
Potenza elettrica dei ventilatori	1.491 W
Portata del condotto	14.031,95 m³/h

Sottosistema di generazione

Dati generali:

Servizio	Ventilazione
Tipo di generatore	Rendimento di generazione mensile noto
Potenza utile nominale	$\Phi_{gn,Pn}$ 197,18 kW

Dati generali :	
Servizio	Ventilazione
Tipo di generatore	Rendimento di generazione mensile noto
Metodo di calcolo	-
Potenza utile nominale	$\Phi_{gn,Pn}$ 197,13 kW
Rendimento mensile di generazione	η_{gn}

Gen	Febb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Vettore energetico :	
Tipo	Energia elettrica
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$ 0,47 -
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$ 1,95 -
Fattore di conversione in energia primaria	f_p 2,42 -
Fattore di emissione di CO ₂	0,46 kg _{CO2} /kWh

Tabella 5.4: Sottosistema di generazione

Intermittenza

Regime di funzionamento Continuo

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	94,3	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	98	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{H,du}$	94	%
Rendimento di distribuzione primaria	$\eta_{H,dp}$	100	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{H,gen,p,nren}$	235,9	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. totale)	$\eta_{H,gen,p,tot}$	76,4	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{H,g,p,nren}$	2.078,30	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. totale)	$\eta_{H,g,p,tot}$	356,4	%

Dettaglio rendimenti dei singoli generatori :

Generatore	$\eta_{H,gen,ut}$	$\eta_{H,gen,p,nren}$	$\eta_{H,gen,p,tot}$
	[%]	[%]	[%]
Pompa di calore - secondo UNI/TS 11300-4	460,10	235,90	76,40

Circuito per riscaldamento

Caratteristiche sottosistema di emissione:

Tipo di terminale di erogazione Radiatori su parete esterna isolata
Temperatura di mandata di progetto 80,0 °C
Potenza nominale dei corpi scaldanti 211.227 W
Fabbisogni elettrici 0 W

Rendimento di emissione 93,3 %

Caratteristiche sottosistema di regolazione:

Tipo Per singolo ambiente + climatica
Caratteristiche P banda proporzionale 1 °C
Rendimento di regolazione 98,0 %

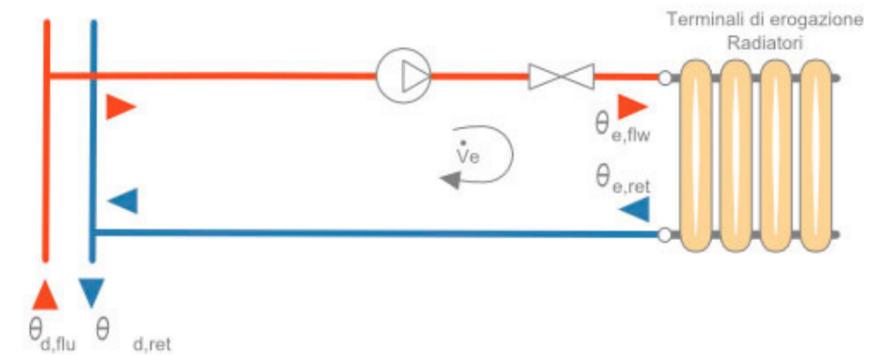
Caratteristiche sottosistema di distribuzione utenza:

Metodo di calcolo Semplificato
Tipo di impianto Centralizzato a distribuzione orizzontale
Posizione impianto Impianto a piano terreno, su ambiente non riscaldato o terreno con distribuzione a collettori
Isolamento tubazioni Isolamento con spessori conformi alle prescrizioni del DPR n. 412/93
Numero di piani 1
Fattore di correzione 1,00
Rendimento di distribuzione utenza 94,0 %

Temperatura dell'acqua - Riscaldamento

Tipo di circuito Valvole termostatiche, bitubo

Figura 5.31: Diagramma radiatori



Maggiorazione potenza corpi scaldanti 10,0 %
ΔT nominale lato aria 50,0 °C
Esponente n del corpo scaldante 1,30 -
ΔT di progetto lato acqua 30,0 °C
Portata nominale 6.665,22 kg/h
Criterio di calcolo Temperatura di mandata variabile
Temperatura di mandata massima 80,0 °C
ΔT mandata/ritorno 20,0 °C

Servizio acqua calda sanitaria

Tabella 5.5: Servizio di acqua calda sanitaria

Servizio acqua calda sanitaria

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di erogazione	$\eta_{W,er}$	100	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{W,du}$	93	%
Rendimento di generazione (risp. a en. utile)	$\eta_{W,gen,ut}$	0	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{W,gen,p,nren}$	0	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non tot.)	$\eta_{W,gen,p,tot}$	0	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{W,g,p,nren}$	1.590	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. tot.)	$\eta_{W,g,p,tot}$	97	%

Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria [l/g] :

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

Categoria DPR 412/93 E.7
Temperatura di erogazione 40,0 °C

Temperatura di alimentazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3

Fabbisogno giornaliero per posto 0,2 l/g posto
 Numero di posti 2000*

Fattore di occupazione [%]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*Si ha fatto l'ipotesi con 2.000 persone nell'edificio.

Sottosistema di generazione

Dati generali:

Servizio Riscaldamento e acqua calda sanitaria
 Tipo di generatore Pompa di calore
 Metodo di calcolo secondo UNI/TS 11300-4

Marca/Serie/Modello VIESSMANN Srl/Energycal AW PRO MT 95.2-250.2/Energycal AW PRO MT 200.2

Tipo di pompa di calore Elettrica

Temperatura di disattivazione $\theta_{H,off}$ 20,0°C (per riscaldamento)

Sorgente fredda Aria esterna

Temperatura di funzionamento (cut-off) minima -20,0 °C
 massima 30,0 °C

Sorgente calda Acqua di impianto

Temperatura di funzionamento (cut-off) minima 20,0 °C
 massima 60,0 °C

Temperatura della sorgente calda (acqua sanitaria) 70,0 °C

Prestazioni dichiarate:

Coefficiente di prestazione COPe 3,5
 Potenza utile Pu 211,23 kW
 Potenza elettrica assorbita Pass 60,35 kW
 Temperatura della sorgente fredda θ_f 7 °C
 Temperatura della sorgente calda θ_c 70 °C

Fattori correttivi della pompa di calore:

Potenza di progetto Pdes (a -10°C) 169,57 kW

Figura 5.32: Pompa di calore per il servizio di riscaldamento



Pannelli solari fotovoltaici

Come menzionato nelle strategie d'intervento si ha deciso di utilizzare pannelli fotovoltaici più efficienti, questo con l'obiettivo di utilizzare di meno, quindi meno materiale più sostenibilità e con l'idea di liberare anche spazio in copertura che sarà utilizzato per generare un lucernario per la circolazione verticale principale dell'edificio.

Energia elettrica da produzione fotovoltaica [kWh]:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
4.020	4.547	6.679	7.501	8.258	9.214	9.860	8.782	7.797	4.950	3.061	2.900

Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile QH,p,nren 276 kWh/anno
 Fabbisogno di energia primaria totale QH,p,tot 4.513 kWh/anno
 Rendimento globale medio stagionale (rispetto all'energia primaria non rinnovabile) $\eta_{H,g,p,nren}$ 1585,1 %
 Rendimento globale medio stagionale (rispetto all'energia primaria totale) $\eta_{H,g,p,tot}$ 96,8 %
 Consumo di energia elettrica effettivo 141 kWh/anno

Figura 5.33: Scheda tecnica pannelli fotovoltaici

MODULI MULTICRISTALLINI																		
MODELLO	NUMERO DI CELLE	POTENZA DI PICCO (Wp)	TOLLERANZA (%)	EFFICIENZA DEL MODULO (%)	TENSIONE NEL PUNTO DI MAX POT. - IM (V)	CORRENTE NEL PUNTO DI MAX POT. - IM (A)	CORRENTE DI CIRCUITO CHIUSO - ISC (A)	TENSIONE A VUOTO (V)	TEMPERATURA MAX DELLA CELLA (°C)	TENSIONE MASSIMA DI SISTEMA (V)	COEFFICIENTE DI TENSIONE PER °C (%)	COEFFICIENTE DI CORRENTE PER °C (%)	COEFFICIENTE DI POTENZA PER °C (%)	DIODI DI BYPASS	PESO (kg)	LUNGHEZZA (mm)	LARGHEZZA (mm)	SPESORE (mm)
Moduli con cornice																		
NEW VPMS1-220	60	220	± 3	13,61	29,21	7,59	8,15	36,55	44	1000	-0,348	0,045	-0,326	3	22	1653	997	40
NEW VPMS1-225	60	225	± 3	13,91	29,62	7,64	8,21	36,79	44	1000	-0,348	0,045	-0,326	3	22	1653	997	40

Descrizione moduli nuova serie VPMS

Modulo composto da 60 celle da 156mm x 156mm in silicio multicristallino ad alta efficienza MADE IN ITALY.

La tecnologia impiegata da Vipleme Solar consente di ottenere un prodotto d'alta qualità con garanzia di 10 anni.

L'avviamento della nuova unità produttiva, oggi unico esemplare in Europa, con processi totalmente automatici, ha consentito l'ulteriore miglioramento delle già elevate qualità del modulo.

Le nuove stazioni stringatrici e saldatrici riescono ad unire elettricamente celle e stringhe utilizzando laser robot, migliorando in modo esponenziale la conduzione elettrica con miglioramento dei parametri del modulo.

Il vetro temprato prismatico da 4,2 mm totalmente privo di cerio, annulla ogni possibilità di deterioramento iniziale. Grazie a questa caratteristica si sono ottenuti valori antiriflesso e trasmittanza del 96,3%.

Il TEDLAR e l'EVA con tempo di laminazione 21 minuti garantiscono la massima affidabilità nel tempo ed elevate prestazioni anche in condizioni di tempo non favorevole.

L'utilizzo della nuova junction box Lumberg, con tre diodi di bypass immersi nella fusione assicura maggiore resistenza e performance alle alte temperature ed offre più sicurezza contro danni da ombreggiamento.

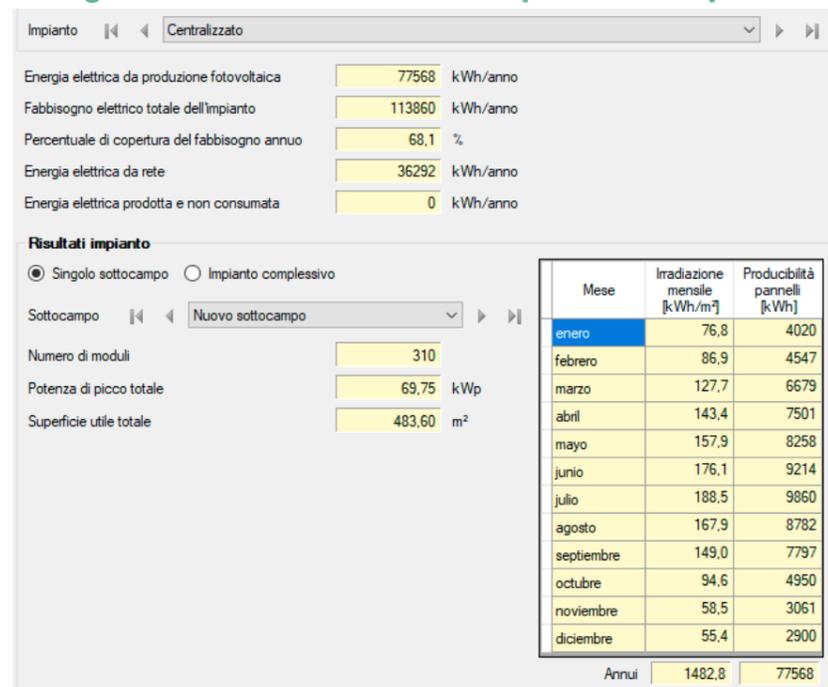
Anche il telaio anticorrosione ha goduto di particolari attenzioni tecniche con il nuovo sistema autobloccante che, senza l'ausilio di clip o viti di tenuta consente d'ottenere elevate resistenze alle sollecitazioni meccaniche come ad esempio 5.400 pascal di carico statico consentendo grande robustezza a forti neviccate o impatti violenti.

Grazie al metodo utilizzato per il controllo qualità si assicura che i valori ottenuti durante le prove a fine processo produttivo superino i parametri di produzione nominale.



Con questa modifica si riduce l'installazione da 340 pannelli fotovoltaici sul tetto della proposta precedente a 310 pannelli con una superficie di 483,60 m² che copriranno il 68,1% del fabbisogno energetico annuale. La tabella seguente spiega la relazione tra l'irraggiamento mensile e la produzione di energia dei pannelli fotovoltaici per mese:

Figura 5.34: Irradiazione mensile e productibilità pannelli



Servizio di raffrescamento

Per il servizio di raffrescamento si è pensato in una produzione separata con impianto centralizzato diverso a quello per il riscaldamento. Le caratteristiche di questo impianto si citano in seguito:

Tabella 5.6: Servizio di raffrescamento

rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
rendimento di emissione	$\eta_{c,e}$	98	%
rendimento di regolazione	$\eta_{c,rg}$	96	%
rendimento di distribuzione	$\eta_{c,d}$	100	%
rendimento di generazione (risp. a en. utile)	$\eta_{c,gen,ut}$	590	%
rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{c,gen,p,nren}$	303	%
rendimento di generazione (risp. a en. pr. non tot.)	$\eta_{c,gen,p,tot}$	244	%
rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{c,g,p,nren}$	525	%
rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. tot.)	$\eta_{c,g,p,tot}$	237	%

Sottosistema di generazione

Dati generali:

Servizio	Raffrescamento
Tipo di generatore	Pompa di calore
Metodo di calcolo	secondo UNI/TS 11300-3
Marca/Serie/Modello	TEON/RETINA/250
Tipo di pompa di calore	Elettrica
Potenza frigorifera nominale	$\Phi_{gn,nom}$ 187,00 kW

Sorgente unità esterna	Acqua
Temperatura acqua in ingresso al condensatore	30,0 °C
Sorgente unità interna	Acqua
Temperatura acqua in uscita dal condensatore	7,0 °C

Vettore energetico:	Energia elettrica
Tipo	
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$ 0,470
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$ 1,950
Fattore di conversione in energia primaria	f_p 2,420
Fattore di emissione di CO2	0,46 kg _{CO2} /kWh

Figura 5.35: Pompa di calore per il servizio di raffrescamento



Fabbisogni illuminazione

Per l'illuminazione vedere il capitolo precedente in cui si ha spiegato il metodo di calcolo e la formula utilizzata per ogni singola area secondo i requisiti illuminotecnici dettate dalla normativa. Come la distribuzione spaziale è cambiata alcuni di questi valori cambiano con rispetto alla sezione precedente.

