

# POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Architettura  
Corso di Laurea Magistrale Architettura Costruzione Città

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi illuminotecnica (luce naturale e artificiale)  
di un complesso scolastico:  
Istituto Albe Steiner di Torino**



Relatore:  
Prof.ssa Anna Pellegrino  
rucci

Candidato:  
Martina Mo-

Luglio 2019



# Indice

<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Introduzione</b> .....	<b>7</b>
1.1. La storia dell'edificio .....	8
1.2. Obiettivi .....	9
<b>2. Architettura e luce: concetti base</b> .....	<b>11</b>
2.1. L'illuminazione naturale.....	12
2.1.1. Parametri di progettazione tradizionali .....	12
2.1.2. Parametri di progettazione dinamici (climate-based).....	13
2.1.3. Sistemi di controllo della radiazione solare: componente schermante .....	16
2.2. L'illuminazione artificiale .....	22
2.3. Integrazione tra illuminazione naturale e artificiale .....	22
2.4. Illuminazione e valutazione del fabbisogno energetico .....	23
<b>3. L'evoluzione del modello scolastico</b> .....	<b>29</b>
3.1. Come l'architettura influenza la pedagogia.....	29
3.2. La situazione dell'edilizia scolastica italiana .....	31
3.3. Esempi di riqualificazione dell'edilizia scolastica in Italia.....	34
<b>4. L'illuminazione negli edifici scolastici</b> .....	<b>40</b>
4.1. L'importanza della luce ai fini dell'apprendimento .....	40
4.1.1. Requisiti ed esigenze.....	41
4.1.2. Influenza della luce sulle prestazioni .....	48
<b>5. Il caso studio: Istituto Albe Steiner</b> .....	<b>51</b>
5.1. Analisi architettonica generale.....	52
5.2. Analisi condizioni generali e di illuminazione degli ambienti .....	55
5.3. Conclusioni analisi stato di fatto (alla scala dell'edificio).....	90
5.3.1. Analisi illuminazione naturale.....	94
5.3.2. Analisi illuminazione artificiale .....	106
<b>6. Ipotesi di progetto</b> .....	<b>145</b>
6.1. Illuminazione naturale .....	147
6.1.1. Analisi problematica abbagliamento.....	148
6.1.2. Analisi quantità di luce .....	158

6.2. Illuminazione artificiale .....	165
6.2.1. LENI ipotesi di progetto.....	186
<b>7. Conclusioni .....</b>	<b>221</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>223</b>
<b>Sitografia .....</b>	<b>225</b>
<b>Allegati .....</b>	<b>226</b>

## **Abstract**

Questa tesi si propone di affrontare il tema del progetto illuminotecnico all'interno di un edificio storico rifunzionalizzato come edificio scolastico.

Il lavoro svolto si compone di tre fasi. Nella prima fase è stato effettuato il sopralluogo presso l'istituto, sono stati raccolti dati, misure e fotografie in modo tale da poter definire lo stato di fatto di partenza e costruire un'analisi completa delle condizioni attuali dell'edificio, sia dal punto di vista architettonico che da quello illuminotecnico.

Nella seconda fase è stato sviluppato il progetto, partendo dalle considerazioni post-sopralluogo, costruendo anche in questo caso un'analisi architettonica e illuminotecnica, sia in ambito naturale che artificiale, delle nuove soluzioni da adottare, affrontando le varie problematiche riscontrate nella prima fase.

Nella terza fase sono stati messi a confronto i risultati ottenuti con la situazione allo stato di fatto e sono state raccolte le conclusioni sull'intero lavoro svolto.



# 1. Introduzione



Figura 1 - Vista esterna dell'Istituto Albe Steiner (lato fiume).<sup>1</sup>

Questa tesi ha come scopo principale quello di rifunzionalizzare dal punto di vista illuminotecnico un edificio storico di Torino adibito ad istituto scolastico di istruzione superiore: l'Istituto Albe Steiner.

L'interesse verso questo progetto nasce grazie alla collaborazione con Torino Città Metropolitana che ha messo a disposizione i propri archivi e alcuni dei propri professionisti al fine di elaborare questa riqualificazione.

Poiché la maggior parte degli edifici scolastici è stata costruita prima del 1974 e solo una minima parte di essi è stata costruita dopo gli anni 2000, è necessario costituire un piano di intervento apposito per le preesistenze storiche adibite ad uso scolastico. L'obiettivo è quello di effettuare delle riqualificazioni mirate all'"aggiornamento" delle strutture esistenti, sia nel rispetto delle normative attuali che nel rispetto dell'evoluzione del modello scolastico e dei metodi di insegnamento.

Questa tesi, infatti, si propone come obiettivo quello di compiere un piccolo passo nel vasto insieme di operazioni da mettere in atto per tentare di risollevare le sorti dell'edilizia scolastica italiana.

Inoltre, uno stimolo aggiuntivo è nato riflettendo sulla tipologia di offerta formativa promossa dall'istituto, ossia corsi incentrati sulla grafica, sulla fotografia e sull'audiovisivo. Poiché ciascuno di essi necessita di attrezzature speciali e di ambienti adatti allo svolgimento delle attività inerenti, il progetto illuminotecnico in questo caso è fondamentale e deve essere studiato *ad hoc* per poter soddisfare appieno le esigenze degli utenti.

---

<sup>1</sup> Fonte immagine: <http://www.museotorino.it/view/s/a76876828450438fb4217ac3d770328d> [consultato il 20/05/18].

Dopo aver effettuato il sopralluogo nell'edificio in esame ed aver constatato l'effettivo bisogno di un progetto di riqualificazione illuminotecnica, il passo successivo è stato quello di elaborare un'analisi completa dello stato di fatto, così da poter definire le problematiche esistenti in termini qualitativi e quantitativi. La fase progettuale successiva si è basata sullo studio dei dati ottenuti alla condizione attuale in modo tale da elaborare una proposta progettuale che fosse in grado di far fronte alla maggior parte dei problemi riscontrati. Per quanto riguarda l'illuminazione naturale, sono state due le problematiche da affrontare: la presenza di abbagliamento, soprattutto riguardante il lato esposto ad ovest dell'edificio, e la mancanza di luce naturale in ingresso per tutti gli ambienti presi in esame. Nell'ambito dell'illuminazione artificiale, invece, le problematiche riscontrate riguardavano la totale mancanza di uniformità dell'apparato di illuminazione (sia in termini di tipologia di apparecchi utilizzati, di lampade e di temperature di colore scelte), la scarsa manutenzione (sono stati infatti rilevati numerosi apparecchi e/o lampade non funzionanti all'interno dell'edificio), la totale assenza di un sistema di controllo centralizzato che permetta di gestire efficientemente e da un unico punto l'illuminazione artificiale di un edificio così esteso, l'assenza di un sistema di controllo diversificato dell'illuminazione artificiale all'interno di ciascun ambiente che consenta l'integrazione di luce naturale e artificiale per favorire il risparmio energetico e garantire le prestazioni richieste per lo svolgimento dei compiti visivi.

## 1.1. La storia dell'edificio

La costruzione dell'edificio che ospita l'istituto scolastico Albe Steiner risale ai primi anni del '900 e aveva come scopo la realizzazione di una caserma militare, denominata caserma Sacchi, facente parte dell'arsenale militare di Borgo Dora, a Torino.

Quest'ultimo sorge nel 1580 per ospitare la Regia Fabrica delle Polveri e Raffineria dei Nitri e rappresenta l'edificio centrale che fa capo ai numerosi ampliamenti, successivi nel tempo, i quali consentono l'espansione dello stabilimento. Negli ultimi anni del 1700 il complesso viene ricostruito sotto la guida di Antonio Quaglia ma, circa un secolo dopo, viene quasi totalmente distrutto da un'esplosione. Attorno al 1860 il governo sabauda affida i lavori di ripristino a Giuseppe Castellazzi e l'arsenale riprende la sua forma di complesso militare con le sue officine e magazzini. Il complesso subisce di nuovo dei danni durante i bombardamenti della Seconda Guerra mondiale. Da quel momento in poi il complesso viene abbandonato fino al 1983, anno in cui una parte dell'ex arsenale diventa sede del Sermig - Arsenale della Pace, ossia un luogo di ritrovo, fraternità e ricerca in cui vengono accolte persone in difficoltà. Nello stesso anno, l'ex caserma Sacchi subisce una ristrutturazione mirata alla rifunzionalizzazione dell'edificio in complesso scolastico, aperto l'anno seguente grazie all'ingresso di 351 alunni. Da quel momento in poi l'edificio rimane adibito ad istituto scolastico e continua ad esserlo tuttora.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Fonte: <http://www.museotorino.it/view/s/2fb4725a68d24bc0802e32581fa6849f> [consultato il 20/05/19]

## 1.2. Obiettivi

L'obiettivo principale di questa tesi è di riprogettare il sistema di illuminazione naturale e artificiale, operando un'integrazione tra le due parti, al fine di ottenere una riqualificazione ottimale sia in termini di efficienza e di comfort visivo che di risparmio energetico, tenendo conto dei numerosi vincoli dovuti alla preesistenza. Essendo l'edificio in esame un complesso scolastico, la riprogettazione in termini illuminotecnici terrà conto degli accorgimenti necessari a rendere gli ambienti più adeguati e più confortevoli per lo svolgimento dei vari compiti visivi di studenti, insegnanti e personale scolastico. Non solo quindi verranno rispettate le normative vigenti, ma verrà tenuto conto delle effettive esigenze di coloro che vivono quegli ambienti per numerose ore al giorno.



## 2. Architettura e luce: concetti base

<< Con il binomio architettura e luce si vuole esprimere un chiaro indirizzo metodologico riguardo al problema dell'illuminazione. La luce sotto questo aspetto, svincolata dalla dimensione puramente tecnica, verrebbe considerata in virtù della possibilità di influire sui processi costitutivi della struttura architettonica. >><sup>3</sup>.

Generalmente, nella storia, l'apporto della luce come fenomeno fisico in grado di influenzare la progettazione architettonica è stato ampiamente sottovalutato. Come esprimono Bianchi e Pulcini all'interno del loro libro *Manuale di illuminotecnica*, il contributo che la luce apporta al progetto illuminotecnico si manifesta tramite i ritmi chiaroscurali, le improvvise variazioni di luce, l'accentuazione di vari punti dell'ambiente attraverso l'illuminazione, la possibilità di sfruttare la luce sia come oggetto che come soggetto, la capacità di correggere una particolare percezione dello spazio.

Inoltre, per poter capire e sfruttare al meglio il fenomeno della luce è necessario tenere sempre presente la differenza tra illuminazione naturale e illuminazione artificiale. La luce naturale e l'architettura sono legate da un rapporto che sussiste perennemente e la continuità di questa relazione dipende da fattori quali: i cambiamenti durante le varie ore del giorno, i cambiamenti meteorologici, i cambiamenti stagionali e l'orientamento dell'architettura rispetto al sole. Gli ambienti di lavoro, della socialità, della residenza, ecc., illuminati naturalmente, risultano più dinamici nel corso del tempo e sono ritenuti più stimolanti e produttivi. L'affaccio sull'esterno consente infatti il contatto con il mondo al di fuori dell'edificio e la percezione del trascorrere delle giornate, dei cambiamenti climatici e dell'alternarsi delle stagioni, fattori che generano una condizione di benessere, incidendo positivamente sull'umore e sulla produttività degli individui.

L'illuminazione artificiale, al contrario, non è legata all'architettura da un rapporto continuo nel tempo. Il suo utilizzo è infatti determinato dalle necessità generate dall'assenza di luce naturale e si distingue da essa proprio per il suo carattere manipolabile. Mentre l'illuminazione naturale può essere sfruttata e gestita solo in parte dal progettista o dagli utenti, quella artificiale consente di essere plasmata a proprio piacimento in modo molto più semplice e diretto.

Pur tenendo sempre a mente la distinzione tra illuminazione naturale e illuminazione artificiale, è necessario che entrambe collaborino all'interno del progetto architettonico al fine di ottenere una combinazione efficace ed efficiente delle potenzialità compositive e tecniche del progetto illuminotecnico.

---

<sup>3</sup> Citazione: Bianchi B., G. Pulcini, *Manuale di illuminotecnica*, La Nuova Italia Scientifica, 1995, p. 37.

## 2.1. L'illuminazione naturale

### 2.1.1. Parametri di progettazione tradizionali

Occuparsi della progettazione dell'illuminazione naturale richiede un approccio attento alla soluzione dei vari problemi che riguardano propriamente la gestione della luce naturale. Se si considerano le sorgenti artificiali, la loro luminanza resta costante nel tempo e non risulta quindi difficile descrivere le condizioni di illuminamento. D'altra parte, se si considerano le sorgenti naturali, ossia il sole e la volta celeste, la loro luminanza risulta variabile in funzione della condizione esterna di cielo sereno o coperto, dall'ora e dal giorno dell'anno considerati. La variazione del campo luminoso dovuto alla luce naturale all'interno di un ambiente dipende, quindi, non solo dalla posizione in cui viene calcolato, ma anche dal tempo.

Tuttavia, poiché nella progettazione di tutti i giorni è necessario soltanto garantire le condizioni di illuminamento nel rispetto dei requisiti normativi, è possibile utilizzare dei parametri di progettazione detti "tradizionali" che consentono di ottenere indicazioni di massima sulle condizioni di illuminamento naturale interno ad un ambiente.

#### - **Fattore medio di luce diurna**

Il fattore medio di luce diurna consente di definire una percentuale di luce naturale che si ha internamente rispetto a quella che si ha esternamente (in un qualsiasi momento dell'anno e del giorno, con condizioni di cielo coperto).

Ad oggi, è l'unico parametro di verifica su base normativa delle condizioni di luce naturale all'interno di un ambiente.

Per garantire le condizioni minime di accettabilità, il fattore medio di luce diurna deve essere maggiore del 2-3%.

$$FLD_m = \frac{A_f \cdot \tau_l}{(1 - \rho_{l,m}) \cdot A_{tot}} \cdot \varepsilon \cdot \Psi$$

$A_f$  = Superficie vetrata netta della finestra

$\tau_l$  = fattore di trasmissione luminosa del vetro

$\rho_{l,m}$  = fattore di riflessione luminosa medio ponderato delle superfici interne dell'ambiente

$\varepsilon$  = fattore finestra

$\Psi$  = fattore di riduzione di  $\varepsilon$

Questo parametro di valutazione presenta alcuni limiti:

- È indipendente dall'orientamento dell'ambiente;
- È indipendente dalla località;
- È indipendente dalle condizioni di cielo in quanto si considera sempre la condizione di cielo coperto;
- È indipendente dalla stagione;
- È indipendente dalla presenza di schermature solari mobili.

### 2.1.2. Parametri di progettazione dinamici (climate-based)

Un approccio più approfondito rispetto ai parametri di progettazione tradizionali è costituito dall'utilizzo dei parametri dinamici. Questi ultimi, calcolabili soltanto grazie all'aiuto dei software, si basano su un'analisi che considera:

- Le caratteristiche specifiche del luogo;
- L'interazione dinamica tra le condizioni di illuminazione esterna (diverse condizioni di cielo);
- L'edificio e il comportamento dell'utente nell'arco temporale dell'anno, basandosi su un determinato orario di utilizzo dell'ambiente.

Questa tipologia di parametri non è ancora stata standardizzata secondo una normativa, tuttavia consente di ottenere informazioni più precise e più olistiche rispetto ai parametri tradizionali.

Questi parametri possono essere definiti come segue:

- **Daylight Autonomy (DA)**

Rappresenta il valore percentuale di ore occupate nell'arco dell'anno in cui la sola luce naturale è sufficiente a garantire il target minimo di illuminamento prestabilito.

- **Maximum Daylight Autonomy (DAm<sub>ax</sub>)**

Rappresenta il valore percentuale di ore occupate nell'arco dell'anno in cui l'illuminazione naturale nell'ambiente supera un determinato valore di illuminamento identificato come dieci volte il valore di target richiesto per lo svolgimento del compito visivo.

Indica la possibilità del verificarsi di una potenziale, ma non necessaria, condizione di abbagliamento nell'ambiente.

### - **Useful Daylight Illuminance (UDI)**

Questo parametro nasce per sopperire ad alcune mancanze della Daylight Autonomy. Quest'ultima, infatti, non tiene conto di quei valori che sono al di sotto del target considerato, ma che sono comunque utili in termini di una buona visibilità nell'ambiente e, soprattutto, per evitare il consumo ingiustificato di illuminazione artificiale. Il parametro della UDI misura quindi la percentuale di ore occupate nell'arco dell'anno in cui si ottengono valori all'interno di un determinato intervallo.

Per effettuare il calcolo del parametro UDI vengono definiti quindi due target, uno minimo di 100 lux e uno massimo di 2500 lux.

Vengono poi calcolati tre differenti tipologie di UDI:

- **UDI "useful"**: rappresenta la percentuale di ore occupate nell'arco dell'anno in cui l'illuminamento all'interno dell'ambiente è compreso tra i 100 e i 2500 lux;
- **UDI "scarsa"**: rappresenta la percentuale di ore occupate nell'arco dell'anno in cui l'illuminamento all'interno dell'ambiente è al di sotto dei 100 lux.
- **UDI "exceedeed"**: rappresenta la percentuale di ore occupate nell'arco dell'anno in cui l'illuminamento all'interno dell'ambiente è al di sopra dei 2500 lux.

### - **Continuous Daylight Autonomy (DAcon)**

Rappresenta la percentuale di ore occupate nell'arco dell'anno in cui il solo contributo della luce naturale è in grado di garantire il raggiungimento del valore di target. La differenza con il parametro Daylight Autonomy sta nel fatto che, in questo caso, vengono stimati i valori di illuminamento anche negli istanti temporali in cui si è al di sotto del target considerato, rapportandoli al valore di target, ottenendo dei valori compresi tra 0 e 1.

### - **Spatial Daylight Autonomy (sDA)**

Rappresenta la percentuale della superficie dell'ambiente su cui si raggiunge un valore minimo di illuminamento per una certa percentuale delle ore occupate.

All'interno di questo parametro è presente sia la componente spaziale che la componente temporale e indica la sufficienza di illuminamento dovuto alla sola luce naturale durante l'arco dell'anno.

- **Annual Sunlight Exposure (ASE)**

Rappresenta la percentuale di superficie per la quale viene superato un determinato valore di illuminamento per un certo numero di ore occupate all'anno.

Indica il potenziale rischio di un'eccessiva penetrazione della sola radiazione solare diretta, infatti non tiene conto della radiazione diffusa dalla volta celeste, all'interno dell'ambiente, durante l'arco dell'anno.

- **Daylight Glare Probability (DGP)**

Il calcolo di questo parametro permette di stimare, nel modo più attendibile possibile al giorno d'oggi, la probabilità di abbagliamento prodotto dalla luce naturale.

È dipendente dall'illuminamento verticale sul piano dell'occhio, dalla luminanza della sorgente di luce naturale, dalla dimensione angolare apparente della sorgente e dalla sua posizione nel campo visivo. Inoltre, varia al variare della direzione e del punto di osservazione in cui viene calcolato.

### 2.1.3. Sistemi di controllo della radiazione solare: componente schermante

I benefici della luce naturale possono essere molteplici, sia per la sfera psicologica che per quella fisica. Tuttavia, gli eccessi di irraggiamento solare possono essere dannosi per la salute dell'individuo tanto quanto la mancanza di esso.

Gli ambienti di lavoro e di svago hanno sviluppato nel tempo maggiore complessità, flessibilità e diversità, tanto che al loro interno, al giorno d'oggi, coesistono numerose tipologie di attività, anche all'interno di uno stesso locale. Per questo motivo, lo studio dell'illuminamento interno all'ambiente è fondamentale al fine di trovare la soluzione ottimale allo svolgimento di tutte le attività previste.

Normalmente si cerca di sfruttare il più possibile le fonti di illuminazione naturale, eventualmente integrate con l'illuminazione artificiale. La schermatura quindi deve essere progettata in modo tale da permettere il maggior ingresso possibile di illuminazione naturale contrastando allo stesso tempo fenomeni dannosi (come l'abbagliamento). Inoltre, se posizionato esternamente, il componente schermante può essere uno strumento di progettazione utile come contributo al risparmio energetico (evitando il sovraccarico termico delle superfici vetrate) dovuto all'utilizzo energia elettrica che alimenta la climatizzazione estiva, ponendosi come ostacolo alla radiazione luminosa entrante nei mesi caldi.

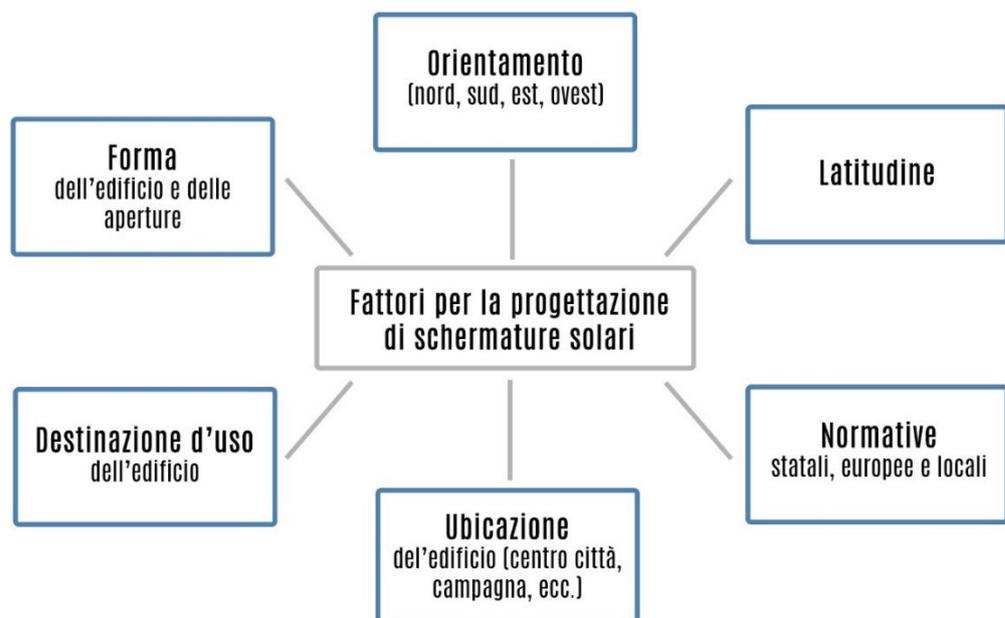


Figura 2 – Fattori che influenzano la progettazione delle schermature solari.

Le schermature solari possono essere distinte in tre principali tipologie, in funzione del mutare delle condizioni di irraggiamento esterno:

- **Schermature solari mobili**

Le schermature solari attive rappresentano la soluzione in quelle situazioni in cui l'irraggiamento solare varia notevolmente durante l'anno per cui risulta necessario un intervento schermante flessibile e adattabile alle differenti condizioni di illuminamento. In questo caso l'utente controlla manualmente la schermatura, posizionandola ad esempio all'altezza desiderata nel caso di una tenda, oppure orientandola a proprio piacimento nel caso di una veneziana.



Figura 3 - Tenda a rullo. <sup>4</sup>



Figura 4 - Tenda veneziana. <sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Fonte immagine: <http://www.artendeat.it/prodotti/soluzioni-interni-esterni/tende-tecniche/tende-tecniche-detail.html> [consultato il 20/05/19].

<sup>5</sup> Fonte immagine: <https://www.yagos.it/tenda-veneziana-alluminio-argento-altezza-250> [consultato il 20/05/19].

## - Schermature solari fisse

Nelle situazioni in cui le condizioni di irraggiamento restano omogenee ed invariate durante l'anno, oppure dove l'ombreggiamento risulta necessario soltanto in un determinato periodo, la soluzione ottimale da adottare potrebbe essere quella delle schermature solari fisse, verticali o zenitali, che generano una protezione solare passiva, quindi non modificabile dagli utenti.



Figura 5 – Aggetto orizzontale. <sup>6</sup>



Figura 6 – Frangisole verticale fisso. <sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Fonte immagine: <https://www.giacomotacconi.it/difendersi-dal-caldo/> [consultato il 25/05/19].

<sup>7</sup> Fonte immagine: <http://www.archiexpo.it/prod/betsinor/product-57855-1648693.html> [consultato il 25/05/19].

### - **Schermature solari dinamiche**

Le schermature solari dinamiche sono controllate e gestite in modo automatizzato, automatico o programmato, anche a distanza. Le condizioni che possono variare sono la posizione (aperta o chiusa), la percentuale di copertura rispetto alla vetrata (copertura totale, intermedia, ecc.), l'orientamento nel caso di lamelle, ecc.



Figura 7 – Schermature dinamiche.<sup>8</sup>

Un'ulteriore differenziazione può essere effettuata considerando il rapporto tra la schermatura e la vetrata:

### - **Schermature solari esterne**

Le schermature solari esterne appartengono alla categoria di schermature posizionate all'esterno dell'edificio, sulla facciata, interagendo con essa in modo significativo sia dal punto di vista estetico che funzionale e tecnologico.

Appartengono principalmente a questa tipologia le schermature come i frangisole, fissi o dinamici, gli elementi filtranti (tende da sole) e elementi fissi come gli aggetti.

### - **Schermature solari interne**

Appartengono a questa tipologia le schermature che sono posizionate all'interno dell'edificio. Fanno parte di questa categoria in particolare gli elementi filtranti (tende avvolgibili, tende a rullo, tende scorrevoli, ecc.) e gli elementi a lamelle orientabili (tende veneziane).

---

<sup>8</sup> Fonte immagine: <https://www.architetturaecosostenibile.it/normative/leggi-decreti/incentivi-schermature-solari-511> [consultato il 25/05/19].

### - Schermature solari integrate nell'intercapedine del serramento

Le schermature solari posizionate all'interno dell'intercapedine del serramento sono tecnologie complesse che garantiscono un minor bisogno di manutenzione poiché isolate rispetto all'ambiente, sia interno che esterno. Questa soluzione è il risultato della progettazione simultanea sia del serramento che della schermatura, consentendo un'integrazione completa tra i due componenti e garantendo un'elevata efficacia del prodotto finale.

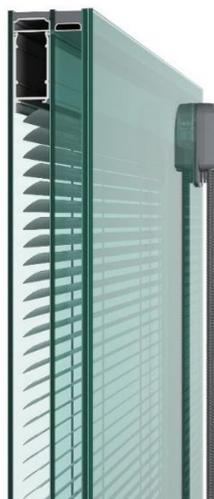


Figura 8 – Schermatura integrata all'interno dell'intercapedine del serramento.<sup>9</sup>

### - Light shelf

Il light shelf è un dispositivo schermante, rivestito di un materiale riflettente, in grado di rispondere sia alla funzione di controllo della radiazione solare che a quella di redistribuzione della luce verso l'interno. È composto infatti da un componente orizzontale, collocato ad una certa altezza dell'apertura, che permette, all'esterno, di schermare la radiazione diretta proveniente dal sole alto sull'orizzonte e, all'interno, di riflettere parte di essa verso il fondo dell'ambiente. Questo sistema consente quindi, allo stesso tempo, di schermare l'irraggiamento esterno e di reindirizzare la luce verso la parte più buia dell'ambiente interno. Per far sì che questo accada, il suo funzionamento deve essere correlato da una scelta di materiali, per l'interno dell'ambiente, con un determinato indice di riflessione, utili e a coadiuvare, in particolare, la funzione di "illuminazione" del fondo dell'ambiente.

---

<sup>9</sup> Fonte immagine: <https://www.ilgiornaledelserramento.it/nuove-applicazioni-per-tende-in-vetrocamera-pellini/> [consultato il 25/05/19].

La soluzione del light shelf è efficace soprattutto nei mesi estivi e, in generale, per gli ambienti con l'affaccio verso sud, poiché la posizione del sole è alta sull'orizzonte e, per questo motivo, il componente aggettante esterno del light shelf è in grado di schermare la radiazione incidente. Al contrario, durante il periodo invernale e, in generale, per i fronti est ed ovest, il componente aggettante non è in grado di intercettare e schermare la radiazione solare poiché la posizione del sole è molto inclinata sull'orizzonte.

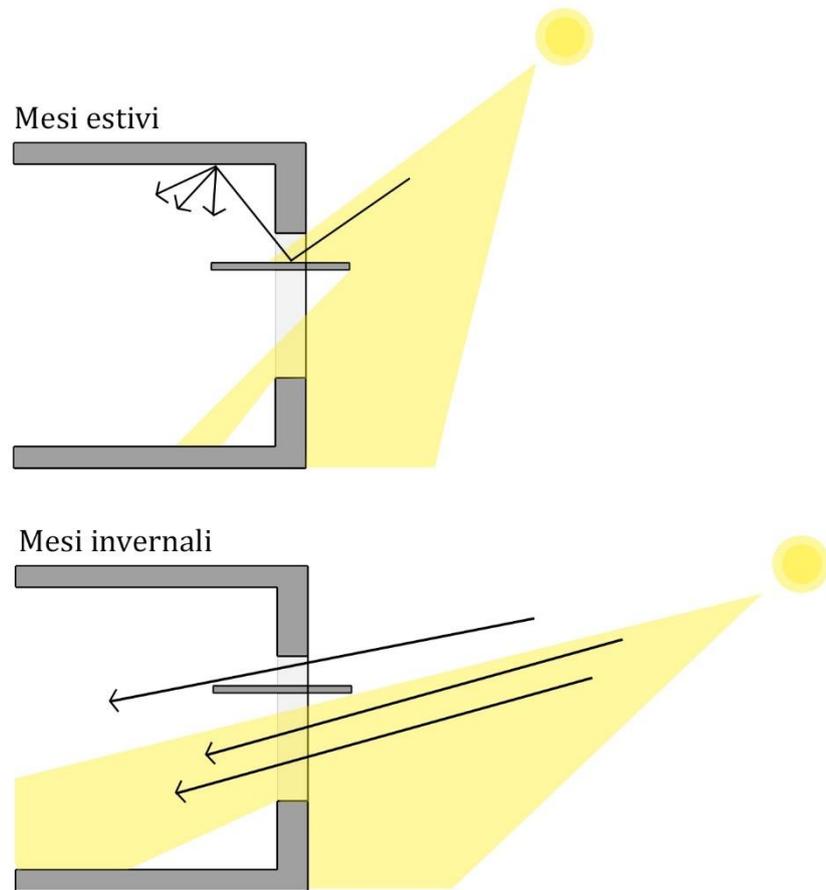


Figura 9 – Funzionamento del light shelf nel periodo estivo e in quello invernale.

## 2.2. L'illuminazione artificiale

<< Abbreviare la notte vale, per l'uomo moderno, quasi prolungare la vita >> <sup>10</sup>.

Questa citazione vuole mettere l'accento sull'importanza che la luce riveste all'interno della vita dell'uomo e su come sia necessario l'utilizzo della luce artificiale per abbreviare le ore di buio e permettere, dunque, il proseguimento degli impegni quotidiani anche quando il giorno cede il posto alla notte.

L'illuminazione artificiale è quindi necessaria nel momento in cui la disponibilità di luce naturale risulta insufficiente per garantire la regolare visione. Tuttavia, il ruolo che essa riveste nelle nostre vite è di pari importanza rispetto a quello della luce che ci viene offerta dal sole. Proprio per questo motivo, in architettura è in corso da tempo una crescita dell'interesse nei confronti della progettazione dell'illuminazione artificiale, poiché si è presa coscienza dell'importanza che anch'essa riveste nella vita dell'uomo. Sebbene un raggio di sole che entra dalla finestra non sia paragonabile alla luce di una lampadina accesa in termini di sensazioni suscitate e influenza sullo stato umorale, la luce artificiale, rispetto a quella naturale, consente una maggiore possibilità di "manipolazione", anche in termini di qualità della luce, ed è per questo motivo che si è iniziato a sfruttarla come strumento di definizione dello spazio, oltre che mero apporto di luce all'ambiente.

## 2.3. Integrazione tra illuminazione naturale e artificiale

Come già espresso in precedenza, è necessario, all'interno di un efficiente progetto illuminotecnico, che luce naturale e luce artificiale interagiscano tra loro nell'ambiente al fine di creare le condizioni ottimali per lo svolgimento dei diversi compiti visivi e di generare un risparmio energetico.

La compresenza di due sorgenti di luce così diverse tra loro, inoltre, implica una progettazione attenta a colmare quelle differenze fisiche tra luce artificiale e naturale (caratteristiche spettrali e distributive) che altrimenti porterebbero ad una condizione di discomfort visivo all'interno dell'ambiente. Per tanto è necessaria una scelta opportuna degli apparecchi e delle sorgenti luminose artificiali tale da creare una situazione armoniosa dal punto di vista illuminotecnico e adeguata al soddisfacimento delle esigenze richieste dai vari compiti visivi.

Come integrazione tra luce naturale e artificiale è possibile sfruttare i sistemi odierni di sensoristica, che consentono di compensare con l'illuminazione artificiale la graduale diminuzione della quantità di luce entrante man mano che si procede in profondità verso la parete di fondo, opposta all'apertura.

Nella tipologia di ambienti in cui la luce naturale proviene da un solo lato e, generalmente, le aperture sono relativamente ridotte rispetto alle dimensioni della

---

<sup>10</sup> Citazione: Guarini E., *L'illuminazione Artificiale*, in "Rivista Internazionale di Scienze Sociali e Discipline Ausiliarie", Vol. 39, Fasc. 155, 1905, p. 321.

stanza, risulta difficile ottenere un'illuminazione uniforme e adeguata allo svolgimento dei compiti visivi, se si fa riferimento al solo contributo proveniente dalla luce naturale. Essa infatti è in grado di garantire un significativo apporto di luce in corrispondenza dell'apertura e fino ad una certa profondità all'interno dell'ambiente. Questa profondità è un dato fondamentale per la costruzione del sistema di integrazione, poiché in base ad essa verrà posizionato l'impianto con tecnologia di tipo dimming, sensibile ai livelli di illuminazione diurna che vengono misurati attraverso dei sensori. Non bisogna trascurare il fatto che durante l'anno questa profondità vari sia con il susseguirsi delle stagioni, sia con i cambiamenti delle condizioni di cielo

Questo sistema non deve essere progettato soltanto al fine di compensare la graduale diminuzione di luce naturale, ma anche con lo scopo di ottenere un'integrazione uniforme e confortevole tra le due diverse sorgenti (naturale e artificiale), creando uno spazio correttamente illuminato, sia in corrispondenza delle superfici su cui vengono svolti i compiti visivi, garantendo i requisiti di illuminamento richiesti, sia sulle superfici che costituiscono l'ambiente.

Per garantire un'integrazione più efficiente tra luce naturale e luce artificiale è necessario anche che i colori all'interno della stanza siano di tipo neutrale, al fine di ottenere una resa cromatica omogenea da parte delle due sorgenti in uso. <sup>11</sup>

## 2.4. Illuminazione e valutazione del fabbisogno energetico

Negli ultimi decenni i Paesi industrializzati hanno preso coscienza del fatto che sia necessaria la creazione di un nuovo modello di sviluppo volto a limitare l'azione antropica di sfruttamento delle risorse (non rinnovabili) del pianeta. Dal Protocollo di Kyoto del 1997 ad oggi, la necessità sempre più impellente di perseguire il risparmio energetico e lo sviluppo incessante di nuove tecnologie ha fatto sì che il controllo della qualità ambientale diventasse un requisito fondamentale da ricercare già durante le prime fasi del progetto architettonico.

Considerando che l'illuminazione artificiale negli edifici non residenziali costituisce uno dei maggiori consumi di energia elettrica (circa il 20-30% del carico totale di energia dell'edificio), si è reso necessario trovare soluzioni in grado di massimizzare l'uso della luce naturale e quindi la sua corretta combinazione con quella artificiale, con lo scopo di ridurre i consumi energetici.

Un effetto positivo sulla riduzione del consumo energetico è dato dai seguenti fattori:

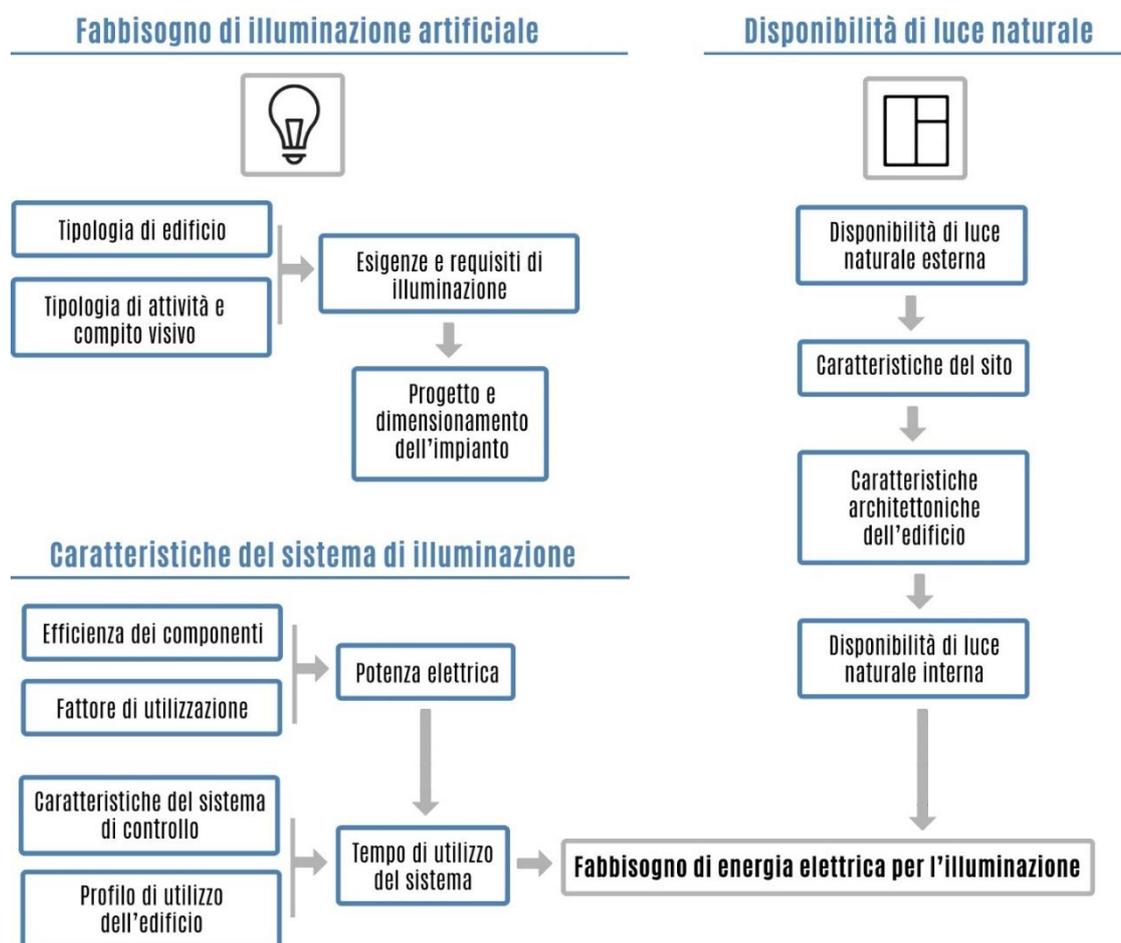
- Sfruttamento della luce diurna
- Utilizzo di rilevatori di presenza

---

<sup>11</sup> Fonte: Gugliermetti F., F. Bisegna, *Integrazione luce naturale/artificiale in ambito terziario e abitativo*, Report RSE/2009/13, Enea.

- Gestione intelligente degli orari
- Utilizzo di lampade ad elevata efficienza energetica
- Apparecchi e soluzioni illuminotecniche pensate per la destinazione specifica
- Controllo automatizzato e centralizzato del sistema di illuminazione
- Utilizzo di schermature solari

A livello normativo, l'attenzione ai consumi elettrici dovuti ai sistemi di illuminazione degli edifici è stata portata a livello internazionale con la Direttiva Europea 2002/91/CE, riguardante le prestazioni energetiche degli edifici. In questa Direttiva viene specificato che occorre valutare i consumi energetici degli edifici considerando il fabbisogno energetico per il riscaldamento durante i mesi invernali, per il riscaldamento dell'acqua per gli usi igienico-sanitari, per il raffrescamento durante i mesi estivi, soltanto per gli edifici pubblici o ad uso pubblico, il fabbisogno energetico per l'illuminazione artificiale.



Sono state quindi prodotte a livello europeo delle normative tecniche specifiche e, in particolare per il calcolo del fabbisogno energetico dovuto all'illuminazione artificiale degli ambienti interni, occorre fare riferimento alla normativa UNI EN

15193, all'interno della quale è stato introdotto l'indice di efficienza energetica del sistema di illuminazione, il LENI (Lighting Energy Numeric Indicator).<sup>12</sup>

Numero	Titolo	Data
UNI EN ISO I3790	Prestazione energetica degli edifici – Calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento e per il raffrescamento	Giugno 2008
UNI/TS 11300-1	Prestazioni energetiche degli edifici - Parte I: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale	Maggio 2008
UNI/TS 11300-2	(...) Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria	Maggio 2008
UNI/TS 11300-3	(...) Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva	Marzo 2010
UNI/TS 11300-4	(...) Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria	Maggio 2012
UNI EN 15193	Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per l'illuminazione	Marzo 2008

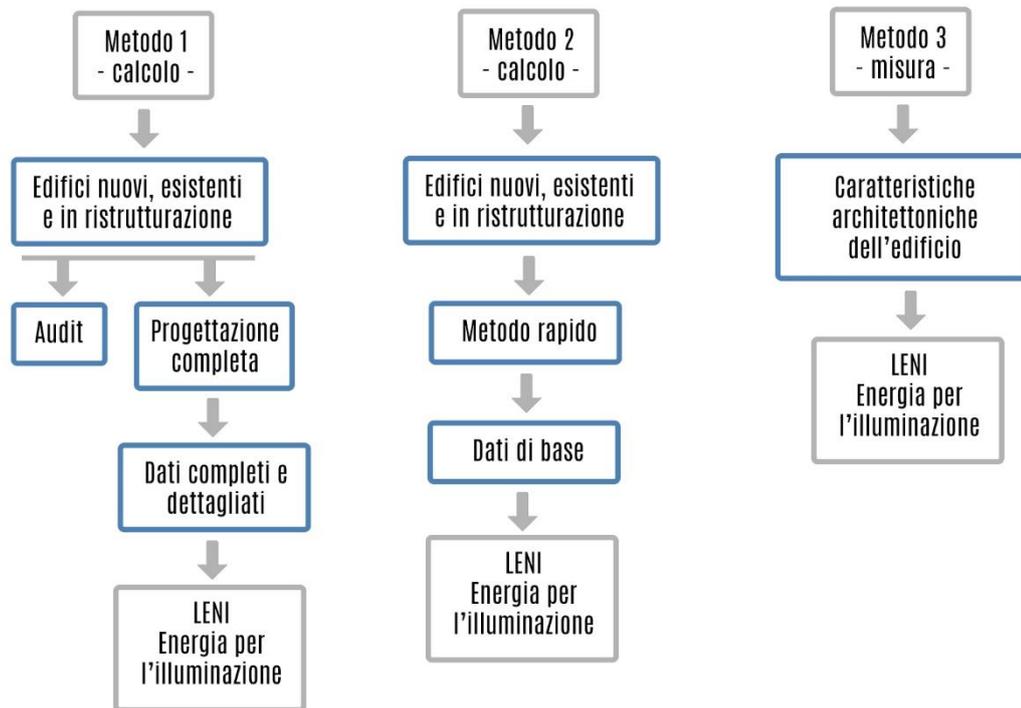
Tabella 1 – Principali norme tecniche inerenti le prestazioni energetiche degli edifici.<sup>13</sup>

La valutazione di questo indice può avvenire misurando gli effettivi consumi elettrici tramite contatori, oppure attraverso metodi di calcolo (rapidi o più complessi) specificati all'interno della normativa.

<sup>12</sup> Cfr. Bertozzi M., Casini M., Leccese F., Salvadori G., *Analisi dei fabbisogni energetici per l'illuminazione degli edifici: indice di efficienza energetica e prestazioni illuminotecniche*, 2012, Neo-EUBIOS ISSN: 1825-5515. XIV. Pp. 46-56.

<sup>13</sup> Fonte: Bertozzi M., Casini M., Leccese F., Salvadori G., *Analisi dei fabbisogni energetici per l'illuminazione degli edifici: indice di efficienza energetica e prestazioni illuminotecniche*, 2012, Neo-EUBIOS ISSN: 1825-5515. XIV. P. 46.

## Energia necessaria per l'illuminazione



Il calcolo dell'indice LENI si basa su questa relazione, in cui l'energia  $W$  assorbita dall'impianto di illuminazione artificiale è divisa in due componenti,  $W_{L,t}$  e  $W_{P,t}$ :

$$\text{Leni} = \frac{W}{A} = \frac{W_{L,t} + W_{P,t}}{A} \left[ \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \text{anno}} \right]$$

La prima componente varia in base a questa relazione:

$$W_{L,t} = \frac{\{(P_n + F_c) \cdot [(T_d \cdot F_0 \cdot F_d) + (T_n \cdot F_0)]\}}{\text{Area}} \left[ \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \text{anno}} \right]$$

$P_n$  = potenza nominale dell'impianto di illuminazione

$F_c$  = dipende dal sovradimensionamento della potenza dell'impianto

$F_0$  = dipende dal grado di occupazione dell'area illuminata e dal tipo di sistema di controllo dell'impianto

$F_d$  = dipende dalla disponibilità di luce naturale e dal tipo di sistema di controllo

$T_n$  = ore di funzionamento dell'impianto in presenza di luce naturale

$T_d$  = ore di funzionamento dell'impianto in assenza di luce naturale

Area = superficie dell'area illuminata

La seconda componente ( $W_{p,t}$ ) rappresenta, invece, la parte di energia “parassita” annua richiesta per il funzionamento dell’illuminazione di emergenza e per la condizione di stand by dei sistemi di controllo.



### 3. L'evoluzione del modello scolastico

<< Non è mai un caso che, quando un Paese esce da un conflitto, una delle prime azioni che si promuovono è la costruzione di una nuova scuola. In qualche modo la scuola significa riconciliazione: è il primo luogo in cui la pace, il benessere e la fiducia nel futuro trovano concreta espressione. >> <sup>14</sup>.

L'istruzione è uno degli elementi cardine che consente lo sviluppo di un Paese. È per questo motivo che l'ONU propone come uno dei 17 obiettivi dell'Agenda 2030 <sup>15</sup>, un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità costituito nel 2015, di garantire l'accesso a tutti, bambini, giovani e adulti, ad un'istruzione primaria e professionale di qualità, in grado di soddisfare le esigenze di ciascuno.

In risposta a questo programma, in Italia, è stato presentato al Miur il Piano per l'Educazione alla Sostenibilità, elaborato dal Gruppo di lavoro "Scuola, Università e Ricerca per l'Agenda 2030", al fine di << trasformare il sistema di istruzione e formazione – dalla scuola al mondo della ricerca – in agente di cambiamento verso un modello di sviluppo sostenibile, facendo in modo che in ognuno degli ambiti di intervento le politiche del Miur siano coerenti con i 17 obiettivi dell'Agenda 2030 >> <sup>16</sup>.

Oltre alla garanzia di un accesso equo e incondizionato, è opportuno anche dotare il territorio di infrastrutture scolastiche "di qualità", in linea con le nuove tipologie di didattica e con il tipo di offerta formativa che si intende proporre. In questa ottica e in particolare per il territorio italiano, la riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico esistente è l'obiettivo principale che occorre perseguire per far sì che il livello delle infrastrutture raggiunga una condizione almeno accettabile, in confronto a quella che è invece la grave situazione attuale dell'edilizia scolastica italiana.

#### 3.1. Come l'architettura influenza la pedagogia

L'immagine che normalmente viene in mente quando si pensa ad una scuola è quella di un edificio costituito da lunghi corridoi con le aule disposte a pettine che si affacciano sui due lati. Solitamente quadrate o rettangolari, in cui vengono svolte lezioni frontali dove l'insegnante spiega, seduto in cattedra o scrivendo alla lavagna, ad un certo numero di alunni seduti rivolti verso di lui: la lezione *ex cathedra*. Tuttavia, da qualche anno ormai, l'ambito scolastico ha goduto di un generale rinnovamento della didattica e di conseguenza degli spazi adibiti ad essa. La trasmissione del sapere dall'insegnante all'alunno si allontana sempre di più dalla pratica

<sup>14</sup> Citazione: Weyland B., S.Attia, *Progettare scuole. Tra Pedagogia e architettura*, Guerini Scientifica, 2015, p. 8.

<sup>15</sup> Cfr. <https://www.unric.org/it/agenda-2030> [consultato il 29/05/19].

<sup>16</sup> Citazione: <https://www.miur.gov.it/-/presentato-al-miur-il-piano-di-educazione-alla-sostenibilita-20-azioni-coerenti-con-obiettivi-a-genda-2030> [consultato il 29/05/19].

che vede gli alunni come contenitori da riempire di sapere in modo asettico e settorializzato. Si spinge, invece, sempre di più verso il dialogo multidisciplinare atto a promuovere il dibattito formativo e lo scambio di idee, a sviluppare negli studenti un pensiero analitico e critico nei confronti di più argomenti correlati tra loro. Quella che si sta confermando da qualche anno è una nuova cultura dell'apprendimento in cui le nuove tecnologie e le nuove tecniche della didattica hanno generato una serie di nuove esigenze all'interno degli ambienti scolastici, per cui l'architettura è chiamata a rispondere a nuovi bisogni spaziali, di flessibilità, benessere e qualità.

Tuttavia, il processo di innovazione della scuola non può costituire un modello standard e preconfezionato da copiare e ripetere in differenti situazioni e contesti, bensì deve rappresentare il risultato di idee e azioni in cui architettura e pedagogia svolgono un ruolo fondamentale e di pari livello di importanza, a seconda delle diverse situazioni in cui ci si trova ad operare.

La scuola, essendo un edificio la cui durata nel tempo vede il susseguirsi di numerose generazioni di studenti, deve risultare quanto più contestualizzata e precisa possibile nello scopo. Questo è necessario affinché l'edificio svolga la sua funzione al meglio nei confronti dei suoi fruitori, sia più duraturo nel tempo e più flessibile ai cambiamenti che avverranno, ed è reso possibile soltanto grazie alla sinergia tra il pensiero pedagogico e quello architettonico.

