6. ILLUMINAZIONE NATURALE

6.1 Premessa

Nel presente capitolo si tratterà lo studio dell'illuminazione naturale di tutto l'edificio, ponendo particolare attenzione alle condizioni che potrebbero ridurre il livello di comfort all'interno degli ambienti, cercando di eliminarle o di ridurre i loro effetti e tentando di garantire, dove possibile, valori illuminotecnici ampiamente superiori rispetto ai minimi stabiliti per legge.

Essendo l'illuminotecnica una scienza sporadicamente presa in considerazione, e quindi spesso poco conosciuta, si è provveduto a redigere una piccola introduzione in modo tale da illustrare quali sono i fattori dominanti all'interno di questo campo, cosa rappresentano e gli effetti che hanno sugli occupanti degli ambienti oggetto d'esame.

Dopodiché si è deciso di entrare nel dettaglio del progetto analizzando nello specifico le condizioni all'interno dell'asilo, a seguito del suo posizionamento sotto il ponte e dietro la stecca sud, elementi che tendono a limitare enormemente il passaggio dei raggi diretti del sole all'interno delle sezioni del nido.

Infine si è provveduto a dimostrare il raggiungimento di un adeguato livello di comfort illuminotecnico all'interno delle residenze per famiglie e degli alloggi per studenti, tramite i limiti posti dal regolamento d'igiene in vigore nel comune di Milano e tramite quanto raccomandato dalle norme UNI riguardo le abitazioni.

Il livello di comfort sopracitato è necessario per consentire alle persone un efficace ed accurato svolgimento delle attività a cui i vari locali sono destinati, e per far questo è quindi indispensabile fornire un adeguato e appropriato livello d'illuminazione, che può essere naturale, artificiale o mista.

La luce che bisogna fornire non è altro che energia radiante elettromagnetica che l'occhio umano è capace di percepire.

Le radiazioni visibili occupano solo una minima parte dell'estesa gamma di lunghezze d'onda che costituiscono l'intero spettro delle onde elettromagnetiche, infatti la banda del visibile è compresa fra 380 e 780 nm.

A ciascuna lunghezza d'onda della radiazione visibile, il sistema visivo attribuisce un colore: la luce emessa dal sole, detta luce bianca, è una miscela di tutte le lunghezze d'onda dello spettro visibile, e contiene anche radiazioni appartenenti alla regione degli infrarossi e degli ultravioletti.

L'occhio tende ad adattarsi alle condizioni medie d'illuminazione dell'ambiente circostante. L'adattamento ad una specifica condizione luminosa non è immediato, ma richiede un certo tempo che è minore quando si passa da una condizione di buio ad una maggiormente illuminata, e maggiore nel caso contrario.

Il tempo di adattamento completo è dell'ordine di 1 minuto quando si passa da un ambiente scuro ad uno più illuminato, e di circa 1 ora quando si passa da ambienti più luminosi ad ambienti oscuri.

La curva di adattamento varia in relazione alla differenza di luminosità secondo un andamento di tipo logaritmico con un adattamento molto rapido nei primo secondi o minuti e quindi più lento.

Condizioni di luminosità molto diverse in uno stesso spazio o variazioni di luminosità frequenti rendono quindi estremamente difficile e faticoso l'adattamento dell'occhio. Spostando infatti il proprio centro di attenzione da oggetti più luminosi ad oggetti più scuri l'occhio è costretto ad adattarsi alle nuove condizioni di luce.

L'acuità visiva esprime la capacità di un occhio di distinguere i dettagli dell'oggetto osservato. L'acuità visiva migliora sia che si aumenti il livello di illuminamento sia che si aumentino le dimensioni apparenti dell'oggetto.

Le dimensioni apparenti di un oggetto, dette anche dimensioni angolari, dipendono dalla sua grandezza e dalla distanza dall'osservatore secondo la relazione:

$$\alpha = arcsin\frac{h}{D}$$

Dove:

α = angolo di vista;

h = altezza dell'oggetto

D = distanza dell'oggetto dall'occhio

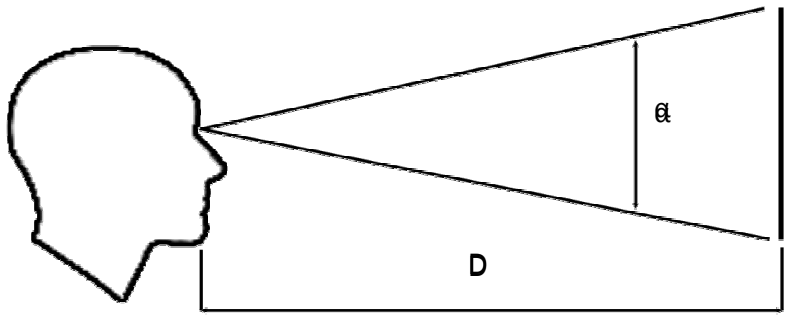


Figura 6.1.1: Rappresentazione dell'angolo di vista

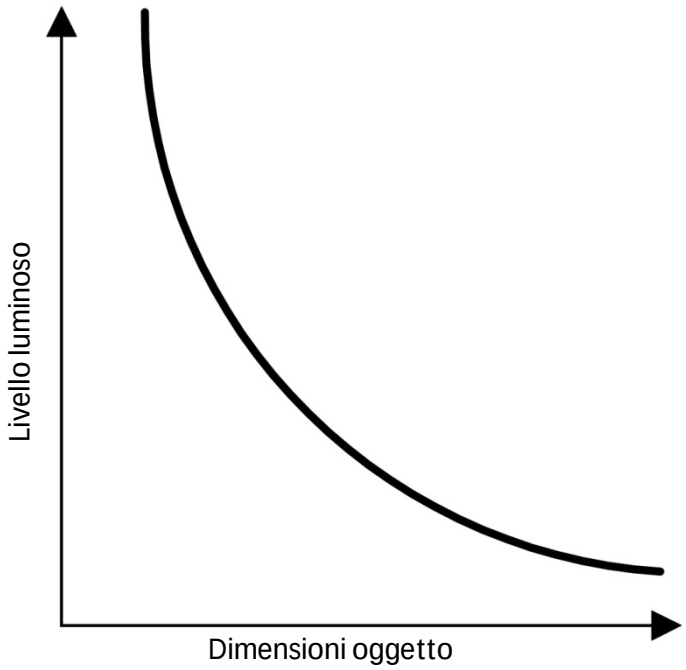


Figura 6.1.2: Relazione tra dimensioni ottiche dell'oggetto e livello luminoso

6.2 I modelli di cielo

Nei calcoli relativi all'illuminazione naturale degli interni si considerano tre componenti distinte: la luce diretta del sole, quella proveniente dalla volta celeste e quella riflessa dalle superfici esterne.

La luce solare diretta è però associata ad alcuni effetti indesiderabili, come abbagliamento, scolorimento degli oggetti e eccessiva temperatura nei periodi più caldi; per queste ragioni è solo raramente considerata una sorgente di illuminazione per gli interni.

Nello studio dell'illuminazione naturale all'interno degli ambienti, come già visto precedentemente, si considera come sorgente luminosa primaria la volta celeste, e non direttamente il sole.

Nella maggior parte dei casi, infatti, l'ingresso della radiazione solare diretta negli ambienti è ritenuta causa di discomfort. Dal punto di vista della progettazione, quindi, è opportuno considerare la volta celeste come una fonte luminosa separata ed indipendente rispetto al sole, in modo da considerare un illuminamento uniforme e non puntuale.

Per determinare la quantità d'illuminazione naturale fornita dalla volta celeste sono stati proposti diversi "modelli di cielo", definiti in base alle condizioni dell'ambiente in cui ci si trova.

I modelli di cielo attualmente disponibili sono il risultato di studi sulla luce naturale condotti in paesi in cui vi sono condizioni di cielo prevalentemente coperto per l'intero arco dell'anno.

Nel modello di cielo coperto la volta celeste ha una luminosità variabile che aumenta procedendo dall'orizzonte verso lo zenit e costante nei diversi orientamenti. Si definisce una situazione a cielo coperto quando la volta celeste risulta occupata da nuvole di colore chiaro che agiscono da diffusori della luce e che coprono almeno 9/10 della sua superficie.

La distribuzione della luminosità per condizioni di cielo coperto è definita dalla formula:

$$L_p = L_z \cdot \frac{(1 + 2\sin\zeta)}{3}$$

Dove:

L_p = luminanza del generico punto P posto sulla volta celeste

L_z = luminanza allo zenit

ζ = angolo zenitale [rad]

Nel modello di cielo sereno, invece, la volta celeste ha la massima luminosità in prossimità della posizione del disco solare e la minima nella direzione opposta ad esso.

Il modello di cielo sereno è applicato soprattutto nell'area mediterranea, dove la distribuzione della luminanza nel cielo varia in relazione all'orientamento ed alla posizione del sole e dove si ha una più probabile presenza di radiazione solare diretta.

Per descrivere l'andamento della luminanza per condizioni di cielo sereno esiste una formula specifica:

$$\frac{L_\partial}{L_z} = \left(1 - e^{-\frac{0,32}{sen\partial}}\right) \cdot \frac{\left(0,94 + 10\, e^{-3\alpha} + 0,45\, cos^2(\alpha)\right)}{(0,274\,.\,(0,91 + 10\, e^{-3\emptyset} + 0,45\, cos^2(\vartheta))}$$

Dove:

L_j = luminanza nel punto che si trova j gradi sopra l'orizzonte

L_z = luminanza allo zenit

α = distanza angolare del punto preso in considerazione dal sole

F = zenit del sole (angolo rispetto all'asse verticale)

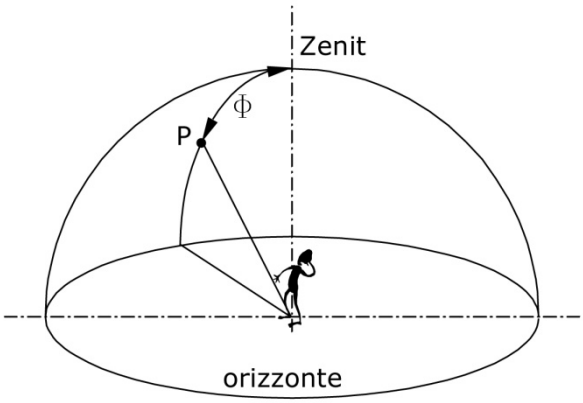


Figura 6.2.1: Posizione del sole

Tramite i modelli di cielo è quindi possibile determinare con sufficiente precisione il valore di luminanza che agisce su di un dato elemento, e quindi determinare il livello di comfort raggiungibile in una specifica situazione.

Può essere utile ricordare che con cielo coperto, l'illuminamento su un piano orizzontale che vede tutto il cielo senza ostruzioni raggiunge valori che vanno dai 5000 ai 15000 lux, con cielo sereno (radiazione solare diretta + diffusa) si possono ottenere dai 100000 ai 150000lux su una superficie normale ai raggi solari, mentre la sola radiazione diffusa può andare dai 17000 lux per un cielo molto limpido ai 23000 per un cielo con elevata torbidità.

Pur non esistendo un metodo di calcolo più semplice di quello sopracitato per descrivere correttamente la luminosità della volta celeste in caso di cielo sereno, è possibile fare alcune considerazioni qualitative relative al suo andamento:

- La luminosità del cielo coperto è più costante rispetto a quella del cielo sereno;
- La distribuzione della luminanza è massima nell'intorno del disco solare (verso Sud) e minima nella direzione opposta alla posizione del sole (verso Nord);
- Passando dallo zenit all'orizzonte la luminanza varia in maniera meno rilevante rispetto al modello di cielo coperto.

Nelle regioni italiane il limitato grado di copertura del cielo determina una variazione della luminanza che non dipende solo dall'altezza del punto nella volta celeste, ma anche dal suo orientamento geografico. Si può quindi dire che quest'andamento rappresenta una condizione di cielo intermedia alle due viste finora.

Il modello di cielo per le condizioni climatiche italiane dovrà quindi:

- Considerare la luminosità di un punto della volta celeste in relazione sia alla sua altezza sul piano dell'orizzonte che al suo orientamento;
- Considerare la variazione della luminosità della volta celeste in relazione al periodo dell'anno ed alle specifiche condizioni micro - ambientali locali (vento, nebbia, smog, etc.)
- Considerare la posizione del sole e la possibilità di avere condizioni di cielo sereno con piena visibilità del disco solare.

Il modello di cielo rappresentativo delle condizioni luminose riferite alle latitudini del nord Italia è definito dalla formula:

$$L_d = L_z \,.\, (1 + 2 \sin\alpha) . (1 + \gamma \cos\beta \cos\alpha)$$

Dove:

g = fattore i cui valori variano a seconda del grado di turbolenza dell'atmosfera. Generalmente pari a 0,3;

L_z = luminanza allo zenit;

β = angolo di altezza del punto dalla volta celeste

α = azimut misurato a partire dal Sud geografico (Sud = 0°)

La rappresentazione che si ottiene da questa formula indica la luminanza media della volta celeste evitando la dipendenza del modello dal tempo, cioè dal periodo dell'anno e dal giorno.

Si può quindi affermare che il lotto preso in esame sia soggetto a condizioni di cielo coperto perché ci si trova in una zona settentrionale dell'Italia, dove si può rilevare un'elevata presenza di nebbia nei periodi freddi e un notevole grado d'inquinamento. Inoltre l'area circondariale è satura di edifici di notevole altezza che causano frequenti periodi d'ombra sull'area di progetto.

Si è quindi appunto optato per l'utilizzo di un modello di cielo coperto, perché, pur trovandosi in un area centro-meridionale dell'Europa l'utilizzo di un modello di cielo sereno si discosterebbe troppo dalla situazione reale, in modo, inoltre, da riuscire a garantire un adeguato livello di comfort all'interno degli ambienti anche nei periodi invernali.

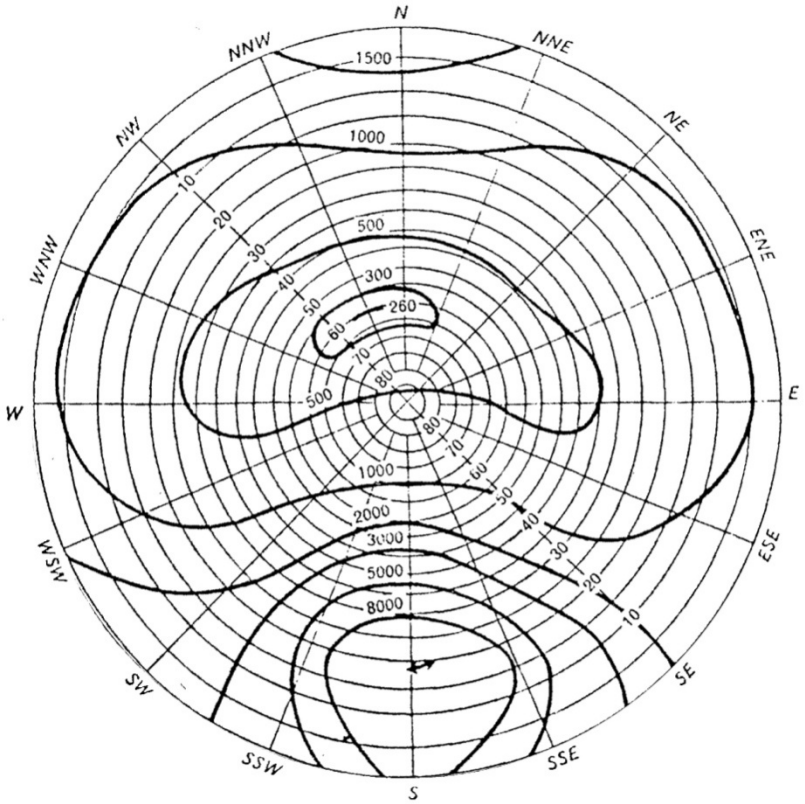


Figura 6.2.2: Esempio di distribuzione delle luminanze per un modello di cielo sereno. La luminosità della volta celeste è maggiore nella direzione del sole e minore nella direzione opposta ad esso.

Dalla figura tipo riportata qui sopra è evidente che in un modello di cielo sereno la volta celeste è più luminosa in direzione Sud, cioè in direzione del sole, mentre è minore in direzione Nord, cioè in direzione opposta al sole.

Nel modello di cielo coperto, invece, la luminosità della volta celeste cresce in funzione dell'altezza sul piano dell'orizzontale, e nella rappresentazione grafica si traduce in dei cerchi concentrici più o meno equidistanti.

6.3 Il percorso apparente del sole

È evidente che non è solo il modello di cielo scelto a definire il livello di comfort all'interno di un ambiente, ma bisogna tenere in considerazione anche i percorsi solari, nonché i parametri di localizzazione ed intorno dell'edificio.

Il percorso apparente del sole nella volta celeste dipende dalla localizzazione geografica e dal periodo dell'anno che si sta analizzando.

Le variabili che descrivono il percorso apparente del sole nella volta celeste sono:

- *Coordinate geografiche del luogo*: latitudine e longitudine;
- *Declinazione solare*: giorno dell'anno;
- *Angolo orario*: ora del giorno.

La declinazione tiene in considerazione la variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre rispetto al sole, legata al movimento della rotazione della terra. Il valore della declinazione, inoltre, varia a seconda del giorno dell'anno che si vuole analizzare.

L'angolo orario, invece, varia nel corso della giornata con una velocità costante di 15°/ora; a mezzogiorno vale 0° ed aumenta o diminuisce di 15° per ogni ora contata a partire da mezzogiorno. I valori negativi si riferiscono alle ore del pomeriggio, mentre quelli positivi alle ore del mattino.

I percorsi apparenti che il sole compie sulla volta celeste nei diversi periodi dell'anno possono essere rappresentati su appositi diagrammi che riportano le posizioni di altezza ed azimut del sole.

Si riporta di seguito il diagramma del percorso che il sole compie in una anno per la zona di Milano, più precisamente per una latitudine di 45,4° Nord ed una longitudine di 9,3° Est.

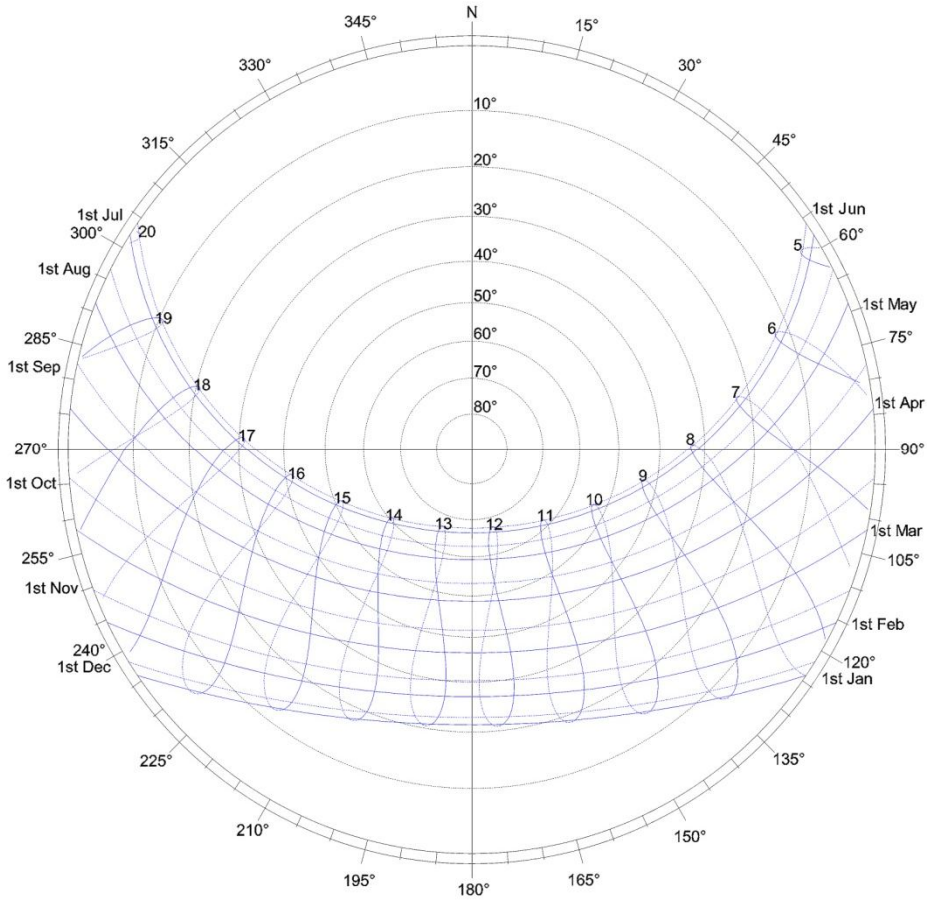


Figura 6.3.1: Carta solare polare di Milano

La circonferenza più esterna rappresenta la linea dell'orizzonte ed ognuno dei cerchi concentrici indica un incremento di 10° di altezza rispetto all'orizzonte.

Si è quindi voluto unire, tramite l'aiuto del software Ecotect®, il diagramma del percorso solare con il progetto sviluppato, in modo da verificare la distribuzione delle ombre in determinati periodi dell'anno, così da poter valutare sia quantitativamente sia qualitativamente il disturbo arrecato al complesso da parte delle torri poste nel lotto adiacente.

Vengono quindi di seguito riportati i diagrammi che definiscono il percorso solare sulle 24 ore per l'area di Quarto Oggiaro applicati al progetto in esame, per i quattro giorno più significativi dell'anno: equinozio di primavera (21 Marzo), equinozio d'autunno (21 Settembre), solstizio d'estate (21 Giugno) e solstizio d'inverno (21 Dicembre).