FABBISOGNI SERVIZIO ILLUMINAZIONE

Tabella 5.7: Fabbisogno di illuminazione

Fabbisogni elettrici per illuminazione dei locali climatizzati

Zona	Locale	Descrizione	$Q_{ill, int, a}$ [kWh _{el}]	$Q_{ill, int}$ [kWh _{el}]
1	120	WCF 6	112	112
1	64	AULA 11	291	291
1	1	PRESIDENZA	265	265
1	90	AULA 18	291	291
1	91	LABORATORIO 25	327	327
1	92	AULA 19	291	291
1	93	AULA 22	292	292
1	94	AULA 20	273	273
1	95	LABORATORIO 26	428	428
1	96	CONNETTIVO	803	803
1	97	ATA 4	114	114
1	99	WC M 7	110	110
1	100	LABORATORIO 27	464	464
1	5	UFFICIO VICEPRES.	220	220
1	6	UFFICIO AMMIN. 1	515	515
1	7	AULA INSEGNANTI	412	412
1	9	RICEV. PARENTI	63	63
1	10	CONNETTIVO	138	138
1	11	ATRIO DI INGRESSO	576	576
1	12	RECEPTION	56	56
1	13	LOC. TEC. IMPIANTI 1	132	132
1	14	SALA MEDICA	242	242
1	101	LOC. TEC. IMPIANTI 4	130	130
1	102	LABORATORIO 22	527	527
1	103	LABORATORIO 23	391	391
1	104	LABORATORIO 28	464	464
1	105	AULA 23	364	364
1	106	LABORATORIO 29	464	464
1	65	CONNETTIVO	750	750
1	66	LABORATORIO 17	470	470
1	67	AULA 12	339	339
1	108	AULA 21	289	289
1	109	LABORATORIO 30	421	421
1	110	LABORATORIO 24	554	554
1	111	DEPOSITO 5	178	178
1	112	AULA 24	296	296
1	113	WC DA. 6	32	32
1	114	WC PERS. F 8	84	84
1	115	WC PERS. M 7	84	84
1	2	SALA STAMPA	145	145
1	3	DGSA	142	142
1	118	SCALA	0	0
1	15	WC	14	14
1	16	LABORATORIO 4	421	421
1	17	AULA DISABILI	78	78
1	18	LABORATORIO 1	444	444
1	19	AULA 1	444	444
1	20	LABORATORIO 5	373	373
1	21	BIBLIOTECA	967	967
1	22	LABORATORIO 2	377	377
1	23	LABORATORIO 3	365	365
1	24	ARCHIVIO 1	608	608

1	25	CONNETTIVO	534	534
1	26	AULA MAGNA	1350	1350
1	27	SPOGL. ATA 1	94	94
1	28	WC PERS. M 1	92	92
1	29	WC PERS. F 1	90	90
1	30	WC D. 1	28	28
1	31	WC PERS. M 2	78	78
1	32	WC D. 3	30	30
1	33	WC PERS. F 2	78	78
1	116	INGRESSO	67	67
1	117	SPOGL. ATA 2	56	56
1	37	AULA 2	291	291
1	98	WC F 8	112	112
1	38	AULA 3	344	344
1	39	LABORATORIO 9	513	513
1	40	AULA 7	270	270
1	41	AULA 4	273	273
1	42	LABORATORIO 10	419	419
1	43	ATA 2	125	125
1	44	AULA 8	278	278
1	45	CONNETTIVO	373	373
1	46	LOC. TEC. IMPIANTI 2	117	117
1	47	LABORATORIO 6	452	452
1	48	LABORATORIO 11	449	449
1	49	AULA 5	291	291
1	50	CONNETTIVO	480	480
1	51	AULA 9	108	108
1	52	LABORATORIO 12	409	409
1	53	LABORATORIO 7	456	456
1	56	AULA 10	271	271
1	57	AULA 6	291	291
1	58	DEPOSITO 3	62	62
1	59	LABORATORIO 13	537	537
1	60	LABORATORIO 8	406	406
1	68	AULA 13	275	275
1	69	LABORATORIO 18	380	380
1	70	WC M 5	112	112
1	71	AULA 15	270	270
1	72	ATA 3	103	103
1	73	AULA 16	330	330
1	74	LOC. TEC. IMPIANTI 3	108	108
1	75	LABORATORIO 14	469	469
1	76	LABORATORIO 19	472	472
1	77	AULA 17	330	330
1	78	LABORATORIO 15	546	546
1	79	LABORATORIO 20	421	421
1	80	AULETTA FORNO	112	112
1	81	LABORATORIO DI SCIENZE	322	322
1	82	WC PERS. F 6	361	361
1	83	WC PERS. M 5	80	80
1	84	AULA 14	304	304
1	85	LABORATORIO 16	622	622
1	86	DEPOSITO 4	69	69
1	87	LOCALE PREP.	134	134
1	88	LABORATORIO 21	388	388

1	89	WC DA. 5	30	30
1	34	WC VISIT. M.	48	48
1	35	WC VISIT. F.	0	0
1	36	WC DA. 2	34	34
1	54	WC PERS. M 3	106	106
1	55	WC PERS. F 4	106	106
1	61	WC M 3	112	112
1	62	WC F 4	112	112
1	63	WC DA. 4	30	30
1	107	DEPOSITO 6	185	185

Legenda simboli

$Q_{ill, int, a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill, int, p}$	Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill, int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna

Fabbisogni mensili per illuminazione

Mese	Giorni	$Q_{ill, int, a}$ [kWh _{el}]	$Q_{ill, int}$ [kWh _{el}]	Q_{ill} [kWh _{el}]	$Q_{p, ill}$ [kWh]
Gennaio	31	3.037	3.037	3.037	5.922
Febbraio	28	2.637	2.637	2.637	5.142
Marzo	31	2.790	2.790	2.790	5.440
Aprile	30	2.650	2.650	2.650	5.167
Maggio	31	2.715	2.715	2.715	5.295
Giugno	30	2.618	2.618	2.618	5.105
Luglio	31	2.709	2.709	2.709	5.283
Agosto	31	2.720	2.720	2.720	5.303
Settembre	30	2.700	2.700	2.700	5.265
Ottobre	31	2.872	2.872	2.872	5.601
Novembre	30	2.906	2.906	2.906	5.668
Dicembre	31	3.073	3.073	3.073	5.993
TOTALI		33.428	33.428	33.428	65.184

Legenda simboli

$Q_{ill, int, a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale
$Q_{ill, int, p}$	Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill, int, u}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale
$Q_{ill, int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione
$Q_{ill, est}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione
Q_{ill}	Fabbisogno di energia elettrica totale
$Q_{p, ill}$	Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione

Pannelli solari termici

Numero totale di collettori solari	18
Superficie totale di apertura dei collettori	41,40 m ²
Consumo annuale di energia elettrica	514 kWh
Percentuale di copertura per acqua sanitaria	82,0 %
Percentuale di copertura per riscaldamento	12,7 %

Tabella 5.8: Pannelli solare termici

Mese	$Q_{W,solare}$ [kWh]	Q_{pW} con solare [kWh]	Q_{pW} senza solare [kWh]	$\%_{cop,W}$ [%]
Gennaio	99	3	0	25
Febbraio	362	38	0	100
Marzo	401	86	0	100
Aprile	388	97	0	100
Maggio	401	107	0	100
Giugno	388	119	0	100
Luglio	401	127	0	100
Agosto	401	113	0	100
Settembre	388	101	0	100
Ottobre	401	64	0	100
Novembre	202	6	0	52
Dicembre	40	1	0	10
TOTALI	3.869	863	0	82

Legenda simboli

$Q_{W,solare}$	Producibilità solare pannelli per acqua calda sanitaria
Q_{pW} con solare	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria, con il contributo termico solare
Q_{pW} senza solare	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria, senza il contributo termico solare
$\%_{cop,W}$	Percentuale di copertura solare rispetto al fabbisogno di energia in uscita dalla generazione per acqua calda sanitaria

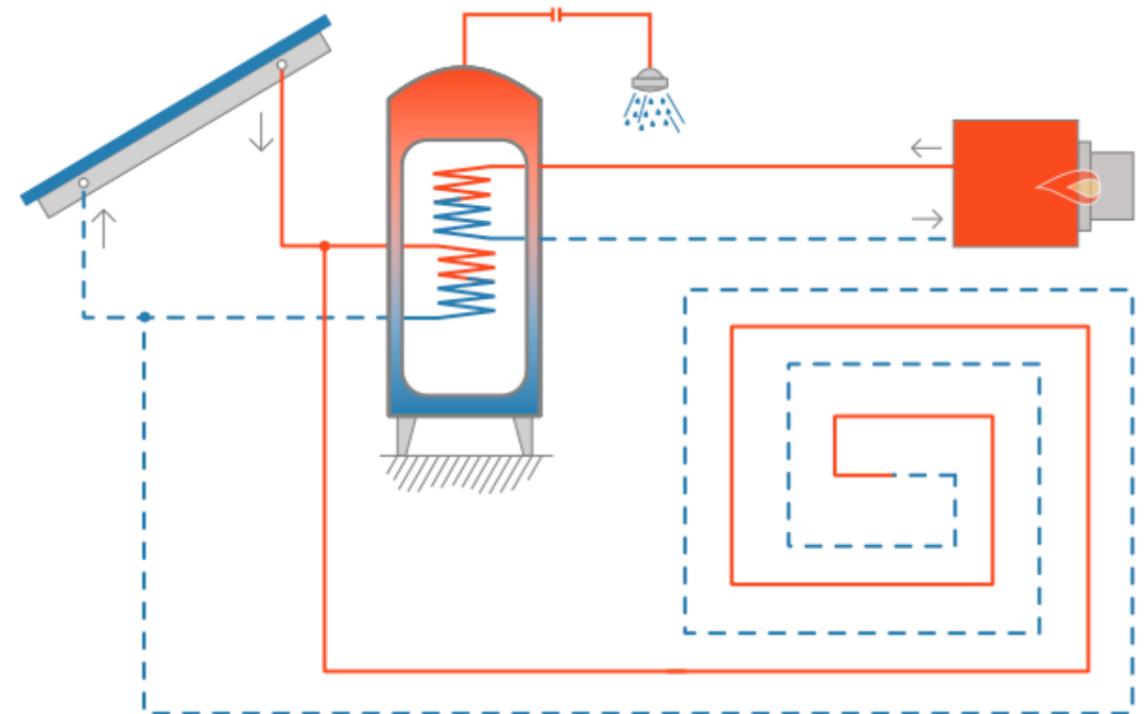
Dati posizionamento pannelli

Orientamento rispetto al sud	γ 0,0°
Inclinazione rispetto al piano orizzontale	β 35,0°
Coefficiente di riflettanza (albedo)	0,27

Dati collettore solare

Collettore solare utilizzato	RIELLO/CS25 R/CS 25 R
Numero di collettori solari	18
Superficie di apertura del singolo collettore	2,30 m ²
Superficie lorda del singolo collettore	2,57 m ²
Rendimento del collettore a perdite nulle	η_0 0,75
Coefficiente di perdita lineare	a_1 3,910 W/m ² K
Coefficiente di perdita quadratico	a_2 0,003 W/m ² K ²
Coefficiente di modifica angolo di incidenza	IAM 0,95
Fabbisogni elettrici	
Potenza assorbita dagli ausiliari	257 W
Ore di funzionamento annue	2000 h

Figura 5.36: Schema di distribuzione pannelli solare termici



FABBISOGNI E CONSUMI TOTALI

Tabella 5.9: Fabbisogni e consumi totali

Edificio : Edificio scolastico	DPR 412/93	E.7	Superficie utile	7.280	m ²
--------------------------------	------------	-----	------------------	-------	----------------

Fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

Servizio	$Q_{p,nren}$ [kWh]	$Q_{p,ren}$ [kWh]	$Q_{p,tot}$ [kWh]	$EP,nren$ [kWh/m ²]	EP,ren [kWh/m ²]	EP,tot [kWh/m ²]
Riscaldamento	4.288	20.715	25.002	0,61	2,95	3,56
Acqua calda sanitaria	276	4.237	4.513	0,04	0,60	0,64
Raffrescamento	41.013	49.920	90.933	5,83	7,10	12,93
Ventilazione	12.661	16.037	28.698	1,80	2,28	4,08
Illuminazione	21.825	27.496	49.321	3,10	3,91	7,01
TOTALE	80.062	118.404	198.466	11	17	28

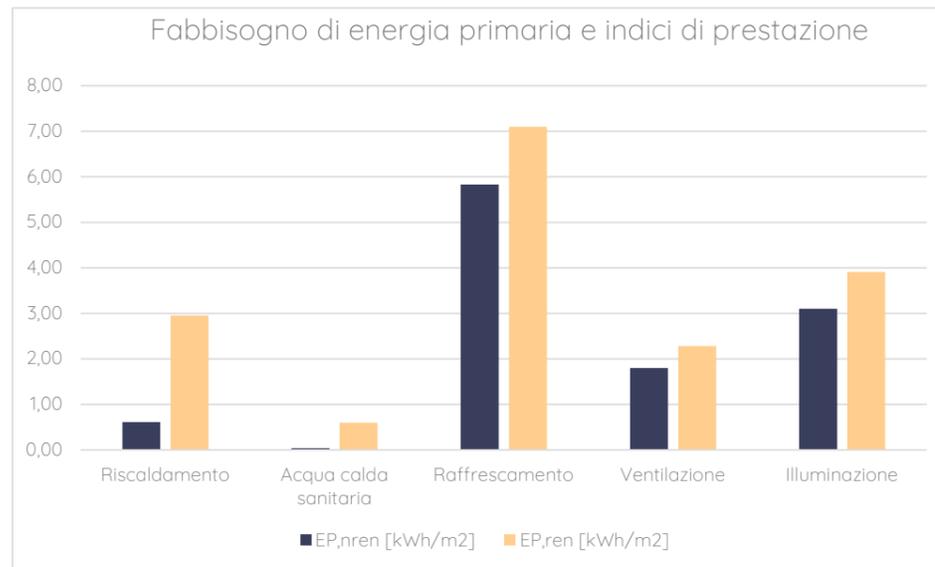
Vettori energetici ed emissioni di CO₂

Vettore energetico	Consumo	U.M.	CO ₂	Servizi
			[kg/anno]	
Energia elettrica	41.057	kWhel/anno	18.886	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria, Raffrescamento, Ventilazione, Illuminazione

Figura 5.37: Catture di immagini software edilclima

Grafica 5.4: Fabbisogni e consumi totali

Servizio	EP,nren [kWh/m2]	EP,ren [kWh/m2]
Riscaldamento	0,61	2,95
Acqua calda sanitaria	0,04	0,60
Raffrescamento	5,83	7,10
Ventilazione	1,80	2,28
Illuminazione	3,10	3,91



Osservando il comportamento del sistema (edificio e impianti), si osserva che l'edificio ha molto bassi consumi energetici proveniente di fonti di energia non rinnovabile, nel caso di riscaldamento questo valore è molto vicino allo zero. La stessa cosa succede con la produzione di acqua calda sanitaria visto che i pannelli installati sono abbastanza efficienti. Questo succede ugualmente con il fabbisogno di energia per l'illuminazione che è maggiormente prodotta dai pannelli fotovoltaici in copertura.

