

POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Architettura

Corso di Laurea Magistrale Architettura per la Sostenibilità

A.A. 2023/2024

Tesi di Laurea Magistrale

**Importanza della luce naturale ed artificiale ai fini
dell'apprendimento: analisi e criteri di progettazione d'integrative
lighting applicati a casi studio in contesti didattici**



**Politecnico
di Torino**

Relatore

Professor Valerio Roberto Maria Lo Verso

Correlatore

Arch. André Clos

Candidato

Vittoria Barbera Audis

309545

Luglio 2024

ABSTRACT

L'uomo è influenzato costantemente dall'ambiente circostante, compresi fattori come le condizioni climatiche, la temperatura interna, i colori e la qualità della luce. Questi elementi sono cruciali per il benessere psico-fisiologico dell'individuo. In particolare, la luce naturale gioca un ruolo fondamentale per il benessere degli individui, cosa che include lo stato d'animo, la produttività e la concentrazione, la salute stessa attraverso la sincronizzazione dei ritmi circadiani. Questo, impatto diventa ancora più significativo per i bambini in età prescolare e materna. In questo contesto, l'elaborato analizza le caratteristiche progettuali che un ambiente scolastico deve possedere per essere sano e stimolante, focalizzandosi sul contributo della luce naturale nella regolazione del ciclo circadiano. Il cuore della tesi è l'analisi delle condizioni di luce naturale in due complessi scolastici di recente progettazione e prossima costruzione. Il primo capitolo esamina l'evoluzione del rapporto tra uomo, luce e architettura, con particolare attenzione ai benefici della luce naturale e ai sistemi di controllo della radiazione solare. Si discute anche l'integrazione tra luce naturale e artificiale in relazione alla normativa vigente. Il secondo capitolo presenta studi, simulazioni ed esperimenti svolti in scuole americane per valutare l'impatto dei fattori ambientali sull'apprendimento, analizzando le normative italiane e internazionali rilevanti, come il Decreto Ministeriale 18/12/1975, i Criteri Ambientali Minimi (CAM), e i protocolli LEED e WELL. Il terzo capitolo descrive la metodologia utilizzata per il progetto di tesi, includendo l'individuazione dei casi studio e l'uso di software per determinare l'illuminamento fotopico e melanopico nelle aule. Il quarto capitolo presenta un'analisi analitica di progetti esecutivi non ancora realizzati, proponendo ipotesi progettuali e valutando se il contributo della luce naturale soddisfi i requisiti normativi e i fabbisogni giornalieri stabiliti dal protocollo WELL.

ABSTRACT

Human beings are constantly influenced by their environment, including factors such as weather conditions, indoor temperature, colours and light quality. These elements are crucial for the psychophysiological well-being of the individual. In particular, natural light plays a key role in the well-being of individuals, which includes mood, productivity and concentration, and health itself through the synchronisation of circadian rhythms. This, impact becomes even more significant for pre-school and kindergarten children. In this context, the paper analyses the design characteristics that a school environment must possess to be healthy and stimulating, focusing on the contribution of natural light in regulating the circadian cycle. The core of the thesis is the analysis of daylight conditions in

two newly designed and soon to be built school complexes. The first chapter examines the evolution of the relationship between humans, light and architecture, focusing on the benefits of natural light and solar radiation control systems. The integration of natural and artificial light in relation to current legislation is also discussed. The second chapter presents studies, simulations, and experiments conducted in American schools to assess the impact of environmental factors on learning, analysing relevant Italian and international regulations, such as Ministerial Decree 18/12/1975, the Minimum Environmental Criteria (CAM), and the LEED and WELL protocols. The third chapter describes the methodology used for the thesis project, including the identification of case studies and the use of software to determine photopic and melanopic illuminance in classrooms. The fourth chapter presents an analytical analysis of executive projects that have not yet been realised, proposing design hypotheses and assessing whether the contribution of natural light meets the regulatory requirements and daily requirements set by the WELL protocol.

INTRODUZIONE	1
<u>1. LUCE E ARCHITETTURA</u>	<u>3</u>
1.1 L'IMPORTANZA DELLA LUCE IN ARCHITETTURA	3
1.2 UOMO: PERCEZIONE DELLA LUCE	4
1.2.1 EFFETTI VISIVI DELLA LUCE	6
1.2.2 EFFETTI NON VISIVI DELLA LUCE	8
1.3 L'ILLUMINAZIONE NATURALE	11
1.3.1 BENEFICI DELLA LUCE NATURALE	12
1.3.3 PARAMETRI DI PROGETTAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE	13
1.3.4 L'IMPORTANZA DEI SISTEMI DI CONTROLLO DELLA RADIAZIONE SOLARE (SCHERMATURE)	17
1.4 L'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE	21
1.5 INTEGRAZIONE TRA ILLUMINAZIONE NATURALE ED ARTIFICIALE	23
<u>2. PROGETTAZIONE DELLA LUCE NEGLI AMBIENTI SCOLASTICI</u>	<u>25</u>
2.1 L'IMPORTANZA DELLA LUCE E DEI COLORI AI FINI DELL'APPRENDIMENTO	25
2.1.1 SCOLARI E COLORI	27
2.2 LE NORMATIVE	31
2.3 REQUISITI PER L'ILLUMINAZIONE NATURALE	32
2.3.1 DM 18/12/1975	32
2.3.2 UNI 10840:2007	33
2.3.3 CAM – DECRETO 11/10/2017	35
2.3.4 UNI EN 17037:2019	36
2.3.5 CAM – DECRETO 23/06/2022	38
2.4 REQUISITI PER L'ILLUMINAZIONE ELETTRICA	39
2.4.1 EN 12464:2021	39
2.5 REQUISITI PER L'ILLUMINAZIONE MELANOPICA	41
2.5.1 PROTOCOLLO LEED, LEED FOR SCHOOL	41
2.5.2 PROTOCOLLO WELL	46
<u>3. METODOLOGIA</u>	<u>57</u>
3.1 INDIVIDUAZIONE DI DUE CASI STUDIO	57

3.2 LA LUCE NATURALE	59
3.2.1 PREPARAZIONE PER LE SIMULAZIONI	59
3.2.2 IL SOFTWARE UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE DEGLI EFFETTI VISIVI DELLA LUCE: CLIMATESTUDIO (SOLEMMMA)	59
3.2.3 IL SOFTWARE UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE DEGLI EFFETTI NON-VISIVI DELLA LUCE: ALFA-FOR-RHINO (SOLEMMMA)	62
3.2.4 SIMULAZIONI	64
4. CASI STUDIO	67
4.1 SCUOLA SESTRI LEVANTE	67
4.2 ASILO NIDO SESTRI LEVANTE	71
4.3 ASILO NIDO DI ALBA	72
4.4 CONSIDERAZIONI SULLE IPOTESI DI INTERVENTO	75
5. CONCLUSIONI	165
BIBLIOGRAFIA	169
PROTOCOLLI E NORMATIVE	170

Introduzione

L'uomo è costantemente influenzato da ciò che lo circonda, le condizioni climatiche, la temperatura interna in un ambiente, i colori, la quantità e la qualità della luce che illumina gli spazi in cui vengono svolte le attività; questi fattori ricoprono un ruolo importantissimo determinando e regolando i ritmi psico-fisici dell'individuo.

La luce naturale, in particolare, influisce sullo stato d'animo, sulle capacità produttive e di concentrazione degli utenti negli ambienti chiusi e ricopre un ruolo predominante sui bambini in età prescolare e materna.

Per questo motivo, l'elaborato si pone come obiettivo di analizzare e definire le caratteristiche progettuali che un ambiente scolastico e gli elementi che ne costituiscono l'involucro devono possedere al fine di renderlo un luogo sano e stimolante. In particolare, centrale nell'analisi è il contributo della luce naturale, fondamentale per la regolazione del ciclo circadiano.

Per questo motivo, il capitolo 1 analizzerà la relazione tra uomo, luce e architettura che negli anni si è evoluta attraverso lo studio di come l'uomo percepisce la luce distinguendo in effetti visivi e non visivi di essa. Si porrà particolare attenzione alla luce naturale, ai benefici che ha sull'uomo e sui bambini anche grazie all'utilizzo di sistemi di controllo della radiazione solare e della regolazione della luce. Verrà fatto cenno all'integrazione tra luce naturale ed artificiale in relazione alla normativa vigente al fine di ottenere ambienti coerenti con le attività che devono ospitare.

Nel capitolo 2 verranno riportati alcuni studi, simulazioni ed esperimenti svolti in scuole americane per valutare la differenza nell'apprendimento modificando alcuni fattori ambientali. Si concentra inoltre sulle normative riferite agli ambienti scolastici per l'illuminazione naturale analizzando il Decreto Ministeriale 18/12/1975, i Criteri Ambientali Minimi (CAM) e alcune UNI necessarie per comprendere appieno i requisiti minimi per la progettazione di ambienti per l'apprendimento. Si farà riferimento ai requisiti per l'illuminazione elettrica e melanopica, in particolare a due protocolli fondamentali LEED e WELL che sempre più risultano fondamentali all'interno di progetti anche a fine scolastico.

Il capitolo 3 spiegherà la metodologia utilizzata per la redazione del progetto di tesi con l'individuazione dei casi studio e l'utilizzo di differenti software di supporto necessari per definire l'illuminamento fotopico e melanopico nelle diverse aule.

Il capitolo 4 includerà invece un'analisi analitica dei progetti esecutivi non ancora realizzati per i quali l'elaborato propone alcune ipotesi progettuali, mostrando le considerazioni necessarie al fine di comprendere le motivazioni di alcune scelte a discapito di altre. Verrà verificato inoltre se il

contributo di luce naturale soddisfi i requisiti normativi e i fabbisogni giornalieri WELL per i giorni e le condizioni di cielo considerate.

1. Luce e Architettura

*“La luce è l’anima dello spazio,
un soffio che lo attraversa, donandogli la vita”.*

(Fabio Capanni)

1.1 L’importanza della luce in Architettura

In architettura, la luce non ha la sola funzione di illuminare, essa ricopre il ruolo fondamentale di plasmare uno spazio rendendone differente la percezione e influenzando così l’umore e lo stato d’animo dell’utente. Inoltre, la luce è necessaria per soddisfare esigenze pratiche di visibilità e sicurezza e, per questo, comprenderne il ruolo in architettura è di cruciale importanza.

“È indispensabile rendersi consapevoli fin da subito di come il rapporto tra la luce e lo spazio, essendo costantemente in divenire, sia estremamente complesso e praticamente impossibile da governare in maniera completa e definitiva”¹.

Sin dalle prime costruzioni della città di Uruk nel IV millennio a.C., dove il sorgere del sole scandiva l’alternarsi delle giornate e dunque lo svolgersi delle attività quotidiane, la luce naturale è sempre stata una variabile imprescindibile nella vita dell’uomo. Questo legame, tuttavia, sembra essersi affievolito a partire dalla seconda metà dell’Ottocento, quando l’uomo ha trovato soluzioni nuove per poter soddisfare i propri bisogni, che sempre più spesso necessitavano dell’uso della luce. Un esempio importante riguarda la città di Liverpool, una realtà che a partire dal XIX secolo ha vissuto un forte scontro interno: quello tra lavoratori, che chiedevano maggiore luminosità negli ambienti lavorativi, e architetti, legati alla tradizione e alla volontà di realizzare facciate secondo regole proporzionali e con dettagli provenienti dall’architettura classica. Anche grazie all’uso dei nuovi combustibili fossili, che permise da un lato di migliorare le tecniche costruttive esistenti e, dall’altro, di sperimentarne di nuove, negli anni si giunse ad un compromesso in modo abbastanza naturale.

Ne è dimostrazione *l’Oriel Chambers*, un edificio per uffici nel quale i solai non poggiavano più su murature di mattoni, ma su una struttura di sottili pilastri e travi di ferro che lo rendevano al

¹ Fabio Capanni, *Architettura e luce: Principi elementari per progettare con la luce naturale*, Siracusa, LetteraVentidue Edizioni, 2017, p.8.

contempo molto stabile e luminoso, grazie all'apertura di ampi varchi per le finestre². L'evoluzione innescata dall'utilizzo sempre più diffuso dell'illuminazione artificiale ha portato di conseguenza a sottovalutare, almeno in parte, la progettazione di quella naturale.

Per poter capire e sfruttare al meglio la luce, è necessario considerare la differenza tra illuminazione naturale e illuminazione artificiale. La prima ha con l'architettura un rapporto costante, determinato da alcuni fattori fondamentali: i cambiamenti durante le ore del giorno, i fenomeni meteorologici, l'alternarsi delle stagioni e l'orientamento degli edifici rispetto al sole. All'opposto, l'illuminazione artificiale, si associa all'architettura tramite un legame flessibile, il suo utilizzo è infatti subordinato alla necessità di riprodurre luce in assenza di quella naturale, distinguendosi per il suo carattere manipolabile e duttile. Negli ultimi anni, in particolar modo in seguito all'affermarsi delle tematiche ambientali e del risparmio energetico, si è provato a ripensare il rapporto tra architettura e luce in modo da favorire l'unione e il bilanciamento tra sorgenti artificiali e naturali, studiando come impiegarle al meglio.

1.2 Uomo: percezione della luce

La percezione visiva è definita come il processo di elaborazione delle informazioni provenienti, attraverso gli occhi, dal mondo esterno ed elaborate e tradotte dal cervello in informazioni più complesse, disponibili per le funzioni cognitive dell'utente. Questo processo percettivo implica due capacità principali: l'unificazione, che consente una percezione coerente di stimoli sensoriali diversi, e l'interpretazione, che permette di comprendere le caratteristiche dell'ambiente esterno.

Secondo Hermann von Helmholtz (1821-1894), medico, fisiologo e fisico tedesco, la percezione è uno dei processi cognitivi più complessi che il cervello umano compie. Essa, nella sua teoria empiristica, viene espressa come un processo composto da due fasi: la prima, analitica, in cui gli organi sensoriali esaminano e percepiscono gli stimoli in entrata e la seconda, sintetica, nella quale il cervello elabora gli stimoli ricevuti per realizzare la rappresentazione percettiva dell'oggetto. von Helmholtz ritiene che la percezione umana di un oggetto dipenda e sia influenzata non solo dai segnali sensoriali come saremmo intuitivamente portati a pensare, ma anche in base alle nostre conoscenze pregresse, all'esperienza e alle informazioni che accumuliamo nel corso della vita.

Partendo da questi presupposti, von Helmholtz sostiene che la percezione non sia un processo passivo, ma piuttosto attivo: il cervello umano non si limita infatti a tradurre segnali

² Barnabas Calder, *Architettura ed energia. Dalla preistoria all'emergenza climatica*, Torino, Einaudi, 2021, pp.256-257.

sensoriali, ma li elabora per ottenere una rappresentazione coerente della realtà e di ciò che lo circonda. Tuttavia, esso utilizza anche inferenze inconsce per colmare le lacune presenti nei segnali visivi, permettendoci, in alcuni casi, di decifrare chiaramente un oggetto parzialmente mancante o occulto ai nostri occhi³.

In contrasto a quanto espresso da von Helmholtz, James Jerome Gibson (1904-1979), psicologo statunitense, formula nella seconda metà del Novecento la *Teoria ecologica della percezione*, fondata sull'idea che il processo percettivo sia strettamente legato al contesto in cui esso avviene. In ottica ecologica, Gibson rifiuta numerosi concetti tradizionali, in particolar modo quello di immagine retinica e di memoria, proponendo un nuovo linguaggio che esprime chiaramente il rapporto di continuità tra animale e ambiente. Tutte le informazioni che percepiamo derivano e sono già presenti nell'ambiente attorno al soggetto fornendo all'utente suggerimenti per il funzionamento e per l'interpretazione degli eventi e degli oggetti. Il concetto cardine della teoria di Gibson è la definizione di *affordance*, ossia l'idea che gli oggetti realizzati dall'uomo presentino caratteristiche che ne suggeriscano le modalità di utilizzo; si tratta di proprietà dinamiche che dipendono dal soggetto con cui sono chiamati ad interagire⁴.

“Una *affordance* non è ciò che chiamiamo una qualità ‘soggettiva’ di una cosa. Ma essa non è nemmeno ciò che noi chiamiamo una proprietà ‘oggettiva’ di una cosa se con ciò noi intendiamo un oggetto fisico senza nessun riferimento ad alcun animale. Una *affordance* elimina la dicotomia tra soggettivo e oggettivo e ci aiuta a comprendere la sua inadeguatezza”⁵.

Un esempio proposto da Gibson, a tal proposito, riguarda le porte: le persone spesso spingono una porta invece di tirarla, un'azione assimilabile alla conformazione poco intuitiva della maniglia in relazione al movimento della porta. Se quest'ultima, infatti, contenesse tutte le informazioni necessarie ad un suo corretto utilizzo non sarebbero necessari cartelli con scritte esplicative. In definitiva, la teoria ecologica sostiene che la percezione è indipendente da cultura, conoscenza e aspettative poiché capace di cogliere informazioni dall'ambiente circostante senza ulteriori input didascalici⁶.

³ Giulia de Monte, Antonio Piotti, *Spazio Scienze Umane*, Giunti T.V.P., 2023, p.33

⁴ Paola Farneti, Elisabetta Grossi, *Per un approccio ecologico alla percezione visiva*, Franco Angeli, Milano, 1995, pp.76-77

⁵ *Ibid.*

⁶ Giulia de Monte, Antonio Piotti, *I colori della psicologia*, Giunti T.V.P., 2020, pp.49-56



Figura 1_ Percezione e teorie (mia rielaborazione)

1.2.1 Effetti visivi della luce

La luce e i colori che ci circondano determinano alcuni processi fisiologici e influenzano lo stato d'animo dell'individuo, è pertanto necessario conoscere ed approfondire gli effetti della luce sull'uomo. L'occhio umano è l'organo deputato della ricezione dello stimolo luminoso volto alla conseguente elaborazione da parte del cervello delle informazioni del mondo esterno. Il modo in cui vediamo le cose è il risultato di un processo complesso definito percorso retino-corticale che inizia nell'occhio e si conclude nella corteccia cerebrale. La vista è possibile solo in presenza di luce, la quale viene riflessa dagli oggetti e processata dal nostro apparato visivo. I raggi penetrano la cornea, attraversano la camera anteriore e la pupilla; infine, la luce colpisce il cristallino dove viene raccolta e trasferita alla retina fotosensibile. A questo punto, i bastoncelli permettono di distinguere tra notte e giorno, mentre i coni sono responsabili della percezione di colori e contrasti.

L'informazione visiva viene poi trasmessa al nervo ottico che la veicola direttamente al cervello, luogo in cui verrà elaborata, interpretata e consolidata per formare l'immagine che infine vediamo⁷.

⁷ C.L. Stanfield, *Fisiologia*, EdiSES, Napoli, 2017, pp. 269-285

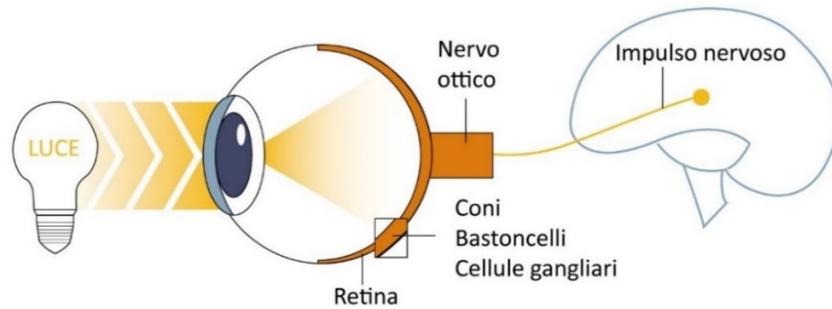


Figura 2_Composizione anatomica dell'occhio umano (mia elaborazione)

È necessario sottolineare che il fenomeno della vista è parzialmente soggettivo, ogni individuo ha una percezione diversa della luce dovuta a come l'occhio reagisce alla quantità di essa che lo colpisce e lo penetra. La visione si compone principalmente di due modalità: visione scotopica e visione fotopica. La prima deriva dall'attività dei bastoncelli della retina, fotorecettori altamente sensibili alla luce ma incapaci nella distinzione cromatica, al contrario, la visione fotopica è dovuta unicamente dall'attività dei coni della retina che consentono di distinguere i colori.