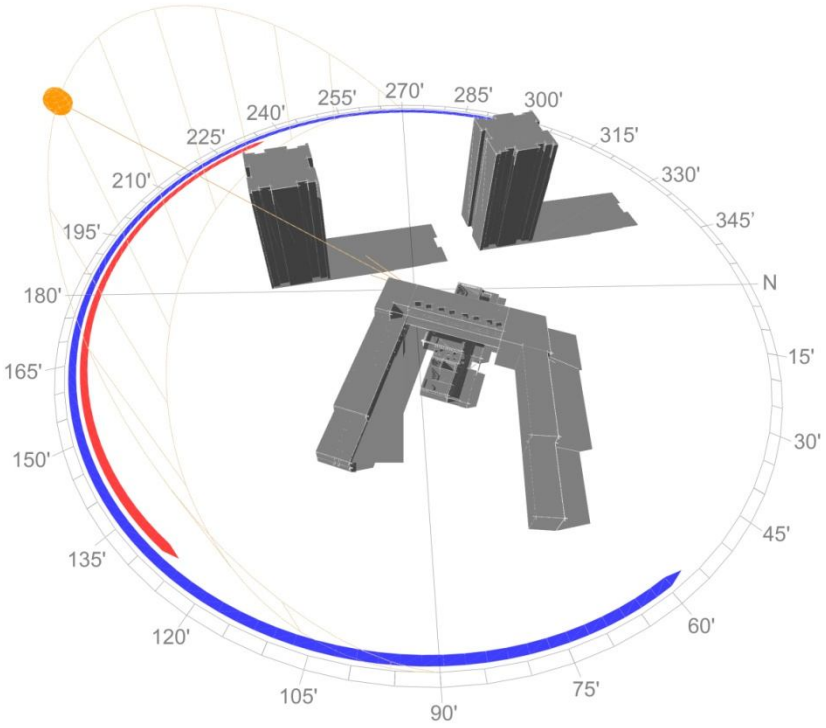


Figura 6.3.2: Diagramma del percorso solare del 21 Marzo - Equinozio di primavera

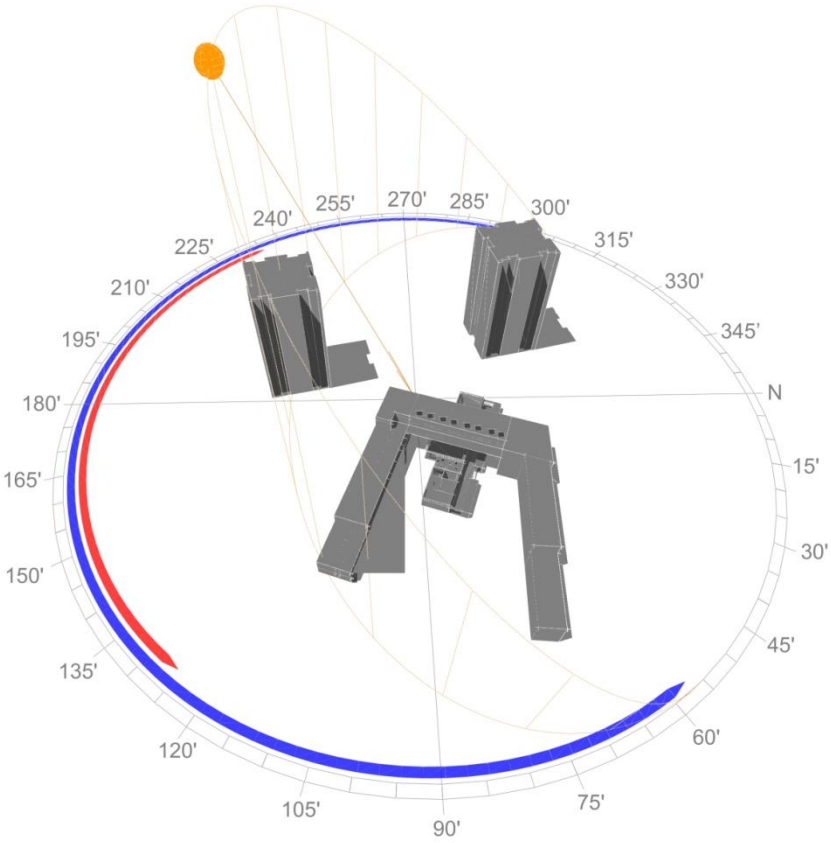


Figura 6.3.3: Diagramma del percorso solare del 21 Giugno - Solstizio d'estate

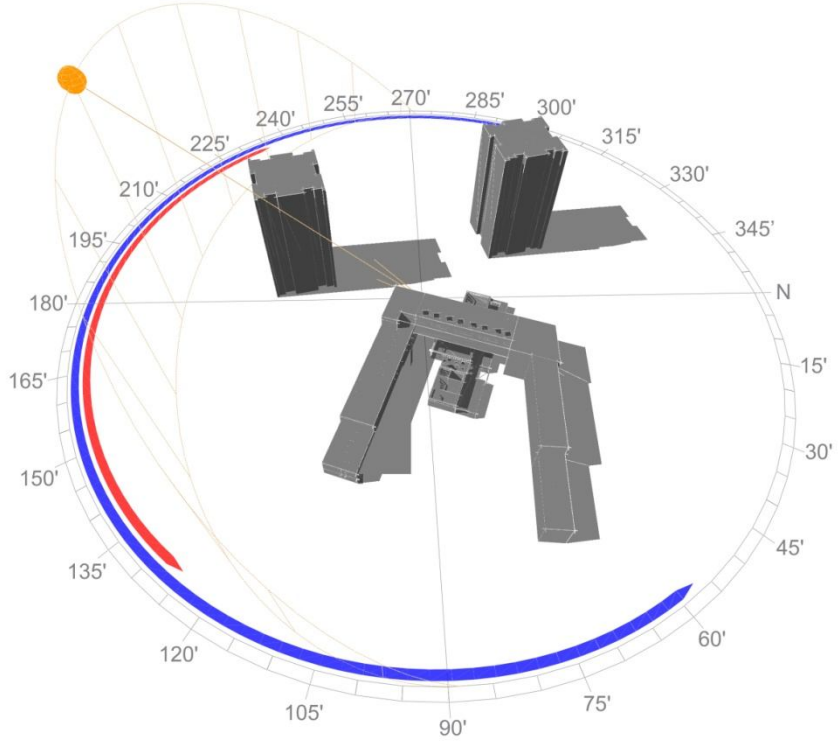


Figura 6.3.4: Diagramma del percorso solare del 21 Settembre - Equinozio d'autunno

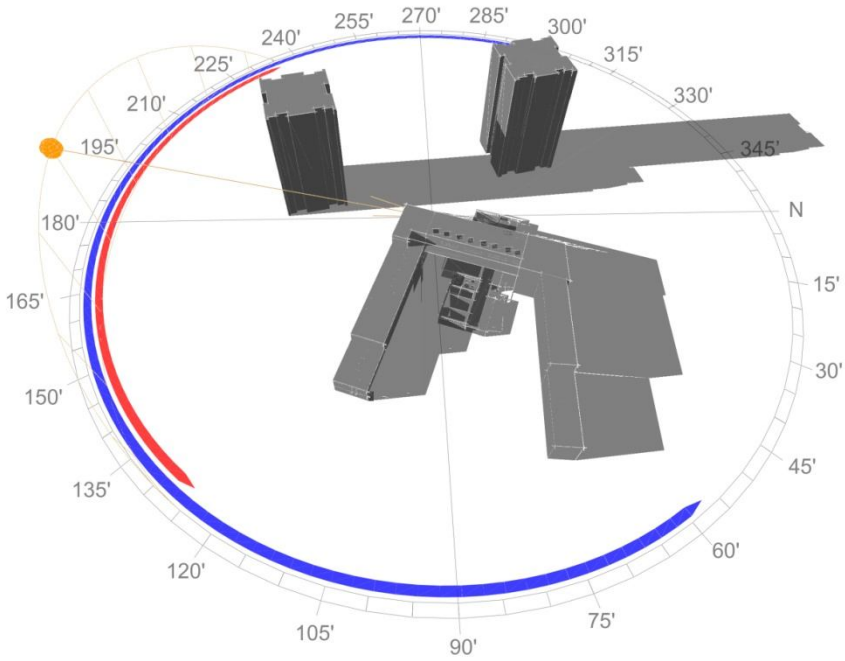


Figura 6.3.5: Diagramma del percorso solare del 21 Dicembre - Solstizio d'inverno

Le ombre restituite dall'immagine si riferiscono al momento in cui il sole è più alto, cioè alle ore 12.00

In questo modo risulta molto evidente, oltre al percorso solare, anche l'orario di alba e tramonto, così da poter determinare con semplicità il periodo di luce in un determinato giorno dell'anno.

Ai fini della progettazione non è molto significativo conoscere con precisione il contributo luminoso fornito dal sole, ma è essenziale sapere se, quando e come il disco solare sarà potenzialmente visibile in un determinato punto dello spazio, per capire quando un dato elemento sarà colpito dalla radiazione diretta del sole, in modo da prevederne gli effetti.

Da questo studio risulta evidente che l'asilo si torva in una posizione sfavorevole per quanto riguarda la ricezione della luce solare diretta. Si è quindi proceduto all'approfondimento più nel dettaglio del valore d'illuminazione naturale all'interno dell'ambiente preso in esame, in modo da verificare che gli standard minimi di comfort visivo fossero garantiti.

Per quanto riguarda, invece, le residenze, lo studio è stato condotto verificando l'effetto causato dall'ombreggiamento delle torri, poste nel lotto adiacente, sulle serre delle abitazioni.

In quest'applicazione sono stati analizzati solo alcuni mesi dell'anno, e più precisamente quelli più freddi, cioè quei periodi per i quali le serre hanno il compito di captare i raggi solari e trasmettere il calore all'interno dell'abitazione. Come da previsione è stato verificato che l'elemento di maggior disturbo per le serre delle abitazioni è rappresentato dalla torre Sud.

Grazie a questi diagrammi, però, è stato possibile verificare che solo alcune serre sono soggette ad ombreggiamento a causa della torre Sud, precisamente quelle poste nella parte Sud-Ovest del lotto, e che comunque, l'ombreggiamento è presente solo in alcune ore della giornata, e più precisamente nelle ore del pomeriggio più vicine al tramonto, cioè quando ormai la potenza dei raggi solari è limitata.

Si riportano di seguito i diagrammi solari per il 21 Marzo, il 21 Dicembre e il 21 Settembre, visti in pianta che mostrano le ombre sulle serre causate dalla torre Sud, quali serre sono soggette ad ombreggiamento e per quale periodo di tempo.

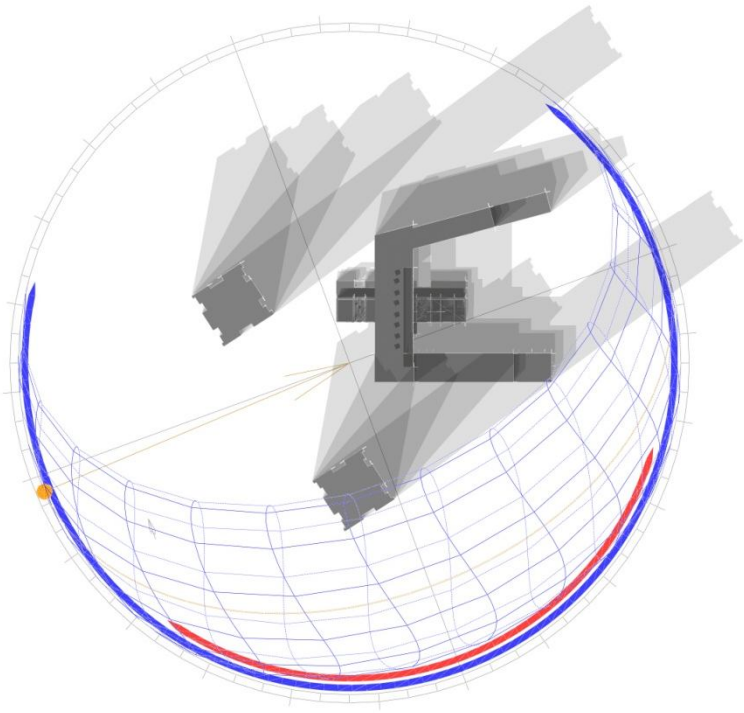


Figura 6.3.6: Diagramma del percorso solare del 21 Marzo, visuale in pianta delle ombre che incidono sul complesso

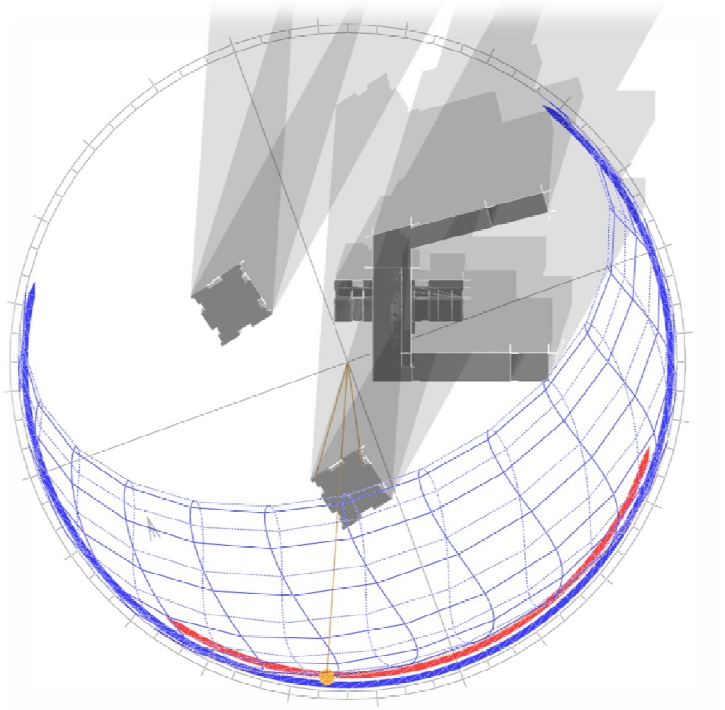


Figura 6.3.7: Diagramma del percorso solare del 21 Dicembre, visuale in pianta delle ombre che incidono sul complesso

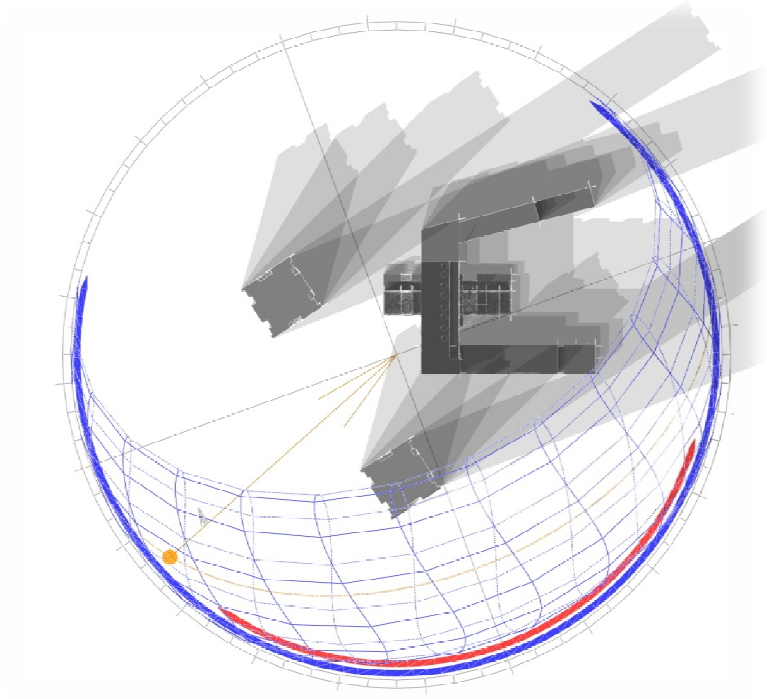


Figura 6.3.8: Diagramma del percorso solare del 21 Settembre, visuale in pianta delle ombre che incidono sul complesso

Il sovrapporsi di due ombre consecutive indica lo stazionamento dell'ombra in un preciso punto per un'ora, il sovrapporsi di due ombre per due ore, e così via.

Si riportano di seguito le varie tonalità di grigio che definiscono la durata dell'ombreggiamento sul lotto.

- < 1 ora
- ≈ 1 ora
- ≈ 2 ore
- ≈ 3 ore
- ≈ 4 ore

È quindi evidente che le serre non solo sono in ombra nelle ore pomeridiane vicine al tramonto, ma lo sono in generale per non più di un'ora.

I diagrammi solari, però, non forniscono informazioni relative alla luminanza di una porzione della volta celeste, ma rappresentano il percorso apparente del sole nel cielo durante l'arco dell'anno.

È tuttavia importante tenere in considerazione che due situazioni apparentemente uguali, cioè con le stesse coordinate geografiche, stessa declinazione solare e stesso angolo orario, possono presentare stati d'illuminazione differenti.

6.4 Variabili ambientali e di contesto

Un ulteriore fattore da tenere in considerazione, oltre al tipo di cielo e al tipo di percorso apparente del sole, è la particolare condizione microclimatica cui è soggetto il sito di progetto.

Queste specifiche condizioni influiscono in maniera sostanziale sulla distribuzione della luminosità nella volta celeste: una località in cui vi sia eccessiva presenza di nebbia, elevato tasso d'umidità e smog avrà una distribuzione della luminosità nella volta celeste più uniforme e vicina alla condizione di cielo coperto, mentre condizioni di bassa umidità relativa dell'aria ed un regime di vento elevato determinano una maggiore variazione della luminosità in relazione all'orientamento, avvicinandosi alla condizione di cielo sereno.

Risulta ulteriormente avvalorata la scelta di un modello di cielo coperto, in quanto l'area oggetto d'intervento è soggetta a presenza di nebbia e polveri sottili per un cospicuo numero di giorni nel periodo invernale, e ad una elevata percentuale d'umidità per tutta la durata dell'anno, affiancata a una velocità del vento limitata.

Mese	T° min	T° max	Umidità	Vento
Gennaio	-2 °C	5 °C	86 %	WSW 4 km/h
Febbraio	0 °C	8 °C	78 %	WSW 9 km/h
Marzo	3 °C	13 °C	71 %	WSW 9 km/h
Aprile	7 °C	18 °C	75 %	WSW 9 km/h
Maggio	11 °C	22 °C	72 %	SSW 9 km/h
Giugno	15 °C	26 °C	71 %	SSW 9 km/h
Luglio	17 °C	29 °C	71 %	SSW 9 km/h
Agosto	17 °C	28 °C	72 %	SSE 4 km/h
Settembre	14 °C	24 °C	74 %	WSW 4 km/h
Ottobre	8 °C	18 °C	81 %	SSW 4 km/h
Novembre	4 °C	10 °C	85 %	SSW 4 km/h
Dicembre	-1 °C	5 °C	86 %	SSW 4 km/h

Tabella 6.4.1: Temperature minime, massime, umidità relativa e velocità del vento per la città di Milano

L'ultima fondamentale situazione da tenere in considerazione per determinare le caratteristiche del contesto nel quale è inserito il sito d'intervento, riguarda i parametri di localizzazione e intorno, che introducono il modello teorico di cielo in una situazione reale localmente definita.

Sono relativi alla localizzazione tutti gli elementi, naturali o artificiali, che caratterizzano ed influenzano le condizioni luminose locali su cui non è possibile intervenire progettualmente (montagne, edifici circostanti, etc.); sono relativi all'intorno gli elementi, naturali o artificiali, presenti nell'ambiente circostante l'edificio, sui quali è possibile intervenire direttamente con delle modifiche per migliorare le condizioni luminose locali (alberi, schermi, etc.).

La presenza di ostruzioni naturali ed artificiali riduce la visibilità della volta celeste, può impedire la vista del sole in determinate ore del giorno e diminuisce le potenzialità globali d'illuminazione. In queste condizioni la luminosità media dell'ambiente interno risulta essere inferiore, ma anche più stabile rispetto a quella che si avrebbe in assenza di ostruzioni.

Le variazioni dovute alla presenza di questi elementi possono venire facilmente introdotte nel modello rilevando le ostruzioni all'orizzonte e sovrapponendo il diagramma delle ostruzioni al modello di cielo locale.

A livello di localizzazione è necessario distinguere tra ostruzioni a scala geografica ed ostruzioni a scala locale, in quanto i loro effetti risultano molto diversi.

Le ostruzioni a scala geografica si mantengono costanti in ogni punto dell'edificio, mentre le ostruzioni a scala locale, essendo dello stesso ordine di grandezza della costruzione, hanno effetti differenti nei punti diversi del complesso.

Si riportano di seguito, quindi, i diagrammi solari di alcune pareti e aperture dell'edificio, attraverso cui è possibile rappresentare le condizioni di ombreggiamento alle quali sono soggette.

Le ombre grigie rappresentano l'oscuramento dovuto all'intero complesso, quelle in verde si riferiscono alla torre Nord, mentre quelle in azzurro sono da attribuirsi alla torre Sud.