Tuttavia, secondo questi indicatori, la proposta si può considerare un edificio NZEB per quanto il suo fabbisogno energetico risulta inferiore a 50 kWh/m²anno (capitolo 1 e 2). Con questi positivi risultati si potrebbe pensare in realizzare ancora delle migliorie alla proposta con l'obiettivo di diventare incluso un edificio ad energia positiva.

Verifiche di legge D.Intern. 26.06.15 Verifiche di legge DLgs 3 Marzo 2011 n.28

Fase Fase II - 1 Gennaio 2019 edifici pubblici e 1 Gennaio 2021 altri edifici Edificio ad energia quasi zero

Zona Zona climatizzata 1

Superficie disperdente oggetto di intervento (Sint) 6915,14 m²

Superficie disperdente totale (S) 6947,54 m²

Percentuale di superficie disperdente interessata dall'intervento (Sint/S) 99,53 %

Edifici di nuova costruzione Impianto di riscaldamento esistente Impianto produzione acqua calda sanitaria esistente Impianto di raffrescamento esistente

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,040 ≥	0,026	-
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75 ≥	0,34	W/m ² K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	16,43 >	12,67	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	36,31 >	30,64	kWh/m ²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	88,86 >	24,28	kWh/m ²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Dettagli - Verifica termoigrometrica

Verifica termoigrometrica delle strutture opache

Cod.	Tipo	Descrizione	Condensa superficiale	Condensa interstiziale
M2	T	Muro di facciata	Positiva	Positiva
P1	N	Solaio Xlam	Positiva	Positiva
P2	G	Solaio prefabbricato verso terreno	Positiva	Positiva
S1	N	Solaio Xlam	Positiva	Positiva
S3	T	Copertura piana	Positiva	Positiva

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,040 ≥	0,026	-

Dettagli - Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile

Valore ammissibile Riferimento: D.Intern. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b

Valore calcolato Area solare equivalente estiva 186,30 m²
Superficie utile 7031,03 m²

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,040 ≥	0,026	-
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75 ≥	0,34	W/m ² K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	16,43 >	12,67	kWh/m ²

Dettagli - Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)

Valore ammissibile Riferimento: D.Intern. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b

Zona climatica E

Cat. DPR 412/93 E.7

Rapporto S/V 0,20 m⁻¹

Valore calcolato

Tipologia elemento	Htr [W/K]
Pareti	787,00
Pavimenti	294,48
Soffitti	2,94
Ponti termici	0,00
Finestre	1287,28

Coefficiente globale scambio termico 2371,70 W/K
Superficie esterna lorda 6915,14 m²

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75 ≥	0,34	W/m ² K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	16,43 >	12,67	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	36,31 >	30,64	kWh/m ²

Dettagli - Indice di prestazione termica utile per riscaldamento

Valore ammissibile Riferimento: D.Intern. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b

Valore calcolato Categoria DPR 412/93 E.7
Superficie pianta netta 7031,03 m²
Fabbisogno di energia utile 115502,40 kWh
Fabbisogno di energia utile 89112,41 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.	
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,75	≥	0,34	W/m²K
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	16,43	>	12,67	kWh/m²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	36,31	>	30,64	kWh/m²

Dettagli - Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: D.Intern. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	Categoria DPR 412/93: E.7
Fabbisogno di energia utile: 255288,84 kWh	Superficie pianta netta: 7031,03 m²
	Fabbisogno di energia utile: 215444,64 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.	
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	36,31	>	30,64	kWh/m²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	88,86	>	28,23	kWh/m²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva				

Dettagli - Indice di prestazione energetica globale

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: D.Intern. 26.06.15, allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2 - lettera b	Categoria DPR 412/93: E.7
	Superficie pianta netta: 7031,03 m²

Servizio	EP [kWh/m²]
Riscaldamento	9,71
Acqua calda sanitaria	0,94
Raffrescamento	50,90
Ventilazione	17,69
Illuminazione	9,62
Trasporto	0,00
Totale	88,86

Servizio	EP [kWh/m²]
Riscaldamento	3,56
Acqua calda sanitaria	0,64
Raffrescamento	12,93
Ventilazione	4,08
Illuminazione	7,01
Trasporto	0,00
Totale	28,23

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.	
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	36,31	>	30,64	kWh/m²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	88,86	>	28,23	kWh/m²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva				

Dettagli - Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento

Impianti

Nr.	Servizi	Verifica	ng,amm. [%]	ng [%]
1	Riscaldamento	Positiva	169,2	≤ 356,4
2	Acqua calda sanitaria	Positiva	66,3	≤ 96,8
3	Raffrescamento	Positiva	71,3	≤ 236,9

Verifiche di legge D.Intern. 26.06.15 Verifiche di legge DLgs 3 Marzo 2011 n.28

Zona: Zona climatizzata 1

Tipo di intervento: Edificio di nuova costruzione

Verifiche previste dal DLgs n. 28/2011, Allegato 3

Verifiche alternative previste dal DLgs n. 28/2011, Allegato 3, punto 8

Escludi biomassa dal calcolo coperture da fonte rinnovabile

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.	
Copertura totale da fonte rinnovabile	Positiva	55,00	<	62,16	%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	Positiva	55,0	<	93,9	%
Verifica potenza elettrica installata	Positiva	0,00	<	69,75	kW

Dettagli - Copertura totale da fonte rinnovabile

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: DLgs 3.3.2011 n.28, Allegato 3 - comma 1	Percentuale da fonte rinnovabile: 62,2 %
	Energia primaria rinnovabile: 74871,7 kWh
	Energia primaria non rinnovabile: 45576,1 kWh
	Energia primaria totale: 120447,8 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.	
Copertura totale da fonte rinnovabile	Positiva	55,00	<	62,16	%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	Positiva	55,0	<	93,9	%
Verifica potenza elettrica installata	Positiva	0,00	<	69,75	kW

Dettagli - Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: DLgs 3.3.2011 n. 28, Allegato 3 - comma 1	Percentuale di copertura: 93,9 %
	Energia primaria rinnovabile: 4236,9 kWh
	Energia primaria non rinnovabile: 275,6 kWh
	Energia primaria totale: 4512,5 kWh

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.	
Copertura totale da fonte rinnovabile	Positiva	55,00	<	62,16	%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	Positiva	55,0	<	93,9	%
Verifica potenza elettrica installata	Positiva	0,00	<	69,75	kW

Dettagli - Verifica potenza elettrica installata

Valore ammissibile	Valore calcolato
Riferimento: DLgs 3.3.2011 n.28, Allegato 3 - comma 3	Potenza elettrica installata: 69,75 kW
	Superficie in pianta a livello del terreno: 0,00 m²

Riepilogo

Nr. zona	Descrizione	Cat. DPR 412	Sup. netta [m²]	Vol. lordo [m³]	EPgl,nren	U.M.	Classe energetica
1	Zona climatizzata 1	E.7	7031,03	34149,29	11,39	kWh/m²anno	A4

Avendo effettuato tutte le verifiche energetiche nel software, il risultati dell'edificio confermano che è conforme ai parametri NZEB, soddisfacendo un basso consumo di energia primaria di 11.39 kWh/m²anno ed essendo considerato di classe energetica A4.

EDIFICIO PALESTRA

Tabella 5.10: Elenco componenti

Muri

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m²]	Y _{te} [W/m²K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m²K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	U _e [W/m²K]
M15	T	Muro di facciata	278,5	82	0,042	-13,463	26,705	0,9	0,6	-5	0,203

Pavimenti

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m²]	Y _{te} [W/m²K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m²K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	U _e [W/m²K]
P1	N	Solaio Xlam	280	305	0,052	-12,368	64,574	0,9	0,6	20	0,399
P2	G	Solaio prefabbricato verso terreno	551	996	0,01	-15,566	65,26	0,9	0,6	-5	0,151
P3	T	Copertura shed	588,8	179	0	-7,46	16,719	0,9	0,6	-5	0,098

Soffitti

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m²]	Y _{te} [W/m²K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m²K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	U _e [W/m²K]
S1	N	Solaio Xlam	280	305	0,079	-11,648	15,401	0,9	0,6	20	0,423
S2	T	Copertura shed	588,8	179	0	-7,46	16,719	0,9	0,6	-5	0,098

Legenda simboli

Sp	Spessore struttura
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci
Y _{te}	Trasmittanza termica periodica della struttura
Sfasamento	Sfasamento dell'onda termica
C _T	Capacità termica areica
ε	Emissività
α	Fattore di assorbimento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
U _e	Trasmittanza di energia della struttura

Componenti finestrati

Cod	Tipo	Descrizione	vetra	ϵ	ggl,n	fc inv	fc est	H	L	Ug	Uw	θ	Agf	Lgf
								[cm]	[cm]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[m]
W1	T	Finestra 2300x440	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	440	2300	0,5	0,95	-5	95,177	286,21
W2	T	Finestra 3100x440	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	440	3100	0,5	0,95	-5	132,84	390,01
W3	T	Finestra 3500x440	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	440	3500	0,5	0,95	-5	150,02	440,37
W4	T	Finestra 300x100	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	100	300	0,5	0,95	-5	2,627	13,09
W5	T	Finestra 100x100	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	100	100	0,5	0,95	-5	0,865	3,72
W6	T	Finestra 400x100	Triplo	0,837	0,5	0,45	0,45	100	400	0,5	0,95	-5	3,557	15,09

Legenda simboli

- ϵ Emissività
- ggl,n Fattore di trasmittanza solare
- fc inv Fattore tendaggi (energia invernale)
- fc est Fattore tendaggi (energia estiva)
- H Altezza
- L Larghezza
- Ug Trasmittanza vetro
- Uw Trasmittanza serramento
- θ Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
- Agf Area del vetro
- Lgf Perimetro del vetro

Tabella 5.11: Dettaglio delle dispersioni per trasmissione dei componenti

Dispersioni strutture opache:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U	θ_e	S_{Tot}	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
			[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[W]	[%]
M15	T	Muro di facciata	0,204	-5	960,95	5.527	29
P2	G	Solaio prefabbricato verso terreno	0,151	-5	1720,08	6.486	34
Totale:						12.013	63

Dispersioni strutture trasparenti:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U	θ_e	S_{Tot}	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
			[W/m ² K]	[°C]	[m ²]	[W]	[%]
W1	T	Finestra 2300x440	0,95	-5	102,16	2.912	15,3
W2	T	Finestra 3100x440	0,95	-5	137,64	3.432	18
W4	T	Finestra 300x100	0,95	-5	12,56	336	1,8
W5	T	Finestra 100x100	0,95	-5	6,42	168	0,9
W6	T	Finestra 400x100	0,95	-5	8,36	218	1,1
Totale:						7.066	37

Legenda simboli

- U Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
- Ψ Trasmittanza termica lineica del ponte termico
- θ_e Temperatura di esposizione dell'elemento
- S_{Tot} Superficie totale su tutto l'edificio dell'elemento disperdente
- L_{Tot} Lunghezza totale su tutto l'edificio del ponte termico
- Φ_{tr} Potenza dispersa per trasmissione
- % Φ_{Tot} Rapporto percentuale tra il Φ_{tr} dell'elemento e il Φ_{tr} totale dell'edificio

Grafica 5.4: Dispersione per componenti

■ VERTICALI OPACHI ■ ORIZZONTALI OPACHI ■ TRASPARENTI

DISPERSIONI PER COMPONENTE		
ELEMENTI	[W]	[%]
VERTICALI OPACHI	5.527	29
ORIZZONTALI OPACHI	6.486	34
TRASPARENTI	7.066	37,1

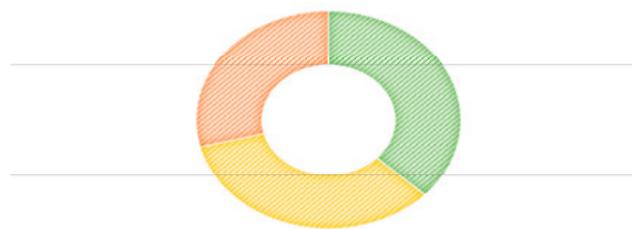


Tabella 5.12: Dispersioni per esposizione

Prospetto Nord-Est:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M1	Muro di facciata (Rockpanel)	0,204	-5	110,99	679	3,6
W1	Finestra 2300x440	0,95	-5	102,16	2.912	15,3
W4	Finestra 300x100	0,95	-5	6,28	179	0,9
Totale:					3.769	19,8

Prospetto Sud-Est:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M1	Muro di facciata (Rockpanel)	0,204	-5	376,14	2.109	11,1
W5	Finestra 100x100	0,95	-5	6,42	168	0,9
W6	Finestra 400x100	0,95	-5	8,36	218	1,1
Totale:					2.495	13,1

Prospetto Sud-Ovest:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M1	Muro di facciata (Rockpanel)	0,204	-5	75,5	404	2,1
W2	Finestra 3100x440	0,95	-5	137,64	3.432	18
W4	Finestra 300x100	0,95	-5	6,28	157	0,8
Totale:					5.564	37,1

Prospetto Nord-Ovest:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
M1	Muro di facciata (Rockpanel)	0,204	-5	398,32	2.335	12,2
Totale:					2.335	12,2

Prospetto Orizzontale:

Cod	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
		Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh.[m]	[W]	[%]
P2	Solaio prefabbricato verso terreno	0,151	-5	1720,08	6.486	34
Totale:					6.486	34

Grafica 5.5: Dispersioni per esposizione

DISPERSIONI PER ESPOSIZIONE		
ESPOSIZIONE	[W]	[%]
Prospetto Nord-Est	20	19,8
Prospetto Sud-Est	2.495	13,1
Prospetto Sud-Ovest	3.993	20,9
Prospetto Nord-Ovest	2.335	12,2
Prospetto Orizzontale	6.486	34