Anche l'architettura, come la pedagogia, è un modo di leggere e intervenire sulla realtà ed entrambe portano il peso delle ricerche, delle idee e delle azioni del passato che hanno portato alla costruzione degli ambienti tradizionalmente adibiti all'istruzione. Tuttavia, il loro potenziale all'interno della concezione di uno spazio scolastico progettato *ad hoc* per i fruitori va oltre la semplice risoluzione di problemi poiché altrimenti si parlerebbe soltanto di edilizia scolastica. L'accento invece vuole volutamente essere posto sul superamento della mera e semplice risposta a dei bisogni e delle richieste specifiche degli utenti, giungendo ad un'interpretazione del presente, diverso dal passato, ma prodotto delle scelte che lo hanno caratterizzato e con uno sguardo verso il futuro, garantendo la flessibilità che un ambiente come la scuola richiede.<sup>17</sup>

<< Progettare una scuola, e non solo costruirla, è una scommessa mai scontata. È una partita sempre aperta. Una successione infinita di atti. È un progetto per il tempo che verrà. In questo senso rimane infinitamente aperto e inconcluso, e si basa fundamentalmente sulla fiducia nelle potenzialità come espressione dell'impegno di dirigenti insegnanti, di architetti e amministratori per realizzare nuovi luoghi per la comunità. >><sup>18</sup>.

Definire la relazione tra spazio e didattica, proporsi di costruire ambienti di qualità, moderni e sostenibili, che abbiano rispetto per la memoria delle cose e si

<sup>17</sup> Fonte: Weyland B., S.Attia, *Progettare scuole. Tra Pedagogia e architettura*, Guerini Scientifica, 2015.

<sup>18</sup> Citazione: Weyland B., S.Attia, *Progettare scuole. Tra Pedagogia e architettura*, Guerini Scientifica, 2015, p 21.

proiettino flessibilmente nel futuro: questi sono i propositi entro i quali si colloca il dibattito tra pedagogia e architettura.

### 3.2. La situazione dell'edilizia scolastica italiana

In Italia, la situazione dell'edilizia scolastica può essere definita "sconfortante". Secondo i dati raccolti in "Ecosistema scuola 2018"<sup>19</sup> oltre il 60% degli edifici scolastici sono stati costruiti prima del 1974, data dell'entrata in vigore della normativa antisismica. Il 46,8% delle scuole ha bisogno di urgente manutenzione, il 39,6% risulta non agibile, il 56,2% si trova in aree a rischio sismico e il 57,8% non presenta il certificato legato alla prevenzione degli incendi. Questi dati rappresentano il risultato del rapporto annuale condotto da Legambiente in relazione alla qualità delle strutture e dei servizi della scuola dell'infanzia fino a quella secondaria di primo grado, su una base di dati raccolti in 94 capoluoghi di provincia per l'anno 2017. Il quadro che ne deriva mostra quanto sia urgente e importante intervenire il prima possibile sulla situazione dell'edilizia scolastica italiana. Sono ancora troppo pochi, infatti, gli esempi concreti di edilizia sicura e sostenibile in Italia e il fatto che tra tutti gli edifici scolastici investigati circa il 62% sia stato costruito prima del 1974, mentre soltanto il 5,2% sia stato costruito tra il 2001 e il 2017, indica la necessità di intervenire sulle preesistenze riqualificandole sia in termini di efficientamento energetico, sia di contrasto alle condizioni di obsolescenza e degrado in cui versano la maggior parte di esse.

#### Dati anagrafici edifici scolastici presi in esame

Anno di realizzazione edifici scolastici	%
Edifici realizzati prima del 1900	8,7%
Edifici realizzati tra il 1901 e il 1974	54,9%
Edifici realizzati tra il 1975 e il 2000	31,2%
Edifici realizzati tra il 2001 e il 2017	5,2%

Tabella 2 - Dati estratti da "Ecosistema scuola 2018" condotto da Legambiente.

<sup>19</sup> Cfr. [https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/ecosistema\\_scuola\\_2018.pdf](https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/ecosistema_scuola_2018.pdf) [consultato il 20/05/19].

<b>Destinazione d'uso originaria edifici scolastici</b>	<b>%</b>
Abitazioni	3,4%
Caserme	0,2%
Edifici storici	5,2%
Scuole	89,8%
Altro	1,4%

Tabella 3 - Dati estratti da "Ecosistema scuola 2018" condotto da Legambiente.

### **Certificazioni e sicurezza**

Nella tabella sottostante è riportato il confronto tra la situazione registrata nell'anno 2012 e quella registrata nell'anno 2017 per quanto riguarda la dotazione degli edifici scolastici delle principali certificazioni di sicurezza ed igiene. I dati mostrano un leggero miglioramento, tuttavia ancora troppo insignificante da poter essere considerato un effettivo passo avanti.

<b>Certificazioni</b>	<b>2012 (%)</b>	<b>2017 (%)</b>
Certificato di collaudo statico	52,4%	53,7%
Certificato di agibilità	61,2%	60,4%
Certificato di agibilità igienico-sanitaria	31,2%	31,2%
Certificato prevenzione incendi	5,2%	5,2%

Tabella 4 - Dati estratti da "Ecosistema scuola 2018" condotto da Legambiente.

<b>Sicurezza</b>	<b>2012 (%)</b>	<b>2017 (%)</b>
Edifici costruiti secondo criteri di bioedilizia	0,6%	0,9%
Edifici costruiti secondo criteri antisismici	8,8%	14,2%
Edifici che necessitano di interventi urgenti di manutenzione	37,6%	46,8%

Tabella 5 - Dati estratti da "Ecosistema scuola 2018" condotto da Legambiente.

## Risparmio ed efficienza energetica

Le strategie messe in atto per ridurre i consumi energetici e per incentivare l'utilizzo di energie rinnovabili hanno permesso di registrare dei passi in avanti rispetto a qualche anno fa, tuttavia il cammino verso l'efficienza energetica è ancora lungo. Infatti, soltanto l'1% degli edifici scolastici può essere inserito nella classe energetica A e, complessivamente, solo il 5,3% si colloca all'interno delle prime tre classi energetiche. A quasi la metà del patrimonio scolastico, invece, è attribuita la classe energetica G, la più bassa.

Classe energetica edifici scolastici	%
A	1%
B	1%
C	3,3%
D	10,2%
E	18,7%
F	20,4%
G	45,3%

Tabella 6 - Dati estratti da "Ecosistema scuola 2018" condotto da Legambiente.

Da questo rapporto emerge che il Trentino-Alto Adige si conferma la regione più all'avanguardia d'Italia sul fronte dell'edilizia scolastica. Bolzano e Trento si posizionano infatti ai vertici della graduatoria di indagine grazie alle loro scuole giovani e sostenibili. Il 58,8% risulta edificato dopo il 1974 e il 12,1% dopo il 2000 (contro il 5,2% della media nazionale), con il 6% di edifici costruiti secondo i criteri di bioedilizia. Nonostante il Trentino non sia un'area a rischio sismico, tutte le scuole sono state sottoposte a verifiche di vulnerabilità statica.

Per quanto riguarda invece la regione Piemonte, il patrimonio scolastico risulta estremamente vetusto, con ben il 74,3% degli edifici costruiti prima del 1974. Sul fronte del risparmio energetico e, in particolare nell'ambito dell'illuminazione, le lampade fluorescenti risultano ancora la tipologia maggiormente utilizzata.<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Cfr. [https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/ecosistema\\_scuola\\_2018.pdf](https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/ecosistema_scuola_2018.pdf) [consultato il 20/05/19].

### 3.3. Esempi di riqualificazione dell'edilizia scolastica in Italia

#### Torino fa scuola

“Torino fa scuola”<sup>21</sup> è un progetto, iniziato nel 2015 e tuttora in corso, ideato dalla Compagnia di San Paolo e dalla Fondazione Giovanni Agnelli, in collaborazione con la Città di Torino e Fondazione per la scuola, al fine di riqualificare due istituti scolastici esistenti a Torino: la scuola media Giovanni Pascoli e la scuola media Enrico Fermi. L'idea di partire da questi due edifici è stata mossa dall'ambizione di voler costituire un esempio e uno slancio per una riqualificazione estesa su tutto il territorio italiano. Non a caso sono state scelte due tipologie di edilizia scolastica le cui caratteristiche architettoniche e costruttive sono elementi comuni a numerosi altri edifici scolastici in Italia.

Il progetto “Torino fa scuola” si è sviluppato lungo cinque fasi. Il punto di partenza è stato l'organizzazione di un percorso di progettazione che ha visto la collaborazione tra specialisti, pedagogisti e le due comunità scolastiche interessate nell'intervento. Come già spiegato in precedenza in questa tesi, questa fase è stata fondamentale per far sì che il risultato finale della riqualificazione rispettasse tutte le esigenze che un ambiente scolastico richiede, per poter ottenere una scuola “di qualità”. Figure come l'architetto e il pedagogista si sono ritrovate quindi a collaborare cercando di trovare soluzioni in cui lo spazio risultasse il più funzionale possibile per favorire un nuovo tipo di didattica, nel rispetto delle normative, delle esigenze e delle necessità espresse dalle comunità scolastiche stesse, in quanto terzi protagonisti all'interno di questo “dialogo progettuale” e principali fruitori dell'esito della riqualificazione.

Per quanto l'ambizione del progetto fosse quella di costituire un esempio da seguire in tutta Italia, è necessario chiarire che l'intento è stato quello di creare un modello di procedimento di riqualificazione e non un modello fisico fatto di componenti decontestualizzati da replicare qua e là per il territorio. Per ciascuno dei due edifici coinvolti, infatti, si è proceduto attraverso due iter di progettazione i cui esiti sono stati ben distinti, poiché il fine era quello di creare delle soluzioni *ad hoc* per le due comunità scolastiche.

La seconda fase è stata quella del concorso di progettazione, aperto a tutti, che ha costituito anche il pretesto per smuovere la riflessione su dei possibili interventi di riqualificazione degli istituti scolastici. Per il concorso di idee sono stati selezionati cinque progetti, ai quali è stato poi richiesto di approfondire il lavoro verso la creazione di un progetto preliminare, al fine di proclamare il vincitore finale del concorso.

Una volta stabilito il progetto vincente per ciascuna scuola, la terza fase ne ha visto lo sviluppo completo.

---

<sup>21</sup> Cfr. <http://www.torinofascuola.it/> [consultato il 29/05/19].

## Istituto Giovanni Pascoli



Figura 10 – render di progetto dell'Istituto Giovanni Pascoli di Torino.<sup>22</sup>

Il progetto di riqualificazione dell'Istituto Giovanni Pascoli di Torino uscito vincitore dal concorso si basa su quattro importanti cambiamenti: un nuovo ingresso accessibile a tutti, ampio e luminoso, dove i ragazzi potranno sostare e comunicare tra di loro; una biblioteca diffusa tra i diversi piani di cui una parte aperta al pubblico al piano terra, per far sì che la scuola ospiti attività extra-scolastiche e diventi un centro civico; un terrazzo come sperimentazione per attività all'esterno, come la creazione e la gestione di un orto; spazi flessibili sia nei corridoi che nelle aule per poter ottenere la giusta configurazione adatta al tipo di insegnamento.<sup>23</sup>



<sup>22</sup> Fonte immagine: <http://www.torinofascuola.it/giovanni-pascoli/step-5/> [consultato il 28/05/19].

<sup>23</sup> Cfr. <http://www.torinofascuola.it/giovanni-pascoli/step-5/> [consultato il 28/05/19].



Figura 11 - Serie di render del progetto vincitore per la riqualificazione dell'Istituto Giovanni Pascoli.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Fonte immagine: <http://www.torinofascuola.it/giovanni-pascoli/step-3/> [consultato il 28/05/19].

## Istituto Enrico Fermi



Figura 12 – render di progetto dell'Istituto Enrico Fermi di Torino.<sup>25</sup>

Il progetto vincitore del concorso per la riqualificazione dell'Istituto Enrico Fermi di Torino propone un ripensamento completo dell'edificio. Viene posto l'accento sul rinnovamento della struttura esistente, dell'involucro esterno e sulla costruzione di nuovi fronti che interagiscano con gli spazi adibiti alle attività all'aperto. Per quanto riguarda la gestione della didattica, gli alunni non saranno più legati ad una singola aula ma si sposteranno tra le varie aule tematiche durante l'orario scolastico. Pensato come estensione dell'organizzazione interna, anche l'esterno sarà organizzato in ambiti tematici e ospiterà un giardino creato sfruttando lo spazio inutilizzato di una via chiusa.<sup>26</sup>



<sup>25</sup> Fonte immagine: <http://www.torinofascuola.it/enrico-fermi/> [consultato il 28/05/19].

<sup>26</sup> Cfr. <http://www.torinofascuola.it/enrico-fermi/step-3/> [consultato il 28/05/19].



Figura 13 - Serie di render del progetto vincitore per la riqualificazione dell'Istituto Enrico Fermi.  
27

<sup>27</sup> Fonte immagine: <http://www.torinofascuola.it/enrico-fermi/> [consultato il 28/05/19].



## 4. L'illuminazione negli edifici scolastici

Come già descritto in modo più generale nel capitolo 2 “Architettura e luce” di questa tesi, l'illuminazione, sia naturale che artificiale, è da tempo ormai considerata strumento imprescindibile della progettazione architettonica, sia di nuova costruzione che come intervento sull'esistente.

Nel caso specifico degli edifici scolastici, il progetto illuminotecnico assume un ruolo ancora più fondamentale poiché le esigenze degli utenti sono più complesse e diversificate rispetto ad un qualsiasi altro ambiente lavorativo.

L'illuminazione nelle scuole, infatti, deve saper gestire e soddisfare le prestazioni richieste dalla compresenza di diversi compiti visivi che spaziano dalla semplice lettura o scrittura su supporti orizzontali come libri e quaderni, oppure su supporti verticali come la lavagna tradizionale o la più recente lavagna luminosa, fino all'osservazione anche prolungata di schermi di computer o altri supporti elettronici e l'utilizzo di particolari attrezzi o macchinari presenti nei vari laboratori. Una così vasta gamma di attività differenti richiede dunque una più attenta e delicata progettazione illuminotecnica per far sì che ciascuna esigenza venga soddisfatta al meglio, sia in termini normativi che di uso effettivo da parte degli utenti.

Riprogettare in termini illuminotecnici un edificio scolastico, in particolare intervenendo su una preesistenza e trattandosi di un edificio storico, significa dover far fronte a numerosi vincoli già imposti. Occorre spesso fare i conti con aule di grandi dimensioni e aperture ridotte, che non lasciano entrare la giusta quantità di luce naturale all'interno dell'ambiente. Le murature preesistenti e non modificabili impongono vincoli non trascurabili rispetto

### 4.1. L'importanza della luce ai fini dell'apprendimento

L'utilizzo della maggior parte degli edifici scolastici si svolge nelle ore della giornata in cui il sole è più performante, in termini di apporto di illuminazione naturale che entra all'interno degli ambienti. Poiché la radiazione solare non produce solo ed esclusivamente effetti benefici ai fini del comfort interno, è necessaria una buona progettazione dell'illuminazione naturale che sia in grado di far penetrare luce “utile” e impedire, invece, l'ingresso di calore indesiderato e di abbagliamento. La combinazione tra l'apporto di luce naturale controllato e l'integrazione con la luce artificiale, consente di implementare la produttività all'interno di un ambiente e di creare allo stesso tempo uno spazio confortevole e piacevole da vivere.

Saper bilanciare l'apporto di luce naturale con quella artificiale è un elemento fondante all'interno della progettazione di un edificio scolastico che possa essere denominato sostenibile. La luce naturale può costituire la prima fonte di illuminamento all'interno dell'ambiente, tranne per quei periodi di tempo in cui gli eventi meteorologici e le caratteristiche stagionali che mutano nel tempo non consentono di averne un apporto adeguato allo svolgimento delle attività.

### 4.1.1. Requisiti ed esigenze

Gli edifici scolastici devono soddisfare standard di comfort visivo elevati, flessibili e diversificati sia nel breve che nel lungo periodo, per poter stare al passo con i cambiamenti delle tipologie di didattica, sempre più volta alla multidisciplinarietà e all'utilizzo della tecnologia come supporto all'insegnamento.

Sono considerati requisiti fondamentali un sufficiente apporto di luce naturale e un'eventuale integrazione con un sistema di illuminazione artificiale che assicurino agli studenti un adeguato comfort visivo, la salute e la salvaguardia della sicurezza, evitando invece l'affaticamento della vista e gli effetti dannosi nei confronti dell'apprendimento e del rendimento scolastico. In particolare, il caso studio su cui viene svolta questa tesi è costituito da un complesso scolastico la cui offerta formativa è basata sull'arte grafica, sulla fotografia e sulla realizzazione di prodotti audiovideo ed è quindi ancora più necessaria una progettazione dell'illuminazione mirata allo svolgimento delle specifiche attività che la scuola ospita, in aggiunta alle normali attività.

#### Requisiti per l'illuminazione artificiale

Nella normativa UNI EN 12464-1:2011 vengono specificati i requisiti da soddisfare per garantire le opportune condizioni di comfort visivo all'interno dei vari ambienti scolastici, in riferimento a tre parametri illuminotecnici:

- **Illuminamento medio mantenuto (Em):** valore al di sotto del quale l'illuminamento medio, su una specifica superficie (orizzontale, verticale o inclinata), sede di uno specifico compito visivo, non può mai scendere.
- **Unified Glare Rating (UGR):** l'indice unificato di abbagliamento valuta l'abbagliamento diretto prodotto dagli apparecchi di illuminazione in funzione della loro posizione, delle caratteristiche dell'ambiente (dimensioni, riflessioni) e del punto di vista dell'osservatore. I valori sono compresi tra 10 (nessun abbagliamento) e 30 (abbagliamento considerevole), quindi più basso è il valore e minore è l'illuminamento diretto.
- **Resa del colore (Ra):** è un indice che permette di capire se i colori e la pelle umana, illuminati in modo artificiale, sono resi in modo naturale, cioè appaiono a chi li osserva come illuminati dalla luce del sole. I valori di Ra variano tra 0 e 100. Generalmente, un valore pari o superiore ad

80 viene considerato alto e indica che la sorgente ha buone proprietà di resa cromatica.

- **Uniformità di illuminamento ( $U_0$ ):** è definito come il rapporto tra l'illuminamento minimo e l'illuminamento medio su una data superficie. La normativa definisce i valori di uniformità al di sotto dei quali non bisogna scendere.

## Requisiti qualitativi e quantitativi dell'illuminazione rispetto alle attività specifiche

### Attività



Attività al computer

### Esigenze di illuminazione



Schermatura parziale dell'illuminazione in ingresso



Schermatura totale delle aperture



Illuminazione personalizzabile e adattabile alle esigenze

### Requisiti di illuminazione

Requisito da soddisfare:  $E_m = 300 \text{ lx}$

sulla superficie del compito visivo:  
banchi e cattedra

Temperatura di colore  
 $5000 \text{ K} \geq \text{TCP} \geq 6500 \text{ K}$

$\text{UGR} < 19$

$\text{Ra} > 80$

$\text{U}_0 > 0,6$

### Rischi da evitare



Abbagliamento diretto da sorgenti luminose



Abbagliamento riflesso da superfici riflettenti

### Attività



Tecniche di ripresa

### Esigenze di illuminazione



Schermatura parziale dell'illuminazione in ingresso



Schermatura totale delle aperture



Gestione centralizzata del sistema di illuminazione artificiale



Illuminazione personalizzabile e adattabile alle esigenze

### Requisiti di illuminazione

Requisito da soddisfare:  $E_m = 300 \text{ lx}$

sulla superficie del compito visivo:  
banchi

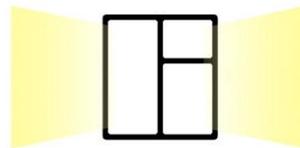
Temperatura di colore  
 $5000 \text{ K} \geq \text{TCP} \geq 6500 \text{ K}$

$\text{UGR} < 19$

$\text{Ra} > 80$

$\text{U}_0 > 0,6$

### Rischi da evitare



Ingresso di luce naturale indesiderata

### Attività

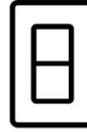


Sviluppo fotografico

### Esigenze di illuminazione



Schermatura totale delle aperture



Gestione centralizzata del sistema di illuminazione artificiale



Impianto di illuminazione con luce inattinica rossa

### Requisiti di illuminazione

Requisito da soddisfare:  $E_m = 300 \text{ lx}$

sulla superficie del compito visivo:  
banchi

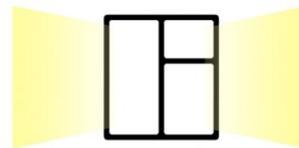
Temperatura di colore  
 $5000 \text{ K} \geq \text{TCP} \geq 6500 \text{ K}$

$\text{UGR} < 19$

$\text{Ra} > 80$

$\text{Uo} > 0,6$

### Rischi da evitare



Ingresso di luce naturale indesiderata

## Requisiti qualitativi e quantitativi dell'illuminazione rispetto alle attività regolari

### Attività



Lezione frontale

### Esigenze di illuminazione



Schermatura parziale dell'illuminazione in ingresso



Schermatura totale delle aperture in caso di proiezione



Illuminazione personalizzabile e adattabile alle esigenze



Ingresso di luce naturale

### Requisiti di illuminazione

Requisito da soddisfare:  $E_m = 300 \text{ lx}$

sulla superficie del compito visivo:  
banchi

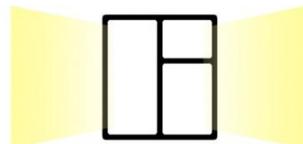
Temperatura di colore  
 $5000 \text{ K} \geq \text{TCP} \geq 6500 \text{ K}$

$\text{UGR} < 19$

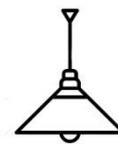
$\text{Ra} > 80$

$\text{U}_0 > 0,6$

### Rischi da evitare



Abbagliamento da sorgenti luminose naturali



Abbagliamento da sorgenti luminose artificiali



Riflessioni da sorgenti luminose

### Attività



Lettura

### Esigenze di illuminazione



Schermatura parziale dell'illuminazione in ingresso



Ingresso di luce naturale



Illuminazione personalizzabile e adattabile alle esigenze

### Requisiti di illuminazione

Requisito da soddisfare:  $E_m = 500 \text{ lx}$

sulla superficie del compito visivo:  
banchi

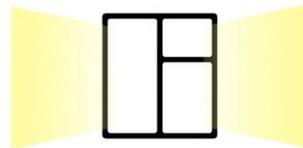
Temperatura di colore  
 $5000 \text{ K} \geq \text{TCP} \geq 6500 \text{ K}$

$\text{UGR} < 19$

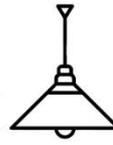
$\text{Ra} > 80$

$\text{Uo} > 0,6$

### Rischi da evitare



Abbagliamento da sorgenti luminose naturali



Abbagliamento da sorgenti luminose artificiali



Riflessioni da sorgenti luminose

### 4.1.2. Influenza della luce sulle prestazioni

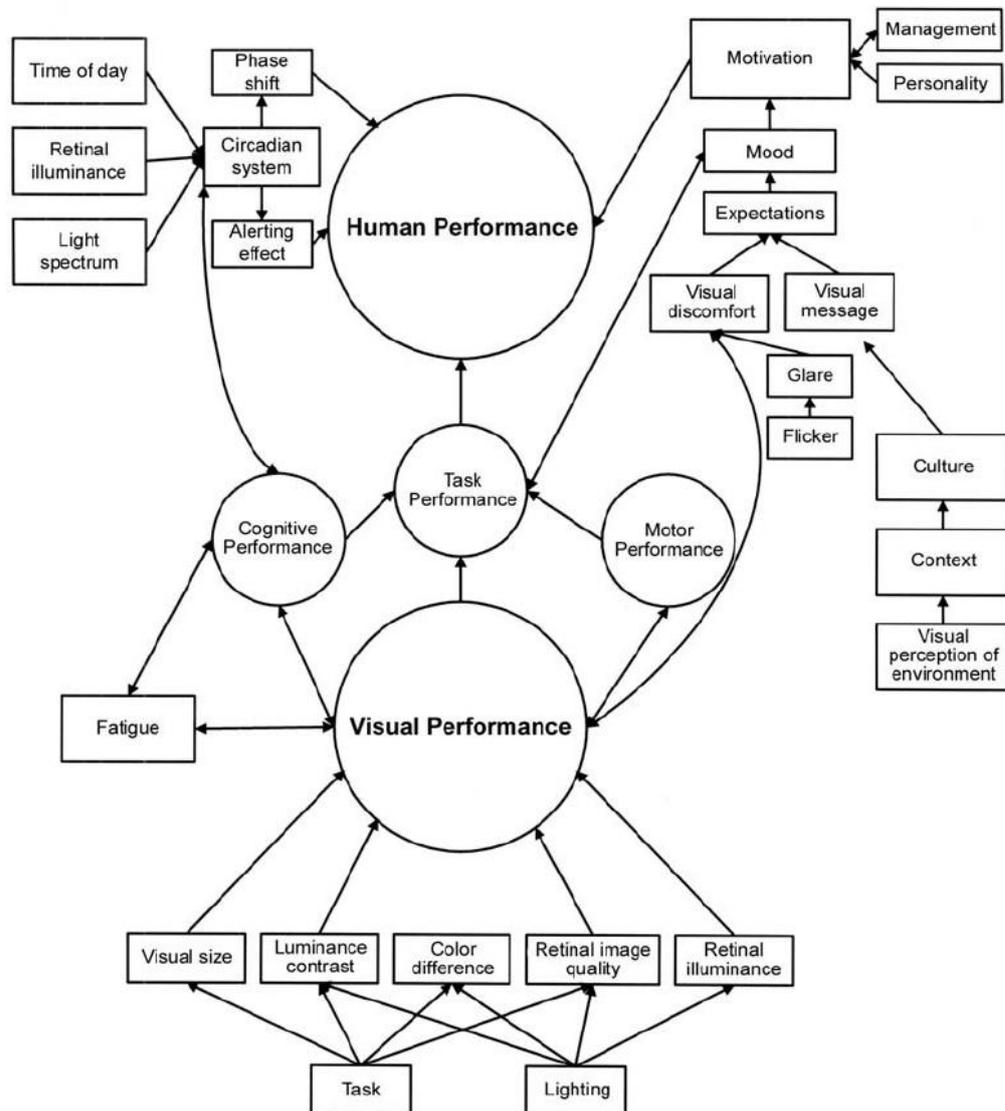


Figura 14 – Schema concettuale di come la luce può influenzare le performance dell'uomo (Boyce e Rea, 2001).

La luce è quella forma di energia che, entrando all'interno dell'occhio, è in grado di stimolare il sistema visivo responsabile della visione, ossia l'Image Forming System. Recentemente degli studi hanno confermato l'esistenza di un Non-Image Forming System all'interno dell'occhio, il quale non dà una risposta visiva ma invia dei segnali al cervello riguardanti i ritmi biologici, anche detti **ritmi circadiani**.

Le informazioni raccolte dalle cellule fotosensibili presenti nella retina vengono poi inviate ad una specifica area del cervello che le rielabora adattando i ritmi biologici del nostro corpo alle condizioni esterne di notte e giorno. All'interno delle 24 ore giornaliere gli organi del nostro corpo vengono influenzati da cambiamenti ormonali che ne regolano il funzionamento, li rendono più o meno performanti e dettano delle "regole" su quali attività sia

più opportuno per il nostro corpo svolgere nei diversi momenti della giornata.

Gli effetti della luce che non scaturiscono nella visione sono quindi importanti per regolare il nostro organismo e mantenere il nostro corpo in salute. Inoltre, numerosi studi dimostrano come, in situazioni generali, l'esposizione alla luce naturale sia in grado di incrementare le funzioni cognitive, riducendo la depressione, l'aggressività e migliorando il sonno. Oltre alla quantità di luce naturale, occorre considerare come fattore influente sulle prestazioni dell'uomo anche la qualità.

In ambito scolastico, va segnalato lo studio che il gruppo Heschong Mahone ha effettuato nel 1999 su alcune scuole americane, con lo scopo di valutare l'influenza della quantità di luce naturale presente all'interno delle classi rispetto alle prestazioni degli studenti, in termini di rendimento scolastico e velocità di apprendimento.<sup>28</sup>

In particolare, il Capistrano School district (il secondo più grande distretto scolastico di Orange County, in California) è stato il campione che ha prodotto i dati più completi e rappresenta il caso studio da cui vengono tratti i seguenti risultati. Studiando il rendimento scolastico nel corso di un intero anno, è stato dimostrato come gli studenti all'interno delle classi con maggiore quantità di luce naturale abbiano migliorato il loro rendimento nei test di matematica e di comprensione del testo rispettivamente del 20% e del 26%. Similmente, nelle classi in cui le aperture avevano dimensioni considerevoli rispetto alle dimensioni dell'aula, il progresso degli studenti è stato del 15% e del 23% più veloce (rispetto agli stessi test) in confronto alle aule con le finestre più piccole. Nelle aule in cui erano presenti dei lucernari ben progettati, l'incremento nel rendimento degli studenti è stato sempre attorno al 19-20% rispetto alle aule che ne erano sprovviste. Un altro fattore di valutazione discriminante è stato quello della possibilità o meno di aprire le finestre. Infatti, nelle aule in cui le finestre erano apribili si è riscontrato un miglioramento del rendimento del 7-8% più veloce rispetto alle aule in cui le finestre erano fisse.

Questo studio vuole mettere in evidenza la relazione positiva che sussiste tra la disponibilità e la quantità di luce naturale all'interno degli ambienti scolastici e il rendimento degli studenti, a dimostrazione dell'importanza che l'illuminazione naturale ha nell'influenzare la nostra produttività.

Prevedere delle aperture di ampie dimensioni in fase di progetto rappresenta quindi non solo una strategia architettonica e/o illuminotecnica, ma anche un accorgimento importante per cercare di massimizzare le probabilità di miglioramento delle prestazioni dei futuri studenti.

---

<sup>28</sup> Cfr. <http://h-m-g.com/projects/daylighting/summaries%20on%20daylighting.htm#Daylighting%20in%20Schools%20%E2%80%93%20PG&E%201999> [consultato il 30/05/19].



## 5. Il caso studio: Istituto Albe Steiner

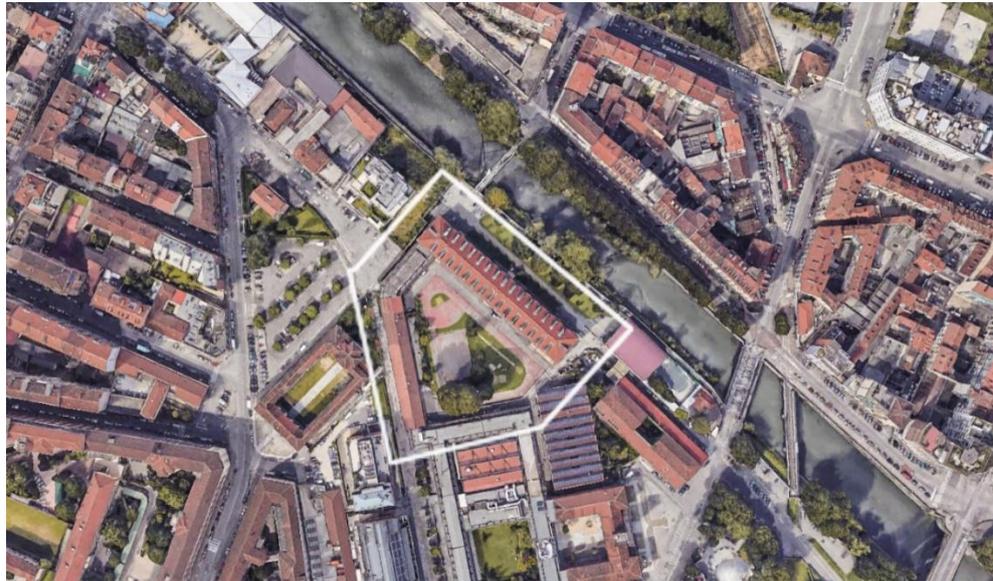


Figura 15 – Inquadramento territoriale dell'Istituto Albe Steiner di Torino.

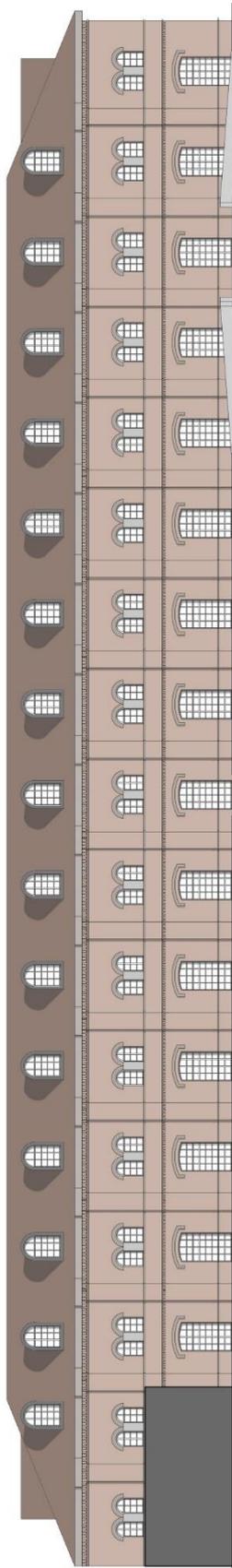
L'Istituto Albe Steiner di Torino si trova nel quartiere Aurora, situato lungo la sponda sinistra del fiume Dora Riparia. Il suo passato da caserma militare conferisce all'edificio il suo aspetto caratteristico, molto rigoroso nella scansione in facciata delle aperture e molto tradizionale grazie al mattone faccia a vista. Il fabbricato si articola in due corpi collegati tra di loro di cui il principale, costituito da tre piani fuori terra, è adibito ad uffici, aule scolastiche e servizi annessi, mentre il secondario è costituito da un solo piano fuori terra ed è adibito a palestra. Il fabbricato principale ha forma parallelepipedica parallela al fiume, è costituito da una stecca orizzontale lunga 111 metri e una manica di 19,5 metri ed è orientato secondo l'asse nord-sud. La disposizione interna si articola in un corridoio distributivo centrale su cui si affacciano, da entrambi i lati, gli ambienti. Questa conformazione comporta quindi il maggior numero di affacci e di aperture lungo i fronti nord-est e sud-ovest.

Gli ambienti principali costituenti l'edificio sono:

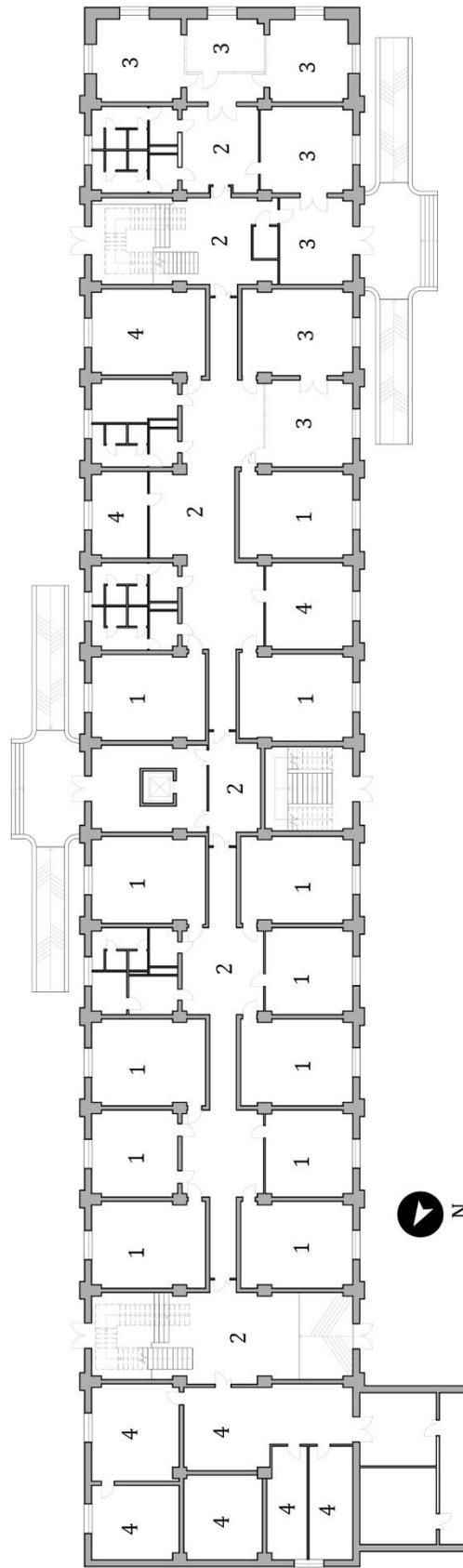
- aule;
- corridoi;
- uffici;
- altri usi (magazzini, archivi, locali tecnici, ecc.)
- laboratori
- biblioteca,
- sale computer,
- sala conferenza.

## 5.1. Analisi architettonica generale

### Piano terra



Prospetto ovest  
scala 1:500

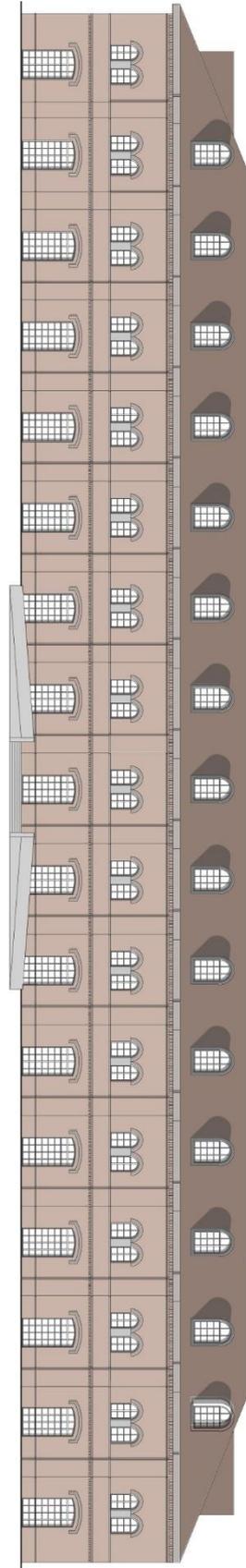
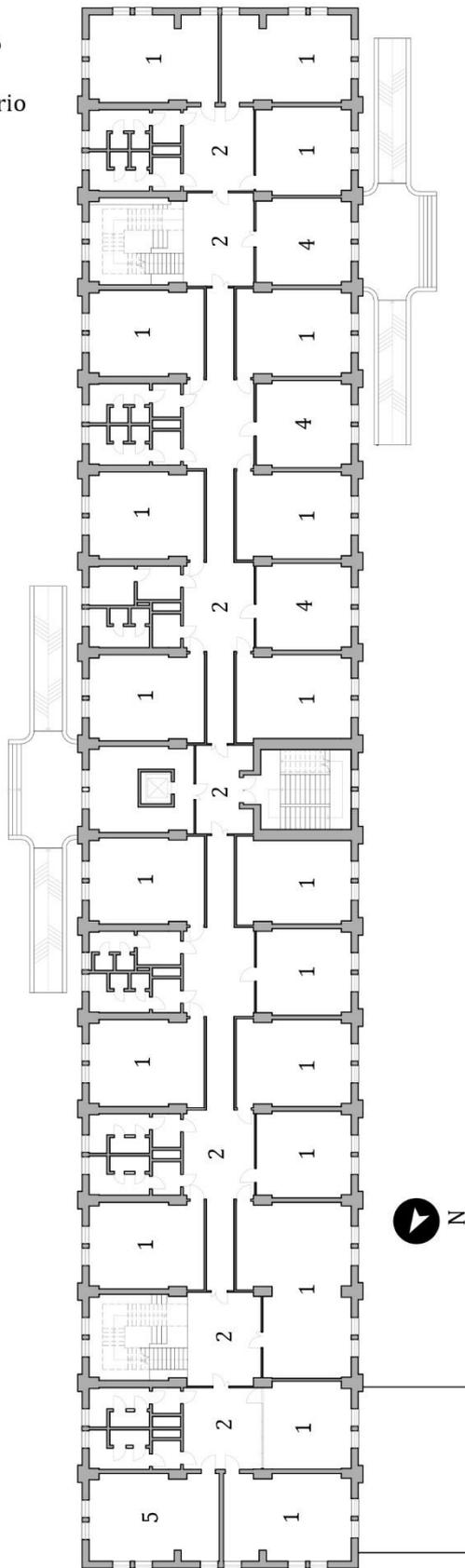


- 1 Aula
- 2 Corridoio
- 3 Ufficio
- 4 Altri usi

Pianta piano terra  
scala 1:500

### Primo piano

- 1 Aula
- 2 Corridoio
- 4 Altri usi
- 5 Laboratorio



## Secondo piano

- 2 Corridoio
- 4 Altri usi
- 5 Laboratorio
- 6 Sala lettura/conferenza

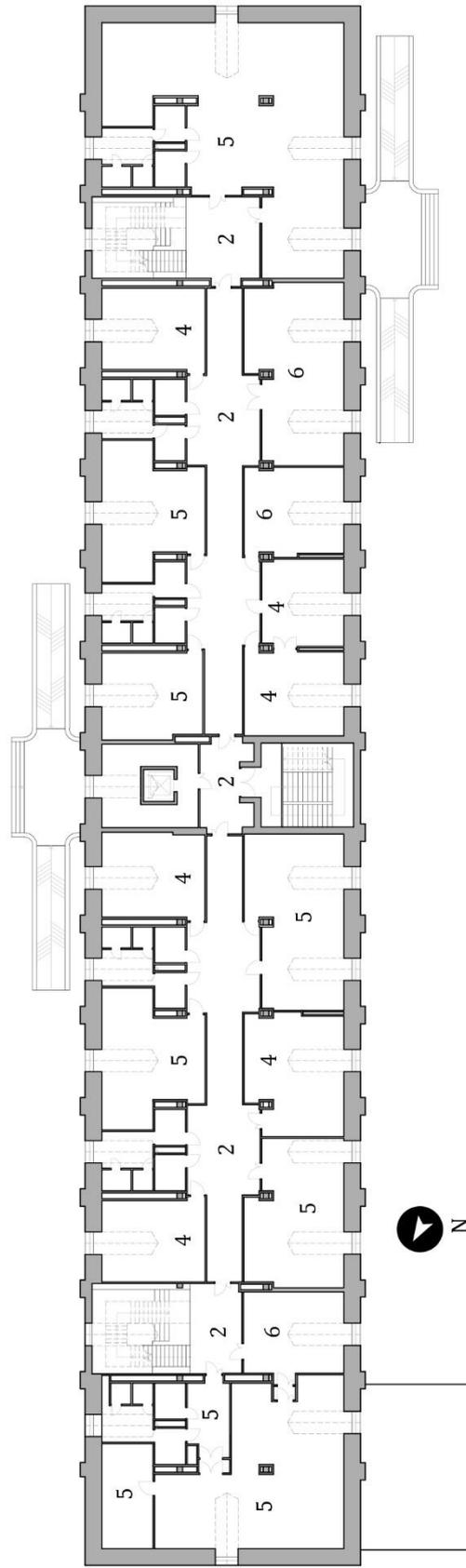


Figura 16 - Pianta del secondo piano in scala 1:500.

## 5.2. Analisi condizioni generali e di illuminazione degli ambienti

Durante la fase del sopralluogo presso l'istituto è stata raccolta una serie di dati oggettivi (tipologie di ambienti, dimensioni, tipologie di aperture e degli apparecchi di illuminazione, ecc.) che sono stati rielaborati e raggruppati per piano e per esposizione. Data la conformazione dell'edificio e il suo orientamento, gli ambienti più significativi dal punto di vista dell'analisi delle condizioni di illuminazione naturale sono quelli che si affacciano sul fronte nord-est e sul fronte sud-ovest, essendo anche i più adatti a costituire un campione rappresentativo rispetto al numero di ambienti simili che si affacciano sugli stessi fronti. Il fronte nord-ovest e il fronte sud-est, invece, sono stati considerati come casi particolari che non contribuirebbero in modo non trascurabile alla realizzazione di uno schema di "comportamento" dell'edificio poiché vi si affacciano un numero limitato di ambienti.

In seguito alla raccolta dei dati oggettivi e alla loro rielaborazione, sono emerse le problematiche principali riguardanti il caso studio. In base ad esse sono poi state effettuate ulteriori analisi al fine di valutare le condizioni generali e quelle relative all'illuminazione naturale all'interno di ciascun ambiente considerato e di costituire, come già detto, un "modello comportamentale" dell'edificio relativo all'illuminazione nella condizione di stato di fatto.

Le problematiche emerse sono state classificate in base alla categoria di appartenenza, ossia:

### - **Illuminazione naturale:**

#### - **Problematica dell'abbagliamento**

Dal sopralluogo è emerso il problema della mancanza di un sistema di schermature opportunamente progettato, soprattutto per gli ambienti ad ovest. Sono stati infatti riscontrati casi in cui, all'interno delle aule, sono state applicate schermature "fai da te" per poter bloccare la radiazione solare in eccesso.



Figura 17 – Schermature “fai da te” in un’aula dell’istituto.

Per comprendere l’entità della problematica così da poterla risolvere al meglio, sono state effettuate diverse analisi.

Per prima cosa sono state svolte delle simulazioni basate sullo studio del parametro della **luminanza**. Questa grandezza quantifica la luminosità che percepiamo, in un determinato istante ed in una definita posizione nello spazio, e si utilizza per valutare il fenomeno dell’abbagliamento.

Queste analisi sono state svolte in condizioni di cielo sereno per verificare l’entità spaziale e temporale della presenza di radiazione solare diretta nell’ambiente.

Per avere una maggiore completezza dei risultati e per poterli confrontare tra di loro nell’insieme, sia suddivisi per piano che per l’intero edificio, sono state scelte tre mensilità all’interno dell’anno che fossero le più significative al fine di rilevare le problematiche di abbagliamento nell’arco di tempo scelto:

- Marzo;
- Giugno;
- Dicembre.

Allo stesso modo e per la stessa ragione sono stati scelti tre orari diversi nell’arco della giornata, i più significativi in modo da poter evidenziare nuovamente le possibili problematiche dovute alla mancanza di illuminamento adeguato e alla possibilità di abbagliamento all’interno dell’ambiente.

- Ore 8:00;
- Ore 13:00;
- Ore 17:00.

È stato successivamente calcolata la distribuzione del **DGP** (Daylight Glare Probability - rappresenta la probabilità che il soggetto provi la sensazione di fastidio da abbagliamento) su base annua per poter capire l'eventuale presenza e variazione del parametro nel corso del tempo. Il grafico risultante è suddiviso in quattro fasce, a seconda della probabilità che si verifichi abbagliamento durante l'anno. Se il DGP risulta essere al di sotto del 35% allora il rischio è nullo, infatti la fascia corrispondente è denominata imperceptible glare. Se il DGP si trova tra il 35% e il 40%, o ancora oltre, tra il 40% e il 45%, allora la probabilità che il soggetto provi fastidio da abbagliamento aumenta e ci si trova nelle due condizioni rispettivamente di perceptible glare e disturbing glare. Se il DGP supera invece il 45% ci si trova nella fascia intolerable glare poiché la probabilità che si verifichi l'abbagliamento è più alta.

Sempre basandosi sul parametro DGP sono state poi svolte delle simulazioni point in time, ossia relative ad uno specifico istante temporale e ad una specifica posizione, per valutare l'abbagliamento nelle posizioni più critiche degli ambienti, che fossero o la posizione di un alunno o quella del professore in cattedra.

I dati estratti dalla distribuzione del DGP, dalle varie simulazioni del DGP point in time, insieme a quelli raccolti dalle simulazioni di luminanza, hanno permesso di stabilire dei range temporali all'interno dei quali il rischio di abbagliamento risulta più o meno elevato. Questo ha contribuito a delineare la prima parte del profilo delle condizioni di illuminazione dell'edificio allo stato attuale.

#### - **Problematica della scarsa quantità di luce in ingresso**

Per poter valutare anche la quantità di luce in ingresso per ciascun ambiente considerato sono state poi svolte le analisi dei principali **parametri climate-based**:

- Daylight Autonomy;
- Continuous Daylight Autonomy;
- Useful Daylight Illuminance;
- Spatial Daylight Autonomy;
- Maximum Daylight Autonomy.

Questi parametri consentono di ottenere dei dati sulle condizioni di illuminazione naturale su base annua, tenendo in considerazione numerosi fattori che la influenzano e rappresentano quindi uno strumento valido per poter essere in grado di costituire il completamento del disegno delle condizioni di illuminazione naturale dell'edificio in esame, in modo tale da poter poi creare un ulteriore disegno di progetto che intervenga in maniera mirata per risolvere i problemi riscontrati.

**- Illuminazione artificiale:****- Necessità di riqualificazione dell'impianto**

Dal sopralluogo è emerso che il problema principale per quanto riguarda l'illuminazione artificiale è che il sistema non è stato progettato per tenere conto delle esigenze degli utenti, per garantire un adeguato ed elevato comfort visivo, per adattarsi alle diverse condizioni di illuminazione che si verificano giornalmente e stagionalmente e per soddisfare l'esigenza sempre più marcata del risparmio energetico. Infatti, l'impressione è stata quella di un sistema di illuminazione obsoleto e volto a garantire soltanto il requisito di illuminamento medio richiesto all'interno degli ambienti scolastici, con il rischio di un sovradimensionamento dell'impianto non trascurabile ai fini del calcolo del fabbisogno energetico.

L'impianto rilevato allo stato di fatto ha inoltre evidenziato carenza di manutenzione (molte lampade non erano funzionanti) e di cura nei confronti delle prestazioni da garantire per il comfort degli utenti (molti ambienti presentavano apparecchi con lampade caratterizzate da temperature di colore correlate differenti e la posizione degli apparecchi non garantiva un'uniformità di illuminamento).



Figura 18 – apparecchi con temperature di colore differenti all'interno dello stesso ambiente.

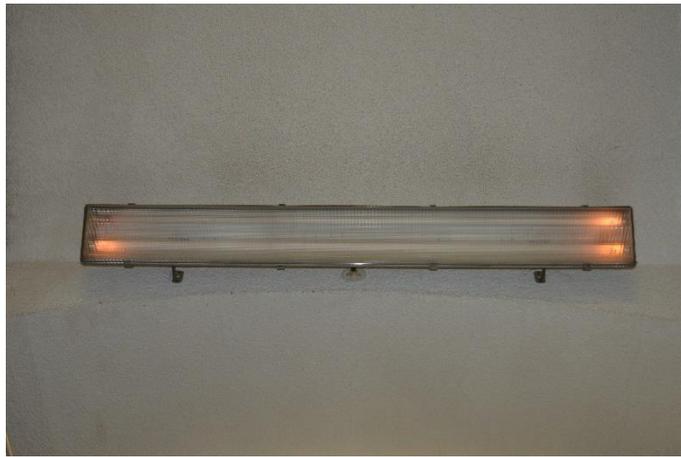


Figura 19 – apparecchio non funzionante all'interno di un ambiente dell'edificio.

- **Rivalutazione del fabbisogno/consumo energetico**

Poiché, come già detto, l'impianto di illuminazione artificiale dell'istituto risulta datato e non mirato alla riduzione dei consumi energetici, è stato effettuato il calcolo del LENI per quanto riguarda lo stato di fatto, così da poter valutare gli attuali consumi energetici dell'edificio e poterli poi confrontare con quelli calcolati successivamente per il nuovo impianto di illuminazione definito nell'ipotesi di progetto. In questo modo sarà possibile valutare l'efficacia in termini di diminuzione dei consumi energetici di un impianto ben progettato, sia per soddisfare le esigenze di comfort visivo che quelle di sostenibilità economica e ambientale.