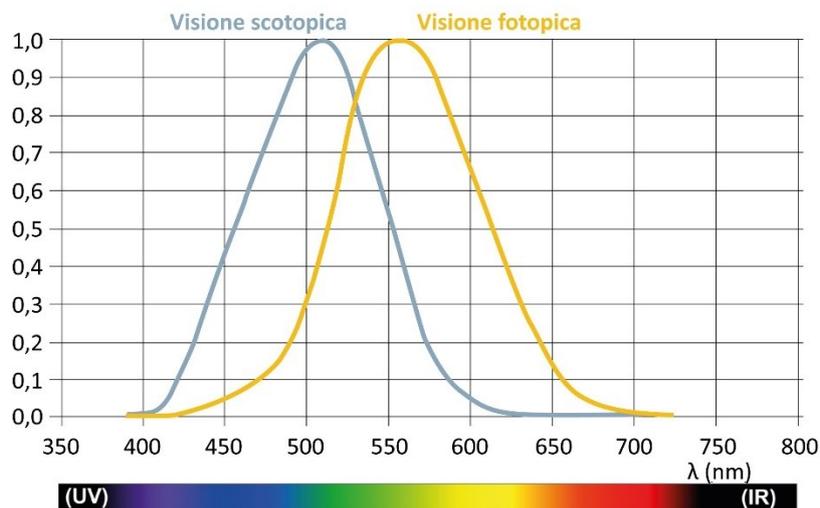


Figura 3_Visione scotopica e fotopica (mia rielaborazione)

1.2.2 Effetti non visivi della luce

La luce, soprattutto quella naturale, è una dei principali responsabili della regolazione del ritmo luce-buio indotto dalla rotazione terrestre, che detta una serie di variazioni nel nostro organismo: il ciclo sonno-veglia, la regolazione della temperatura corporea e il rilascio o l'inibizione di alcuni ormoni. La scienza del XX secolo, ha scoperto che nell'occhio, in particolare sulla retina, oltre i più conosciuti coni e bastoncelli (i classici fotorecettori) sono presenti anche cellule gangliari definite ipRGCs (*intrinsically photosensitive retinal ganglion cells*). Lo studio di questi nuovi fotorecettori è diventato fondamentale per analizzare gli effetti NIF (*non image forming*) che hanno un impatto considerevole sulle funzioni biologiche dell'uomo. La luce viene trasmessa attraverso i percorsi NIF al nucleo soprachiasmatico e alla ghiandola ipofisaria, la quale sintetizza o inibisce la produzione di melatonina, ormone influenzato dalla luce e che condiziona principalmente i ritmi veglia-sonno. Una conoscenza approfondita dell'influenza della luce sull'organismo in termini di comfort non visivo (oltre che, ovviamente, visivo) è di sostanziale importanza nella progettazione degli ambienti indoor. Partendo dal presupposto che la luce ricopre un ruolo centrale nel definire i ritmi dell'orologio biologico, è essenziale prestare attenzione a come viene percepita e utilizzata negli ambienti, in funzione delle attività che si svolgono. Per ritmo circadiano si intende un ciclo

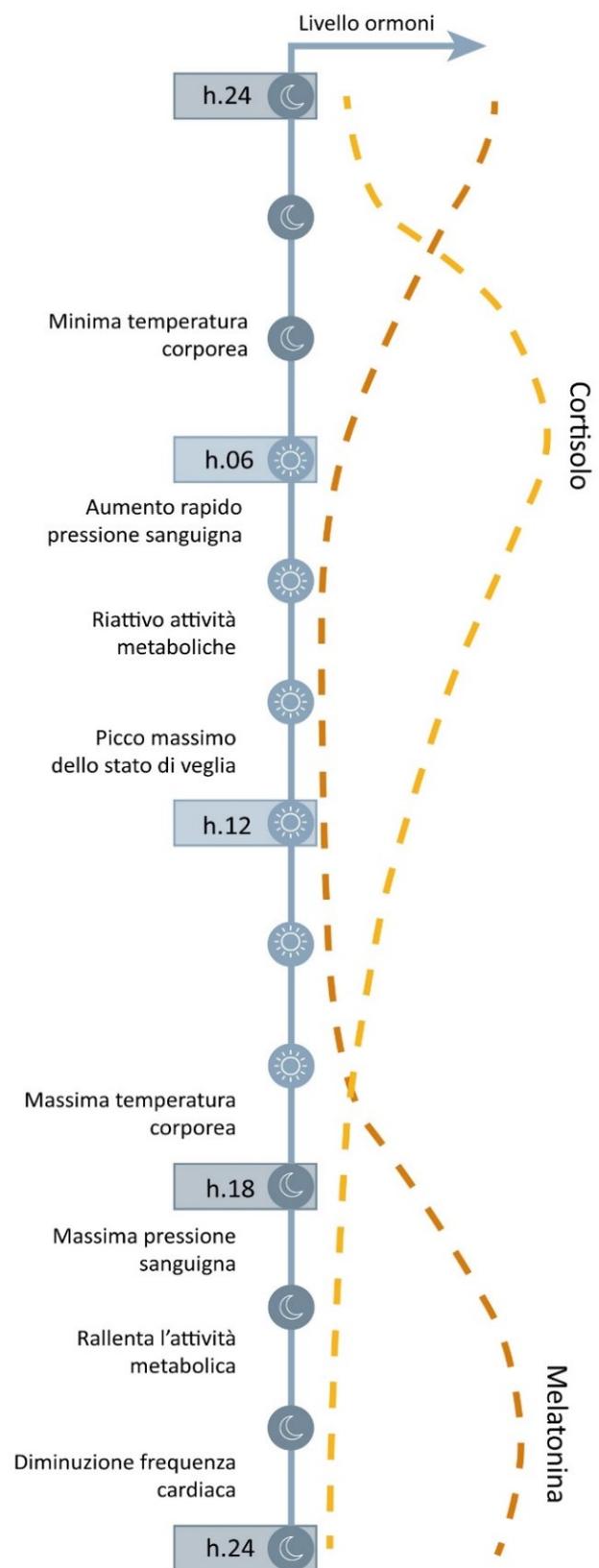


Figura 4_ Mia elaborazione grafica su dati di Laura Bellia e Fondazione AIRC

fisiologico caratterizzato da un periodo di circa ventiquattro ore che definisce l'alternanza giornaliera di sonno e di veglia ma anche funzioni come la concentrazione, la temperatura corporea o lo stato di allerta.



Figura 5_ Risposte non visive (mia elaborazione)

La melatonina ed il cortisolo sono due ormoni che vedono la soppressione e la produzione in orari differenti, seguendo entrambi un ciclo di 24 ore. Il primo raggiunge i massimi livelli la notte (in assenza di luce), favorendo il rilassamento, e diminuisce durante il giorno, inducendo un maggiore stato di vigilanza grazie alla presenza di luce. Il cortisolo, invece, viene secreto durante la fase diurna per sostenere il nostro organismo in situazioni di stress o di pericolo imminente, raggiungendo livelli minimi durante la notte. Una scorretta esposizione alla luce, in particolare la sovraesposizione a luce artificiale troppo intensa durante le ore serali, può alterare il ritmo circadiano, compromettendo la qualità del sonno. Al contrario, nelle prime ore della giornata è indicata un'esposizione a luci ad alta temperatura (bianche o blu) poiché stimolano la produzione di cortisolo, aumentando la concentrazione e l'attenzione⁸.

Per questi motivi, scegliere con cura la temperatura della luce, che ne determina il colore, è cruciale nella progettazione degli spazi. Le tonalità di luce vengono classificate in quattro intervalli di temperatura: tra i 2700K e i 3500K si parla di luce calda, tra i 3800K e i 4500K di luce naturale, a 5000K si tratta di una luce bianco puro e oltre i 5500K di luce fredda.



Figura 6_ Temperatura e colore della luce

⁸ Laura Bellia, Human Centric Lighting. *L'illuminazione al servizio dell'individuo*. Incontra l'Università degli studi di Milano Bicocca, 2016

Quando si progetta un sistema di illuminazione che tiene conto dei ritmi circadiani, a differenza della progettazione illuminotecnica tradizionale, è necessario porre attenzione ad alcune considerazioni specifiche aggiuntive. Le risposte umane alla luce sono una conseguenza di uno stimolo luminoso indotto ai fotorecettori dell'occhio che inviano un segnale al cervello: le risposte visive sono in gran parte elaborate da coni e bastoncelli, mentre le risposte non visive sono maggiormente elaborate dalle cellule gangliari retiniche fotosensibili (ipRGC) le quali hanno una sensibilità spettrale differente dai fotorecettori impiegati esclusivamente nella risposta visiva. La sensibilità spettrale dei fotorecettori ipRGC, maggiormente responsabili della riduzione della melatonina, ha un picco a 460 nm e una banda di assorbimento larga 110 nm.

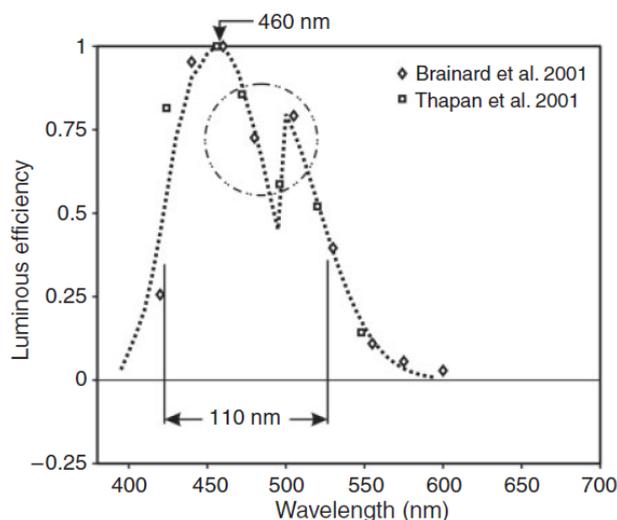


Figura 7_ MS Rea e MG Figueiro (p.499)

Risulta dunque necessario analizzare le caratteristiche spettrali delle radiazioni che arrivano agli occhi degli utenti di un ambiente per calcolare la luce circadiana e gli effetti che questa può produrre sugli individui; è pertanto doveroso misurare l'irradianza spettrale a livello degli occhi. Recentemente è stata sviluppata una metrica capace di definire la luce circadiana negli ambienti costruiti: lo stimolo circadiano (CS) calcolabile attraverso la conoscenza del livello di luce in ambiente, la distribuzione spettrale (SPD), il periodo, la durata dell'esposizione e le precedenti esposizioni alla luce. Partendo dalla SPD è possibile ottenere la luce circadiana (CL_A) definita come *"l'irradianza sulla cornea pesata secondo la sensibilità spettrale del sistema circadiano umano ricavato dalla soppressione della melatonina dopo l'esposizione di un'ora"*⁹. A questo punto è possibile calcolare lo stimolo circadiano, il quale assume valori compresi tra 0.1 e 0.3 e che, se

⁹ Pietro Palladino, *Manuale del lighting designer – Teoria e pratica della professione*, Tecniche Nuove, Milano, 2019, pp. 430-434.

presenta un valore superiore a 0.3 nella prima parte del giorno può essere efficace per stimolare il sistema circadiano favorendo umore, sonno e vigilanza migliori.

Per quantificare la luce come stimolo non visivo esistono due metodi: il primo si basa sulla risposta spettrale dei fotorecettori (coni, bastoncelli, ipRGC) mentre il secondo sulla soppressione di melatonina notturna. Per poter quindi calcolare l'effetto non visivo si può utilizzare l'Equivalent Melanopic Lux (EML) introdotto da Lucas et al. calcolato come il prodotto dell'illuminamento fotopico E, e il melanopico R misurato come il rapporto tra la radiazione che attiva la proteina melanopsina indotta da una sorgente luminosa e la sua radiazione fotopica attivante, moltiplicata per il coefficiente 1,218, che permette di garantire $R = 1,0$ per l'illuminante a uguale energia¹⁰.

$EML = E * R$ (m-lux: lux melanopico)

In realtà, siccome questa formula non è riconosciuta dal Sistema Internazionale di Unità (SI), la CIE ha proposto una grandezza ammessa dal SI sostituendo l'EML, in particolare il mel-EDI "melanopic Equivalent Daylight Illuminance", il quale sostanzialmente corrisponde all'illuminamento prodotto da una luce diurna standard in grado di determinare la stessa risposta biologica dell'illuminamento prodotto dalla sorgente in esame. Il progetto illuminotecnico che considera lo stimolo circadiano deve scegliere la distribuzione spettrale più idonea, considerando l'illuminamento verticale E_v e quello orizzontale E_h sul compito visivo, scegliendo gli apparecchi d'illuminazione più idonei al fine di ottenere un corretto rapporto E_v/E_h rispetto all'applicazione. Inoltre, bisogna considerare che in molti casi, in uffici e luoghi di apprendimento, al contributo fornito dalla luce artificiale va aggiunto quello della luce naturale: in questo caso lo stimolo circadiano è dato dalla somma dei due contributi.

1.3 L'illuminazione naturale

Per luce naturale si intende quella che proviene direttamente dal sole o dalla volta celeste. Essa è spesso considerata la fonte di luce migliore poiché l'occhio umano si è evoluto nel corso di milioni di anni adattandosi ad essa. La luce è formata da fotoni, particelle di energia che si propagano nello spazio generando un'onda elettromagnetica caratterizzata da attributi variabili quali lunghezza d'onda, periodo di propagazione, frequenza e numero di oscillazioni complete che avvengono in un secondo. Le diverse lunghezze d'onda (λ) determinano le modalità di propagazione della luce e, più in generale, delle radiazioni elettromagnetiche.

¹⁰ MS Rea, MG Figueiro, *Light as a circadian stimulus for architectural lighting*, article in *Lighting Research and Technology*, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, 2016

L'occhio umano ha la capacità di vedere una piccola porzione dello spettro elettromagnetico, in particolare le lunghezze d'onda che vanno dai 380 ai 780 nanometri, noto come spettro visibile. I valori di lambda appena citati coincidono con quelli della radiazione solare.

Parte della radiazione emessa dal sole non giunge in atmosfera poiché viene riflessa dalle nuvole e assorbita dai gas atmosferici generando perdite che dipendono dall'ora del giorno, dalla copertura nuvolosa e dall'umidità presente, i quali attenuano l'irradianza solare diretta privilegiando quella diffusa. La luce che raggiunge la superficie della Terra è quindi la somma della radiazione diffusa, che proviene da ogni punto del cielo, e da quella diretta che non è stata deviata e che conserva lo spettro e la direzione originale. La luce della componente solare diretta è bianca e ad elevata luminanza, il che produce contrasti molto marcati e può causare disturbi nella visione (abbagliamento); inoltre, gli oggetti illuminati dalla componente diretta della luce non vengono percepiti correttamente dal punto di vista tridimensionale. La radiazione solare diffusa è uniforme e quindi produce pochi contrasti il che non aiutano ad una corretta visione e percezione degli oggetti circostanti ma, a differenza di quella diretta crea una certa continuità di illuminazione tra l'interno e l'esterno. L'effetto migliore si ottiene, quindi, garantendo la coesistenza di entrambi i componenti.

La radiazione solare che raggiunge la Terra è influenzata dall'atmosfera e dalle condizioni meteorologiche; dunque, se si vuole conoscere la quantità di luce naturale che penetra all'interno di un ambiente è necessario valutare un insieme di variabili. Quando il sole è molto alto nel cielo e non ci sono nuvole, la radiazione diretta costituisce quasi l'85% dell'insolazione totale che colpisce il terreno mentre quella diffusa rappresenta il restante 15%. In condizioni di cielo coperto o di elevato inquinamento, la quantità di radiazione diretta che raggiunge il terreno è molto limitata, aumentando la componente diffusa¹¹.

1.3.1 Benefici della luce naturale

La luce naturale ha sempre ricoperto un ruolo fondamentale in architettura e per il benessere umano, influenzando sia la salute che l'estetica degli ambienti. Inoltre, non si può ignorare l'aspetto della sostenibilità: l'utilizzo della luce naturale, fonte di energia gratuita e inesauribile, può contribuire significativamente a ridurre i consumi energetici sia per l'illuminazione artificiale che per la climatizzazione. Analizzando i benefici che derivano dall'uso di luce solare, appare chiaro come essa influisca positivamente sul ritmo circadiano, regolando il ciclo sonno-veglia e migliorando la

¹¹ S. Ghezzi, *La Progettazione dell'Illuminazione Naturale. Confronto tra Metodi Semplificati e Modelli*, Politecnico di Milano, 2008-2009.

qualità del sonno. Essa è inoltre un componente importante nella produzione di vitamina D, essenziale per il sistema immunitario. Inoltre, l'esposizione alla luce solare stimola la sintesi di serotonina, un neurotrasmettitore informalmente noto come "ormone del buonumore".

La serotonina, sintetizzata principalmente nel cervello, regola differenti funzioni biologiche a seconda del sito di sintesi. Insieme ad altri ormoni, la serotonina può controllare la qualità del sonno e, non a caso, è il precursore biologico¹² della melatonina. Il compito principale della serotonina è quello di trasmettere informazioni tra neuroni: quando il suo livello è normale, la sensazione è di benessere, stabilità emotiva e soprattutto di concentrazione. A fronte delle considerazioni fatte finora, risulta chiaro che sia importante prestare attenzione alla quantità di luce naturale presente in ambiente quando si progetta uno spazio di lavoro o di studio. Essa deve essere progettata accuratamente al fine di aumentare la produttività e migliorare l'apprendimento, favorendo la concentrazione e il buonumore¹³.

1.3.3 Parametri di progettazione dell'illuminazione naturale

Il progetto illuminotecnico deve garantire il soddisfacimento di aspetti qualitativi e quantitativi: nel primo caso, è importante che si crei un ambiente luminoso, confortevole, ma anche stimolante per la produttività degli utenti se si tratta di un luogo di lavoro o di apprendimento. Quanto ai secondi, il progetto dell'illuminazione deve rispettare requisiti specifici di prestazione visiva, garantendo così le condizioni sufficienti per un corretto svolgimento delle attività a cui il luogo è destinato. Il progettista, dunque, fa riferimento a parametri specifici indispensabili per il progetto che vengono distinti in due macrocategorie: parametri tradizionali e parametri di tipo dinamico.

Tra i parametri tradizionali troviamo il rapporto aeroilluminante (R.A.I.) e il fattore medio di luce diurna (FLD_m). Il primo è calcolato come il rapporto tra l'area delle superfici apribili e l'area interna calpestabile. Esso rappresenta uno dei vincoli normativi italiani per la ristrutturazione o la costruzione ex novo di un edificio, più particolarmente, il valore minimo del R.A.I. accettabile per la maggior parte delle regioni italiane è di 1/8. Per esempio, in un salotto di $16m^2$, sarebbe sufficiente dimensionare una finestra da $2m^2$ o due finestre da $1m^2$. Tuttavia, essendo un requisito aeroilluminante, il R.A.I. non fornisce tutte le informazioni necessarie per l'illuminazione; esso, infatti, non considera la presenza di ostacoli esterni, l'orientamento dell'edificio e le costruzioni

¹² Per precursore biologico si intende una molecola necessaria per la sintesi di un'altra, nel caso specifico che molecole in questione sono ormoni.

¹³ *Il sole: tanti raggi, tanti effetti*. Fondazione AIRC, Milano, 2021, <https://www.airc.it/cancro/prevenzione-tumore/il-sole/raggi-del-sole>

circostanti, fattori che possono limitare l'ingresso di luce naturale in ambiente. Per questo motivo, il R.A.I. non è sufficiente come unico vincolo progettuale, ed è per questo cruciale includere ed esaminare anche il fattore di luce diurna medio (FLD_m) calcolato per ogni singola stanza.

Il fattore di luce diurna medio (FLD_m), rappresenta il *“rapporto tra l'illuminamento medio dell'ambiente e l'illuminamento che si avrebbe, nelle identiche condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste senza irraggiamento solare diretto”*¹⁴. In altre parole, tale indice definisce la percentuale di luce naturale presente nell'ambiente interno rispetto a quella dell'ambiente esterno. L'FLD_m prende in considerazione la geometria dell'ambiente e delle superfici vetrate, così come le loro proprietà ottiche, trascurando però l'orientamento e la posizione geografica, oltre che gli effetti della radiazione solare diretta, dei cambiamenti delle condizioni climatiche e delle possibili schermature mobili.