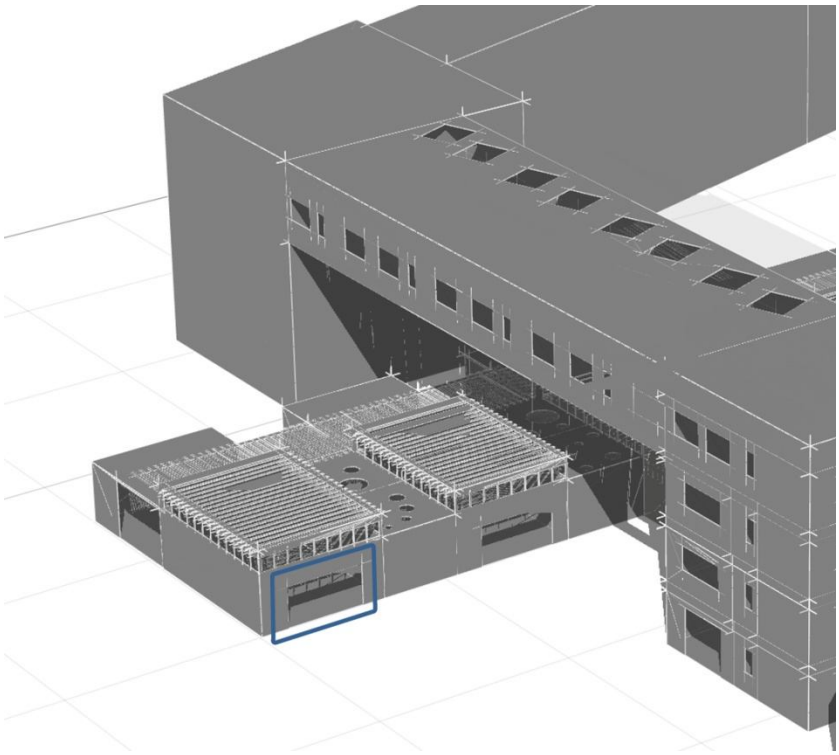


Figura 6.4.1: Vetrata dell'aula divezzi

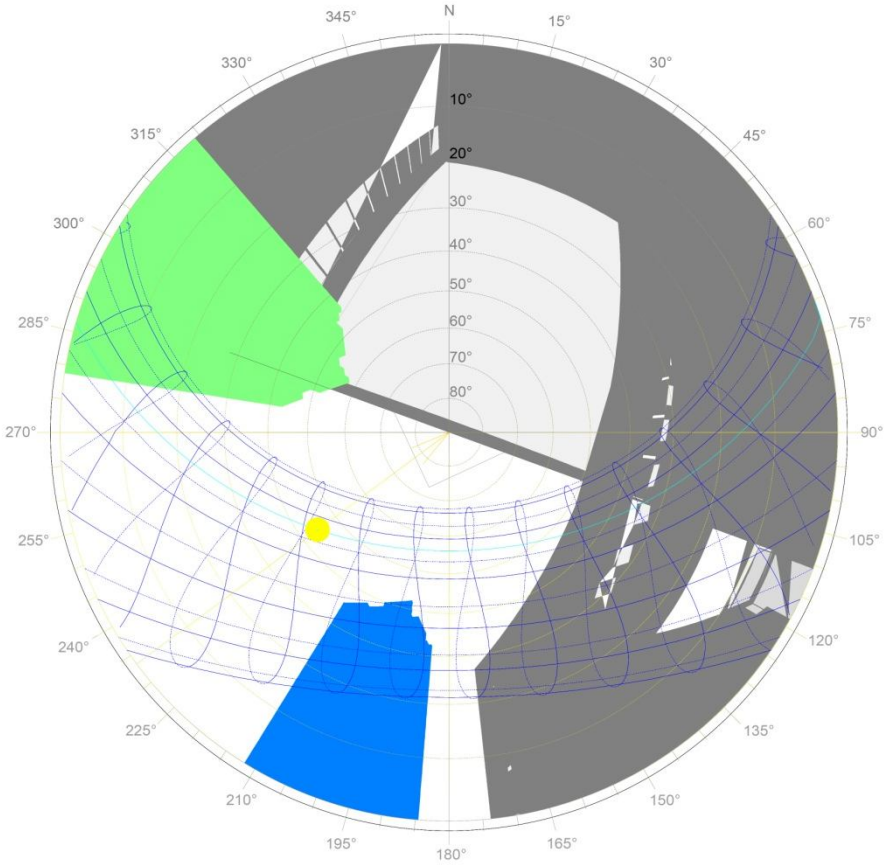


Figura 6.4.2: Diagramma solare dell'ombreggiamento della vetrata dell'aula divezzi

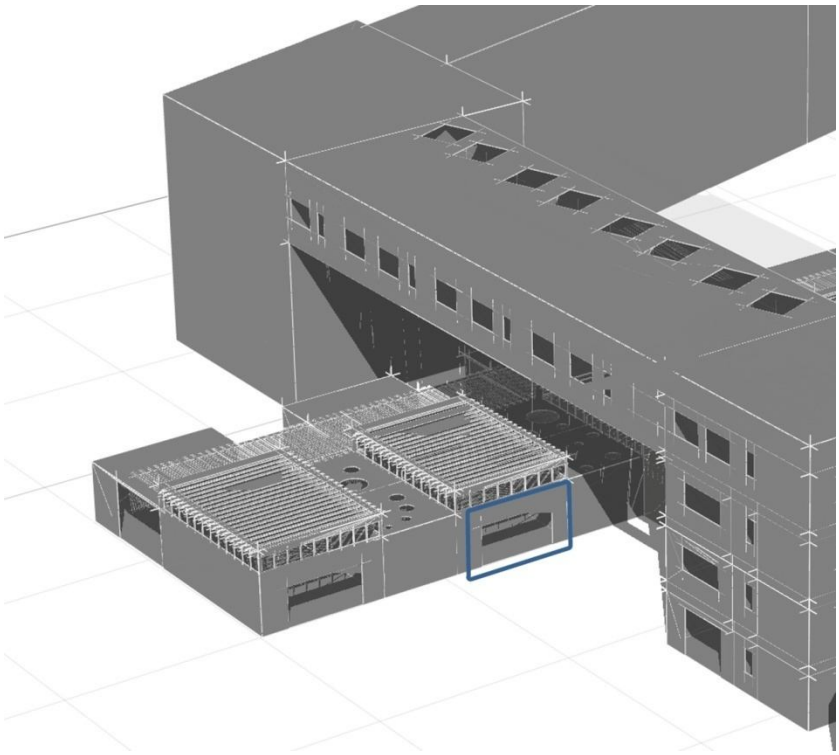


Figura 6.4.3: Vetrata dell'aula divezzini

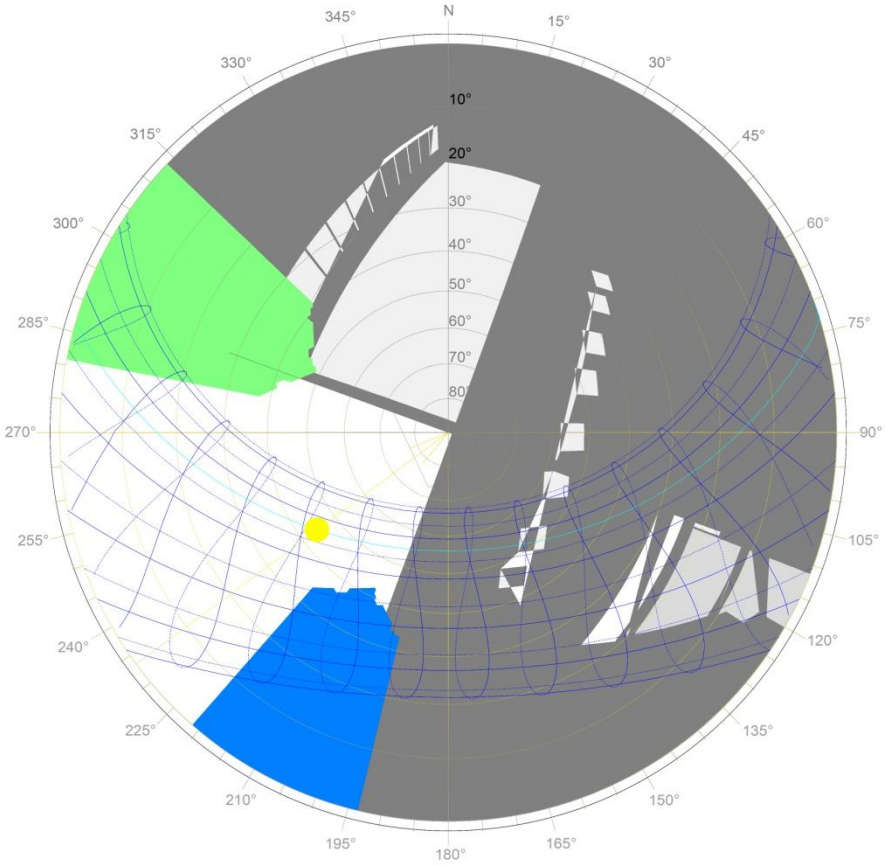


Figura 6.4.4: Diagramma solare dell'ombreggiamento della vetrata dell'aula divezzini

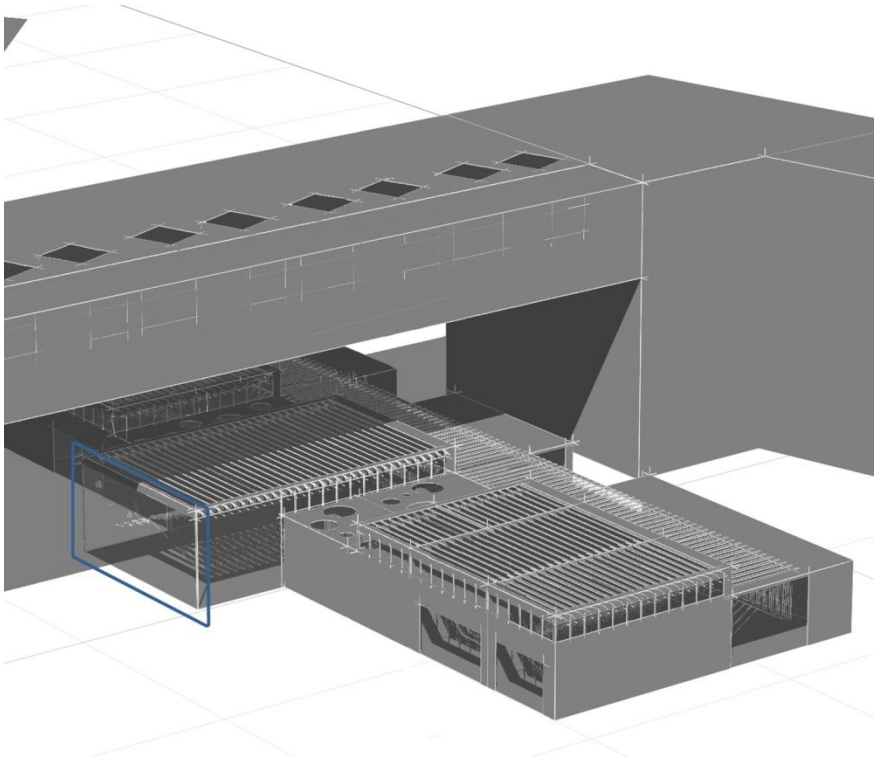


Figura 6.4.5: Vetrata Sud dell'atrio

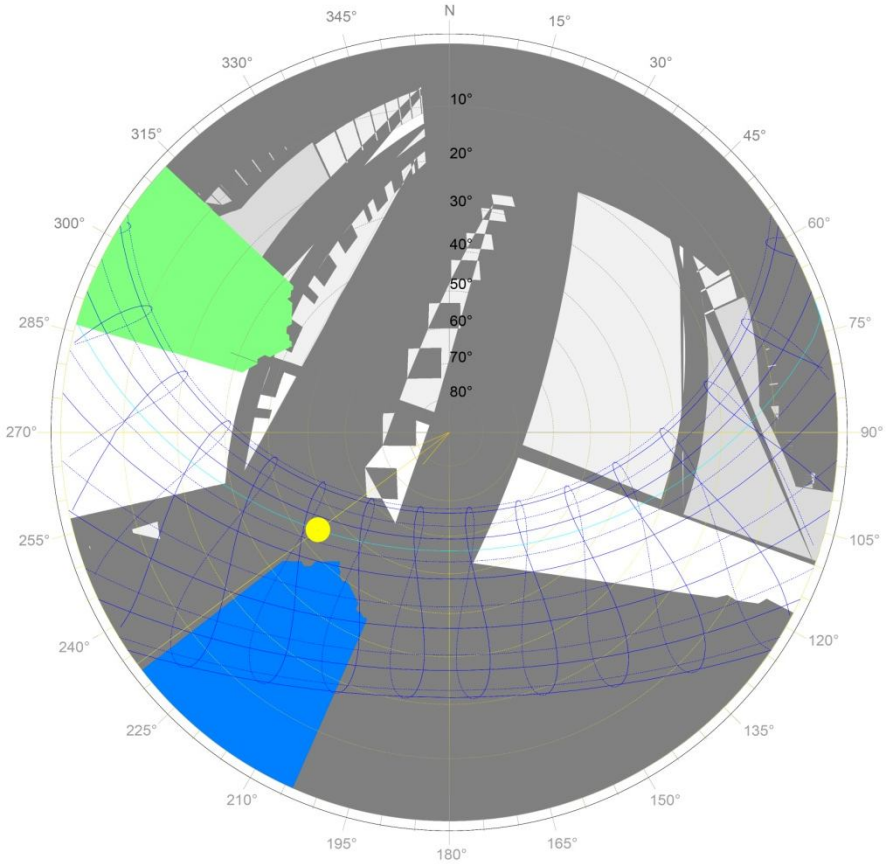
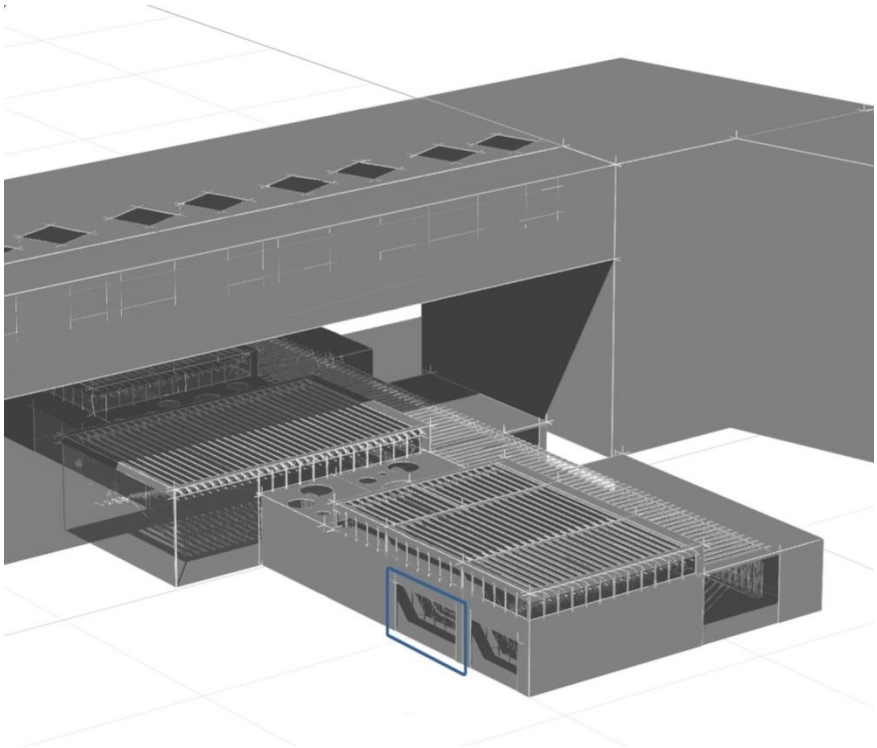


Figura 6.4.6: Diagramma solare dell'ombreggiamento della vetrata Sud dell'atrio



6.4.7: Vetrata dell'aula lattanti

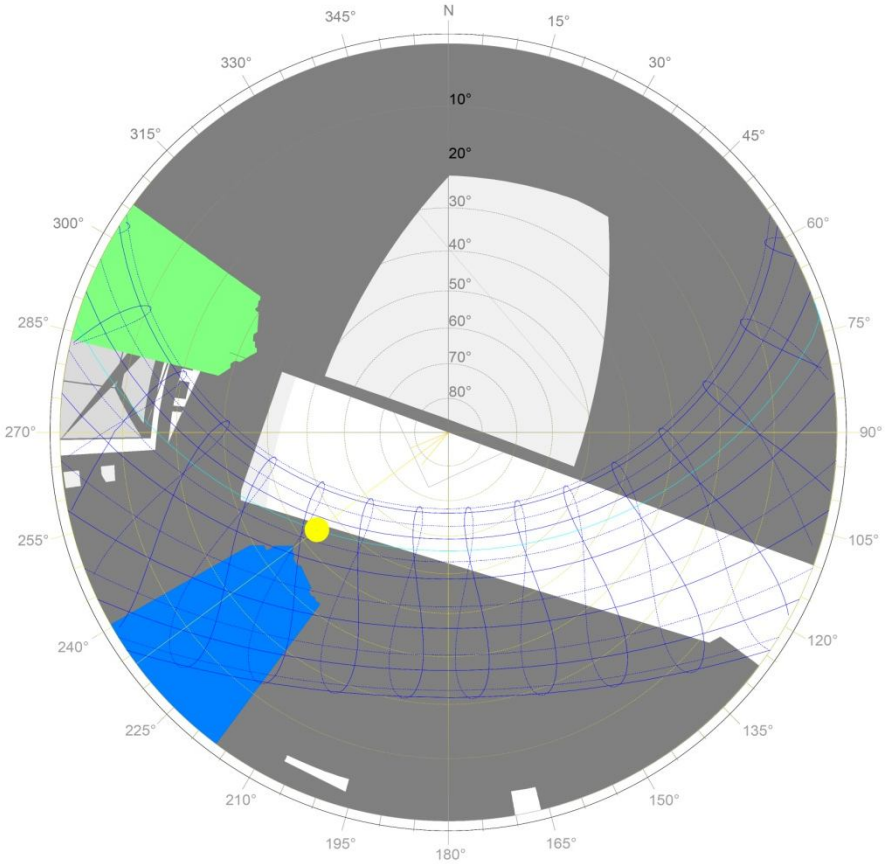
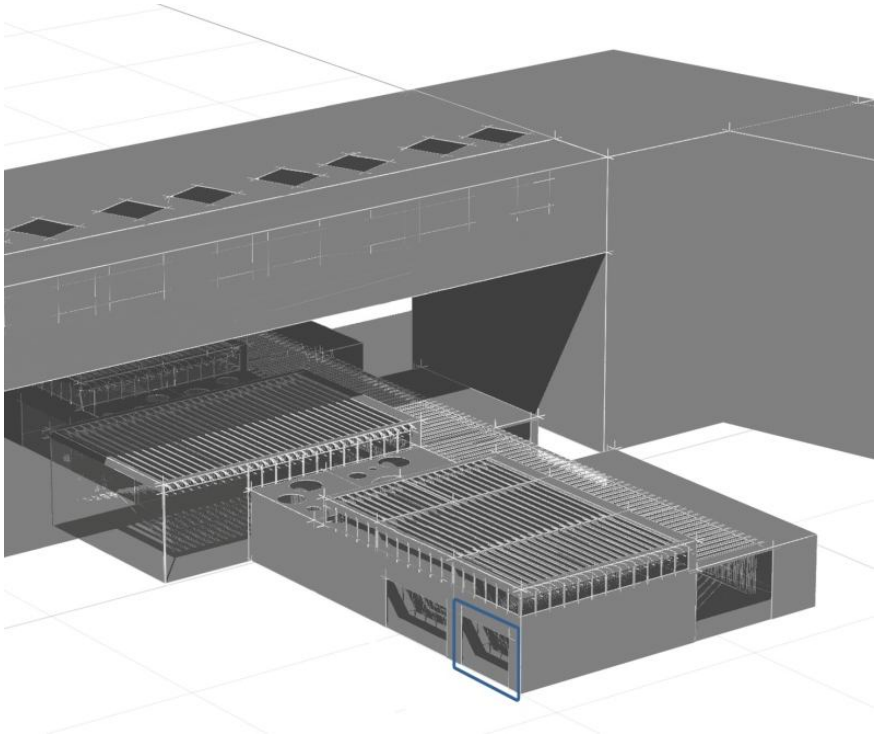


Figura 6.4.8: Diagramma solare dell'ombreggiamento della vetrata dell'aula lattanti



6.4.9: Vetrata dell'aula dei genitori

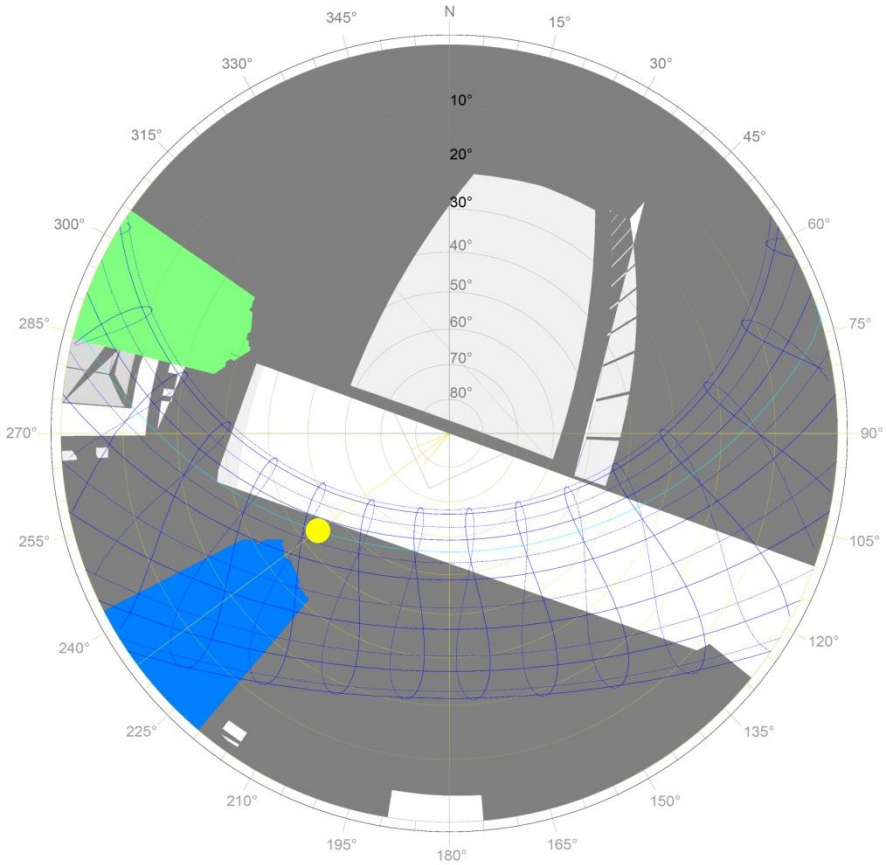


Figura 6.4.10: Diagramma solare dell'ombreggiamento della vetrata dell'aula dei genitori

Attraverso questi grafici è possibile determinare, per qualsiasi giorno dell'anno e per qualsiasi ora, la variazione dell'ombreggiamento sull'elemento preso in considerazione e l'elemento che causa il disturbo, in base al colore dato all'ombra.

Per quanto concerne l'oggetto d'intervento non esistono ostruzioni a scala geografica, in quanto ci si trova a sufficiente distanza dai corpi per trascurare la loro influenza.

Elevata è invece l'incidenza delle ostruzioni a scala locale, infatti, come già visto precedentemente, le due torri poste nel lotto adiacente sono l'elemento ombreggiante principale per tutto il lotto, e si è dovuto tenere in considerazione questo dato nella fase progettuale per limitare l'influenza delle stesse.

6.5 Prerogative fondamentali

Nella progettazione illuminotecnica è essenziale, oltre al valore dell'illuminamento richiesto, soddisfare le esigenze qualitative e quantitative.

I requisiti illuminotecnici vengono determinati dalla soddisfazione delle seguenti tre esigenze fondamentali:

- Comfort visivo: la sensazione di benessere percepita da chi staziona all'interno del locale;
- Prestazione visiva: gli individui sono in grado di svolgere i loro compiti visivi anche in circostanze difficili e per lunghi periodi di tempo;
- Sicurezza.