## Piano terra: aula nord-est

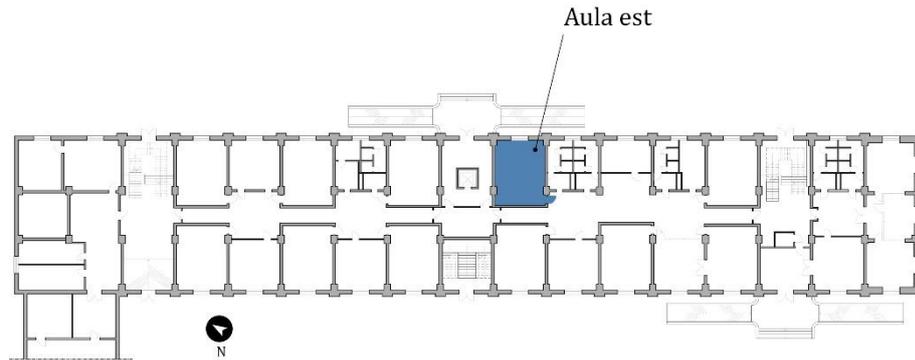


Figura 20 – Navigatore fuori scala del piano terra.

### Tabella materiali utilizzati

Elemento	Materiale	Trasmissione	Riflessione
Pareti aula	Intonaco giallo		0,63
Pareti esterne	Intonaco bianco		0,7
Soffitto	Intonaco bianco		0,7
Pavimento	Piastrelle in ceramica marrone scuro		0,1
Telaio finestra	Legno bianco		0,8
Vetro	Vetro singolo	0,88	

Figura 21 - Tabella con informazioni sui materiali utilizzati per l'aula nord-est del piano terra.



Figura 22 – Foto 1 dell'interno dell'aula nord-est del piano terra.



Figura 23 – Foto 2 dell'interno dell'aula nord-est al piano terra.

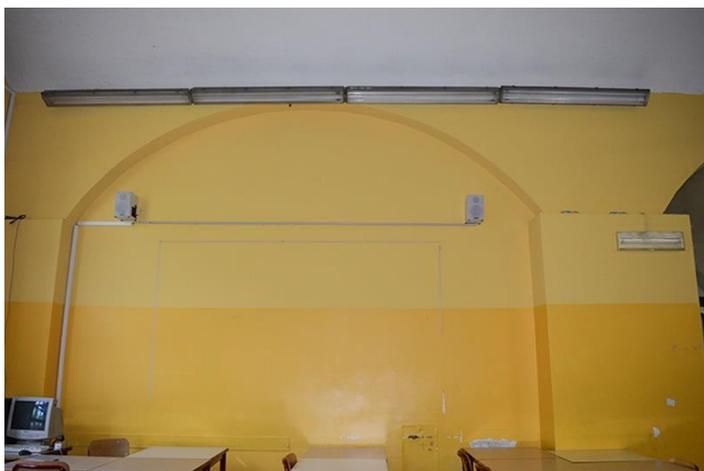
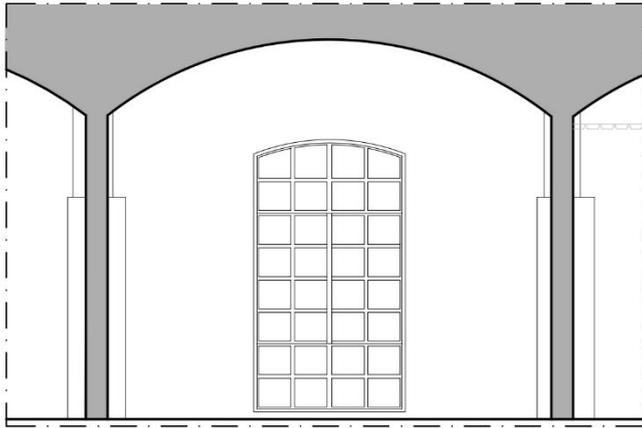
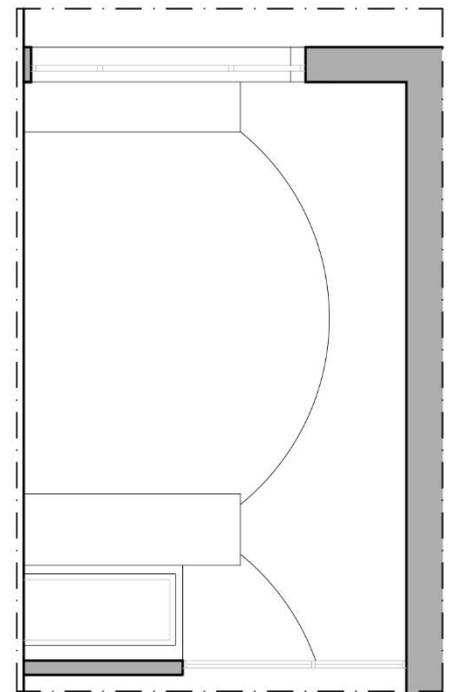
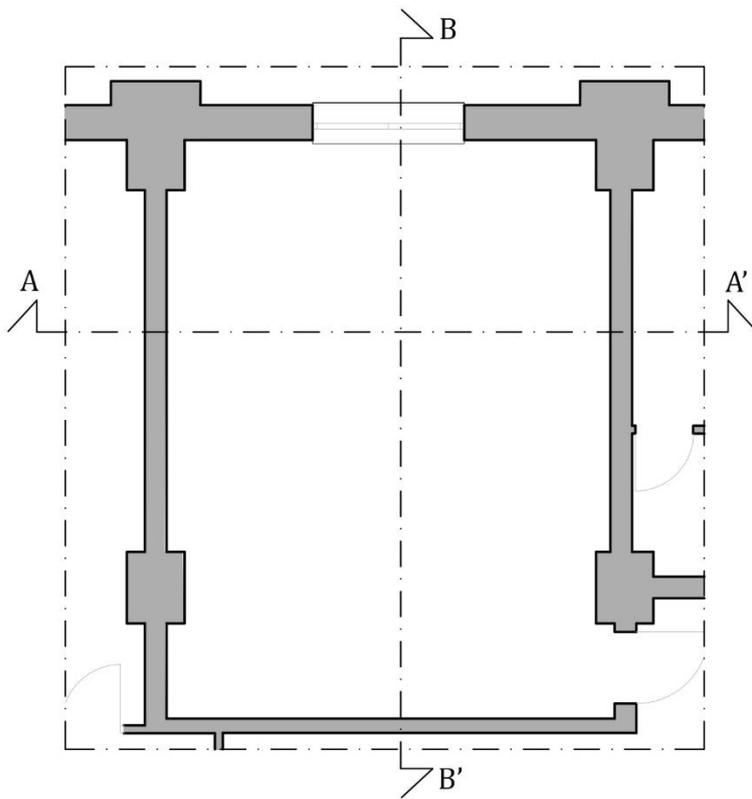


Figura 24 – Foto 3 dell'interno dell'aula nord-est del piano terra.

**Piante e sezioni 1:100**



Sezione AA'



Sezione BB'

Figura 25 – Pianta e sezioni in scala 1:100 dell'aula nord-est del piano terra.

**Piante 1:200**

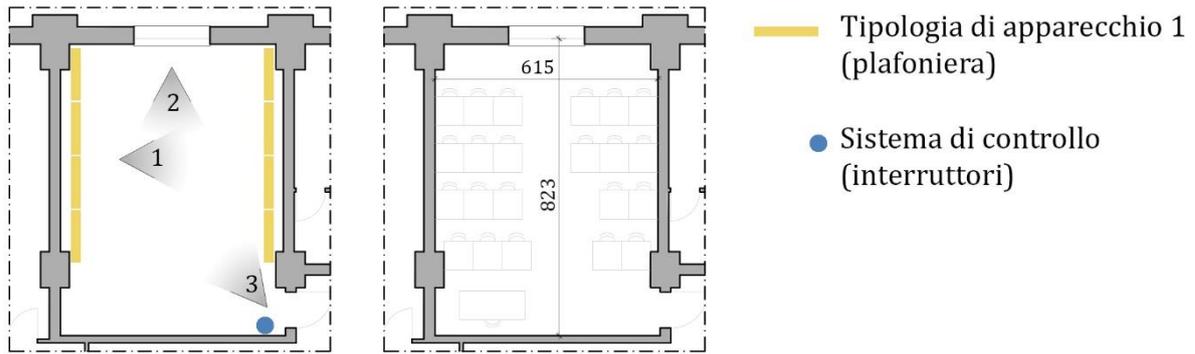


Figura 26 – Piante in scala 1:200 con posizione degli apparecchi e degli interruttori, con ottico delle foto, posizione dei banchi e quote dell’aula nord-est del piano terra.

**Caratteristiche locale:**

- Esposizione: singola (nord-est)
- Numero aperture: 1
- Superficie: 49,0 m<sup>2</sup>
- Controsoffittatura: no (volta a vista)
- Numero apparecchi: 8
- Compresenza di diverse tipologie di apparecchi: no
- Tipologia di apparecchi 1: apparecchio illuminante a plafone ip65
- Altezza posizionamento apparecchi: 4,4 m
- Numero di lampade (per ogni apparecchio): 2x58W
- Tipologia di lampada: lampada fluorescente
- Numero apparecchi di emergenza: 1
- Sistema di controllo: manuale, interno al locale

**Problematiche locale:**

- Posizionamento apparecchi a causa del soffitto voltato
- Assenza di schermature adatte all’esposizione dell’ambiente
- Sistema di controllo manuale

**Verifica rapporto aeroilluminante:**

$$\frac{A_f}{A_p} > \frac{1}{8}$$

$$\frac{A_f}{A_p} = \frac{7,8}{49} = 0,16$$

**[VERIFICATO]**

**Riassunto valori illuminazione naturale allo stato di fatto**

<b>Parametro</b>	<b>Valore</b>	<b>Valore considerato accettabile</b>
DA [%]	22,8 %	40 % < DA < 60 %
DAcon [%]	48,5 %	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	53,6 %	> 80 %
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	23 %	> 55 %
FLDm [%]	1,5 %	> 3 %

Tabella 7 - Tabella riassunto valori calcolati per l'aula nord-est del piano terra.

## Piano terra: aula polivalente ovest

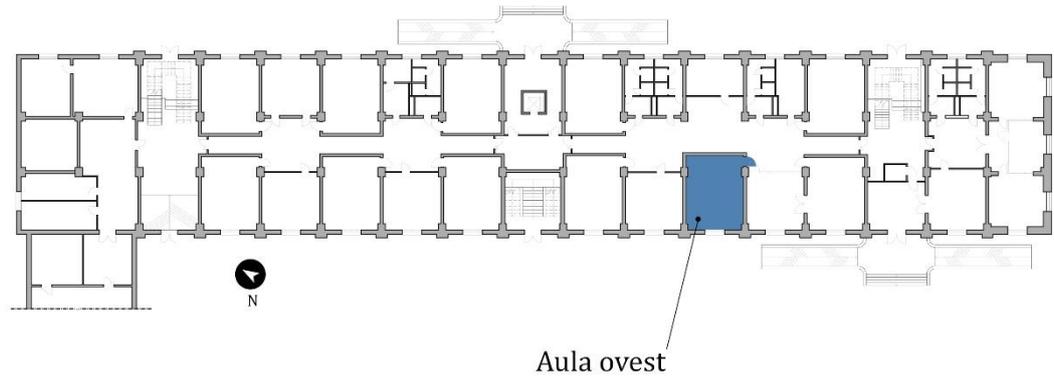


Figura 27 - Navigatore fuori scala del piano terra.

### Tabella materiali utilizzati

Elemento	Materiale	Trasmissione	Riflessione
Pareti aula	Intonaco giallo		0,63
Pareti esterne	Intonaco bianco		0,7
Soffitto	Intonaco bianco		0,7
Pavimento	Piastrelle in ceramica marrone scuro		0,1
Telaio finestra	Legno bianco		0,8
Vetro	Vetro singolo	0,88	

Tabella 8 - Tabella con informazioni sui materiali utilizzati per l'aula sud-ovest del piano terra.



Figura 28 - Foto 1 dell'interno dell'aula con esposizione a sud-ovest situata al piano terra.

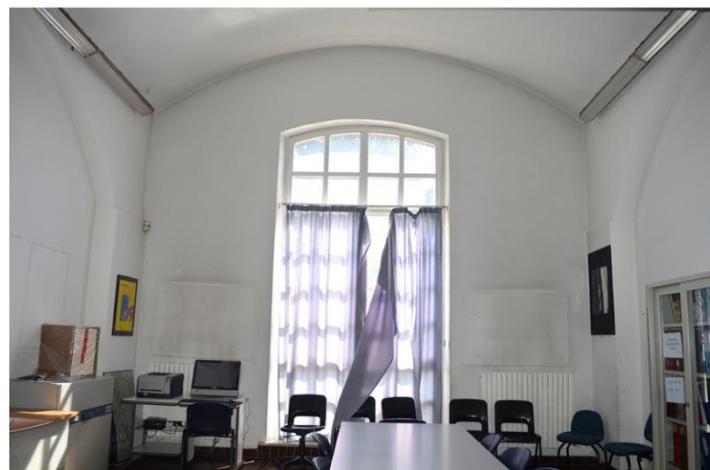


Figura 29 - Foto 2 dell'interno dell'aula con esposizione a sud-ovest situata al piano terra.



Figura 30 - Foto 3 dell'interno dell'aula con esposizione a sud-ovest situata al piano terra.

**Pianta e sezioni 1:100**

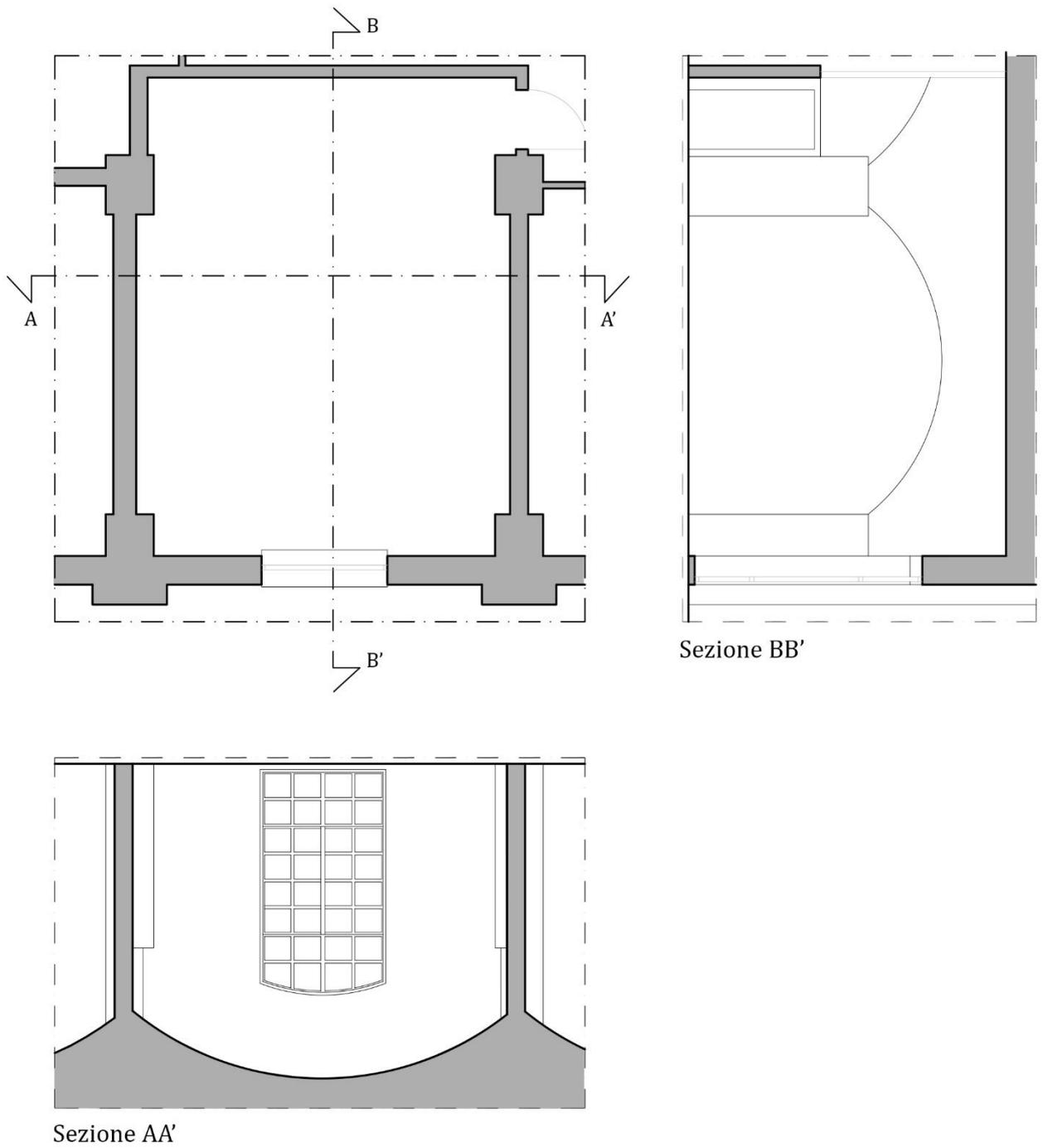


Figura 31 - Pianta e sezioni in scala 1:100 dell'aula con esposizione a sud-ovest situata al piano terra.

### Piante 1:200

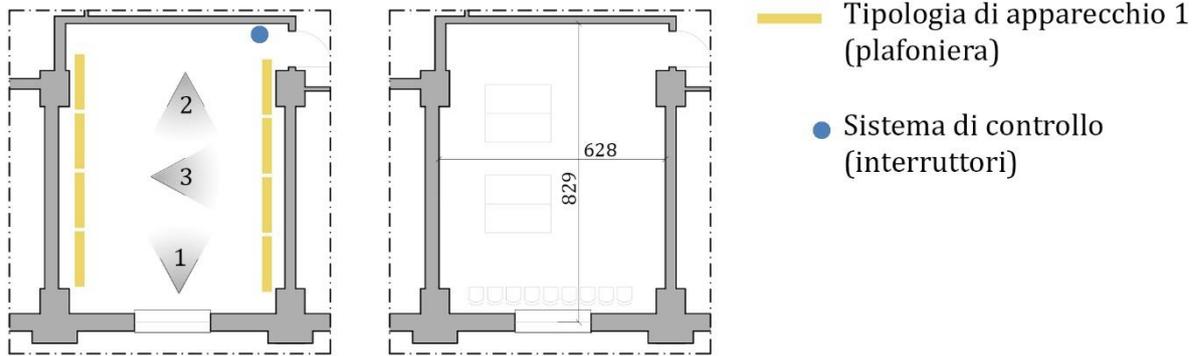


Figura 32 - Piante in scala 1:200 con posizione degli apparecchi e degli interruttori, con ottico delle foto, posizione dei banchi e quote dell'aula sud-ovest del piano terra.

#### Caratteristiche locale:

- Esposizione: singola (sud-ovest)
- Numero aperture: 1
- Superficie: 49,0 m<sup>2</sup>
- Controsoffittatura: no (volta a vista)
- Numero apparecchi: 8
- Presenza di diverse tipologie di apparecchi: no
- Tipologia di apparecchi: apparecchio illuminante a plafone ip65
- Altezza posizionamento degli apparecchi: 4,4 m
- Numero di lampade (per ogni apparecchio): 2x58W
- Tipologia di lampada: lampada fluorescente
- Numero apparecchi di emergenza: 1
- Sistema di controllo: manuale, interno al locale

#### Problematiche locale:

- Posizionamento apparecchi a causa del soffitto voltato
- Assenza di schermature adatte all'esposizione dell'ambiente
- Sistema di controllo manuale

#### Verifica rapporto aeroilluminante:

$$\frac{A_f}{A_p} > \frac{1}{8}$$

$$\frac{A_f}{A_p} = \frac{7,8}{49} = 0,16$$

**[VERIFICATO]**

**Riassunto valori illuminazione naturale allo stato di fatto**

<b>Parametro</b>	<b>Valore</b>	<b>Valore considerato accettabile</b>
DA [%]	40,5%	40% < DA < 60%
DAcon [%]	63,8%	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	64,7%	> 80%
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	36%	> 55%
FLDm [%]	1,7%	> 3%

Tabella 9 - Tabella riassunto valori calcolati per l'aula sud-ovest del piano terra.

## Primo piano: aula nord-est

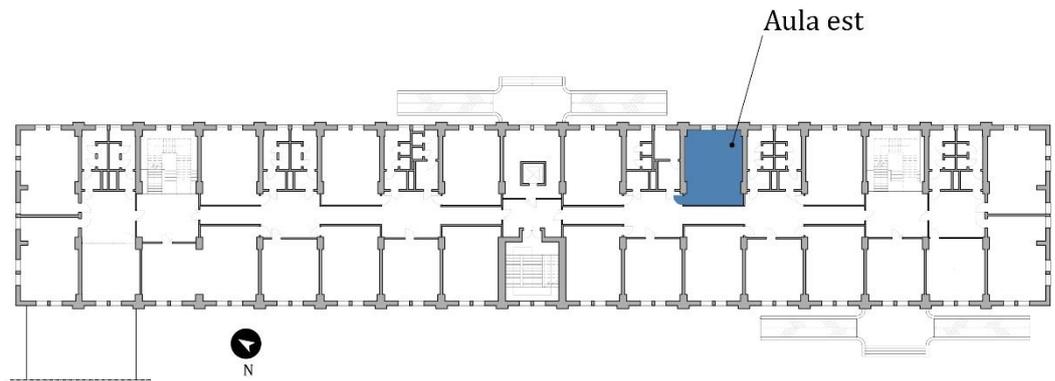


Figura 33 – Navigatore fuori scala del primo piano.

## Tabella materiali utilizzati

Elemento	Materiale	Trasmissione	Riflessione
Pareti aula	Intonaco giallo		0,63
Pareti esterne	Intonaco bianco		0,7
Soffitto	Intonaco bianco		0,7
Pavimento	Piastrelle in ceramica marrone scuro		0,1
Telaio finestra	Legno bianco		0,8
Vetro	Vetro singolo	0,88	

Tabella 10 - Tabella con informazioni sui materiali utilizzati per l'aula nord-est del primo piano.



Figura 34 – Foto 1 dell'interno dell'aula nord-est del primo piano.



Figura 35 - Foto 2 dell'interno dell'aula nord-est del primo piano.



Figura 36 - Foto 3 dell'interno dell'aula nord-est del primo piano.

**Pianta e sezioni 1:100**

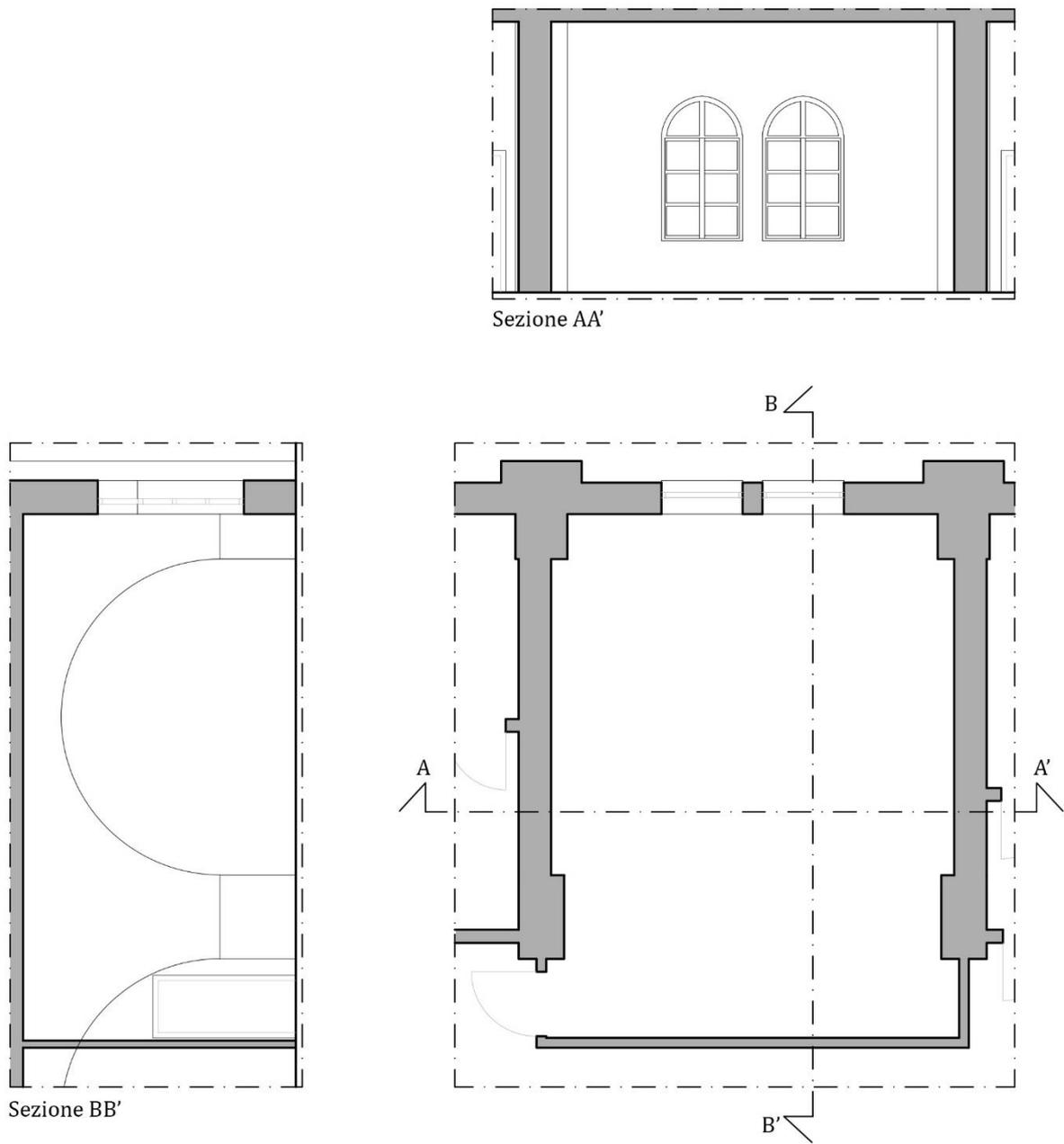


Figura 37 - Pianta e sezioni in scala 1:100 dell'aula nord-est del primo piano.

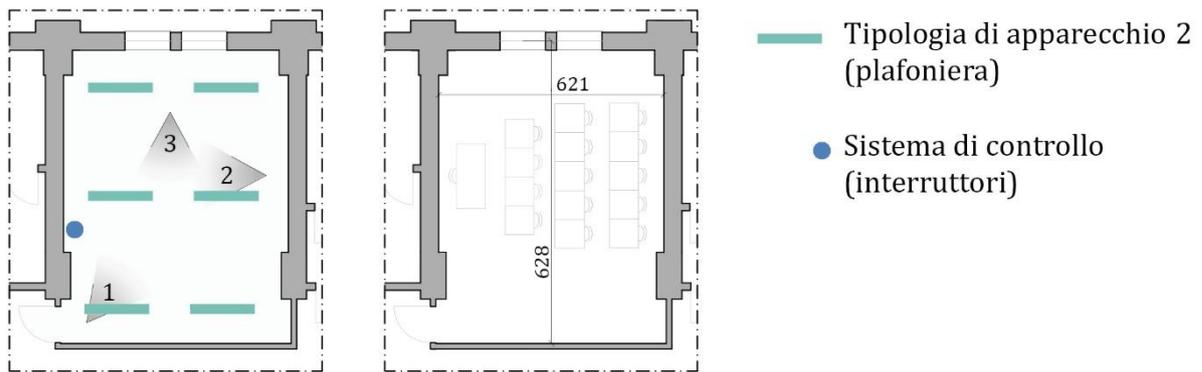
**Piante 1:200**

Figura 38 - Piante in scala 1:200 con posizione degli apparecchi e degli interruttori, con ottico delle foto, posizione dei banchi e quote dell'aula nord-est del primo piano.

**Caratteristiche locale:**

- Esposizione: singola (nord-est)
- Numero aperture: 2
- Superficie: 49,0 m<sup>2</sup>
- Controsoffittatura: no (soffitto in latero-cemento con rete metallica)
- Numero apparecchi: 6
- Compresenza di diverse tipologie di apparecchi: no
- Tipologia di apparecchi: apparecchio illuminante a plafone ip65
- Altezza posizionamento apparecchi: 4,2 m
- Numero di lampade (per ogni apparecchio): 2x58W
- Tipologia di lampada: lampada fluorescente
- Numero apparecchi di emergenza: 1
- Sistema di controllo: manuale, interno al locale

**Problematiche locale:**

- Assenza di schermature adatte all'esposizione dell'ambiente
- Sistema di controllo manuale, interno all'ambiente

**Verifica rapporto aeroilluminante:**

$$\frac{A_f}{A_p} > \frac{1}{8}$$

$$\frac{A_f}{A_p} = \frac{2,1 \cdot 2}{49} = 0,08$$

**[NON VERIFICATO]**

**Riassunto valori**

<b>Parametro</b>	<b>Valore</b>	<b>Valore considerato accettabile</b>
DA [%]	14,8%	40% < DA < 60%
DAcon [%]	34,6%	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	36,3%	> 80%
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	14%	> 55%
FLDm [%]	0,9%	> 3%

Tabella 11 - Tabella riassunto valori calcolati per l'aula nord-est del primo piano.

## Primo piano: aula sud-ovest

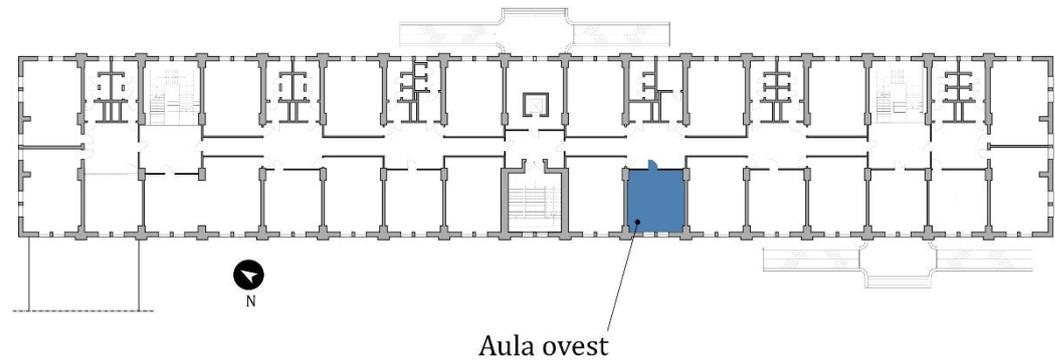


Figura 39 – Navigatore fuori scala del primo piano.

### Tabella materiali utilizzati

Elemento	Materiale	Trasmissione	Riflessione
Pareti aula	Intonaco bianco		0,7
Pareti esterne	Intonaco bianco		0,7
Soffitto	Intonaco bianco		0,7
Pavimento	Piastrelle in ceramica marrone scuro		0,1
Telaio finestra	Legno bianco		0,8
Vetro	Vetro singolo	0,88	

Figura 40 - Tabella con informazioni sui materiali utilizzati per l'aula sud-ovest del primo piano.



Figura 41 - Foto 1 dell'interno dell'aula con esposizione a sud-ovest situata al primo piano.



Figura 42 - Foto 2 dell'interno dell'aula con esposizione a sud-ovest situata al primo piano.



Figura 43 - Foto 3 dell'interno dell'aula con esposizione a sud-ovest situata al primo piano.

**Pianta e sezioni 1:100**

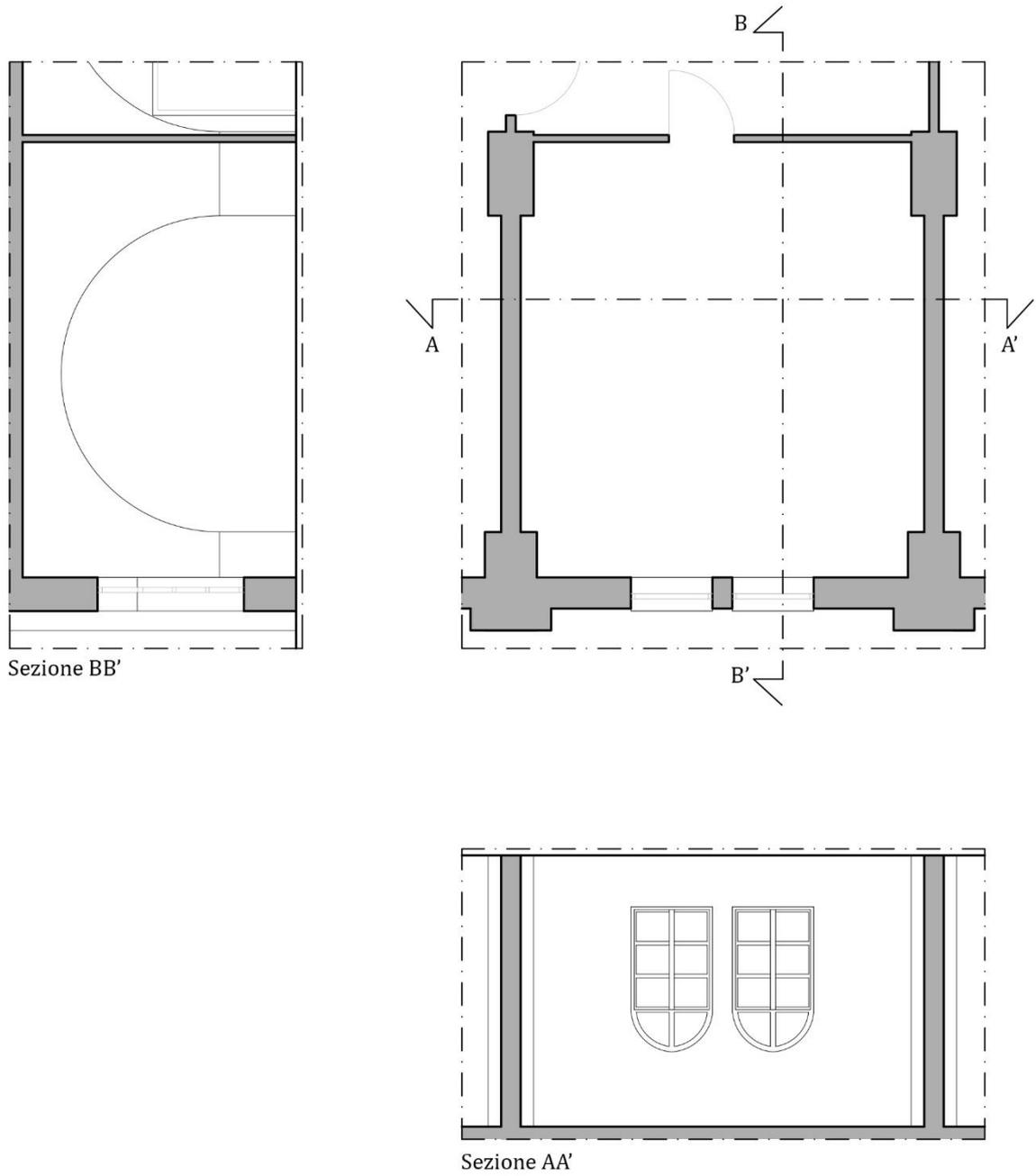


Figura 44 - Pianta e sezioni in scala 1:100 dell'aula con esposizione a sud-ovest situata al primo piano.

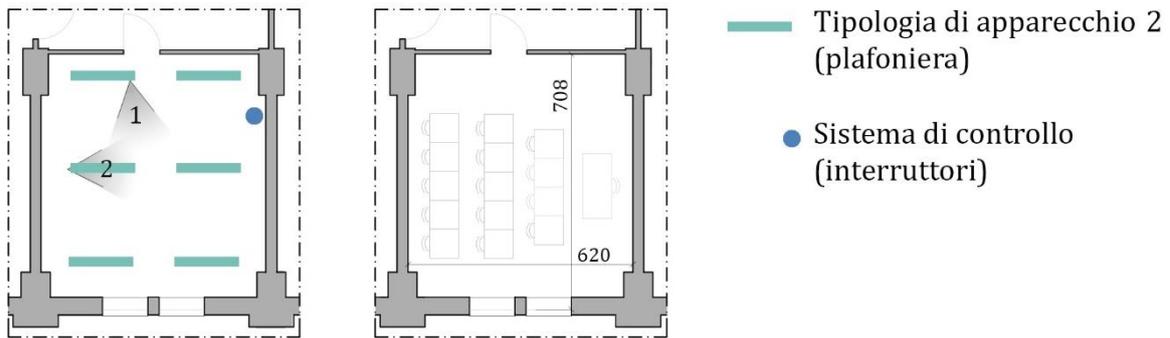
**Piante 1:200**

Figura 45 - Piante in scala 1:200 con posizione degli apparecchi e degli interruttori, con ottico delle foto, posizione dei banchi e quote dell'aula sud-ovest del primo piano.

**Caratteristiche locale:**

- Esposizione: singola (sud-ovest)
- Numero aperture: 2
- Superficie: 40,0 m<sup>2</sup>
- Controsoffittatura: no (soffitto in latero-cemento)
- Numero apparecchi: 6
- Compresenza di diverse tipologie di apparecchi: no
- Tipologia di apparecchi: apparecchio illuminante a plafone ip65
- Altezza posizionamento apparecchi: 4,2 m
- Numero di lampade (per ogni apparecchio): 2x58W
- Tipologia di lampada: lampada fluorescente
- Numero apparecchi di emergenza: 1
- Sistema di controllo: manuale, interno al locale

**Problematiche locale:**

- Assenza di schermature adatte all'esposizione dell'ambiente
- Sistema di controllo manuale, interno all'ambiente

**Verifica rapporto aeroilluminante:**

$$\frac{A_f}{A_p} > \frac{1}{8}$$

$$\frac{A_f}{A_p} = \frac{2,1 \cdot 2}{40} = 0,10$$

[**NON VERIFICATO**]

**Riassunto valori**

<b>Parametro</b>	<b>Valore</b>	<b>Valore considerato accettabile</b>
DA [%]	32,5%	40% < DA < 60%
DAcon [%]	57,3%	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	59,6%	> 80%
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	25%	> 55%
FLDm [%]	1,2%	> 3%

Tabella 12 - Tabella riassunto valori calcolati per l'aula nord-est del primo piano.

## Secondo piano (sottotetto): laboratorio post-produzione nord-est

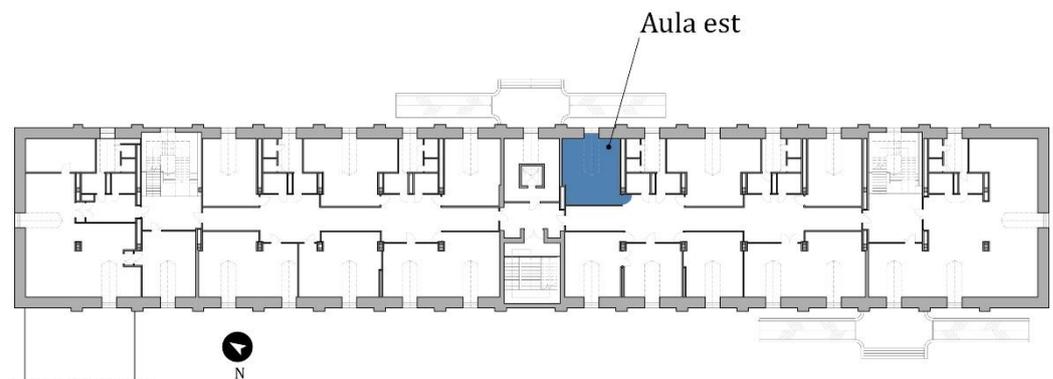


Figura 46 - Navigatore fuori scala del secondo piano.

### Tabella materiali utilizzati

Elemento	Materiale	Trasmissione	Riflessione
Pareti aula	Intonaco giallo		0,63
Pareti esterne	Intonaco bianco		0,7
Soffitto	Intonaco bianco		0,7
Pavimento	Piastrelle in ceramica marrone scuro		0,1
Telaio finestra	Legno bianco		0,8
Vetro	Vetro singolo	0,88	

Figura 47 - Tabella con informazioni sui materiali utilizzati per il laboratorio di post-produzione situato a nord-est del secondo piano.



Figura 48 - Foto 1 dell'interno del laboratorio di post-produzione, situato a nord-est del secondo piano.



Figura 49 - Foto 2 e 3 dell'interno del laboratorio di post-produzione, situato a nord-est del secondo piano.

**Pianta e sezioni 1:100**

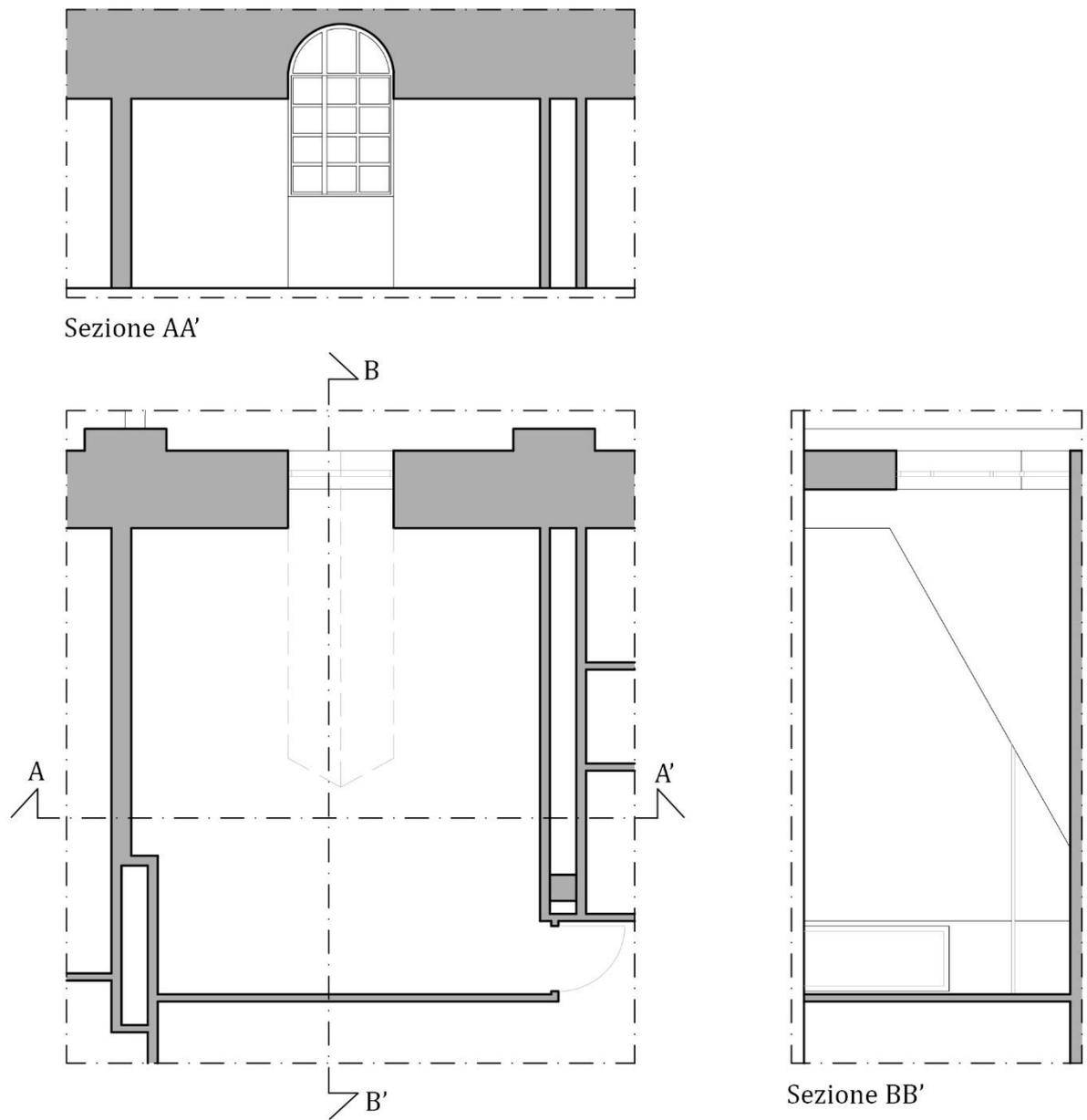


Figura 50 - Pianta e sezioni in scala 1:100 del laboratorio di post-produzione, situato a nord-est del secondo piano.

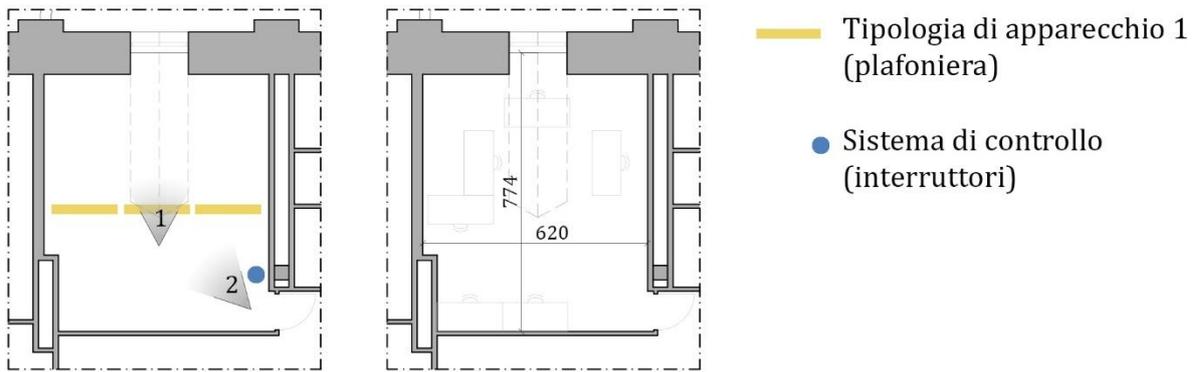
**Piante e sezioni 1:200**

Figura 51 - Piante in scala 1:200 con posizione degli apparecchi e degli interruttori, con ottico delle foto, posizione dei banchi e quote del laboratorio di post-produzione, situato a nord-est del secondo piano.

**Caratteristiche locali:**

- Esposizione: singola (nord-est)
- Numero aperture: 1
- Superficie: 40,0 m<sup>2</sup>
- Controsoffittatura: sì (doghe metalliche)
- Numero apparecchi: 3
- Presenza di diverse tipologie di apparecchi: no
- Tipologia di apparecchi: apparecchio illuminante a plafone ip65
- Numero di lampade (per ogni apparecchio): 2x23W
- Tipologia di lampada: lampada fluorescente
- Numero apparecchi di emergenza: 1
- Sistema di controllo: manuale, interno al locale

**Problematiche locali:**

- Assenza di schermature adatte all'esposizione dell'ambiente e alla tipologia di attività svolta al suo interno
- Posizionamento apparecchi di illuminazione
- Sistema di controllo manuale, interno all'ambiente

**Verifica rapporto aeroilluminante:**

$$\frac{A_f}{A_p} > \frac{1}{8}$$

$$\frac{A_f}{A_p} = \frac{4,1}{40} = 0,10$$

**[NON VERIFICATO]**

**Riassunto valori**

<b>Parametro</b>	<b>Valore</b>	<b>Valore considerato accettabile</b>
DA [%]	10,2%	40% < DA < 60%
DAcon [%]	33,1%	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	34,6%	> 80%
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	9%	> 55%
FLDm [%]	0,8%	> 3%

Tabella 13 - Tabella riassunto valori calcolati per il laboratorio di post-produzione, situato a nord-est del secondo piano.

## Secondo piano (sottotetto): sala conferenza sud-ovest

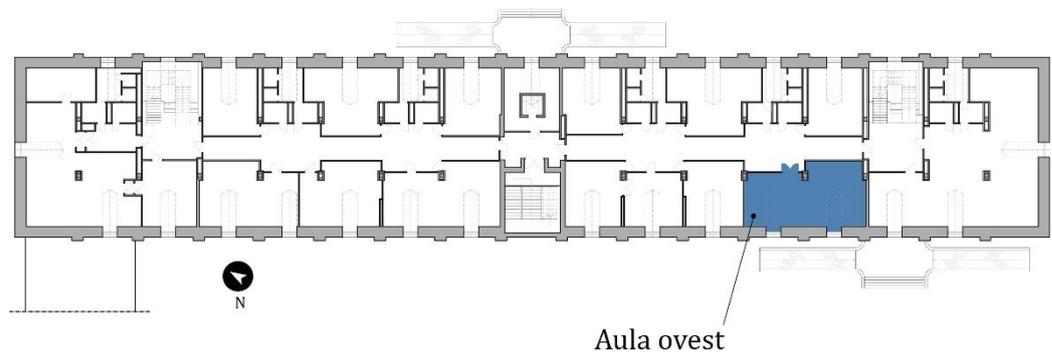


Figura 52 – Navigatore fuori scala del secondo piano.

### Tabella materiali utilizzati

Elemento	Materiale	Trasmissione	Riflessione
Pareti aula	Intonaco giallo		0,63
Parete di fondo	Intonaco azzurro scuro		0,52
Pareti esterne	Intonaco bianco		0,7
Soffitto	Intonaco bianco		0,7
Controsoffitto	Lamelle metalliche		0,5
Pavimento	Piastrelle in ceramica marrone scuro		0,1
Telaio finestra	Legno bianco		0,8
Vetro	Vetro singolo	0,88	

Figura 53 - Tabella con informazioni sui materiali utilizzati per la sala conferenze, situata a sud-ovest del secondo piano.



Figura 54 - Foto 1 dell'interno della sala conferenze, situata a sud-ovest del secondo piano.



Figura 55 - Foto 2 dell'interno della sala conferenze, situata a sud-ovest del secondo piano.