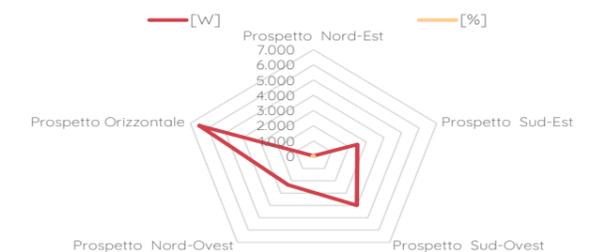


Tabella 5.13: Dispersioni per ventilazione

Dispersioni per Ventilazione:

Nr.	Descrizione zona termica	V_{netto}	Φ_{ve}
		[m ³]	[W]
1	Zona climatizzata 1	7198,2	36174
Totale			36.174

Legenda simboli

V_{netto} | Volume netto della zona termica
 Φ_{ve} | Potenza dispersa per ventilazione

Tabella 5.14: Dispersioni totali

Coefficiente di sicurezza adottato 1,00

Nr.	Descrizione zona termica	Φ_{nt}	$\Phi_{nt,sic}$
		[W]	[W]
1	Zona climatizzata 1	55.253	55.253
Totale		55.253	55.253

Legenda simboli

Φ_{nt} | Potenza totale dispersa
 $\Phi_{nt,sic}$ | Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE

Categoria DPR 412/93 E.6 (2)
Superficie esterna 1.619,27 m²
Superficie utile 3.027,61 m²
Volume lordo 8.797,22 m³
Volume netto 7.198,22 m³
Rapporto S/V 0,34 m⁻¹

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo Vicini presenti
Stagione di calcolo Convenzionale dal 15 ottobre
al 15 aprile
Durata della stagione 183 giorni

Tabella 5.15: Fabbisogno di energia utile invernale

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

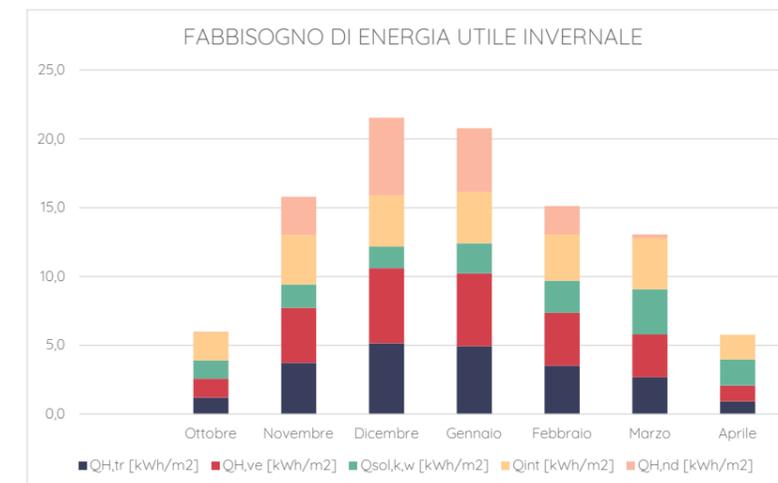
FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE

Mese	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ht}$	$Q_{sol,k,w}$	$Q_{sol,k,w}$	Q_{int}	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,nd}$
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]
Ottobre	1.954	1,21	206	2.233	1,38	4.393	2.132	1,32	3.303	2,04	5.435	96	0,06
Novembre	6.042	3,73	506	6.478	4,00	13.026	2.731	1,69	5.829	3,60	8.560	4.500	2,78
Dicembre	8.335	5,15	528	8.837	5,46	17.699	2.538	1,57	6.024	3,72	8.562	9.139	5,64
Gennaio	8.000	4,94	499	8.569	5,29	17.068	3.535	2,18	6.024	3,72	9.558	7.519	4,64
Febbraio	5.700	3,52	502	6.240	3,85	12.442	3.766	2,33	5.441	3,36	9.206	3.336	2,06
Marzo	4.347	2,68	678	5.034	3,11	10.059	5.311	3,28	6.024	3,72	11.335	424	0,26
Aprile	1.501	0,93	282	1.874	1,16	3.657	3.052	1,88	2.915	1,80	5.966	8	0,00
Totale	35.879	22,16	3.201	39.265	24,25	78.344	23.065	14,24	35.560	21,96	58.622	25.022	15,45

Legenda simboli

$Q_{H,tr}$ | Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache ($Q_{sol,k,h}$)
 $Q_{H,tr}$ | Energia dispersa per extraflusso
 $Q_{H,ve}$ | Energia dispersa per ventilazione
 $Q_{H,ht}$ | Totale energia dispersa = $Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$
 $Q_{sol,k,w}$ | Apporti solari attraverso gli elementi finestrati
 Q_{int} | Apporti interni
 Q_{gn} | Totale apporti gratuiti = $Q_{sol} + Q_{int}$
 $Q_{H,nd}$ | Energia utile

Grafica 5.6: Fabbisogno di energia utile invernale



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE		
$Q_{H,tr}$	[kWh/m ²]	22,2
$Q_{H,ve}$	[kWh/m ²]	24,2
$Q_{sol,k,w}$	[kWh/m ²]	14,2
Q_{int}	[kWh/m ²]	22,0
$Q_{H,nd}$	[kWh/m ²]	15,5

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA

Tabella 5.16: Fabbisogno di energia utile stagione estiva

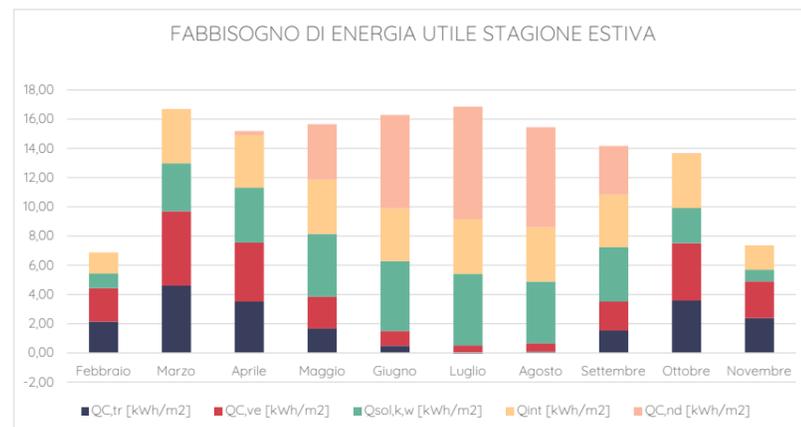
FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA

Mese	$Q_{C,tr}$	$Q_{C,cr}$	$Q_{C,r}$	$Q_{C,ve}$	$Q_{C,vt}$	$Q_{C,ht}$	$Q_{sol,k,w}$	$Q_{sol,k,w}$	Q_{int}	Q_{int}	Q_{gn}	$Q_{C,nd}$	$Q_{C,nd}$
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]
Febbraio	3.458	2,14	232	3.724	2,30	7.413	1.614	1,00	2.332	1,44	3.946	0	0,00
Marzo	7.455	4,60	678	8.247	5,09	16.380	5.311	3,28	6.024	3,72	11.335	16	0,01
Aprile	5.692	3,52	593	6.530	4,03	12.815	6.103	3,77	5.829	3,60	11.932	433	0,27
Maggio	2.695	1,66	615	3.535	2,18	6.844	6.955	4,30	6.024	3,72	12.978	6.134	3,79
Giugno	779	0,48	757	1.658	1,02	3.194	7.738	4,78	5.829	3,60	13.567	10.373	6,41
Luglio	-94	-0,06	771	803	0,50	1.480	7.967	4,92	6.024	3,72	13.991	12.510	7,73
Agosto	134	0,08	725	910	0,56	1.770	6.851	4,23	6.024	3,72	12.875	11.105	6,86
Settembre	2.485	1,53	758	3.213	1,98	6.457	6.019	3,72	5.829	3,60	11.848	5.392	3,33
Ottobre	5.788	3,57	459	6.373	3,94	12.620	3.888	2,40	6.024	3,72	9.912	64	0,04
Novembre	3.849	2,38	269	4.088	2,52	8.207	1.274	0,79	2.720	1,68	3.995	0	0,00
Totale	32.241	19,91	5.857	39.081	24,13	77.180	53.720	33,18	52.659	32,52	106.379	46.027	28,42

Legenda simboli

$Q_{C,cr}$	Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache ($Q_{sol,k,c}$)
$Q_{C,r}$	Energia dispersa per extraflusso
$Q_{C,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{C,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{C,cr} + Q_{C,ve}$
$Q_{sol,k,w}$	Apporti solari attraverso gli elementi finestrati
Q_{int}	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = $Q_{sol} + Q_{int}$
$Q_{C,nd}$	Energia utile

Grafica 5.7: Fabbisogno di energia utile stagione estiva



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA		
$Q_{C,cr}$	[kWh/m ²]	19,9
$Q_{C,ve}$	[kWh/m ²]	24,1
$Q_{sol,k,w}$	[kWh/m ²]	53,2
Q_{int}	[kWh/m ²]	32,5
$Q_{C,nd}$	[kWh/m ²]	28,4

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA

Come per il edificio scolastico in base ai dati ottenuti in precedenza rispetto alla energia utile per le stagioni invernale ed estiva si hanno scelto gli impianti in corrispondenza che meglio coprivano i fabbisogni in ogni caso.

Servizio di riscaldamento

Caratteristiche impianto aeraulico:

Tipo di impianto Ventilazione meccanica bilanciata

Dispositivi presenti Ricuperatore di calore, Riscaldamento aria

Dati per il calcolo della ventilazione meccanica effettiva:

Ricambi d'aria a 50 Pa	n_{50}	1	h ⁻¹
Coefficiente di esposizione al vento	e	0,07	-
Coefficiente di esposizione al vento	f	15,00	-
Fattore di efficienza della regolazione	$FC_{ve,H}$	1,00	-
Ore di funzionamento dell'impianto	hf	12,00	-
Rendimento nominale del ricuperatore	η_{Hnom}	0,80	-

Figura 5.38: Diagramma servizio di riscaldamento

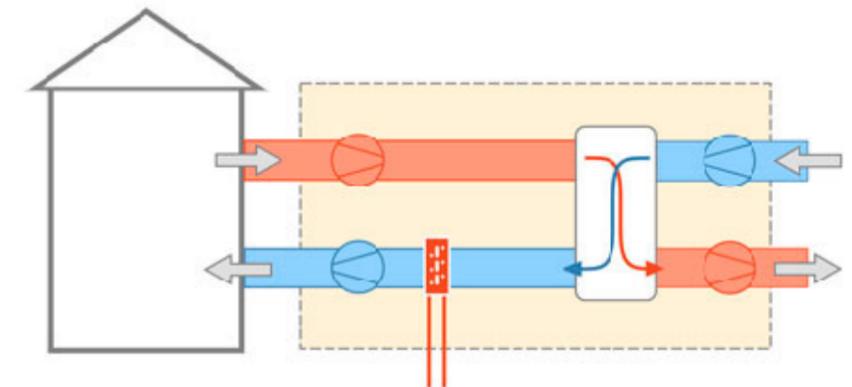
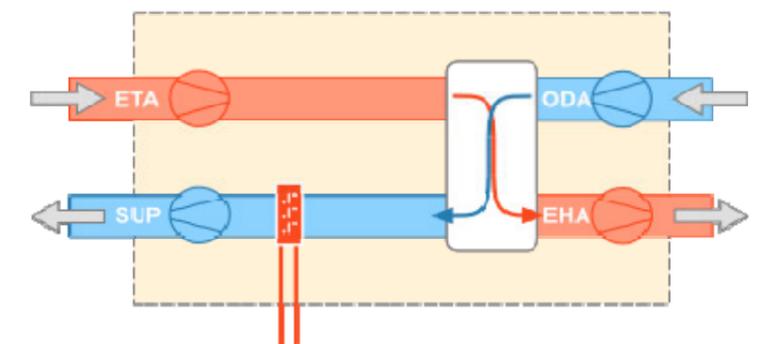


Figura 5.39: Diagramma caratteristiche dei condotti



Condotta di estrazione dagli ambienti (ETA):

Temperatura di estrazione da ambienti	20,0 °C
Potenza elettrica dei ventilatori	370 W
Portata del condotto	3.599,11 m ³ /h

Condotta di immissione negli ambienti (SUP):

Temperatura di immissione in ambienti	20,0 °C
Potenza elettrica dei ventilatori	375 W
Portata del condotto	3.599,11 m ³ /h

Condotta di aspirazione dell'aria esterna (ODA):

Differenza di temperatura per scambio con il terreno	20,0 °C
Potenza elettrica dei ventilatori	375 W
Portata del condotto	3.599,11 m ³ /h

Tabella 17: Servizio di riscaldamento

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	94	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	98	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{H,du}$	99	%
Rendimento di distribuzione primaria	$\eta_{H,dp}$	100	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{H,gen,p,nren}$	96	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. totale)	$\eta_{H,gen,p,tot}$	77	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{H,g,p,nren}$	2.603	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. totale)	$\eta_{H,g,p,tot}$	1.467	%

Dettaglio rendimenti dei singoli generatori :

Generatore	$\eta_{H,gen,ut}$	$\eta_{H,gen,p,nren}$	$\eta_{H,gen,p,tot}$
	[%]	[%]	[%]
Pompa di calore - secondo UNI/TS 11300-4	187	96	77

Legenda simboli

- $\eta_{H,gen,ut}$
- $\eta_{H,gen,p,nren}$
- $\eta_{H,gen,p,tot}$

Circuito Riscaldamento

Caratteristiche sottosistema di emissione:

Tipo di terminale di erogazione	Radiatori su parete esterna isolata
---------------------------------	-------------------------------------

Temperatura di mandata di progetto	85,0 °C
Potenza nominale dei corpi scaldanti	55.253 W
Fabbisogni elettrici	0 W

Rendimento di emissione	93,0 %
-------------------------	--------

Caratteristiche sottosistema di regolazione:

Tipo	Per singolo ambiente + climatica
Caratteristiche	P banda proporzionale 1 °C

Rendimento di regolazione	98,0 %
---------------------------	--------

Caratteristiche sottosistema di distribuzione utenza:

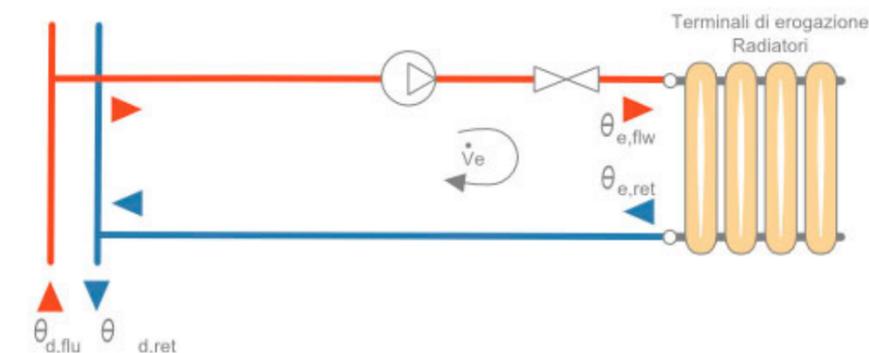
Metodo di calcolo	Semplificato
Tipo di impianto	Autonomo, edificio condominiale
Posizione impianto	Impianto a piano intermedio
Posizione tubazioni	-
Isolamento tubazioni	Isolamento con spessori conformi alle prescrizioni del DPR n. 412/93

Numero di piani	-
Fattore di correzione	1,00
Rendimento di distribuzione utenza	99,0 %
Fabbisogni elettrici	0 W

Temperatura dell'acqua - Riscaldamento

Tipo di circuito	Valvole termostatiche, bitubo
------------------	-------------------------------

Figura 5.40: Diagramma radiatori



Maggiorazione potenza corpi scaldanti	10,0	%
ΔT nominale lato aria	50,0	$^{\circ}\text{C}$
Esponente n del corpo scaldante	1,30	-
ΔT di progetto lato acqua	20,0	$^{\circ}\text{C}$

Portata nominale 1.743,50 kg/h

Criterio di calcolo Temperatura di mandata variabile

Temperatura di mandata massima	80,0	$^{\circ}\text{C}$
ΔT mandata/ritorno	40,0	$^{\circ}\text{C}$
Sovratemperatura della valvola miscelatrice	5,0	$^{\circ}\text{C}$

Acqua calda sanitaria

Tabella 5.17: Acqua calda sanitaria

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di erogazione	$\eta_{W,er}$	100	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{W,du}$	93	%
Rendimento di distribuzione primaria	$\eta_{W,dp}$	100	%
Rendimento di generazione (risp. a en. utile)	$\eta_{W,gen,ut}$	0	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{W,gen,p,nren}$	0	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non tot.)	$\eta_{W,gen,p,tot}$	0	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non)	$\eta_{W,g,p,nren}$	1.016.502	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. tot.)	$\eta_{W,g,p,tot}$	1.361	%

Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria [l/g] :

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
24.850	24.850	24.850	24.850	24.850	24.850	24.850	24.850	24.850	24.850	24.850	24.850

Superficie utile E.6 (2)
Temperatura di erogazione 40 $^{\circ}\text{C}$

Temperatura di alimentazione [$^{\circ}\text{C}$]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
14,30	14,30	14,30	14,30	14,30	14,30	14,30	14,30	14,30	14,30	14,30	14,30

Fabbisogno giornaliero per posto 50 l/g posto
Numero di posti 497

Fattore di occupazione [%]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Caratteristiche sottosistema di erogazione :

Rendimento di erogazione 100 %

Caratteristiche sottosistema di distribuzione primaria:

Metodo di calcolo Analitico
Coefficiente di recupero 0,80

Temperatura media della tubazione 70,0 $^{\circ}\text{C}$

Potenza dello scambiatore 288,76 kW

Sottosistema di generazione

Dati generali:

Servizio Riscaldamento, ventilazione e acqua calda sanitaria

Tipo di generatore Pompa di calore

Metodo di calcolo secondo UNI/TS 11300-4

Marca/Serie/Modello VIESSMANN Srl/Energycal AW PRO MT 95.2-250.2/Energycal AW PRO MT 95.2

Tipo di pompa di calore Elettrica

Temperatura di disattivazione $\theta_{H,off}$ 20,0 $^{\circ}\text{C}$ (per riscaldamento)

Sorgente fredda Aria esterna

Temperatura di funzionamento (cut-off) minima -20,0 $^{\circ}\text{C}$
massima 40,0 $^{\circ}\text{C}$

Sorgente calda Acqua di impianto

Temperatura di funzionamento (cut-off) minima 20,0 $^{\circ}\text{C}$
massima 60,0 $^{\circ}\text{C}$

Temperatura della sorgente calda (acqua sanitaria) 70,0 $^{\circ}\text{C}$

Prestazioni dichiarate:

Coefficiente di prestazione COPe 3,5
Potenza utile P_u 55,25 kW
Potenza elettrica assorbita Pass 15,79 kW

Vettore energetico:

Tipo Energia elettrica

Fattore di conversione in energia primaria

(rinnovabile) $f_{p,ren}$ 0,470 -
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile) $f_{p,nren}$ 1,950 -
Fattore di conversione in energia primaria f_p 2,420 -
Fattore di emissione di CO₂ 0,4600 kgCO₂/kWh

Pannelli fotovoltaici

Tabella 5.18 Acqua calda sanitaria

Energia elettrica da produzione fotovoltaica [kWh]:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
1.687	2.301	4.062	5.330	6.540	7.629	8.021	6.575	5.064	2.754	1.432	1.239

Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile $Q_{H,p,nren}$ 27 kWh/anno
 Fabbisogno di energia primaria totale $Q_{H,p,tot}$ 19.942 kWh/anno
 Rendimento globale medio stagionale (rispetto all'energia primaria non rinnovabile) $\eta_{H,g,p,nren}$ 1.016,502 %
 Rendimento globale medio stagionale (rispetto all'energia primaria totale) $\eta_{H,g,p,tot}$ 1.361 %
 Consumo di energia elettrica effettivo 14 kWh/anno

Servizio di raffrescamento

Contrario a quello che si è considerato per l'edificio scolastico, per la palestra si ha fatto la simulazione per la ventilazione considerando un impianto con produzione combinata con riscaldamento. Cioè si utilizza la stessa pompa di calore con le seguenti caratteristiche:

Tabella 5.19 - Servizio di raffrescamento

Rendimenti stagionali dell'impianto :

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{c,e}$	98	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{c,rg}$	96	%
Rendimento di distribuzione	$\eta_{c,d}$	100	%
Rendimento di generazione (risp. a en. utile)	$\eta_{c,gen,ut}$	302	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{c,gen,p,nren}$	155	%
Rendimento di generazione (risp. a en. pr. non tot.)	$\eta_{c,gen,p,tot}$	125	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. non rinn.)	$\eta_{c,g,p,nren}$	17.317	%
Rendimento globale medio stagionale (risp. a en. pr. tot.)	$\eta_{c,g,p,tot}$	178	%

Caratteristiche sottosistema di emissione:

Tipo di terminale di erogazione Ventilconvettori idronici
Fabbisogni elettrici 393 W

Caratteristiche sottosistema di regolazione:

Tipo Controllo singolo ambiente
Caratteristiche Regolazione modulante (banda 2°C)

Sottosistema di generazione

Dati generali:

Servizio Raffrescamento
Tipo di generatore Pompa di calore
Metodo di calcolo secondo UNI/TS 11300-3

Marca/Serie/Modello AIC Italia Srl/Aurax 2 Tubi/93
Tipo di pompa di calore Elettrica
Potenza frigorifera nominale $\Phi_{gn,nom}$ 80,44 kW

Sorgente unità esterna Aria
Temperatura bulbo secco aria esterna 31,9 °C

Sorgente unità interna Acqua
Temperatura acqua in uscita dal condensatore 7,0 °C

Dati unità esterna:

Percentuale portata d'aria dei canali 100,0 % (valore rispetto alla portata nominale)

Assenza di setti insonorizzati
Lunghezza tubazione di mandata 10,00 m

Dati unità interna:

Salto termico all'evaporatore 5,0 °C
Fattore di sporcamento 0,04403 m²K/kW
Percentuale di glicole 20,0 %

Vettore energetico:

Tipo Energia elettrica
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile) $f_{p,ren}$ 0,470 -
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile) $f_{p,nren}$ 1,950 -
Fattore di conversione in energia primaria f_p 2,420 -
Fattore di emissione di CO₂ 0,4600 kgCO₂/kWh

Tabella 5.20: Fabbisogni termici

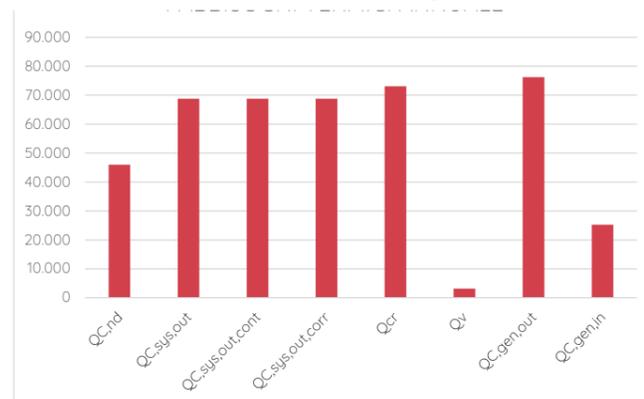
Fabbisogni termici

Mese	gg	Q _{C,nd}	Q _{C,sys,out}	Q _{C,sys,out,cont}	Q _{C,sys,out,corr}	Q _{cr}	Q _v	Q _{C,gen,out}	Q _{C,gen,in}
		[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Gennaio	13	0	16	16	16	18	0	18	6
Febbraio	28	0	481	481	481	512	0	512	169
Marzo	31	16	3.203	3.203	3.203	3.404	0	3.404	1.127
Aprile	30	433	5.647	5.647	5.647	6.003	0	6.003	1.988
Maggio	31	6.134	9.669	9.669	9.669	10.277	71	10.348	3.426
Giugno	30	10.373	12.032	12.032	12.032	12.789	526	13.315	4.409
Luglio	31	12.510	13.314	13.314	13.314	14.152	1.203	15.355	5.084
Agosto	31	11.105	12.015	12.015	12.015	12.772	1.354	14.126	4.677
Settembre	30	5.392	8.605	8.605	8.605	9.146	0	9.146	3.028
Ottobre	31	64	3.665	3.665	3.665	3.895	0	3.895	1.290
Novembre	15	0	112	112	112	119	0	119	39
Dicembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALI	301	46.028	68.758	68.758	68.758	73.085	3.154	76.239	25.245

Legenda simboli

- gg | Giorni compresi nel periodo di calcolo per raffrescamento
- Q_{C,nd} | Fabbisogno di energia termica utile del fabbricato
- Q_{C,sys,out} | Fabbisogno di energia termica utile dell'edificio (ventilazione)
- Q_{C,sys,out,cont} | Fabbisogno corretto per contabilizzazione
- Q_{C,sys,out,corr} | Fabbisogno corretto per ulteriori fattori
- Q_{cr} | Fabbisogno effettivo di energia termica
- Q_v | Fabbisogno per il trattamento dell'aria
- Q_{C,gen,out} | Fabbisogno in uscita dalla generazione
- Q_{C,gen,in} | Fabbisogno in ingresso alla generazione

Grafica 5.8: Fabbisogno termici annuale



Fabbisogni illuminazione

Per calcolare i requisiti illumino-tecnici, è stata effettuata un'analisi uguale a quello fatto per l'edificio scolastico basato nella norma EN 12464-1 - Requisiti illumino-tecnici per interni (zone), compiti e attività, in cui si è utilizzata la seguente formula:

$$P(W) = E_v(lx) \times A(m^2) / \eta(lm/w)$$

Tabella 5.21: Fabbisogni elettrici per illuminazione

Zona	Locale	Descrizione	Q _{ill,int,a}	Q _{ill,int}
			[kWh _{el}]	[kWh _{el}]
1	1	SPOGL. MASC. 1	158	158
1	2	SPOGL. FEM. 1	209	209
1	3	INGRESSO PALESTRA 1	79	79
1	4	INFERMERIA	368	368
1	5	SPOGL. M. DOC. 1	151	151
1	6	SPOGL. F. DOC. 1	114	114
1	7	SPOGL. F. DOCENTI 2	116	116
1	8	SPOGL. M. DOC. 2	151	151
1	9	INGRESSO PALESTRA 2	151	151
1	10	SPOGL. MASCHILE 2	158	158
1	11	SPOGL. FEMMINILE 2	209	209
1	12	CAMPO POLIFUNZIONALE	5.137	5.137
1	13	CAMPO POLIFUNZIONALE 2	7.360	7.360
1	15	WC	25	25
1	16	ANTI WC	22	22
1	17	WC M1	111	111
1	18	WC F1	108	108
1	19	DEP. 1	126	126
1	20	DEP. 2	126	126
1	21	WC F2	108	108
1	22	WC M2	111	111

Legenda simboli

- Q_{ill,int,a} | Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
- Q_{ill,int} | Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna

Tabella 5.22: Fabbisogni mensili per illuminazione

Mese	Giorni	Q _{ill,int,a}	Q _{ill,int}	Q _{ill}	Q _{p,ill}
		[kWh _{el}]	[kWh _{el}]	[kWh _{el}]	[kWh]
Gennaio	31	1.415	1.415	1.415	2.759
Febbraio	28	1.206	1.206	1.206	2.352
Marzo	31	1.249	1.249	1.249	2.435
Aprile	30	1.176	1.176	1.176	2.292
Maggio	31	1.200	1.200	1.200	2.341
Giugno	30	1.155	1.155	1.155	2.253
Luglio	31	1.197	1.197	1.197	2.333
Agosto	31	1.202	1.202	1.202	2.345
Settembre	30	1.209	1.209	1.209	2.357
Ottobre	31	1.304	1.304	1.304	2.542
Novembre	30	1.347	1.347	1.347	2.627
Dicembre	31	1.440	1.440	1.440	2.807
TOTALI		15.099	15.099	15.099	29.443

Legenda simboli

$Q_{ill,int,a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill,int,p}$	Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill,int,u}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali non climatizzati
$Q_{ill,int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna
$Q_{ill,est}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale esterna
Q_{ill}	Fabbisogno di energia elettrica totale
$Q_{p,ill}$	Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione

Tabella 5.23: Fabbisogni complessivi

Fabbisogni per il servizio illuminazione di ogni zona

Zona	$Q_{ill,int,a}$ [kWh _{el}]	$Q_{ill,int}$ [kWh _{el}]	Q_{ill} [kWh _{el}]	$Q_{p,ill}$ [kWh]
1 - Zona climatizzata 1	15.099	15.099	15.099	29.443
TOTALI	15.099	15.099	15.099	29.443