Il valore del parametro nei diversi ambienti destinati a funzioni specifiche viene definito dalla normativa UNI 10840:2007; ad esempio, all'interno degli edifici scolastici viene richiesto un FLD_m pari al 3% per gli ambienti didattici e all'1% negli spazi di distribuzione e nei servizi igienici.

$$FLD_m = \frac{A_f \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \Psi}{A_{tot} (1 - r_m)}$$

Dove:

A_f [m²]: area della superficie della finestra (escluso il telaio);

t [%]: fattore di trasmissione luminosa del vetro;

ε [-]: fattore finestra, rappresenta la posizione della volta celeste dal baricentro della finestra (ε=1 per finestra orizzontale, ε=0.5 per finestra verticale senza ostruzione, ε < 0.5 per finestra verticale con ostruzione);

A_{tot} [m²]: area totale delle superfici che delimitano l'ambiente;

Ψ [-]: fattore di riduzione del fattore finestra;

r_m [-]: fattore medio di riflessione luminosa delle superfici che delimitano l'ambiente.

Siccome i parametri che l'FLD_m trascura non sono trascurabili per un calcolo corretto e coerente, sono stati definiti altri indicatori che tengono conto dei fattori dinamici della luce, che considerano la radiazione solare diretta e diffusa.

¹⁴ UNI 10840:2007

L'analisi dei parametri dinamici o Climate-Based è possibile considerando: l'interazione tra le condizioni di illuminazione esterna sulla base delle diverse condizioni del cielo, le peculiarità del luogo di progettazione e il comportamento dell'utente (attività specifiche svolte e, soprattutto, la fascia oraria di utilizzo). Si tratta di parametri non ancora standardizzati e approvati, ma che costituiscono uno strumento valido per la progettazione dell'illuminazione. Tra questi troviamo: Daylight Autonomy (DA), continuous Daylight Autonomy (DAcon), maximum Daylight Autonomy (DAm_{ax}), spatial Daylight Autonomy (sDA), Useful Daylight Illuminance (UDI), Annual Sunlight Exposure (ASE), Annual Light Exposure (ALE).

Daylight Autonomy (DA), è un indice della disponibilità di luce diurna che corrisponde alla percentuale del tempo occupato in cui l'illuminamento target in uno spazio è soddisfatto dalla luce del giorno. Per il calcolo vengono considerate tutte le possibili condizioni del cielo durante l'anno, l'orientamento della facciata e l'orario di occupazione. Quanto ai sistemi di oscuramento, ove presenti, essi vengono sempre esaminati in fase di calcolo mediante specifici software, considerandoli nella stessa posizione. Il protocollo LEED, protocollo a cui fa riferimento, assume come accettabile i valori di DA > 50%.

Continuous Daylight Autonomy (DAcon), indica il contributo percentuale che la sola luce naturale è in grado di fornire al fine di garantire il raggiungimento del valore minimo di illuminamento richiesto dalla normativa. Poiché si basa su contributi percentuali, tale indicatore fornisce indicazioni più dettagliate rispetto alla DA, sull'effettiva disponibilità di luce naturale. I software per il calcolo attribuisce un "credito" parziale per tutti gli istanti in cui il valore è sotto al requisito senza considerarlo nullo. Attraverso la DAcon è possibile valutare quando e in che modo dimmerare una fonte di luce per raggiungere i requisiti minimi senza andare incontro ad abbagliamento¹⁵ o discomfort visivo.

Maximum Daylight Autonomy (DAm_{ax}), definisce la percentuale di tempo nell'arco di un anno in cui viene superato di dieci volte l'illuminamento target definito secondo normativa. Tale parametro è utile a valutare la possibilità che si verifichi il fenomeno di abbagliamento, in quanto valori troppo elevati di illuminamento ne aumentano la probabilità.

Spatial Daylight Autonomy (sDA), indica la percentuale di spazio che riceve sufficiente luce naturale. Più particolarmente, essa rivela la percentuale dello spazio considerato (sempre stanza per

¹⁵ Quando si parla di abbagliamento, si intende una sensazione di disagio prodotta sia dalla visione attraverso finestre di una porzione di cielo ad elevata luminanza anche in assenza di radiazione solare diretta (abbagliamento diretto), sia per la riflessione della superficie finestrata stessa su qualche altra superficie dell'ambiente (abbagliamento indiretto).

stanza) che, durante le ore di occupazione, riceve una quantità di luce naturale sufficiente (300 lux per almeno il 50% del tempo) secondo normativa, trascurando però l'uniformità dell'illuminazione. Tuttavia, quest'ultima caratteristica rappresenta una mancanza difficilmente tollerabile, soprattutto se ci si sta occupando di zone di lavoro o apprendimento.

Useful Daylight Illuminance (UDI), considera le condizioni di variabilità del cielo e definisce, per le diverse fasce orarie, dei valori massimi di illuminamento. Esso indica la percentuale di tempo occupato in cui l'illuminamento è compreso tra 100 e 3000 lux ed ha l'obiettivo di valutare quanto frequentemente si raggiungono condizioni di luce naturale quasi nulla (100 lux) e, all'opposto, quando tali valori sono così elevati da causare forte discomfort visivo da abbagliamento (3000 lux). Nello specifico la metrica in questione consiste a sua volta in quattro indici che differenziano i livelli di illuminamento: UDI,f (failing) <100 lux, UDI,s (supplemental) che comprende valori tra 100 e 300 lux, UDI,a (autonomous) che comprende valori tra 300 e 3000 lux, UDI,e (excessive) >3000 lux.

Annual Sunlight Exposure (ASE), definisce la percentuale di spazio che riceve una quantità eccessiva di luce diretta, normalmente definita intorno ai 1000 lux per almeno 250 ore di occupazione nell'arco di un anno. Lo scopo dell'ASE è di dimostrare se uno spazio è eccessivamente illuminato, può dunque suggerire il rischio di accumulo di calore solare eccessivo in determinati ambienti analizzati.

Annual Light Exposure (ALE), rappresenta la quantità di luce incidente visibile diretta e, poiché considera anche l'apporto di schermature, anche di quella indiretta in un punto d'interesse durante un anno (lux h/anno).

Per evitare contrasti ed abbagliamenti eccessivi, è fondamentale tenere sotto controllo il valore della distribuzione luminosa. L'abbagliamento può essere valutato in base alle sorgenti che inducono questo effetto: in presenza di una sola sorgente viene utilizzata la costante di abbagliamento mentre, qualora ve ne siano molteplici, si ricorre all'uso dell'indice complessivo di abbagliamento, detto Daylight Glare Index (DGI). Il controllo in ambiente di questo fenomeno è possibile impiegando schermature, dimensionando correttamente l'apertura, aumentando o diminuendo l'incasso dell'infisso e, soprattutto, attraverso una progettazione corretta della finestra e degli oggetti limitrofi ponendo al centro dell'attenzione i fattori di riflessione delle superfici circostanti.

Il grado di benessere e di piacevolezza dell'ambiente illuminato è particolarmente influenzato, oltre che dalla quantità di luce in ambiente e dalla luminosità delle sorgenti, dagli aspetti

cromatici della luce. Questi ultimi vengono quantificati attraverso due fattori: l'indice di resa cromatica (IRC o Ra) e la temperatura di colore correlata (CCT).

L'IRC è un valore compreso tra 0 e 100 che descrive quanto naturali appaiano i colori degli oggetti illuminati dalla sorgente luminosa prendendo come riferimento la percezione alla luce del Sole, sorgente con indice pari a 100. Se analizziamo una sorgente luminosa ed otteniamo un valore IRC elevato (vicino a 100), significa che la sorgente ha una buona resa di colore, mentre un ampio scostamento di esso indica una pessima resa cromatica.

La CCT è definita come la temperatura che deve avere un corpo nero affinché la radiazione luminosa da esso emessa abbia l'apparenza cromatica più vicina possibile a quella della radiazione luminosa presa in esame. Può accadere infatti che due sorgenti emettano radiazioni aventi la stessa temperatura di colore pur avendo tonalità differenti perché, ad esempio, presentano un diverso indice di resa cromatica. Attraverso la CCT viene espressa anche la percezione calda o fredda della luce. Nei prossimi capitoli sarà approfondita la sfera normativa, spiegata la sua importanza e i limiti che in alcuni ambiti presenta.

È molto importante che questi indici vengano utilizzati in funzione del compito visivo richiesto dall'ambiente in esame. Quando la luce naturale non è sufficiente, interviene l'impianto di illuminazione artificiale, dimensionato correttamente per garantire gli stessi livelli prestazionali anche in totale assenza di luce naturale¹⁶.

1.3.4 L'importanza dei sistemi di controllo della radiazione solare (schermature)

L'ingresso di luce naturale negli ambienti è certamente molto importante sia per il benessere degli utenti che per ridurre l'utilizzo di luce artificiale, favorendo così il risparmio energetico. Tuttavia, è necessario considerare che un eccesso di luce solare possa risultare dannoso e controproducente, causando abbagliamento (discomfort visivo) e, in alcuni casi, anche discomfort termico.

Al fine di assicurare una corretta protezione dall'abbagliamento e prevenire il surriscaldamento degli ambienti nei mesi più caldi, è essenziale usare sistemi di schermatura per proteggere le esposizioni più colpite dai raggi solari. La scelta delle schermature, basata su forme, esposizioni, necessità degli utenti, attività da svolgere e condizioni climatiche del sito, è cruciale per massimizzare il comfort visivo e termico e minimizzare i costi energetici.

Le schermature presenti sul mercato vengono classificate in base alla loro collocazione (interne, esterne, integrate) o alla possibilità di essere spostate o di spostarsi "autonomamente"

¹⁶ C. Aghemo, V. Lo Verso, *Guida alla progettazione dell'illuminazione naturale*, AIDI Editore, Milano, 2003, pp.31-33

(fisse, mobili, dinamiche)¹⁷. Quanto alla prima suddivisione, i sistemi di schermatura esterni, caratterizzati da prestazioni molto elevate, hanno la capacità di bloccare la radiazione termica prima che possa entrare in ambiente attenuando il carico termico dell'edificio. Essi sono inoltre soluzioni ottime anche per il controllo della luce naturale in ambiente. Le schermature esterne spesso caratterizzano intere facciate e edifici grazie alla loro flessibilità e varietà, sia in termini materici che dimensionali e geometrici; non si tratta dunque di scelte esclusivamente estetiche, ma anzi la loro forma è spesso lo strumento utilizzato per gestire correttamente la radiazione solare in ingresso.

I sistemi di schermatura interni, consistenti in genere in tende a rullo, scorrevoli e veneziane, sono spesso utilizzati principalmente per il loro costo decisamente contenuto, ma non è questo il loro unico vantaggio. Essi possono essere infatti facilmente regolati in modo da adeguare la loro azione schermante a ogni condizione di irraggiamento solare che si presenta nel corso della giornata, riducendo notevolmente i fenomeni di abbagliamento causati da radiazioni solari dirette e diffuse. Tuttavia, questi sistemi peccano nella schermatura della radiazione termica, essi infatti consentono alla radiazione solare di entrare in ambiente attraverso le partizioni trasparenti e consentono così al calore di diffondersi in ambiente.

Infine, i sistemi di schermatura integrati sono soluzioni diffuse nel mercato più recentemente che consistono in elementi di piccole dimensioni realizzati in metallo come veneziane motorizzate o manuali poste all'interno della vetrocamera, sono il risultato della progettazione sincrona del serramento e della schermatura. Essi presentano diversi vantaggi in termini di spazio e di manutenzione poiché non sono a contatto con l'ambiente circostante, inoltre, i sistemi integrati permettono l'ingresso in ambiente delle componenti diretta e diffusa della luce, attribuendo allo spazio interno una distribuzione uniforme dell'illuminazione naturale. Tuttavia, all'opposto dei sistemi interni, essi presentano costi di installazione elevati.

Passando invece alla suddivisione dei sistemi di schermatura in base alla loro possibilità di movimento, le schermature fisse presentano il forte limite di non poter modificare l'ingresso della radiazione solare e termica nelle diverse ore del giorno al variare delle stagioni e delle condizioni climatiche. Ciò nondimeno, esse si contraddistinguono positivamente per i ridotti costi di installazione e manutenzione. Inoltre, la mancanza di flessibilità limita le loro prestazioni: nei giorni di cielo coperto esse non riescono a schermare la luce diffusa permettendo dunque il

¹⁷ C. Aghemo, V. Lo Verso, *Guida alla progettazione dell'illuminazione naturale*, AIDI Editore, Milano, 2003, pp.66-70

surriscaldamento, mentre in inverno impediscono invece l'ingresso della radiazione solare che sarebbe particolarmente desiderabile.

Le "mensole leggere", dette *light shelves*, rappresentano una delle soluzioni di maggiore successo negli ultimi anni. Esse vengono impiegate sia internamente che esternamente (o da ambo i lati), soprattutto in ambienti scarsamente illuminati che necessitano di una maggiore illuminazione poiché le *light shelves* sono ancorate direttamente al serramento ad un'altezza tale da favorire l'ingresso della luce sia dalla parte inferiore che da quella superiore della partizione trasparente. Le *light shelves* sono rivestite con un materiale ad elevato coefficiente di riflessione che ha la capacità di reindirizzare i fasci di luce verso le zone più lontane dal serramento, a questo proposito, dimensionare correttamente le *light shelves* è fondamentale al fine di non ottenere l'effetto contrario poiché, se di dimensioni troppo elevate si potrebbe ridurre drasticamente la disponibilità di luce naturale in ambiente. Questa soluzione innovativa ha inoltre la capacità, se ben studiata e posizionata, di limitare il carico termico estivo che penetra in ambiente. *"Una mensola leggera esterna funziona come un riparo dalla luce solare diretta, mentre una interna offre un migliore comfort visivo. Gli studi hanno dimostrato che la geometria e la finitura del materiale della mensola leggera, insieme al soffitto, sono parametri importanti che ne influenzano le prestazioni"*¹⁸.

¹⁸ Archana P. Ambadi, Benny Raphael, *Experimental evaluation of radiant heat transmitted by light shelves.*, *Journal of Building Engineering*, Volume 63, Part B, 1 January 2023

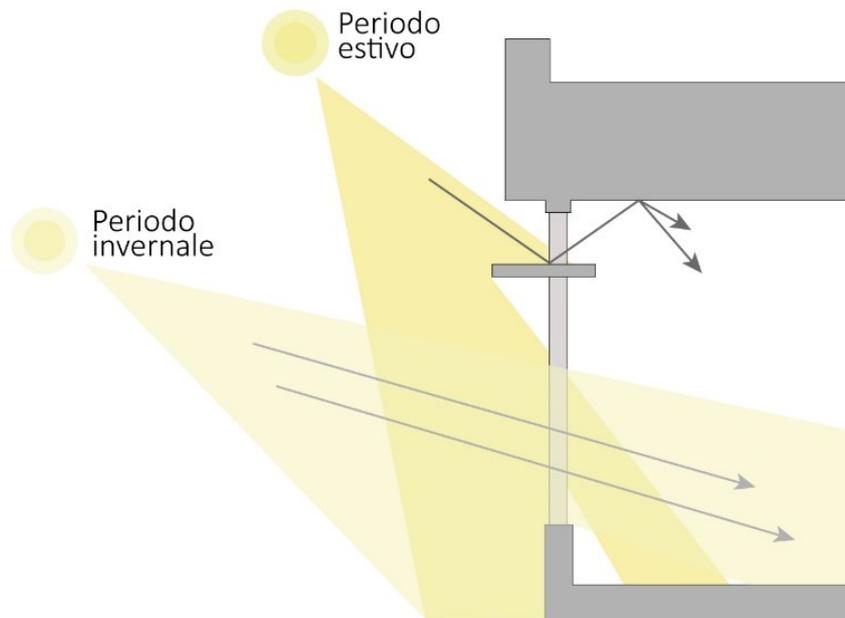


Figura 8_Light shelf, elaborazione grafica personale

Le schermature mobili, interne o esterne, consentono di essere regolate con estrema facilità ed è per questo motivo che il loro impiego risulta particolarmente utile nei periodi dell'anno in cui l'irraggiamento solare varia notevolmente. In particolar modo, le veneziane sono preferibili alle classiche tende a rullo, poiché consentono di direzionare le lamelle regolando l'ingresso della radiazione luminosa, se interne, e anche termica, se esterne.

Il settore dell'edilizia è in continuo sviluppo, cercando e sviluppando tipologie di schermature sempre più flessibili e adattabili alle necessità dell'utente. Negli ultimi anni, infatti, si stanno sperimentando nuove veneziane con lamelle di forme geometriche tali da consentirne un comportamento diverso a seconda dell'altezza solare e dell'inclinazione dei raggi, massimizzando la schermatura e il reindirizzamento dei raggi in estate e favorendo l'ingresso di radiazione solare in inverno. In sede di progettazione è necessario decidere quale tipologia di schermatura impiegare, scelta legata sicuramente alle esigenze e al budget a disposizione, nel tentativo di trovare un compromesso tra necessità e prestazioni. È possibile privilegiare un buon livello di ombreggiamento a scapito dei guadagni termici possibili attraverso un'ampia superficie vetrata impiegando schermature esterne fisse, oppure, evitare il surriscaldamento dell'ambiente nel periodo estivo favorendo l'uso di schermature mobili.

ESEMPI di SCHERMATURE FISSE:

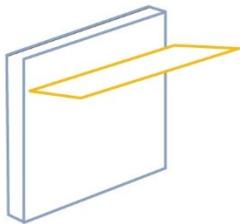


Figura 9_ Elementi in aggetto orizzontale



Figura 10_ Elementi in aggetto verticale

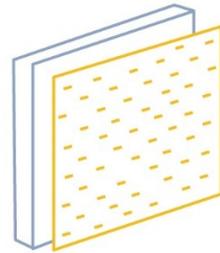


Figura 11_ Lamiera microforata

SCHERMATURE MOBILI:

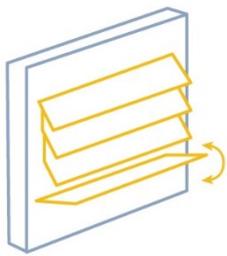


Figura 12_ Lamelle orizzontali orientabili

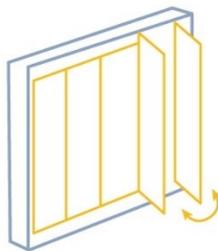


Figura 13_ Lamelle verticali orientabili

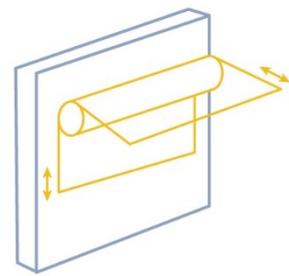


Figura 14_ Tenda a rullo

I sistemi di schermatura dinamica sono caratterizzati dall'integrazione di un sistema tecnologico intelligente che consiste di controllarle e gestirle in modo automatico o programmato. La schermatura solare dinamica si applica sulla facciata di un edificio in modo da mantenere quanto più possibile le condizioni interne stabili e confortevoli. Solitamente queste soluzioni sono le più costose poiché ricche di sensori necessari per la loro programmazione e per rispondere correttamente ai cambiamenti meteorologici esterni.

1.4 L'illuminazione artificiale

Con il termine illuminazione artificiale si fa riferimento alla luce che non proviene dal Sole ed è dunque generata da sorgenti luminose artificiali. La produzione e l'uso di questo tipo di luce è cambiata molto nel corso dei secoli. Già nel Medioevo era necessario di avere luoghi illuminati anche oltre le ore di luce naturale e, spesso, la soluzione principale era rappresentata da candele, torce e lanterne. Tale sistema era però fortemente limitato dall'elevato numero di residui prodotti dalle sorgenti (gas, polveri e fumo) che rendevano l'aria insalubre ed esponevano a rischi per la salute. Nella seconda metà dell'Ottocento, con l'arrivo dell'illuminazione elettrica e l'invenzione, da parte di Thomas Edison (1847-1931) non solo della lampada a bulbo, ma anche e soprattutto dell'intero

sistema di montaggio per la lampadina elettrica, si giunse ad una svolta epocale per quanto riguarda il modo di illuminare le città e, successivamente, delle abitazioni e dei luoghi di lavoro. A partire da questo periodo, i consumi di luce aumentarono vertiginosamente grazie alla semplicità del sistema ideato da Edison, che poteva essere utilizzato anche all'interno di spazi preesistenti, abitazioni e uffici¹⁹.