**Pianta e sezioni 1:100**

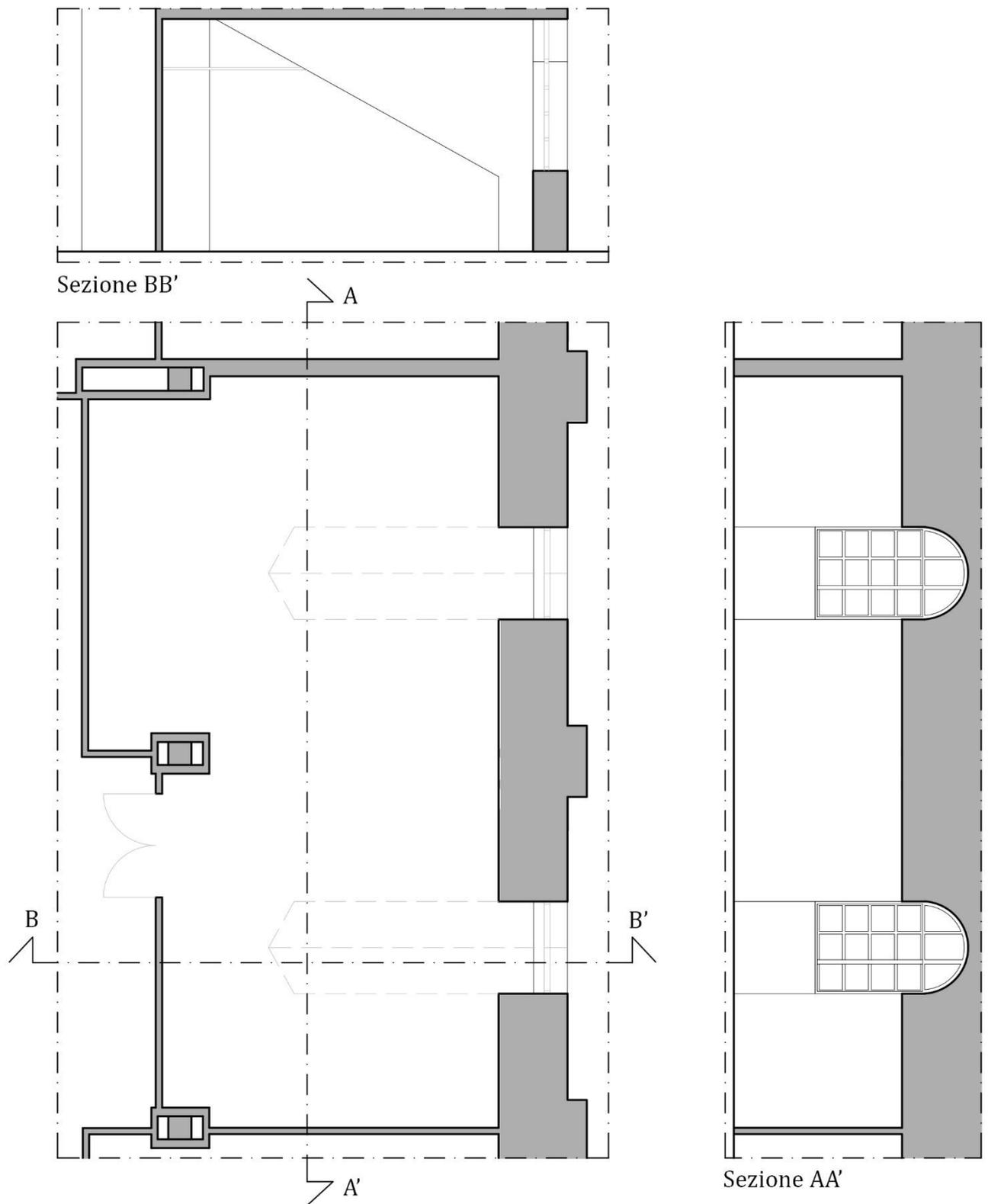


Figura 56 - Pianta e sezioni in scala 1:100 della sala conferenze, situata a sud-ovest del secondo piano.

### Pianta e sezioni 1:200

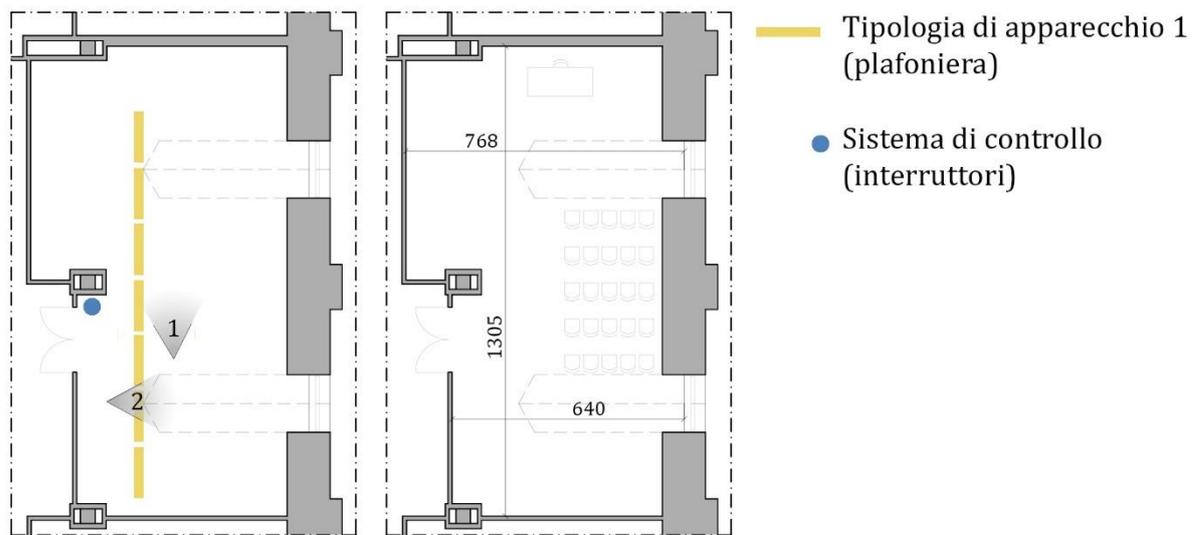


Figura 57 - Pianta in scala 1:200 con posizione degli apparecchi e degli interruttori, con ottico delle foto, posizione dei banchi e quote della sala conferenze, situata a sud-ovest del secondo piano.

#### Caratteristiche locale:

- Esposizione: singola (sud-ovest)
- Numero aperture: 2
- Superficie: 88 m<sup>2</sup>
- Controsoffittatura: sì (doghe metalliche)
- Numero apparecchi: 7
- Compresenza di diverse tipologie di apparecchi: no
- Tipologia di apparecchi: apparecchio illuminante a plafone ip65
- Numero di lampade (per ogni apparecchio): 2x23W
- Tipologia di lampada: lampada fluorescente
- Numero apparecchi di emergenza: 2
- Sistema di controllo: manuale, interno al locale

**Problematiche locale:**

- Assenza di schermature adatte all'esposizione dell'ambiente e alla tipologia di attività svolta al suo interno
- Posizionamento apparecchi di illuminazione
- Sistema di controllo manuale, interno all'ambiente
- Mancanza di controllo centralizzato dell'intero locale (più punti di controllo diffusi)

**Verifica rapporto aeroilluminante:**

$$\frac{A_f}{A_p} > \frac{1}{8}$$

$$\frac{A_f}{A_p} = \frac{4,1 \cdot 2}{88} = 0,09$$

**[NON VERIFICATO]**

**Riassunto valori**

Parametro	Valore	Valore considerato accettabile
DA [%]	24,5%	40% < DA < 60%
DAcon [%]	49,3%	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	53,7%	> 80%
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	16%	> 55%
FLDm [%]	0,8%	> 3%

Tabella 14 - Tabella riassunto valori calcolati per la sala conferenze, situata a sud-ovest del secondo piano.

### 5.3. Conclusioni analisi stato di fatto (alla scala dell'edificio)

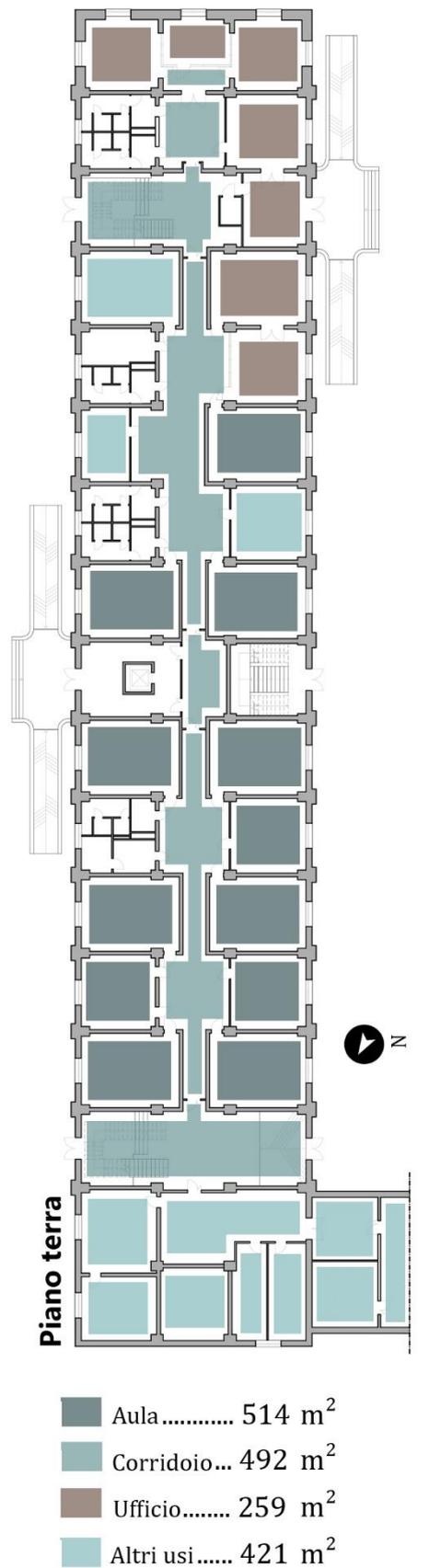


Figura 58 - Indicazione della Superficie totale degli ambienti del piano terra suddivisi per tipologia.

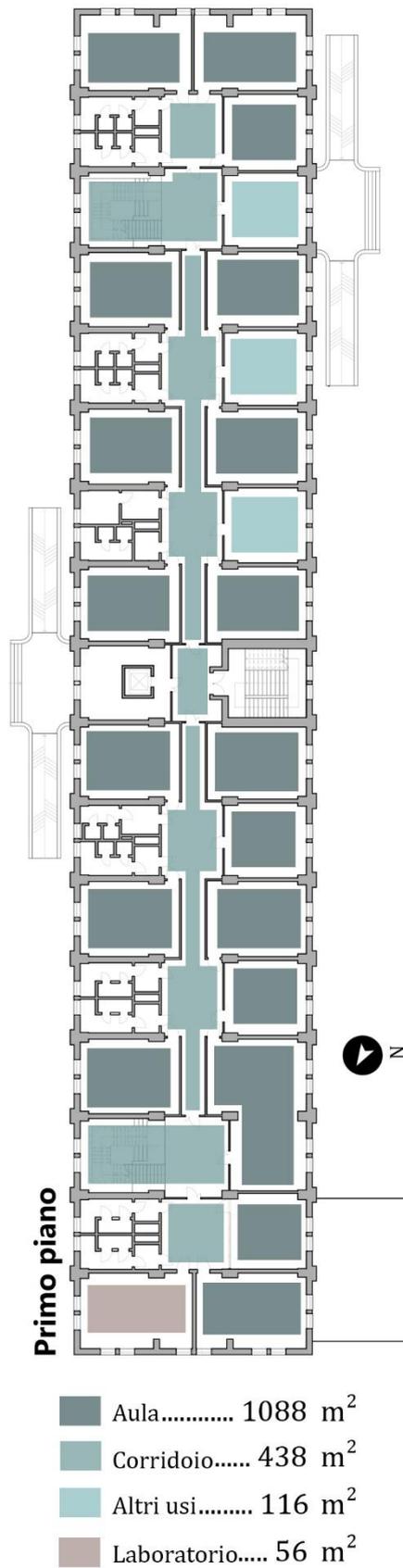


Figura 59 - Indicazione della Superficie totale degli ambienti del primo piano suddivisi per tipologia.

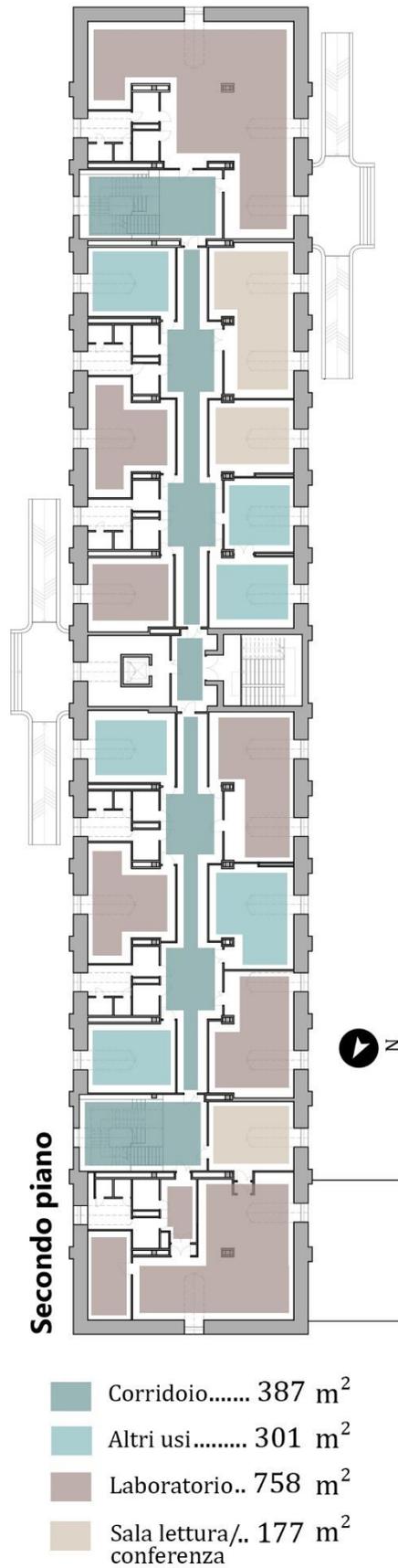


Figura 60 - Indicazione della Superficie totale degli ambienti del secondo piano suddivisi per tipologia.

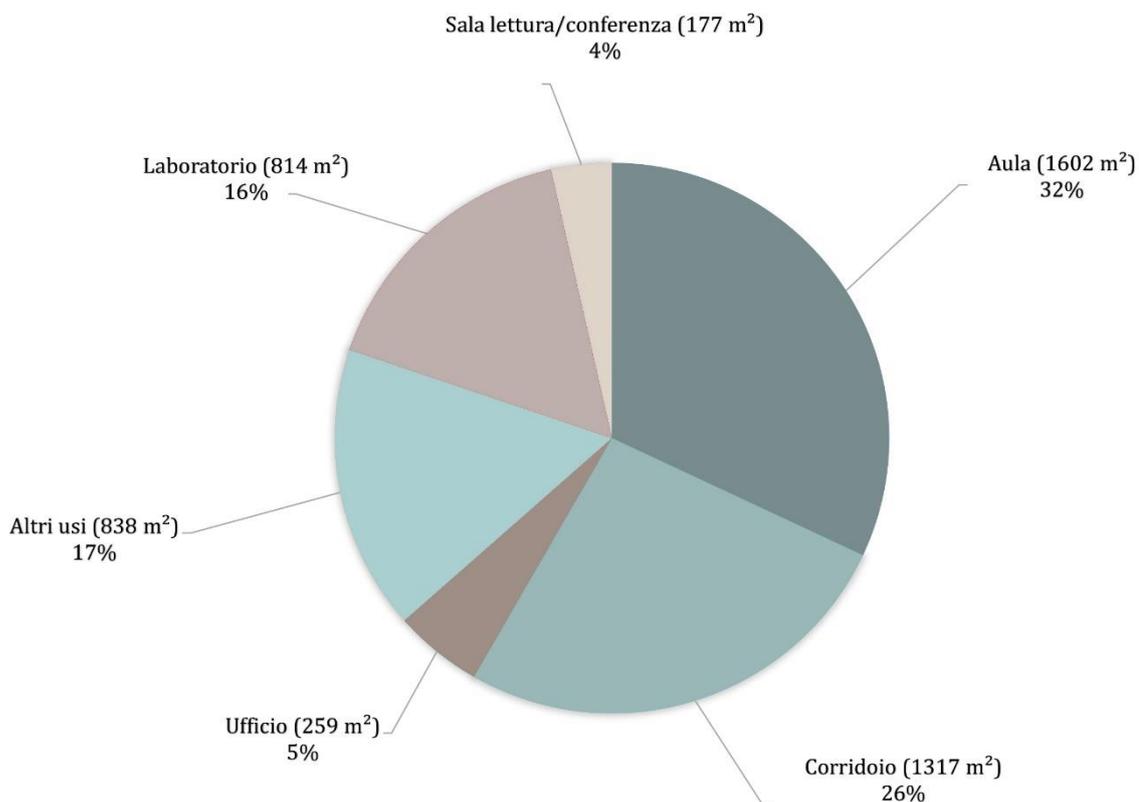


Figura 61 – Grafico delle percentuali delle metrature degli ambienti dell'intero edificio suddivisi per tipologia.

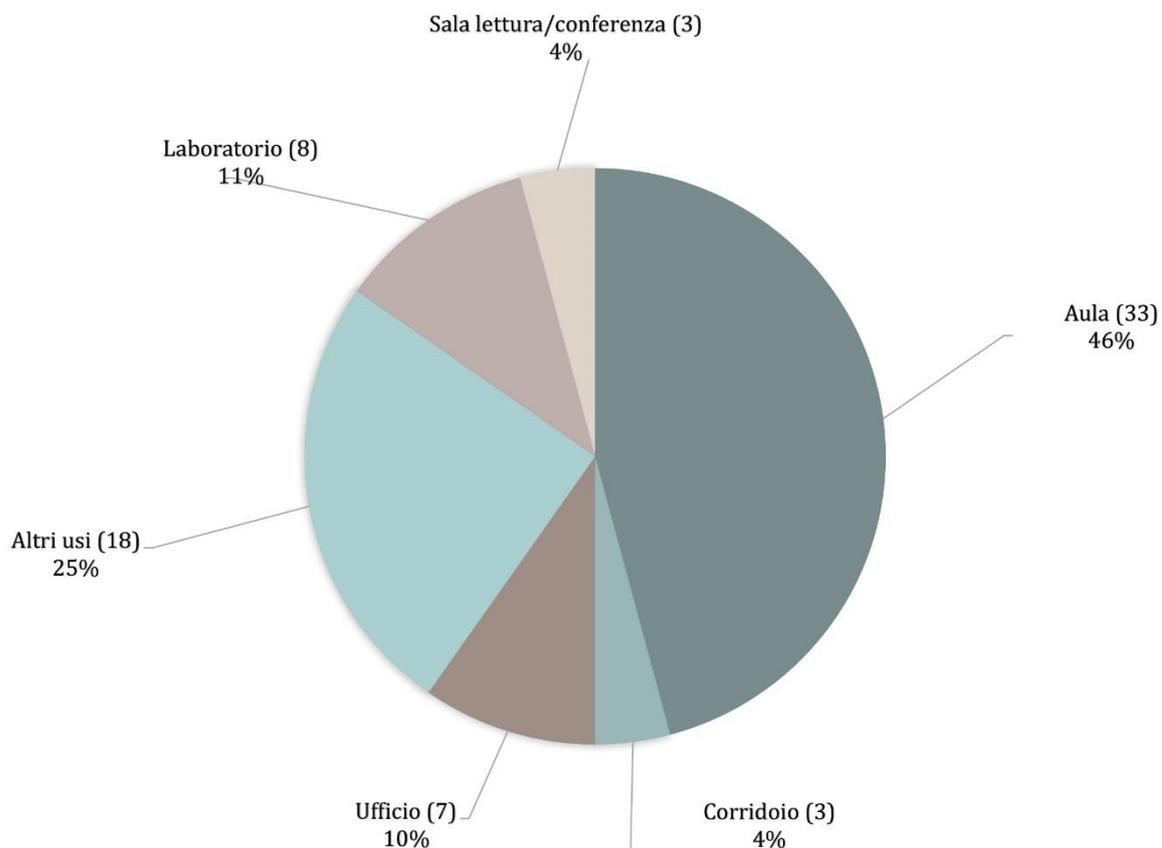


Figura 62 – Grafico delle percentuali del numero totale di ambienti dell'intero edificio suddivisi per tipologia.

### 5.3.1. Analisi illuminazione naturale

Come prima parte dell'analisi dell'illuminazione naturale è stata effettuata la classificazione delle aperture in base al piano di appartenenza.

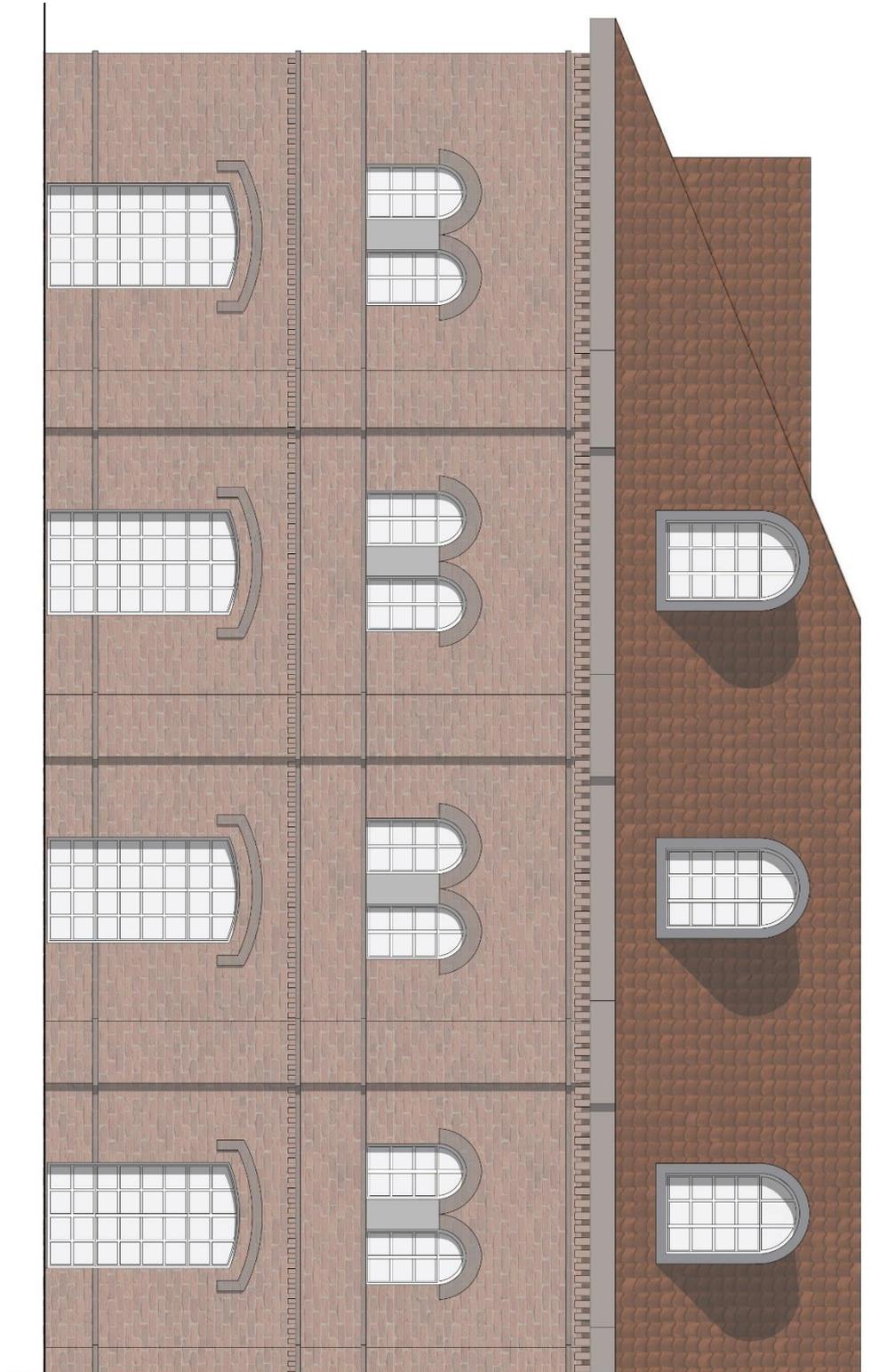


Figura 63 - Prospetto nord-est fuori scala.

## Analisi aperture piano terra

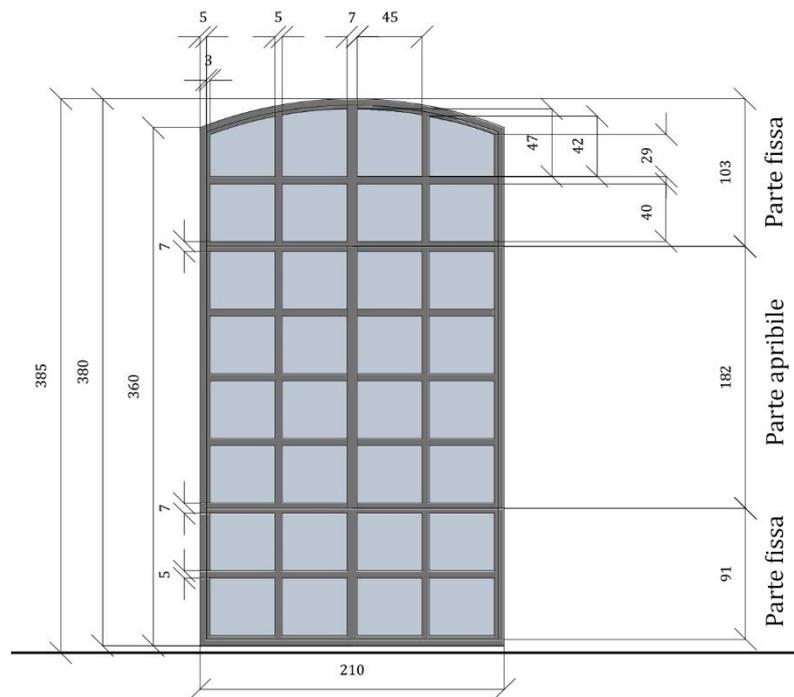


Figura 64 – Prospetto in scala 1:50 della tipologia di finestra caratteristica del piano terra.

### Analisi della percentuale delle superfici dell'apertura:

- Area totale = 7,8 m<sup>2</sup>
- Area superficie vetrata = 5,8 m<sup>2</sup>
- Area telaio = 2 m<sup>2</sup>

### Analisi della tipologia di materiali dei componenti:

- Tipologia vetro: singolo
- Materiale telaio: legno

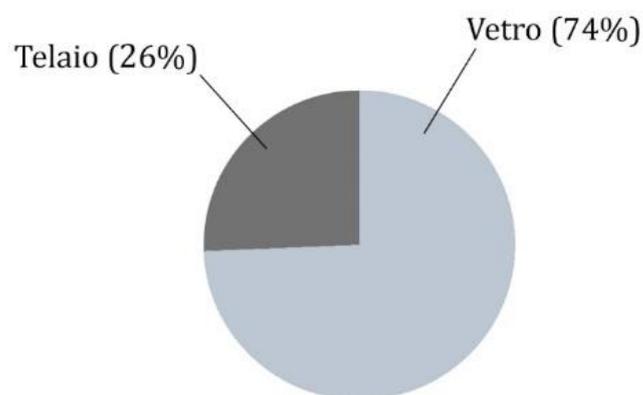


Figura 65 - Grafico con percentuale di telaio e vetro rispetto al totale della superficie.

### Analisi aperture primo piano

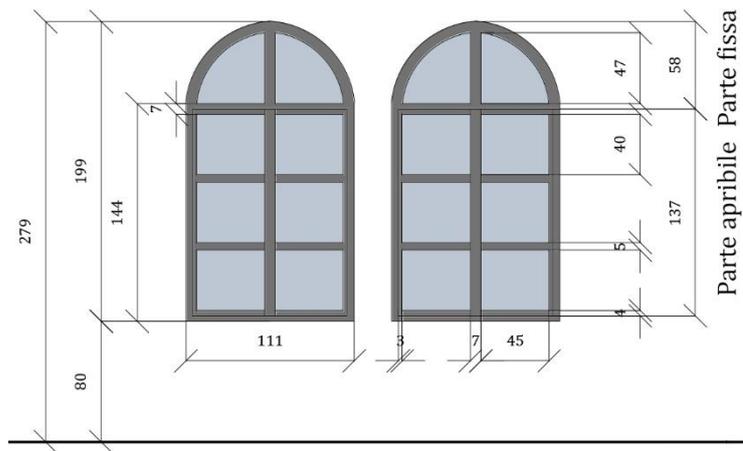


Figura 66 - Prospetto in scala 1:50 della tipologia di aperture caratteristica del primo piano.

### Analisi della percentuale delle superfici dell'apertura (singola finestra):

- Area totale = 2,1 m<sup>2</sup>
- Area superficie vetrata = 1,4 m<sup>2</sup>
- Area telaio = 0,7 m<sup>2</sup>

### Analisi della tipologia di materiali dei componenti:

- Tipologia vetro: singolo
- Materiale telaio: legno

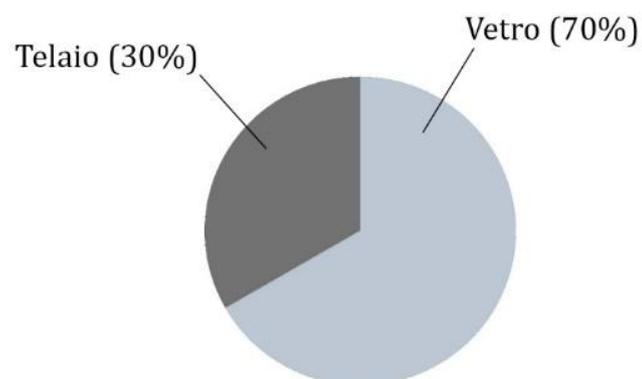


Figura 67 - Grafico con percentuale di telaio e vetro rispetto al totale della superficie.

### Analisi aperture secondo piano (sottotetto)

Questa tipologia di apertura è utilizzata nell'ultimo piano dell'edificio, ossia il sottotetto, all'interno della struttura ad abbaino.

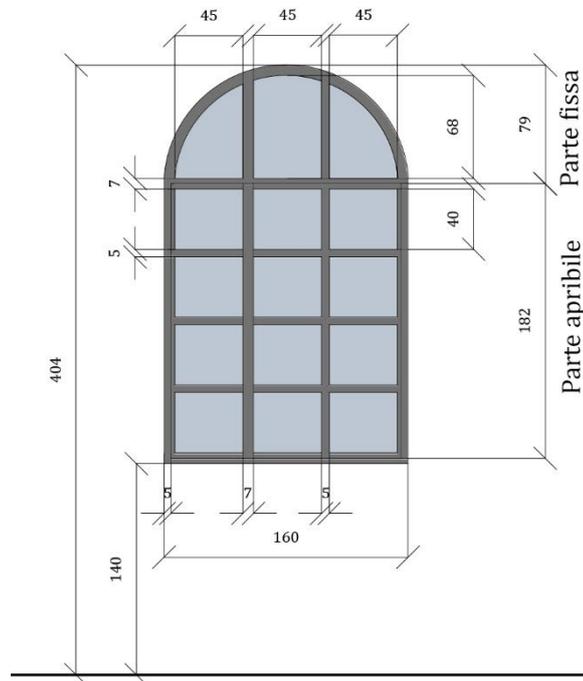


Figura 68 - Prospetto in scala 1:50 della tipologia di aperture caratteristica del primo piano.

### Analisi della percentuale delle superfici dell'apertura:

- Area totale = 4,1 m<sup>2</sup>
- Area superficie vetrata = 2,8 m<sup>2</sup>
- Area telaio = 1,3 m<sup>2</sup>

### Analisi della tipologia di materiali dei componenti:

- Tipologia vetro: singolo
- Materiale telaio: legno

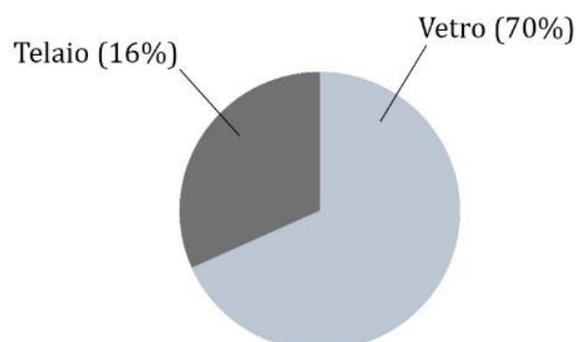


Figura 69 - Grafico con percentuale di quantità telaio e vetro rispetto al totale della superficie.

### 5.3.1.1. Analisi problematica abbagliamento

#### Piano terra

Esposizione NORD-EST

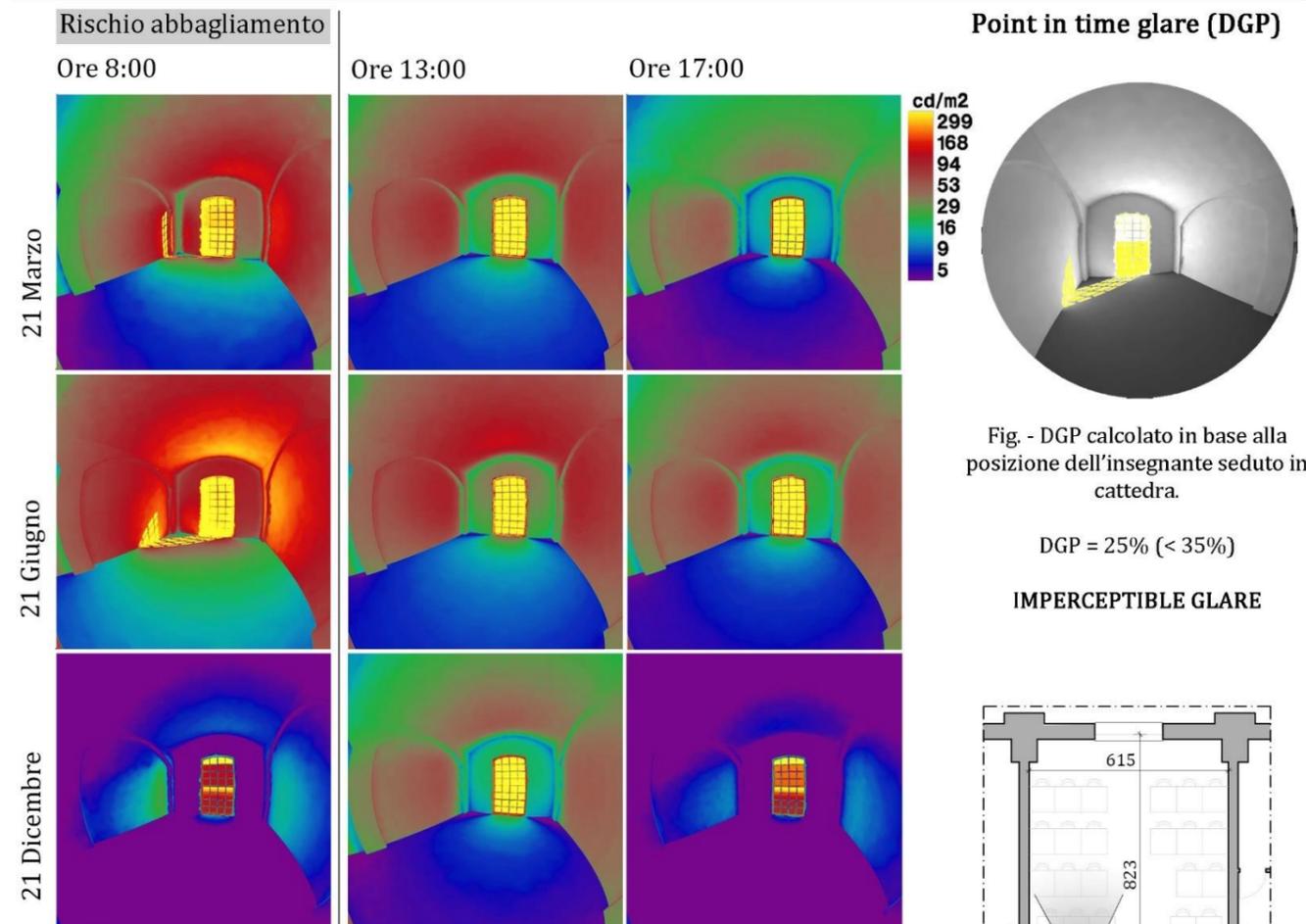


Fig. - Distribuzione della luminanza calcolata dalla parete di fondo dell'ambiente.

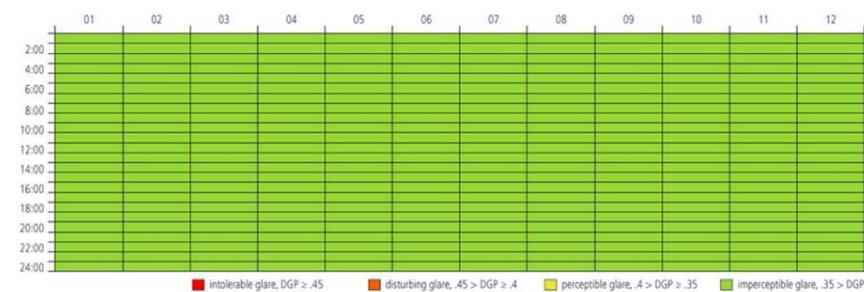


Fig. - Grafico del DGP calcolato su base annua nella posizione dell'insegnante seduto in cattedra.

Esposizione SUD-OVEST

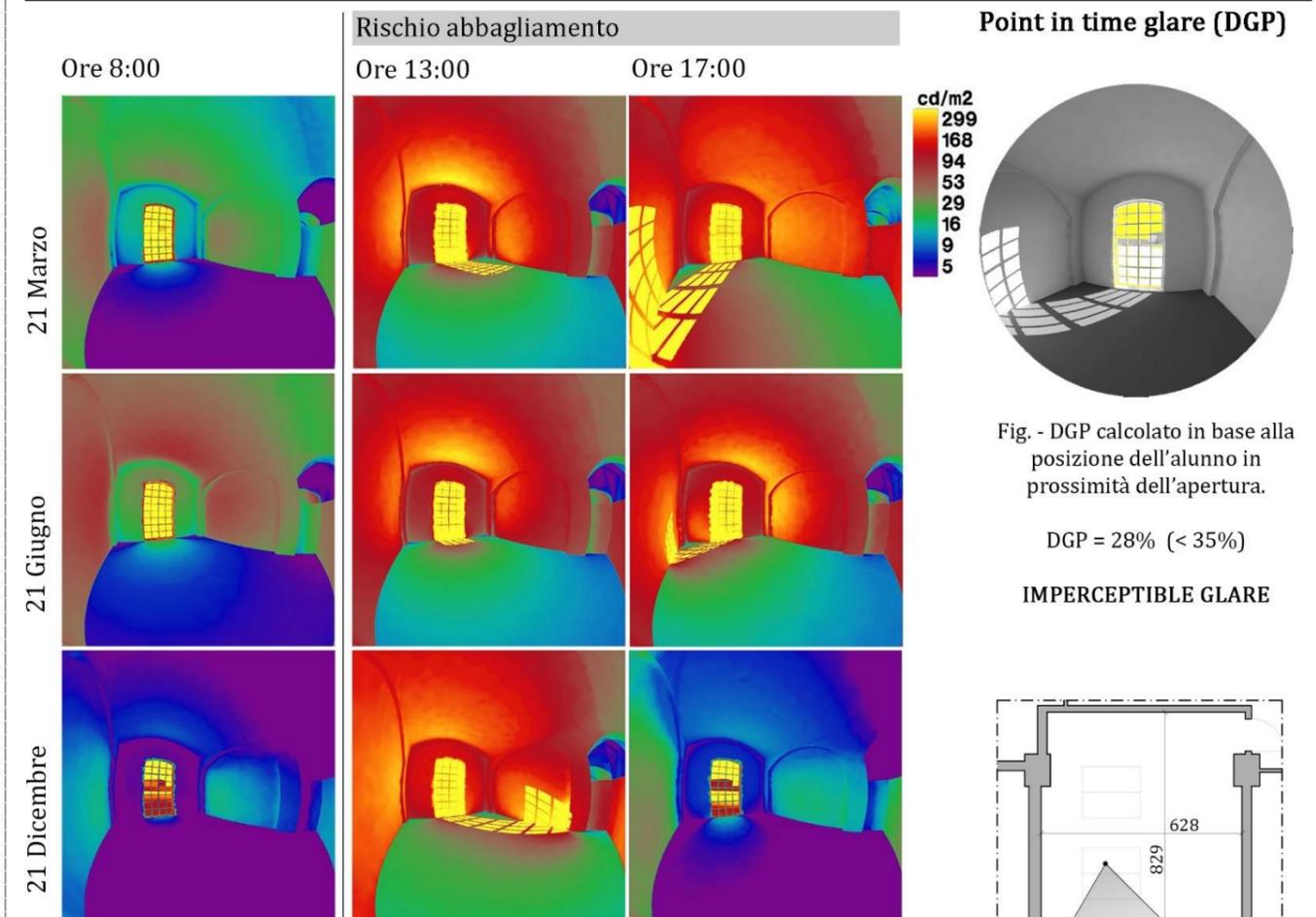


Fig. - Distribuzione della luminanza calcolata dalla parete di fondo dell'ambiente.

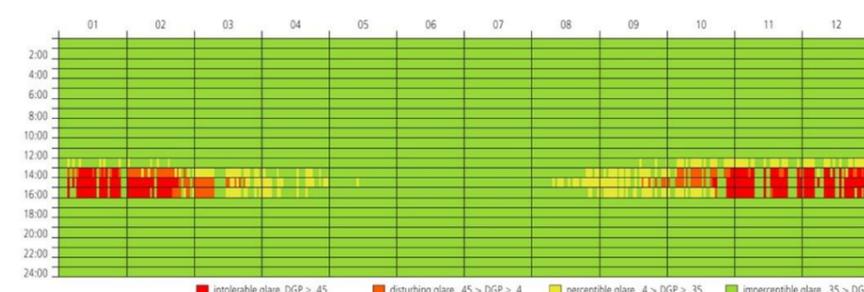


Fig. - Grafico del DGP calcolato su base annua nella posizione di un alunno prossimo all'apertura.

**Primo piano**

**Esposizione NORD-EST**

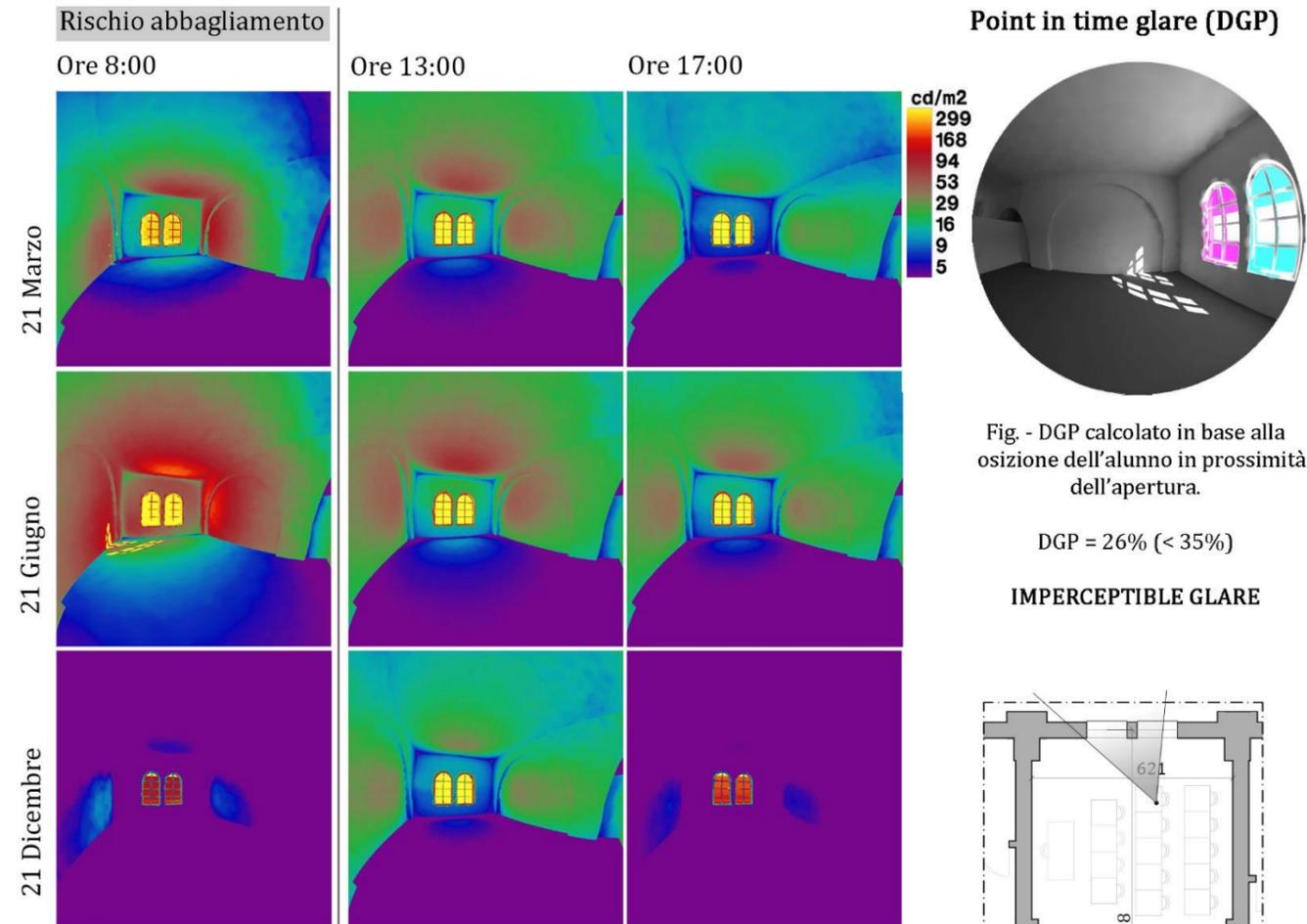


Fig. - Distribuzione della luminanza calcolata dalla parete di fondo dell'ambiente.

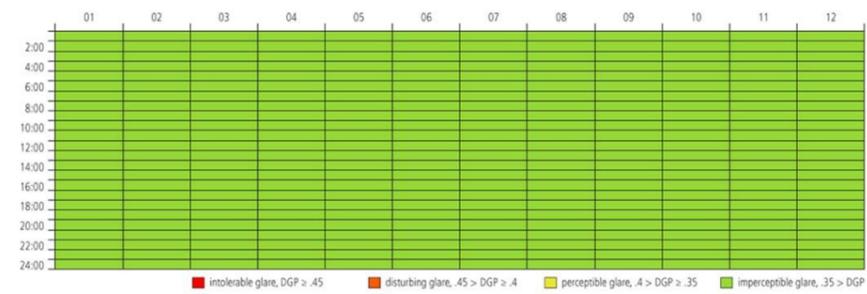


Fig. - Grafico del DGP calcolato su base annua nella posizione di un alunno prossimo all'apertura.

**Esposizione SUD-OVEST**

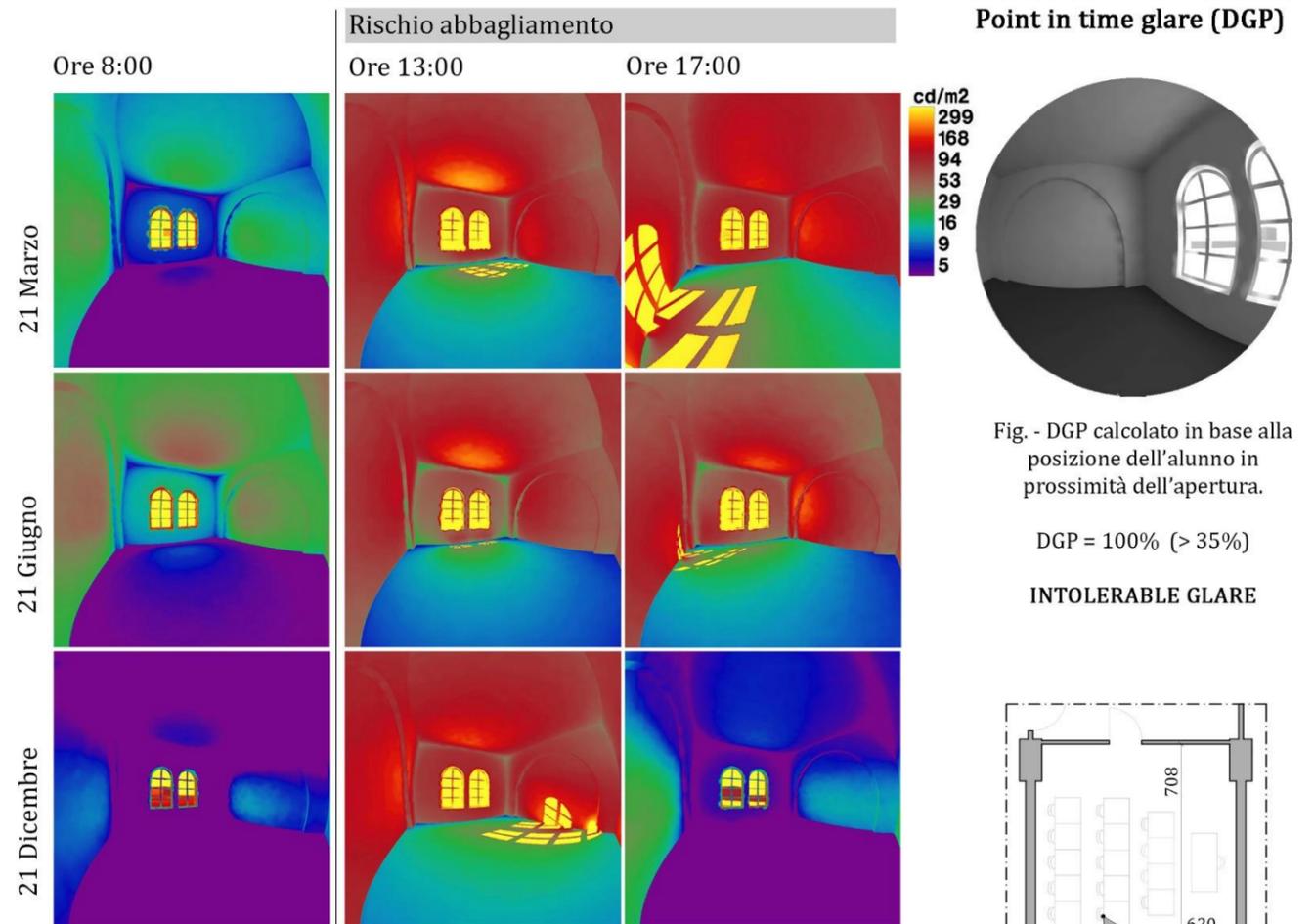


Fig. - Distribuzione della luminanza calcolata dalla parete di fondo dell'ambiente.

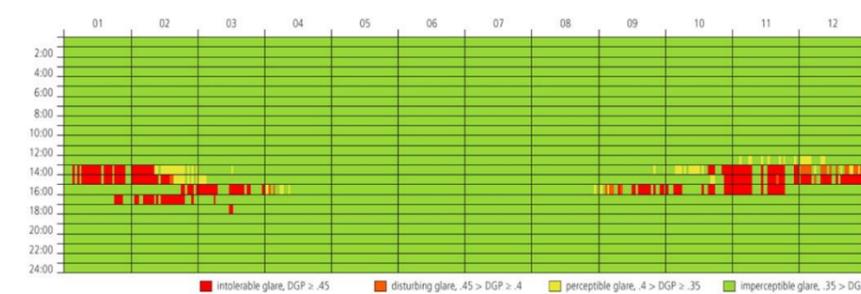


Fig. - Grafico del DGP calcolato su base annua nella posizione di un alunno prossimo all'apertura.