Legenda simboli

$Q_{ill,int,a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill,int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna
Q_{ill}	Fabbisogno di energia elettrica totale
$Q_{p,ill}$	Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione

FABBISOGNI E CONSUMI TOTALI

Tabella 5.24: Fabbisogni e consumi totali

FABBISOGNI E CONSUMI TOTALI

Edificio : Palestra per uso scolastico e	DPR 412/93	E.6 (2)	Superficie utile	1.619	m ²
--	------------	---------	------------------	-------	----------------

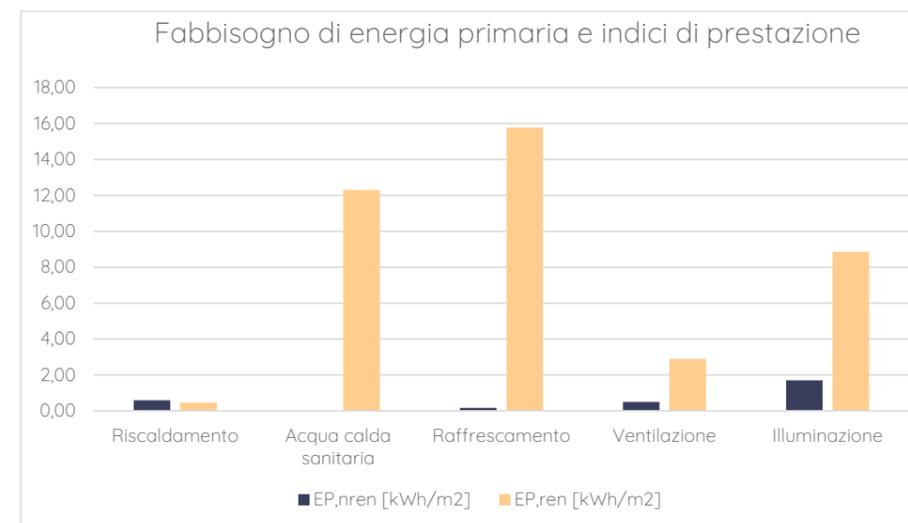
Fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

Servizio	$Q_{p,nren}$ [kWh]	$Q_{p,ren}$ [kWh]	$Q_{p,tot}$ [kWh]	EP,nren [kWh/m ²]	EP,ren [kWh/m ²]	EP,tot [kWh/m ²]
Riscaldamento	961	745	1.706	0,59	0,46	1,05
Acqua calda sanitaria	27	19.915	19.942	0,02	12,30	12,32
Raffrescamento	266	25.545	25.811	0,16	15,78	15,94
Ventilazione	811	4.685	5.496	0,50	2,89	3,39
Illuminazione	2.751	14.352	17.102	1,70	8,86	10,56
TOTALE	4.816	65.242	70.057	2,97	40,29	43,26

Vettori energetici ed emissioni di CO₂

Vettore energetico	Consumo	U.M.	CO ₂	Servizi
Energia elettrica	2.469	kWhel/anno	1.136	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria, Raffrescamento, Ventilazione, Illuminazione

Grafica 5.9: Fabbisogno di energia e consumi totali



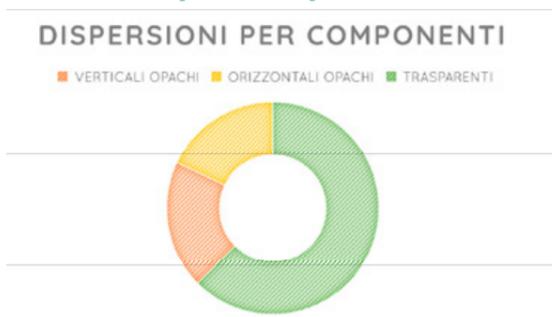
Servizio	EP,nren [kWh/m ²]	EP,ren [kWh/m ²]
Riscaldamento	0,59	0,46
Acqua calda sanitaria	0,02	12,30
Raffrescamento	0,16	15,78
Ventilazione	0,50	2,89
Illuminazione	1,70	8,86

5.4. ANALISI COMPARATIVA DELLE PROPOSTE DI PROGETTO

Una volta effettuata l'analisi di ciascuna proposta separatamente, risulta evidente che la seconda proposta con struttura in legno lamellare si comporta meglio in termini di efficienza energetica. Successivamente, verrà effettuata un'analisi più specifica di alcuni risultati delle analisi. Per quest'analisi si hanno presi i grafici dove si mostrano i risultati della simulazione energetica dei capitoli precedenti, ma questa volta a modo di confronto.

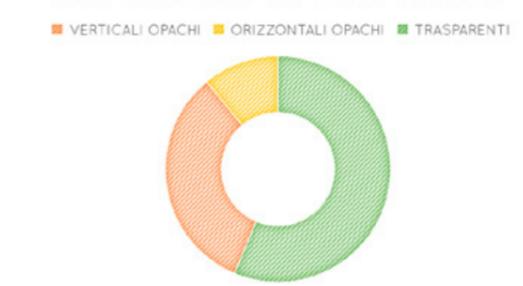
DISPERSIONI PER COMPONENTE		
ELEMENTI	[W]	[%]
VERTICALI OPACHI	18.074	19,5
ORIZZONTALI OPACHI	16.617	17,9
TRASPARENTI	57.931	62,5

Grafica 5.10: Dispersioni per componenti Proposta 1 capitolo 4.



DISPERSIONI PER COMPONENTE		
ELEMENTI	[W]	[%]
VERTICALI OPACHI	22.550	32,8
ORIZZONTALI OPACHI	7.518	10,9
TRASPARENTI	38.741	56,3

Grafica 5.11: Dispersione per componenti Proposta 2 capitolo 5.



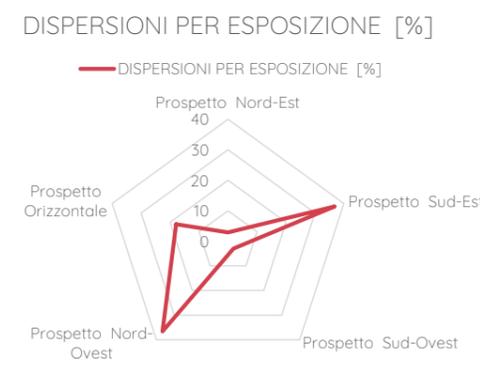
Da questa data possiamo concludere che un volume più compatto comporterebbe ovviamente meno dispersione termica, cioè, tra meno facciate esposte all'esterno meno superficie che possono generare dispersione termica, questo è evidente nella Proposta 1 visto che il suo disegno consiste fondamentalmente in uno rettangolo estruso con lievi modifiche sulle facciate est e ovest, dove si trovano le scale di emergenze, quindi le facciate sono più regolare, senza nessuna forma che li interrompa. Mentre nella proposta due è stato fatto un tentativo di rompere questo volume per mezzo di estrusioni e togliendo parte della volumetria per generare alcune terrazze, il che fa diventare evidente che le superfici disperse aumentano, cosa che si riflette nelle cifre numeriche lanciate dal software.

Per quanto riguarda gli elementi orizzontali opachi, accade un po' il contrario, il che genera sorpresa visto che l'area della copertura nella proposta 2 è stata leggermente aumentata. Questo si potrebbe capire per il valore di trasmittanza termica del solaio in entrambe le proposte, nella proposta 1 il solaio interpiano è di tipo 'predalles' e si compone di calcestruzzo armato con i relativi strati che lo compongono raggiungendo un valore di trasmittanza al limite dalla normativa di $0,22 \text{ W/m}^2\text{k}$, mentre nella proposta 2 il solaio si compone da legno lamellare e i relativi strati con un valore di trasmittanza di $0,207 \text{ W/m}^2\text{k}$ (per quanto riguarda ai valori di trasmittanza dei solai verso terreno questi valori non cambiano molto, essendo che nella proposta 1 il U-value è di $0,146 \text{ W/m}^2\text{k}$ mentre nella 2 è di $0,15 \text{ W/m}^2\text{k}$).

Nei risultati delle superfici trasparenti si fanno evidenti vari aspetti da considerare: il primo è che nella proposta 2 si hanno ridotto le dimensioni delle finestre, nella prima proposta queste finestre erano finestre dal pavimento al controsoffitto, mentre che nella proposta 2 rimane la stessa altezza delle finestre della proposta 1 ma si è aggiunto un davanzale di 40cm di altezza il che ridurre le dimensioni delle finestre; al secondo posto, i valori di trasmittanza delle due proposte varia in modo significativo mentre che nella proposta 1 il $U_g = 1.3 \text{ W/m}^2\text{k}$ (doppio vetro tipo basso emissivo con telaio in alluminio e fattore di trasmittanza solare di 0.52) mentre che nella proposta 2 questo valore corrisponde a $0,5 \text{ W/m}^2\text{k}$ (triplo vetro basso emissivo con telaio in legno e fattore di trasmittanza solare di 0.69); le finestre a est e ovest sono ridotte alla metà visto che secondo la teoria in queste facciate è meglio evitare oppure minimizzare l'installazione delle finestre.

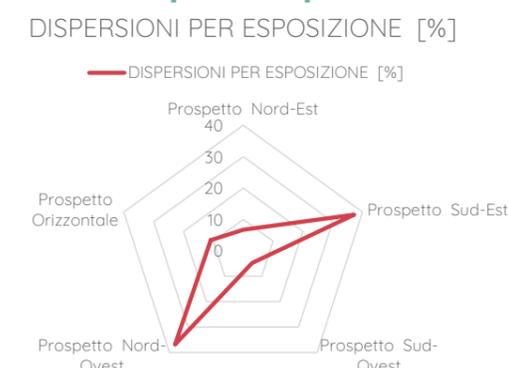
DISPERSIONI PER ESPOSIZIONE		
ESPOSIZIONE	[W]	[%]
Prospetto Nord-Est	2.693	2,9
Prospetto Sud-Est	34.128	36,8
Prospetto Sud-Ovest	2.764	3,0
Prospetto Nord-Ovest	33.976	36,6
Prospetto Orizzontale	16.617	17,9

Grafico 5.12: Dispersioni per esposizione Proposta 1 capitolo 4.



DISPERSIONI PER ESPOSIZIONE		
ESPOSIZIONE	[W]	[%]
Prospetto Nord-Est	4.597	6,7
Prospetto Sud-Est	25.564	37,2
Prospetto Sud-Ovest	3.299	4,8
Prospetto Nord-Ovest	25.388	36,9
Prospetto Orizzontale	7.518	10,9

Grafica 5.13: Dispersione per esposizione Proposta 2 capitolo 5.

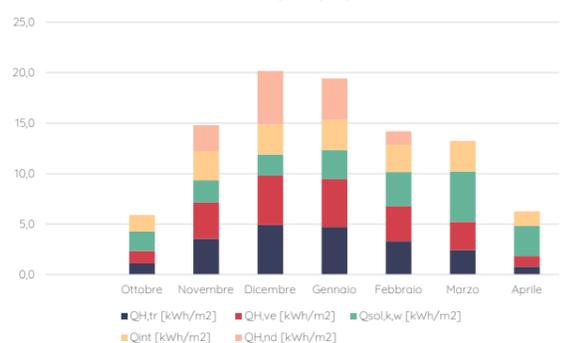


Analizzando le dispersione per esposizione si osserva che i prospetti Nord-Ovest e Nord-Est sono sempre quelli che presentano più dispersioni, questo potrebbe doversi (come spiegato nel capitolo precedente) a che sono le facciate più lunghe è quindi significa già solo per quello una maggiore superficie disperdente. Nella proposta 1 i valori sono molto più alti che nella proposta 2, visto che in questo analisi si stanno includendo anche le finestre il che aumenta percentualmente le dispersioni. Un'analisi importante da fare nelle successive fasi progettuale è quello dei ponti termici al fine di capire la ermeticità dell'involucro edilizio.

Si verifica un comportamento 'anomalo' o diverso con la facciata Nord-Est dove nella proposta 1 i valori di dispersione sono relativamente bassi mentre la proposta 2 quasi raddoppia, analizzando questo risultato vediamo che la superficie delle finestre calcolate nella proposta 1 è inferiore a quella di proposta 2, mentre se vediamo la superficie opaca calcolata dal software in questo orientamento varia in larga misura in entrambe le

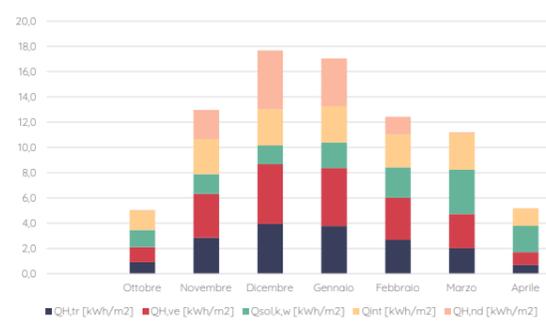
proposte, nella proposta 1 l'area del muro inclusa nell'analisi corrisponde a 337m² e in proposta 2 la superficie del muro è di 627,84 m², il che potrebbe essere dovuto alla riduzione della superficie della finestra, che comporterebbe una maggiore superficie del muro allo quale viene aggiunto le modifiche fatte al volume che generano più superficie esposte e quindi più dispersioni.