È fondamentale, quindi, definire alcune grandezze fotometriche, cioè quelle quantità di energia fondamentali alla descrizione del fenomeno luminoso, che saranno basilari per la determinazione del comfort visivo all'interno degli ambienti in esame:

- *Flusso luminoso*: quantità d'energia emessa da una sorgente luminosa, naturale o artificiale, nell'unità di tempo, e si misura in lumen (lm). Il lumen è definito come il flusso luminoso emesso nell'angolo solido unitario da una sorgente puntiforme posta al centro di una sfera di intensità luminosa pari a 1 cd in tutte le direzioni;
- *Intensità luminosa*: l'emissione di una fonte luminosa nello spazio è raramente omogenea, ed è quindi legata ad una specifica direzione; l'intensità luminosa rappresenta quindi il flusso luminoso emesso da una sorgente nell'unità di tempo per un determinato angolo solido, e si misura in candele (cd = lm/sr);
- *Solido fotometrico*: riferito ad una specifica sorgente, definisce la rappresentazione solida dell'intensità luminosa nello spazio. Più precisamente il solido fotometrico rappresenta la figura geometrica delimitata da una superficie chiusa, formata dal luogo dei punti estremi di segmenti aventi lunghezza proporzionale all'intensità luminosa e centro nella sorgente;
- *Illuminamento*: rappresenta la quantità di energia incidente su una superficie, e si misura in lux (lumen/m^2). Questa grandezza è il parametro a cui comunemente ci si riferisce per definire le condizioni di comfort in un ambiente illuminato. Un illuminamento è pari a 1 lux se un flusso luminoso uniformemente distribuito di 1 lumen cade su un'area di 1m^2. L'illuminamento è massimo quando i raggi luminosi sono perpendicolari alla superficie in esame, e diminuisce proporzionalmente all'angolo d'incidenza che si viene a creare, secondo la relazione:

$$L = L_n \cdot \cos(a)$$

Dove:

L = illuminamento della superficie

L_n = illuminamento normale

a = angolo d'incidenza tra i raggi e la normale alla superficie

Il livello di illuminamento richiesto per lo svolgimento di una specifica attività dipende dal tipo di attività e viene scelto all'interno di un intervallo limitato sia inferiormente, per garantire possibilità di percezione distinta degli oggetti, sia superiormente per evitare fenomeni di abbagliamento.

Generalmente gli illuminamenti si riferiscono a particolari altezze da terra, a seconda dell'ambiente in cui ci si trova:

Per scuole, uffici e locali dove l'attività si svolge prettamente seduti a un tavolo, si considera un'altezza da terra pari a quella della superficie di lavoro orizzontale, cioè 0,85 m. Per altre posizioni delle superfici di lavoro, per esempio per superfici di lavoro più alte o per ambienti dedicati ai bambini, l'illuminamento deve riferirsi alle specifiche situazioni;

Per zone di transito si considera un'altezza di 0,2 m dal pavimento.

In tabella sono riportati alcuni valori di illuminamento per differenti compiti ed attività desunti dalla norma ISO 8995.

Aree – Compiti - Attività	**Intervalli d'illuminamento (lux)**
Aree esterne di circolazione	20 – 30 – 50
Aree di circolazione, semplice orientamento, brevi visite	50 – 100 – 150
Locali non usati con continuità per scopi di lavoro	100 – 150 – 200
Compiti con semplici requisiti visivi	200 – 300 – 500
Compiti con requisiti visivi medi	300 – 500 – 750
Compiti con requisiti visivi di precisione	500 – 750 – 1000
Compiti con requisiti visivi difficili	750 – 1000 – 1500
Compiti con requisiti visivi speciali	1000 – 1500 – 2000
Svolgimento di compiti visivi molto precisi	> 2000

Abitazioni e alberghi	
Zona di conversazione e passaggio	50 – 100 – 150
Zona di lettura	200 – 300 – 500
Zona di scrittura	300 – 500 – 750
Zona dei pasti	100 – 150 – 200
Cucina	200 – 300 – 500
Bagno: illuminazione generale	50 – 100 – 150
Bagno: zona specchio	200 – 300 – 500
Camere: illuminazione naturale	50 – 100 – 150
Camere: zona armadi	200 – 300 – 500
Camere: letti	200 – 300 – 500
Camere: stiratura, cucitura e rammendo	500 – 750 – 1000
Ambienti comuni	
Aree di passaggio, corridoi	50 – 100 – 150
Scale, ascensori	100 – 150 – 200
Magazzini e depositi	100 – 150 – 200
Biblioteche	
Scaffalature per sistemazione libri	150 – 200 – 300
Tavoli di lettura	300 – 500 – 750
Banchi catalogazione e classificazione	200 – 300 – 500
Legatura	200 – 300 – 500
Scuole	
Classe: illuminazione generale (aule con sufficiente illuminazione naturale)	300
Classe: illuminazione generale (aule con insufficiente illuminazione naturale)	500

Classe: lavagna	300 – 500
Classe: disegno	500 – 750
Laboratori, officine e sale per l'istruzione d'arte	500
Asili nido, scuole materne	
Aule giochi	200 – 300
Nido	200 – 300
Aule per il lavoro manuale	300
Mensa	200
Cucina	500

Tabella 6.5.1: Valori d'illuminamento in base alle diverse destinazioni d'uso

- *Luminanza*: con riferimento ad un elemento di superficie che emetta (o rifletta) luce, è l'intensità luminosa emessa in una specifica direzione. Indica la sensazione luminosa percepita dall'occhio umano quando osserva una superficie illuminata, e si misura in cd/m^2. In situazioni in cui ci siano superfici a luminanza diversa l'occhio si adatta a una luminanza media che corrisponde al valore medio ponderato delle luminanze:

$$L_m = (L_o \cdot A_o + L_b \cdot A_b) / (A_o + A_b)$$

Dove:

L_m = luminanza media di adattamento

L_o = luminanza dell'oggetto

A_o = area dell'oggetto

L_b = luminanza dello sfondo

A_b = area dello sfondo;

Una superficie può essa stessa emettere luce, trasmetterla o riflettere luce proveniente da un'altra sorgente, e quindi funzionare come seconda sorgente luminosa. Superfici con proprietà riflettenti differenti, a parità di illuminamento, emetteranno intensità luminose differenti e pertanto avranno luminanze differenti.

Ciò che l'occhio umano percepisce come illuminazione, è in realtà l'insieme delle luminanze, o meglio le variazioni delle luminanze nel campo visivo.

Si riporta di seguito una tabella contenente le luminanze medie di alcune fonti luminose:

Sorgente	**Luminanza (cd/m^2)**
Sole a mezzogiorno	$1,6 \times 10^9$
Cielo sereno	8000
Cielo nuvoloso	2000
Terreno a prato	800
Manto nevoso	32000
Lampada a incandescenza 60W bulbo chiaro	5×10^6
Lampada a incandescenza 60W bulbo opalino	50000
Lampada fluorescente 18W	4000
Spiaggia chiara soleggiata	15000
Luna piena	4000
Foglio di carta bianco scritto	120
Superficie stradale con illuminazione stradale	0,5 - 2

Tabella 6.5.2: Valori medi delle luminanze in base alle diverse fonti luminose

La distribuzione delle luminanze nel campo visivo influenza il livello di adattamento degli occhi che a sua volta influenza la visibilità dell'azione che è in corso di svolgimento.

Una luminanza di adattamento nel campo visivo ben bilanciata è necessaria per aumentare:

- L'acuità visiva: nitidezza della visione;
- La sensibilità al contrasto: percezione delle piccole differenze di luminanza;
- Efficienza delle funzioni oculari

La distribuzione delle luminanze nel campo visivo influenza anche il comfort visivo stesso, ed è quindi necessario evitare:

- Luminanze troppo elevate che potrebbero provocare abbagliamento;
- Contrasti di luminanza troppo elevati che causerebbero affaticamento a causa delle costanti variazioni di adattamento oculare;
- Luminanze troppo basse e contrasti di luminanza troppo bassi, soprattutto per gli ambienti di studio e lavoro, in quanto si darebbe luogo a ambienti monotoni e non stimolanti.

- *Contrasto*: rappresenta la differenza di luminanza tra due oggetti o superfici, ed è proporzionale alle luminanze. In particolare il contrasto tra un oggetto di luminanza L_o posto su una superficie di luminanza L_b sarà:

$$C = (L_o - L_b) / L_b$$

I valori eccessivi di luminanza o eccessivi valori di differenza di luminanza tra oggetti contenuti nel campo visivo che vengono visti in rapida successione, provocano fenomeni di abbagliamento e possono quindi ostacolare la visione.

Più il contrasto è elevato più le condizioni luminose favoriscono lo svolgimento delle attività, ma valori eccessivi possono ridurre la sensibilità dell'occhio alla percezione dei particolari.

È quindi necessario fare in modo che il valore del rapporto L_o / L_b sia vicino a:

- 3 : 1 fra un oggetto e il suo sfondo, per svolgere un lavoro;
- 10 : 1 fra un oggetto e le superfici lontane più scure, per svolgere un lavoro;
- 20 : 1 fra le sorgenti luminose e il loro intorno;
- 40 : 1 valore massimo;
- 50 : 1 fra un oggetto da metter in evidenza e il suo sfondo

Se si superano i limiti di contrasto si rischia di entrare nel campo dell'abbagliamento.

- *Fattore medio di luce diurna: h_m:* Rapporto espresso in percentuale tra l'illuminamento medio dell'ambiente, E_m, e l'illuminamento E_0 che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto (con volta celeste annuvolata);

- *Fattore puntuale massimo di luce diurna: h_{max}:* Rapporto tra l'illuminamento massimo in un punto interno all'ambiente E_{max} e l'illuminamento E_0 che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto;

- *Fattore puntuale minimo di luce diurna: h_{min}*: Rapporto tra l'illuminamento minimo in un punto interno all'ambiente E_{min} e l'illuminamento E_0 che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto.

6.6 Asilo

Per quanto riguarda l'illuminazione naturale all'interno dell'asilo si fa affidamento alla norma UNI 10840:2007, "Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale".

La presente norma specifica i criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale delle aule e di altri locali scolastici, in modo da garantire le condizioni generali per il benessere e la sicurezza degli studenti e degli altri utenti della scuola.

La norma definisce inoltre che l'illuminazione naturale debba essere utilizzata nella maggiore misura possibile al fine di favorire il benessere psico-fisico degli occupanti e ridurre il consumo energetico.

Alle superfici vetrate è demandata la duplice funzione di consentire il contatto visivo con l'ambiente esterno e di realizzare una soddisfacente distribuzione delle luminanze nell'ambiente interno.

Per tenere conto delle esigenze didattiche con l'ausilio di mezzi audiovisivi, le superfici vetrate devono in aggiunta essere dotate di sistemi di oscuramento totale.

La norma definisce quindi dei valori h_m in funzione delle varie attività:

Tipo di ambiente, di compito visivo o di attività	**h_m (%)**
Asili nido e asili d'infanzia	
Aule giochi	≥ 5
Nido	≥ 5
Aule lavori artigianali	≥ 3
Edifici scolastici	
Aule in scuole medie superiori	≥ 3
Aule in scuole serali e per adulti	-
Sale di lettura	≥ 3
Lavagna	-
Tavolo per dimostrazioni	-

Aule educazione artistica	≥ 3
Aule educazione artistica in scuole d'arte	≥ 3
Aule per disegno tecnico	≥ 3
Aule di educazione tecnica e laboratori	≥ 3
Aule lavori artigianali	≥ 3
Laboratori di insegnamento	≥ 3
Aule di musica	≥ 3
Laboratori di informatica	≥ 3
Laboratori linguistici	≥ 3
Aule di preparazione e officine	≥ 3
Ingressi	≥ 1
Aree di circolazione e corridoi	≥ 1
Scale	≥ 1
Aule comuni e Aula Magna	≥ 2
Sale professori	≥ 2
Biblioteca: scaffali	-
Biblioteca: area di lettura	≥ 3
Magazzini materiale didattico	≥ 1
Palazzetti, palestre e piscine	≥ 2
Mensa	≥ 2
Cucina	≥ 1
Bagni	≥ 1

Tabella 6.6.1: Valori minimi del fattore di luce diurno nei locali scolastici

Per il calcolo preciso del fattore medio di luce diurna ci si può avvalere della formula riferita al modello semplificato dell'ambiente, riportato nella UNI 10840:2007, "Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale":

$$\eta_m = \frac{(A_f \,.\, t)}{\left(A_{tot} \,.\, (1 - r_m)\right)} \cdot \frac{E_{0v}}{E_0} \,.\, \Psi$$

E considerando che:

$$\varepsilon = \frac{E_{0v}}{E_0}$$

Si ottiene:

$$\eta_m = \frac{(A_f \,.\, t \,.\, \varepsilon)}{\left(A_{tot} \,.\, (1 - r_m)\right)} \cdot \Psi \, \Psi$$

Dove:

E_{0v}= illuminamento esterno della superficie vetrata verticale

A_f = area della superficie della finestra, escluso il telaio

t = fattore di trasmissione luminosa del vetro

e = fattore finestra, rappresentativo della posizione di volta celeste vista dal baricentro della finestra, ed è pari a :

- 1,0 per finestra orizzontale (lucernario) senza ostruzioni;
- 0,5 per finestra verticale senza ostruzioni;
- < 0,5 per finestre verticali con ostruzioni.

A_{tot} = area totale delle superfici che delimitano l'ambiente

r_m = fattore medio di riflessione luminosa delle superfici che delimitano l'ambiente

Ψ = fattore di riduzione del fattore finestra, ricavato in relazione alla posizione del vetro ed allo spessore della parete.

È evidente che un determinato fattore medio di luce diurna può modificare la percezione dello spazio da parte dell'osservatore. Questo può essere reso più evidente dalla tabella seguente:

<table>
<tr><td>Fattore di luce</td><td>< 1 %
molto basso</td><td>1 – 2 %
basso</td><td>2 – 4 %
moderato</td><td>4 – 7 %
medio</td><td>7 – 12 %
elevato</td><td>> 12 %
molto elevato</td></tr>
<tr><td>Zona considerata</td><td colspan="3">Zona lontana dalle finestre, distanza da 3 a 4 volte l'altezza delle finestre</td><td colspan="3">In prossimità delle finestre o sotto il lucernario</td></tr>
<tr><td>Impressione di luminosità</td><td colspan="2">Da buio a poco luminoso</td><td colspan="2">Da poco luminoso a luminoso</td><td colspan="2">Da luminoso a molto luminoso</td></tr>
<tr><td>Atmosfera</td><td colspan="3">L'ambiente sembra chiuso su se stesso</td><td colspan="3">L'ambiente si apre verso l'esterno</td></tr>
</table>

Tabella 6.6.2: Impressione visuale in relazione al valore del fattore di luce diurno

Precedentemente, trattando dell'illuminamento, si è visto che nella determinazione del livello di comfort all'interno degli ambienti è fondamentale tenere in considerazione l'altezza alla quale vengono svolte le attività. Per la valutazione del fattore di luce diurna all'interno delle aule dell'asilo si è quindi scelto di sviluppare i calcoli per un'altezza pari a 50 cm da terra, cioè l'altezza del tavolini sui quali i bambini svolgono le attività di disegno e i lavoretti manuali, mentre per il corridoio si è mantenuta un'altezza di calcolo di 20 cm da terra.

Il posizionamento delle aperture delle aule solamente sulle chiusure verticali avrebbe portato ad aree eccessivamente illuminate nelle vicinanze delle aperture, e a zone estremamente in ombra nella posizione opposta. Per ovviare a questo problema si è deciso di mantenere le aperture sulle chiusure verticali, aggiungendo un sistema di "vele" sulla chiusura orizzontale superiore, che da opaca è stata modificata in trasparente, in modo da garantire un livello d'illuminazione diffuso e il più costante possibile all'interno dei locali.

Il sistema di chiusura superiore è costituito da una chiusura orizzontale superiore trasparente, sotto la quale è posto un vero e proprio sistema di vele, costituite da un materiale altamente riflettente, che permette il passaggio della luce diffusa bloccando i raggi diretti del sole.

L'apertura più o meno ampia delle vele è stata studiata per ogni ambiente, in modo da garantire un livello d'illuminazione uniforme all'interno di tutti i locali dell'asilo, a seguito delle differenti condizioni d'ombreggiamento esterno in cui si trovano i vari ambienti.

Vengono di seguito riportate le immagini che mostrano tutti i valori del fattore di luce diurna calcolati per i locali dell'asilo.

Figura 6.6.1: Navigatore - Aula divezzi

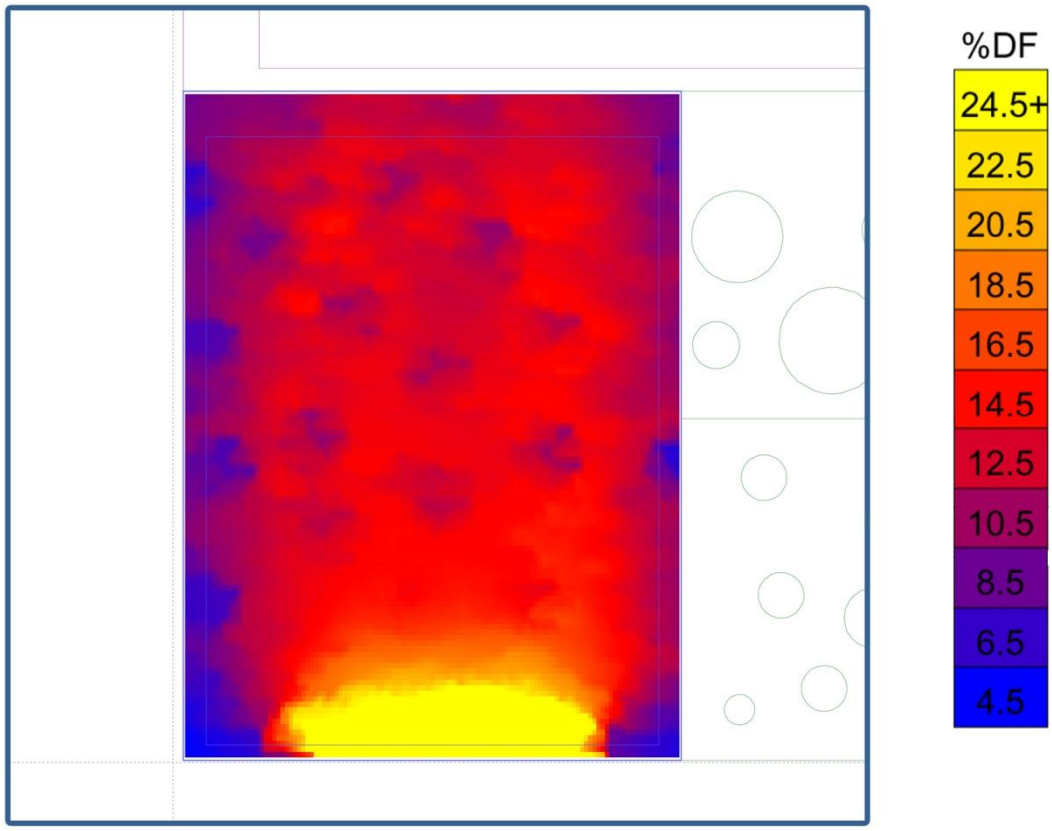


Figura 6.6.2: Fattore di luce diurna garantito all'interno dell'aula divezzi

h_m: 13,22%

Figura 6.6.3: Navigatore – Servizi della sezione divezzi

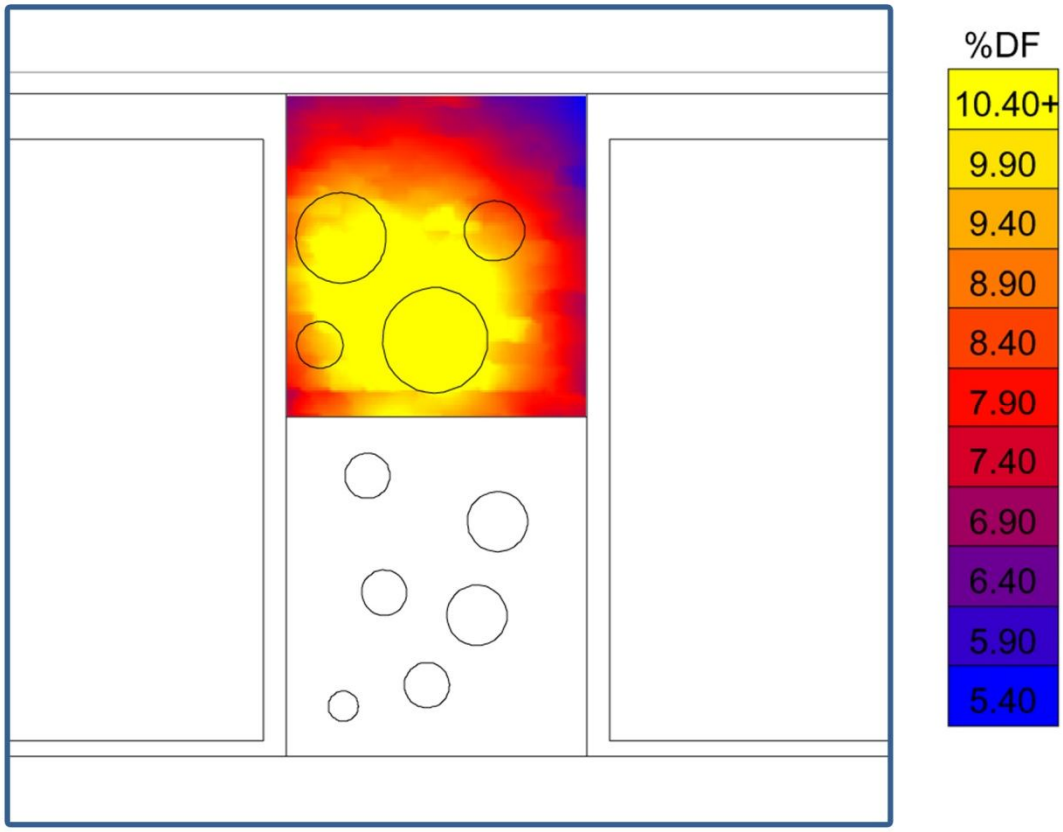


Figura 6.6.4: Fattore di luce diurna garantito all'interno dei servizi della sezione divezzi