Secondo piano

Esposizione NORD-EST

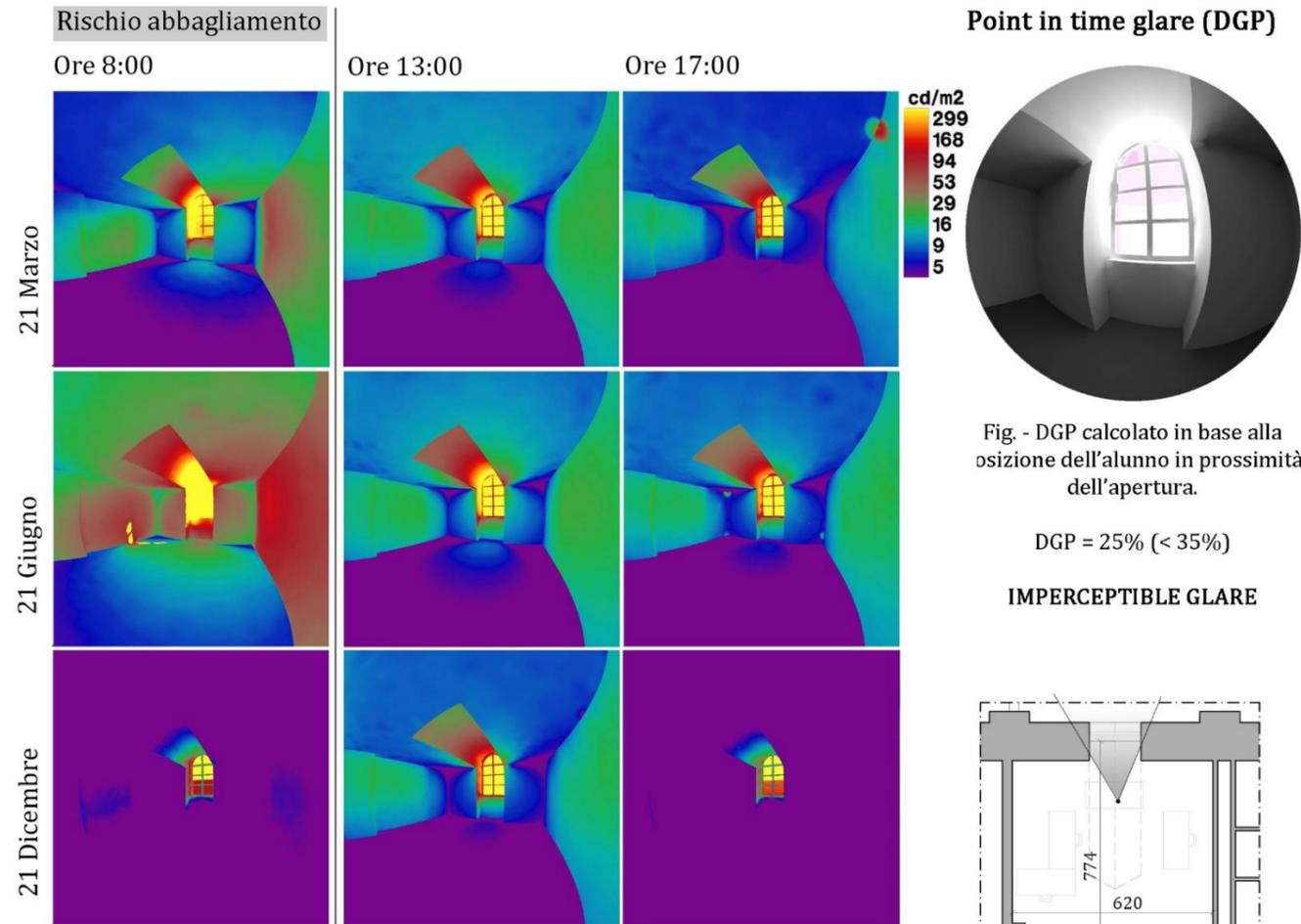


Fig. - Distribuzione della luminanza calcolata dalla parete di fondo dell'ambiente.

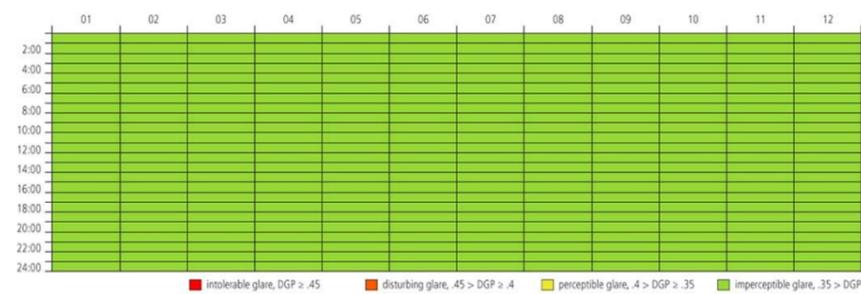


Fig. - Grafico del DGP calcolato su base annua nella posizione di un alunno prossimo all'apertura.

Esposizione SUD-OVEST

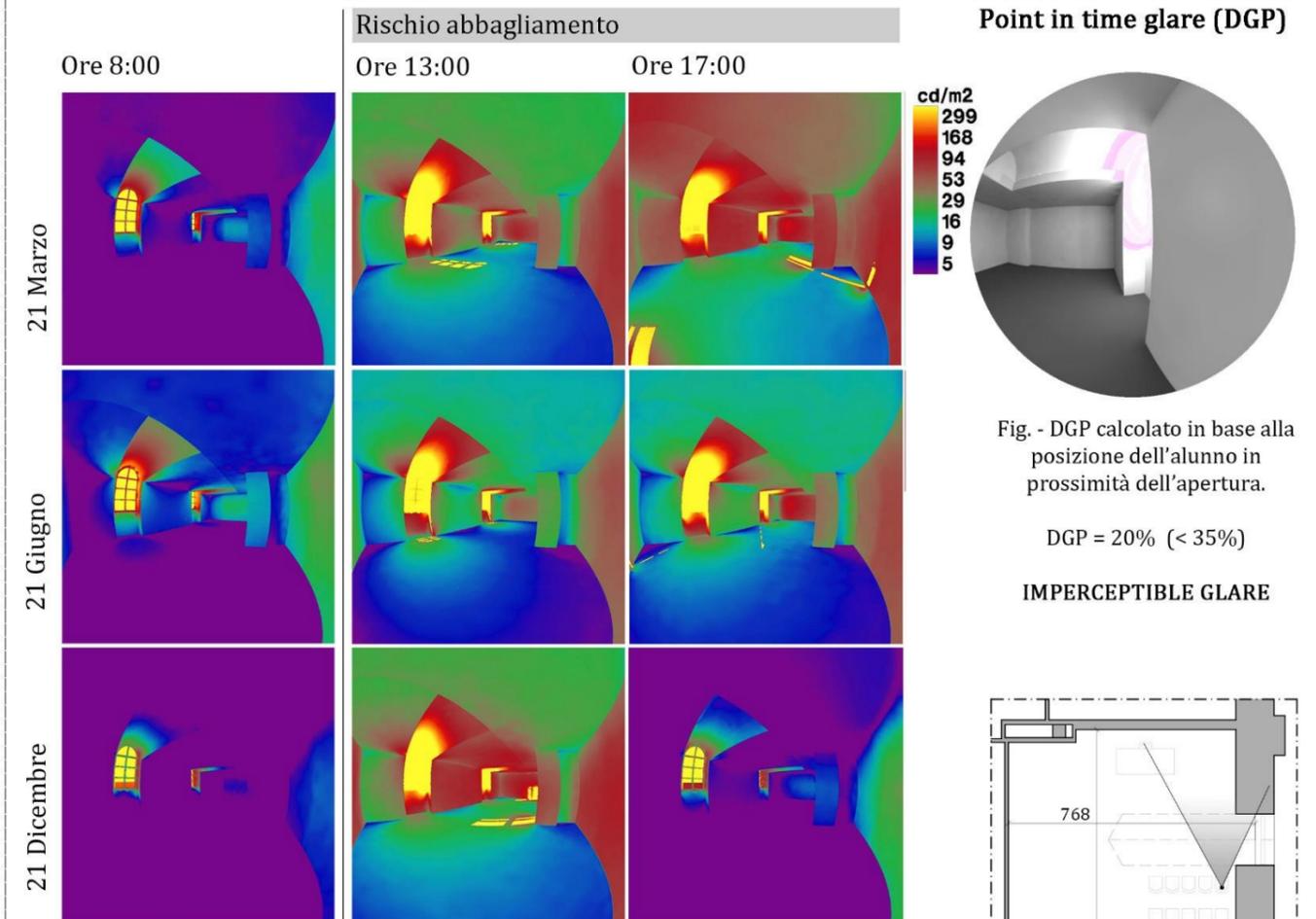


Fig. - Distribuzione della luminanza calcolata dalla parete di fondo dell'ambiente.

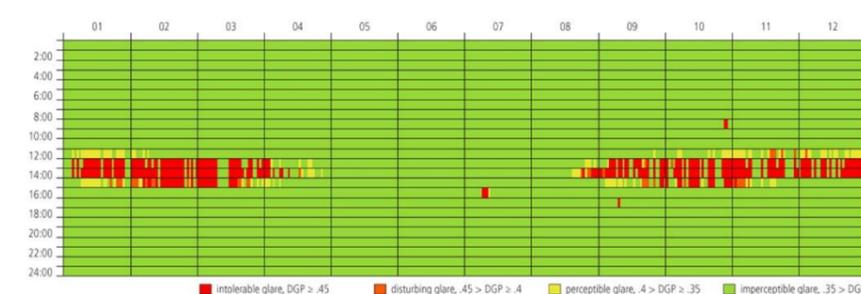


Fig. - Grafico del DGP calcolato su base annua nella posizione di una persona prossima all'apertura.

**Conclusioni problematica abbagliamento (stato di fatto)**

Come dimostrano le simulazioni condotte e sopra riportate, il lato nord-est dell'edificio non presenta condizioni di abbagliamento se non per alcuni istanti temporali calcolati in base al parametro della luminanza. Questo però non incide sulla stima della probabilità di abbagliamento in quanto il grafico del DGP, calcolato su base annua, non evidenzia alcuna presenza di abbagliamento.

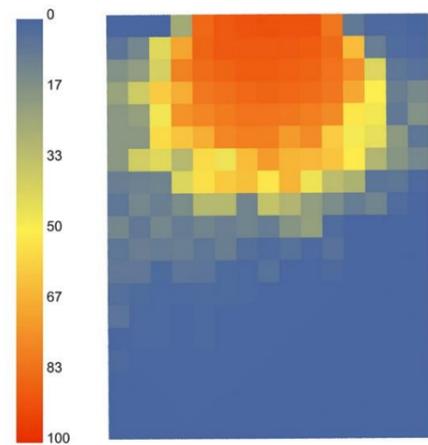
Per il lato sud-ovest, invece, la situazione è diversa in quanto la posizione molto inclinata del sole genera la possibilità di abbagliamento nelle ultime due fasce orarie analizzate, ossia dalle 13 alle 17. Oltre alle immagini della luminanza, per tutti i piani dell'edificio il grafico del DGP su base annua dimostra la presenza di abbagliamento intollerabile in determinati orari della giornata. È possibile inoltre notare che questa presenza di abbagliamento, sempre riferita al lato sud-ovest, si riduce man mano che si sale dal piano terra verso l'ultimo piano, per via della conformazione delle aperture che è diversa per ciascun piano e delle loro dimensioni che si riducono a partire dal piano terra (finestre più grandi) fino al sottotetto (abbaini).

### 5.3.1.2. Analisi quantità di luce

#### Piano terra

##### Esposizione NORD-EST

% Ore occupate



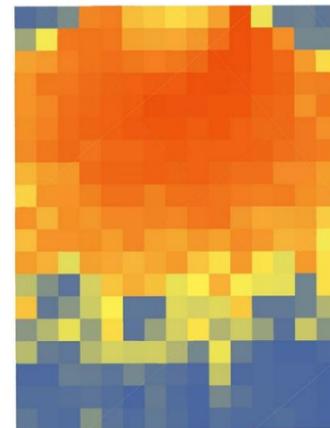
**Daylight Autonomy (DA)**

Target = 300 lux

DA = 22,8 %

**Spatial daylight Autonomy (SDA)**

SDA = 23 %



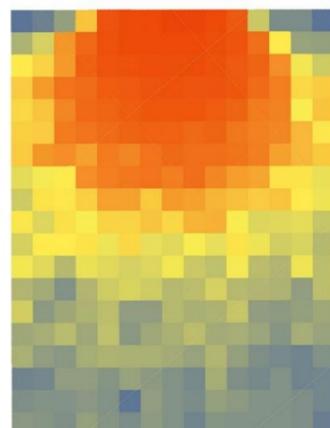
**Useful Daylight Autonomy (UDI)**

Target = 300 lux

UDI<sub><100</sub> = 44,8 %

UDI<sub>100-2000</sub> = 53,6 %

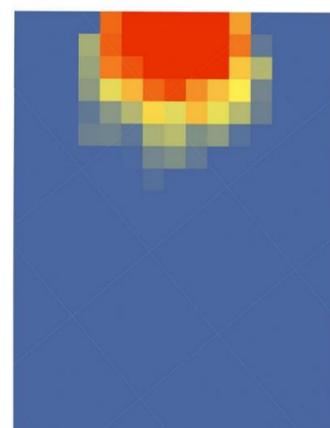
UDI<sub>>2000</sub> = 1,6 %



**Continuous daylight Autonomy (DAcon)**

Target = 300 lux

DAcon = 48,5 %



**Fattore di Luce Diurna (FLD)**

FLDm = 1,5 %

**Percentuale area ambiente**

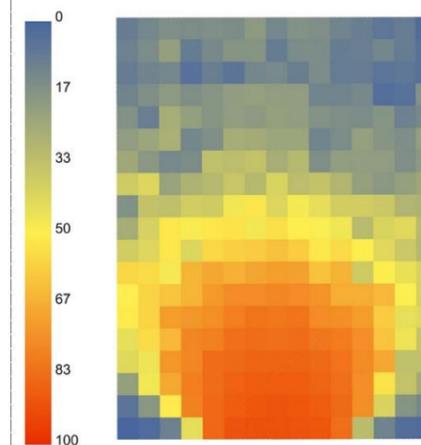
FLD<sub><2</sub> = 80,4 %

FLD<sub>2-6</sub> = 14,7 %

FLD<sub>>6</sub> = 4,9 %

##### Esposizione SUD-OVEST

% Ore occupate



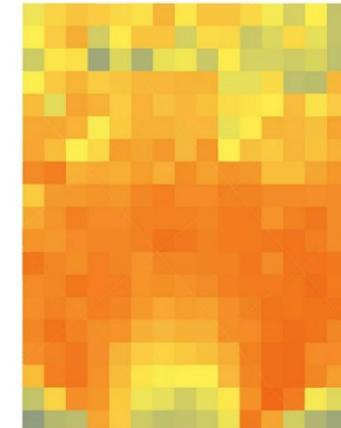
**Daylight Autonomy (DA)**

Target = 300 lux

DA = 40,5 %

**Spatial daylight Autonomy (SDA)**

SDA = 36 %



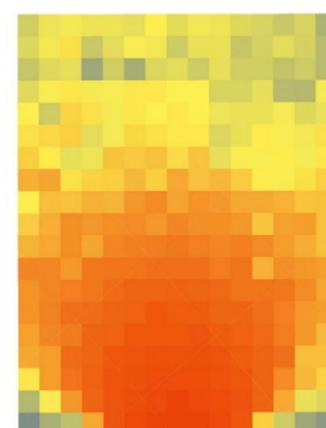
**Useful Daylight Autonomy (UDI)**

Target = 300 lux

UDI<sub><100</sub> = 28,2 %

UDI<sub>100-2000</sub> = 64,7 %

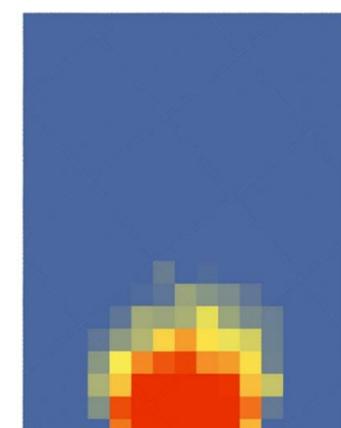
UDI<sub>>2000</sub> = 7,1 %



**Continuous daylight Autonomy (DAcon)**

Target = 300 lux

DAcon = 63,8 %



**Fattore di Luce Diurna (FLD)**

FLDm = 1,7 %

**Percentuale area ambiente**

FLD<sub><2</sub> = 79,3 %

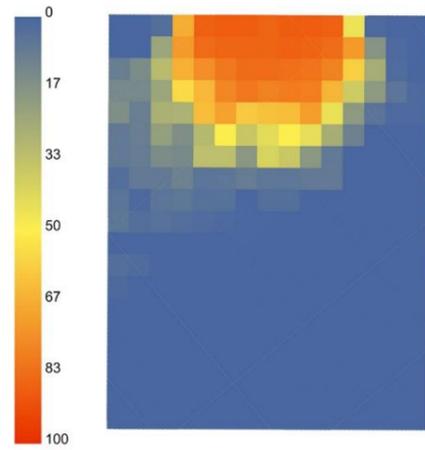
FLD<sub>2-6</sub> = 15,8 %

FLD<sub>>6</sub> = 4,9 %

**Primo piano**

Esposizione NORD-EST

% Ore occupate



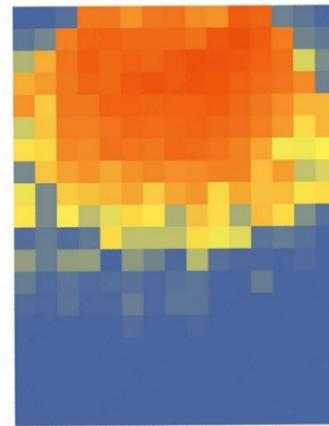
**Daylight Autonomy (DA)**

Target = 300 lux

DA = 14,8 %

**Spatial daylight Autonomy (SDA)**

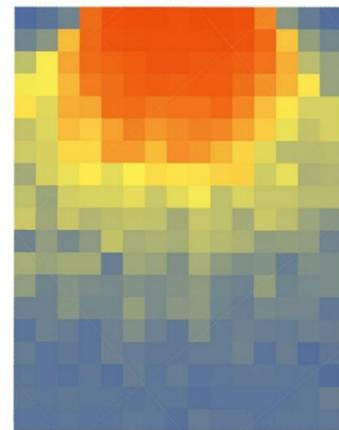
SDA = 14 %



**Useful Daylight Autonomy (UDI)**

Target = 300 lux

UDI<sub><100</sub> = 63,0 %  
 UDI<sub>100-2000</sub> = 36,3 %  
 UDI<sub>>2000</sub> = 0,7 %



**Continuous daylight Autonomy (DAcon)**

Target = 300 lux

DAcon = 34,6 %



**Fattore di Luce Diurna (FLD)**

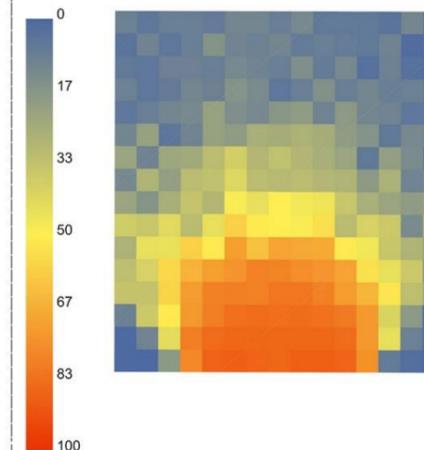
FLDm = 0,9 %

**Percentuale area ambiente**

FLD<sub><2</sub> = 86,3 %  
 FLD<sub>2-6</sub> = 11,2 %  
 FLD<sub>>6</sub> = 2,5 %

Esposizione SUD-OVEST

% Ore occupate



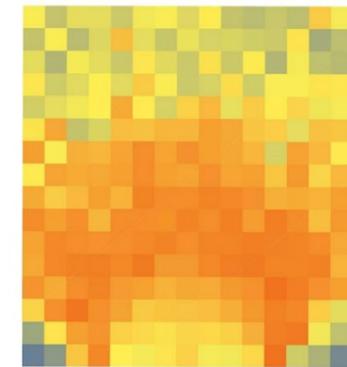
**Daylight Autonomy (DA)**

Target = 300 lux

DA = 32,5 %

**Spatial daylight Autonomy (SDA)**

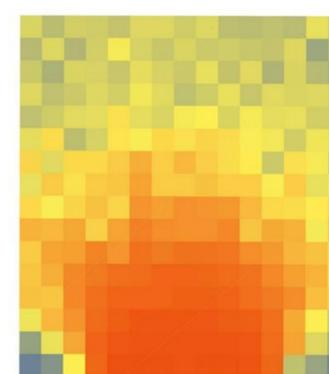
SDA = 25 %



**Useful Daylight Autonomy (UDI)**

Target = 300 lux

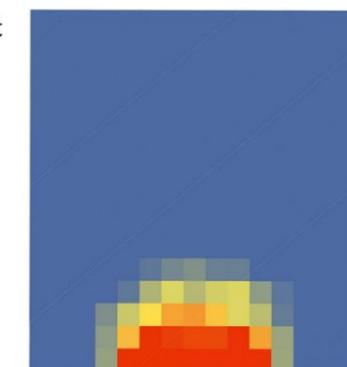
UDI<sub><100</sub> = 34,8 %  
 UDI<sub>100-2000</sub> = 59,6 %  
 UDI<sub>>2000</sub> = 5,6 %



**Continuous daylight Autonomy (DAcon)**

Target = 300 lux

DAcon = 57,3 %



**Fattore di Luce Diurna (FLD)**

FLDm = 1,2 %

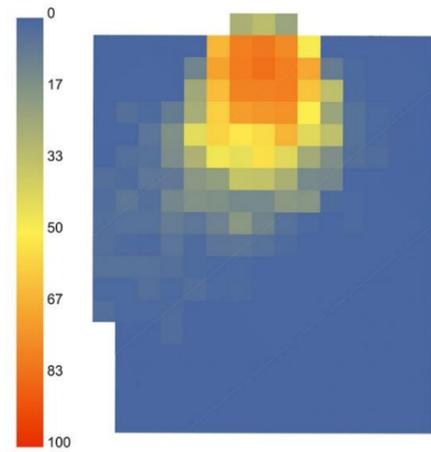
**Percentuale area ambiente**

FLD<sub><2</sub> = 83,3 %  
 FLD<sub>2-6</sub> = 13,4 %  
 FLD<sub>>6</sub> = 3,3 %

**Secondo piano**

**Esposizione NORD-EST**

% Ore occupate



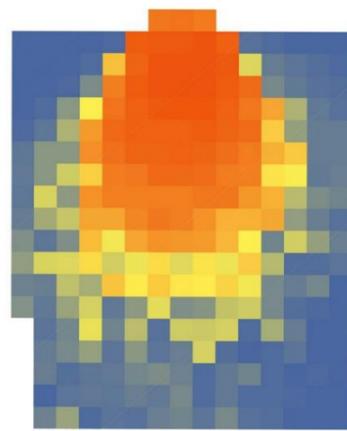
**Daylight Autonomy (DA)**

Target = 300 lux

DA = 10,2 %

**Spatial daylight Autonomy (SDA)**

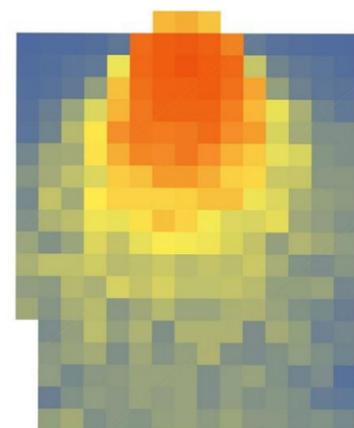
SDA = 9 %



**Useful Daylight Autonomy (UDI)**

Target = 300 lux

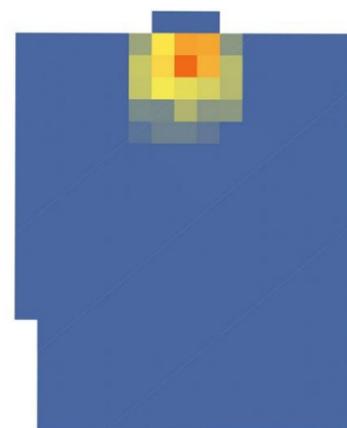
UDI<sub><100</sub> = 65,3 %  
 UDI<sub>100-2000</sub> = 34,6 %  
 UDI<sub>>2000</sub> = 0,1 %



**Continuous daylight Autonomy (DAcon)**

Target = 300 lux

DAcon = 33,1 %



**Fattore di Luce Diurna (FLD)**

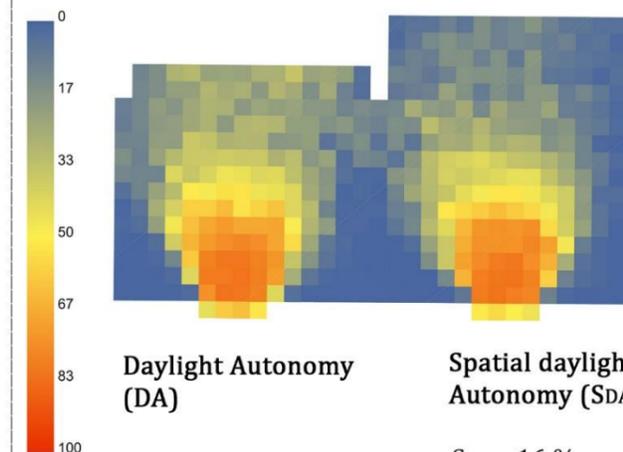
FLD<sub>m</sub> = 0,8 %

**Percentuale area ambiente**

FLD<sub><2</sub> = 91 %  
 FLD<sub>2-6</sub> = 9 %  
 FLD<sub>>6</sub> = 0 %

**Esposizione SUD-OVEST**

% Ore occupate



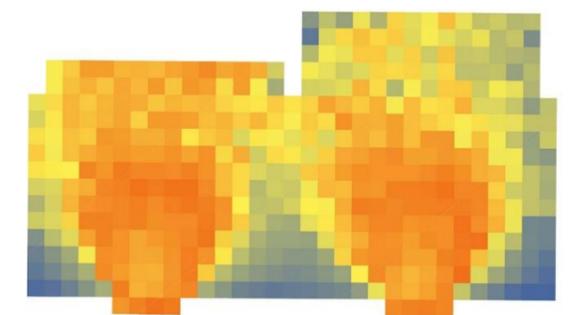
**Daylight Autonomy (DA)**

Target = 300 lux

DA = 24,5 %

**Spatial daylight Autonomy (SDA)**

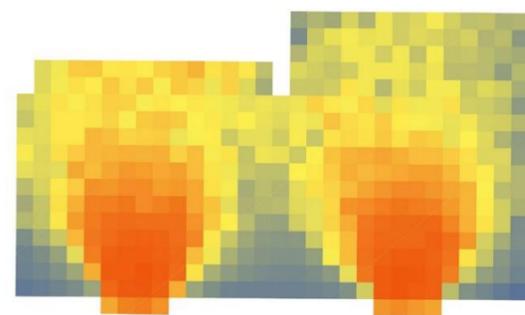
SDA = 16 %



**Useful Daylight Autonomy (UDI)**

Target = 300 lux

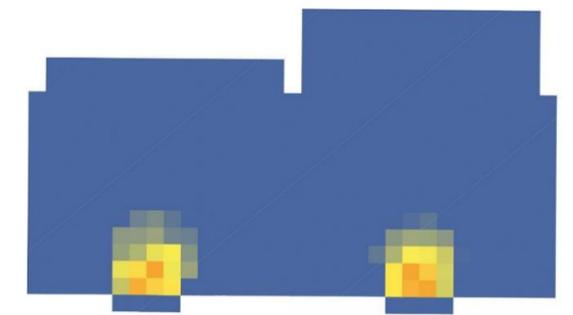
UDI<sub><100</sub> = 43,4 %  
 UDI<sub>100-2000</sub> = 53,7 %  
 UDI<sub>>2000</sub> = 2,9 %



**Continuous daylight Autonomy (DAcon)**

Target = 300 lux

DAcon = 49,3 %



**Fattore di Luce Diurna (FLD)**

FLD<sub>m</sub> = 0,8 %

**Percentuale area ambiente**

FLD<sub><2</sub> = 91,2 %  
 FLD<sub>2-6</sub> = 8,8 %  
 FLD<sub>>6</sub> = 0 %

### **Conclusione analisi quantità di luce (stato di fatto)**

Questa sequenza di simulazioni mette in evidenza la distribuzione in percentuale di ore occupate in cui il solo apporto di luce naturale raggiunge o supera il target imposto di 300 lux allo stato di fatto, ossia senza schermature.

Quello che risalta maggiormente è il fatto che tutti i sei ambienti presi in esame, a prescindere dall'esposizione a nord-est o a sud-ovest, risultano carenti in fatto di illuminazione naturale. Nessuno di essi, infatti, raggiunge i valori considerati indicativamente accettabili dei parametri dinamici analizzati: Daylight Autonomy, Continuous Daylight Autonomy, Spatial Daylight Autonomy e Useful Daylight Autonomy. Nemmeno i parametri del Fattore di Luce Diurna vengono soddisfatti.

### 5.3.2. Analisi illuminazione artificiale

Successivamente all'analisi dell'illuminazione naturale sono stati analizzati gli elementi componenti l'illuminazione artificiale. In particolar modo, sono state distinte quattro principali tipologie di apparecchi presenti all'interno dell'edificio.

In seguito, è stato effettuato il calcolo del LENI. Quest'analisi è servita per valutare il consumo energetico legato esclusivamente all'impianto di illuminazione artificiale allo stato di fatto, in modo tale che potesse venire poi confrontato con quello calcolato secondo le soluzioni adottate nell'ipotesi di progetto.

#### Tipologia di apparecchio 1 ■



Figura 70 – Immagine di un apparecchio appartenente alla tipologia 1.

Caratteristiche apparecchio:

- Tipologia apparecchio: apparecchio illuminante a plafone ip65
- Sorgente luminosa: lampada fluorescente
- Tipologia di installazione: a soffitto
- Potenza: 2x58 W
- Potenza assorbita: 109 W
- Distribuzione luce: diretta simmetrica
- Sistema di controllo: manuale, on/off

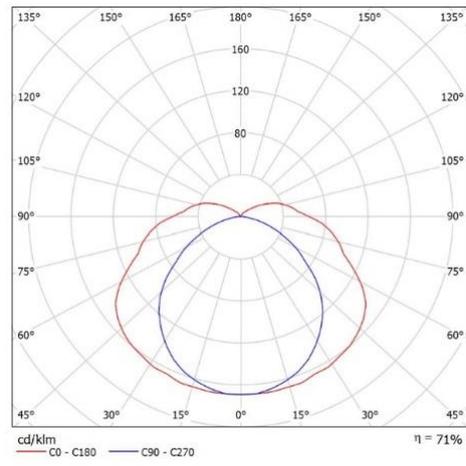


Figura 71 – Curva fotometrica degli apparecchi appartenenti alla tipologia 1.

## Tipologia di apparecchio 2 ■



Figura 72 – Immagine di un apparecchio appartenente alla tipologia 2.

Caratteristiche apparecchio:

- Tipologia apparecchio: apparecchio illuminante a plafone ip65
- Sorgente luminosa: lampada fluorescente
- Tipologia di installazione: a soffitto
- Potenza: 2x58 W
- Potenza assorbita: 109 W
- Distribuzione luce: ampia o concentrata
- Sistema di controllo: manuale, on/off

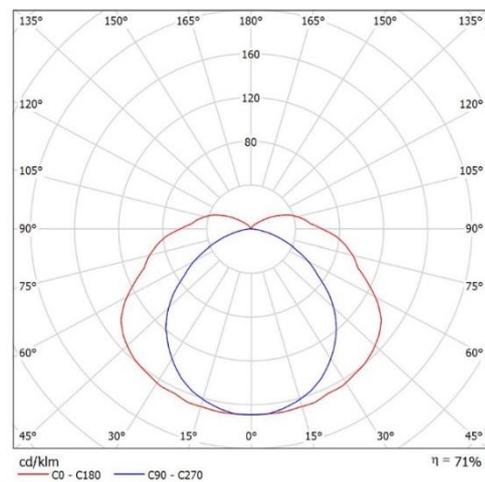


Figura 73 – Curva fotometrica degli apparecchi appartenenti alla tipologia 2.

### Tipologia di apparecchio 3 ■

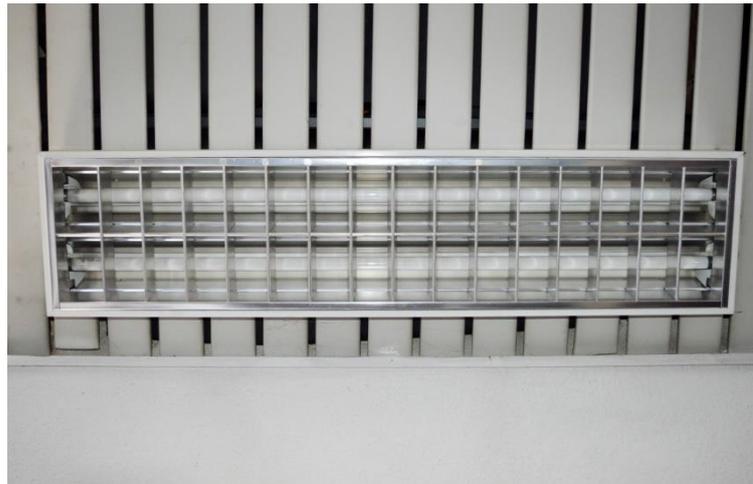


Figura 74 – Immagine di un apparecchio appartenente alla tipologia 3.

#### Caratteristiche apparecchio:

- Tipologia apparecchio: apparecchio a plafone ip20 con lamelle in alluminio
- Sorgente luminosa: lampada fluorescente
- Tipologia di installazione: a soffitto
- Potenza: 2x49 W
- Potenza assorbita: 98 W
- Distribuzione luce: diretta simmetrica
- Sistema di controllo: manuale, on/off

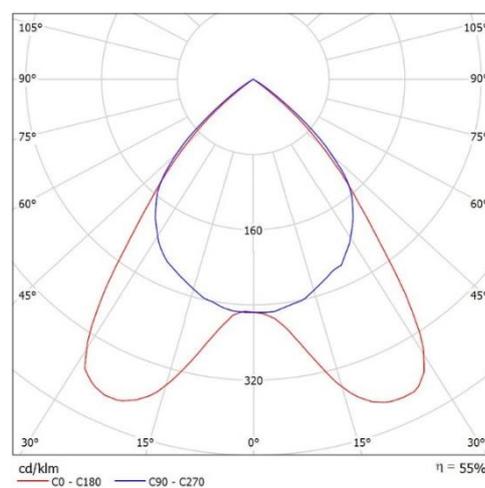


Figura 75 – Curva fotometrica degli apparecchi appartenenti alla tipologia 3.



## Tipologia di apparecchio 4 ■



Figura 76 – Immagine di un apparecchio della tipologia 4.

### Caratteristiche apparecchio:

- Tipologia apparecchio: apparecchio a plafone ip20 con lamelle in alluminio
- Sorgente luminosa: lampada fluorescente
- Tipologia di installazione: a soffitto
- Potenza: 1x36 W
- Potenza assorbita: 36 W
- Distribuzione luce: diretta simmetrica
- Sistema di controllo: manuale, on/off

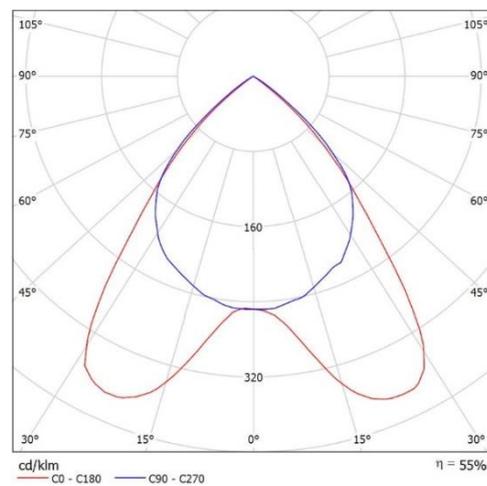


Figura 77 – Curva fotometrica degli apparecchi appartenenti alla tipologia 4.

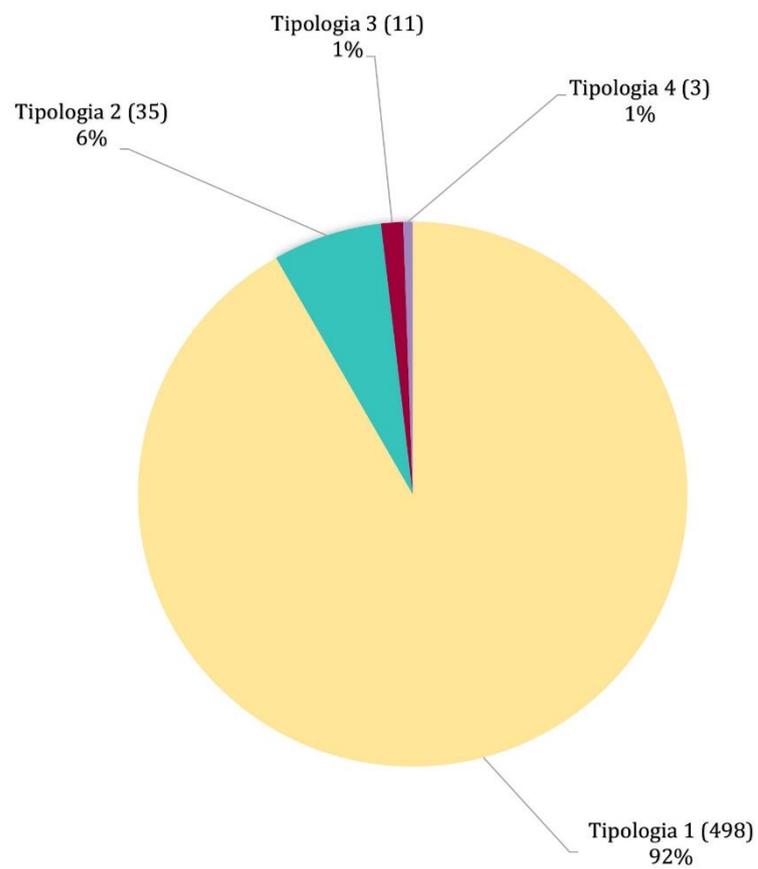


Figura 78 - Grafico delle percentuali del numero totale di apparecchi dell'intero edificio suddivisi per tipologia.

5.3.2.1. LENI stato di fatto

Piano terra



<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #444; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"></span> Aula.....	514 m <sup>2</sup>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #ccc; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"></span> Corridoio...	492 m <sup>2</sup>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #808080; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"></span> Ufficio.....	259 m <sup>2</sup>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #808080; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"></span> Altri usi.....	421 m <sup>2</sup>

**Dati stato di fatto per ciascun ambiente (raggruppati per caratteristiche)****Zona 1 - Ufficio**

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 37 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 5
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 545 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 737,0 kWh

LENI: 19,91 kWh/m<sup>2</sup>anno

**Zona 2 - Ufficio**

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 20 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 436 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 883,8 kWh

LENI: 44,19 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 3 - Ufficio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 40 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 5
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 545 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1092,2 kWh

LENI: 27,30 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 4 - Ufficio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 32 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 5
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 545 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1090,4 kWh

LENI: 34,07 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 5 - Ufficio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 48 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 8
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 872 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1824,4 kWh

LENI: 38,00 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 6 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 9
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 49 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 8
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 872 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2150,3 kWh

LENI: 43,88 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 7 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 38 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 654 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1164,0 kWh

LENI: 30,63 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 8 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 3
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 38 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 654 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1488,6 kWh

LENI: 39,17 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 9 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 76 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 10
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 1090 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2388,1 kWh

LENI: 31,42 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 10 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 61 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 8
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 872 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2547,2 kWh

LENI: 41,75 kWh/m<sup>2</sup>anno

## Zona 11 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 48 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 654 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1382,3 kWh

LENI: 28,80 kWh/m<sup>2</sup>anno

## Zona 12 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 106 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 10
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 1090 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2388,1 kWh

LENI: 22,53 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 13 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 27 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 436 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 955,8 kWh

LENI: 35,4 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 14 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 133 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 13
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 1417 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 3104,2 kWh

LENI: 23,33 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 15 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 24 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 436 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 854,7 kWh

LENI: 35,6 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 16 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 49 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 8
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 872 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1693,0 kWh

LENI: 34,55 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 17 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 37 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 5
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 545 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1194,6 kWh

LENI: 32,29 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 18 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 33 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 218 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

LENI: 14,50 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 19 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 11 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio 1: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 1
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 109 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 239,7 kWh

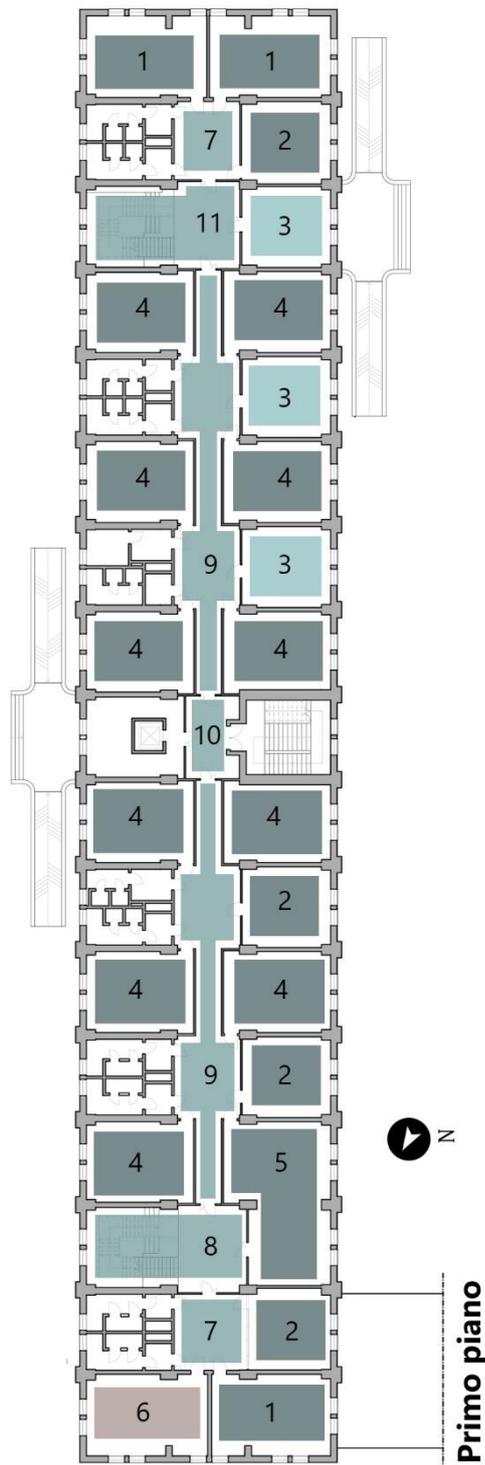
**LENI: 21,79 kWh/m<sup>2</sup>anno**

## **Piano terra - consumo energetico annuale per l'intero piano**

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 43214,7 kWh

LENI: 33,11 kWh/m<sup>2</sup>anno

Primo piano



- Aula..... 1088 m<sup>2</sup>
- Corridoio..... 438 m<sup>2</sup>
- Altri usi..... 116 m<sup>2</sup>
- Laboratorio..... 56 m<sup>2</sup>

**Dati stato di fatto per ciascun ambiente (raggruppati per caratteristiche)****Zona 1 – Aula**

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 3
  - Target di illuminamento: 300 lux
  - Superficie: 56 m<sup>2</sup>
  - Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
  - Potenza apparecchio: 2x58 W
  - Numero di apparecchi: 6
  - Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 654 W
  - Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
  - Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale
- Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1560,4 kWh

LENI: 27,79 kWh/m<sup>2</sup>anno

**Zona 2 – Aula**

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 4
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 41 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 654 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1717,5 kWh

LENI: 41,89 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 3 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 3
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 41 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 654 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1446,5 kWh

LENI: 35,28 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 4 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 11
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 50 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 654 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1876,2 kWh

LENI: 37,52 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 5 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 88 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 12
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 1308 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 4536,5 kWh

LENI: 51,55 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 6 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 500 lux
- Superficie: 56 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 654 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1411,8 kWh

LENI: 25,21 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 7 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 32 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 218 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

LENI: 14,95 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 8 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 34 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 436 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 955,8 kWh

LENI: 28,11 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 9 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 101 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 10
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 1090 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2388,1 kWh

**LENI: 23,64 kWh/m<sup>2</sup>anno**

### Zona 10 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 13 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 218 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

**LENI: 36,57 kWh/m<sup>2</sup>anno**

### Zona 11 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 30 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 218 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

**LENI: 15,95 kWh/m<sup>2</sup>anno**

### **Primo piano – consumo energetico annuale per l'intero piano**

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 50122,8 kWh

LENI: 33,59 kWh/m<sup>2</sup>anno

**Secondo piano (sottotetto)**



	Corridoio.....	387 m <sup>2</sup>
	Altri usi.....	301 m <sup>2</sup>
	Laboratorio..	758 m <sup>2</sup>
	Sala lettura/..	177 m <sup>2</sup>
	conferenza	

**Dati stato di fatto per ciascun ambiente (raggruppati per caratteristiche)****Zona 1 - Laboratorio**

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 229 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 10
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 1090 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 3202,3 kWh

LENI: 13,98 kWh/m<sup>2</sup>anno

**Zona 2 – Sala conferenza/Biblioteca**

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 88 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 7
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 322 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 859,7 kWh

LENI: 9,77 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 3 – Sala conferenza/Biblioteca

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 44 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x58 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 436 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1096,7 kWh

LENI: 24,92 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 4 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 36 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 184 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 379,0 kWh

LENI: 10,53 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 5 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 4
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 44 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 184 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 391,9 kWh

LENI: 8,91 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 6 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 88 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al controsoffitto
- Potenza apparecchio (tipologia 1): 2x58 W
- Numero di apparecchi (tipologia 1): 4
- Potenza apparecchio (tipologia 3): 2x49 W
- Numero di apparecchi (tipologia 3): 3
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 730 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1947,7 kWh

LENI: 22,13 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 7 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 4
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 57 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 5
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 230 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 672,6 kWh

LENI: 11,8 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 8 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 68 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 5
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 230 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 756,6 kWh

LENI: 11,13 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 9 – Sala conferenza/Biblioteca

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 500 lux
- Superficie: 44 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 184 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 400,7 kWh

LENI: 9,11 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 10 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 150 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 10
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 460 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1362,8 kWh

LENI: 9,09 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 11 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 32 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 92 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 202,5 kWh

LENI: 6,33 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 12 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 115 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 1x36 W
- Numero di apparecchi: 10
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 460 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1008,4 kWh

LENI: 8,77 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 13 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 15 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 1x36 W
- Numero di apparecchi: 1
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 36 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

LENI: 31,89 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 14 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 59 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 3
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 138 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 373,1 kWh

LENI: 6,32 kWh/m<sup>2</sup>anno

### Zona 15 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 44 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 2x23 W
- Numero di apparecchi: 3
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 138 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 330,8 kWh

LENI: 7,52 kWh/m<sup>2</sup>anno

## **Secondo piano – consumo energetico annuale per l'intero piano**

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 14668,7 kWh

LENI: 10,21 kWh/m<sup>2</sup>anno

## **Conclusioni**

Lo studio dei consumi energetici legati all'illuminazione artificiale, per la condizione di stato di fatto dell'edificio, ha evidenziato la totale mancanza di una progettazione illuminotecnica alla base della costituzione dell'impianto esistente. I dati raccolti hanno infatti messo in luce dei valori LENI molto alti, dovuti ad una distribuzione casuale degli apparecchi all'interno degli ambienti. Casuale nel senso che, nonostante la diversità dei compiti visivi che gli ambienti ospitano, e quindi i necessari accorgimenti da prevedere in base alle diverse prestazioni da garantire, né la distribuzione né la scelta degli apparecchi tiene conto dei differenti requisiti imposti dalla normativa in base all'attività da svolgere. Questa totale assenza di progettazione ha comportato quindi la creazione di un impianto non attento ai consumi energetici. Inoltre, non è da tralasciare l'utilizzo di lampade fluorescenti come unica ed esclusiva tipologia all'interno dell'edificio.



## 6. Ipotesi di progetto

Come già definito nel capitolo precedente, l'analisi dello stato di fatto è stata svolta su un campione di due ambienti per piano, uno esposto a nord-est e l'altro a sud-ovest, per un totale di sei ambienti complessivi all'interno dell'edificio.

I risultati hanno evidenziato una scarsa presenza di luce naturale, ben al di sotto delle soglie considerate indicativamente accettabili, e una possibilità concreta e non trascurabile di abbagliamento in determinate ore della giornata negli ambienti esposti a sud-ovest.

L'ipotesi di progetto che deriva dalle conclusioni tratte, per far fronte ad entrambe le problematiche (scarsità di luce in tutti gli ambienti e rischio di abbagliamento per gli ambienti a sud-ovest), è quella di posizionare internamente una schermatura a tenda totalmente mobile, con un tessuto tecnico che permette l'ingresso di luce naturale e scherma la maggior parte della radiazione causante abbagliamento. Questa soluzione viene applicata soltanto per gli ambienti situati a sud-ovest, poiché considerati quelli più a rischio di abbagliamento, come è stato ben evidenziato dalle simulazioni di luminanza e dall'analisi del DGP nel grafico dell'annual glare. Al contrario, gli ambienti esposti a nord-est non mostrano necessità di schermature poiché le stesse simulazioni non hanno rilevato tracce di abbagliamento in quanto il parametro DGP, durante tutto l'anno, non supera mai la soglia del 35%, associata alla definizione di "imperceptible glare".

Alla base della scelta progettuale si è reso necessario il raggiungimento di un compromesso tra la minima riduzione possibile della quantità di luce entrante nell'ambiente, considerata la preesistente condizione di scarso illuminamento proveniente da fonti naturali, e la maggior schermatura possibile nei confronti dell'irraggiamento fonte di abbagliamento.