Grafica 5.14: Fabbisogno di energia utile invernale



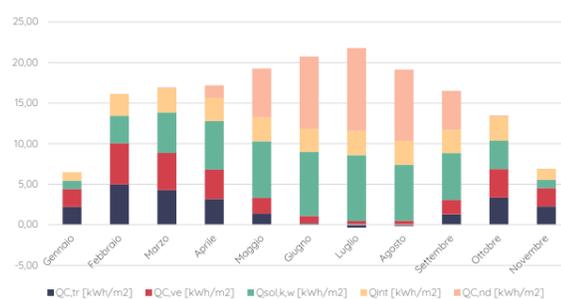
FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE		
Q _{H.tr}	[kWh/m ²]	20,8
Q _{H.ve}	[kWh/m ²]	21,8
Q _{sol.kw}	[kWh/m ²]	20,5
Q _{int}	[kWh/m ²]	17,6
Q _{H.nd}	[kWh/m ²]	13,4

Grafica 5.15: Fabbisogno di energia utile invernale



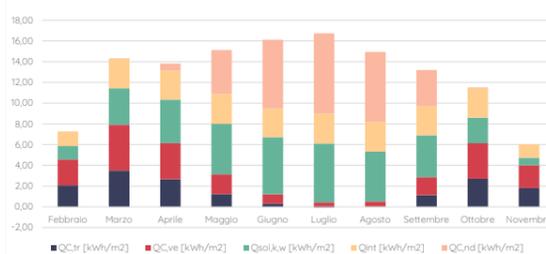
FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE		
Q _{H.tr}	[kWh/m ²]	16,9
Q _{H.ve}	[kWh/m ²]	21,1
Q _{sol.kw}	[kWh/m ²]	14,4
Q _{int}	[kWh/m ²]	17,0
Q _{H.nd}	[kWh/m ²]	12,2

Grafica 5.16: Fabbisogno di energia utile stagione estiva



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA		
Q _{C.tr}	[kWh/m ²]	22,5
Q _{C.ve}	[kWh/m ²]	26,9
Q _{sol.kw}	[kWh/m ²]	55,5
Q _{int}	[kWh/m ²]	28,4
Q _{C.nd}	[kWh/m ²]	40,4

Grafica 5.17: Fabbisogno di energia utile stagione estiva



FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA		
Q _{C.tr}	[kWh/m ²]	15,4
Q _{C.ve}	[kWh/m ²]	21,5
Q _{sol.kw}	[kWh/m ²]	37,1
Q _{int}	[kWh/m ²]	25,3
Q _{C.nd}	[kWh/m ²]	29,6

Facendo l'analisi del fabbisogno energetico dell'edificio nella fase invernale, i dati ci mostrano il notevole miglioramento in termini di quantità di energia dispersa della proposta 2 rispetto alla proposta 1. Tale miglioramento può essere il prodotto della minimizzazione della finestre nella proposta, quindi nonostante abbia superfici di dispersione più grandi, le sue perdite di calore sono ancora inferiori rispetto alla proposta più "compatta". D'altra parte, il fatto di ridurre il numero di finestre genera un effetto negativo in quanto l'importo dei contributi solari viene notevolmente ridotto per mezzo degli elementi trasparenti,

riflettendosi nei risultati della simulazione. Oltre a questo, anche il tipo di isolamento termico e acustico può svolgere un ruolo molto importante poiché la fibra di legno utilizzata nella proposta 2 ha prestazioni migliori rispetto alla lana di roccia utilizzata nella proposta 1.

Per quanto riguarda agli apporti interni

Alla fine, l'energia utile necessaria per riscaldare l'edificio è migliorata con la nuova proposta rispetto alla precedente proposta.

Per quanto riguarda i contributi interni, le due proposte hanno un comportamento molto simile.

Il comportamento dell'energia fornita e dispersa nella fase invernale ha un comportamento più o meno simile.

Ora, parlando del fabbisogno energetico utile nella stagione estiva, nella proposta 2 si vedono anche minori dispersioni energetiche, per quanto riguarda l'energia persa dalle superfici verticali opache e quella persa dalla ventilazione, questa può essere anche fortemente correlata all'isolamento delle pareti e isolamento in vetro. È anche positivo che i contributi solari attraverso superfici trasparenti siano molto inferiori rispetto alla proposta 1, che deve avere anche qualche rapporto con la realizzazione di finestre e vetri con prestazioni più alte. Nello stesso modo ma in una proporzione minore i contributi interni rappresentano anche una quantità minore nella proposta 2.

Questi fattori fanno sì che il fabbisogno di energia utile nella stagione estiva sia molto inferiore rispetto alla proposta 1.

Zona 1: Zona climatizzata 1	DPR 412/93	E.7	Superficie utile	7.280	m ²
-----------------------------	------------	-----	------------------	-------	----------------

Fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

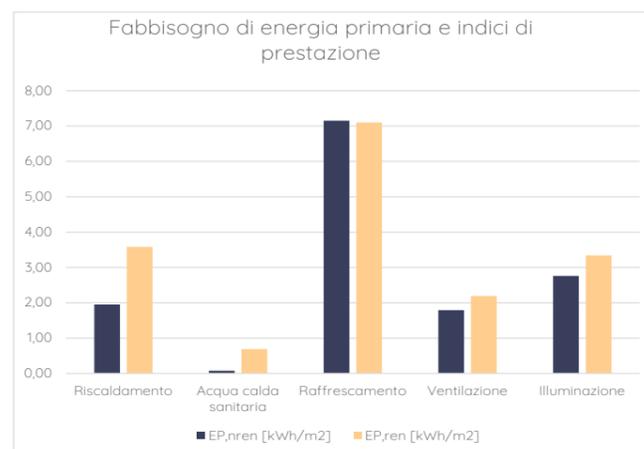
Servizio	Q _{p,nren} [kWh]	Q _{p,ren} [kWh]	Q _{p,tot} [kWh]	EP _{nren} [kWh/m ²]	EP _{ren} [kWh/m ²]	EP _{tot} [kWh/m ²]
Riscaldamento	14.192	26.086	40.278	1,95	3,58	5,53
Acqua calda sanitaria	551	5.006	5.558	0,08	0,69	0,76
Raffrescamento	52.023	51.671	103.694	7,15	7,10	14,24
Ventilazione	13.049	15.931	28.980	1,79	2,19	3,98
Illuminazione	20.126	24.303	44.430	2,76	3,34	6,10
TOTALE	99.942	122.998	222.940	13,73	16,90	30,63

Vettori energetici ed emissioni di CO₂

Vettore energetico	Consumo	U.M.	CO ₂ [kg/anno]	Servizi
Energia elettrica	51.252	kWhel/anno	23.576	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria, Raffrescamento, Ventilazione, Illuminazione

La proposta di base potrebbe funzionare molto bene in quanto raggiunge ancora un consumo di energia primaria da fonti non rinnovabili molto contenuto con 13,73 kWh/m²anno, che lo collocherebbe come un edificio NZEB con prestazioni energetiche molto elevate. Tuttavia, come abbiamo accennato in questi ultimi capitoli, è possibile migliorarne le prestazioni energetiche e allo stesso tempo renderle più sostenibili, come è stato fatto con la proposta 2, attraverso l'utilizzo di materiali e tecniche che hanno consentito l'edificio per raggiungere un consumo ancora più basso di 11,39 kWh/m²anno. Visto che migliorando l'isolamento termico di pareti e finestre, il fabbisogno di energia primaria dell'edificio è stato ridotto rendendo possibile progettare gli impianti di riscaldamento e raffrescamento in modo che fossero anche apparecchiature di qualità e con buone prestazioni energetiche

Servizio	EP _{nren} [kWh/m ²]	EP _{ren} [kWh/m ²]
Riscaldamento	1,95	3,58
Acqua calda sanitaria	0,08	0,69
Raffrescamento	7,15	7,10
Ventilazione	1,79	2,19
Illuminazione	2,76	3,34



Edificio : Edificio scolastico	DPR 412/93	E.7	Superficie utile	7.280	m ²
--------------------------------	------------	-----	------------------	-------	----------------

Fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

Servizio	Q _{p,nren} [kWh]	Q _{p,ren} [kWh]	Q _{p,tot} [kWh]	EP _{nren} [kWh/m ²]	EP _{ren} [kWh/m ²]	EP _{tot} [kWh/m ²]
Riscaldamento	4.288	20.715	25.002	0,61	2,95	3,56
Acqua calda sanitaria	276	4.237	4.513	0,04	0,60	0,64
Raffrescamento	41.013	49.920	90.933	5,83	7,10	12,93
Ventilazione	12.661	16.037	28.698	1,80	2,28	4,08
Illuminazione	21.825	27.496	49.321	3,10	3,91	7,01
TOTALE	80.062	118.404	198.466	11	17	28

Vettori energetici ed emissioni di CO₂

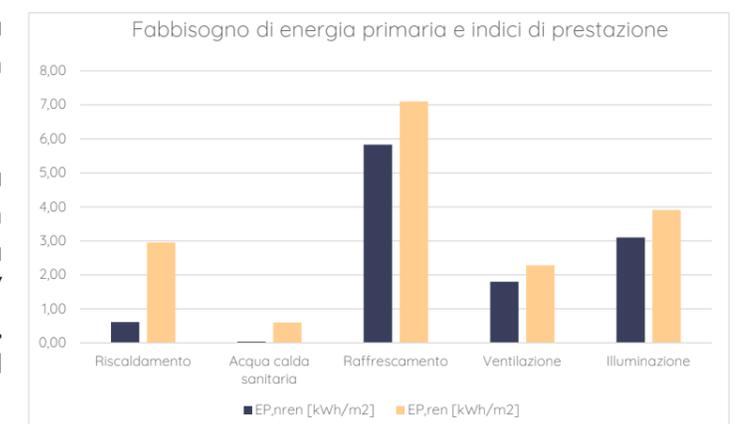
Vettore energetico	Consumo	U.M.	CO ₂ [kg/anno]	Servizi
Energia elettrica	41.057	kWhel/anno	18.886	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria, Raffrescamento, Ventilazione, Illuminazione

ma con meno potenza, che a sua volta comporterebbe un minor consumo di energia, questo diventa molto evidente con i dati forniti dal software in merito alla pompa di calore per il riscaldamento, che richiede solo 0,64 kWh/m² di energia primaria prodotta da fonti di energia non rinnovabili.

Servizio	EP _{nren} [kWh/m ²]	EP _{ren} [kWh/m ²]
Riscaldamento	0,61	2,95
Acqua calda sanitaria	0,04	0,60
Raffrescamento	5,83	7,10
Ventilazione	1,80	2,28
Illuminazione	3,10	3,91

Allo stesso modo è stata notevolmente ridotta la carbon footprint, che è passata da 23.576 kg/anno a 18.886 kg/anno, grazie a quanto sopra, materiali più sostenibili ed ecocompatibili.

L'utilizzo dei pannelli fotovoltaici, pur essendo contraddittorio (per via del loro processo produttivo), porta davvero grandi guadagni in termini di produzione di energia elettrica attraverso la raccolta dell'energia solare.



CONCLUSIONI

Con lo sviluppo di questa tesi, alcuni dei concetti descritti all'inizio di questo studio nel quadro teorico sono stati messi in pratica:

In entrambe le proposte:

L'orientamento dell'edificio ha un grande impatto sull'efficienza dell'edificio. La pianificazione termica, menzionata nel capitolo 2, è evidente nell'orientamento di questo progetto. Le aule e i laboratori si trovano principalmente sulle facciate più lunghe esposte a sud-ovest e a nord-ovest. L'area amministrativa si trova anch'essa sulla facciata sud-est, mentre il bar e l'aula magna sono situati nell'area centrale, in quanto questi spazi non richiedono una grande quantità di luce solare. La palestra si trova sul lato nord. Orientando a sud-ovest una di queste facciate, che presenta un'ampia superficie di elementi trasparenti, l'edificio assorbe la maggior parte del calore in inverno, contribuendo così a ridurre la domanda di riscaldamento. In estate, con l'aiuto di sistemi di ombreggiamento orizzontali, si riduce (almeno in parte) l'impatto del sole sull'interno dell'edificio. Allo stesso modo, la pianificazione termica degli altri ambienti fa sì che l'edificio funzioni bene nel suo complesso.

Anche l'orientamento dei pannelli fotovoltaici, completamente orientati a sud e con un'inclinazione di 35 gradi, fa sì che questi elementi lavorino in modo efficiente.

La premessa citata all'inizio di questa tesi "più isolamento c'è meglio è" è evidente anche nei risultati ottenuti nel calcolo energetico, mentre anche durante le simulazioni si hanno sviluppato delle prove con diversi spessori di isolamento. È risultato evidente che le prestazioni energetiche tendevano a peggiorare o migliorare al variare lo spessore, quindi l'isolamento è un fattore determinante per l'efficienza dell'edificio e non solo, anche la sua conducibilità termica, poiché si è fatta la prova con lo stesso materiale ma con valori diversi di conducibilità termica e si è evidenziato che questa condizione cambia anche le prestazioni complessive del progetto.

Sono stati riscontrati problemi durante la progettazione degli impianti meccanici per il riscaldamento e il raffrescamento, in quanto il software non consentiva di utilizzare la stessa apparecchiatura (pompa di calore) per entrambe le funzioni (con recupero di calore), quindi è stato necessario utilizzare due pompe di calore diverse per ciascuna delle loro funzioni. Sarebbe

interessante capire quali condizioni richiede il software per far funzionare la stessa pompa per entrambi i sistemi e capire quanto migliora l'efficienza del sistema complessivo con questa condizione. Forse per gli studi futuri e per le successive fasi di progettazione questa opzione potrebbe essere esplorata.

I sistemi di ventilazione e riscaldamento meccanici richiedono una grande quantità di energia per il loro utilizzo, una parte della quale è necessariamente prodotta da sistemi energetici non rinnovabili. Come spiegato all'inizio di questa tesi, la maggior parte dell'energia di un edificio NZEB deve essere prodotta da sistemi di energia rinnovabile. Utilizzando le tecnologie passive, si ridurrebbe l'uso dei sistemi meccanici e quindi il consumo di energia rinnovabile e non rinnovabile, con il risultato di un edificio più efficiente. È qui che entra in gioco la progettazione architettonica, che può essere utilizzata per stabilire i meccanismi di implementazione di queste tecnologie, come la ventilazione incrociata, l'effetto stack o le pareti trombe, i collettori di calore che utilizzano vetro e vegetazione (effetto serra), le schermature, oltre a molte altre alternative progettuali. Questo ci dice che, sebbene la parte impiantistica sia importante, deve sempre essere collegata alla parte architettonica al fine di creare una simbiosi.

A partire di questo studio si possono rilevare alcuni criteri per la progettazione degli edifici NZEB:

- Uso di materiali naturali è possibile in tutti i livelli: strutturale, per l'isolamento, per i telai dei serramenti, e per la progettazione dell'involucro edilizio.
- La conducibilità termica dei materiali, specificamente dei materiali dell'isolamento deve essere molto bassa.
- L'involucro edilizio gioca in ruolo chiave nella progettazione di questa tipologia edilizia in quanto a che questa è la superficie che è in contatto con l'esterno, della sua progettazione dipende che l'edificio presente alte o basse dispersione, il che tiene un impatto nel fabbisogno energetico dell'edificio. Per questo è anche vitale, l'orientamento, la adeguata progettazione dei sistemi di schermatura, secondo l'angolo del sole in ogni esposizione. Risulta anche importante i materiali e tecnologie, le tecnologie passive per cui l'involucro deve essere anche progettato, nel senso di garantire un'adeguata ventilazione naturale.
- Sistema impiantistico efficiente (sistemi di bassa potenza, meno costosi ma più efficienti), per questo anche risulta importante la progettazione dell'involucro perché alla fine di questa dipenderà l'uso di tecnologie che consumino meno

BIBLIOGRAFIA

Ascione, Fabrizio, Rosa Francesca De Masi, Filippo de Rossi, Silvia Ruggiero, and Giuseppe Peter Vanoli. 2017. "NZEB Target for Existing Buildings: Case Study of Historical Educational Building in Mediterranean Climate." *Energy Procedia* 140 (December): 194-206. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.135>.