h_m: 9,04%

Figura 6.6.5: Navigatore – Dormitorio della sezione divezzi

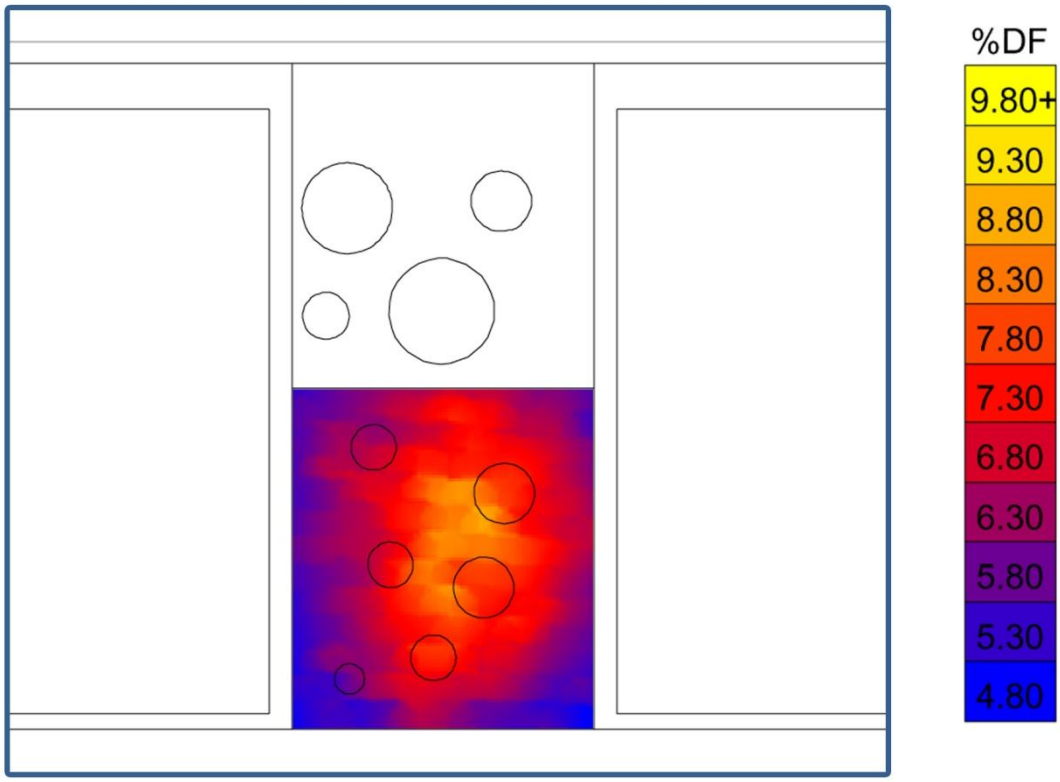


Figura 6.6.6: Fattore di luce diurna garantito all'interno del dormitorio della sezione divezzi

h_m: 6,66%

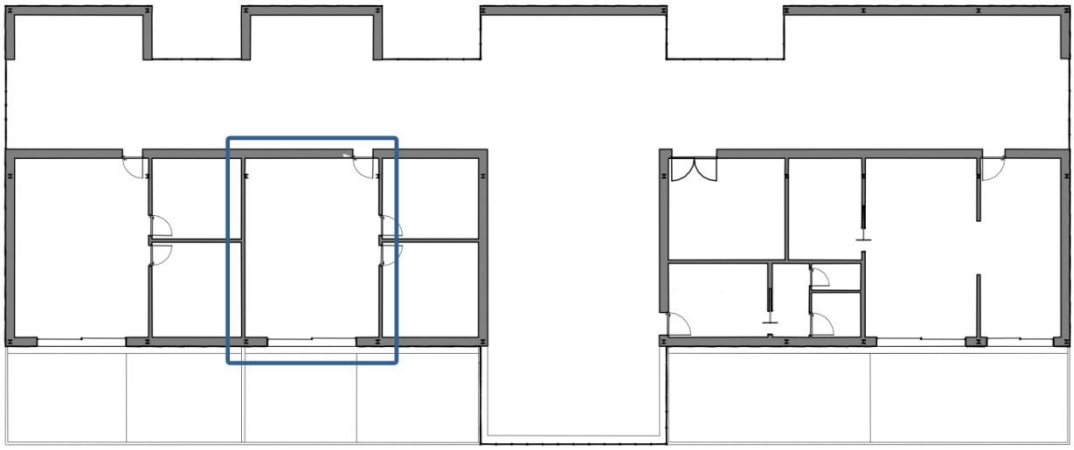


Figura 6.6.7: Navigatore – Aula divezzini

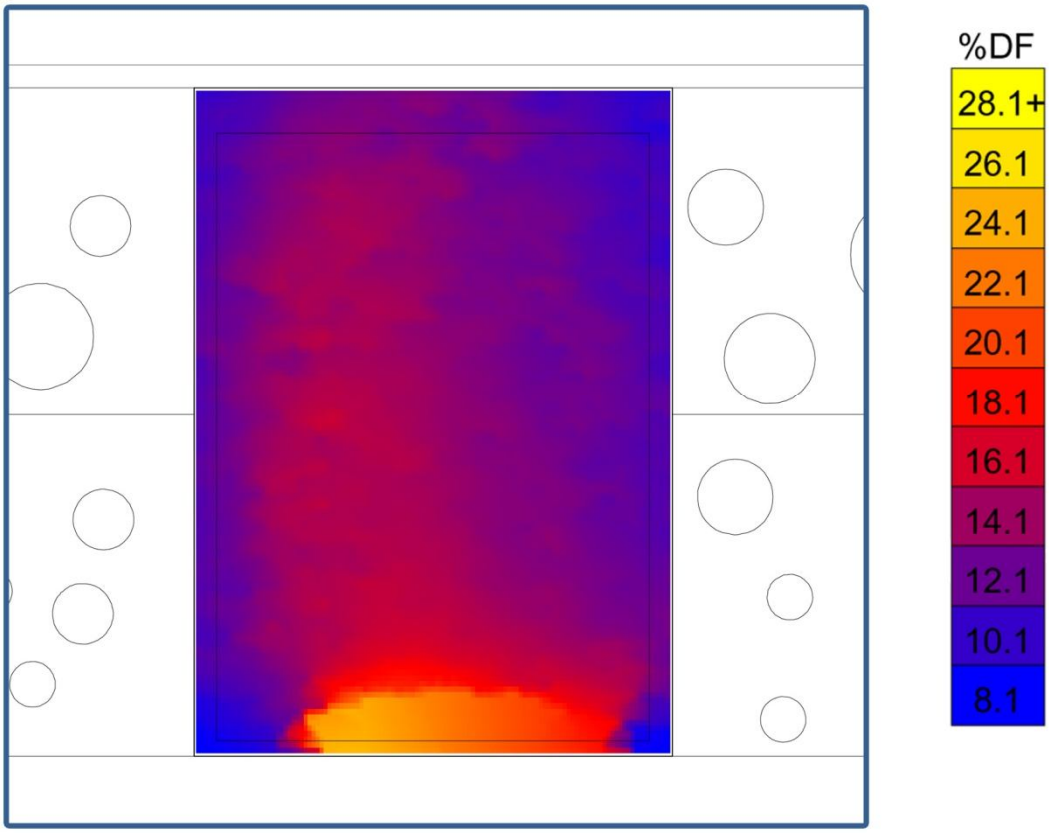


Figura 6.6.8: Fattore di luce diurna garantito all'interno dell'aula divezzini

h_m: 13,49%

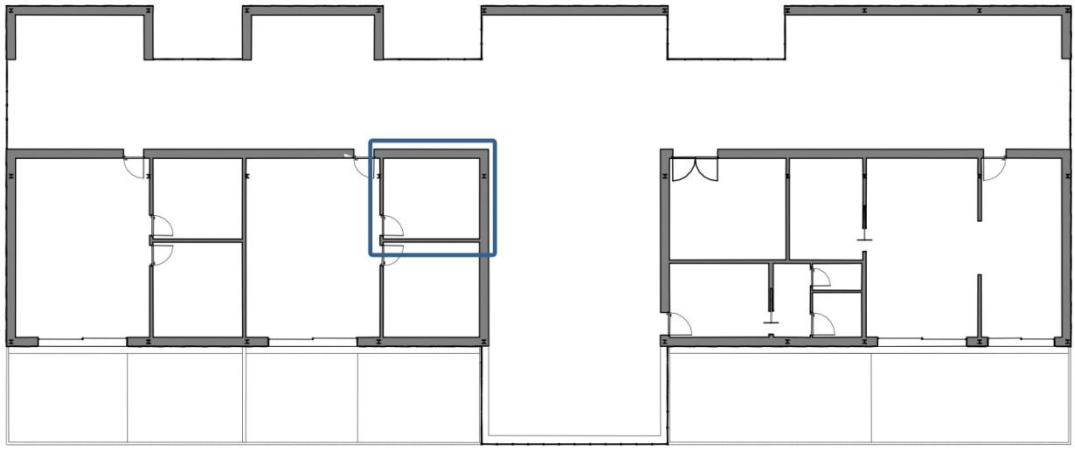


Figura 6.6.9: Navigatore – Servizi della sezione divezzini

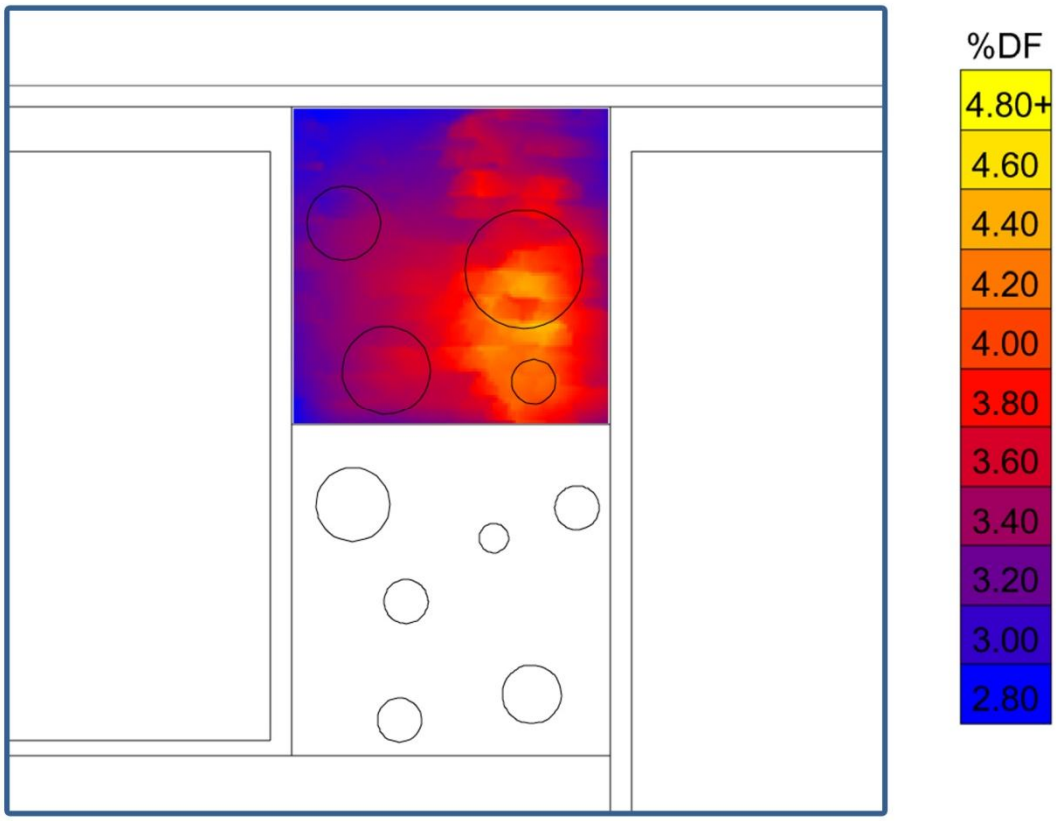


Figura 6.6.10: Fattore di luce diurna garantito all'interno dei servizi della sezione divezzini

h_m: 3,48%

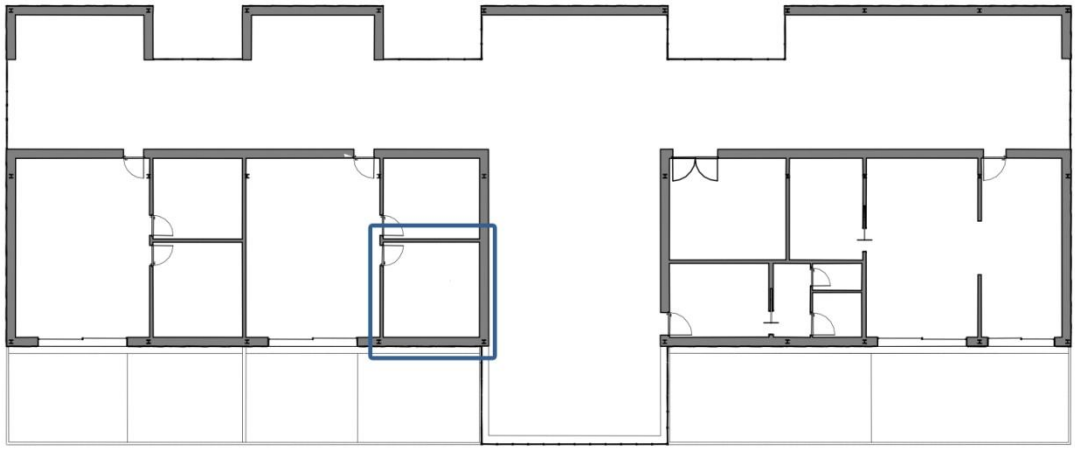


Figura 6.6.11: Navigatore – Dormitorio della sezione divezzini

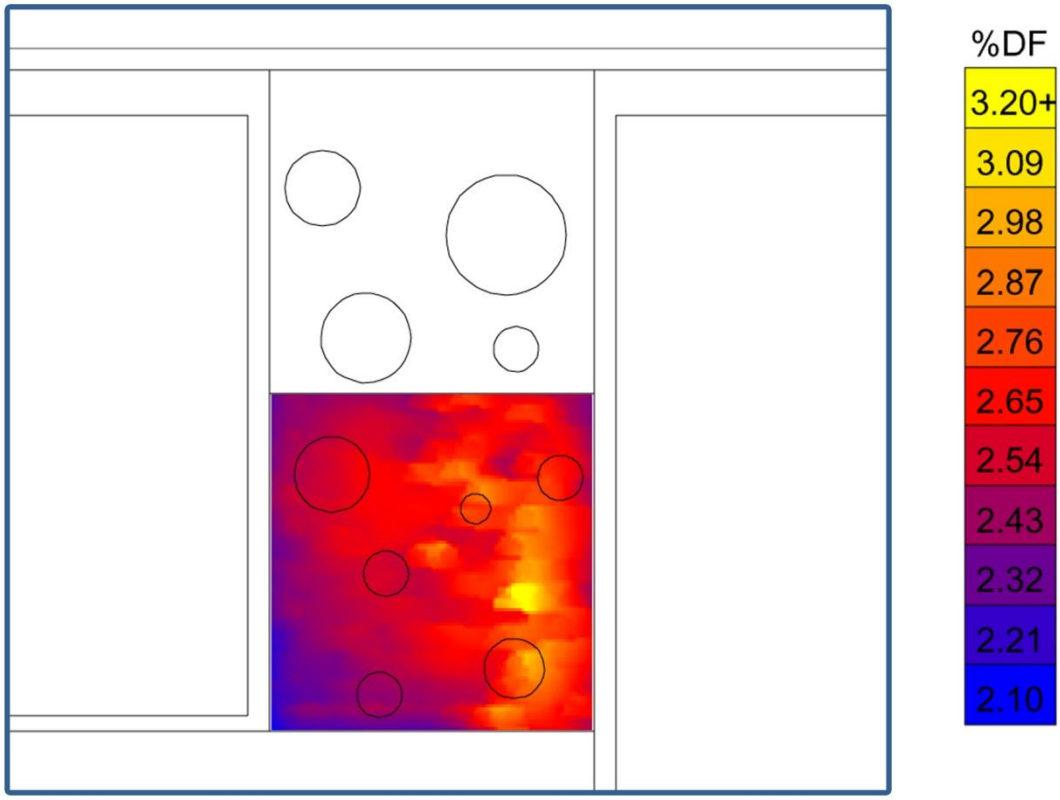


Figura 6.6.12: Fattore di luce diurna garantito all'interno del dormitorio della sezione divezzini