Visto che la preesistenza storica impedisce un intervento mirato ad ingrandire le aperture per permettere un maggiore ingresso di luce naturale, l'ipotesi progettuale prevede una nuova proposta di materiali per l'intero edificio scolastico, per favorire una maggiore riflessione e quindi ottenere una maggiore quantità di luce naturale all'interno di ciascun ambiente. Il materiale più critico risulta essere il pavimento preesistente, ossia delle piastrelle di ceramica lucida color marrone scuro, con un indice di riflessione pari a 0,1. Nell'ipotesi progettuale questo materiale è stato sostituito con un grès porcellanato di colore chiaro, raggiungendo quindi un indice di riflessione pari a 0,4. Per quanto riguarda le pareti e i soffitti degli ambienti invece, la scelta è ricaduta inevitabilmente sull'intonaco bianco.

Oltre ai materiali, è stato necessario sostituire il componente vetrato di ciascun serramento in ottica di un ulteriore efficientamento energetico: al posto del vetro singolo presente allo stato di fatto è stato inserito un vetro doppio di 2,8 cm con intercapedine, al cui interno è stato inserito del gas argon, con un indice di trasmissione pari a 0,8.

**Confronto tabella materiali utilizzati stato di fatto (sdf) e ipotesi di progetto (idp)**

<b>Elemento</b>	<b>Materiale</b>	<b>Trasmissione</b>	<b>Riflessione</b>
Pareti aula (sdf)	Intonaco giallo		0,63
Pareti aula (sdf)	Intonaco azzurro scuro		0,52
Pareti aula (idp)	Intonaco bianco		0,7
Pareti esterne (sdf/idp)	Intonaco bianco		0,7
Soffitto (sdf/idp)	Intonaco bianco		0,7
Pavimento (sdf)	Piastrelle in ceramica marrone scuro		0,1
Pavimento (idp)	Piastrelle in ceramica colore chiaro		0,4
Telaio finestra (sdf/idp)	Legno bianco		0,8
Vetro	Vetro singolo	0,88	
Vetro	Vetro doppio	0,8	

Tabella 15 – Confronto materiali utilizzati nello stato di fatto e materiali utilizzati nell'ipotesi di progetto

## 6.1. Illuminazione naturale

Per poter valutare l'efficacia delle modifiche apportate nell'ipotesi di progetto, sono state svolte le medesime analisi di calcolo utilizzate per determinare le condizioni allo stato di fatto dell'edificio, in modo tale da poter confrontare i risultati ottenuti in entrambe le situazioni (stato di fatto e ipotesi di progetto).

Sono state quindi svolte le simulazioni del parametro luminanza con la schermatura attivata, in questo caso soltanto per il lato sud-ovest dell'edificio, poiché, come già constatato in precedenza, è l'unico in cui sono state rilevate possibilità concrete di abbagliamento durante l'arco della giornata e dell'anno. Questo tipo di analisi è servito per valutare la capacità della schermatura di schermare l'abbagliamento così da poterlo confrontare con lo stato di fatto in cui non sono presenti schermature.

Successivamente, è stata analizzata la quantità di luce naturale entrante all'interno degli ambienti presi in esame. In questo caso sono stati valutati entrambi i lati – nord-est e sud-ovest - dell'edificio, poiché l'ipotesi progettuale prevede la sostituzione dei materiali di tutti gli ambienti. Le analisi svolte per il lato nord-est sono volte soltanto a valutare la differenza della quantità di luce naturale entrante con l'applicazione dei nuovi materiali. Per il lato sud-ovest, invece, oltre ai nuovi materiali, viene valutata anche e soprattutto la presenza della schermatura, per poter determinare l'impatto che essa produce in termini di diminuzione della quantità di luce negli ambienti.

### 6.1.1. Analisi problematica abbagliamento

#### Piano terra

Es] Esposizione SUD-OVEST

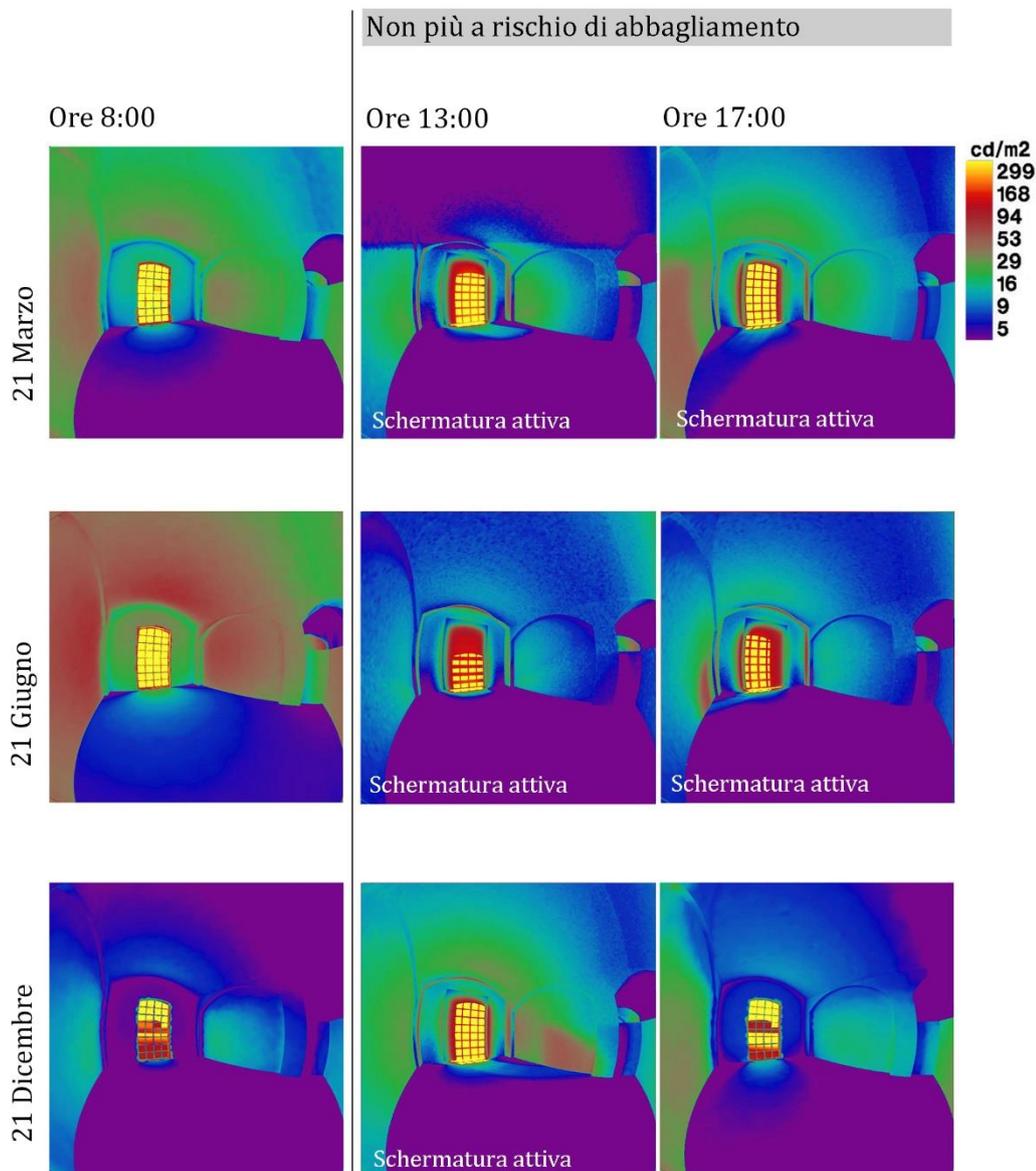


Fig. - Distribuzione della luminanza calcolata dalla parete di fondo dell'ambiente.



Fig. - Grafico del DGP calcolato nella posizione di un alunno prossimo all'apertura, senza schermatura.

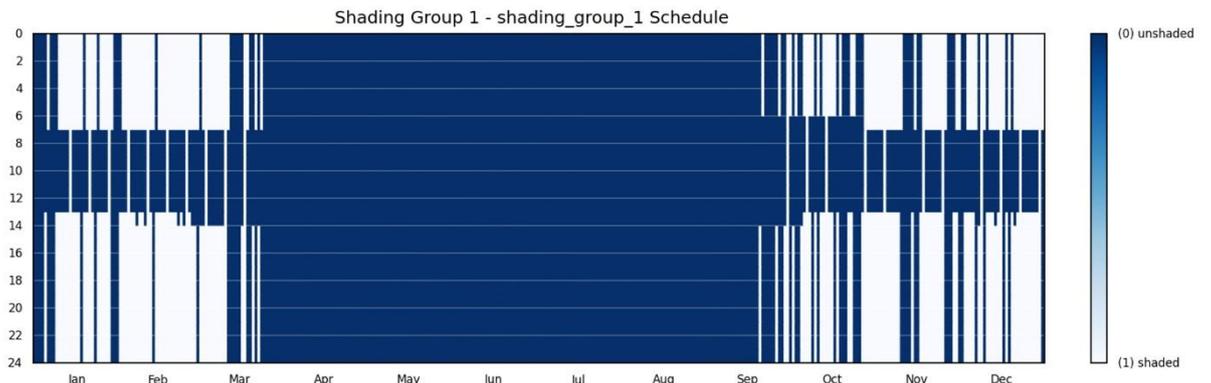


Fig. - Grafico delle condizioni di attivazione o meno della schermatura.

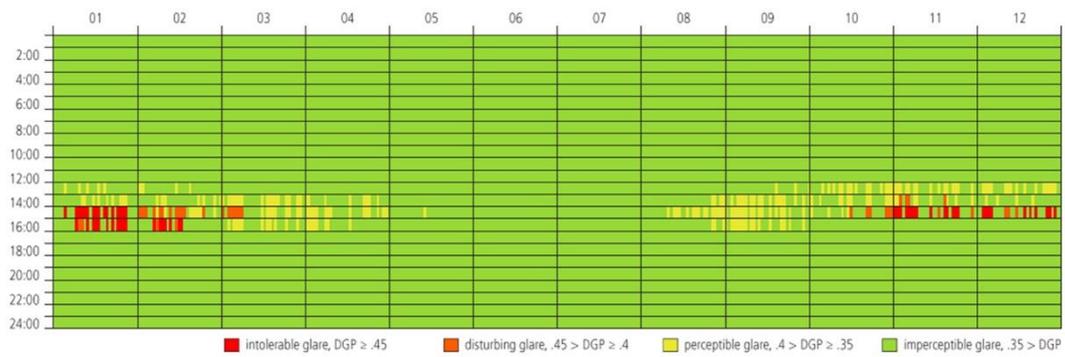


Fig. - Grafico del DGP calcolato nella posizione di un alunno prossimo all'apertura, con la schermatura attiva.

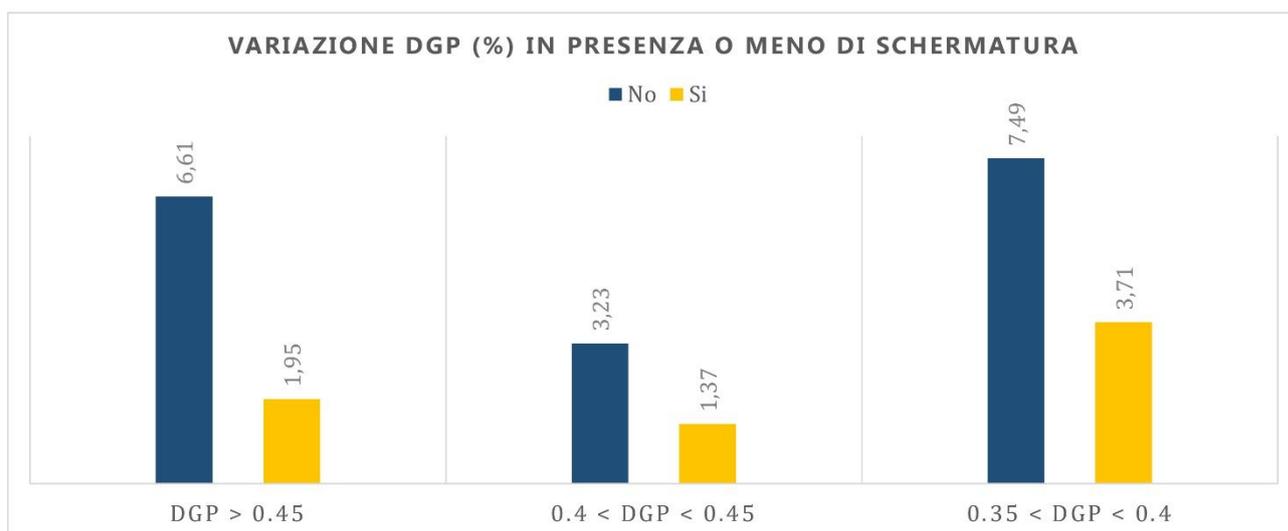


Figura 79 - Diagramma di variazione del DGP in presenza o meno della schermatura.

**Primo piano**

Esposizione SUD-OVEST

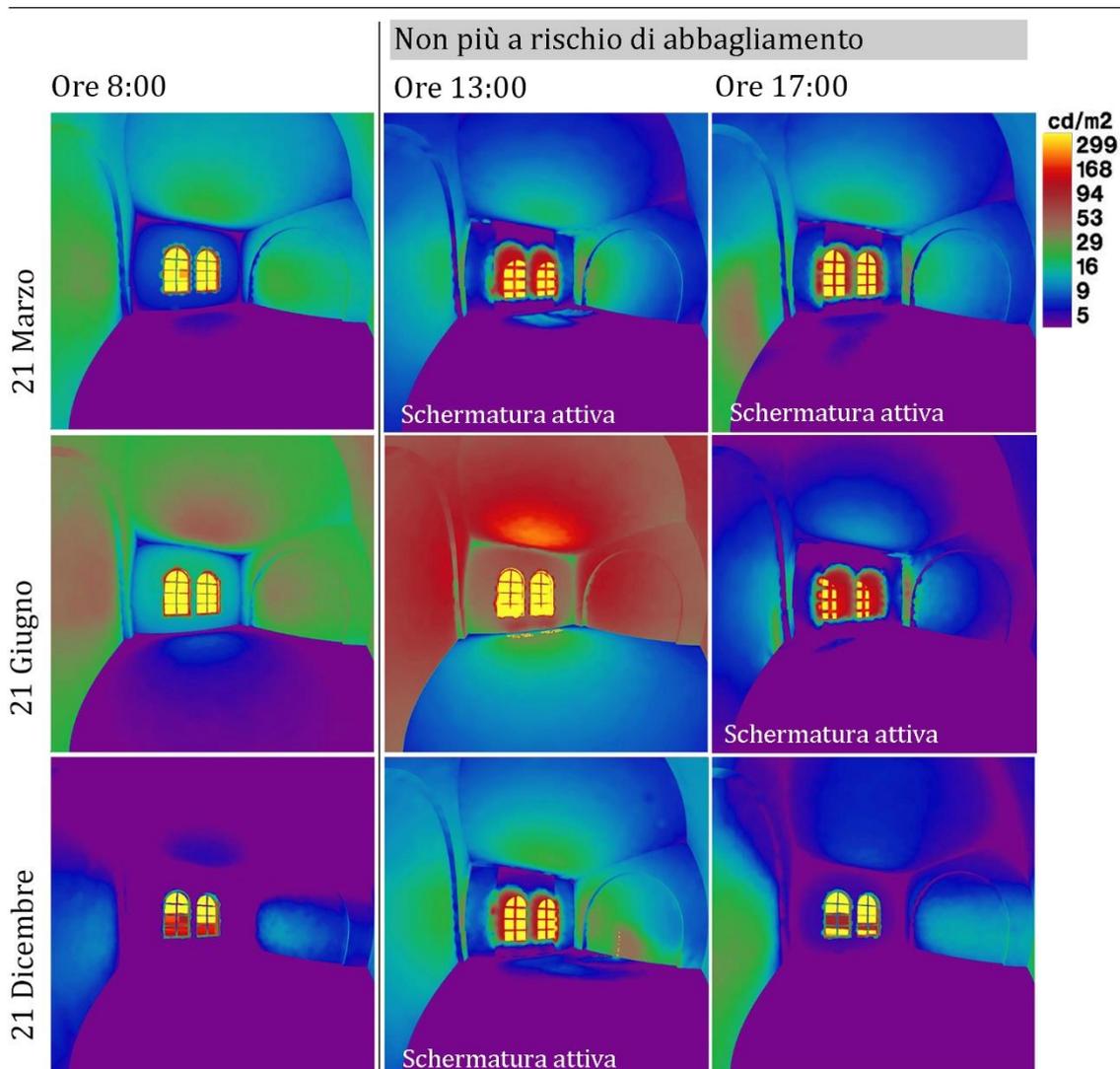


Fig. - Distribuzione della luminanza calcolata dalla parete di fondo dell'ambiente.

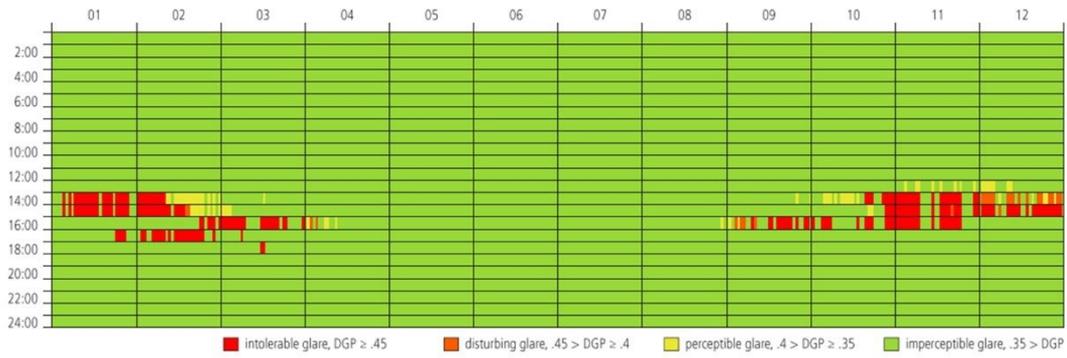


Fig. - Grafico del DGP calcolato nella posizione di un alunno prossimo all'apertura, senza schermatura.

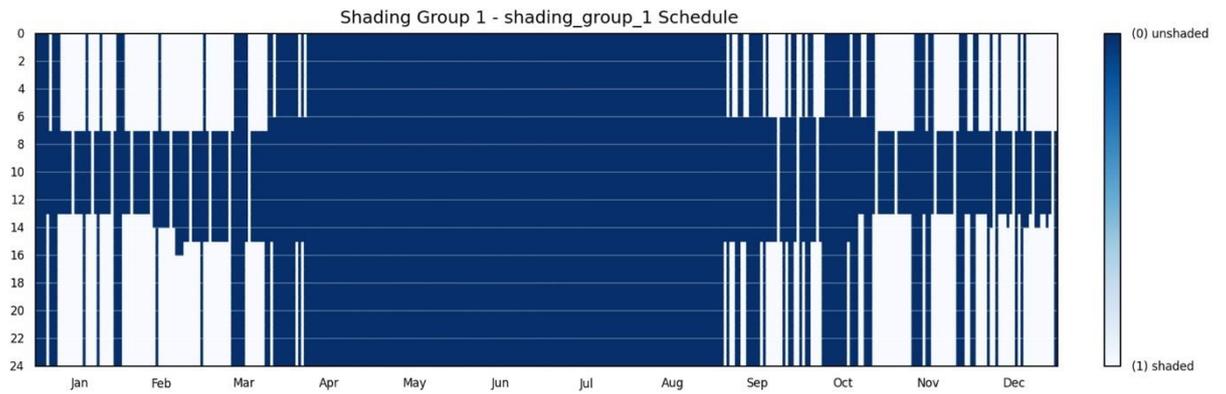


Fig. - Grafico delle condizioni di attivazione o meno della schermatura.

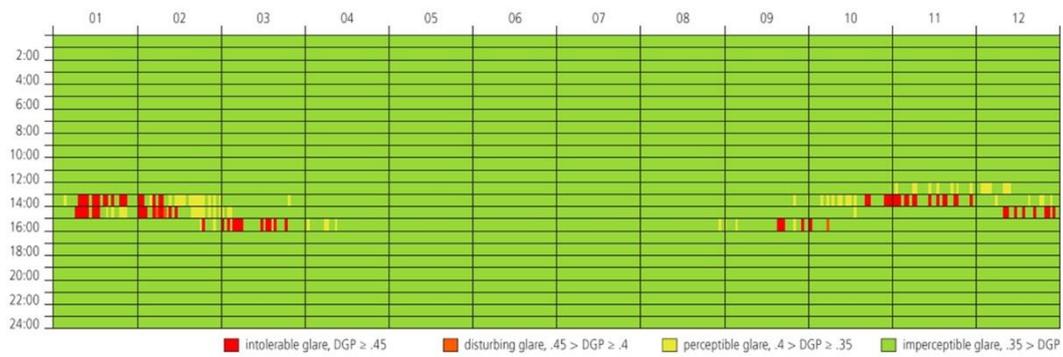


Fig. - Grafico del DGP calcolato nella posizione di un alunno prossimo all'apertura, con la schermatura attiva.

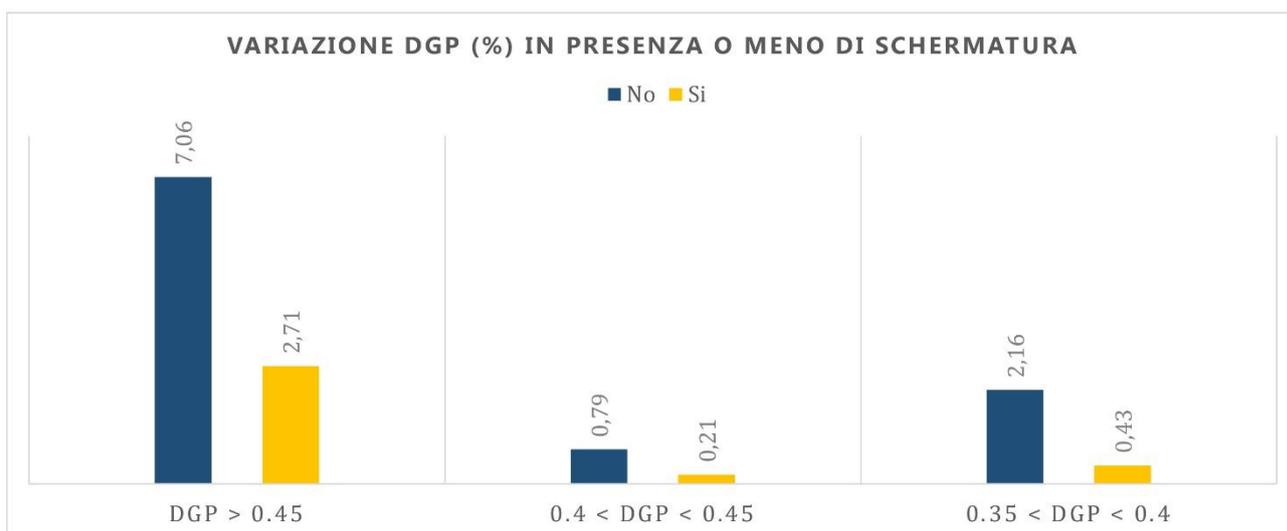


Figura 80 – Diagramma di variazione del DGP in presenza o meno della schermatura.

## Secondo piano

Esposizione SUD-OVEST

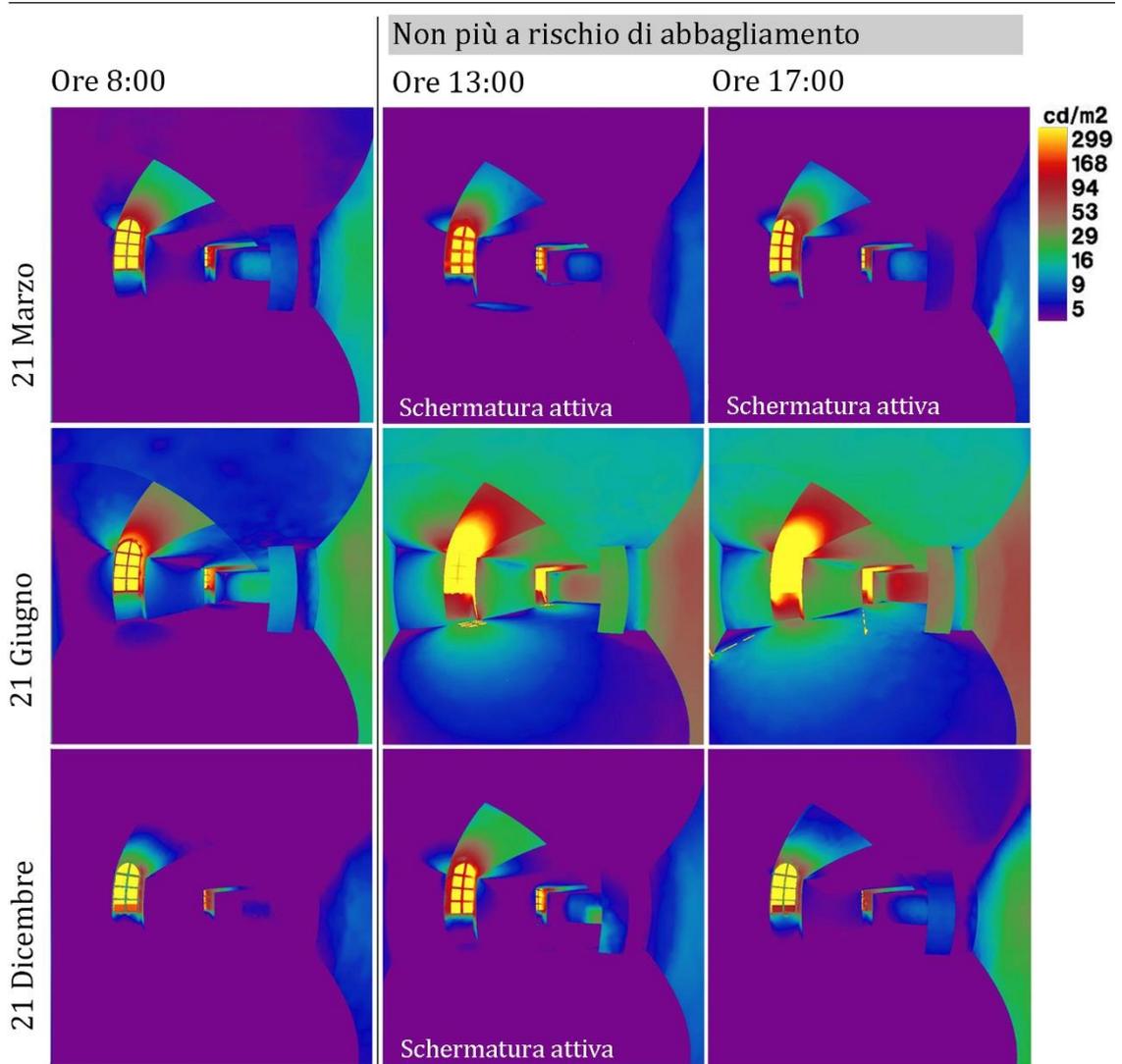


Fig. - Distribuzione della luminanza calcolata dalla parete di fondo dell'ambiente.

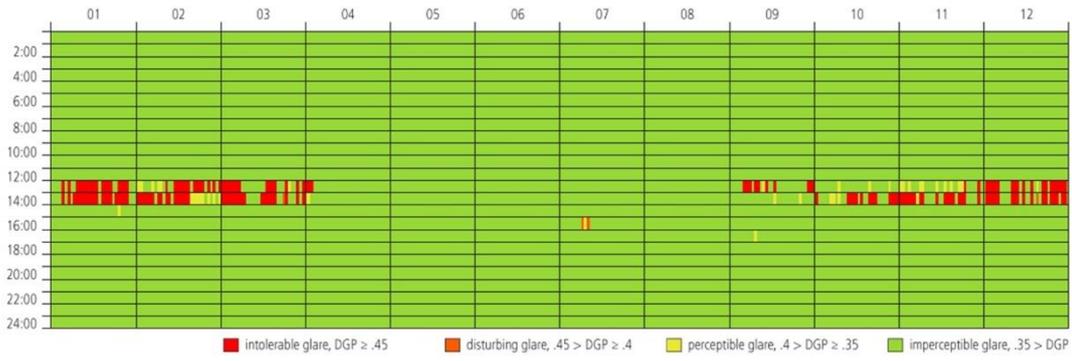


Fig. - Grafico del DGP calcolato nella posizione di una persona prossima all'apertura, senza schermatura.

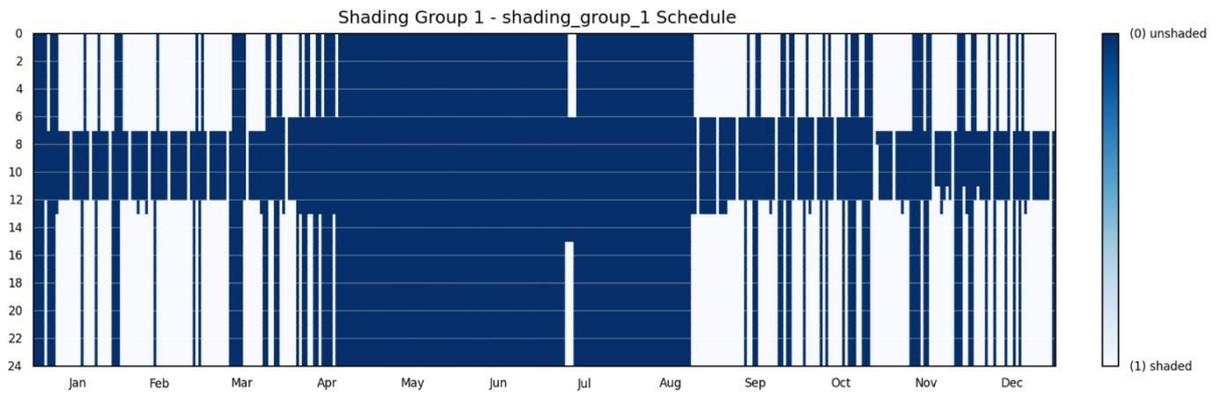


Fig. - Grafico delle condizioni di attivazione o meno della schermatura.

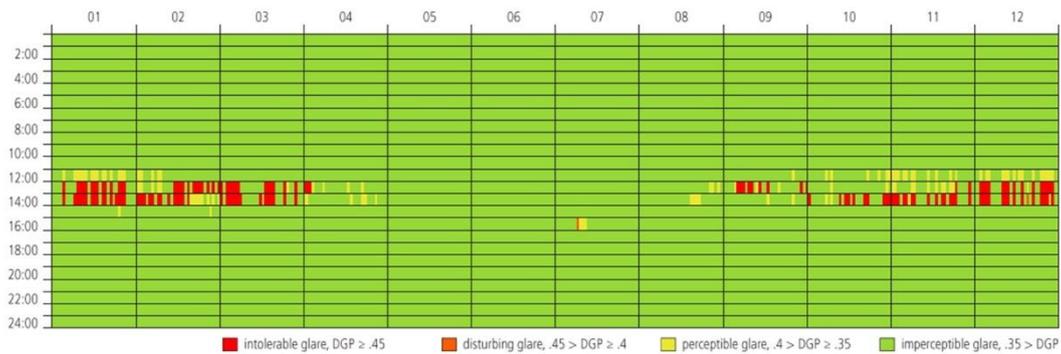


Fig. - Grafico del DGP calcolato nella posizione di una persona prossima all'apertura, con la schermatura attiva.

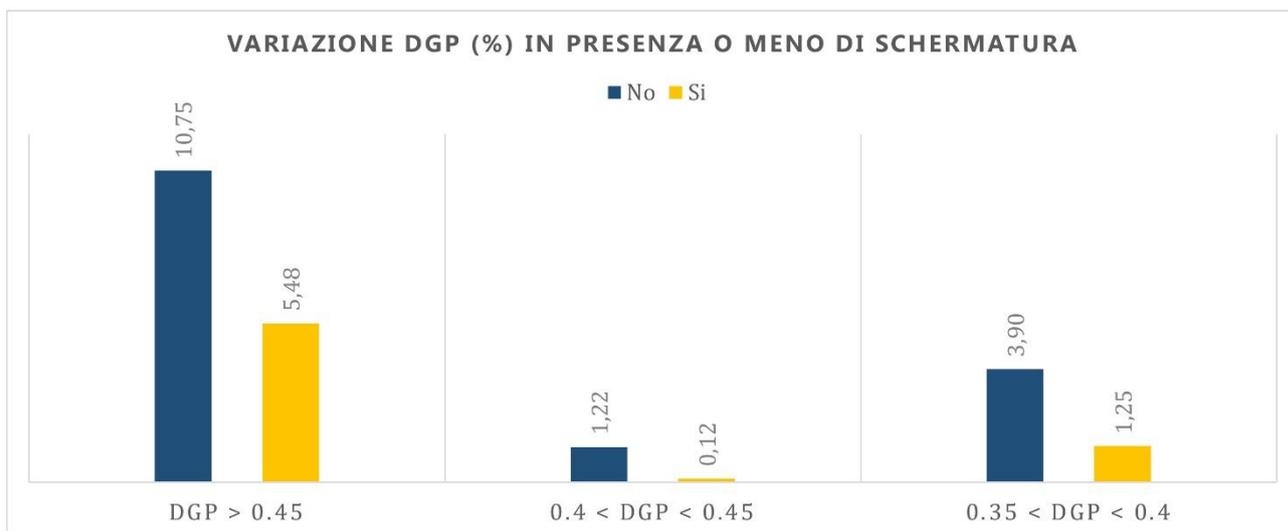


Figura 81 - Diagramma di variazione del DGP in presenza o meno della schermatura.

## **Conclusioni analisi problematica abbagliamento (ipotesi di progetto)**

Come dimostrato dai risultati ottenuti dall'analisi dello stato di fatto, il lato nord-est non mostrava problemi di abbagliamento. Per questo motivo l'analisi svolta successivamente all'impostazione dell'ipotesi di progetto è stata condotta soltanto nei confronti del lato sud-ovest dell'edificio.

Le simulazioni effettuate mostrano un calo significativo della probabilità di abbagliamento all'interno dell'intervallo di tempo di ore occupate, tuttavia ne rimane ancora traccia evidente, come dimostrato dai grafici risultanti dal calcolo del DGP su base annua. Questo risultato è il frutto della scelta progettuale effettuata, in cui si è reso necessario un compromesso tra la schermatura totale dell'abbagliamento e la possibilità di lasciar entrare quanta più luce naturale possibile vista la condizione di scarsa illuminazione rilevata durante l'analisi dello stato di fatto. Poiché la quantità di luce naturale in ingresso negli ambienti scolastici, come già spiegato nel capitolo 4 di questa tesi, è fondamentale in quanto influisce direttamente sulle prestazioni degli alunni, è stato necessario trovare un sistema di schermatura che impedisse l'ingresso di abbagliamento ma che, allo stesso tempo, lasciasse filtrare quanta più luce possibile all'interno.

Per questo motivo non è stato possibile risolvere completamente entrambe le problematiche.

Tuttavia, dai grafici di attivazione o meno delle schermature è possibile dedurre che la percentuale di ore, tra quelle occupate, in cui la schermatura è attiva oscilla tra il 21% e l'11% per i tre piani considerati, per cui l'ingresso di luce naturale è comunque garantito per la quasi totalità del tempo.

## 6.1.2. Analisi quantità di luce

### Piano terra

Esposizione NORD-EST

% Ore occupate

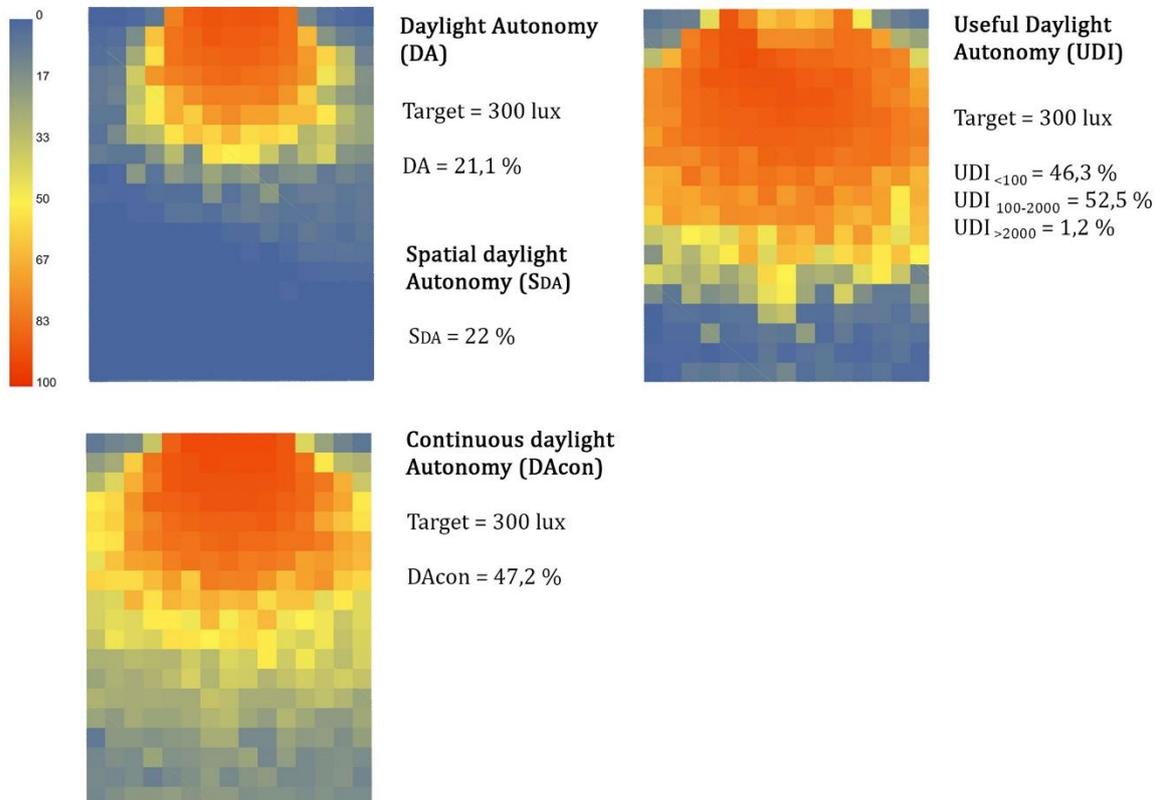


Figura 82 - Simulazioni dei parametri dinamici DA, DAcon e UDI allo stato di fatto.

### Confronto valori illuminazione naturale tra stato di fatto e progetto

Parametro	Valore di progetto	Valore stato di fatto	Valore accettabile
DA [%]	21,1 %	22,8 %	40 % < DA < 60 %
DAcon [%]	47,2 %	48,5 %	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	52,5 %	53,6 %	> 80 %
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	22 %	23 %	> 55 %
FLDm [%]	1,4	1,5 %	> 3 %

Tabella 16 – Tabella di confronto dei valori calcolati allo stato di progetto e allo stato di fatto.

## Esposizione SUD-OVEST

% Ore occupate

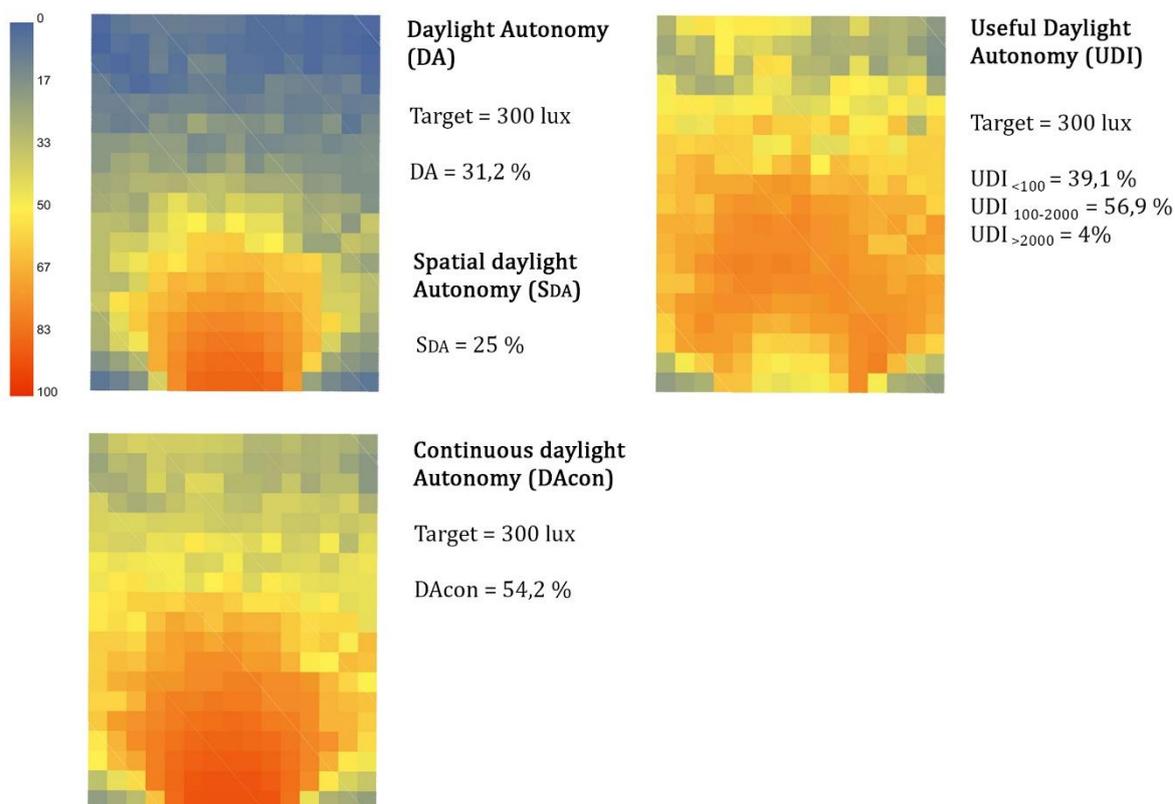


Figura 83 – Simulazioni dei parametri dinamici DA, DAcon e UDI con schermatura attiva.

## Confronto valori illuminazione naturale tra stato di fatto e progetto

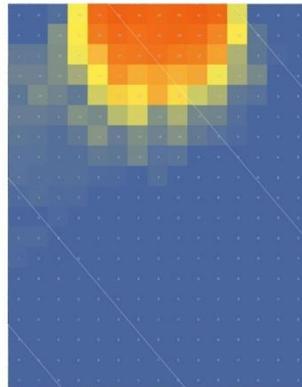
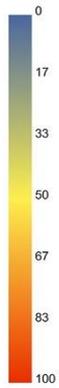
Parametro	Valore di progetto	Valore stato di fatto	Valore accettabile
DA [%]	31,2 %	40,5 %	40 % < DA < 60 %
DAcon [%]	54,2 %	63,8 %	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	56,9 %	64,7 %	> 80 %
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	25 %	36 %	> 55 %
FLDm [%]	1,5	1,7 %	> 3 %

Tabella 17 - Tabella di confronto dei valori calcolati allo stato di progetto e allo stato di fatto.

## Primo piano

### Esposizione NORD-EST

% Ore occupate



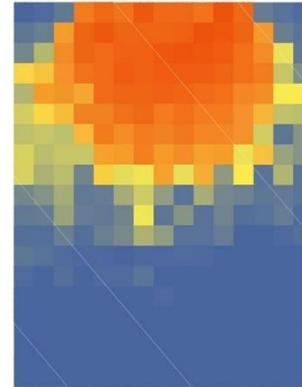
**Daylight Autonomy (DA)**

Target = 300 lux

DA = 11,7 %

**Spatial daylight Autonomy (SDA)**

SDA = 12 %



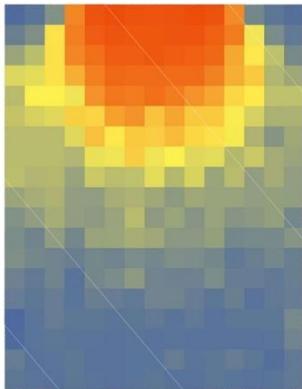
**Useful Daylight Autonomy (UDI)**

Target = 300 lux

UDI<sub><100</sub> = 69,1 %

UDI<sub>100-2000</sub> = 30,5 %

UDI<sub>>2000</sub> = 0,4 %



**Continuous daylight Autonomy (DAcon)**

Target = 300 lux

DAcon = 30,5 %

Figura 84 - Simulazioni dei parametri dinamici DA, DAcon e UDI allo stato di progetto.

### Confronto valori illuminazione naturale tra stato di fatto e progetto

Parametro	Valore di progetto	Valore stato di fatto	Valore accettabile
DA [%]	11,7 %	14,8 %	40 % < DA < 60 %
DAcon [%]	30,5 %	34,6 %	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	30,5 %	36,3 %	> 80 %
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	12 %	14 %	> 55 %
FLDm [%]	0,7 %	0,9 %	> 3 %

Tabella 18 - Tabella di confronto dei valori calcolati allo stato di progetto e allo stato di fatto.

## Esposizione SUD-OVEST

% Ore occupate

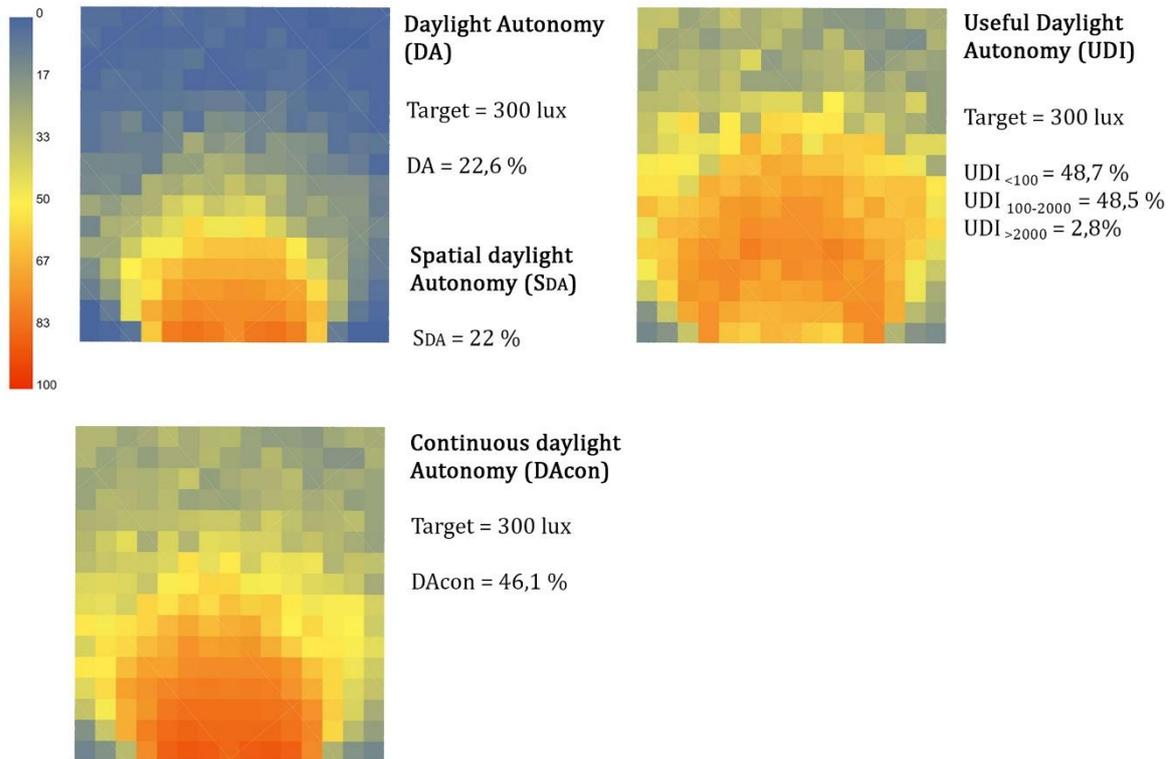


Figura 85 - Simulazioni dei parametri dinamici DA, DAcon e UDI con schermatura attiva.

## Confronto valori illuminazione naturale tra stato di fatto e progetto

Parametro	Valore di progetto	Valore stato di fatto	Valore accettabile
DA [%]	22,6 %	32,5 %	40 % < DA < 60 %
DAcon [%]	46,1 %	57,3 %	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	48,5 %	59,6 %	> 80 %
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	22 %	25 %	> 55 %
FLDm [%]	1,2	1,2 %	> 3 %

Tabella 19 - Tabella di confronto dei valori calcolati allo stato di progetto e allo stato di fatto.

## Primo piano

## Esposizione NORD-EST

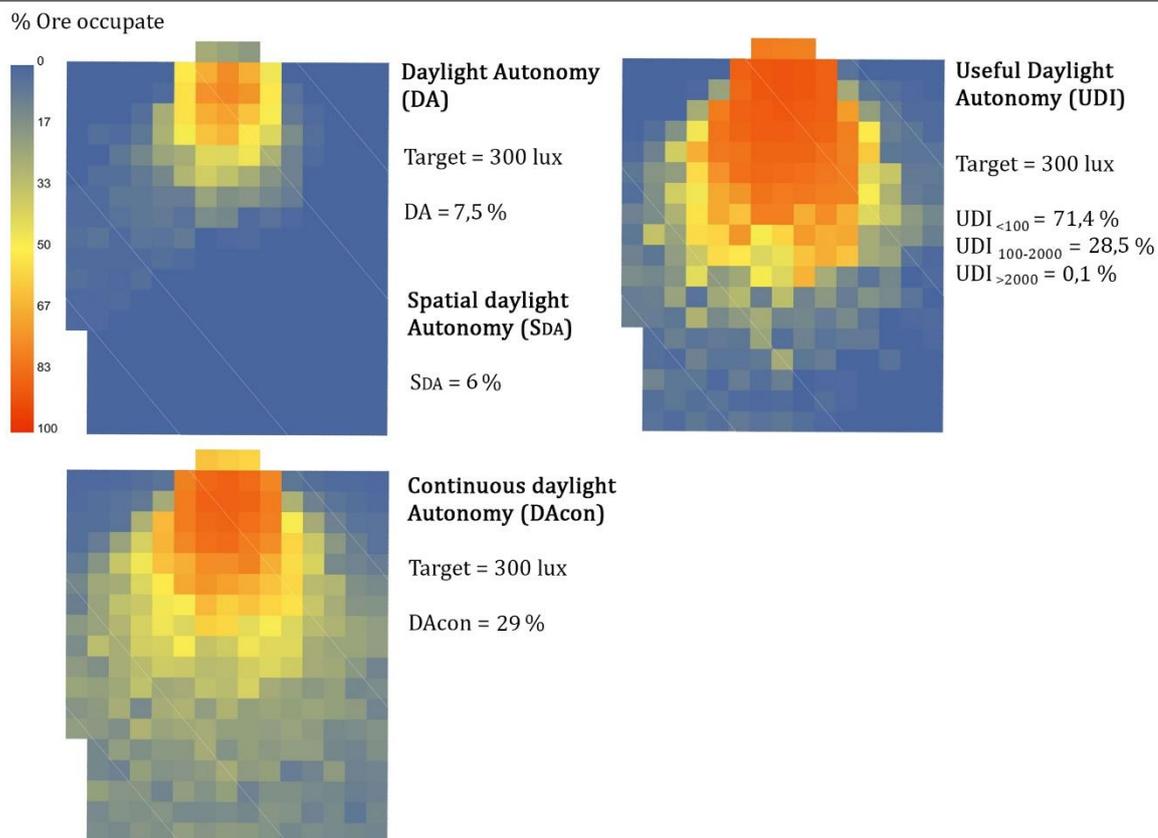


Figura 86 - Simulazioni dei parametri dinamici DA, DAcon e UDI allo stato di progetto.