A partire dal Novecento, venne messo sul mercato il LED, una nuova sorgente di luce impiegata per sostituire lampade a incandescenza e al neon che iniziò ad essere utilizzata anche per dispositivi elettronici quali radio e calcolatrici. Inizialmente i LED venivano prodotti solo con la colorazione rossa ma, a fronte della loro rapida diffusione, negli anni Settanta vennero sviluppati anche in altri colori, in particolare il bianco, utile per l'illuminazione degli ambienti.

Con l'inizio del XXI Secolo, in seguito a numerosi studi e ricerche si arrivò a realizzare LED bianchi che emettevano fino a 223 lumen per watt di corrente elettrica immessa, raggiungendo così un grado di efficienza molto elevato che risolse il principale problema dei LED in questa colorazione prodotti nel Novecento.

L'illuminazione artificiale ha come scopo principale la possibilità di rendere visibile all'utente ciò che lo circonda in condizioni di luce naturale scarsa o assente, in modo molto semplice grazie alla sua capacità di essere manipolata in termini di qualità e intensità. La flessibilità dell'impianto di illuminazione risulta essere una necessità primaria quando è impiegato in ambienti che ospitano simultaneamente soggetti chiamati a svolgere attività e compiti visivi differenti, senza tralasciare la sicurezza ed il risparmio energetico.

Per soddisfare i bisogni sopracitati è importante un'attenta progettazione illuminotecnica distinguendo in due categorie l'illuminazione: primaria e secondaria. Attraverso l'illuminazione primaria è possibile rispettare i requisiti illuminotecnici imprescindibili e le buone condizioni di visibilità in ogni punto del locale. L'illuminazione secondaria invece viene utilizzata per ottenere risultati aggiuntivi a quelli essenziali, spesso il suo uso è mirato alla realizzazione di particolari atmosfere, per promuovere ed esaltare un oggetto o creare effetti luministici da teatro o museo. Naturalmente, per ogni specifico utilizzo esistono in commercio apposite sorgenti luminose che emettono i fasci di luce necessari al compimento dell'obiettivo²⁰.

¹⁹ R. Banham, *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Editori Laterza, Roma-Bari, 1969, pp 51-54.

²⁰ Giuliano Cammarata, *Dispense ILLUMINOTECNICA*, 2016, pp76-78

1.5 Integrazione tra illuminazione naturale ed artificiale

Luce naturale e luce artificiale devono collaborare ed integrarsi al fine di creare condizioni ottimali per lo svolgimento dei compiti visivi (differenti per ogni attività) e di ottenere il risparmio energetico, obiettivi comuni nell'utilizzo di sistemi di controllo. Il compito visivo inteso come l'insieme delle aree e degli oggetti che l'osservatore deve correttamente distinguere per svolgere le sue mansioni ed attività, dipende principalmente da determinati fattori, tra cui: luminanza, contrasti di luminanza e di colore tra il dettaglio e lo sfondo, dimensioni angolari e forma del dettaglio, posizione del dettaglio nel campo visivo, efficienza dell'apparato visivo dell'osservatore e tempo di osservazione.

Per ogni compito visivo vengono forniti dalla normativa vigente valori minimi da rispettare al fine consentire il corretto svolgimento delle attività, evitare l'abbagliamento e non produrre affaticamento visivo al soggetto. Per realizzare un progetto illuminotecnico e dunque analizzare l'illuminazione funzionale, è necessario definire l'edificio secondo due criteri: modalità di utilizzo degli ambienti e la disponibilità di luce naturale; l'analisi di questi due principi è fondamentale per individuare le reali necessità e dunque poter fornire le risposte più adatte.

Parlando disponibilità di luce naturale viene esaminato quanta di essa entra in ambiente attraverso le superfici vetrate considerando le possibili schermature. Il controllo del sistema di schermatura può essere congiunto a quello degli apparecchi di illuminazione, in questo specifico caso, l'illuminazione naturale e quella artificiale sono integrate poiché l'emissione degli apparecchi di illuminazione viene regolata in base alla luminosità complessiva in ambiente.

Se si considera invece la modalità di utilizzo degli ambienti secondo il loro impiego bisogna tener presente le differenti risposte. Infatti, se si conosce il profilo di occupazione degli utenti, è possibile definire una fascia oraria entro la quale si svolgono le attività e quindi programmare l'accensione e lo spegnimento delle sorgenti artificiali. Se diversamente non è noto il profilo di occupazione si possono predisporre sensori che rilevino la presenza o l'assenza di utenti, regolando conseguentemente gli apparecchi di illuminazione. Infine, è possibile rendere molto flessibile un unico luogo realizzando scene di luce differenziate a seconda dell'accensione o dello spegnimento di alcune sorgenti luminose²¹.

L'utilizzo di sensori rende più agevole l'integrazione tra luce naturale e artificiale poiché consentono di compensare con la luce artificiale la diminuzione graduale della quantità di illuminazione naturale entrante in ambiente, allontanandosi dalle aperture o con il trascorrere della

²¹ C. Aghemo, A. Pellegrino, S. Cammarano, *Sistemi di gestione e controllo della luce naturale e artificiale*, Report RSE/2009/11, pp. 4-8

giornata. Soprattutto negli ambienti destinati all'apprendimento capita che le aperture siano collocate su un unico lato, questa situazione porta con sé molti limiti, ad esempio, la luce naturale non riesce a coprire completamente le necessità di illuminamento in ambiente poiché gran parte della stanza, anche nelle ore di punta, rimane irrimediabilmente al buio. Risulta dunque complesso ottenere un'illuminazione uniforme e adeguata ai compiti visivi se si prende in considerazione solo la luce naturale; perciò, per garantire i requisiti minimi richiesti è necessario inserire un impianto di illuminazione statico o dinamico.

Già a partire dagli anni Ottanta sono presenti in commercio sistemi di controllo dotati di sensori capaci di rilevare il livello di illuminazione dell'ambiente e regolare la loro potenza in funzione delle necessità dell'utente.

Nonostante ciò, solo negli ultimi anni si è assistito ad una crescita della loro applicazione che, ad ogni modo, è stata limitata a luoghi pubblici o ambienti industriali. Sarebbe invece importante che la loro diffusione avvenisse su scala più ampia, poiché contribuiscono in termini di sostenibilità, benessere e fruibilità dello spazio soprattutto negli ambienti che accolgono attività differenti nell'arco delle ventiquattro ore.

I sistemi dotati di sensori che controllano la luce artificiale la fanno variare in modo dinamico sia in termini di intensità che di temperatura, simulando la luce naturale e il suo andamento, così da contribuire e favorire l'andamento ciclico dell'orologio biologico umano non entrando in contrapposizione come spesso accade.

2. Progettazione della luce negli ambienti scolastici

“L’ambiente è il terzo educatore”.

(Loris Malaguzzi)

2.1 L’importanza della luce e dei colori ai fini dell’apprendimento

Progettare edifici scolastici ponendo particolare attenzione al risparmio energetico è fondamentale poiché esse rappresentano i luoghi in cui vengono formate e educate le nuove generazioni che ritraggono il futuro di una società che dovrebbe tutelare e prendersi cura dell’ambiente. Seguendo questi principi, è necessario che gli edifici in questione rispettino determinati requisiti di comfort e di efficienza energetica.

Come già spiegato nel capitolo precedente, la luce è un tema non trascurabile durante la progettazione, particolarmente se si tratta di ambienti scolastici, luoghi in cui l’utente trascorre la maggior parte delle ore giornaliere e svolge attività molto diversificate. Negli ultimi anni, si è iniziato a parlare sempre di più di *integrative lighting*, un tipo d’illuminazione che considera gli effetti visivi, emotivi e biologici della luce sull’uomo. L’*integrative lighting* pone al centro l’uomo, diventa uno strumento di supporto sensibile con un grande impatto sulla percezione e i comportamenti dell’utente²².

La luce nel campo dell’apprendimento è fondamentale poiché essa determina l’attenzione dell’utente. Il colore della luce, la predominanza naturale o artificiale e il tempo di esposizione innescano dei meccanismi nell’organismo che determinano lo stato di vigilanza, inducono il sonno o producono altri effetti sullo stato emotivo (agitazione, ansia, calma, ecc.), soprattutto sui bambini in età prescolare.

La soglia di attenzione, soprattutto nei bambini, non è costante nel corso della giornata e può variare anche molto velocemente a causa di alcuni fattori esterni, è per questo motivo importante limitare le variazioni di luce in ambiente così da non generare un potenziale elemento di distrazione. Inoltre, un ambiente ben illuminato stimola maggiormente i neurotrasmettitori degli utenti portandoli ad un livello di attenzione consono all’apprendimento e allo svolgimento di compiti visivi,

²² Daniel Tschofen, *What is integrative lighting?*, <https://wirklicht-leuchten.com/en/blogs/news/was-ist-human-centric-lighting>

sicuramente superiore a quello che si registrerebbe in un ambiente con un'illuminazione non adeguata.

L'illuminazione nelle scuole deve permettere, sia dal punto di vista normativo che effettivo, lo svolgimento di svariati compiti visivi: la semplice lettura, scrittura su piani orizzontali come i banchi o verticali come la lavagna, osservare schermi di computer o lavagna luminosa. Le attività citate richiedono tutte un costante impegno visivo che non può e non deve trasformarsi in uno sforzo; perciò, è indispensabile valorizzare gli spazi secondo la funzione cui sono destinati, e alle attività ivi svolte, definendo in fase progettuale quali requisiti gli ambienti debbano soddisfare per aumentare il comfort e la produttività degli utenti.

L'illuminazione delle aule e degli spazi dedicati alle attività pratiche e all'apprendimento, in un progetto illuminotecnico corretto, viene gestita diversamente rispetto alle altre zone dell'edificio scolastico, controllando la distribuzione delle luminanze, i livelli di illuminamento, la resa cromatica, l'abbagliamento, i contrasti e la presenza di ombre. La combinazione di luce naturale e artificiale consente di aumentare la produttività all'interno di un ambiente e creare simultaneamente uno spazio confortevole.

Un vincolo da non sottovalutare, in particolar modo nella penisola italiana, è la presenza di edifici storici ri-utilizzati con fini scolastici; quando ci si trova in queste situazioni, risulta spesso difficile intervenire sulla preesistenza riuscendo comunque a dare libero accesso alla luce naturale evitando l'abbagliamento.

Molti studi, condotti negli anni²³, hanno dimostrato la relazione positiva tra la luce del giorno e l'aumento di apprendimento, ponendo al centro dell'analisi come l'illuminazione abbia un impatto costante sulla salute, comportamento e rendimento degli studenti negli ambienti indoor.

In ambito scolastico, va indicato lo studio che il gruppo Heschong Mahone ha effettuato nel 1999 su alcune scuole americane, con lo scopo di valutare l'importanza della luce naturale presente nelle classi rispetto alle prestazioni degli utenti, sia in termini di rendimento scolastico che in velocità di apprendimento.

Nello specifico, il Capistrano School district è stato il sito analizzato che ha prodotto i dati più completi; 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%.

²³ Bonaiuto M. "Psicologia architettonica e ambientale degli ambienti scolastici", *Psicologia sociale*, 60 (dicembre 2019).

Allo stesso modo, nelle classi in cui le finestre avevano dimensioni considerevoli rispetto alle dimensioni dell'aula, il progresso degli studenti è stato del 15% e del 23% più veloce, considerando lo stesso test, in confronto alle aule con le finestre più piccole. La possibilità o meno di aprire le finestre, è stato un altro fattore di valutazione, nelle aule in cui le finestre avevano la possibilità di aprirsi l'incremento del rendimento è aumentato del 8% in più rispetto alle aule in cui le finestre erano fisse. Questo studio vuole mettere in evidenza la relazione positiva tra la disponibilità e la quantità di luce naturale all'interno degli ambienti scolastici e il rendimento degli studenti, dimostrando l'importanza che l'illuminazione naturale ha soprattutto negli ambienti lavorativi e di apprendimento.

È dunque di primaria importanza prevedere aperture di ampie dimensioni, sia in ottica illuminotecnica ed architettonica che per massimizzare la possibilità di migliorare le prestazioni dei possibili utenti²⁴.

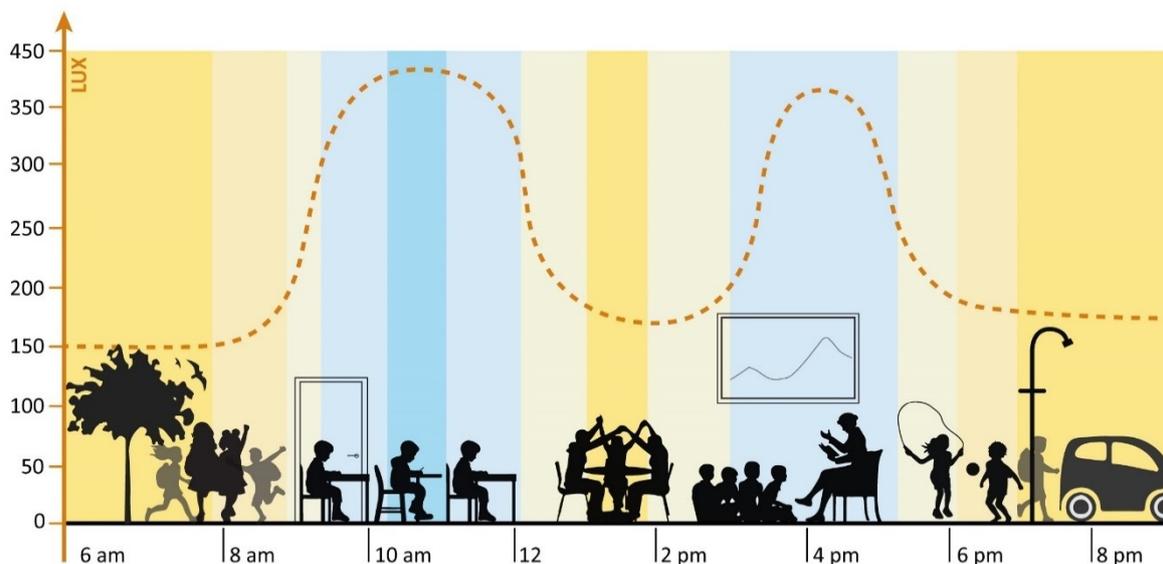


Figura 15_Lux necessari e attività correlate (mia elaborazione)

2.1.1 Scolari e colori

I colori percepiti dal nostro occhio e quelli utilizzati per la pittura o per l'arredamento non sono esattamente gli stessi, infatti, ciò che noi vediamo è il risultato della riflessione della luce su oggetti che a seconda di come sono illuminati vengono avvertiti diversamente. I colori vengono differenziati secondo due classificazioni principali: la temperatura che determina colori caldi e freddi e la tonalità.

²⁴ Nicklas M, Bailey G. "Analysis of the Performance of Students in Daylit Schools", 2019, pp. 1-6.

Queste distinzioni sono fondamentali per la progettazione degli spazi poiché abbinandoli diversamente è possibile ottenere ambienti più o meno luminosi, con maggiore o minore contrasto e dunque percepiti in modo diverso. Ad esempio, se si accostano due colori complementari si ottiene l'effetto massimo di contrasto poiché i due colori acquistano forza cromatica rafforzando a vicenda la luminosità di entrambe. Quando invece facciamo riferimento alle temperature di colore, essi vengono categorizzati in base alle sensazioni che ci trasmettono, alle immagini e alle situazioni che richiamano alla mente: le sfumature rosse, considerate calde, rievocano il fuoco mentre, quelle che tendono al blu e al verde vengono definite fredde poiché evocano l'acqua, il mare ed il cielo. In realtà la distinzione non è così netta, un colore può sembrare più caldo o più freddo anche a seconda del contesto nel quale è collocato, ad esempio il viola è un colore intermedio che accanto al rosso (caldo) può sembrare freddo; allo stesso modo, se accostato al verde o al blu (freddo) apparirà con ogni probabilità molto caldo.

Negli ambienti dedicati ai bambini che non hanno ancora imparato il linguaggio verbale la comunicazione visiva è fondamentale poiché il colore favorisce la comprensione dello spazio. Con differenti tinte e il cambio materico è possibile comunicare soglie, percorsi, dimensione degli ambienti e in parte anche l'uso che si può fare dello stesso; è però importante adeguare i colori alle capacità visive e cognitive degli utenti perché i segnali cromatici vengano capiti e visti.

La comprensione dello spazio e la percezione del colore cambiano notevolmente con l'età: prima dei sei mesi il campo visivo è limitato e di conseguenza anche la cognizione di ciò che circonda il bambino, dai sei mesi inizia la fruizione autonoma dello spazio pur essendo ancora in gran parte visiva. A nove mesi invece inizia l'esplorazione motoria grazie alla quale cambiano i punti di vista e la capacità di cogliere la tridimensionalità e la profondità dell'ambiente. Al raggiungimento dell'anno di età inizia a camminare e finalmente ad interagire in modo attivo con lo spazio circostante²⁵.

I bambini appena nati, sino al tre mesi di vita, sono attratti da fonti luminose nonostante il loro interesse visivo sia limitato ad oggetti distanti non più di venti centimetri da essi. Successivamente, tra i tre e i sei mesi riescono a vedere ad una distanza decisamente più elevata riuscendo a distinguere dettagli sempre più piccoli e con contrasti di chiarezza sempre più bassi; cominciano a conoscere i colori principali, rosso, giallo, verde e blu con differenze di luminosità anche minime. Solo raggiunti i sei mesi di vita assumono la capacità di mettere a fuoco fino a qualche metro di distanza, raggiungendo la coordinazione degli occhi che gli consente di percepire la

²⁵ Francesca Valan, *Ceramica VOGUE*, Arti Grafiche Biellesi, Biella, 2014, pp. 8-13

tridimensionalità degli oggetti (visione stereoscopica). A quest'età inizia l'indagine visiva dello spazio, ossia l'abilità di capire dove siano le cose e ottenere informazioni in merito ad oggetti e persone.

Terminato il primo annodi vita, il sistema visivo degli infanti è completo e capace di vedere come un adulto, nonostante sia necessario aspettare ancora almeno un anno per essere in grado di mettere a fuoco qualsiasi oggetto a distanze molto estese. A tale età tuttavia, i bambini possono comunque distinguere tutti i colori pur non avendo ancora la possibilità di nominarli. Infine, all'età di tre anni sono in grado di nominare e di identificare i colori e iniziano ad utilizzarli intenzionalmente, esprimendo le loro preferenze cromatiche; sono inoltre pronti a distinguere i diversi materiali e le finiture.

Partendo da questo approfondimento, è possibile definire come dovrebbero essere progettati gli spazi per l'apprendimento soprattutto se indirizzati a bambini in età così giovanili. Quando si progettano spazi per infanti bisogna tener presente delle capacità visive e cognitive e delle attività che devono svolgere, all'aumentare dell'età dell'utente i contrasti cromatici possono diminuire ed è possibile aumentare la quantità di materiali e finiture presenti. I colori neutri generano spazi che favoriscono la concentrazione e dunque adibiti ad attività che richiedono una lunga permanenza, differentemente i colori saturi possono essere impiegati in ambienti utili al passaggio o in cui non è necessario trascorrere molto tempo.

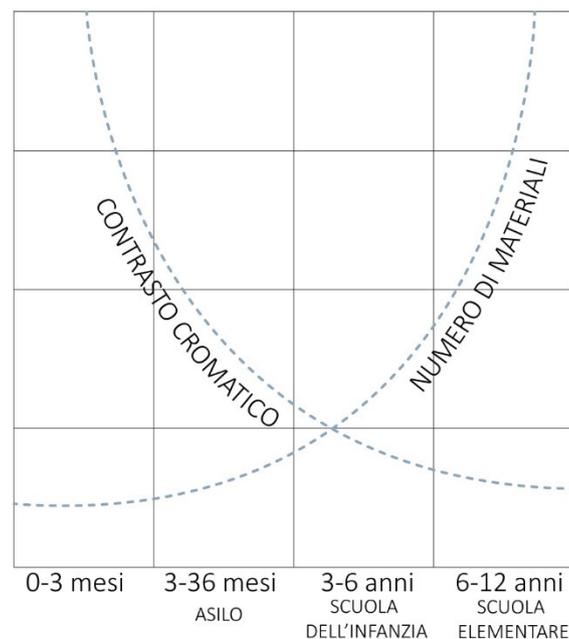


Figura 16_la relazione tra capacità visive e età (mia rielaborazione)

Un altro aspetto da valutare attentamente quando si progetta è l'altezza dell'orizzonte visivo: i bambini che non camminano ancora hanno un orizzonte molto basso e il pavimento occupa un'elevata percentuale del loro campo visivo. Questa linea è presente in quasi tutti gli spazi chiusi pubblici che siamo soliti a frequentare, nelle scuole (di tutti i livelli) e negli ospedali; essa ha la capacità di ridimensionare gli spazi all'altezza degli utenti ed è spesso usata in corridoi, ingressi, aule e nelle mense. Per evitare che gli ambienti diventino troppo pesanti dal punto di vista visivo, solitamente la linea dell'orizzonte viene realizzata in accordo a riferimenti già esistenti che scandiscono lo spazio come finestre, porte e nicchie²⁶.