h_m: 2,57%

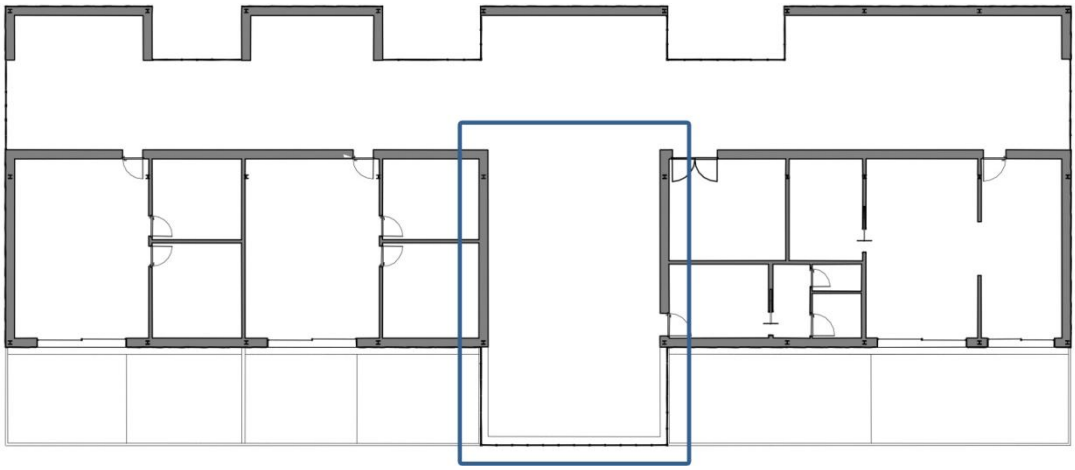


Figura 6.6.13: Navigatore – Atrio

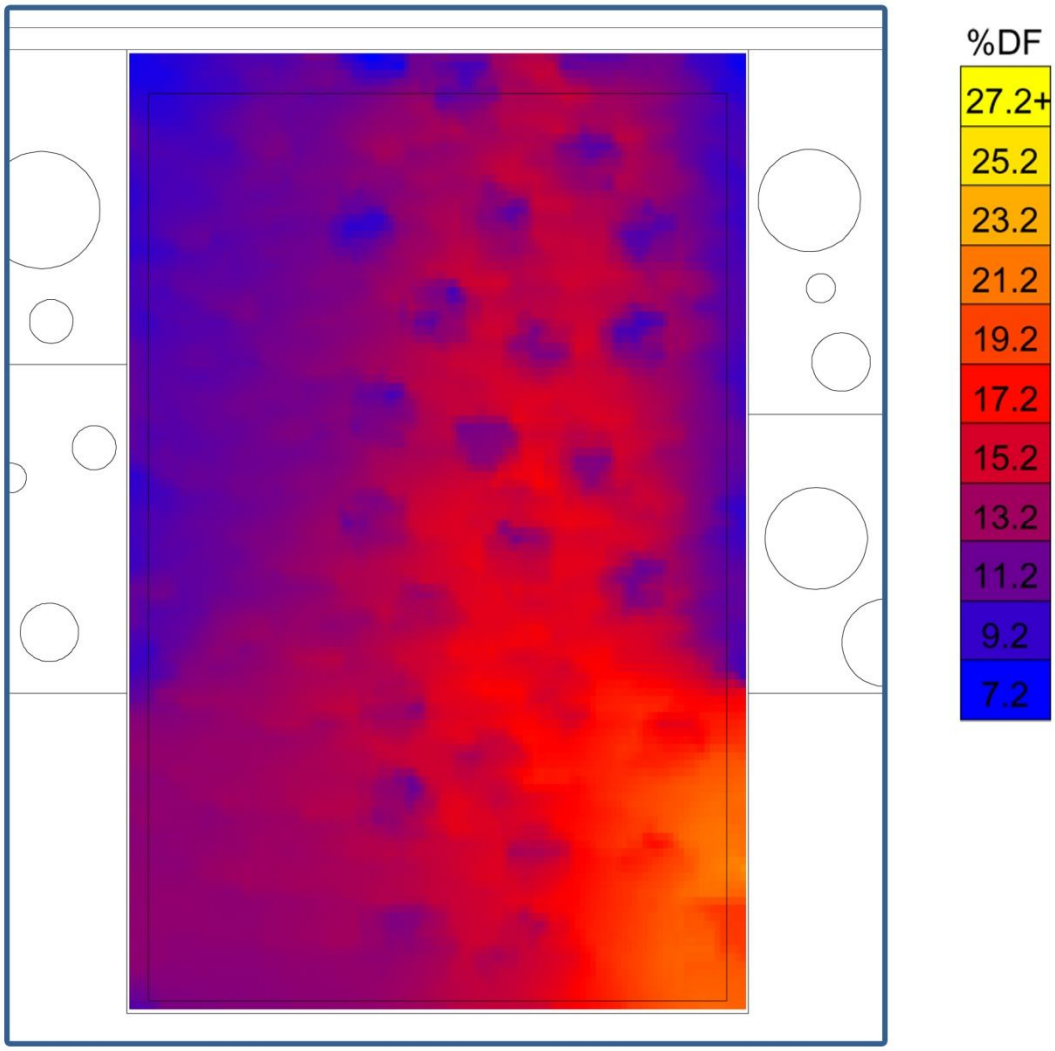


Figura 6.6.14: Fattore di luce diurna garantito all'interno dell'atrio

h_m: 13,32%

Figura 6.6.15: Navigatore – Cucina

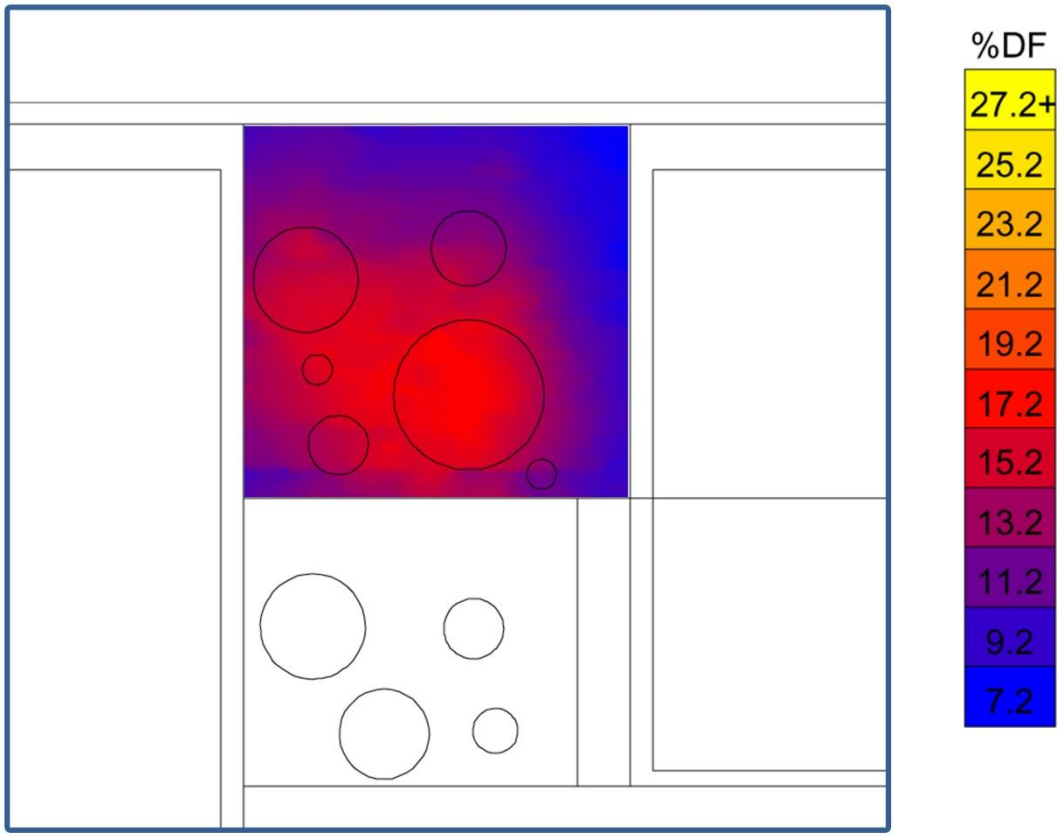


Figura 6.6.16: Fattore di luce diurna garantito all'interno della cucina

h_m: 12,63%

Figura 6.6.17: Navigatore – Spogliatoio personale

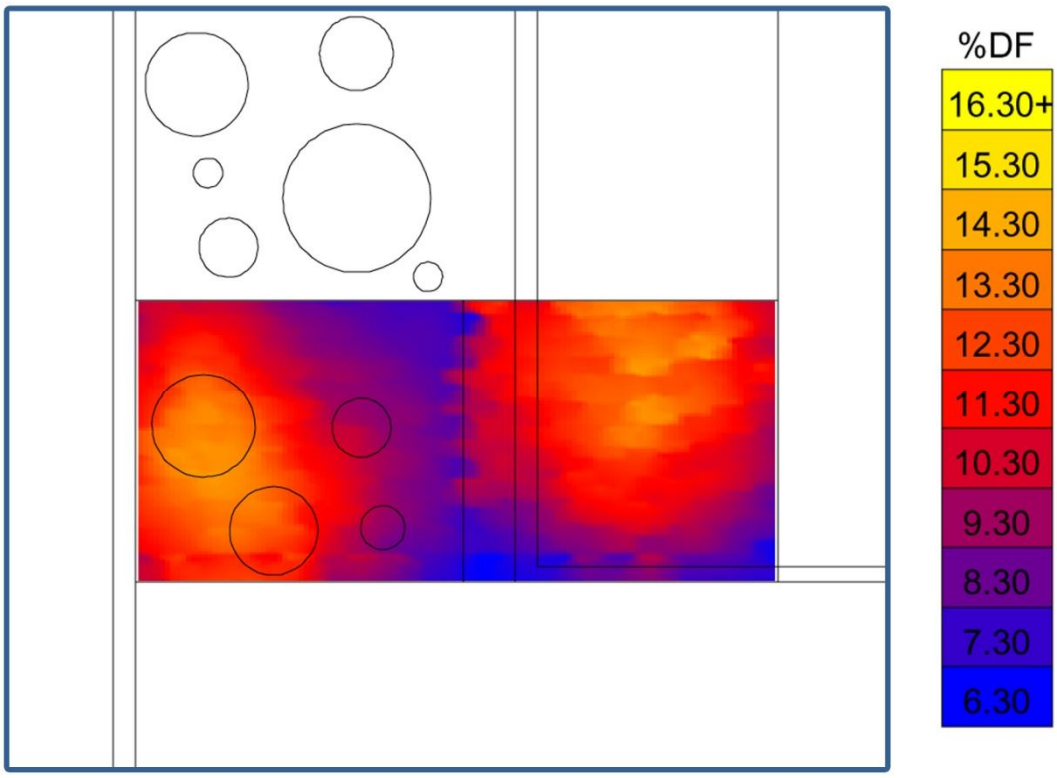


Figura 6.6.18: Fattore di luce diurna garantito all'interno dello spogliatoio del personale

h_m: 10,54%

Figura 6.6.19: Navigatore – Dormitorio della sezione lattanti

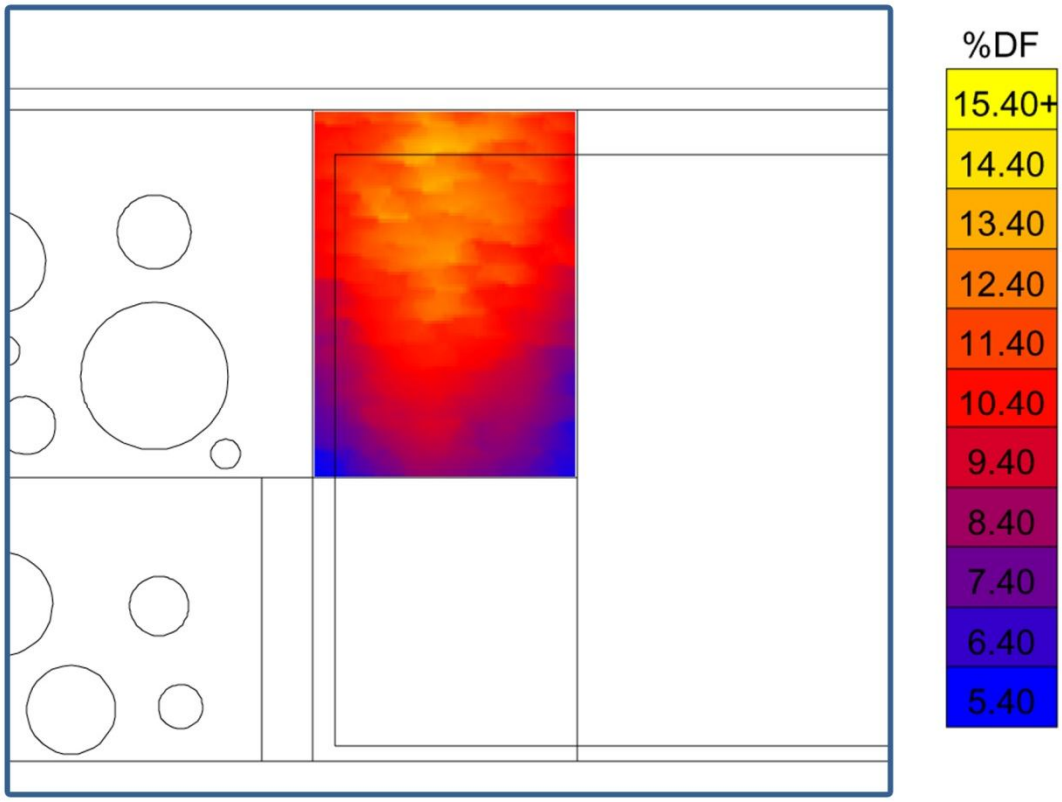


Figura 6.6.20: Fattore di luce diurna garantito all'interno del dormitorio della sezione lattanti

h_m: 10,17%

Figura 6.6.21: Navigatore – Spogliatoio della sezione lattanti

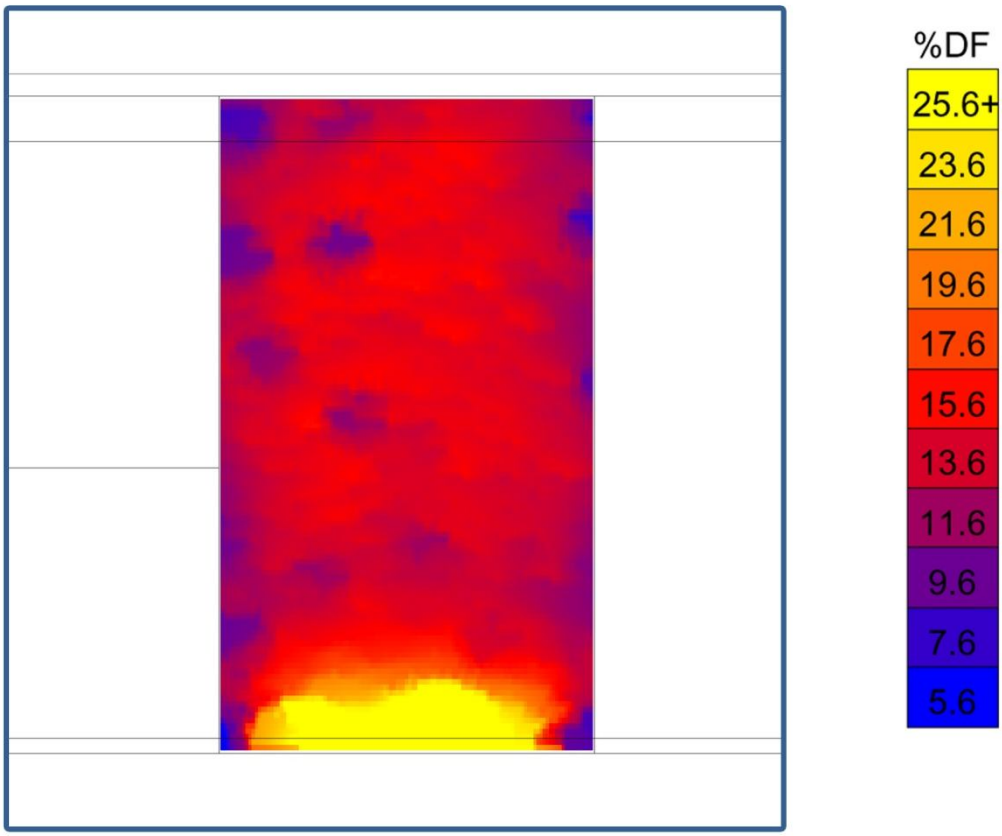


Figura 6.6.22: Fattore di luce diurna garantito all'interno dello spogliatoio della sezione lattanti

h_m: 14,31%

Figura 6.6.23: Navigatore – Aula dei genitori della sezione lattanti

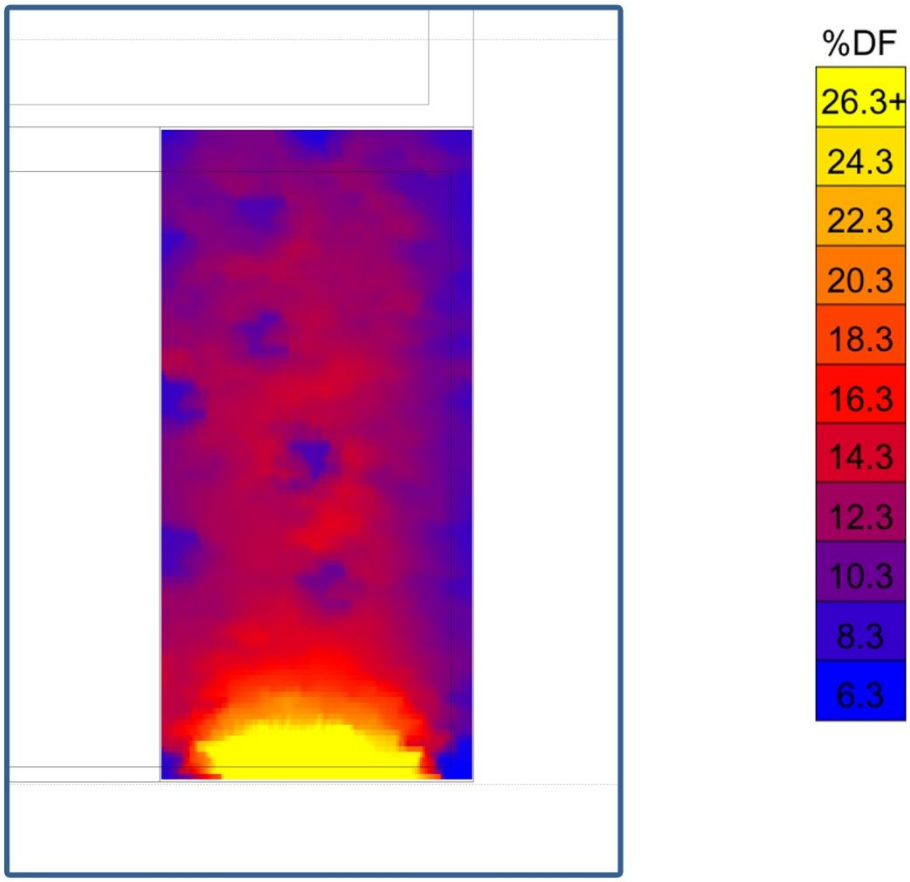


Figura 6.6.24: Fattore di luce diurna garantito all'interno dell'aula dei genitori della sezione lattanti

h_m: 12,96%

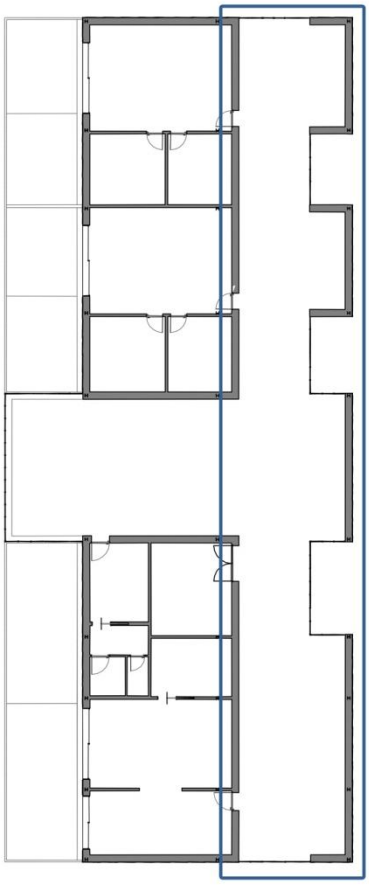


Figura 6.6.25: Navigatore – Corridoio

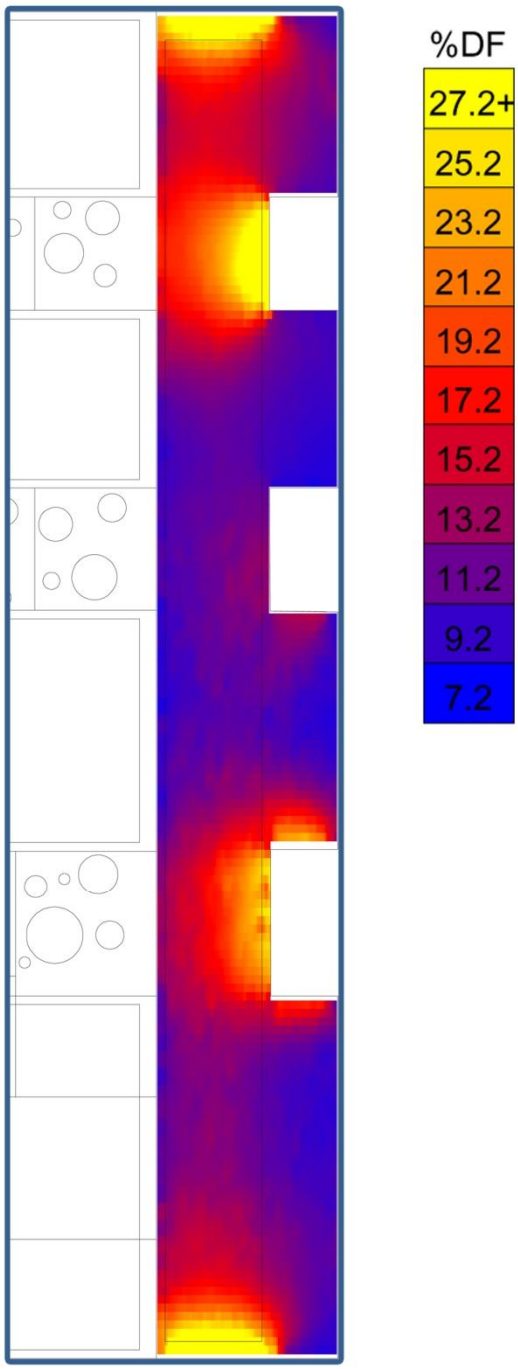


Figura 6.6.26: Fattore di luce diurna garantito all'interno del corridoio

h_m: 13,77%

Dalle immagini sopra riportate risulta evidente come il valore minimo di fattore di luce diurna sia ampiamente rispettato. Si è voluto, inoltre, mantenere un valore di h_m il più costante possibile tra i differenti locali, in modo da evitare alcun effetto di abbagliamento, anche se minimo, per i docenti e il personale che tende a spostarsi frequentemente da una sezione all'altra.

È quindi fondamentale riuscire a garantire un adeguato livello di comfort visivo agli occupanti degli ambienti. Per raggiungere quest'obiettivo è necessario che le condizioni d'illuminazione siano quelle necessarie per svolgere le attività per cui un ambiente è stato progettato.

L'analisi del comfort riguarda sostanzialmente la verifica di due elementi principali di descrizione delle condizioni d'illuminazione in uno spazio e la loro comparazione con i valori tabellari di riferimento.

Il primo elemento da verificare è che la *quantità di luce* sia sufficiente per distinguere i dettagli di ciò che si deve osservare in relazione al tipo d'impegno visivo da svolgere, alla precisione richiesta per la sua esecuzione, alle condizioni fisiche e all'età dell'osservatore.

Il secondo elemento da controllare per stabilire se le condizioni interne siano confortevoli è l'*abbagliamento*. Si definisce abbagliamento l'effetto, molesto per la visione, causato dall'eccessivo contrasto tra elementi aventi luminanza differente che si trovino nel campo visivo dell'osservatore. In generale l'abbagliamento è causato da oggetti di piccole dimensioni (finestre, lampade, ecc.) con elevata luminosità in un campo visivo con valori medi di luminanza abbastanza bassi. Il compito del progettista è quindi quello di riuscire a garantire valori medi di luminanza sufficientemente elevati da eliminare o quantomeno ridurre il fenomeno dell'abbagliamento.

L'abbagliamento si dice diretto quando è causato dalla presenza di una fonte luminosa nel campo visivo, e indiretto quando è causato dalla vista di una superficie che riflette la luce proveniente da una fonte esterna.

La valutazione dell'abbagliamento è complessa e legata sia a fattori oggettivi sia soggettivi; per valutare l'effetto oggettivamente misurabile dell'abbagliamento si utilizza la costante di abbagliamento:

$$g = \frac{L_s a \,.\, w^b \,.\, f(\emptyset)}{L_b}$$

Dove:

a,b = coefficienti con valori generalmente pari a 1,8 e 0,8

L_s = luminanza della fonte luminosa

w = angolo solido della fonte luminosa

f(ϕ) = distanza angolare della fonte dalla linea di visione

L_b = luminanza dello sfondo della fonte luminosa

La sensazione di abbagliamento cresce con l'aumentare della costante di abbagliamento secondo una relazione logaritmica che si definisce indice di abbagliamento:

$$GI = 10 \,.\, log_{10} \,.\, g$$

$$g = 0{,}48 \,.\, \frac{\left(L_s^{1,6} \,.\, \Omega^{0,8}\right)}{\left(L_b + 0{,}07 \,.\, \omega^{0,5} \,.\, L_w\right)}$$

Dove:

g = costante di abbagliamento calcolata per ciascuna porzione di sorgente vista attraverso la finestra

L_s = luminanza della sorgente

Ω = angolo solido sotteso dalla sorgente corretto in relazione alla direzione di osservazione in steradianti

L_b = luminanza media delle superfici interne dell'ambiente, che rientrano nel campo visivo dell'occupante

ω = angolo solido totale sotteso dalla finestra in steradianti

L_w = luminanza media della finestra, ponderata rispetto alle aree relative di cielo, ostruzione e terreno

A partire dal valore 10 dell'indice GI l'abbagliamento comincia ad essere percepibile, da 16 a 22 e sopportabile, da 22 a 28 non confortevole e sopra il 28 intollerabile.

La norma UNI 10840:2007 definisce inoltre che, al fine di garantire un'adeguata uniformità dell'illuminazione naturale all'interno degli ambienti, devono essere garantiti i seguenti rapporti relativi al fattore di luce diurna puntuale:

$$h_{min} \,/\, h_{max} > 0{,}16$$

Si riporta quindi di seguito la tabella contenente i valori minimi e massimi del fattore di luce diurna per tutti i locali dell'asilo, a dimostrazione dell'assenza di un effetto abbagliante all'interno degli ambienti.

Aula	fld min	fld max	Rispettato
Sezione divezzi			
Aula	4,5	24,4	si
Wc	5,4	10,4	si
Dormitorio	4,8	9,8	si
Sezione divezzini			
Aula	8,1	28,1	si
Wc	2,8	4,8	si
Dormitorio	2,1	3,2	si
Spazi comuni			
Atrio	7,2	27,2	si
Cucina	7,2	27,2	si
Spogliatoio personale	6,3	16,3	si
Corridoio	7,2	27,2	si
Sezione lattanti			
Aula dei genitori	6,3	26,3	si
Spogliatoio	5,6	25,6	si
Dormitorio	5,4	15,4	si

È quindi stato dimostrato che i locali di cui è costituito l'asilo garantiscono un adeguato livello di comfort ai fruitori degli ambienti, permettendo lo svolgimento delle attività richieste ed evitando fastidi a seguito di un ipotetico elevato grado d'illuminazione o della possibile cospicua differenza d'illuminamento di due diversi punti in un determinato locale.