## Confronto valori illuminazione naturale tra stato di fatto e progetto

Parametro	Valore di progetto	Valore stato di fatto	Valore accettabile
DA [%]	7,5 %	10,2 %	40 % < DA < 60 %
DAcon [%]	29 %	33,1 %	
UDI <sub>100-2000</sub> [%]	28,5 %	34,6 %	> 80 %
SDA <sub>300,50%</sub> [%]	6 %	9 %	> 55 %
FLDm [%]	0,6 %	0,8 %	> 3 %

Tabella 20 - Tabella di confronto dei valori calcolati allo stato di progetto e allo stato di fatto.



## **Conclusioni analisi quantità di luce (ipotesi di progetto)**

L'insieme delle simulazioni dei parametri dinamici mostra la distribuzione in percentuale di ore occupate in cui il solo apporto di luce naturale raggiunge o supera il target imposto di 300 lux. Per il lato nord-est le analisi sono state svolte in assenza di schermatura, poiché ritenuta non necessaria in base ai risultati ottenuti tramite calcolo dell'annual glare. Quindi, la differenza rispetto allo stato di fatto riguarda i materiali utilizzati, poiché nell'ipotesi di progetto sono stati sostituiti cercando di aumentare il più possibile le riflessioni all'interno dell'ambiente, così da ottenere una maggiore presenza di luce naturale. Per il lato sud-ovest, invece, le simulazioni sono state svolte in presenza della schermatura interna a tenda, per poter valutare gli effetti che questa, insieme ai differenti materiali utilizzati, provoca nei confronti della quantità di luce entrante negli ambienti.

Per gli ambienti esposti a nord-est i risultati mostrano una leggera diminuzione dei valori dovuta all'abbassamento dell'indice di trasmissione del vetro utilizzato nell'ipotesi di progetto. Infatti, nella condizione dello stato di fatto era presente un vetro singolo con indice di trasmissione di 0,8. Nell'ipotesi di progetto, è stato invece previsto un vetro doppio con intercapedine e con un indice di trasmissione di 0,8.

Per il lato sud-ovest, invece, facendo un confronto con le simulazioni svolte negli stessi ambienti nella condizione di totale assenza di schermature, si nota che la distribuzione rimane pressoché invariata, diminuendo in maniera leggermente più significativa rispetto al lato nord-est. Questa piccola variazione si è resa necessaria, come già descritto in precedenza, per poter ottenere dalla presenza della schermatura il miglior compromesso possibile tra la minor perdita della quantità di luce naturale entrante rispetto all'abbattimento nei confronti del fenomeno dell'abbagliamento. Poiché la percentuale di tempo in cui la schermatura è attiva oscilla tra il 21% e l'11% per i tre piani considerati, l'ingresso di luce naturale risulta comunque garantito per la quasi totalità del tempo.

Vi sono comunque degli ambienti che ospitano attività particolari (la sala conferenza, la camera oscura e il laboratorio di riprese) per cui è necessario prevedere un sistema di schermatura secondario che dia la possibilità di oscurare completamente le aperture all'occorrenza.

## 6.2. Illuminazione artificiale

Oltre alla creazione di un progetto per quanto riguarda l'illuminazione naturale, all'interno di questa tesi è stato sviluppato anche il progetto dell'illuminazione artificiale. Dopo aver determinato le condizioni dello stato di fatto dell'edificio scolastico in esame e le problematiche presenti, è stato necessario pensare ad un nuovo impianto di illuminazione artificiale che facesse fronte ai problemi riscontrati e, allo stesso tempo, avesse come obiettivo quello di ridurre il consumo energetico dell'edificio.

Lo scopo principale dell'ipotesi progettuale è stato quello di pensare ad un impianto di illuminazione artificiale totalmente rinnovato, in cui venissero innanzitutto rispettati i requisiti imposti dalla normativa e in cui il comfort visivo degli utenti fosse al centro dell'attenzione. Per questo motivo, non solo sono stati sostituiti gli apparecchi, ma sono stati studiati nuovi metodi di posizionamento all'interno degli ambienti in accordo con la preesistenza, in modo tale da ottenere una condizione di illuminamento studiata appositamente per garantire il comfort visivo di tutti gli utenti, per ciascuna attività da svolgere. Inoltre, la sostituzione degli apparecchi è stata eseguita nell'ottica di perseguire una riqualificazione energetica dell'impianto, visti i risultati ottenuti dall'analisi dello stato di fatto.

Per prima cosa, sono stati definiti i requisiti da soddisfare in base alla normativa UNI EN 12464-1:2011. In base ad essi ed in base alla costituzione architettonica dell'edificio, sono state scelte le nuove tipologie di apparecchi da sostituire a quelli presenti allo stato di fatto.

Per poter valutare l'efficacia delle soluzioni adottate nell'ipotesi di progetto sono state effettuate delle simulazioni che hanno consentito di prevedere le condizioni di illuminazione all'interno degli ambienti presi in esame. Sono stati valutati gli ambienti più significativi in termini di numero e funzione, ossia le aule scolastiche e i laboratori. Per ciascuna categoria, sono state definite le tipologie più ricorrenti all'interno dell'edificio e per ciascuna sono state effettuate le simulazioni di calcolo in base al nuovo progetto dell'illuminazione artificiale.

In seguito, è stato effettuato il calcolo dell'indice LENI per l'ipotesi di progetto, così da poter confrontare i risultati ottenuti in termini di consumo energetico da parte dell'impianto di illuminazione tra la condizione di stato di fatto quella di ipotesi di progetto. I risultati sono stati analizzati per tipologia di ambienti, esplicitando tutti quelli con caratteristiche differenti e raggruppando quelli con le stesse caratteristiche. Successivamente sono stati analizzati i risultati per singolo piano e, infine, per l'intero edificio, per entrambe le condizioni di stato di fatto e ipotesi di progetto.

<b>Ambiente</b>	<b>Em (lx)</b>	<b>UGR</b>	<b>Ra</b>	<b>Uo</b>
Aula scolastica	300	19	80	0,6
Laboratorio di insegnamento	500	19	80	0,6
Laboratorio di informatica	300	19	80	0,6
Zone di circolazione, corridoi	100	25	80	0,4
Scale	150	25	80	0,4
Sala professori	300	19	80	0,6
Biblioteca	500	19	80	0,6
Magazzini materiale didattico	100	25	80	0,4

Tabella 22 – Valori di riferimento dei requisiti per l'illuminazione artificiale negli ambienti scolastici, secondo la normativa UNI EN 12464-1:2011.

## Tipologia di apparecchi

La tipologia di apparecchio utilizzata è una plafoniera rettangolare ultrasottile ad emissione diretta verso la superficie del compito visivo e indiretta verso il soffitto. Questa soluzione è stata scelta come sostitutiva degli apparecchi presenti allo stato di fatto in tutto l'edificio scolastico, così da garantire una continuità ed un'omogeneità delle prestazioni illuminotecniche in tutto l'edificio. Si è reso tuttavia necessario determinare le opportune varianti rispetto alla tipologia generale dell'apparecchio per soddisfare al meglio i requisiti illuminotecnici e per rispettare le caratteristiche architettoniche degli ambienti.

### Tipologia di apparecchio 1

La tipologia 1 di questo apparecchio è utilizzata per tutto il piano terra dell'edificio e prevede un sistema di canaline rigide che corrono tra due pareti opposte degli ambienti, sostenendo strutturalmente l'impianto degli apparecchi, e in cui vengono fatti scorrere i cavi che alimentano le plafoniere. Questa soluzione si è resa necessaria poiché la conformazione del soffitto degli ambienti del piano terra è costituita da un susseguirsi di volte a botte che impediscono il posizionamento degli apparecchi in maniera tradizionale.

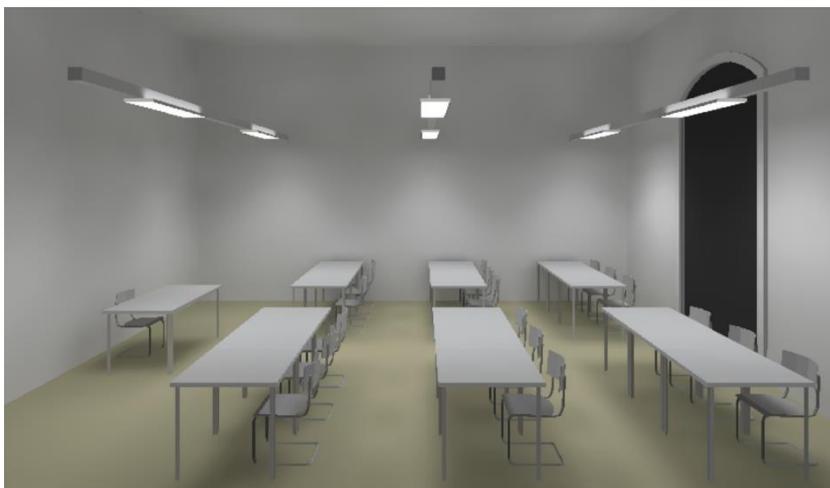


Figura 88 - Immagine descrittiva del posizionamento degli apparecchi negli ambienti del piano terra.



Figura 89 – apparecchio utilizzato nelle aule del piano terra nell'ipotesi di progetto.

## Caratteristiche apparecchio:

- Tipologia apparecchio: plafoniera LED sospesa su canaline rigide
- Sorgente luminosa: LED
- Tipologia di installazione: sospesa su canaline rigide
- Potenza: 38 W
- Potenza assorbita: 38 W
- Potenza in standby: 0,5 W
- Distribuzione luce: emissione diretta e indiretta
- Temperatura di colore correlata: 5500 K
- Flusso luminoso apparecchio: 4350 lm
- Efficienza apparecchio: 114 lm/W
- Sistema di controllo: dimmerabile e programmabile

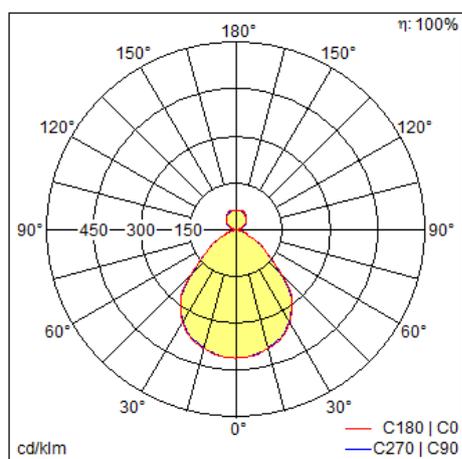


Figura 90 - Curva fotometrica della tipologia 1 di apparecchio.

## Tipologia di apparecchio 2

Questa tipologia di apparecchio corrisponde esattamente alla tipologia 1, sia per modalità di installazione che per posizionamento all'interno dell'edificio, ossia al piano terra. La differenza sta nella potenza dell'apparecchio. La scelta di utilizzare due tipologie differenti di potenza sta nella volontà di ridurre al minimo consentito il sovradimensionamento dell'impianto così da limitare al massimo gli sprechi all'interno del consumo energetico, garantendo tuttavia i requisiti espressi dalla normativa.



Figura 91 – apparecchio utilizzato nelle aule del piano terra nell'ipotesi di progetto.

Caratteristiche apparecchio:

- Tipologia apparecchio: plafoniera LED sospesa su canaline rigide
- Sorgente luminosa: LED
- Tipologia di installazione: sospesa su canaline rigide
- Potenza: 48,2 W
- Potenza assorbita: 48,2 W
- Potenza in standby: 0,5 W
- Distribuzione luce: emissione diretta e indiretta
- Temperatura di colore correlata: 5500 K
- Flusso luminoso apparecchio: 5440 lm
- Efficienza apparecchio: 113 lm/W
- Sistema di controllo: dimmerabile e programmabile

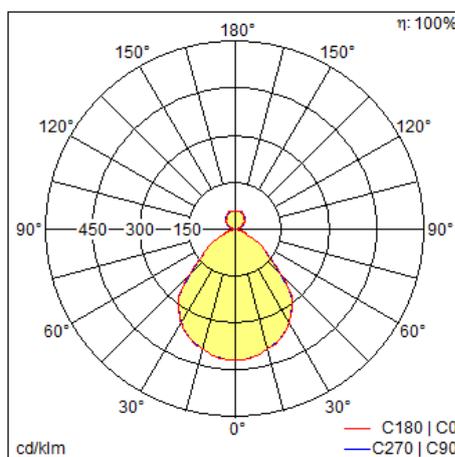


Figura 92 - Curva fotometrica della tipologia 2 di apparecchio.

### Tipologia di apparecchio 3

La tipologia 3 di questo apparecchio è identica alla tipologia 1 se non per la modalità di installazione. Questo tipo di apparecchio è stato infatti pensato per gli ambienti (esclusi i corridoi e le zone di passaggio) del primo piano e del secondo piano poiché il soffitto piano permette l'installazione di plafoniere sospese sorrette da cavi di metallo. È stata scelta questa tipologia e non quella direttamente attaccata al soffitto poiché l'altezza degli ambienti e i requisiti di illuminamento da rispettare necessitavano di un apparecchio posizionato più vicino alle superfici adibite allo svolgimento del compito visivo.



Figura 93 – apparecchio utilizzato nelle aule del piano terra nell'ipotesi di progetto.

Caratteristiche apparecchio:

- Tipologia apparecchio: plafoniera LED sospesa su cavi metallici
- Sorgente luminosa: LED
- Tipologia di installazione: sospesa su cavi metallici
- Potenza: 38 W
- Potenza assorbita: 38 W
- Potenza in standby: 0,5 W
- Distribuzione luce: emissione diretta e indiretta
- Temperatura di colore correlata: 5500 K
- Flusso luminoso apparecchio: 4350 lm
- Efficienza apparecchio: 114 lm/W
- Sistema di controllo: dimmerabile e programmabile

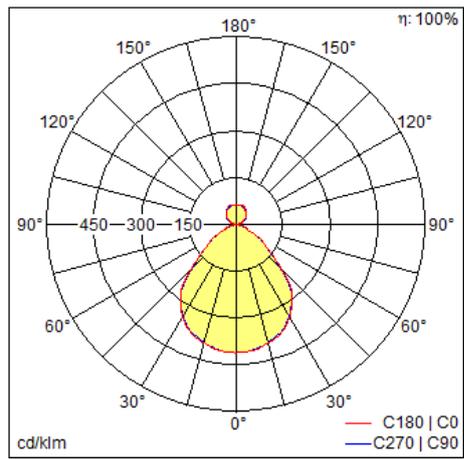


Figura 94 - Curva fotometrica della tipologia di apparecchio 3.

## Tipologia di apparecchio 4

La tipologia 4 di questo apparecchio è identica alla tipologia 2 se non per la modalità di installazione. Questo tipo di apparecchio è stato infatti pensato per gli ambienti (esclusi i corridoi e le zone di passaggio) del primo piano e del secondo piano poiché il soffitto piano permette "installazione di plafoniere sospese sorrette da cavi di metallo. È stata scelta questa tipologia e non quella direttamente attaccata al soffitto poiché l'altezza degli ambienti e i requisiti di illuminamento da rispettare necessitavano di un apparecchio posizionato più vicino alle superfici adibite allo svolgimento del compito visivo.



Figura 95 – apparecchio utilizzato nelle aule del piano terra nell'ipotesi di progetto.

Caratteristiche apparecchio:

- Tipologia apparecchio: plafoniera LED sospesa su canaline rigide
- Sorgente luminosa: LED
- Tipologia di installazione: sospesa su canaline rigide
- Potenza: 48,2 W
- Potenza assorbita: 48,2 W
- Potenza in standby: 0,5 W
- Distribuzione luce: emissione diretta e indiretta
- Temperatura di colore correlata: 5500 K
- Flusso luminoso apparecchio: 5440 lm
- Efficienza apparecchio: 113 lm/W
- Sistema di controllo: dimmerabile e programmabile

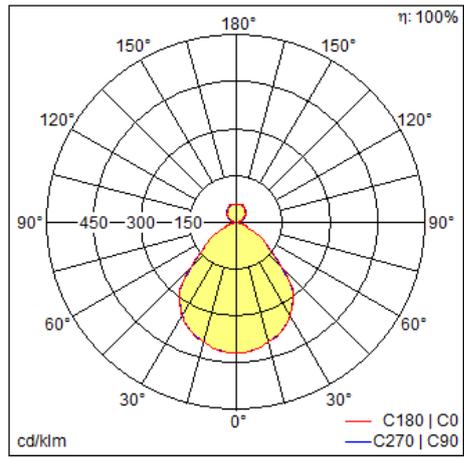


Figura 96 - Curva fotometrica della tipologia di apparecchio 4.

## Tipologia di apparecchio 5

Questa tipologia di apparecchio è stata scelta come sostitutiva degli apparecchi presenti allo stato di fatto in corrispondenza del primo piano e del secondo piano dell'edificio, per quanto riguarda gli ambienti di transito e i corridoi. Rispetto al piano terra, questi ultimi presentano un soffitto piano in cui è stato possibile inserire una soluzione di plafoniere attaccate al soffitto stesso.



Figura 97 – Apparecchio utilizzato nelle aree di transito e nei corridoi del primo e del secondo piano.

Caratteristiche apparecchio:

- Tipologia apparecchio: plafoniera LED a soffitto ultrasottile
- Sorgente luminosa: LED
- Tipologia di installazione: a soffitto
- Potenza: 31,3 W
- Potenza assorbita: 31,3 W
- Potenza in standby: 0,5 W
- Distribuzione luce: emissione diretta e indiretta
- Temperatura di colore correlata: 5500 K
- Flusso luminoso apparecchio: 3650 lm
- Efficienza apparecchio: 117 lm/W
- Sistema di controllo: dimmerabile e programmabile

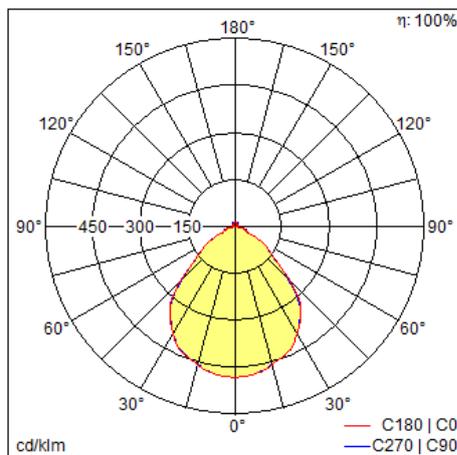
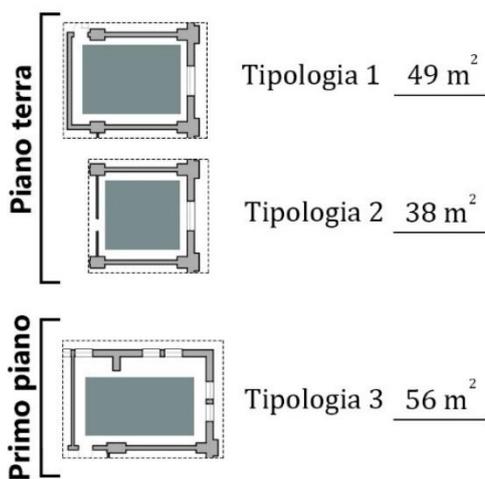


Figura 98 - Curva fotometrica della tipologia 5 di apparecchio.

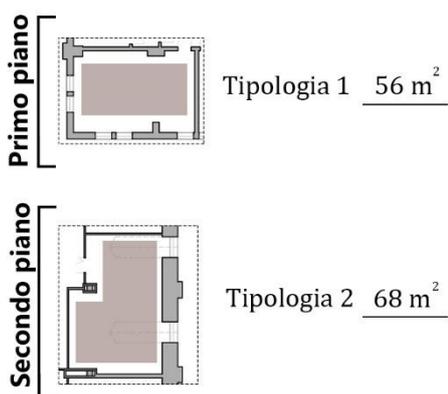
## Definizione degli ambienti per tipologia e per caratteristiche

Come già definito nell'introduzione di questo capitolo, per poter valutare l'efficacia dell'impianto di illuminazione scelto nell'ipotesi di progetto, sono stati presi in esame gli ambienti considerati più significativi in termini di numero e di funzione. A questo proposito, sono state scelte come tipologie principali di indagine le aule e i laboratori. Le aule sono presenti nel piano terra e nel primo piano dell'edificio, mentre i laboratori sono presenti esclusivamente nel secondo piano, con l'unica eccezione del laboratorio di scienze che si trova al primo piano.

### Aula



### Laboratorio



## Aula: tipologia 1

Vista la conformazione voltata del soffitto, caratteristica di tutti gli ambienti del piano terra, la soluzione scelta nell'ipotesi di progetto per quanto riguarda la tipologia 1 per la funzione "aula scolastica", è quella di inserire tre canaline rigide che corrono da una parete verso quella opposta dell'ambiente, trasversalmente, sostenendo strutturalmente due plafoniere ciascuna, per un totale di sei apparecchi. Questa soluzione si è resa necessaria in quanto la preesistenza del soffitto voltato impedisce l'aggancio diretto delle plafoniere tramite cavi. Gli apparecchi sono stati quindi posizionati ad un'altezza di 3 metri dal pavimento, così da avvicinarli alle superfici del compito visivo e poter ridurre la potenza assorbita dall'impianto al fine di soddisfare i requisiti richiesti.

Come già specificato nella descrizione degli apparecchi scelti nell'ipotesi di progetto, queste plafoniere determinano un'emissione diretta verso le superfici del compito visivo e indiretta verso il soffitto voltato, creando un ambiente uniformemente illuminato senza zone d'ombra troppo marcate, come si può vedere dalla rappresentazione in false color sotto riportata.

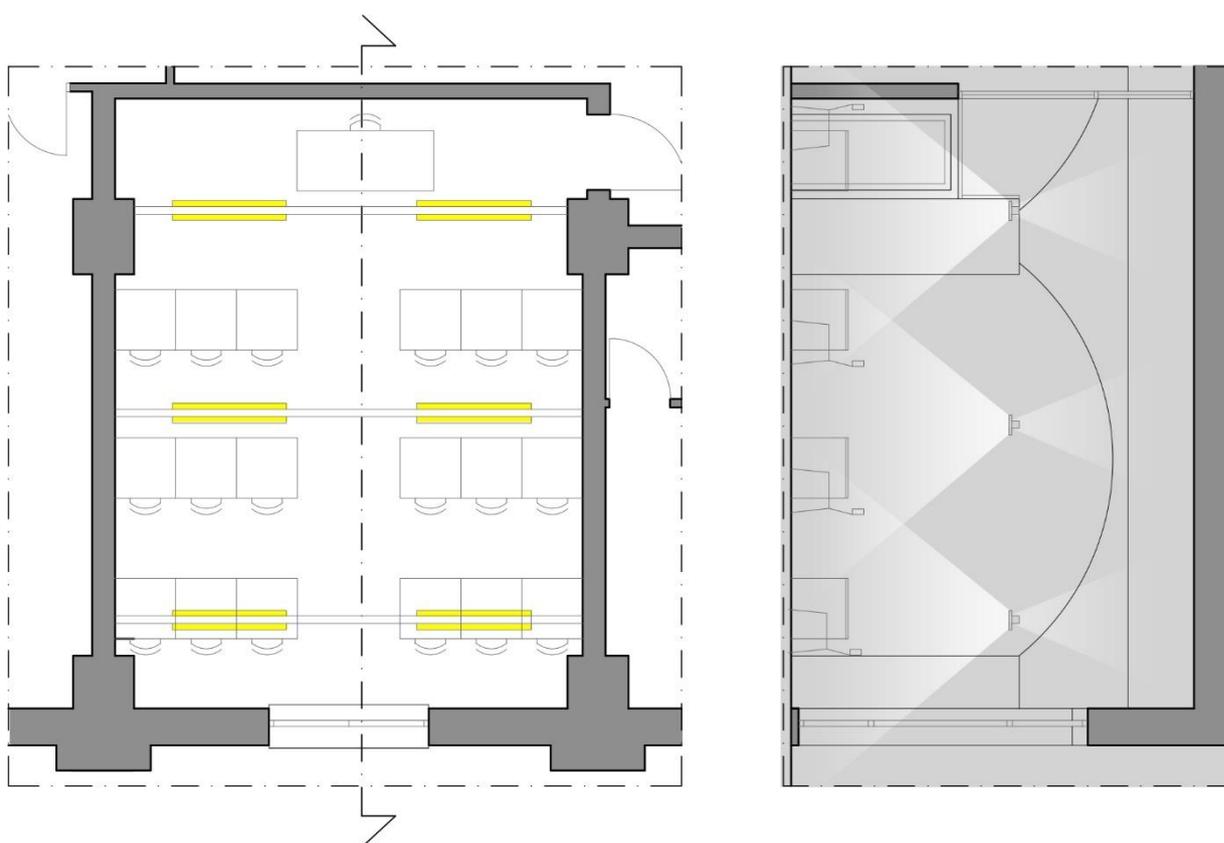


Figura 99 – Pianta e sezione fuori scala dell'aula tipologia 1 con disposizione dei banchi e degli apparecchi.

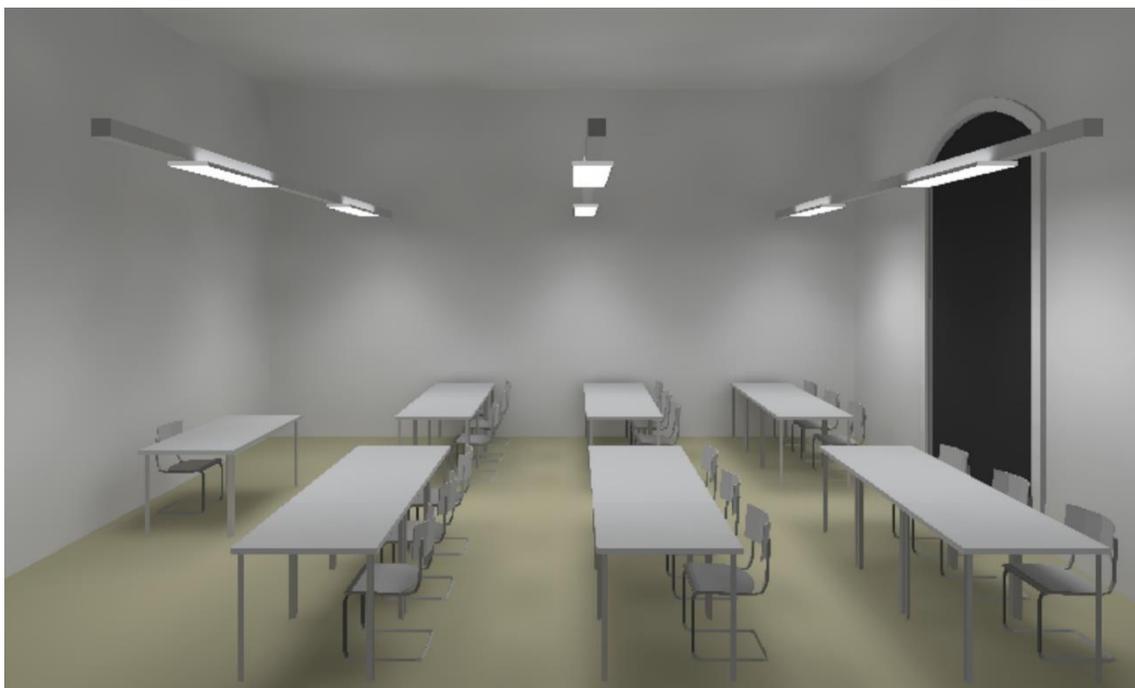
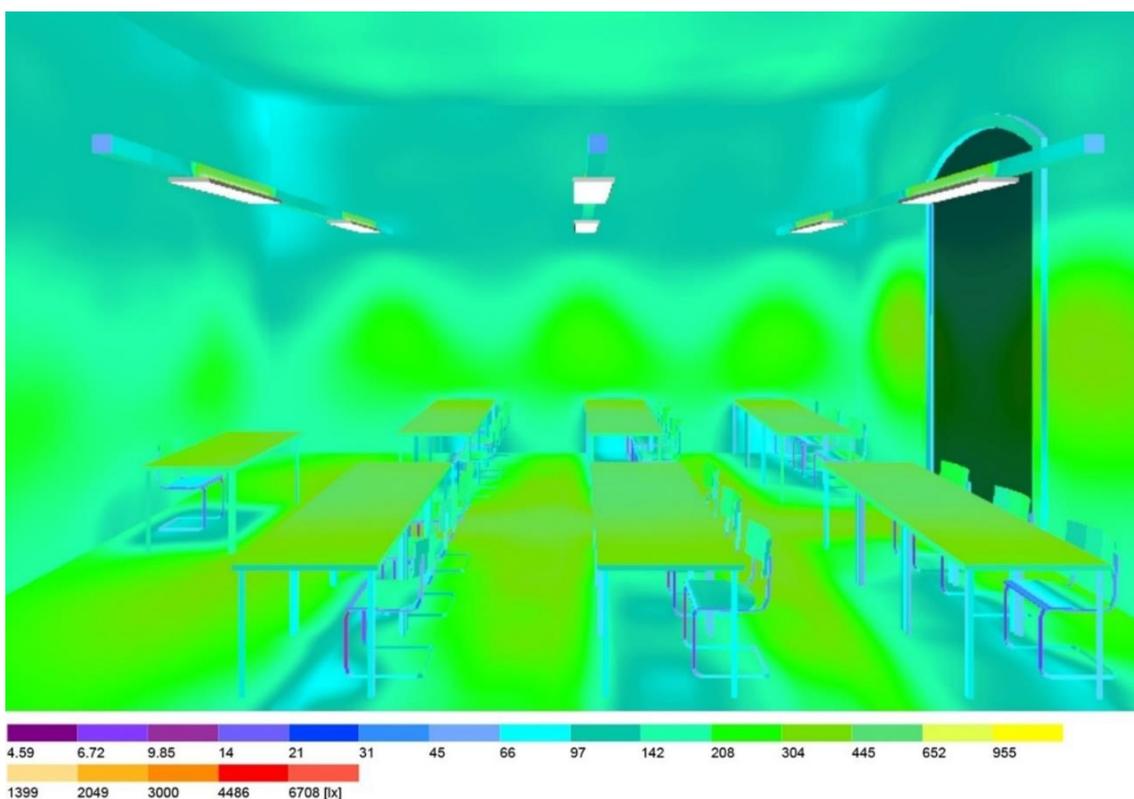


Figura 100 – Disposizione degli apparecchi per la tipologia 1 dell’ambiente “aula”.



$E_m = 341 \text{ lx}$      $E_{min} = 211 \text{ lx}$      $E_{max} = 413 \text{ lx}$      $E_{min}/E_m = 0,6$

$UGR_{max} = 14,6$     Valore limite  $UGR < 19$

Superficie di calcolo posizionata a 75 cm dal pavimento in corrispondenza delle superfici del compito visivo: banchi e cattedra

Figura 101 – Verifica in false color della distribuzione dell’illuminamento all’interno dell’ambiente.

## Aula: tipologia 2

Poiché anche la tipologia 2 dell'ambiente "aula" si trova nel piano terra, la scelta progettuale nei confronti dell'impianto di illuminazione artificiale è la stessa di quella adottata per la tipologia 1. Infatti, la struttura dell'impianto è composta sempre da canaline trasversali, in questo caso solo due, che sostengono due plafoniere ciascuna. La differenza sta quindi nel fatto che le due aule presentano metrature differenti (49 m<sup>2</sup> la tipologia 1 e 38 m<sup>2</sup> la tipologia 2) per cui la quantità di apparecchi necessari a raggiungere i requisiti di comfort visivo si riduce da sei a quattro.

La posizione delle canaline è sempre a 3 metri dal pavimento, come già visto per la tipologia 1.

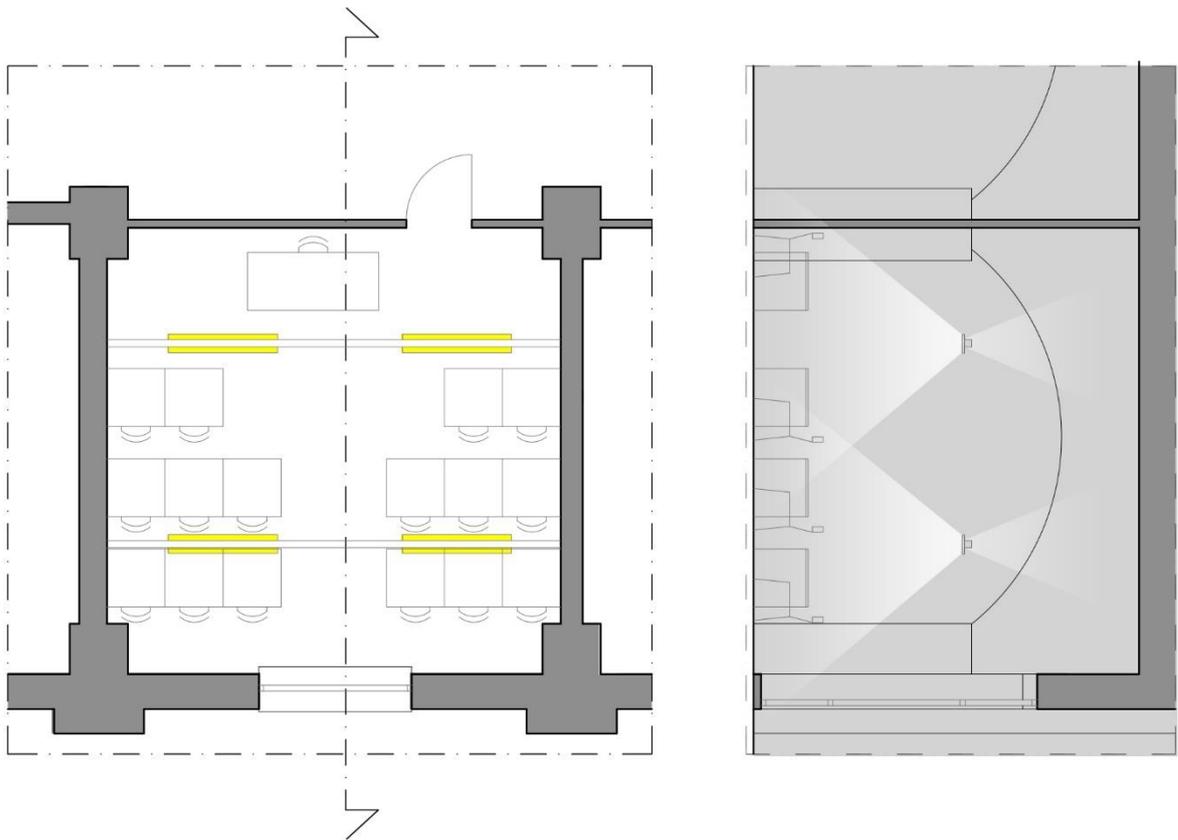


Figura 102 - Pianta e sezione fuori scala dell'aula tipologia 2 con disposizione dei banchi e degli apparecchi.

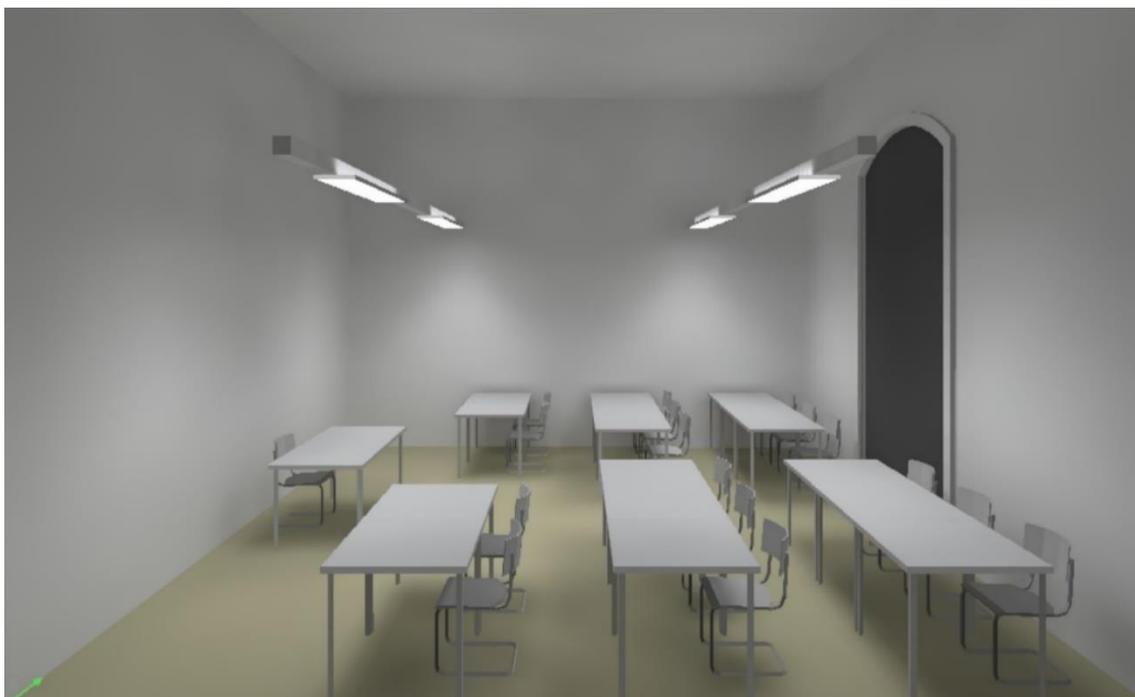
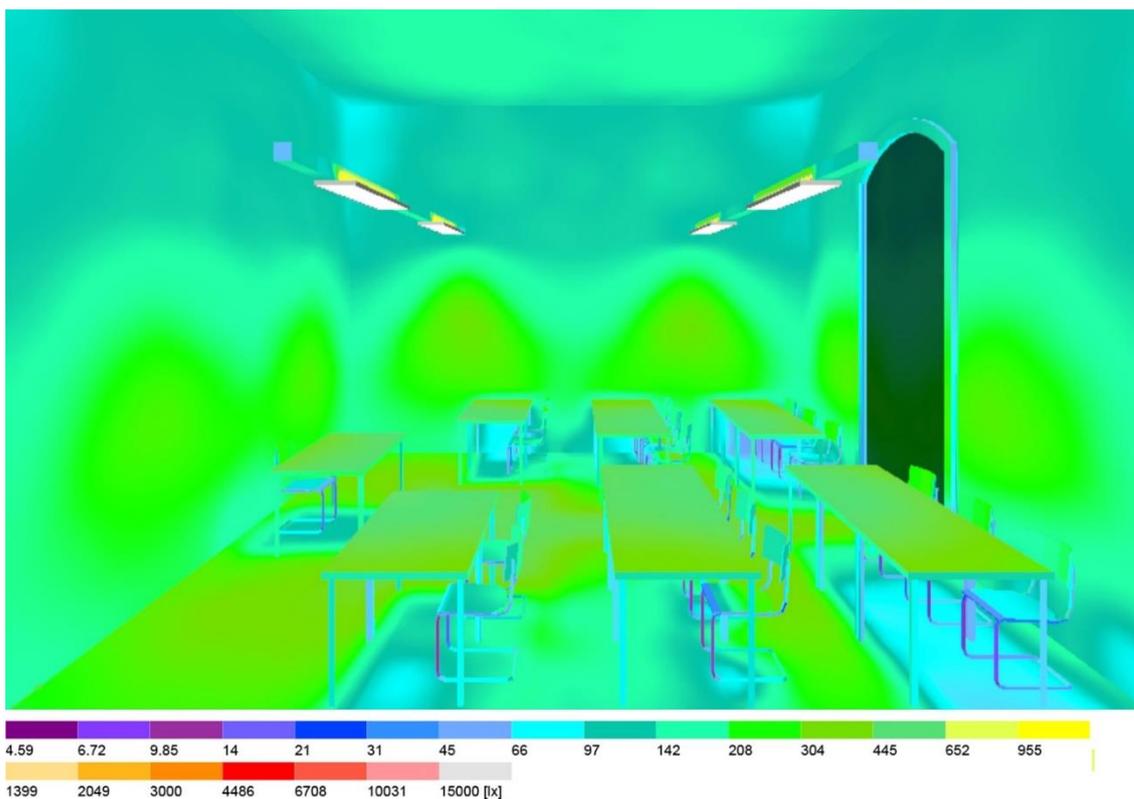


Figura 103 - Disposizione degli apparecchi per la tipologia 2 dell'ambiente "aula".



$E_m = 373 \text{ lx}$      $E_{min} = 243 \text{ lx}$      $E_{max} = 476 \text{ lx}$      $E_{min}/E_m = 0,6$

$UGR_{max} = 15,4$     Valore limite  $UGR < 19$

Superficie di calcolo posizionata a 75 cm dal pavimento in corrispondenza delle superfici del compito visivo: banchi e cattedra

Figura 104 - Verifica in false color della distribuzione dell'illuminamento all'interno dell'ambiente.

### Aula: tipologia 3

La tipologia 3 dell'ambiente "aula" si trova al primo piano, caratterizzato dalla presenza di un soffitto piano. Questa conformazione ha permesso di utilizzare, nell'ipotesi di progetto, lo stesso apparecchio scelto per il piano terra, con la differenza che non si è più reso necessario l'utilizzo della canalina poiché è stato possibile agganciare al soffitto ciascuna plafoniera tramite cavi metallici.

Poiché l'altezza dell'ambiente supera anche in questo caso i 4 metri, gli apparecchi sono stati posizionati a 3 metri dal pavimento, così da avvicinare, come per il caso del piano terra, le sorgenti alle superfici del compito visivo e diminuire il consumo energetico.

Per questa tipologia di aula, gli apparecchi sono stati posizionati longitudinalmente rispetto all'ambiente, disposti su due file composte da tre elementi ciascuna, per un totale di sei plafoniere.

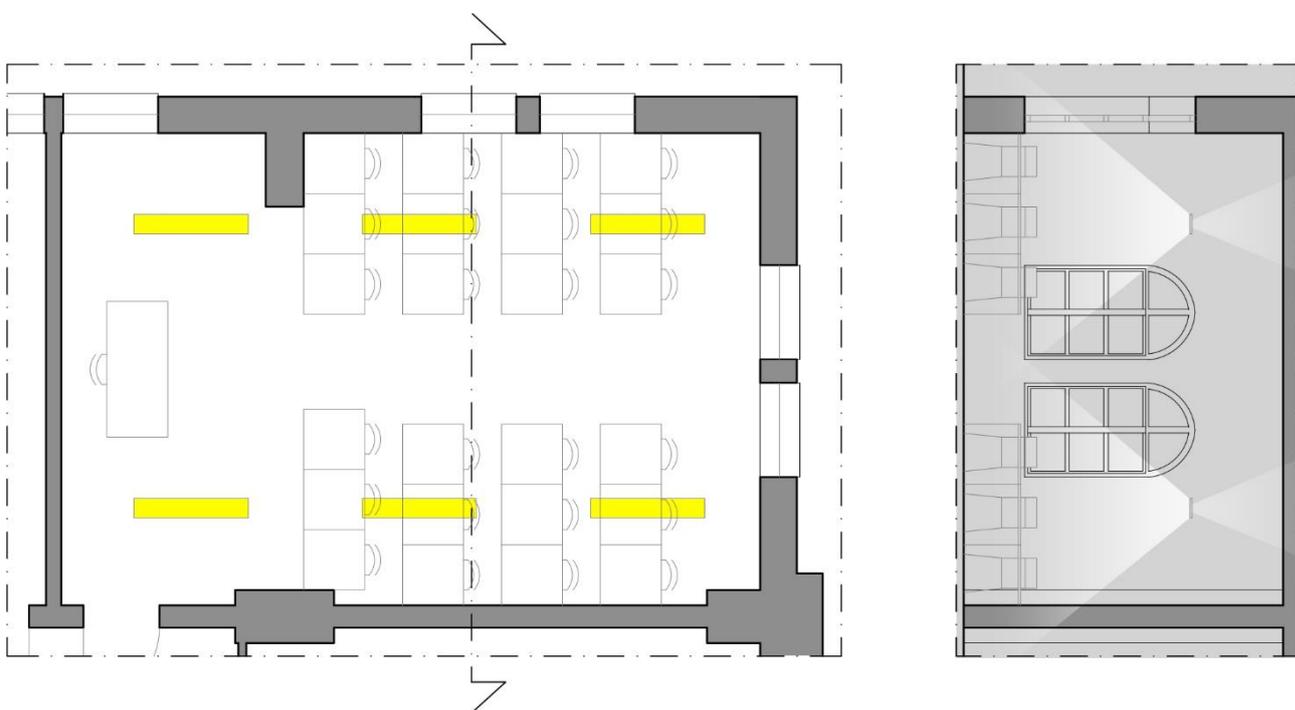


Figura 105 - Pianta e sezione fuori scala dell'aula tipologia 3 con disposizione dei banchi e degli apparecchi.

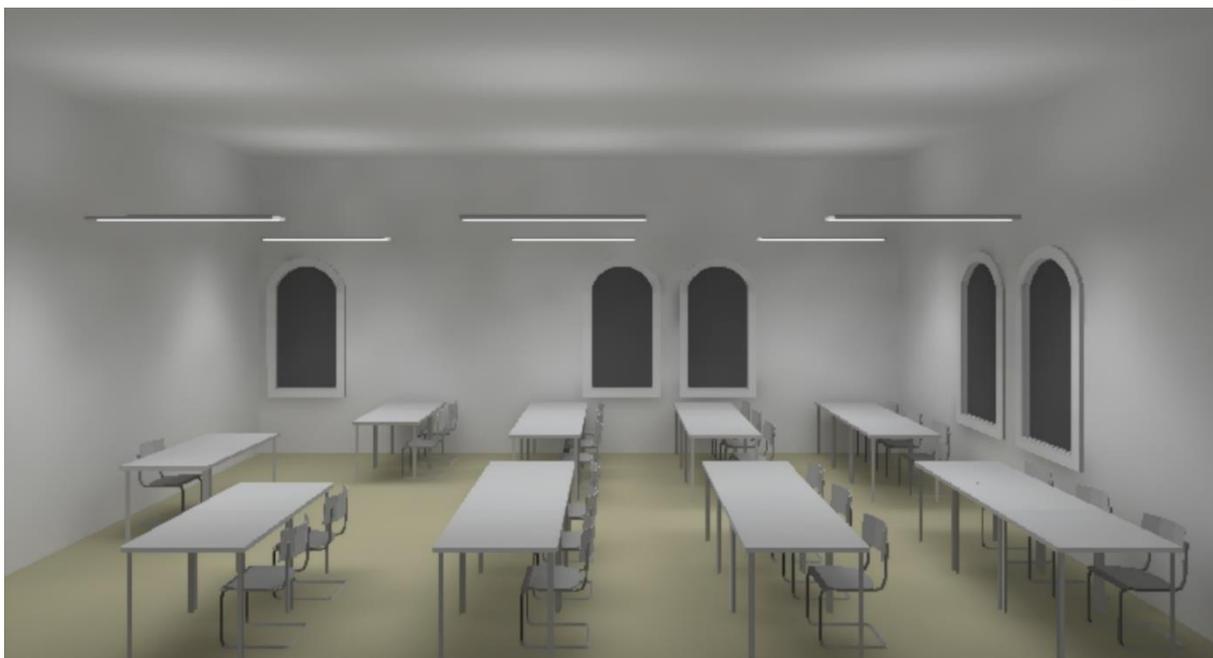
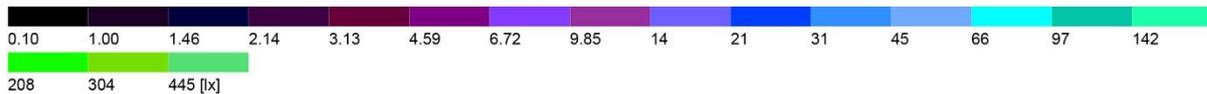
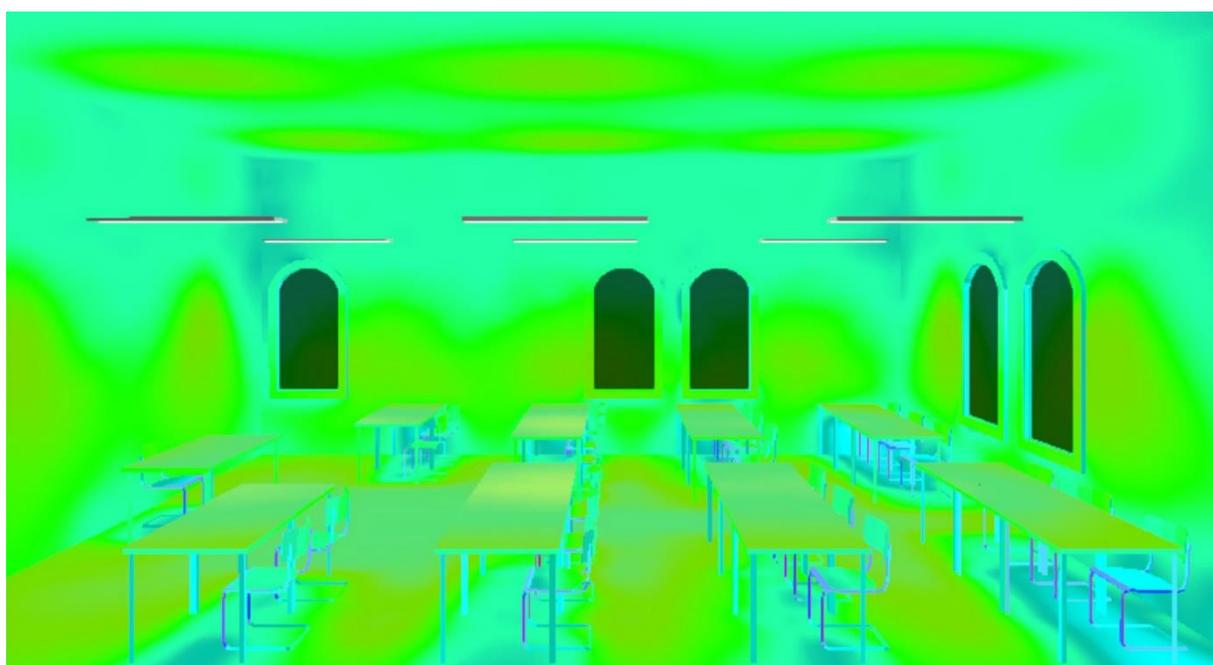


Figura 106 - Disposizione degli apparecchi per la tipologia 3 dell'ambiente "aula".