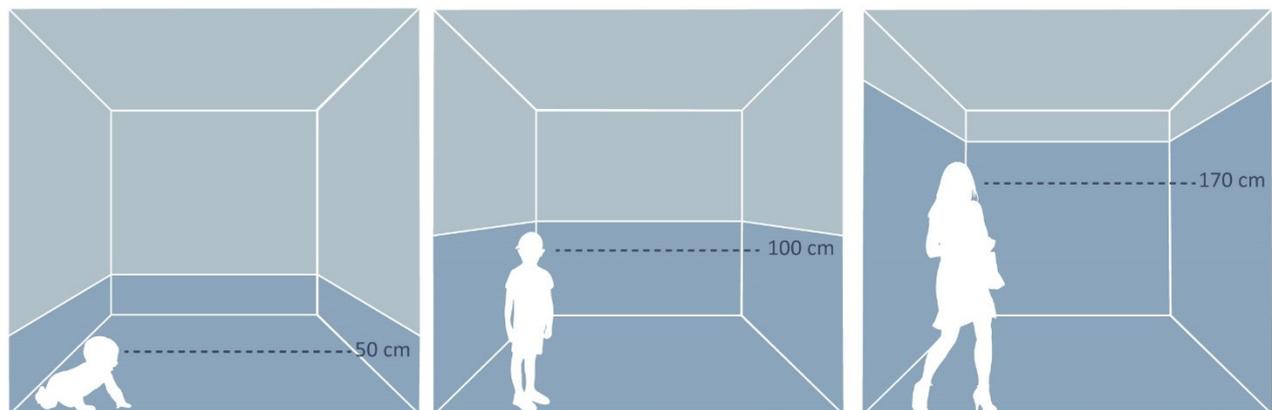


Figura 17_linea dell'orizzonte (mia rielaborazione)

È stato dimostrato che i bambini sono molto sensibili ai colori e la loro presenza determina almeno in parte il modo di reagire all'ambiente circostante. Il colore viene percepito dall'occhio che invia segnali al cervello, il quale da come risposta la secrezione di alcuni ormoni da parte di ghiandole; essi influiscono sulle emozioni, sulla lucidità della mente, sui livelli di energia, andando inoltre ad innescare sensazioni differenti come calma, ansia, migliore livello di apprendimento. I colori freddi tendono ad avere un effetto calmante poiché associati alla natura, mentre il rosso stimola l'attività cerebrale; è importante però non abusare di colori caldi poiché possono rappresentare fonte di distrazione. Come spiegato precedentemente, la risposta al colore varia con l'età ed è per queste ragioni che risulta fondamentale prestare attenzione a ciò in fase di progettazione. I bambini molto piccoli sono attratti da colori caldi e luminosi, mentre coloro che sono già in età scolare preferiscono tinte pastello²⁷.

²⁶ Ibidem

²⁷ Maryam Ajilian Abbasi, Ali Talaei, Ardeshtir Talaei, Ali Rezaei, *The use of appropriate colors in the design of children's rooms: A Short Review*, International Journal of Pediatrics, Vol.2, N.4-1, 2014

4 ulteriori motivi per cui il colore e il design sono fondamentali nella progettazione di spazi educativi

Impatto psicologico:

Scegliendo con cura i colori si può creare un ambiente positivo e stimolante che favorisce la motivazione, la creatività e la produttività degli studenti.

Stimolazione visiva:

Elementi di design e colori possono catturare l'attenzione degli studenti e rendere l'ambiente di apprendimento visivamente coinvolgente, mantenendo vivo il loro interesse.

Orientamento :

Un uso efficace del colore aiuta ad orientarsi all'interno degli spazi educativi. Usare colori diversi negli ambienti aiutano gli studenti a orientarsi facilmente nello spazio.

Soddisfare esigenze:

Le scelte cromatiche possono per esempio aiutare le persone con problemi di vista, mentre una disposizione chiara e priva di disordine può aiutare gli studenti con disturbi dell'attenzione.

Figura 18_Aspetti da considerare nella progettazione degli ambienti (mia elaborazione)

2.2 Le normative

Esistono enti di carattere nazionale ed internazionale che si occupano di formulare e successivamente deliberare normative e leggi riguardanti gli ambienti di apprendimento con l'obiettivo principale di favorire il benessere degli utenti e aumentarne la produttività e i livelli di attenzione. Le norme si definiscono secondo tre classi:

- UNI: normative di carattere nazionale proposte dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione, associazione nazionale senza scopo di lucro.
- EN: redatte dal CEN, Comitato Europeo di Normalizzazione, necessarie per uniformare le normative tecniche a livello europeo. La dicitura UNI EN fa riferimento all'ambito italiano.
- ISO: elaborate dall' International Organization for Standardization, normative che possono essere estese ed applicate in tutto il mondo. L' acronimo ISO può unirsi a UNI e UNI EN.

Quando si parla di illuminazione è necessario far riferimento alle normative della Commissione Internazionale per l'illuminazione (CIE), ormai riconosciuta a livello mondiale come la più influente autorità su temi scientifici di illuminazione e tecnologia. Essa è stata riconosciuta anche da ISO come ente di normazione internazionale.

Oltre alle normative, per dare una visione d'insieme e di maggiore completezza, è bene analizzare i protocolli che certificano la progettazione di edifici e ambienti partendo da aspetti sostenibili giungendo al comfort degli utenti. I protocolli di certificazione sono su base volontaria e si compongono da punti assegnati a seconda dell'argomento in questione, il punteggio finale decreta il livello del progetto sul piano della sostenibilità e del benessere per chi ne usufruisce.

2.3 Requisiti per l'illuminazione naturale

2.3.1 DM 18/12/1975

Il Decreto Ministeriale 18/12/1975 aggiorna le normative tecniche relative all'edilizia scolastica, in modo particolare, focalizzandoci sugli aspetti illuminotecnici risulta importante poiché introduce alcuni vincoli fondamentali per la progettazione di spazi dedicati all'apprendimento.

Al Capitolo 5.2, la normativa tratta le condizioni dell'illuminazione e del colore della radiazione luminosa, segnalando i requisiti ritenuti indispensabili da assicurare in ambiente. In particolare, l'illuminazione naturale e artificiale degli spazi e dei locali della scuola deve essere tale da assicurare agli alunni il massimo del comfort visivo; pertanto, deve avere i seguenti requisiti:

- i) livello d'illuminazione adeguato;
- ii) equilibrio delle luminanze;
- iii) protezione dai fenomeni di abbagliamento;
- iv) prevalenza della componente diretta su quella diffusa soprattutto nel caso di illuminazione artificiale.

Inoltre, la norma, definisce alcuni valori minimi di illuminamento riferiti a spazi specifici dei luoghi di apprendimento:

Illuminamento sul piano di lavoro	lux
Sul piano dei tavoli negli spazi per il disegno, il cucito, il ricamo, ecc.	300
Sulle lavagne e sui cartelloni	300
Sul piano di lavoro negli spazi per lezione, studio, lettura, laboratori ed uffici	200
Negli spazi per riunioni, per ginnastica, ecc. misurati su un piano ideale posto a 0.60 m dal pavimento	100
Nei corridoi, scale, servizi igienici, atri, spogliatoi misurati su un piano ideale posto a 1.00 m dal pavimento	100

Figura 19_DM 18/12/1975 (mia elaborazione)

Al fine di ottenere i valori mostrati in tabella indipendentemente dalle condizioni del cielo, la normativa fornisce altre informazioni relative all'integrazione con l'illuminazione artificiale, ad esempio è necessario porre particolare attenzione all'inserimento di apparecchi elettrici che non provochino fenomeni di abbagliamento sia diretto che indiretto, solitamente lampade o tubi fluorescenti integrati al sistema elettrico.

Sul tema del fattore medio di luce diurna, la normativa esprime delle percentuali minime da raggiungere per assicurare il compito visivo in ambiente, in luoghi ad uso didattico (aule per lezione, studio, lettura, ecc.) 3%, palestre e refettori 2%, uffici, spazi per la distribuzione, scale e servizi igienici 1%. Infine, allo scopo di consentire, durante il giorno, proiezioni di film o video, i locali ad uso didattico dovranno essere muniti di dispositivi per attenuare il livello di illuminazione naturale, dunque, alcuni locali dovranno essere predisposti per un completo oscuramento.

2.3.2 UNI 10840:2007

La 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. Per quanto concerne i livelli di illuminamento e le prescrizioni generali sull'illuminazione artificiale, si rimanda alla UNI 10380.

L'illuminazione naturale deve 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 assegnata la duplice funzione: di consentire il contatto visivo con l'ambiente esterno e di realizzare una corretta distribuzione delle luminanze nell'ambiente interno.

La norma UNI 10840 del 2007 applica modifiche sostanziali sulle percentuali minime del fattore medio di luce diurna, differenziando agli asili nido e le scuole d'infanzia dagli altri edifici scolastici, al fine di garantire un'adeguata distribuzione dell'illuminazione naturale.

Fattore medio di luce diurna

Tipo di ambiente, compito visivo o attività	η_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	-
Scale	≥ 1
Ingressi	≥ 1
Aule comuni e Aula magna	≥ 2
Sale professori	≥ 2
Biblioteca (scaffali)	-
Biblioteca (area di lettura)	≥ 3
Palestre e piscine	≥ 2
Mensa	≥ 2
Bagni	≥ 1

Figura 20_Prospetto 2 (mia rielaborazione)

Inoltre, viene normato anche l'abbagliamento dovuto alla luce naturale, effetto molto difficile da definire soprattutto a livello di parametri necessari per il calcolo del DGI (indice di abbagliamento), controllato essenzialmente dalle condizioni di luminanza della porzione di cielo inquadrata della superficie vetrata, la dimensione e la posizione dell'infisso, il contrasto di luminanza tra le superfici interne dell'ambiente determinato dai relativi fattori di riflessione luminosa, l'eventuale presenza di schermi interni o esterni. Particolare importanza assume il fattore di riflessione del soffitto e delle superfici immediatamente adiacenti la superficie vetrata. Valori di riferimento del DGI possono essere individuati, in termini indicativi, in base alla corrispondenza esistente con l'abbagliamento dovuto alla luce artificiale.

Valori limite del DGI in relazione alle diverse attività

Attività	DGI indice di abbagliamento
Laboratori	21
Sale lettura	21
Aule	21
Sale computer	21
Aule da disegno	21
Aule di musica	23
Biblioteche	21
Palestre	23

Figura 21_Prospetto B.1 (mia rielaborazione)

Nella tabella sottostante viene riportato il confronto tra gli indici di abbagliamento per la luce naturale ed i criteri di valutazione dell'abbagliamento.

Confronto tra gli indici di abbagliamento per luce naturale ed i criteri di valutazione dell'abbagliamento

Criteri di valutazione dell'abbagliamento	GI la costante di abbagliamento calcolata per ciascuna porzione di sorgente vista attraverso la finestra	DGI indice di abbagliamento
Appena percepibile	10	16
	13	18
Accettabile	16	20
	19	22
Fastidioso	22	24
	25	26
Intollerabile	28	28

Figura 22_Prospetto B.2 (mia rielaborazione)

2.3.3 CAM – Decreto 11/10/2017

Nel Decreto Ministeriale dell'11 ottobre 2017 vengono decretati i criteri ambientali minimi per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici singoli o in gruppi nel settore della pubblica amministrazione. In particolar modo, come per le altre normative analizzate, il focus su cui poniamo l'attenzione è ciò che riguarda la qualità ambientale interna e l'illuminazione naturale.

Il Decreto dichiara che nei locali regolarmente occupati dev'essere garantito un FLDm maggiore del 2% fatto salvo quando previsto diversamente dalle norme vigenti su specifiche tipologie edilizie; inoltre prevede l'inserimento di dispositivi per il direzionamento della luce e per il controllo dell'abbagliamento in modo da evitare l'impossibilità di svolgere attività. Negli ambienti appena citati è inoltre necessario garantire l'aerazione naturale attraverso l'utilizzo di superfici

apribili in relazione alla superficie calpestabile del locale (almeno 1/8, RAI), diversamente può essere il dimensionamento per locali con destinazione d'uso differenti.

Di fondamentale importanza è il paragrafo in cui si fa riferimento ai “dispositivi di protezione solare” poiché viene espresso l'obbligo di controllare l'immissione nell'ambiente di radiazione diretta attraverso le parti trasparenti, sia verticali che inclinate, che devono essere dotate di sistemi di schermatura o ombreggiamento fissi o mobili verso l'esterno se con esposizione SSE o SSO. Al fine di raggiungere il soddisfacimento del requisito è possibile anche impiegare vetri specifici con caratteristiche adeguate al compito richiesto come ad esempio vetri selettivi e a controllo solare. Il requisito dev'essere verificato dalle 10 alle 16 del 21 dicembre per il periodo invernale e del 21 giugno per quello estivo; esso non va applicato e verificato per le serre bioclimatiche.

Nel caso in cui il progetto venisse sottoposto ad una fase di verifica per la successiva certificazione dell'edificio secondo uno dei protocolli di sostenibilità energetico-ambientale degli edifici, la conformità può essere dimostrata solo se nella certificazione risultano soddisfatti i requisiti riferibili alle prestazioni ambientali presenti nel criterio di verifica.

Il Decreto Ministeriale fornisce alcune specifiche anche per gli impianti di illuminazione, in particolare, i sistemi utilizzati devono essere a basso consumo energetico ed alta efficienza; dunque, essi devono essere progettati per abitazioni, scuole e uffici, considerando: efficienza luminosa uguale o superiore a 80lm/W e resa cromatica uguale o superiore a 90. Abbinati ai soli sistemi di illuminazione, dovrebbero essere previsti ed installati sistemi domotici coadiuvati da sensori di presenza così da consentire il risparmio energetico.

2.3.4 UNI EN 17037:2019

La norma europea UNI EN 17037:2019 definisce i requisiti minimi per ottenere un'illuminazione naturale negli ambienti interni che possono essere regolarmente occupati da persone per periodi prolungati e un adeguato contatto visivo verso l'esterno. La norma definisce gli elementi per raggiungere per mezzo della luce naturale una visione adeguata, vengono inoltre fornite raccomandazioni per la durata dell'esposizione alla luce del sole nelle stanze occupate. La UNI EN 17037:2019 informa su come utilizzare la luce diurna al fine di ottenere un'illuminazione adeguata negli spazi interni limitando l'abbagliamento; fornisce informazioni in merito ai principi di calcolo e di verifica.

Secondo la norma, la fornitura di luce naturale deve essere studiata secondo i criteri del piano di riferimento all'interno di uno spazio, per almeno il 50% delle ore diurne disponibili. Si tratta di un

piano immaginario (riferito ad un piano di lavoro) che deve essere creato da un software. Questo piano di riferimento dovrebbe essere posizionato a 0,85 m dal pavimento.

Per ottenere la qualità di luce diurna desiderata, vengono stabiliti requisiti di illuminamento target minimo e illuminamento target.

Nella norma vengono specificati due metodi per valutare la fornitura di luce diurna: un metodo di calcolo è basato sul fattore di luce diurna mentre, l'altro utilizza i dati climatici per un determinato sito. La normativa in questione prevede tre livelli di valutazione: minimo, medio e alto. La tabella seguente mostra i valori raccomandati per la fornitura di luce diurna.

Raccomandazioni per la fornitura di luce diurna mediante aperture per luce diurna in una superficie verticale inclinata

Livello di raccomandazione per apertura per luce diurna verticale e inclinata	Illuminamento di riferimento E_T lx	Frazione di spazio per il livello di riferimento $F_{plane, \%}$	Illuminamento di riferimento minimo E_{TM} lx	Frazione di spazio per il livello di riferimento minimo $F_{plane, \%}$	Frazione di ore di luce diurna $F_{time, \%}$
Minimo	300	50%	100	95%	50%
Medio	500	50%	300	95%	50%
Alto	750	50%	500	95%	50%

Figura 23_UNI EN 17037:2019 (Prospetto A.1)

La UNI EN 17037:2019 fornisce strumenti importanti per la valutazione della connessione visiva con l'ambiente esterno, quando si fa riferimento a questo tema è fondamentale considerare i tre strati differenti di possibile vista esterna: cielo, paesaggio, terreno. La qualità della vista viene valutata anche in base alla dimensione delle aperture (finestre), dall'ampiezza della vista, distanza tra l'utente e la scena esterna, numero degli strati disponibili e qualità dei dettagli ambientali presenti nella scena in questione.

La tabella di seguito presenta una raccomandazione per tre livelli diversi di visuale, dal minimo al massimo.

Valutazione della vista verso l'esterno da una data posizione

Livello di raccomandazione per la vista all'esterno	Angolo di visione orizzontale	Distanza di vista esterna	Numero di starti da vedere da almeno il 75% dell'area utilizzata: - cielo - paesaggio - terreno
Minimo	≥ 14°	≥ 6.0 m	È compreso almeno il paesaggio
Medio	≥ 28°	≥ 20.0 m	Nella stessa apertura per la vista sono compresi lo strato del paesaggio e un ulteriore strato
Alto	≥ 54°	≥ 50.0 m	Nella stessa apertura per la vista sono compresi tutti gli strati
Per uno spazio con profondità del locale maggiore di 4 m, si raccomanda che la rispettiva somma delle dimensioni dell'apertura/delle aperture per la vista sia pari ad almeno 1.0m x 1.25m (larghezza x altezza)			

Figura 24_UNI EN 17037:2019 (Prospetto A.5)

2.3.5 CAM – Decreto 23/06/2022

Nel Decreto Ministeriale del 23 giugno 2022 vengono decretati i criteri minimi ambientali per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di interventi edilizi per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione. In Italia, ai sensi del codice dei contratti pubblici (Dlgs 36/2023) i criteri ambientali minimi sono obbligatori per l'esecuzione dei servizi di progettazione e realizzazione di interventi edilizi nell'ambito degli acquisti della pubblica amministrazione (oltre che per altre 16 categorie merceologiche).

Esattamente come nella sua versione precedente emanata con DM 11/10/2017, nella nuova versione del Decreto sono trattati diversi requisiti e aspetti progettuali, tra cui quello dell'illuminazione. Nello specifico tratta di "impianti di illuminazione per interni" dichiarando che nei progetti di nuova costruzione, ristrutturazione, demolizione e ricostruzione sono previsti impianti d'illuminazione conformi alla UNI EN 12464-1, ossia con le seguenti caratteristiche: impianti dotati di sistemi di gestione degli apparecchi in grado di accenderli, spegnerli e dimmerare in modo automatico su base oraria e su base di eventuali apporti luminosi naturali; le lampade a LED per scuole, abitazioni ed uffici hanno una durata minima di 50000 ore.

L'illuminazione naturale rientra tra gli argomenti ampiamente discussi, a seconda della tipologia di ambiente e del fine del luogo, sono richiesti illuminamenti minimi da luce naturale; negli ambienti scolastici la quantità di radiazione solare necessaria è maggiore al diminuire dell'età degli utenti.

Tipologia ambienti	Livello di illuminamento di luce naturale	
Locali regolarmente occupati	300 lx in almeno 50 % dei punti di misura	Livello minimo
	100 lx in almeno 95 % dei punti di misura	
Scuole primarie e secondarie	500 lx in almeno 50 % dei punti di misura	Livello medio
	300 lx in almeno 95 % dei punti di misura (*)	
Scuole materne e asili nido	750 lx in almeno 50 % dei punti di misura	Livello ottimale
	500 lx in almeno 95 % dei punti di misura (*)	
(*)Per almeno la metà delle ore di luce diurna		

Figura 25_requisiti minimi di illuminamento naturale (mia elaborazione)

Nei progetti di ristrutturazione edilizia nonché di restauro e risanamento conservativo, al fine di garantire una illuminazione naturale minima all'interno dei locali regolarmente occupati, se non sono possibili soluzioni architettoniche in grado di garantire una distribuzione dei livelli di illuminamento come indicato in precedenza, è garantito un fattore medio di luce diurna maggiore del 2% per qualsiasi destinazione d'uso, escluse quelle per le quali sono vigenti norme specifiche di settore (come sale operatorie, sale radiologiche, ecc.) ed escluse le scuole materne, gli asili nido e le scuole primarie e secondarie per le quali il fattore medio di luce diurna da garantire, è maggiore del 3%.