Vengono di seguito riportate le immagini che definiscono i livelli di luminanza all'interno dell'aula della sezione divezzi, cioè nel locale più illuminato dell'asilo, nei due solstizi e nei due equinozi.

Per sviluppare questi calcoli è stato scelto di utilizzare un modello di cielo sereno, in modo da accertare che l'abbagliamento non si verifichi neanche nelle condizioni peggiori, cioè quando ci si trova in una situazione di cielo estremamente limpido nella stagione estiva, ovvero quando i raggi solari sono più potenti.

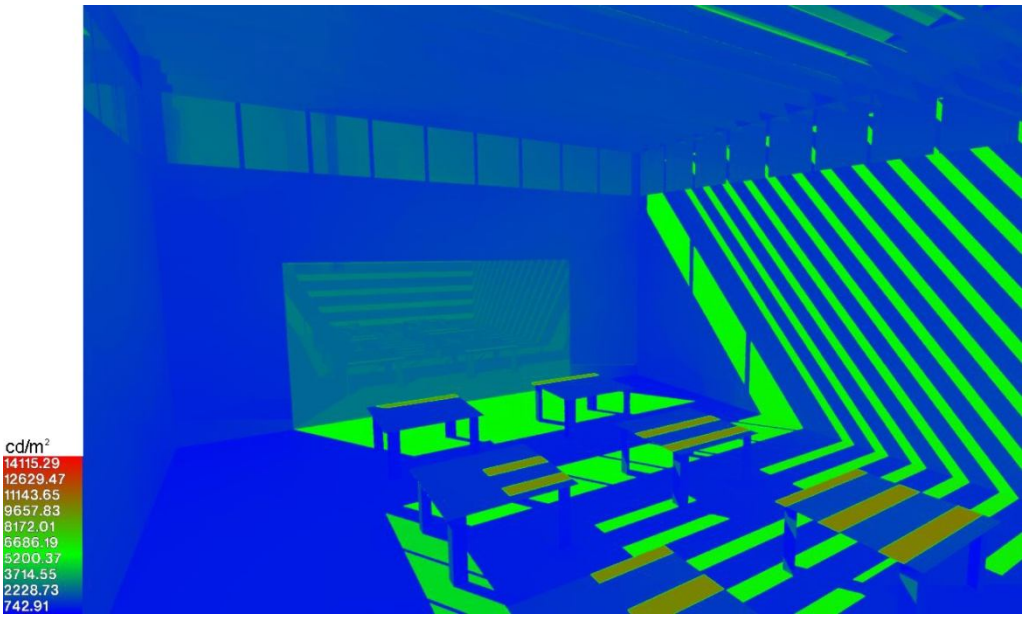


Figura 6.6.27: Luminanza nell'aula divezzi - 21 Marzo ore 12.00

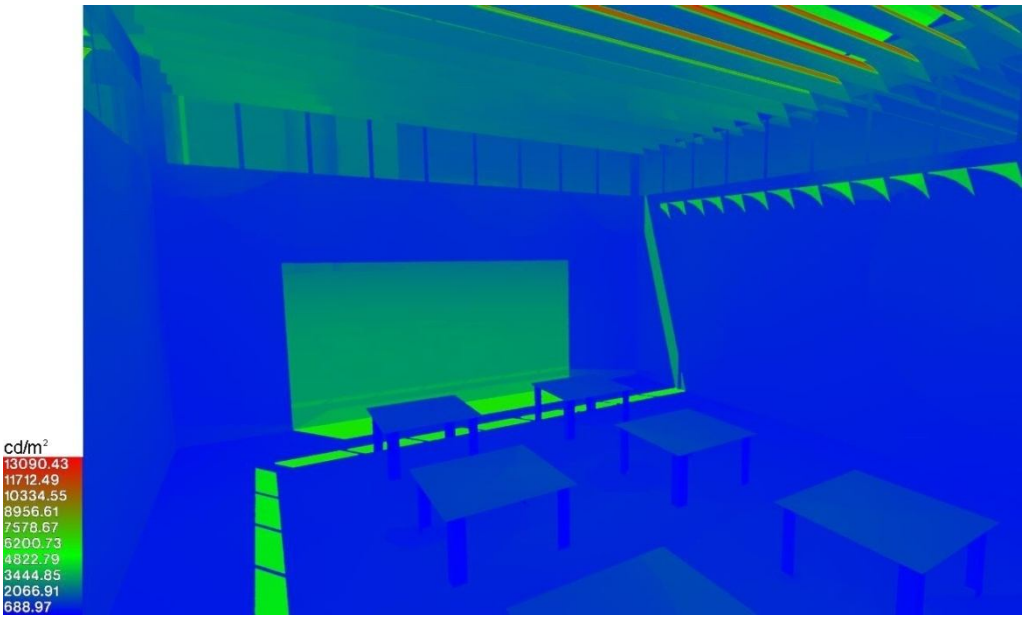


Figura 6.6.28: Luminanza nell'aula divezzi - 21 Giugno ore 12.00

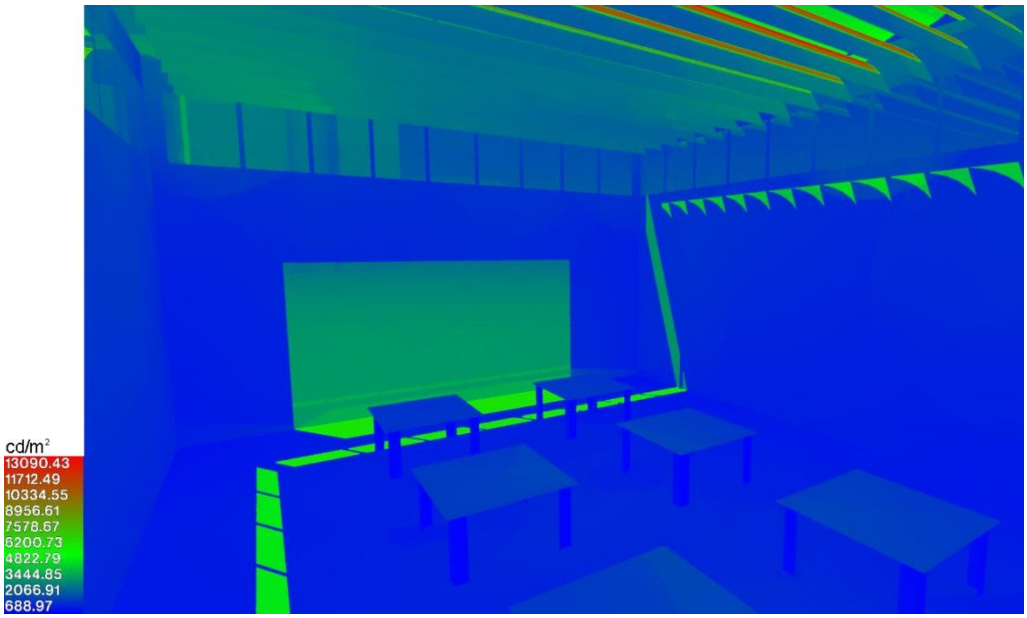


Figura 6.6.29: Luminanza nell'aula divezzi - 21 Settembre ore 12.00

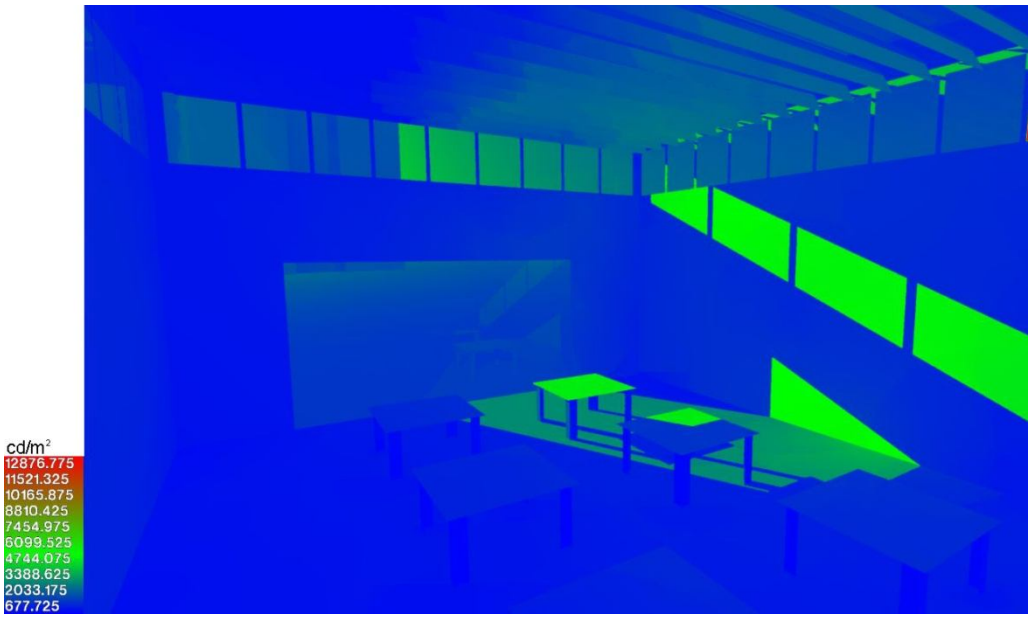


Figura 6.6.30: Luminanza nell'aula divezzi - 21 Dicembre ore 12.00

Dalle immagini sopra riportate risulta evidente che, grazie al sistema di schermatura a "vele", si è riusciti a garantire un illuminamento il più possibile costante in tutto il locale, evitando fenomeni di contrasto tra la superficie di svolgimento del lavoro e la superficie del pavimento sottostante, in modo da assicurare un adeguato livello di comfort all'interno dell'ambiente e da permettere lo svolgimento delle attività senza particolari fastidi.

Per evitare fenomeni di abbagliamento connessi all'eccessivo contrasto di luminanza tra superfici vetrate e superfici opache, occorre prevedere sistemi regolabili per il controllo della luce naturale, quali tende, veneziane e schermi, per ridurre l'abbagliamento in

presenza di grandi dimensioni della superficie vetrata ed in condizioni di elevata luminanza della volta celeste o delle superfici esterne visibili.

Per l'asilo in questione si è quindi deciso di prevedere un sistema di tende interne ad oscuramento dell'apertura principale sulla chiusura verticale esposta a Sud-Ovest, in quanto elemento di connessione tra l'interno dell'aula e il cortile di pertinenza della stessa. Per tutte le altre aperture poste sulle chiusure verticali è stato invece previsto un sistema di oscuramento a tende esterne, in modo da limitare, oltre all'ingresso della radiazione solare anche l'apporto di calore al locale a seguito del surriscaldamento dei vetri delle finestre, che potranno comunque contribuire alla ventilazione dell'ambiente perché apribili a vasistas.

È stato previsto, inoltre, anche un sistema di oscuramento a tende esterne elettricamente azionabili dall'interno dell'aula, per la chiusura orizzontale superiore a "vele", per evitare l'eccessivo surriscaldamento degli ambienti nelle stagioni più calde.

Tramite i calcoli sopra riportati è stato possibile, dunque, dimostrare che si è riusciti a garantire un appropriato livello di comfort all'interno dei locali, in modo da permettere l'adeguato svolgimento delle attività dei bambini e degli insegnanti che frequentano l'asilo, assicurando un livello d'illuminazione abbondantemente superiore rispetto a quello richiesto dalla normativa.

6.7 Residenze

Per quanto concerne la abitazioni si può fare affidamento al regolamento d'igiene del comune di Milano, che definisce l'illuminazione naturale diretta come perimetrale o zenitale o mista.

Nel caso di luce proveniente dalle pareti perimetrali esterne degli ambienti abitabili le parti trasparenti, misurate convenzionalmente al lordo dei telai degli infissi, non devono avere area complessiva inferiore a 1/10 di quella della superficie del pavimento degli ambienti stessi, quando la profondità del pavimento di ogni singolo ambiente non superi 2,5 volte la loro altezza. Per profondità maggiori, che comunque non devono essere superiori a 3,5 volte l'altezza, l'area complessiva delle parti trasparenti, sempre al lordo degli infissi, non deve essere inferiore a 1/8 dell'area del pavimento.

La superficie illuminante che deve essere computata è la superficie totale dell'apertura finestrata, detratta la eventuale quota inferiore fino ad un'altezza di 60 cm dal piano di calpestio e la quota superiore eventualmente coperta da sporgenze, aggetti, velette con uno sporto superiore a 150 cm, calcolato per un'altezza $p = L/2$ dove p è la proiezione della sporgenza sulla parete e L è la lunghezza della sporgenza dall'estremo alla parete.

Nel caso di luce zenitale, l'area complessiva delle parti trasparenti non deve essere inferiore a 1/12 dell'area del pavimento.

Nel caso di situazioni miste il contributo della luce zenitale viene considerato al pari di quello delle pareti verticali. Si procede quindi a considerare un rapporto pari a 1/10 della superficie di calpestio, e la presenza dell'elemento zenitale vale al solo fine di aumentare la profondità dell'ambiente.

Generalmente il rapporto illuminante viene abbinato al rapporto aerante, cioè il rapporto tra la superficie calpestabile del locale e la superficie finestrata che permette il ricambio d'aria all'interno del locale stesso: si parla quindi di rapporto aeroilluminante.

Per quanto concerne l'aerazione dei locali adibiti alla permanenza delle persone, il regolamento d'igiene del comune di Milano definisce il rapporto minimo tra la parte apribile del serramento, misurata al lordo del telaio, e la superficie del piano di calpestio pari a 1/10.

Le parti apribili computate nei calcoli per la verifica dei rapporti di aerazione, qualora in copertura, devono essere esclusivamente verticali.

La superficie finestrata che garantisce il ricambio d'aria può essere ridotta a 1/12 del piano di calpestio negli ambienti dotati di serramenti apribili dal pavimento all'intradosso finito del soffitto.

Vengono quindi di seguito riportate le piante tramite le quali è possibile individuare i tipi di appartamento, e le tabelle con i rapporti aeroilluminanti garantiti all'interno delle residenze, sia quelle per le famiglie sia quelle per gli studenti.

Piano terra

Figura 6.7.1: Tipi di appartamenti - Piano terra

- Appartamento a
- Appartamento b
- Stanza singola tipo a
- Stanza singola tipo b
- Stanza doppia b

Piano primo

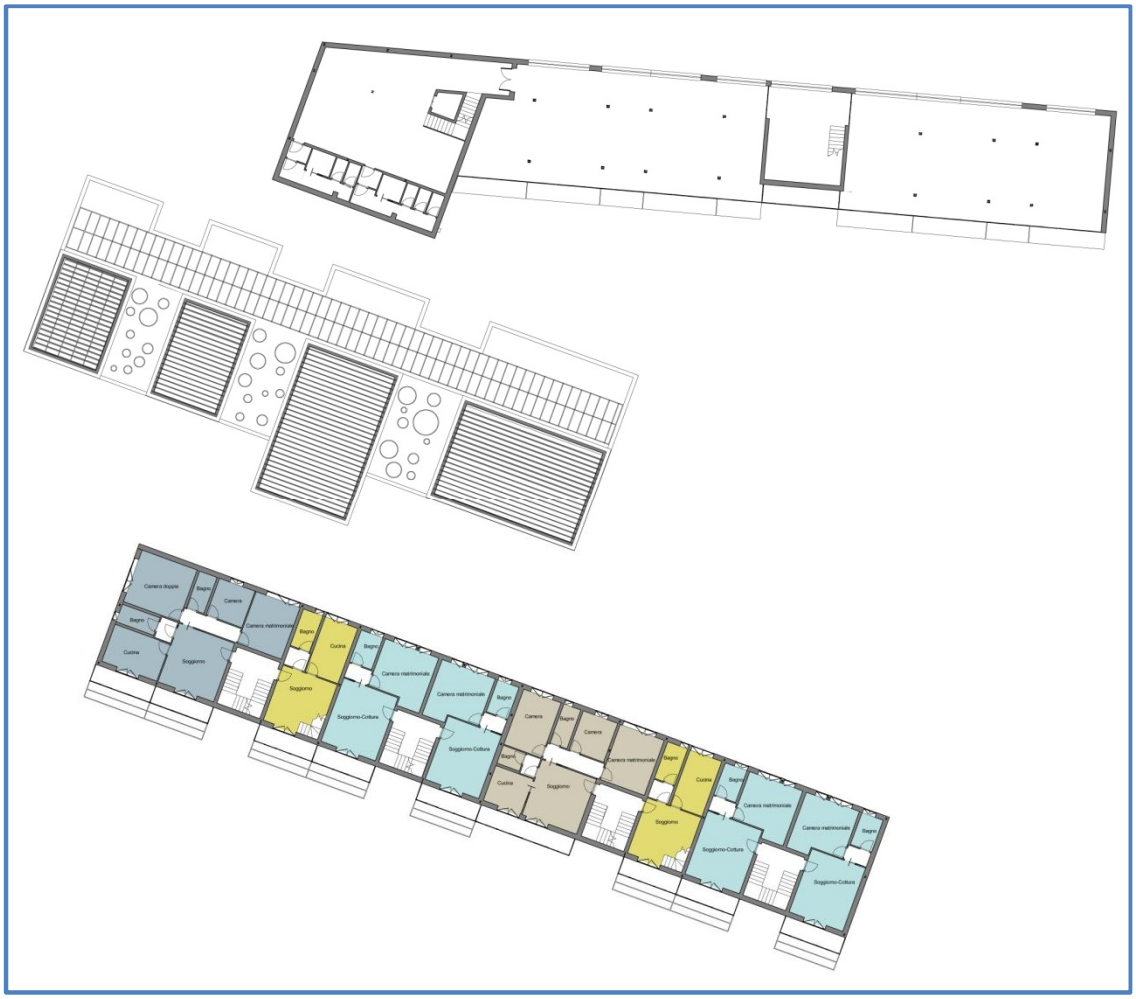


Figura 6.7.2: Tipi di appartamenti - Piano primo

Appartamento c

Appartamento d

Appartamento e

Appartamento f

Piano secondo

Figura 6.7.3: Tipi di appartamenti - Piano secondo

- Appartamento g
- Appartamento d
- Appartamento e
- Appartamento h
- Stanza singola tipo a
- Stanza singola tipo b
- Stanza doppia b

Piano terzo

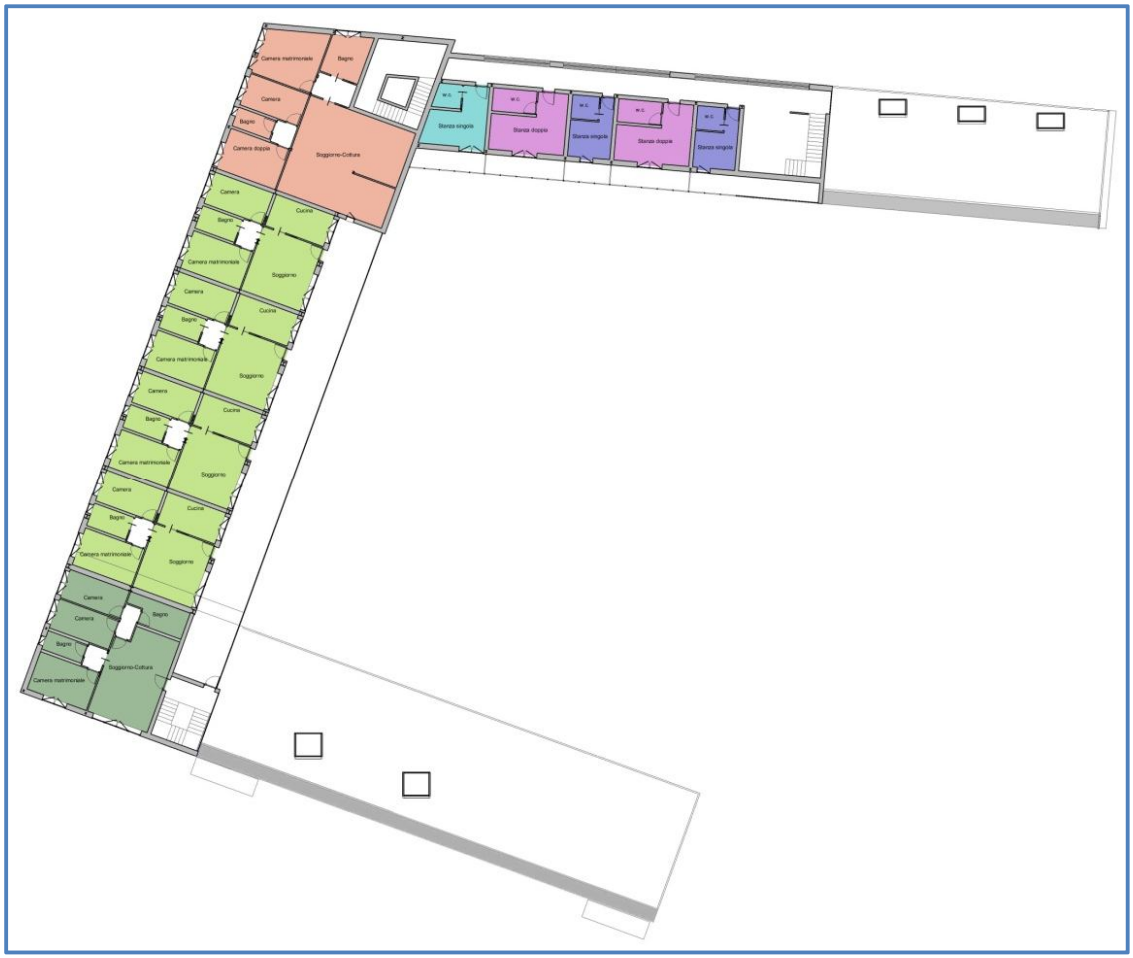


Figura 6.7.4: Tipi di appartamenti - Piano terzo

- Appartamento i
- Appartamento l
- Appartamento m
- Stanza singola tipo a
- Stanza singola tipo b
- Stanza doppia b