Bazzocchi, Frida, Cecilia Ciacci, Vincenzo Di Naso, and Andrea Rocchetti. 2019. "NZEB Schools: Global Sensitivity Analysis to Optimize Design Features of School Buildings." *ResearchGate*. IOP Publishing. July 30, 2019. https://www.researchgate.net/publication/334778087_NZEB_schools_global_sensitivity_analysis_to_optimize_design_features_of_school_buildings.

Corsi, R, V Torres, M Sanders, and K Kinney. n.d. "CARBON DIOXIDE LEVELS and DYNAMICS in ELEMENTARY SCHOOLS: RESULTS of the TESIAs STUDY." <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB6553.pdf>.

COP26 Goals - Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP26) alla SEC - Glasgow 2021, 2021

Corrado, Vincenzo; Murano, Giovanni; Paduos, Simona; Riva, Giovanni. *La trasformazione degli edifici pubblici in nZEB (edifici a energia quasi zero) / - In: LA TERMOTECNICA. - ISSN 0040-3725. - STAMPA. - 2(2017), pp. 46-51.*

D'Agostino, Delia, Sofia Tsemekidi Tzeiranaki, Paolo Zangheri, and Paolo Bertoldi. 2021. "Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) Development in Europe." *Energy Strategy Reviews* 36 (July): 100680. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100680>

Dorato, Elena. (2021). *Architettura dell'Educazione*.

Ferrao & Fernandex, 2013; Agenzia Europea dell'Ambiente.

Gaspari, Jacopo. *Climate Responsive Building Envelopes from Façade Shading Systems to Adaptive Shells*. Milano: Angeli, 2020. Print. *Ricerche Di Tecnologia Dell'architettura* 1330.115. pp 16 -17

Gelfand, Lisa, and Eric Corey Freed. *Sustainable School Architecture Design for Primary and Secondary Schools*. Hoboken: Wiley, 2010. Print.

energia.

- Scelta dei materiali di copertura (ad esempio: materiali riflettenti).
- Uso di vetri bassi emissivi (meglio se è triplo vetro).
- Uso di tecnologie passive che aiutino a ridurre l'uso di tecnologie attive: ventilazione passiva e riscaldamento passivo, descritti nel capitolo 3.

Jarek Kurnitski, Francis Allard, D Braham, and M Virta. 2011. "How to Define Nearly Net Zero Energy Buildings NZEB-REHVA Proposal for Uniformed National Implementation..." ResearchGate. unknown. 2011. https://www.researchgate.net/publication/284670277_How_to_define_nearly_net_zero_energy_buildings_nZEB-REHVA_proposal_for_uniformed_national_implementation_of_EPBD_recast. Traduzione dall'autore di questa tesi.

Kurnitski J., Allard F., Braham D., Goeders G., Heiselberg P., Jagemar L., Kosonen R., Lebrun J., Mazzarella L., Railio J., Seppänen O., Schmidt M., & Virt M. (2011). How to define nearly net zero energy buildings nZEB - REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast.

Lechner, Norbert. Heating, Cooling, Lighting. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated, 2014. Web.

Lewis, Simon L, and Mark A Maslin. "Defining the Anthropocene." Nature (London) 519.7542 (2015): 171-80. Web. Pg. 1

Roberto, Gonzalo, and Rainer Vallentin. Passive House Design. München: Detail Business Information GmbH, The, 2014. Web.

"ZEBRA 2020 -NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020 Strategies for a Nearly Zero-Energy Building Market Transition in the European Union." 2016. https://www.zebra2020.eu/website/wp-content/uploads/2014/08/ZEBRA2020_Strategies-for-nZEB_07_LQ_single-pages-1.pdf pg 8.

NORMATIVA E STANDARDS:

"Decreto Ministeriale 18 Dicembre 1975." Articoli 2.13 e 2.14. 2022. Edscuola.it. 2022. <https://www.edscuola.it/archivio/norme/decreti/dm181275.html>

"DIRECTIVE (EU) 2018/844 of the EUROPEAN PARLIAMENT and of the COUNCIL of 30 May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings and Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency (Text with EEA Relevance)." n.d. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/>

"Regolamento Edilizio Del Comune Di Milano - Comune Di Milano." 2022. Milano.it. 2022. <https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/urbanistica-ed-edilizia/sportello-unico-edilizia/regolamento-edilizio>. Pg. 68-69

"The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) — EPB Standards — EPB Center | EPB Standards." 2022. Epb.center. 2022. <https://epb.center/epb-standards/energy-performance-buildings-directive-epbd/>.

GRAFICI, FIGURE E TABELLE:

Grafico 1.0 e 1.1: Cambiamenti nella temperatura superficiale globale ed emissioni future. Fonte: IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi

Figura 1.0: Economia Circolare. Fonte: Elaborazione dell'autore basato su:

Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi | Attualità | Parlamento europeo. (2015, February 12). Europa.eu. <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>

Figura 1.1: Confine del sistema. Fonte: Elaborazione dell'autore basato su: Jarek Kurnitski, Francis Allard, D Braham, and M Virta. 2011. "How to Define Nearly Net Zero Energy Buildings NZEB-REHVA Proposal for Uniformed National Implementation..." ResearchGate. unknown. 2011. https://www.researchgate.net/publication/284670277_How_to_define_nearly_net_zero_energy_buildings_nZEB-REHVA_proposal_for_uniformed_national_implementation_of_EPBD_recast. Traduzione dall'autore di questa tesi

Grafico 1.2: Ripartizione della superficie degli edifici per destinazioni d'uso. Fonte: Elaborazione dell'autore basato su: Commissione Europea - EU Buildings Factsheets https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets_en

Grafico 1.3 e 1.4: Distribuzione edifici nZEB per destinazioni d'uso. Fonte: "ZEBRA2020: NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020 Nearly Zero-Energy Building (NZEB) Technology Solutions, Cost Assessment and Performance." n.d. https://www.zebra2020.eu/website/wp-content/uploads/2014/08/Zebra2020_Deliverable-5.1_Report.pdf. Pag. 12-14

Grafico 1.5: Distribuzione nZEBs per anno di costruzione. Fonte: “ZEBRA 2020 -NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020 Strategies for a Nearly Zero-Energy Building Market Transition in the European Union.” 2016. https://www.zebra2020.eu/website/wp-content/uploads/2014/08/ZEBRA2020_Strategies-for-nZEB_07_LQ_single-pages-1.pdf pg 17.

Tabella 1.0, 1.1 e 1.2 e figura 1.2: Distribuzione nZEB per zone climatiche definite da ZEBRA 2020. Fonte: “ZEBRA2020: NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020 Nearly Zero-Energy Building (NZEB) Technology Solutions, Cost Assessment and Performance.” n.d. https://www.zebra2020.eu/website/wp-content/uploads/2014/08/Zebra2020_Deliverable-5.1_Report.pdf. Pag. 17-18

Tabelle 1.5 e 1.6. Fonte: Elaborate dall'autore basate su dati trovate nel “Regolamento Edilizio Del Comune Di Milano - Comune Di Milano.” 2022. Milano.it. 2022. <https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/urbanistica-ed-edilizia/sportello-unico-edilizia/regolamento-edilizio>.

Figura 2.0: Criteri chiave per la scuola NZEB. Fonte: Elaborazione dell'autore basato su: Gaitani, Niki. 2016. “ZEMedS School Technical & Financial Toolkit NZEB* Renovation for Mediterranean Schools.” Academia.edu. February 23, 2016. https://www.academia.edu/22346829/ZEMedS_School_Technical_and_Financial_Toolkit_nZEB_renovation_for_Mediterranean_schools.

Figura 2.1 e 2.2: Zonizzazione termica e configurazione scuola. Fonte: Elaborazione dall'autore basato su: Lechner, Norbert. Heating, Cooling, Lighting. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated, 2014. Web. Pg. 469-470.

Figura 2.3. Tipologie di raffreddamento ventilativo. Fonte: “Natural Ventilation in Schools Using Window Actuators | Teal Products.” 2021. Teal Products. April 23, 2021. <https://www.tealproducts.com/latest-news/natural-ventilation-in-schools-using-window-actuators>.

Figura 2.4. Tipologie di pareti di trombe. Fonte: Hu, Zhongting, Wei He, Jie Ji, and Shengyao Zhang. 2017. “A Review on the Application of Trombe Wall System in Buildings.” Renewable and Sustainable Energy Reviews 70 (April): 976-87. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.003>.

Figura 2.5. Schema impianto termico. Modificato dall'autore. Fonte: “Cappello Mario, Il sistema edificio-impianto: il concetto di

rendimento e la sua applicazione negli impianti termici”. http://collegio.geometri.bs.it/pdf/2010/8148_015.pdf. Pg. 2.

Figura 2.6: Ventilazione a dislocamento. Fonte: Javed, Saqib, Ivar Ørnes, Tor Helge Dokka, and Sverre Holøs. 2021. “Evaluating the Use of Displacement Ventilation for Providing Space Heating in Unoccupied Periods Using...” ResearchGate. MDPI. February 11, 2021. https://www.researchgate.net/publication/349259884_Evaluating_the_Use_of_Displacement_Ventilation_for_Providing_Space_Heating_in_Unoccupied_Periods_Using_Laboratory_Experiments_Field_Tests_and_Numerical_Simulations.

Figura 2.7, 2.8 e 2.9. Fonte: “Desa Mahkota School / Eleena Jamil Architect.” 2014. ArchDaily. January 28, 2014. <https://www.archdaily.com/470704/desa-mahkota-school-eleena-jamil-architect>

Figura 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13. Fonte: “Erlev School / Arkitema.” 2021. ArchDaily. October 29, 2021. <https://www.archdaily.com/971052/erlev-school-arkitema>.

Figura 214 a 218. Fonte: Chiesa, Giacomo & Grosso, Mario. (2015). Sustainable school buildings.

Figura 2.19. Schema di distribuzione, ventilazione e illuminazione - Progetto Plus Energy School Hohen . Fonte: Batteiger, Stephan. 2022. “Energy-plus School, Hohen Neuendorf - LEGEP Software.” Legep.de. 2022. <https://lekep.de/projekte/grundschule-niederheide-hohen-neuendorf/?lang=en>.

Figura 2.20, 2.21, 2.22 e 2.23. Fonte: Lütkemeyer, Ingo, Ing Architekt Bda, and Jens Krause. n.d. “Energy-plus Primary School, Hohen Neuendorf, Germany.” Accessed September 3, 2022. <https://ibus-architekten.de/Aktuelles/GSHN-SBC-helsinki-paper-06a.pdf>. Pag. 3.

Figura 3.0: Flusso di calore su una sezione di muro proveniente dall'esterno. Fonte: Elaborazione dell'autore basato su: Gaspari, Jacopo. Climate Responsive Building Envelopes from Façade Shading Systems to Adaptive Shells. Milano: Angeli, 2020. Print. Ricerche Di Tecnologia Dell'architettura 1330.115. [economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi](https://www.angeli.it/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi)

Figura 3.1: Facciata a doppia pelle. Fonte: “Involucri Efficienti: Le Facciate a Doppia Pelle - DSF (Double Skin Facades).” 2013.

Prefabbricati Sul Web. 2013. <http://www.prefabbricatisulweb.it/guida/involucri-efficienti-le-facciate-a-doppia-pelle-dsf-double-skin-facades.html>.

Figura 3.2: Classificazione dei sistemi di schermature. Fonte: Elaborazione dall'autore basato su Gaspari, 2020

Figura 3.3: Shelf shading system - Schermatura orizzontale. Fonte: Kim, Seok-Hyun, Kyung-Ju Shin, Hyo-Jun Kim, and Young-Hum Cho. 2017. "A Study on the Effectiveness of the Horizontal Shading Device Installation for Passive Control of Buildings in South Korea." *International Journal of Polymer Science* 2017: 1-11. <https://doi.org/10.1155/2017/3025092>.

Figura 3.4: Side shading system - Schermatura verticale. Fonte: "Shading Devices - 2030 Palette." 2022. [2030palette.org](http://2030palette.org/shading-devices/). 2022. <http://2030palette.org/shading-devices/>.

Figura 3.5: Side shading system - Schermatura verticale/orizzontale. Fonte: "Schermature Solari Orizzontali E Verticali - Tende - Schermature Solari." 2022. [Rifaidate.it](https://www.rifaidate.it/arredamento/tende/schermature-solari-orizzontali-e-verticali.asp). 2022. <https://www.rifaidate.it/arredamento/tende/schermature-solari-orizzontali-e-verticali.asp>.

Figura 3.6: Frontal shading screen - Schermatura verticale. Fonte: BT-GRP-IT-01. 2022. "Frangisole in Alluminio: Schermature Solari Efficienti E Vantaggiose." BT Group. BT Group. January 20, 2022. <https://btgroup.it/frangisole-in-alluminio/>.

Figura 3.7: Pannelli pieghevoli Fonte: "Renson Cilium - Motorised Wooden Folding Shutters and Lattices." 2020. Roselló. December 15, 2020. <https://rosellosolar.com/en/productos/wooden-folding-lattice/>.

Figura 3.8: Pannelli mobili su guida. Fonte: Infobuildenergia. 2015. "Schermature Solari: Risparmio Energetico, Detrazioni Fiscali." *Infobuildenergia*. May 27, 2015. <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/le-schermature-solari-risparmio-energetico-e-detrazioni-fiscali/>.

Figura 3.9: Classificazione dei sistemi di schermature rappresentato graficamente Fonte: Gaspari, 2020

Figura 3.10: Facciata sud dell'Institut du Monde Arabe (IMA) Fonte: "Institut Du Monde Arabe | Aga Khan Development Network." 2022. [Akdn.org](https://www.akdn.org/architecture/project/institut-du-monde-arabe). 2022. <https://www.akdn.org/architecture/project/institut-du-monde-arabe>.

Figura 3.11: Green Roof. Fonte: "Green Roof, Not Only Green." 2015. City, People and Sustainability. 2015. <https://lianaxiong.weebly.com/blog/green-roof-not-only-green>.

Figura 4.47. Termini del bilancio energetico dell'edificio. Fonte: Prof. Arch. Antonio Carbonari 2012. Corso di tecnica del controllo ambientale - A.A. 2012-2013. "Bilancio energetico dell'edificio".