$E_m = 414 \text{ lx}$      $E_{min} = 264 \text{ lx}$      $E_{max} = 511 \text{ lx}$      $E_{min}/E_m = 0,6$

$UGR_{max} = 14,6$     Valore limite  $UGR < 19$

Superficie di calcolo posizionata a 75 cm dal pavimento in corrispondenza delle superfici del compito visivo: banchi e cattedra

Figura 107 - Verifica in false color della distribuzione dell'illuminamento all'interno dell'ambiente.

## Laboratorio: tipologia 1

La tipologia 1 dell'ambiente "laboratorio" è collocata al primo piano e presenta le stesse caratteristiche architettoniche della tipologia 3 dell'ambiente "aula", l'unica differenza sta nel fatto che, essendo uno spazio adibito a laboratorio di scienze, il target di illuminamento richiesto è di 500 lux invece di 300 lux (per le aule). Anche in questo caso è stato possibile inserire gli apparecchi sostenuti da cavi metallici, collocati longitudinalmente rispetto all'ambiente e disposti su due file parallele, ciascuna comprendente quattro plafoniere.

Come per tutte le altre tipologie analizzate in precedenza, gli apparecchi sono stati posizionati a 3 metri di altezza rispetto al pavimento, così da diminuire lo spazio tra la sorgente luminosa e la superficie del compito visivo.

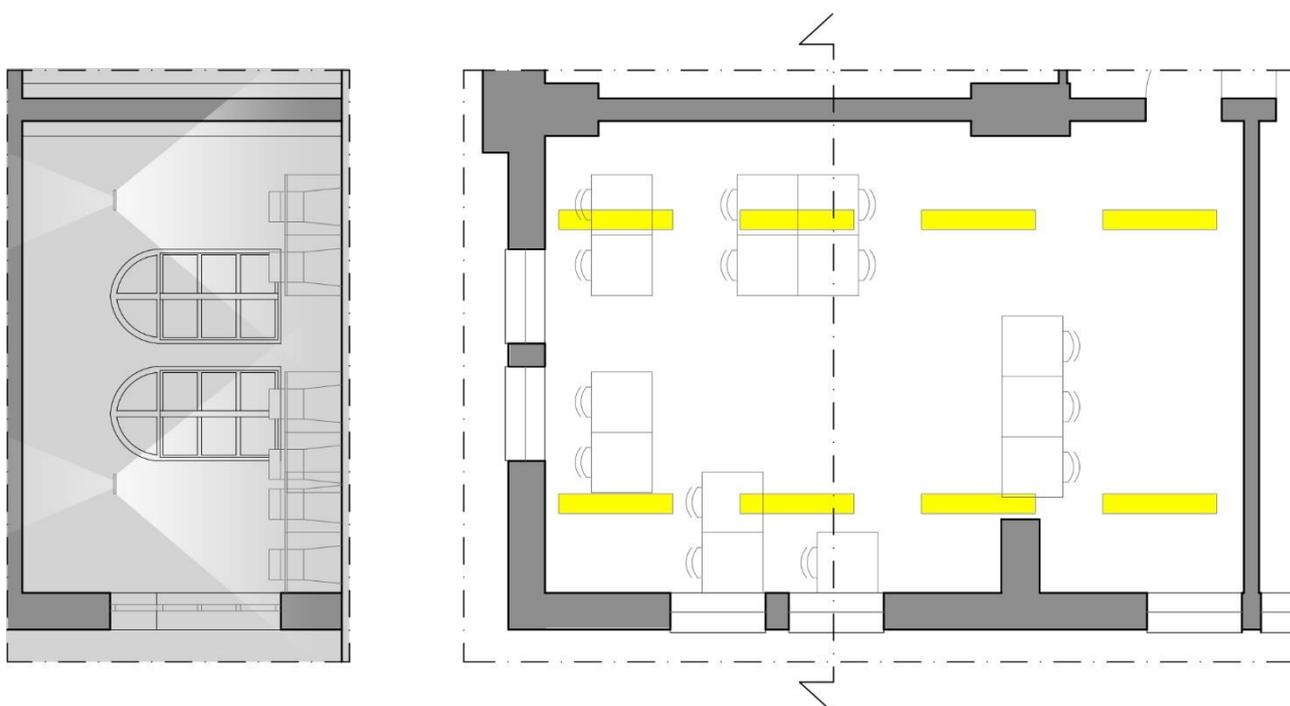


Figura 108 - Pianta e sezione fuori scala del laboratorio tipologia 1 con disposizione dei banchi e degli apparecchi.

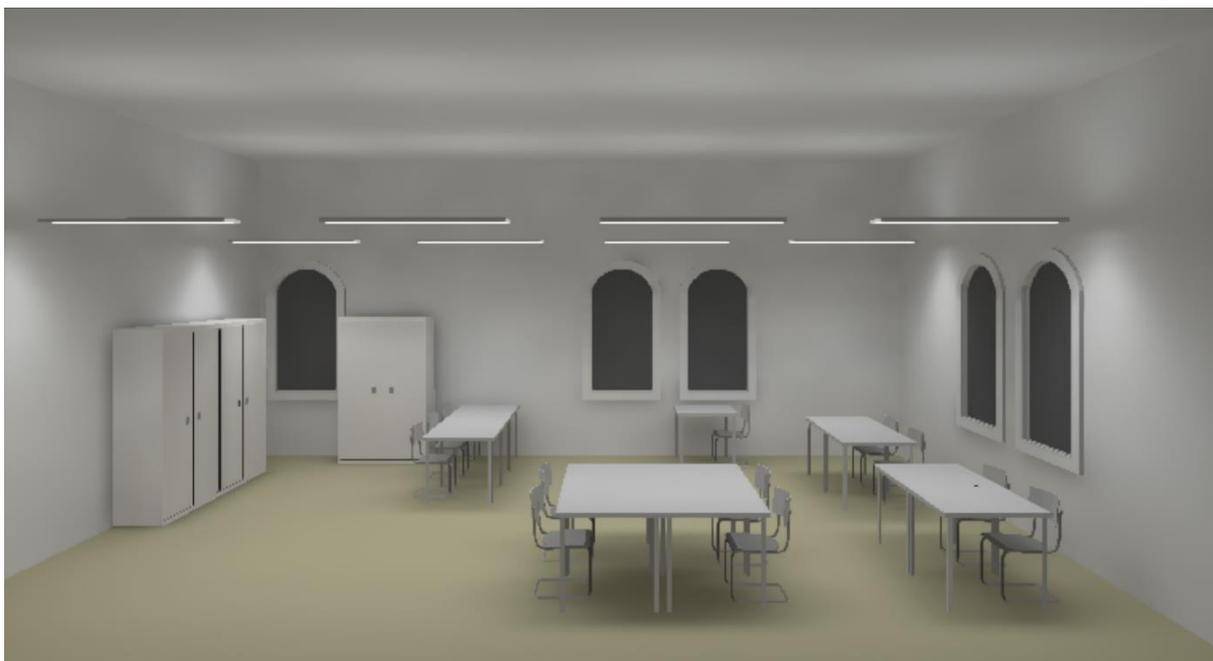
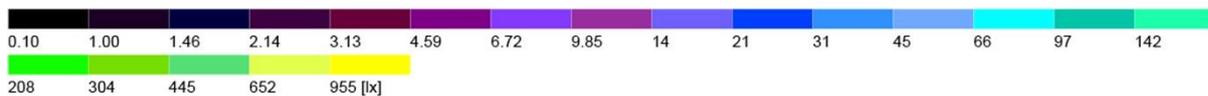


Figura 109 - Disposizione degli apparecchi per la tipologia 1 dell'ambiente "laboratorio".



$E_m = 557 \text{ lx}$        $E_{min} = 296 \text{ lx}$        $E_{max} = 663 \text{ lx}$        $E_{min}/E_m = 0,5$

$UGR_{max} = 13,7$       Valore limite  $UGR < 19$

Superficie di calcolo posizionata a 75 cm dal pavimento in corrispondenza delle superfici del compito visivo: banchi

Figura 110 - Verifica in false color della distribuzione dell'illuminamento all'interno dell'ambiente.

## Laboratorio: tipologia 2

La tipologia 2 dell'ambiente "laboratorio" è collocata al secondo piano, in cui la conformazione del soffitto presenta una parte piana e una parte inclinata dovuta alle falde del tetto. Il secondo piano, infatti, coincide con il sottotetto dell'edificio e, oltre ad avere il soffitto inclinato, presenta le aperture ad abbaino. Soprattutto in questo caso, è stato possibile inserire gli apparecchi direttamente a soffitto, data la presenza di una controsoffittatura posizionata ad un'altezza di 3,2 metri che consente di diminuire lo spazio presente tra la superficie del compito visivo e la sorgente di illuminazione.

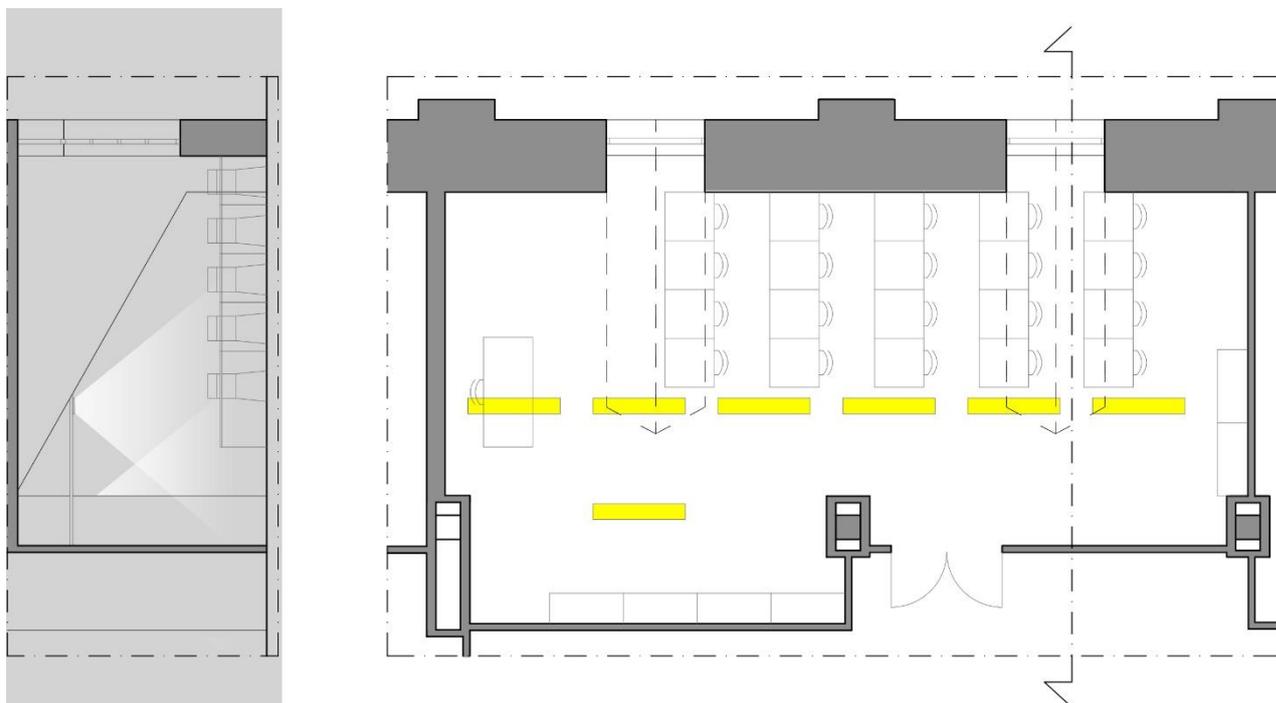
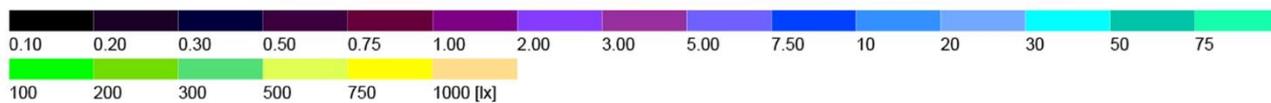
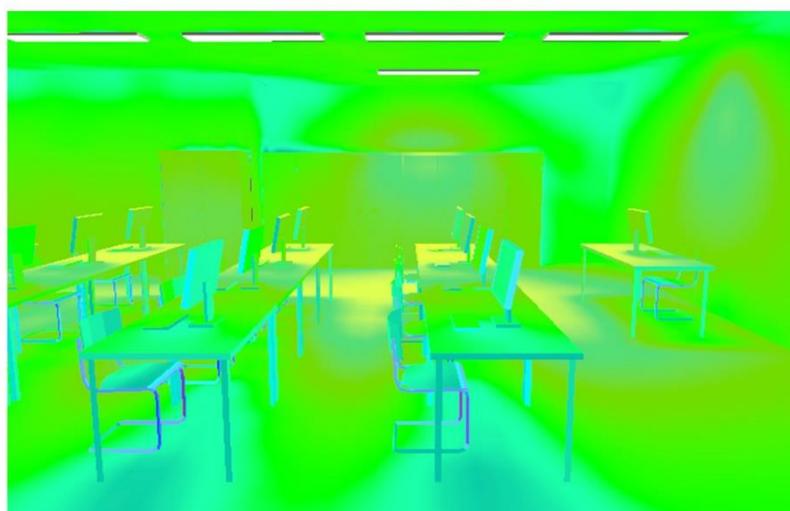


Figura 111 - Pianta e sezione fuori scala del laboratorio tipologia 2 con disposizione dei banchi e degli apparecchi.



Figura 112 - Disposizione degli apparecchi per la tipologia 2 dell'ambiente "laboratorio".



$E_m = 345 \text{ lx}$      $E_{min} = 91 \text{ lx}$      $E_{max} = 662 \text{ lx}$      $E_{min}/E_m = 0,3$

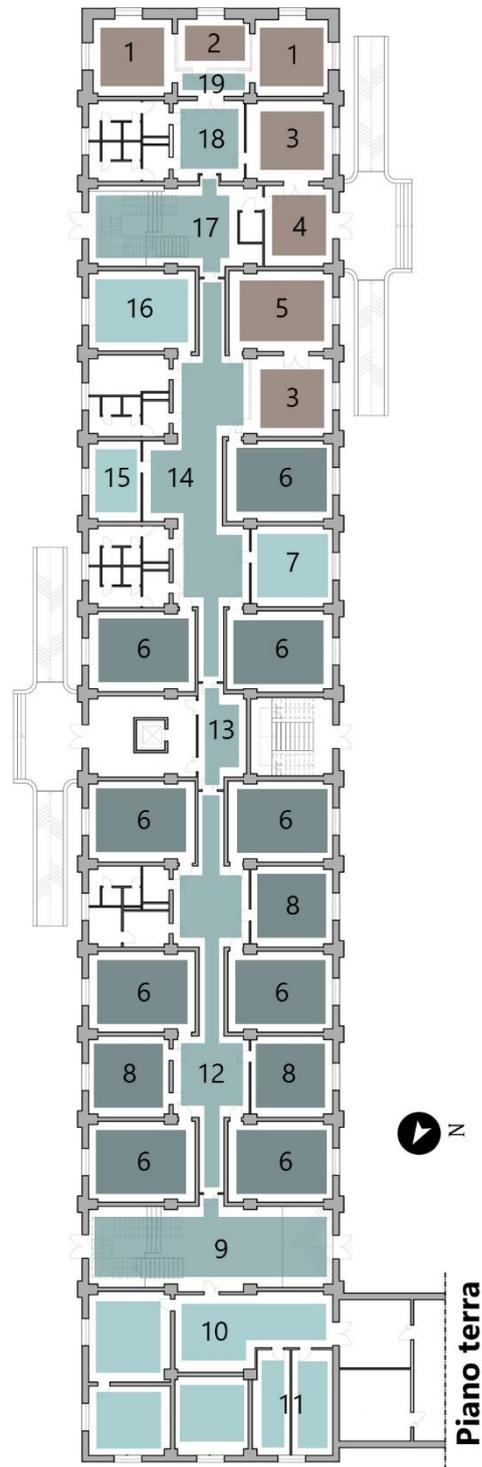
$UGR_{max} = 16,5$     Valore limite  $UGR < 19$

Superficie di calcolo posizionata a 75 cm dal pavimento in corrispondenza delle superfici del compito visivo: banchi e cattedra

Figura 113 - Verifica in false color della distribuzione dell'illuminamento all'interno dell'ambiente.

## 6.2.1. LENI ipotesi di progetto

### Piano terra



<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #2c4e5c; border: 1px solid black;"></span> Aula.....	514 m <sup>2</sup>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #4db6ac; border: 1px solid black;"></span> Corridoio...	492 m <sup>2</sup>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #8d6e63; border: 1px solid black;"></span> Ufficio.....	259 m <sup>2</sup>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #4db6ac; border: 1px solid black;"></span> Altri usi.....	421 m <sup>2</sup>

## Confronto dati tra stato di fatto e ipotesi di progetto per ciascuna tipologia di ambiente

### Zona 1 – Ufficio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 37 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 192,8 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 195,8 kWh

LENI: 5,29 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 737,0 kWh

LENI: 19,91 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **73,4 %**

## Zona 2 – Ufficio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 20 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 38 W
- Numero di apparecchi: 3
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 114 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 209,7 kWh

LENI: 10,48 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 883,8 kWh

LENI: 44,19 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **76,3 %**

## Zona 3 – Ufficio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 40 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 38 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 228 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 356,2 kWh

LENI: 7,42 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1824,4 kWh

LENI: 27,30 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **80,5 %**

#### Zona 4 - Ufficio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 32 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 192,8 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 347,9 kWh

LENI: 10,87 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1090,4 kWh

LENI: 34,07 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **68,1 %**

#### Zona 5 - Ufficio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 48 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera agganciata alla parete
- Potenza apparecchio: 38 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 228 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 421,1 kWh

LENI: 8,77 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1824,4 kWh

LENI: 38,00 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **76,7%**

## Zona 6 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 9
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 49 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 38 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 228 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 494,4 kWh

LENI: 10,08 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2150,3 kWh

LENI: 43,88 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **77 %**

## Zona 7 - Deposito

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 38 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 62,6 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo annuo ambiente considerato: 333,0 kWh

LENI: 6,80 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1164,0 kWh

LENI: 30,63 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **71,4%**

## Zona 8 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 3
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 38 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 192,8 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 367,3 kWh

LENI: 9,66 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1488,6 kWh

LENI: 39,17 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **75,3%**

## Zona 9 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 76 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 3
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 93,9 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 138,1 kWh

LENI: 1,82 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2388,1 kWh

LENI: 31,42 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **94,2%**

## Zona 10 - Deposito

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 61 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 3
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 93,9 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 206,6 kWh

LENI: 3,39 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2547,2 kWh

LENI: 41,75 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **91,9%**

## Zona 11 - Spogliatoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 48 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 96,4 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 145,3 kWh

LENI: 3,02 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1382,3 kWh

LENI: 28,80 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **89,5%**

### Zona 12 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 106 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 38 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 152 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 278,4 kWh

LENI: 2,63 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2388,1 kWh

LENI: 22,53 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **88,3%**

### Zona 13 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 27 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 62,6 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 115,3 kWh

LENI: 4,27 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 955,8 kWh

LENI: 35,4 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **87,9%**

### Zona 14 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 133 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 38 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 152 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 278,4 kWh

LENI: 2,09 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 3104,2 kWh

LENI: 23,33 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **91%**

### Zona 15 - Deposito

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 24 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 1
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 48,2 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 75,8 kWh

LENI: 3,15 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 854,7 kWh

LENI: 35,6 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **91,1%**

## Zona 16 - Deposito

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 48 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 96,4 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 141,4 kWh

LENI: 5,89 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1693,0 kWh

LENI: 34,55 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **91,6%**

## Zona 17 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 37 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 62,6 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 115,3 kWh

LENI: 3,12 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1194,6 kWh

LENI: 32,29 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **90,3%**

### Zona 18 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 33 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 1
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 48,2 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 89,0 kWh

LENI: 2,69 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

LENI: 14,50 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **81,4%**

### Zona 19 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 11 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa su canaline metalliche
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 1
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 31,3 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 58,1 kWh

LENI: 5,28 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 239,7 kWh

LENI: 21,79 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **75,8%**

**Piano terra - Confronto dei dati tra stato di fatto e ipotesi di progetto per il consumo energetico dell'intero piano**

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 43214,7 kWh

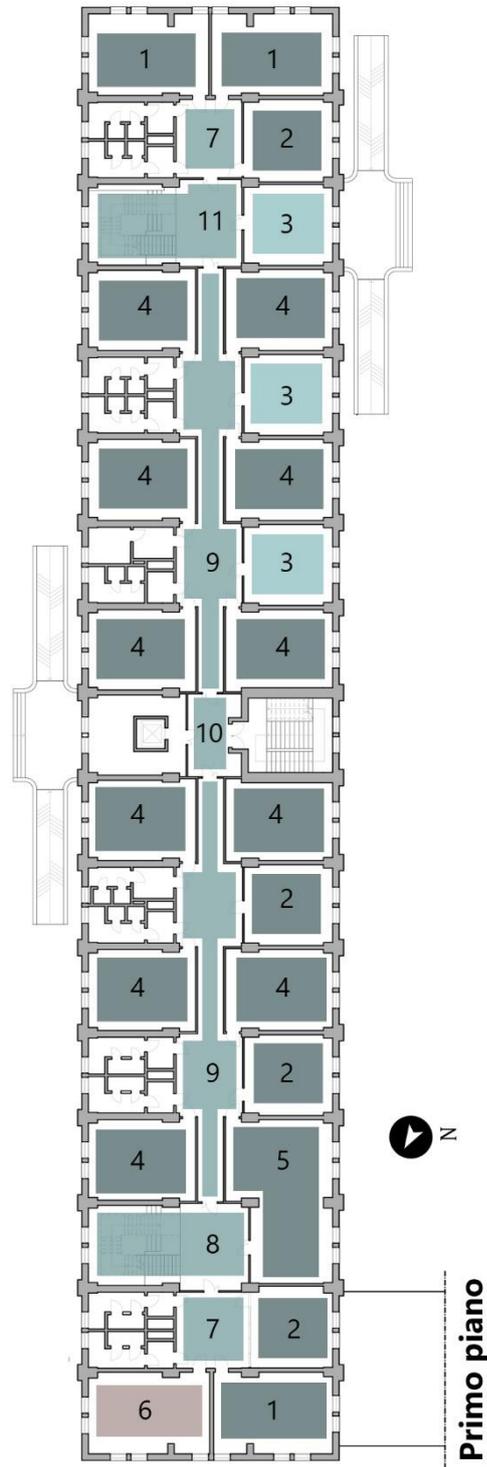
LENI: 33,11 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 8125,7 kWh

LENI: 6,23 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **81,2%**

Primo piano



- Aula..... 1088 m<sup>2</sup>
- Corridoio..... 438 m<sup>2</sup>
- Altri usi..... 116 m<sup>2</sup>
- Laboratorio..... 56 m<sup>2</sup>

## Confronto dei dati tra stato di fatto e ipotesi di progetto per ciascuna tipologia di ambiente

### Zona 1 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 3
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 56 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa tramite cavi metallici
- Potenza apparecchio: 38 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 228 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 477,3 kWh

LENI: 8,52 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1560,4 kWh

LENI: 27,79 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **69,4%**

## Zona 2 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 4
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 41 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa tramite cavi metallici
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 192,8 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 458,3 kWh

LENI: 11,18 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1717,5 kWh

LENI: 41,89 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **73,3%**

## Zona 3 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 3
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 41 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa tramite cavi metallici
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 96,4 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 160,8 kWh

LENI: 3,92 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1446,5 kWh

LENI: 35,28 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **88,9%**

#### Zona 4 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 11
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 50 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa tramite cavi metallici
- Potenza apparecchio: 38 W
- Numero di apparecchi: 8
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 304 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 817,9 kWh

LENI: 16,36 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1876,2 kWh

LENI: 37,52 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **56,4%**

#### Zona 5 – Aula

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 88 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa tramite cavi metallici
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 9
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 433,8 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON/OFF manuale
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 1505,2 kWh

LENI: 17,10 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 4536,5 kWh

LENI: 51,55 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **66,8%**

### Zona 6 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 500 lux
- Superficie: 56 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera sospesa tramite cavi metallici
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 9
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 433,8 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 835,2 kWh

LENI: 14,91 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1411,8 kWh

LENI: 25,21 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **39,6%**

### Zona 7 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 32 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 62,6 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 58,1 kWh

LENI: 3,60 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

LENI: 14,95 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **87,8%**

### Zona 8 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 34 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 62,6 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 115,3 kWh

LENI: 3,39 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 955,8 kWh

LENI: 28,11 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **87,9%**

### Zona 9 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 101 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 187,8 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 343,7 kWh

LENI: 3,40 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2388,1 kWh

LENI: 23,64 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **85,6%**

### Zona 10 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 13 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 1
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 31,3 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 58,1 kWh

LENI: 4,47 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

LENI: 36,57 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **37,8%**

### Zona 11 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 30 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 62,6 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 115,3 kWh

LENI: 3,84 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

LENI: 15,95 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **75,9%**

**Primo piano - Confronto dei dati tra stato di fatto e ipotesi di progetto per il consumo energetico dell'intero piano**

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 50122,8 kWh

LENI: 33,59 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 16177,1 kWh

LENI: 10,84 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **67,7%**



## Confronto dei dati tra stato di fatto e ipotesi di progetto per ciascuna tipologia di ambiente

### Zona 1 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 229 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 20
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 964 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 2131,9 kWh

LENI: 9,31 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 3202,3 kWh

LENI: 13,98 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **33,4%**

### Zona 2 – Sala conferenza/Biblioteca

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 88 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 9
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 433,8 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 843,9 kWh

LENI: 9,59 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 859,7 kWh

LENI: 9,77 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **1,8%**

### Zona 3 – Sala conferenza/Biblioteca

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 44 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 4
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 192,8 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 343,1 kWh

LENI: 7,80 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1096,7 kWh

LENI: 24,92 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **68,7%**

#### Zona 4 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 36 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 96,4 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 149,5 kWh

LENI: 4,15 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 379,0 kWh

LENI: 10,53 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **60,6%**

#### Zona 5 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 4
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 44 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 96,4 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 154,6 kWh

LENI: 3,51 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 391,9 kWh

LENI: 8,91 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **60,6%**

## Zona 6 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 88 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al controsoffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 6
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 289,2 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 723,5 kWh

LENI: 8,22 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1947,7 kWh

LENI: 22,13 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **62,9%**

## Zona 7 - Archivio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 57 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 38 W
- Numero di apparecchi: 3
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 114 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 333,9 kWh

LENI: 5,86 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 672,6 kWh

LENI: 11,80 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **50,3 %**

### Zona 8 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 68 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 5
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 241 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 792,7 kWh

LENI: 11,66 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1267,7 kWh

LENI: 18,64 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **37,4 %**

### Zona 9 – Sala conferenza/Biblioteca

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 500 lux
- Superficie: 44 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 8
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 385,6 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 697,5 kWh

LENI: 15,85 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 400,7 kWh

LENI: 9,11 kWh/m<sup>2</sup>anno

Aumento del consumo: + **42,5 %**

### Zona 10 - Laboratorio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 150 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 12
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 578,4 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 1657,0 kWh

LENI: 11,04 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1362,8 kWh

LENI: 9,09 kWh/m<sup>2</sup>anno

Aumento del consumo: **+21,5 %**

### Zona 11 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 32 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 62,6 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 115,3 kWh

LENI: 3,60 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 202,5 kWh

LENI: 6,33 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: **- 43,1 %**

### Zona 12 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 115 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 10
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 313 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 154,6 kWh

LENI: 1,34 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 1008,4 kWh

LENI: 8,77 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **84,7 %**

### Zona 13 - Corridoio

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 1
- Target di illuminamento: 100 lux
- Superficie: 15 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 31,3 W
- Numero di apparecchi: 1
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 31,3 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/dimmeraggio
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: manuale

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 58,1 kWh

LENI: 3,87 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 478,4 kWh

LENI: 31,89 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **87,9 %**

**Zona 14 - Laboratorio**

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 59 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 7
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 337,4 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 432,8 kWh

LENI: 7,33 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 373,1 kWh

LENI: 6,32 kWh/m<sup>2</sup>anno

Aumento del consumo: **+16,0 %**

**Zona 15 - Laboratorio**

- Ambienti con le stesse caratteristiche: 2
- Target di illuminamento: 300 lux
- Superficie: 44 m<sup>2</sup>
- Tipologia di apparecchio: plafoniera attaccata al soffitto
- Potenza apparecchio: 48,2 W
- Numero di apparecchi: 2
- Totale potenza assorbita dagli apparecchi: 96,4 W
- Sistema di controllo rispetto all'occupazione: ON manuale/auto OFF
- Sistema di controllo rispetto alla disponibilità di luce naturale: dimming con accensione

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 205,8 kWh

LENI: 4,68 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 330,8 kWh

LENI: 7,52 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: **- 37,8 %**

**Secondo piano - Confronto dei dati tra stato di fatto e ipotesi di progetto per il consumo energetico dell'intero piano**

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 14668,7 kWh

LENI: 10,21 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 10628,8 kWh

LENI: 7,40 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: **-19,6%**

## Intero edificio

### Confronto dati tra stato di fatto e ipotesi di progetto divisi per tipologia di ambiente

#### Tipologia "Ufficio"

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 7457 kWh

LENI: 29,36 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico totale annuale impianto ipotesi di progetto: 2082,7 kWh

LENI: 8,20 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **72,1%**

#### Tipologia "Aula"

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 54093,5 kWh

LENI: 39,26 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 17835,5 kWh

LENI: 12,94 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **67,0%**

#### Tipologia "Deposito"

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 14599,9 kWh

LENI: 23,86 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 2537,4 kWh

LENI: 4,15 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **82,6%**

### Tipologia "Corridoio"

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 20816,3 kWh

LENI: 19,64 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 3197,3 kWh

LENI: 3,02 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **84,6%**

### Tipologia "Laboratorio"

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 8682,4 kWh

LENI: 11,53 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 7394,2 kWh

LENI: 9,82 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **14,8%**

### Tipologia "Sala conferenza/Biblioteca"

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 2357,1 kWh

LENI: 13,39 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 1884,5 kWh

LENI: 10,71 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **20,0%**

**Confronto dati tra stato di fatto e ipotesi di progetto per l'intero edificio**

Consumo energetico annuale impianto stato di fatto: 108006,2 kWh

LENI: 25,51 kWh/m<sup>2</sup>anno

Consumo energetico annuale impianto ipotesi di progetto: 34931,6 kWh

LENI: 8,25 kWh/m<sup>2</sup>anno

Riduzione del consumo: - **67,7%**

## Conclusioni

Lo studio del consumo energetico dell'edificio, confrontato nelle due condizioni di stato di fatto e ipotesi di progetto, ha fatto emergere in modo ancora più evidente gli esiti della mancata progettazione alla base dell'impianto esistente all'interno dell'istituto scolastico. L'impressione è quella che l'impianto non sia stato pensato per rispondere alle diverse esigenze legate alle diverse attività all'interno dell'edificio, con il posizionamento di apparecchi dello stesso tipo, senza alcuna distinzione, in modo tale da avere un'illuminazione sufficientemente adeguata in tutti gli ambienti.

La sostituzione delle lampade fluorescenti con lampade a LED, il rispetto dei requisiti normativi richiesti e l'attenzione progettuale nei confronti dell'integrazione con la luce naturale, del sistema di controllo e del consumo energetico ha permesso di ottenere questi risultati, mettendo in evidenza gli sprechi energetici attuali dell'edificio. In particolare, per integrare l'impianto con la luce naturale è stato previsto l'inserimento di sensori collegati alla tecnologia dimming degli apparecchi. In questo modo il sistema di illuminazione artificiale viene integrato con la luce naturale, aumentando il comfort visivo degli ambienti e generando un importante risparmio energetico. Per il sistema di controllo legato all'occupazione è stato scelto, per le aule, il classico sistema manuale ON/OFF, poiché considerato più funzionale visto che sono gli ambienti più frequentati e per il maggior numero di ore. Per i corridoi è stato scelto un sistema ON manuale con la possibilità di dimmerare la luce in funzione dell'occupazione, senza però spegnerla del tutto. Per gli ambienti poco frequentati come i magazzini e gli archivi, invece, la soluzione adottata è stata quella di inserire un controllo di accensione manuale con un sensore per lo spegnimento automatico dopo un certo periodo di tempo in cui l'ambiente risulta inoccupato.

Il confronto dei dati ha rilevato un consumo energetico dell'intero edificio molto elevato, in particolare, per le zone di passaggio (corridoi, scale, ecc.) e gli ambienti come archivi e depositi, in cui l'illuminamento richiesto è di soli 100 lux. Per quanto riguarda queste due categorie, infatti, con l'impianto proposto nell'ipotesi di progetto è stato possibile abbassare i consumi di oltre l'80% rispetto alla condizione attuale dell'edificio. Le uniche due tipologie in cui l'impianto esistente ha un consumo energetico minore sono quelle dei laboratori e delle sale conferenza/biblioteca, in cui si collocano alcuni ambienti con esigenze di illuminamento medio di 500 lux, per i quali si può supporre che non fosse sufficiente l'impianto di illuminazione previsto allo stato di fatto (è possibile infatti notare degli aumenti del consumo rispetto allo stato di fatto in corrispondenza del secondo piano, dove si concentrano i laboratori, le sale conferenza e la biblioteca). Per queste categorie, infatti, i consumi totali sono stati ridotti soltanto del 20% e del 15%.

Per quanto riguarda l'intero edificio, rispetto allo stato di fatto è stato possibile ridurre i consumi di energia elettrica legati all'illuminazione artificiale di oltre il 60%, un dato che fa ben sperare per le nuove tecnologie esistenti in ambito illuminotecnico ma che, allo stesso tempo, genera preoccupazione per tutti gli edifici scolastici presenti sul territorio italiano che presentano gli stessi problemi.



## 7. Conclusioni

Questa tesi ha avuto come obiettivo principale quello di indagare dal punto di vista illuminotecnico un esempio reale nell'ambito dell'edilizia scolastica torinese, l'Istituto Albe Steiner. La volontà di comprendere la situazione scolastica del nostro territorio e, soprattutto, la necessità di intraprendere delle azioni mirate di rinnovamento e riqualificazione hanno dato la spinta verso questo genere di lavoro di ricerca. Nonostante il ventaglio degli interventi a cui risulta necessario sottoporre il tessuto scolastico italiano sia molto ampio e riguardi numerosi aspetti (adeguamenti normativi, strutturali, architettonici, energetici, ecc.), questa tesi si è proposta di indagarne una piccola parte, relativa all'illuminotecnica, così da costituire un punto di partenza verso un – si spera – sempre più vicino miglioramento delle condizioni dell'edilizia scolastica italiana.

Nello specifico, la prima fase è stata una fase di ricerca, indirizzata verso la comprensione dell'importanza della collaborazione tra architettura e pedagogia, in particolare per quanto riguarda gli aspetti legati alla luce. Inoltre, sono stati introdotti i concetti generali dell'integrazione tra architettura e luce ed è stata analizzata l'evoluzione del modello scolastico nel tempo. Questa prima fase è stata utile per delineare un quadro di quali siano le nuove necessità dei luoghi di apprendimento e di quanto questo quadro si discosti dalla situazione dell'edilizia scolastica italiana. Infatti, le nuove necessità di ambienti sempre più flessibili e tecnologicamente performanti stridono fortemente con una maggioranza di edifici costruiti prima del 1974, edifici storici che molto difficilmente possono adattarsi ai nuovi metodi della didattica e ai sempre più alti standard richiesti in termini di comfort, declinato in tutti i suoi aspetti. Ad esempio, poiché sono stati trovati dei risultati positivi negli studi effettuati nei confronti della correlazione tra disponibilità di luce naturale e la produttività degli studenti, appare chiaro che il comfort all'interno degli edifici scolastici sia un aspetto assolutamente da non sottovalutare e da perseguire in fase di progettazione e di riqualificazione, per garantire un'elevata qualità educativa.

Dopo la fase introduttiva è stato presentato il caso studio ed è stata analizzata la situazione allo stato di fatto dell'edificio, sia per l'illuminazione naturale che per quella artificiale. I dati utilizzati sono stati sia raccolti manualmente durante il sopralluogo, sia ottenuti tramite delle simulazioni al computer, per poter valutare alcuni parametri dell'illuminazione (in particolare quella naturale) che non era possibile calcolare se non tramite software. È stata quindi condotta un'analisi completa delle condizioni di illuminazione naturale e artificiale dell'edificio allo stato di fatto. L'analisi dell'illuminazione naturale ha evidenziato due principali problematiche. La prima è la probabilità concreta di abbagliamento per il lato ovest dell'edificio, dimostrata anche dalla presenza di schermature "fai da te" realizzate con carta di giornale attaccata ai vetri delle finestre per oscurare la luce in ingresso. La seconda è la problematica della scarsa quantità di luce all'interno degli ambienti, dovuta alla conformazione architettonica dell'edificio e ai materiali utilizzati. Per far fronte sia al primo che al secondo problema, nella fase dell'ipotesi progettuale, è stato inserito un sistema di schermature manuali a tenda con un tessuto tecnico, che rappresentasse il giusto compromesso tra l'impedimento dell'ingresso di irraggiamento,

causa di abbagliamento, e il filtraggio di luce naturale utile al miglioramento delle condizioni di comfort visivo.

L'analisi dell'illuminazione artificiale ha invece riguardato principalmente l'individuazione degli apparecchi presenti nei diversi ambienti e la valutazione del relativo consumo energetico tramite l'apposito indice LENI. Le conclusioni a seguito dell'analisi dei dati raccolti hanno evidenziato un consumo energetico molto elevato e quindi una scarsa efficienza energetica degli apparecchi esistenti nell'intero edificio, in particolare per le aree di transito e per i locali di archiviazione e deposito, in cui l'illuminamento richiesto è molto basso. Nella fase di ipotesi progettuale è stata sviluppata una proposta di impianto totalmente rinnovato, in cui sono state utilizzate soltanto lampade a LED con differenti potenze, in modo tale da poter raggiungere il target di illuminamento richiesto e poter sovradimensionare il minimo possibile l'impianto, evitando inutili sprechi di energia. Inoltre, sono stati studiati i sistemi di integrazione con la luce naturale sfruttano la tecnologia dimming degli apparecchi e sono stati previsti sistemi di controllo in funzione dell'occupazione adatti ad ogni ambiente: ON/OFF manuale per le aule, ON manuale e possibilità di dimmeraggio della luce per i corridoi, accensione manuale e spegnimento automatico per gli ambienti come archivi e depositi.

Confrontando i risultati ottenuti dallo stato di fatto e dall'ipotesi di progetto è emerso che la riduzione dei consumi energetici dell'intero edificio supera il 60% e che, per gli ambienti citati sopra (aree di transito e locali di deposito) raggiunge addirittura l'84%, a dimostrazione di quanto detto sopra.

L'insieme delle soluzioni proposte ha consentito di sviluppare all'interno di un edificio dei primi anni del '900, adibito a complesso scolastico, un progetto di illuminazione naturale e artificiale integrate tra loro, che ha migliorato le condizioni di comfort degli ambienti in relazione alle preesistenze e che ha consentito anche di ottenere un cospicuo risparmio energetico sui consumi ad opera dell'impianto di illuminazione artificiale.

L'approccio avuto nei confronti di questo lavoro ha rafforzato l'idea secondo cui per poter produrre dei progetti di qualità non è sufficiente rispettare i requisiti delle normative, ma è necessario ed indispensabile perseguire il comfort degli utenti finali, che si traduce ad esempio, nel caso di questa tesi, nella loro relazione con l'architettura e la luce.

## Bibliografia

- Aghemo C., A. Pellegrino, L. Blaso, V. Serra, *Sistemi di integrazione della luce naturale e artificiale applicati a diverse tipologie edilizie. Rapporto sugli esiti di simulazioni numeriche e sperimentazione in campo*, Report RSE/2009/12, Enea.
- Baker N., A. Fanchiotti, K. Steemers, *Daylighting in Architecture – A European Reference Book*, James & James, 2001, London.
- Bianchi F., Giorgio Pulcini, *Manuale di illuminotecnica*, La Nuova Italia Scientifica, 1995.
- Boubekri M., *Daylighting, Architecture and Health – Building, Design Strategies*, Elsevier, Burlington (USA), 2008.
- Cellai G., *Fondamenti di illuminotecnica*, Dispensa del corso di Fisica Tecnica Ambientale, Corso di Laurea in Scienze dell'Architettura, Università di Firenze.
- Fellin L., G. Forcolini, P. Palladino, *Manuale di illuminotecnica*, realizzato dall'AIDI (Associazione Italiana Di Illuminazione), Tecniche Nuove, Milano, 1999.
- Fontoynt M., *Daylight Performance of Buildings*, chapter Educational Buildings, Stylus Pub Llc, 1999.
- Forcolini G., *Lighting. Lampade, apparecchi, impianti. Progettazione per ambienti interni ed esterni*, Hoepli, 2004.
- Gelfand L., E. C. Freed, *Sustainable School Architecture: Design for elementary and secondary schools*, John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- Gugliermetti F., F. Bisegna, *Integrazione luce naturale/artificiale in ambito terziario e abitativo*, Report RSE/2009/13, Enea.
- Pagliano L., *Illuminotecnica*, Dispensa del corso di Fisica dell'Edificio 2007-2008, Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura, Politecnico di Milano.
- Ponti G., *La scuola intelligente*, Palermo, Grafill, 2014.
- Raimondo L., Presentazione G. Cavaglià, *Sistemi di schermatura per il controllo solare*, EdicomEdizioni, 2014.
- Ruck N., *Daylight in Buildings: A Source book on Daylighting Systems and Components*, ECBS, 2000.

Weyland B., S.Attia, *Progettare scuole. Tra Pedagogia e architettura*, Guerini Scientifica, 2015.

Wu W., E. Ng, *A review of the development of daylighting in schools*, *Lighting Research and Technology* 35,2 (2003).

Zinzi M., *Caratterizzazione e valutazione di materiali trasparenti innovativi e sistemi schermati*, Report RSE/2009/9, ENEA.

## Sitografia

<http://istitutoalbesteiner.gov.it> [consultato il 20/05/19]

<http://www.omslighting.com> [consultato il 18/05/18]

<http://www.3f-filippi.it> [consultato il 18/05/18]

<http://www.iuav.it/Ateneo1/docenti/architetto/docenti-st/Fabio-Pero/materiali-/elementi-d/scheda-01-fmld.pdf> [consultato il 25/05/18]

<http://catalogo.disano.it/it/atex/armature-stagne-atex/921-hydro-atex-protezione-na>  
[consultato il 18/05/18]

<http://www.museotorino.it/view/s/2fb4725a68d24bc0802e32581fa6849f> [consultato il 20/05/19]

<http://www.societadiergonomia.it/wp-content/uploads/2016/11/rivista-n1-online-1.pdf> [consultato il 20/05/19]

<https://www.secondowelfare.it/terzo-settore/fondazioni/torino-fa-scuola-e-sperimenta-un-modello-innovativo-per-riqualificare-due-istituti-scolastici.html> [consultato il 29/05/19]

<http://www.torinofascuola.it/giovanni-pascoli/> [consultato il 29/05/19]

## Allegati

### Esempio del calcolo dell'indice LENI attraverso il file excel:

#### - area 1 del piano terra

Denominazione	Istitut Albe Steiner
Località	Torino
Latitudine	45
Clima (Hdir/Hglob)	0,43
Destinazione d'uso	Edifici scolastici ▼
Orario utilizzo	<input type="radio"/> Default <input checked="" type="radio"/> Specifico

#### Suddivisione in zone e loro caratteristiche

	Area	Ora inizio	Ora fine	Destinazione d'uso
Zona 1	37	7	17	Sala docenti
Zona 2	20	7	17	Sala docenti
Zona 3	37	7	17	Sala docenti
Zona 4	40	7	17	Sala docenti
Zona 5	32	7	17	Sala docenti
Zona 6	48	7	17	Sala docenti
Zona 7	49	7	17	Stanza del personale
Zona 8	11	7	17	Corridoio (dimmerato)
Zona 9	33	7	17	Corridoio (dimmerato)
Zona 10	37	7	17	Corridoio (dimmerato)

	Potenza impianto			Illum. Costante
	Funzionale	Parassita	Emergenza	
Zona 1	545			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO
Zona 2	436			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO
Zona 3	545			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO
Zona 4	545			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO
Zona 5	545			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO
Zona 6	872			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO
Zona 7	872			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO
Zona 8	109			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO
Zona 9	218			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO
Zona 10	545			<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO

## NOTE PIANO TERRA - AREA 1

## Pausa week end

 SI    NO

	E medio	Tipologia di aperture
▼	300 ▼	Verticali su più pareti
▼	300 ▼	Verticali su singola parete
▼	300 ▼	Verticali su più pareti
▼	300 ▼	Verticali su singola parete
▼	300 ▼	Verticali su singola parete
▼	300 ▼	Verticali su singola parete
▼	100 ▼	Verticali su singola parete
▼	100 ▼	Verticali su singola parete
▼	100 ▼	Verticali su singola parete
▼	100 ▼	Verticali su singola parete

## Sistema di controllo luce artificiale

MF	Fcc	LUCE NATURALE
0,8		Manuale ▼



Schermatura solare mobile	NOTE
Solo protezione abbagliamento/manuale ▼	Ufficio sud-est
Solo protezione abbagliamento/manuale ▼	Ufficio sud
Solo protezione abbagliamento/manuale ▼	Ufficio sud-ovest
Solo protezione abbagliamento/manuale ▼	Ufficio ovest 1
Solo protezione abbagliamento/manuale ▼	Ufficio ovest 2
Solo protezione abbagliamento/manuale ▼	Ufficio ovest 3
Nessuna protezione ▼	Deposito est
Nessuna protezione ▼	Corridoio
Nessuna protezione ▼	Corridoio
Nessuna protezione ▼	Corridoio

OCCUPAZIONE
interruttore ON/OFF manuale ▼

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Area della zona	37,00	20,00	37,00	40,00	32,00	48,00
Profondità zona	6,50	4,00	6,50	6,50	5,20	7,80
Larghezza zona	6,40	5,50	6,40	6,20	6,20	6,20
Altezza architrave	3,80	3,80	3,80	3,80	3,80	3,80
Altezza piano di lavoro	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Altezza ambiente	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
<b>Finestre verticali su pareti</b>						
Larghezza parete aperture	13,10	5,50	12,70	6,20	6,20	6,20
Larghezza zona aperture	4,20	2,10	4,20	2,10	2,10	2,10
Area totale aperture	15,60	7,80	15,60	7,80	7,80	7,80
Orientamento	est	sud	ovest	ovest	ovest	ovest
$A_D$	<b>48,43</b>	<b>16,40</b>	<b>48,43</b>	<b>34,78</b>	<b>24,44</b>	<b>46,80</b>
$A_{ND}$	<b>-11,43</b>	<b>3,60</b>	<b>-11,43</b>	<b>5,23</b>	<b>7,56</b>	<b>1,20</b>
Ostruzione frontale	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ostruzione orizzontale	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ostruzione laterale	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Atrio/Corte interna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Facciata vetrata doppia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$I_{Tr,j}$	0,32	0,48	0,32	0,22	0,32	0,17
$I_{RD,j}$	2,13	1,31	2,13	2,13	1,70	2,56
$I_{Sh,j}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$D_{CA}$	<b>7,67</b>	<b>11,86</b>	<b>7,67</b>	<b>5,72</b>	<b>8,19</b>	<b>3,99</b>
Fattore di trasmissione norm.	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Fattore di correzione	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Fattore di correzione	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Fattore di correzione	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
<b>D</b>	<b>3,76</b>	<b>5,81</b>	<b>3,76</b>	<b>2,80</b>	<b>4,01</b>	<b>1,95</b>

Zona 7	555	Zona 9	Zona 10
49,00	11,00	33,00	37,00
8,00	2,00	6,20	6,70
6,20	5,50	5,40	6,20
3,80	0,00	0,00	0,00
0,75	0,75	0,75	0,75
4,80	4,80	4,30	4,30
<b>te 1</b>			
6,20	0,00	0,00	0,00
2,10	0,00	0,00	0,00
7,80	0,00	0,00	0,00
est	0,00	0,00	0,00
<b>48,80</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>0,20</b>	<b>11,00</b>	<b>33,00</b>	<b>37,00</b>
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	0,00	0,00	0,00
2,62	2,50	2,50	2,50
1,00	1,00	1,00	1,00
<b>3,76</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
0,80	0,80	0,80	0,80
0,80	0,80	0,80	0,80
0,90	0,90	0,90	0,90
0,85	0,85	0,85	0,85
<b>1,84</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Tempo relativo schermi non attivati	$t_{rel,D,SNA}$	0,81	0,64	0,81	0,81	0,81
	$F_{DS,SNA}$	80,00	83,40	80,00	78,90	80,50
Tempo relativo schermi attivati	$t_{rel,d,SA}$	0,19	0,36	0,19	0,19	0,19
	$F_{DS,SA}$	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30
						<b>FI</b>
		0,71	0,64	0,71	0,68	0,71
						<b>FI</b>
		0,6	0,6	0,6	0,55	0,6
						<b>F</b>
		0,58	0,61	0,58	0,63	0,57

Zona 6	Zona 7	555	Zona 9	Zona 10
0,81	0,81	1,00	1,00	1,00
71,70	71,50	1,00		
0,19	0,19	0,00	0,00	0,00
0,10	0,60	0,00	0,00	0,00
<b>DS</b>				
0,60	0,69	0,01	0,00	0,00
<b>DC</b>				
0,5	0,5	0	0	0
<b>D</b>				
0,70	0,65	1,00	1,00	1,00

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
<b>FA</b>						
0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>FOC</b>						
1	1	1	1	1	1	1
<b>FO</b>						
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

555	Zona 9	Zona 10
0,6	0,6	0,6
1	1	1
0,6	0,6	0,6

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
$t_d$	3544	3544	3544	3544	3544	3544	3544
$t_n$	106	106	106	106	106	106	106
$t_s$							
$t_e$							
$F_C$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$F_O$	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
$F_D$	0,58	0,61	0,58	0,63	0,57	0,70	0,65
$W_{L,n}$	736,02	882,84	736,02	1091,17	1089,37	1823,42	1692,96
$W_{P,n}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>LENI sub</b>	<b>19,89</b>	<b>44,14</b>	<b>19,89</b>	<b>27,28</b>	<b>34,04</b>	<b>37,99</b>	<b>34,55</b>

555	Zona 9	Zona 10
3544	3544	3544
106	106	106
1,00	1,00	1,00
0,60	0,60	0,60
1,00	1,00	1,00
238,71	477,42	1193,55
0,00	0,00	0,00
<b>21,70</b>	<b>14,47</b>	<b>32,26</b>