2.4 Requisiti per l'illuminazione elettrica

2.4.1 EN 12464:2021

La normativa in questione affronta il tema dell'illuminamento attraverso diversi punti di vista, innanzi tutto è importantissimo definire l'illuminazione necessaria sull'area in cui viene svolta una determinata attività. Il valore di illuminamento mantenuto dipende dall'attività ma anche e soprattutto dalla superficie di riferimento che può essere orizzontale, verticale o inclinata. Sono presenti (si veda la figura 26) modificatori di contesto che, se applicati, cambiano il valore minimo di illuminamento mantenuto richiesto:

Modificatori di contesto per l'aumento dell'illuminamento mantenuto

Il lavoro visivo è fondamentale
Gli errori sono costosi da correggere
Accuratezza, maggiore produttività e l'aumento della concentrazione sono importanti
I dettagli del compito visivo sono di alto contrasto
Il compito visivo viene intrapreso per un tempo prolungato
L'area di lavoro ha a disposizione poca luce naturale
La capacità visiva del lavoratore è ridotta

Figura 26_ UNI EN 12464-1:2021 (Table 1), traduzione

È fondamentale specificare le postazioni di lavoro e le loro dimensioni, esattamente come per le attività e i compiti visivi, nel caso in cui fossero sconosciute le dimensioni e/o la posizione dell'area di lavoro bisogna considerare l'intera area come area di lavoro illuminandola uniformemente con livelli di luminanza indicati dal progettista che ipotizza attività probabili in quello specifico ambiente. Aspetto ad esso correlato da considerare è l'area limitrofa all'area dedicata all'attività, l'area direttamente circostante dovrebbe essere una banda di almeno 0.5m la quale possiede un illuminamento simile a quello dell'area di lavoro.

Relazione degli illuminamenti in ambienti immediatamente circostanti all'area di lavoro e sull'area di lavoro

Illuminamento sull'area di lavoro Em (lux)	Illuminamento sulle aree immediatamente circostanti (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
≤ 150	uguale all'area di attività

Figura 27_ UNI EN 12464-1:2021 (Table 3), traduzione

Successivamente a quanto detto, nell'area di attività l'uniformità dell'illuminamento (U) non dev'essere inferiore ai valori riportati nella tabella di seguito, inoltre, l'uniformità nell'area circostante dev'essere $U > 0.40$, mentre nello sfondo (pareti, soffitto ecc.) dev'essere $U > 0.10$, valori applicabili solo all'energia elettrica poiché quella naturale varia molto velocemente a causa delle condizioni meteorologiche e del contesto circostante.

*Relazione degli illuminamenti in ambienti immediatamente circostanti
all'area di lavoro e sull'area di lavoro*

Progettazione dell'area di lavoro			Requisiti di progettazione dello spazio					
Requisiti relativi alle attività			U _o	Ra	R _{UGL}	Per comunicazione e riconoscimento di oggetti	Aspetto	
Em		Em,x				Em,pareti	Em,soffitto	
Richiesto	Modificato					U _o ≥ 0.10		
Richiesto: valore minimo Modificato: considera i modificatori di contesto								

Figura 28_UNI EN 12464-1:2021 (Table 8), traduzione

Requisiti relativi alle attività	Em (lx)		U _o	Ra	R _{UGL}	Em,x	Em,pareti	Em,soffitto	Requisiti specifici
	Richiesto	Modificato							
Aula - Attività generali	500	1000	0.6	80	19	150	150	100	illuminazione controllabile per le diverse attività
Auditorium	500	750	0.6	80	19	150	150	50	illuminazione controllabile
Aula computer	300	500	0.6	80	19	100	100	75	
Aule per attività pratiche e laboratori	500	750	0.6	80	19	150	150	100	illuminazione controllabile per le diverse attività
Entrata	200	300	0.4	80	22	75	75	50	
Corridoi	100	150	0.4	80	25	50	50	30	illuminamento orizzontale sul piano del pavimento
Scale	150	200	0.4	80	25	50	50	30	illuminamento orizzontale sul piano del pavimento
Biblioteca	200	300	0.6	80	19	-	-	-	illuminamento verticale sulle mensole

Un altro aspetto che va considerato e a cui va prestata la necessaria attenzione per il corretto svolgimento del compito visivo è la gestione dell'illuminamento cilindrico medio mantenuto, il quale dev'essere uniforme e calcolato con l'altezza del piano orizzontale differente secondo la destinazione d'uso. Si considera 1.2 m per gli utenti seduti e 1.5 m se in piedi.

2.5 Requisiti per l'illuminazione melanopica

2.5.1 Protocollo LEED, LEED for school

La certificazione in Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) è riconosciuta a livello globale per la ricerca continua del raggiungimento della sostenibilità. Sviluppato dalla U.S. Green Building Council (USGBC), il LEED è un programma di certificazione volontario che può essere

applicato a qualsiasi tipo di edificio sia commerciale che residenziale e riguarda tutto il ciclo di vita dello stesso, dalla progettazione alla costruzione. Il sistema si basa sull'attribuzione di punteggi per ciascun requisito e comprende 4 livelli di certificazione: base, oro, argento, platino²⁸.

Per la maggior parte degli standard LEED, sono previste sei macrocategorie, ognuna con alcuni prerequisiti obbligatori e altri facoltativi. Il punteggio finale si ottiene dalla somma delle percentuali ottenute dall'analisi delle seguenti aree: Sostenibilità del sito - SS (1 prerequisito, 10 punti massimo), Gestione efficiente di acqua - WE (3 prerequisiti, 11 punti massimo), Energia e atmosfera - EA (4 prerequisiti, 33 punti massimo), Materiali e risorse - MR (2 prerequisiti, 13 punti massimo), Qualità ambientale interna - EQ (2 prerequisiti, 16 punti massimo), Localizzazione e Trasporti - LT (16 punti massimo). Il sistema LEED è organizzato in "famiglie" di protocolli, caratterizzate in base al tipo di intervento, tra cui: Nuove Costruzione e Ristrutturazione - Design & Construction (BD+C), Interventi di solo fit out - Interior Design and Construction (ID+C), Aree urbane e quartieri - Neighborhood Development (ND), Piccoli interventi residenziali (H), Gestione in esercizio di immobili esistenti e occupati - Operation and Maintenance (O+M). A loro volta le cinque famiglie citate si dividono in specifici protocolli secondo le diverse destinazioni d'uso, quali ospedali, scuole e edifici commerciali²⁹.

All'interno della certificazione LEED v4.1 non sono presenti numerose voci relative all'illuminazione, l'unica sezione in cui viene trattato l'argomento è in "Qualità ambientale interna (EQ)" come mostrato nell'immagine sottostante.

²⁸ LEED v4.1, Building Design and Construction, Green Building Council, Washington, 2023

²⁹ Maurizio Sole, Manuela Crespi, *Edilizia scolastica*, DEI s.r.l., Roma, 2014, pp. 44-51



LEED v4 for BD+C: New Construction and Major Renovation
Checklist di progetto

Progetto:
Data:

Si	?	No			
			Credito	Processo integrato	1
0 0 0 Localizzazione e Trasporti (LT) 16					
			Credito	Localizzazione in aree certificate LEED ND	16
			Credito	Salvaguardia delle aree sensibili	1
			Credito	Siti ad alta priorità	2
			Credito	Densità circostante e diversificazione dei servizi	5
			Credito	Accessibilità a servizi di trasporto efficienti	5
			Credito	Infrastrutture ciclabili	1
			Credito	Riduzione dell'estensione dei parcheggi	1
			Credito	Veicoli green	1
0 0 0 Sostenibilità del Sito (SS) 10					
Si			Prereq	Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere	Obbligatorio
			Credito	Valutazione del sito	1
			Credito	Sviluppo del sito - Protezione e ripristino degli habitat	2
			Credito	Spazi aperti	1
			Credito	Gestione delle acque meteoriche	3
			Credito	Riduzione dell'effetto isola di calore	2
			Credito	Riduzione dell'inquinamento luminoso	1
0 0 0 Gestione efficiente delle acque (WE) 11					
Si			Prereq	Riduzione dei consumi di acqua per usi esterni	Obbligatorio
Si			Prereq	Riduzione dei consumi di acqua per usi interni	Obbligatorio
Si			Prereq	Contabilizzazione dei consumi idrici a livello di edificio	Obbligatorio
			Credito	Riduzione dei consumi di acqua per usi esterni	2
			Credito	Riduzione dei consumi di acqua per usi interni	6
			Credito	Utilizzo dell'acqua delle torri di raffreddamento	2
			Credito	Contabilizzazione dei consumi idrici	1
0 0 0 Energia e Atmosfera (EA) 33					
Si			Prereq	Commissioning e verifiche di base	Obbligatorio
Si			Prereq	Prestazioni energetiche minime	Obbligatorio
Si			Prereq	Contabilizzazione dei consumi energetici a livello di edificio	Obbligatorio
Si			Prereq	Gestione di base dei fluidi refrigeranti	Obbligatorio
			Credito	Commissioning avanzato	6
			Credito	Ottimizzazione delle prestazioni energetiche	18
			Credito	Sistemi avanzati di contabilizzazione dei consumi energetici	1
			Credito	Programmi di gestione energetica Demand Response	2
			Credito	Produzione energetica da fonti rinnovabili	3
			Credito	Gestione avanzata dei fluidi refrigeranti	1
			Credito	Energia verde e compensazione delle emissioni	2
0 0 0 Materiali e Risorse (MR) 13					
Si			Prereq	Stoccaggio e raccolta dei materiali riciclabili	Obbligatorio
Si			Prereq	Pianificazione della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione	Obbligatorio
			Credito	Riduzione dell'impatto del ciclo di vita dell'edificio	5
			Credito	Dichiarazione e ottimizzazione dei prodotti da costruzione - Dichiarazione EPD	2
			Credito	Dichiarazione e ottimizzazione dei prodotti da costruzione - Provenienza delle materie prime	2
			Credito	Dichiarazione e ottimizzazione dei prodotti da costruzione - Componenti	2
			Credito	Gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione	2
0 0 0 Qualità ambientale interna (EQ) 16					
Si			Prereq	Requisiti minimi per la qualità dell'aria interna	Obbligatorio
Si			Prereq	Gestione ambientale del fumo di tabacco	Obbligatorio
			Credito	Strategie avanzate per la qualità dell'aria interna	2
			Credito	Materiali basso emissivi	3
			Credito	Piano di gestione della qualità dell'aria interna in fase di costruzione	1
			Credito	Verifica della qualità dell'aria interna	2
			Credito	Comfort termico	1
			Credito	Illuminazione interna	2
			Credito	Luce naturale	3
			Credito	Viste di qualità	1
			Credito	Prestazioni acustiche	1
0 0 0 Innovazione (IN) 6					
			Credito	Innovazione	5
			Credito	Professionista accreditato LEED	1
0 0 0 Priorità regionali (RP) 4					
			Credito	Priorità regionale - Specificare credito	1
			Credito	Priorità regionale - Specificare credito	1
			Credito	Priorità regionale - Specificare credito	1
			Credito	Priorità regionale - Specificare credito	1
0 0 0 TOTALE Punteggi possibili: 110					
Certified: 40-49 punti, Silver: 50-59 punti, Gold: 60-79 punti, Platinum: 80-110 punti					

Figura 29_LEED v4 for BD+C (rielaborazione personale)

Come accennato precedentemente, la certificazione in questione tratta destinazioni d'uso specifiche come ospedali e scuole, per lo sviluppo della tesi è necessario citare ed analizzare in particolar modo LEED for school.

Nella parte dedicata alla luce il protocollo mira a connettere gli occupanti dell'edificio con l'esterno al fine di potenziare i ritmi circadiani introducendo luce diurna nell'ambiente. La figura 30 riporta i valori da avere in ambiente per ottenere il punteggio, da 1 a 3 punti, utilizzando come parametro il valore medio dell'sDA. Nell'aggiornamento 2023 del protocollo, è necessario specificare come venga affrontato il tema dell'abbagliamento in tutti gli spazi in cui si supera la soglia ASE<10% nonostante questo valore limite non rappresenti più un ostacolo.

	Nuova costruzione, Core e Shell, Scuole, Vendita al dettaglio, Magazzini, Ospitalità, Data center	Assistenza sanitaria
Il valore medio sDA300/50% per la superficie occupata regolarmente è almeno del 40%	1 punto	1 punto
Il valore medio sDA300/50% per la superficie occupata regolarmente è almeno del 55%	2 punti	2 punti
Il valore medio sDA300/50% per la superficie occupata regolarmente è almeno del 75%	3 punti	Estremamente performante

Figura 30_ LEED v4.1 (mia rielaborazione)

La certificazione specifica per edifici dedicati all'apprendimento e all'istruzione (esclusi, campus universitari) fornisce linee guida specifiche per i progettisti al fine di supportarli nelle scelte progettuali durante la costruzione ex-novo o la ristrutturazione di tali edifici. Il LEED for school è uno strumento fondamentale poiché pone al centro dell'interesse il benessere degli utenti senza tralasciare il rispetto e la tutela dell'ambiente, aspetto fondamentale. All'interno della sezione "Qualità ambientale interna" viene analizzato lo spazio interno considerando la luce, elemento ancora più importante quando si parla di luoghi destinati all'apprendimento frequentati da utenti in età giovanile. Analizzando questo capitolo è necessario soffermarsi e approfondire i sottocapitoli EQ Credit 6.1 "Lighting System Design & Controllability", EQ Credit 8.1 "Daylight and Views", EQ Credit 8.2 "Daylight & Views, Views for 90% of Spaces".

Il primo (massimo 1 punto) pone l'attenzione sulla necessità di avere sistemi di illuminazione regolabili per consentire all'utente di gestire l'illuminazione secondo le sue esigenze al fine di massimizzare il benessere e la produttività. Il credito fa riferimento sia agli spazi per l'apprendimento che per uffici e luoghi regolarmente occupati escludendo laboratori di chimica, aule di arte, negozi e palestre.

Fornire un sistema di illuminazione dell'aula che funzioni in due modalità	
Illuminazione generale	Illuminazione d'accento
Nella modalità di illuminazione generale, raggiungere un'illuminazione media a livello della scrivania compresa tra 380 e 540 lx con un minimo di 270 lx in qualsiasi punto a più di 1 metro dalla parete.	In modalità A/V, escludendo il contributo della lampada da tavolo, raggiungere un'illuminazione media a livello della scrivania compreso tra 110 e 220 lx per qualsiasi punto della stanza a più di 1 metro dalle pareti laterali, 3 metri dalla parete anteriore e 2 metri dalla parete di fondo, limitando l'illuminazione verticale sullo schermo di protezione.

Figura 31_EQ Credit 6.1: Lighting System Design & Controllability (mia elaborazione)

EQ Credit 8.1 “Daylight and Views” (1-3 punti) si pone come obiettivo quello di fornire agli occupanti dell'edificio un collegamento tra gli spazi interni e l'esterno attraverso l'introduzione della luce diurna e delle viste nelle aree regolarmente occupate dell'edificio.

Requisiti e metodologie di verifica opzionali		
75% di tutte le aule e degli spazi didattici principali (1 punto) oppure 90% di tutte le aule e degli spazi didattici principali (2 punti) oppure 75% di tutti gli altri spazi regolarmente occupati (1 punto aggiuntivo).	Metodo 1	Raggiungere un fattore di vetratura minimo del 2%
	Metodo 2	Dimostrare, attraverso una simulazione al computer, che è stato raggiunto un livello minimo di illuminazione diurna di 270 lx. La modellazione deve dimostrare 270 lx orizzontali in condizioni di cielo sereno, a mezzogiorno, all'equinozio, a 80 cm dal pavimento.
	Metodo 3	Dimostrare, attraverso le registrazioni delle misurazioni della luce interna, che è stato raggiunto un livello minimo di illuminazione diurna di 270 lx. Le misurazioni devono essere effettuate su una griglia di 3 metri per tutti gli spazi occupati e devono essere registrate sulle planimetrie dell'edificio.
In tutti i casi, è consigliabile prevedere dispositivi di reindirizzamento della luce diurna e/o di controllo dell'abbagliamento per evitare situazioni ad alto contrasto che potrebbero ostacolare i compiti visivi.		

Figura 32_EQ Credit 8.1: Daylight and Views (mia rielaborazione)

Il terzo sottocapitolo (massimo 1 punto) ha come fine ultimo garantire agli occupanti dell'edificio un collegamento tra gli spazi interni e l'esterno attraverso l'introduzione di luce naturale e viste nell'edificio; ciò che lo differenzia da quello precedente è la necessità percentuale del soddisfacimento del requisito.

È necessario, per ottenere il credito, garantire una linea di vista diretta con l'ambiente esterno attraverso vetrate panoramiche a un'altezza compresa tra 0.8 e 1.95 m dal pavimento per gli occupanti dell'edificio nel 90% delle aree regolarmente occupate.

2.5.2 Protocollo WELL

Recentemente, è nata l'esigenza da parte dell'utente e del progettista di prestare maggiore attenzione alla sostenibilità sia in termini energetici ed economici che dal punto di vista del benessere e della salvaguardia della salute personale, aumentando di conseguenza l'interesse verso le certificazioni e gli standard che analizzano questi aspetti. Concentrandosi sull'illuminazione, è evidente come oggi si faccia ancora riferimento e affidamento agli studi fotometrici basati sugli aspetti visivi della luce, sistema di valutazione che non considera in alcun modo gli effetti non visivi e fisiologici della luce. Il protocollo WELL redatto dall'International WELL Building Institute (IWBI) tratta l'illuminazione all'interno degli spazi chiusi dando indicazioni ai progettisti per realizzare un sistema illuminotecnico che segua le necessità e il benessere circadiano dell'utente.

Alla prima versione del protocollo WELL, uscita nel 2014, è seguita una seconda, nel 2018, che contiene tutti i risultati della versione precedente e gli approfondimenti per migliorare il protocollo. La nuova versione di WELL Light introduce l'illuminazione circadiana a sostegno di quella funzionale, fornendo i valori a cui far riferimento nella progettazione ex novo o nella verifica dell'illuminazione di un edificio prendendo in considerazione anche le attività ospitate in ambiente. L'illuminazione circadiana punta a ridurre l'interruzione del ritmo circadiano migliorando lo stato di sonno-veglia ed influenzando positivamente umore, produttività e concentrazione dell'utente. Il protocollo in questione prevede un'analisi delle condizioni di illuminazione attribuendo punti partendo da aspetti visivi fino ad analizzare il sistema circadiano influenzato dalla presenza di luce naturale in ambienti interni, promuovendo, quando necessario, la possibilità di integrare alla luce naturale fonti artificiali. I requisiti relativi agli aspetti circadiani della luce sono espressi attraverso il mel-EDI³⁰.

Il protocollo WELL v2 propone dieci concept, ciascuno costituito da caratteristiche con intenti sanitari differenti.

³⁰ International Well Building Institute, "WELL Building Standard v2"



Figura 33_10 temi del protocollo LEED (mia elaborazione)

A differenza dei protocolli LEED e LEED for school che propongono un numero limitato di requisiti riguardanti il tema della luce, il protocollo WELL introduce il concetto di light sia in termini di sistema visivo che circadiano. Esso propone linee guida relative all'illuminazione per fornire livelli di luce fotonica e melanopica corretti al fine di favorire un valido funzionamento del sistema circadiano, mirando a creare ambienti con illuminazione ottimali per la salute visiva ma anche biologica³¹.

Il concetto WELL Light viene trattato analizzando nove capitoli inerenti all'illuminazione i quali forniscono varie opzioni per calcolare e verificare la quantità e qualità della luce negli ambienti; quest'organizzazione permette di raggiungere lo stesso risultato tramite diverse strategie di valutazione.