Piano terra

Appartamento a (quadrilocale) n°1

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto illuminante	Rapporto illuminante garantito	Verifica rapporto aerante	Rapporto aerante garantito
Cucina	15,20	1,8 x 2,2	3,96	2,88	1,52	verificato	1/ 5,28	verificato	1/ 3,84
Soggiorno	26,60	1,8 x 2,2	3,96	2,88	2,66	verificato	1/ 9,24	verificato	1/ 6,72
Camera m.	21,10	2,7 x 2,2	5,94	4,32	2,11	verificato	1/ 4,88	verificato	1/ 3,55
Camera s.	9,30	1 x 1,2	1,2	1,2	0,93	verificato	1/ 7,75	verificato	1/ 7,75
Bagno giorno	4,70	cieco							
Bagno notte	4,90	0,6 x 1,2	0,72	0,72	0,49	verificato	1/ 6,81	verificato	1/ 6,81

Appartamento b (bilocale) n°6

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto illuminante	Rapporto illuminante garantito	Verifica rapporto aerante	Rapporto aerante garantito
Soggiorno-Cottura	24,70	1,8 x 2,2	3,96	2,88	2,47	verificato	1/ 8,58	verificato	1/ 6,24
Camera	10,20	1,8 x 2,2	3,96	2,88	1,02	verificato	1/ 3,54	verificato	1/ 2,58
Bagno	5,20	0,6 x 1,2	0,72	0,72	0,52	verificato	1/ 7,22	verificato	1/ 7,22

Piano primo

Appartamento c (5 locali) n°1

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto illuminante	Rapporto illuminante garantito	Verifica rapporto aerante	Rapporto aerante garantito
Cucina	15,20	1,8 x 2,2	3,96	2,88	1,52	verificato	1/ 5,28	verificato	1/ 3,84
Soggiorno	24,30	1,8 x 2,2	3,96	2,88	2,43	verificato	1/ 8,44	verificato	1/ 6,14
Camera m.	16,90	2,7 x 1,2	3,24	3,24	1,69	verificato	1/ 5,22	verificato	1/ 5,22
Camera s.	9,70	1 x 1,2	1,2	1,2	0,97	verificato	1/ 8,08	verificato	1/ 8,08
Camera doppia	21,10	2,7 x 1,2	3,24	3,24	2,11	verificato	1/ 6,51	verificato	1/ 6,51
Bagno notte	4,70	cieco							
Bagno giorno	4,90	0,6 x 1,2	0,72	0,72	0,49	verificato	1/ 6,81	verificato	1/ 6,81

Appartamento d (duplex) n°2

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto illuminante	Rapporto illuminante garantito	Verifica rapporto aerante	Rapporto aerante garantito
Cucina	13,30	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,33	verificato	1/ 6,16	verificato	1/ 6,16
Soggiorno	22,30	1,8 x 2,1	3,78	2,7	2,23	verificato	1/ 8,26	verificato	1/ 5,90
Bagno giorno	5,30	0,6 x 1,2	0,72	0,72	0,53	verificato	1/ 7,36	verificato	1/ 7,36

Appartamento e (bilocale) n°4

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto illuminante	Rapporto illuminante garantito	Verifica rapporto aerante	Rapporto aerante garantito
Soggiorno-Cottura	25,60	1,8 x 2,2	3,96	5,73	2,56	verificato	1/ 4,47	verificato	1/ 4,01
		lucernario	2,85						
Camera m.	20,00	2,7 x 1,2	3,24	3,24	2,00	verificato	1/ 6,17	verificato	1/ 6,17
Bagno notte	5,20	1 x 1,2	1,2	1,20	0,52	verificato	1/ 4,33	verificato	1/ 4,33

Appartamento f (5 locali) n°1

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto illuminante	Rapporto illuminante garantito	Verifica rapporto aerante	Rapporto aerante garantito
Cucina	9,80	1,8 x 2,2	3,96	2,88	0,98	verificato	1/ 3,40	verificato	1/ 2,47
Soggiorno	22,40	1,8 x 2,2	3,96	2,88	2,24	verificato	1/ 7,78	verificato	1/ 5,66
Camera m.	18,10	2,7 x 1,2	3,24	3,24	1,81	verificato	1/ 5,59	verificato	1/ 5,59
Camera s.	10,00	1 x 1,2	1,2	1,2	1,00	verificato	1/ 8,33	verificato	1/ 8,33
Camera s.	15,40	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,54	verificato	1/ 7,13	verificato	1/ 7,13
Bagno notte	5,00	0,6 x 1,2	0,72	0,72	0,50	verificato	1/ 6,94	verificato	1/ 6,94
Bagno giorno	3,00	cieco							

Appartamento h (5 locali) n°1

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto illuminante	Rapporto illuminante garantito	Verifica rapporto aerante	Rapporto aerante garantito
Cucina	9,80	1,8 x 1,2	2,16	2,16	0,98	verificato	1/ 4,54	verificato	1/ 4,54
Soggiorno	16,20	1,8 x 2,2	3,96	2,88	1,62	verificato	1/ 5,63	verificato	1/ 4,09
Camera m.	18,00	2,7 x 1,2	3,24	3,24	1,80	verificato	1/ 5,56	verificato	1/ 5,56
Camera s.	10,00	1 x 1,2	1,2	3,24	1,00	verificato	1/ 3,09	verificato	1/ 8,33
Camera s.	15,40	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,54	verificato	1/ 7,13	verificato	1/ 7,13
Bagno notte	5,00	0,6 x 1,2	0,72	0,72	0,50	verificato	1/ 6,94	verificato	1/ 6,94
Bagno giorno	3,00	cieco							

Piano terzo

Appartamento i (quadrilocale) n°1

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto illuminante	Rapporto illuminante garantito	Verifica rapporto aerante	Rapporto aerante garantito
Soggiorno-Cottura	33,3	3,6 x 1,2	4,32	10,02	3,33	verificato	1/ 2,59	verificato	1/ 4,94
		lucernario	2,85						
Camera m.	14,3	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,43	verificato	1/ 6,62	verificato	1/ 6,62
Camera s.	10,7	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,07	verificato	1/ 4,95	verificato	1/ 4,95
Camera s.	11,1	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,11	verificato	1/ 5,14	verificato	1/ 5,14
Bagno notte	4,6	0,6 x 1,2	0,72	0,72	0,46	verificato	1/ 6,39	verificato	1/ 6,39
Bagno giorno	8,5	cieco							

Appartamento l (quadrilocale) n°4

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie illuminante1/10	Verifica rapporto illuminante	Superficie aerante 1/10	Verifica rapporto aerante	Rapporto illuminante garantito	Rapporto aerante garantito
Soggiorno	24	2,7 x 1,2	3,24	3,24	2,40	verificato			1/ 3,85	
		lucernario	2,42	3			2,4	verificato		1/ 9,92
Camera m.	14	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,40	verificato			1/ 6,48	6,48
Camera s.	11,8	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,18	verificato			1/ 5,46	5,46
Cucina	11,7	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,17	verificato			1/ 2,27	
		lucernario	2,42	3			1,17	verificato		1/ 4,83
Bagno notte	5,7	0,6 x 1,2	0,72	0,72	0,57	verificato			1/ 7,92	7,92

Appartamento m (quadrilocale) n°1

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie illuminante finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/12	Verifica rapporto illuminante	Rapporto illuminante garantito	Verifica rapporto aerante	Rapporto aerante garantito
Soggiorno-Cottura	64	lucernario	2,85	5,7	5,33	verificato	1/ 11,23	non verificato	1/ 22,46
					Superficie aeroilluminante				
Camera m.	19,5	2,7 x 1,2	3,24	3,24	1,95	verificato	1/ 6,02	verificato	1/ 6,02
Camera s.	11,8	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,18	verificato	1/ 5,46	verificato	1/ 5,46
Camera d.	15,1	1,8 x 1,2	2,16	2,16	1,51	verificato	1/ 6,99	verificato	1/ 6,99
Bagno notte	4,5	0,6 x 1,2	0,72	0,72	0,45	verificato	1/ 6,25	verificato	1/ 6,25
Bagno giorno	10,1	1 x 1,2	2,16	1,2	1,01	verificato	1/ 8,42	verificato	1/ 4,68

Tabella 5.7.1: Tabella calcoli rapporti aero-illuminanti residenze

Piano terra

Stanza singola tipo a n°3

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto aeroilluminante	Rapporto garantito
Stanza	16,50	1,8 x 2,2	3,96	2,88	1,65	verificato	1/ 5,73
w.c.	3,60	cieco					

Stanza doppia n°12

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto aeroilluminante	Rapporto garantito
Stanza	20,20	1,8 x 2,2	3,96	2,88	2,02	verificato	1/ 7,01
w.c.	5,90	cieco					

Stanza singola tipo b n°8

Locale	Superficie calpestabile totale	Dimensioni finestra	Superficie finestra	Superficie finestrata utile	Superficie aeroilluminante 1/10	Verifica rapporto aeroilluminante	Rapporto garantito
Stanza	11,20	1 x 2,2	2,2	1,6	1,12	verificato	1/ 7,00
w.c.	5,90	cieco					

Tabella 5.7.2: Tabella calcoli rapporti aero-illuminanti camere alloggi per studenti

Si può inoltre definire anche per l'edilizia residenziale un valore minimo del h_m tale da garantire un adeguato livello di comfort visivo all'interno degli ambienti, pari a 0,02.

Vengono di seguito riportati, quindi, i valori del fattore di luce diurna per i principali locali dell'appartamento considerato posto nella posizione più sfavorevole, infatti una volta garantito il h_m a tale appartamento sarà assicurato a tutti le altre abitazioni del complesso.

Figura 6.7.5: Navigatore – Cucina

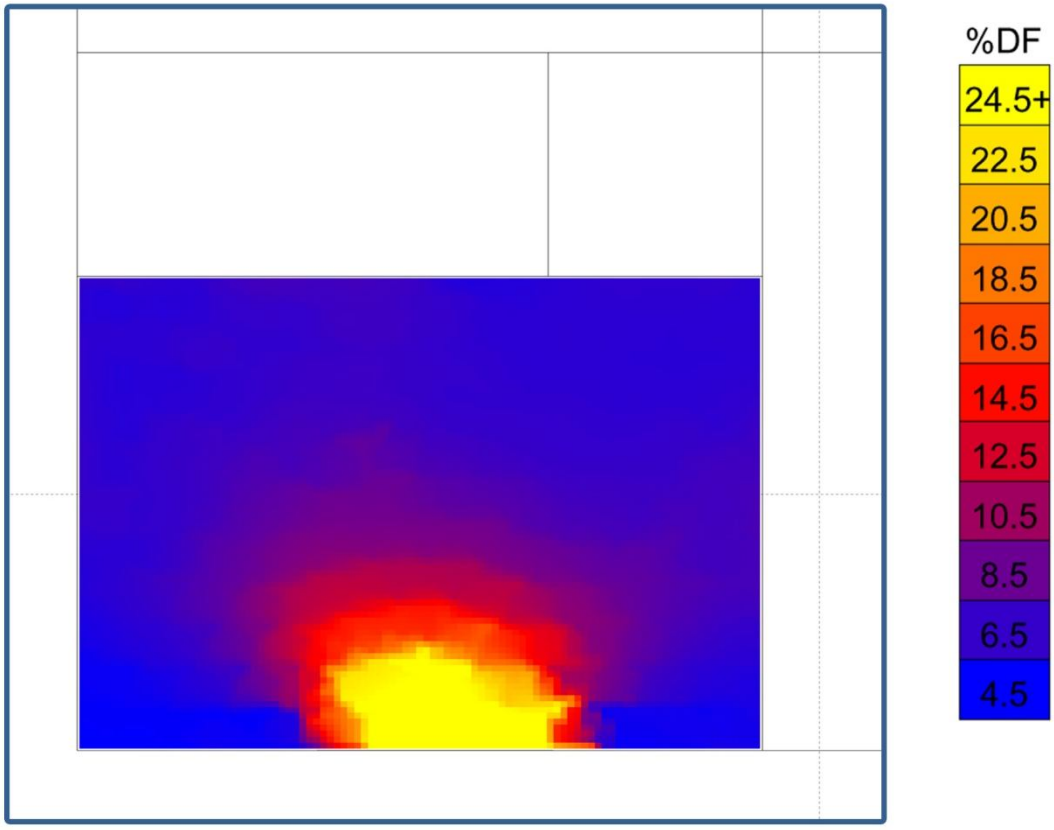


Figura 6.7.6: Fattore di luce diurna garantito all'interno della cucina

h_m: 8,47%

Figura 6.7.7: Navigatore – Soggiorno

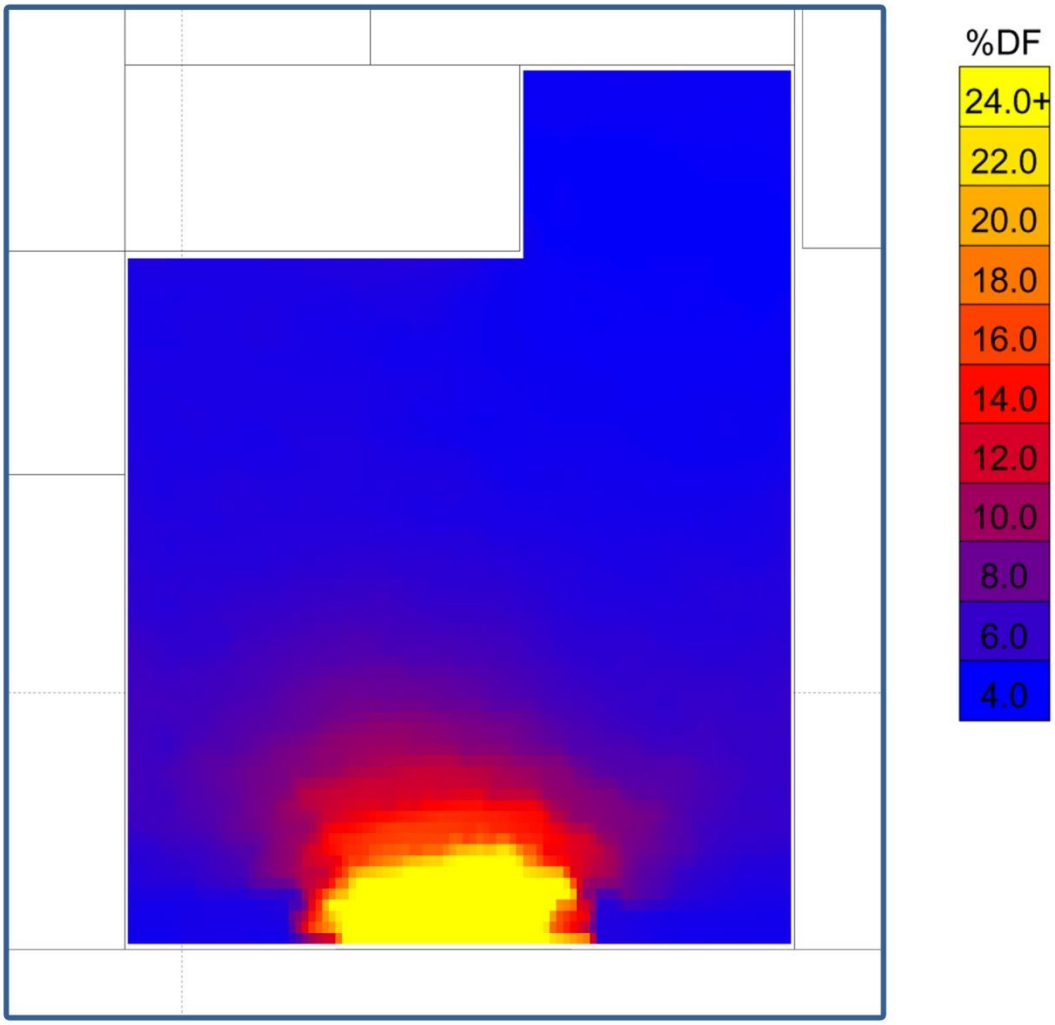


Figura 6.7.8: Fattore di luce diurna garantito all'interno del dormitorio del soggiorno

h_m: 6,47%

Figura 6.7.9: Navigatore – Camera singola

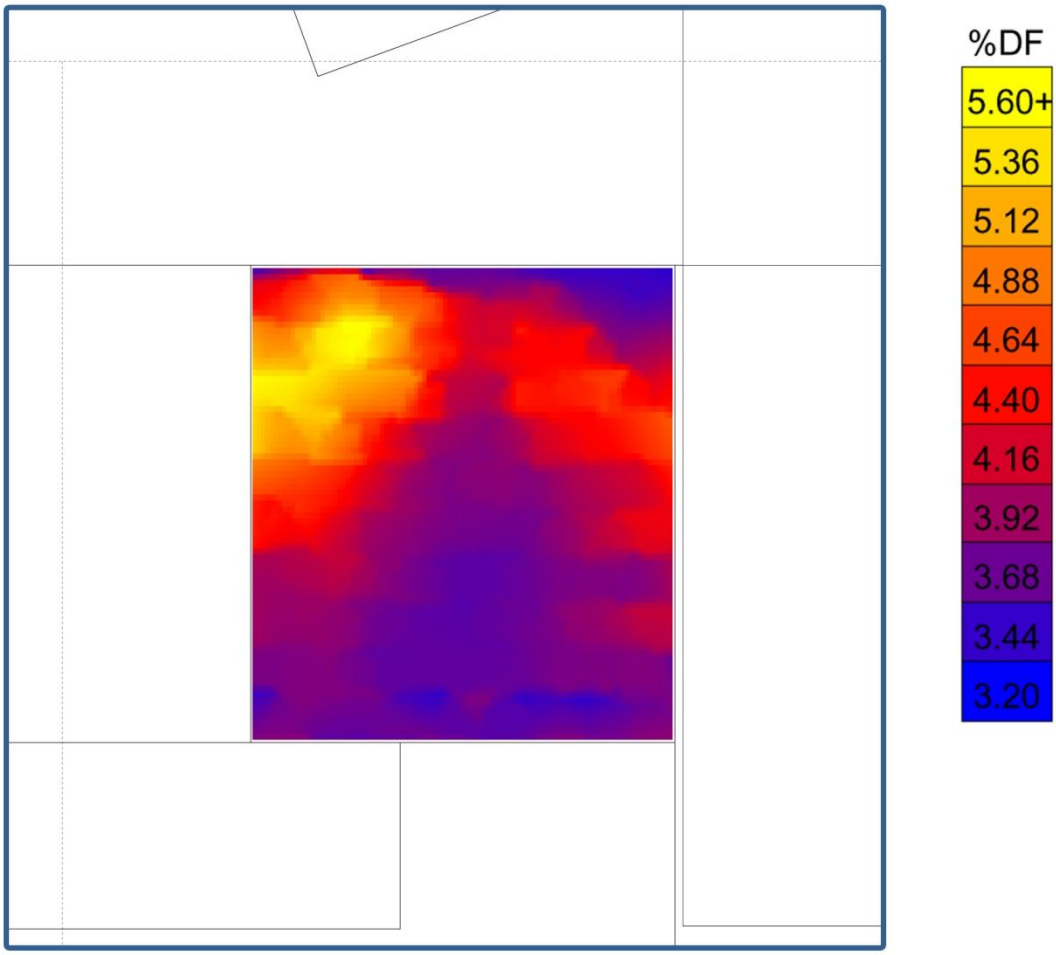


Figura 6.7.10: Fattore di luce diurna garantito all'interno del dormitorio della camera singola

h_m: 4,08%

Figura 6.7.11: Navigatore – Camera matrimoniale

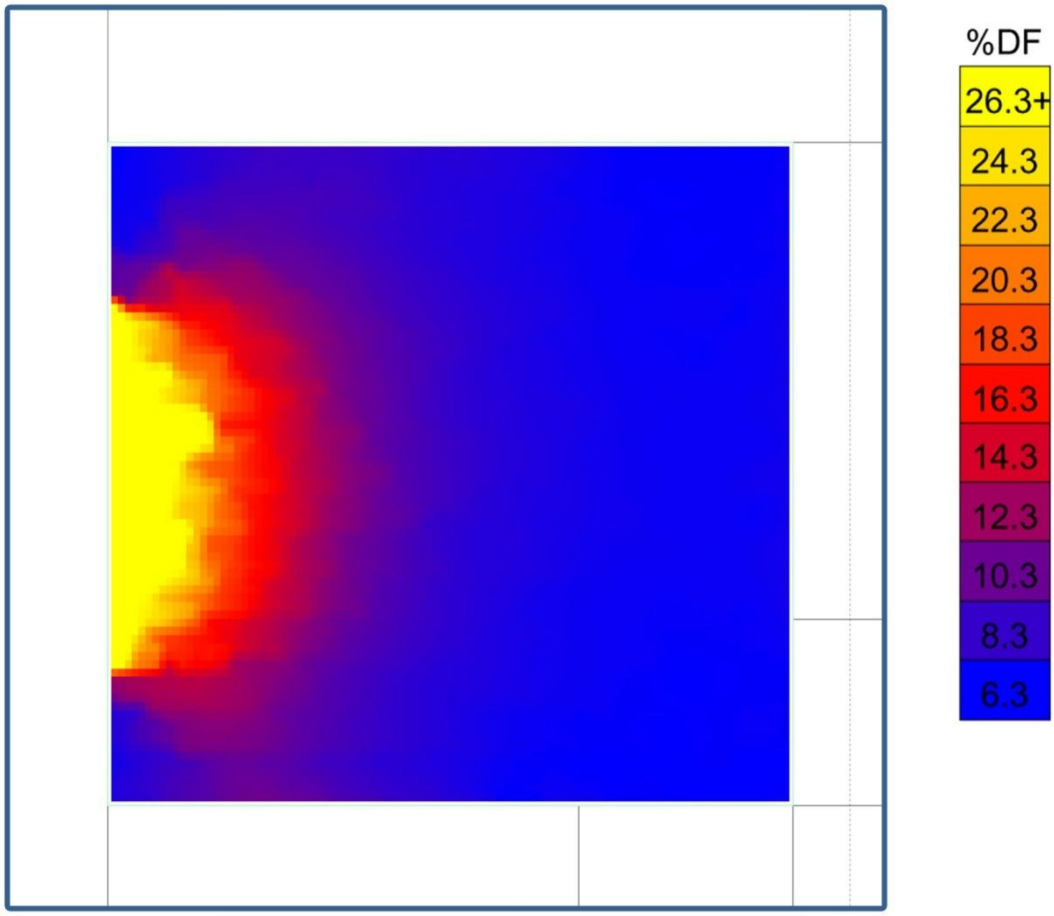


Figura 6.7.12: Fattore di luce diurna garantito all'interno del dormitorio della camera matrimoniale

h_m: 9,90%