Feature L01 – Light Exposure, Esposizione Luminosa

La seguente Feature richiede che i progetti forniscano un'adeguata esposizione alla luce negli ambienti interni attraverso differenti strategie di illuminazione tra cui scegliere: simulazione della luce diurna, disposizione interna, progettazione dell'edificio e progettazione dell'illuminazione circadiana.

Analizzando la prima strategia, vengono distinti gli ambienti a seconda della regolare occupazione e dei posti effettivi a sedere non assegnati, nel primo caso è necessario che venga raggiunto il seguente obiettivo:

³¹ Ibidem

Calcoli secondo IES LM-83-12		Calcoli secondo l'allegato A della norma CEN 17037:2018
La sDA media del 200,40% viene raggiunta per > 30% della superficie regolarmente occupata	o	L'illuminamento target di 205 lx viene raggiunto per >30% della superficie del pavimento durante il 50% delle ore di luce diurna dell'anno

Mentre, nel secondo caso:

Calcoli secondo IES LM-83-12		Calcoli secondo l'allegato A della norma CEN 17037:2018
La sDA media del 300,50% viene raggiunta per > 75% della superficie	o	L'illuminamento target di 300 lx viene raggiunto per >30% della superficie del pavimento e un illuminamento medio di 95 lx viene raggiunto per >95% della superficie del pavimento durante il 50% delle ore diurne dell'anno

Verificato da: Documento tecnico (controllato)³².

Quando si analizzano le diverse strategie vengono messi a disposizione, nella maggior parte dei casi, due requisiti con l'obbligo di soddisfarne almeno uno.

Studiando la seconda strategia (disposizione interna) i requisiti sono:

- Almeno il 30% dell'area regolarmente occupata si trova entro una distanza orizzontale di 20 piedi dalle vetrate dell'involucro in ciascun piano.
- Gli spazi comuni hanno posti a sedere non assegnati e possono ospitare almeno il 15% degli occupanti regolari in un dato momento. Almeno il 70% di tutti i posti a sedere negli spazi si trova entro una distanza orizzontale di 16 piedi dalle vetrate dell'involucro.

Verificato da: Documento tecnico (controllato)³³.

Per quanto riguarda la progettazione dell'edificio invece è necessario soddisfare:

- La superficie vetrata dell'involucro non è inferiore al 7% della superficie regolarmente occupata per ciascun livello del pavimento.

³² Ibidem

³³ Ibidem

- La piastra del pavimento non si trova a più di 65 piedi tra le pareti opposte, ciascuna dotata di vetratura dell'involucro, e non sono presenti ostruzioni opache più alte di 3,2 piedi entro una distanza orizzontale di 20 piedi dalla vetratura dell'involucro.

Verificato da: Documento tecnico (controllato)³⁴.

Infine, la quarta strategia ha un unico requisito che richiede che il progetto soddisfi la soglia del livello 1 della Feature L03: Circadian Lighting Design.

Verificato attraverso test delle prestazioni³⁵.

Nota: Fare riferimento alla Guida alla verifica delle prestazioni per informazioni sui requisiti del sensore/test, sulla durata richiesta del test e sui calcoli di conformità.

Feature L02 – Visual Lighting Design, Progetto illuminotecnico – aspetti visivi

L'obiettivo di questa seconda analisi è fornire il comfort visivo e mantenere un livello elevato di percezione dei dettagli, agendo sull'illuminazione sul piano di lavoro orizzontale per tutti gli utenti. È dunque necessario come prima cosa definire le attività che un determinato ambiente ospita oltre che all'età media degli occupanti.

Nella prima opzione, progettazione della luce, il requisito è quello di ottenere spazi interni ed esterni conformi alle soglie di illuminamento specificate in una delle seguenti linee guida:

- IES X edizione;
- EN 12464-1&2: 2011 o EN 12464: 2021;
- ISO 8995-1:2002(E) (CIE S 008/E:2001);
- GB50034-2013;
- CIBSE SLL Codice per l'illuminazione.

Inoltre, le soglie di illuminamento devono tener conto delle attività e delle fasce di età degli occupanti.

Verificato da: test delle prestazioni, documento tecnico (individuale)³⁶.

Nella seconda opzione (livelli di luce predeterminati) devono essere assecondate le seguenti condizioni: più del 50% degli occupanti ha meno di 65 anni, l'area dello spazio esterno all'interno del confine del progetto è inferiore al 5% dell'area interna del progetto, almeno il 90% dell'area del

³⁴ Ibidem

³⁵ Ibidem

³⁶ Ibidem

progetto interno comprende le seguenti tipologie di spazio e soddisfa le soglie di illuminamento associate:

Tipi di spazi	Soglia di illuminamento minimo
Aule Uffici	320 lx al piano di lavoro
Aree di circolazione (compresi atri e atri) Spazi di stoccaggio	120 lx a livello del pavimento
Aree pranzo Salotti Servizi igienici	120 lx sulla superficie di lavoro

Verificato da: test delle prestazioni, documento tecnico (individuale)³⁷.

Nota: Fare riferimento alla Guida alla verifica delle prestazioni per informazioni sui requisiti del sensore/test, sulla durata richiesta del test e sui calcoli di conformità.

Feature L03 – Circadian Lighting Design, Progettazione illuminotecnica – aspetti circadiani

Questa caratteristica WELL richiede che i progetti forniscano agli utenti un'adeguata esposizione alla luce per mantenere la salute circadiana e allineare il ritmo circadiano con il ciclo giorno-notte.

Per le postazioni di lavoro utilizzate nelle ore diurne, l'illuminazione elettrica viene utilizzata per raggiungere le seguenti soglie:

- I livelli di luminosità sono raggiunti per almeno quattro ore (a partire da mezzogiorno al più tardi) ad un'altezza di 18 pollici sopra il piano di lavoro per tutte le postazioni di lavoro in spazi regolarmente occupati:

³⁷ Ibidem

Livello	Soglia		Soglia per progetti con luce diurna migliorata	Punti
1	Almeno 150 EML [136 mel-EDI]	o	Almeno 120 EML [109 mel-EDI] e L05 Parte 1 o L06 Parte 1	1
2	Almeno 275 EML [250 mel-EDI]	o	Almeno 180 EML [163 mel-EDI] e L05 Parte 1 o L06 Parte 1	3

- I livelli di luce sono raggiunti sul piano verticale all'altezza degli occhi per simulare la luce che entra nell'occhio dell'occupante.

Nota: Fare riferimento alla Guida alla verifica delle prestazioni per informazioni sui requisiti dei sensori/test, sulla durata dei test richiesti e sui calcoli di conformità³⁸.

Feature L04 – Electric Light Glare Control, Controllo dell'abbagliamento della luce elettrica

Questa caratteristica WELL richiede che i progetti gestiscano l'abbagliamento utilizzando strategie come il calcolo dell'abbagliamento e la scelta degli apparecchi di illuminazione appropriati per lo spazio in questione. Nella feature L04, come già visto nella Feature L01, vengono fornite al progettista più opzioni tra cui scegliere.

La prima opzione gli apparecchi di illuminazione all'interno di spazi regolarmente occupati, i quali, esclusi gli apparecchi wallwasher, gli apparecchi nascosti, l'illuminazione di emergenza e gli apparecchi decorativi installati come specificato dal produttore, devono soddisfare uno dei seguenti requisiti se misurati con un'emissione luminosa rappresentativa delle condizioni di utilizzo regolari:

- Il 100% della luce viene emessa sopra il piano orizzontale.
- Classificato con Unified Glare Rating (UGR) pari a 16 o inferiore.
- Luminanza che non supera 6.000 cd/m² a qualsiasi angolo compreso tra 45 e 90 gradi dal nadir.

Verificato da: Documento tecnico (controllato)

La seconda opzione invece fa riferimento a tutti gli spazi regolarmente occupati, i quali, devono rispettare il grado di abbagliamento unificato (UGR) pari o inferiore a 16³⁹.

³⁸ Ibidem

³⁹ Ibidem

Feature L05 – Daylight Design Strategies, Strategie di progettazione della luce diurna

La caratteristica in questione richiede di fornire all'interno degli ambienti luce naturale tramite strategie di progettazione architettonica in modo da poter contribuire a sostenere risposte visive insieme all'illuminazione elettrica. L'intento è quello fornire un'illuminazione naturale sostenendo il benessere delle persone anche restando all'interno degli edifici. Nello specifico devono essere soddisfatti due requisiti:

- Il progetto dimostra che su ciascun piano vengono raggiunte le seguenti condizioni

Livello	Disposizione interna		Progettazione della facciata	Punti
1	Il 70% di tutte le postazioni di lavoro si trova entro 25 piedi dalle vetrate dell'involucro. La trasmissione della luce visibile (VLT) è superiore al 40%.	o	La vetratura dell'involucro non è inferiore al 15% della superficie regolarmente occupata. La trasmissione della luce visibile (VLT) delle finestre è superiore al 40%.	1
2	Il 70% di tutte le postazioni di lavoro si trova entro 16 piedi dalle vetrate dell'involucro. La trasmissione della luce visibile (VLT) è superiore al 40%.	o	La vetratura dell'involucro non è inferiore al 25% della superficie regolarmente occupata. La trasmissione della luce visibile (VLT) delle finestre è superiore al 40%.	2

Verificato dal documento tecnico (verificato)⁴⁰.

- Tutte le vetrate verticali dell'involucro presentano un'ombreggiatura che soddisfa uno dei seguenti requisiti

Livello	Tipo di ombreggiatura	Punti
1	Ombreggiamento manuale controllabile in ogni momento dagli occupanti abituali. Le tende vengono aperte regolarmente una volta al giorno per tutti i giorni in cui il progetto è in uso	1
2	L'ombreggiamento è automatizzata per prevenire l'abbagliamento	2

⁴⁰ Ibidem

Feature L06 –Daylight Simulation, Simulazione della luce diurna

La caratteristica Daylight Simulation del WELL richiede ai progetti di condurre calcoli di simulazione della luce diurna per prendere decisioni informate su finestre e ombreggiature, in modo da fornire un'adeguata esposizione alla luce diurna per gli occupanti.

Il progetto dimostra, attraverso simulazioni al computer, che in ogni piano vengono raggiunte le seguenti condizioni:

Livello	Calcoli secondo IES LM-83-12		Calcoli secondo l'allegato A della norma CEN 17037:2018	Punti
1	La sDA media del 300,50% viene raggiunta per > 55% della superficie regolarmente occupata	o	L'illuminamento target di 300 lx viene raggiunto per >50% delle aree regolarmente occupate durante il 50% delle ore diurne dell'anno	1
2	La sDA media del 300,50% viene raggiunta per > 75% della superficie regolarmente occupata	o	L'illuminamento target di 300 lx viene raggiunto per >50% dell'area totale e l'illuminamento medio di 95 lx viene raggiunto per >95% dell'area totale durante il 50% delle ore diurne dell'anno	2

Verificato da: Documento tecnico (controllato)⁴¹.

Feature L07 – Visual Balance, Equilibrio visivo

La Feature L07 richiede ambienti ottimali per il confort visivo tramite strategie di illuminazione sia naturale che artificiale per ottenere le atmosfere richieste per lo svolgimento delle attività e mantenendo prestazioni energetiche elevate.

La prima opzione proposta riguarda i parametri per l'equilibrio visivo, in particolar modo l'illuminazione ambientale in tutti gli spazi regolarmente occupati deve soddisfare almeno tre dei seguenti requisiti:

- I rapporti di contrasto della luminanza orizzontale e verticale per un sistema di illuminazione ambientale non sono superiori a dieci tra zone adiacenti controllate in modo indipendente.
- Un rapporto di uniformità dell'illuminamento di almeno 0,4 o 1:2,5 (livello di luce minimo: livello di luce medio) viene raggiunto su qualsiasi piano di lavoro orizzontale all'interno di uno spazio.

⁴¹ Ibidem

- I cambiamenti automatici delle caratteristiche di illuminazione, come i livelli di luce, i cambiamenti di colore e la distribuzione, avvengono in un periodo di almeno dieci minuti.
- La temperatura di colore correlata (CCT) in ogni stanza per dispositivi simili è costante (± 200 K) in qualsiasi momento.

La seconda opzione concerne invece il design per l'equilibrio visivo, partendo dal presupposto che l'illuminazione è progettata da un professionista e deve tener conto delle seguenti caratteristiche:

- Rapporti di luminanza su zone adiacenti verticali e orizzontali;
- Uniformità di illuminamento su piani di lavoro orizzontali;
- Cambiamenti nelle caratteristiche di illuminazione, come livelli di luce, cambiamenti di colore e distribuzione;
- Temperatura colore delle luci utilizzate.

Feature L08 – Electric Light Quality, Qualità della luce elettrica

In questo concept viene analizzata l'illuminazione elettrica in modo specifico fornendo i requisiti che essa deve soddisfare nell'ambito della resa cromatica (CRI) e lo sfarfallio.

Nel primo caso, tutti gli apparecchi di illuminazione negli spazi occupabili (ad eccezione degli apparecchi decorativi, delle luci di emergenza e di altra illuminazione per la segnaletica) devono soddisfare almeno uno dei seguenti requisiti di resa cromatica.

- $CRI (Ra) \geq 90$.
- $CRI (Ra) \geq 80$ e $R9 (R9) \geq 50$.
- $IES Rf \geq 78$, $IES Rg \geq 100$, $-1\% \leq IES Rcs, h1 \leq 15\%$.

Per gli spazi di circolazione viene considerato solo la resa cromatica che scende ad un IRC ≥ 80 .

Verificato dal documento tecnico (verificato)⁴².

Nel secondo caso invece, tutti gli apparecchi di illuminazione (ad eccezione delle luci decorative, delle luci di emergenza e di altra illuminazione per la segnaletica) e i relativi controlli all'interno degli spazi occupabili soddisfano almeno uno dei seguenti requisiti:

- Classificato come "funzionamento a sfarfallio ridotto" per California Title 24, quando testato secondo i requisiti dell'appendice comune JA-10.
- Pratiche consigliate 1, 2 o 3 come definito dallo standard IEEE 1789-2015 LED.

⁴² Ibidem

- Pst LM \leq 1.0 e SVM \leq 0.6 per applicazioni indoor secondo NEMA 77-2017.

Verificato dal documento tecnico (verificato)⁴³.

Feature L09 – Occupant Lighting Control, Controllo dell'illuminazione da parte degli occupanti

La caratteristica Occupant Lighting Control richiede di fornire una personalizzazione degli ambienti tramite apparecchiature innovative per modificare i parametri e sostenere le risposte circadiane degli utenti. Inoltre, creare ambientazioni che migliorino la produttività, l'umore e il benessere.

Sono presenti due macro-requisiti, il primo punta a migliorare la controllabilità da parte degli occupanti, mentre il secondo introduce la possibilità di inserire fonti di illuminazione supplementare.

Nel primo tutti gli spazi regolarmente occupati contengono zone di illuminazione come mostrato nella tabella seguente:

Livello	Numero di zone		Numero di zone	Punti
1	Una ogni 200 metri	o	Una ogni 10 occupanti	1
2	Una ogni 100 metri	o	Una ogni 5 occupanti	2

Verificato da: Documento tecnico (controllato)⁴⁴.

Inoltre, ciascuna zona di illuminazione deve soddisfare i seguenti requisiti:

- I sistemi di illuminazione hanno almeno tre livelli di illuminazione o scene che consentono cambiamenti nei livelli di luce.
- I sistemi di illuminazione hanno la capacità di modificare almeno una delle caratteristiche seguenti: colore, temperatura di colore correlata (CCT), distribuzione della luce controllando diversi gruppi di luci o attraverso scene preimpostate.
- Tutti gli occupanti abituali hanno il controllo sull'illuminazione dell'ambiente circostante attraverso comandi manuali (interruttori o pannelli di controllo) situati nello stesso spazio di ciascuna zona di illuminazione o attraverso un'interfaccia digitale disponibile su computer o telefono.
- L'illuminazione per le pareti di presentazione o proiezione viene controllata separatamente.

⁴³ Ibidem

⁴⁴ Ibidem

Per il secondo macro-requisito il progetto deve soddisfare i seguenti requisiti:

- Impianti di illuminazione supplementari (ad esempio luci da lavoro) vengono forniti su richiesta a tutti i dipendenti senza alcun costo e le richieste vengono soddisfatte entro otto settimane.
- I livelli di luce sono controllabili dagli occupanti, indipendentemente dal sistema di illuminazione ambientale.
- La posizione della luce è regolabile dagli utenti della postazione di lavoro.

Verificato da: Documento tecnico (controllato)⁴⁵.

⁴⁵ Ibidem

3. Metodologia

3.1 Individuazione di due casi studio

I casi studio individuati sono due edifici scolastici, il primo ospita bambini in fasce d'età differenti, mentre il secondo ha spazi dedicati unicamente ai divezzi; le scuole materne e gli asili nido vengono spesso collocati all'interno dello stesso edificio poiché anche la normativa citata in precedenza avanza le stesse richieste in termini di valori minimi da garantire negli ambienti.

Il primo caso analizzato è una scuola sita nella provincia di Genova, nello specifico a Sestri Levante, si tratta di una struttura a corte, organizzata su un unico piano all'interno del quale gli spazi sono organizzati in modo da mantenere separati quelli destinati all'asilo nido da quelli per la scuola materna. L'edificio ha un orientamento Nord-Sud che consente di ottenere numerose aperture nelle aule orientate a sud, esposizione molto favorevole per l'illuminazione ma a cui fare attenzione per i carichi termici che ne conseguono.



Figura 34_Inquadramento geografico lotto di Sestri Levante (mia elaborazione)

In seguito ad una prima analisi dello stato di fatto è stato di fondamentale importanza verificare non solo che fossero soddisfatti i requisiti di legge ma anche ipotizzare scenari diversi al fine di capire e rendere evidente quali fossero le componenti e le caratteristiche imprescindibili in ambienti scolastici per bambini anche molto piccoli.

In questo edificio, le aule di competenza della scuola materna sono cinque, tutte con la medesima esposizione sud e presentano un'analoga dimensione, numero, geometria ed estensione

delle aperture e conseguenti schermature. Per questi motivi si è ritenuto necessario e rilevante analizzare una sola aula che rappresenta con buona stima il comportamento di tutte le aule dedicate alla scuola materna in progetto. Le aree dedicate ai divezzi invece, sono collocate nella parte nord della struttura e hanno dunque caratteristiche diverse, non solo dal punto di vista dell'illuminazione naturale ma anche dimensionale e di destinazione d'uso.

Il secondo caso studio, è un asilo nido sito ad Alba, strutturato su un unico piano nel quale sono presenti spazi per attività differenti.



Figura 35_Inquadramento geografico lotto di interesse Alba (mia elaborazione)

L'edificio ha un orientamento Nord-Sud ma a differenza del primo caso studio, presenta le aule con le aperture verso l'esterno collocate in direzione Ovest, Nord ed Est, è dotato di altre superfici vetrate non comunicanti direttamente con l'esterno ma con un corridoio, che presenta un involucro quasi completamente, che permette la distribuzione e il collegamento tra le varie aule e l'ingresso principale. È evidente, dunque, che la superficie vetrata in questo caso studio sia molto elevata risulta quindi interessante analizzare sia il rispetto che soddisfacimento dei requisiti minimi richiesti per legge, sia le possibili analogie e differenze apportando alcuni cambiamenti ai singoli elementi costruttivi dell'edificio come nel caso precedente. Esattamente come nell'edificio di Sestri Levante questo caso risulta interessante sia a livello analitico che sperimentale modificare la tipologia dei vetri scegliendo superfici trasparenti con proprietà ottiche-fisiche differenti, ma anche variare il colore di essi con l'obiettivo di conoscere le eventuali differenze a livello melanopico. Siccome le metriche studiate non dipendono solo dalle superfici vetrate ma anche da eventuali sporti, dimensione, collocamento e orientamento delle aperture, le analisi proposte prendono in

considerazione diversi scenari al fine di capire quale sia il più vantaggioso dal punto di vista fotopico e melanopico.

3.2 La luce naturale

3.2.1 Preparazione per le simulazioni

Il profilo dell'apporto dell'illuminazione naturale si è ottenuto attraverso l'utilizzo di due plug-in sviluppati da Solemma che trovano applicazione nel software Rhino nelle versioni 6 e 8, nello specifico sono stati impiegati ClimateStudio (in Rhino8) e Alfa (in Rhino 6).

Il primo passaggio fondamentale per poter svolgere le simulazioni necessarie è la realizzazione dei modelli 3D dei due casi studio scelti; non è stato effettuato alcun rilievo architettonico poiché si possedevano i documenti ufficiali del progetto esecutivo di entrambe le scuole, considerato che ambedue sono di recente progettazione e di nuova realizzazione. Particolare attenzione è stata posta nella creazione del 3D al fine di ottenere un modello il più veritiero possibile soprattutto riguardo le componenti che maggiormente possono influenzare l'attendibilità dei risultati, ad esempio: lo spessore del muro, lo spessore del telaio, la dimensione dei vetri e l'altezza dell'infixo da terra. È inoltre necessario dimensionare e posizionare correttamente il workplane, ossia il piano di lavoro che nel caso specifico è rappresentato dai banchi e da altri supporti utilizzati nelle aule; questo passaggio di particolare importanza poiché è lo spazio in cui sono misurati i livelli di illuminamento.

3.2.2 Il software utilizzato per la simulazione degli effetti visivi della luce: ClimateStudio (Solemma)

ClimateStudio è un plug-in di Rhinoceros 3D prodotto da Solemma, i suoi flussi di lavoro di simulazione sono di supporto ai progettisti e consulenti nell'ottimizzazione degli edifici, soprattutto per quanto riguarda l'efficienza energetica, l'accesso di luce diurna, le prestazioni dell'illuminazione elettrica, il comfort visivo e termico degli occupanti.

Climate Studio è stato utilizzato facendo due differenti simulazioni.

La prima riguarda il Daylight Factor: definito come il rapporto tra l'illuminamento in un punto di un edificio diviso per l'illuminamento in corrispondenza di un sensore esterno rivolto verso l'alto e non ombreggiato. Il cielo di riferimento per il calcolo è supposto coperto. Il secondo è il Custom Daylight Availability dove sono calcolate le metriche annuali: Useful Daylight Illuminance (UDI) con i tre indici di cui è composta, Spatial Daylight Autonomy (sDA), Annual Sunlight Exposure (ASE), Blinds Open.

Un'altra metrica da tenere in considerazione è lo spatial Disturbing Glare (sDG) che studia la percentuale di viste sulla superficie di calcolo che presentano abbagliamento inquietante o intollerabile (>38%) per almeno il 5% delle ore di utilizzo. Sempre con il supporto di ClimateStudio, è stato studiato il percorso solare e dunque le ombre che si originano sia esternamente agli edifici analizzati che internamente in modo tale da rendere più immediati alcuni dei risultati riportati successivamente.

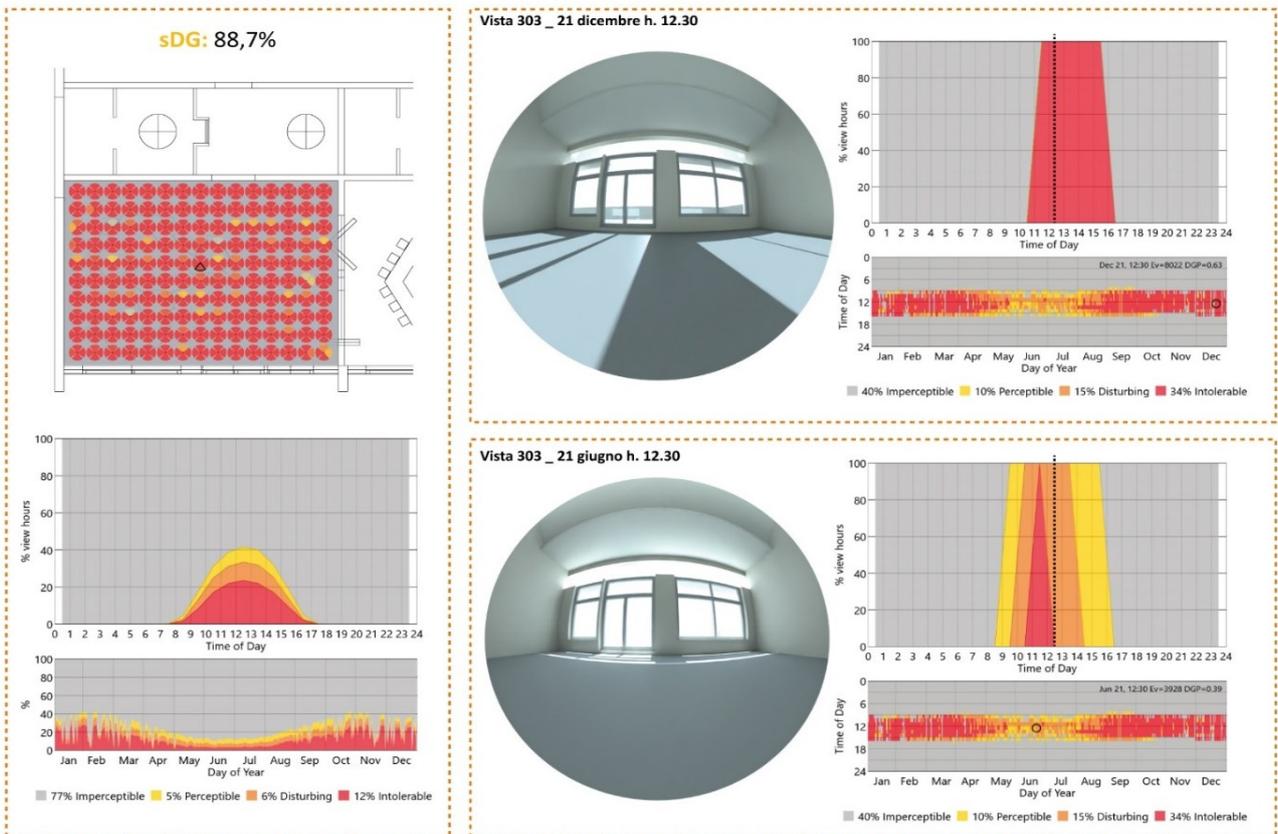
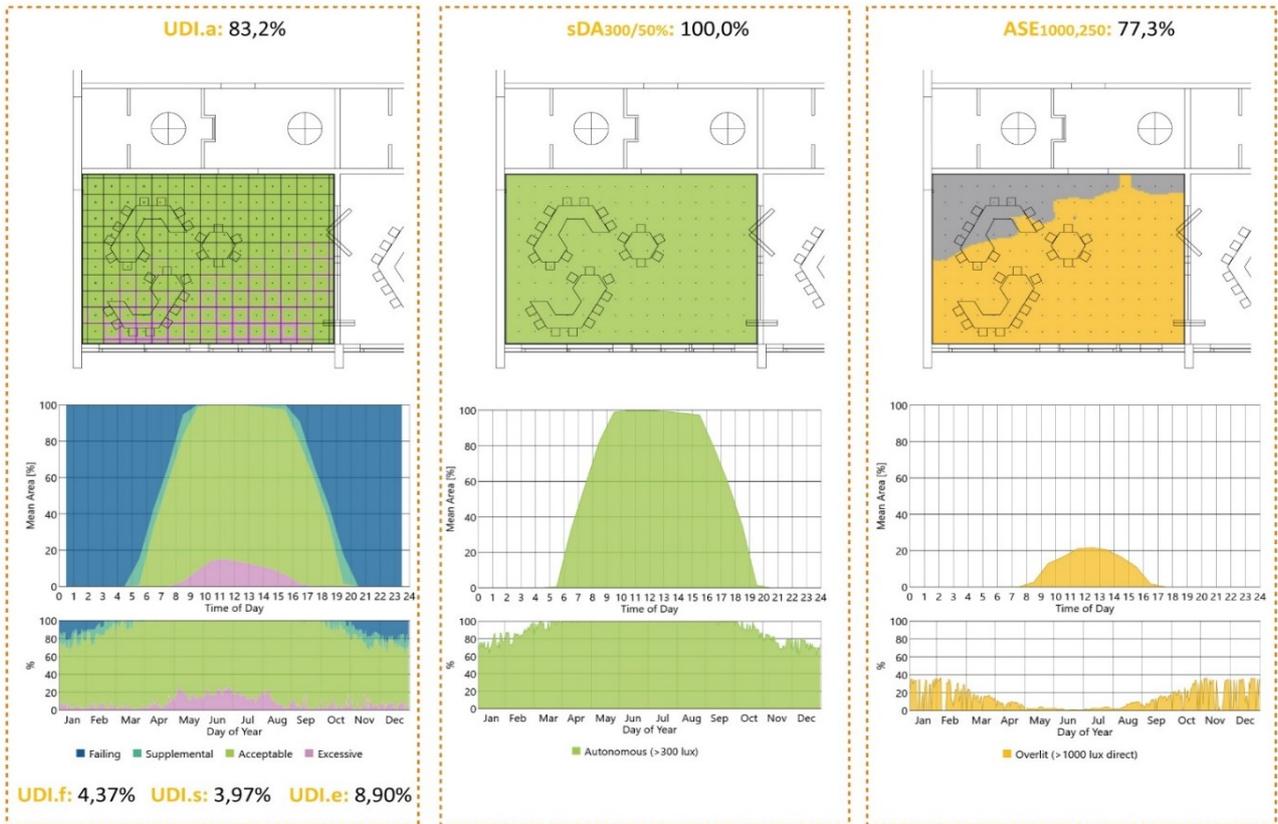


Figura 36_ esempio di elaborazioni fornite dal software: UDI, sDA, ASE, sDG

3.2.3 Il software utilizzato per la simulazione degli effetti non-visivi della luce: ALFA-for-Rhino (Solemma)

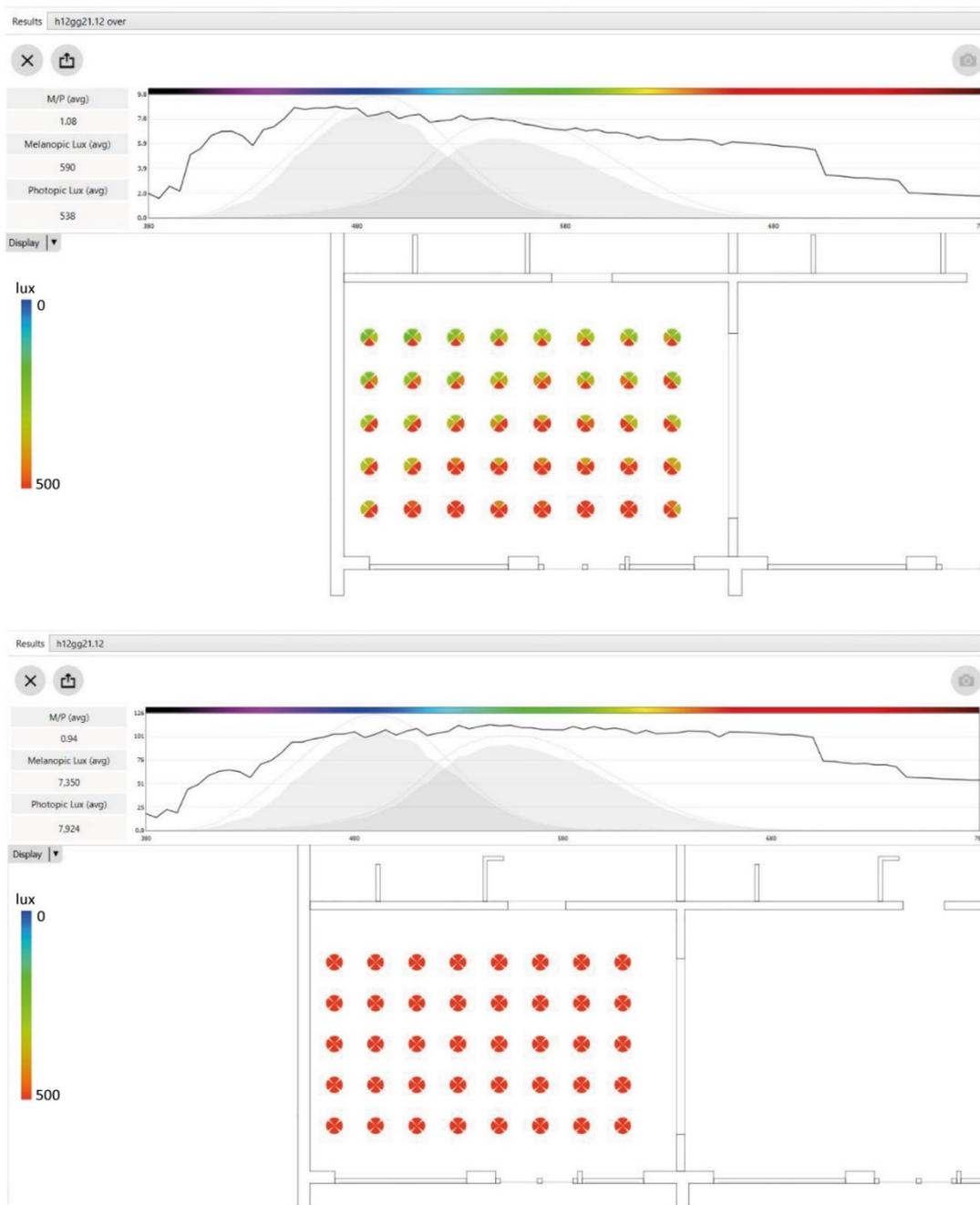
Una volta realizzati i modelli 3D è importante controllare che la localizzazione geografica e l'orientamento degli spazi analizzati siano corretti. Le simulazioni sono state eseguite in giorni e orari specifici; i giorni sono stati scelti al fine di analizzare il contenuto melanopico nelle aule delle due scuole per i solstizi (situazioni estreme dell'anno) e per una condizione di mezzo come l'equinozio di primavera, gli orari invece sono stati selezionati coerentemente alle analisi di ClimateStudio, dunque concentrando l'attenzione in tre ore specifiche (h.9, h.12, h.15).

Seguendo lo stesso pensiero, le simulazioni sono state eseguite usando condizioni di cielo opposte, coperto e sereno, è inoltre stata considerata la possibilità di usare le tende per schermare l'eventuale eccessiva luce solare come previsto dal Decreto Ministeriale 18/12/1975.

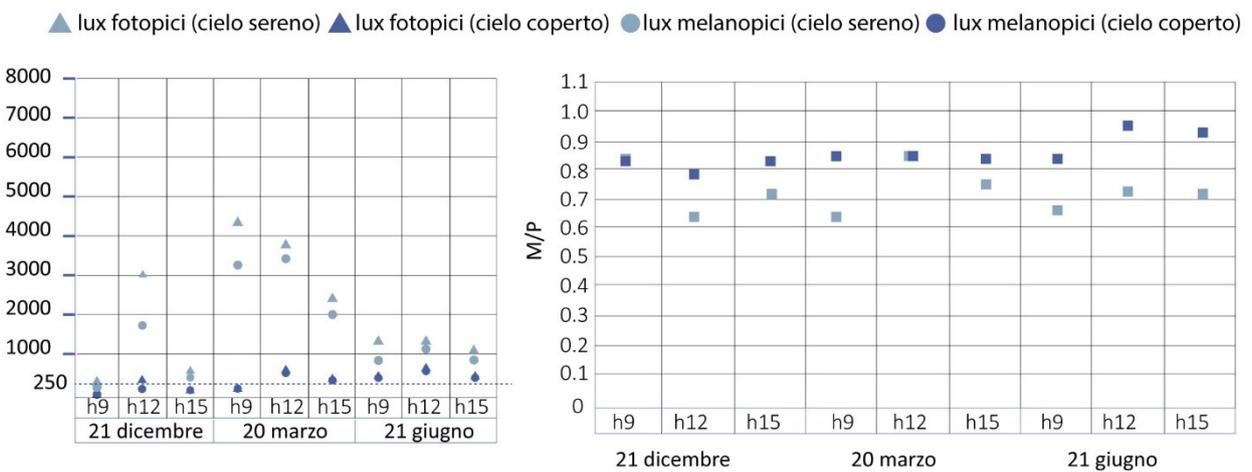
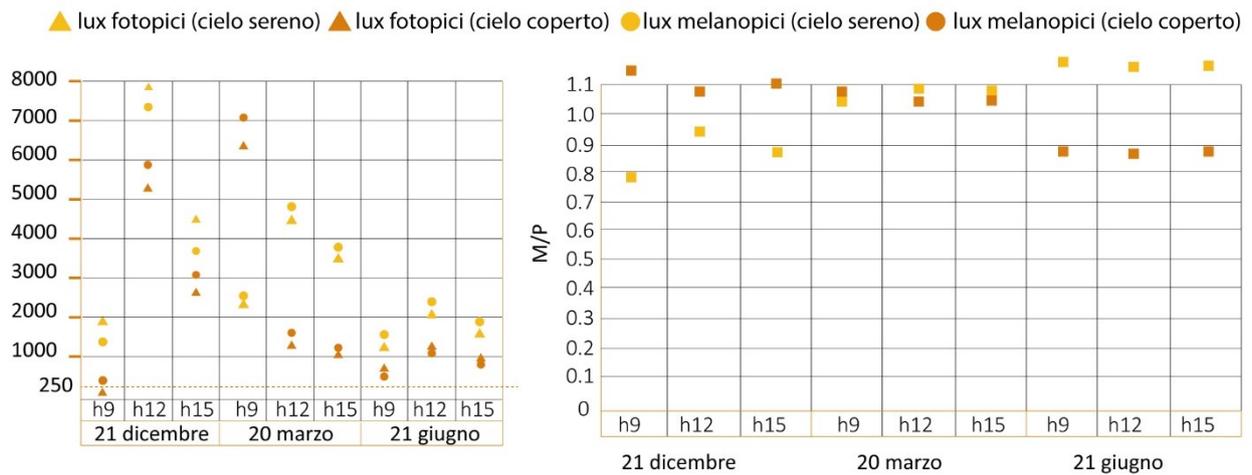
Uno degli obiettivi principali è quello di valutare se negli ambienti analizzati si verificano due requisiti:

1. E_p uguale a 500 lux sul piano orizzontale in condizioni sia di cielo sereno che coperto considerando anche l'utilizzo delle tende se necessario.
2. mel-EDI di almeno 250 lux (come definito precedentemente nel requisito del protocollo WELL nella Feature03) o 163 mel-EDI se si verifica la parte prima della Feature06 dello stesso protocollo.

Figura 37_ esempio di elaborazioni fornite dal software: mel-EDI, lux fotopici



Per ogni analisi effettuata si riporta il grafico in cui vengono mostrati i valori ottenuti dalle simulazioni in condizioni di cielo coperto e sereno, nei tre giorni e nei tre orari presi in considerazione. Il primo grafico mostra in giallo o in azzurro i risultati delle analisi con il cielo sereno mentre in arancione o in blu avendo cielo coperto, i triangoli invece riportano i valori fotopici mentre i cerchi quelli melanopici. Infine, l'ultimo grafico mette a confronto, sempre utilizzando le stesse simulazioni e riferimenti in colore, i risultati del rapporto melanopico/fotopico.



3.2.4 Simulazioni

Una volta compreso l'utilizzo dei plug-in sono stati realizzati i modelli relativi alle configurazioni di progetto degli edifici, ossia come si presentano nel progetto esecutivo gli edifici oggetto di analisi, riportando fedelmente le dimensioni delle aperture, la tipologia di vetro, le schermature e i materiali scelti ed utilizzati dai progettisti. Questo approccio è necessario per poter produrre successivamente delle ipotesi progettuali differenti, modificando un aspetto alla volta, in modo tale da ottenere analisi diverse e confrontabili al fine di poter definire, almeno in parte, quali siano le componenti che

maggiormente influenzano non solo il fattore medio di luce diurna (parametro fondamentale) ma più in generale l'ingresso di luce naturale in ambiente.

Dopo aver sinteticamente mostrato il metodo con cui si è stato svolto il lavoro di analisi della tesi si è deciso di produrre delle pagine dedicate che riassumessero i risultati per ogni variante delle aule prese in considerazione con l'obiettivo che ogni ambiente potesse essere letto e compreso con le sue caratteristiche rimanendo comunque paragonabile visivamente.

4. Casi studio

4.1 Scuola Sestri Levante

Come accennato in precedenza si è deciso di analizzare innanzitutto il primo caso studio così come si presenta nel progetto esecutivo, in modo tale da poter applicare successivamente delle modifiche più o meno consistenti ed infine analizzare i risultati ottenuti dalle simulazioni. Questo approccio permette infatti di capire quali siano le componenti ed i fattori che maggiormente influenzano le metriche di riferimento normativo e che interessano anche i protocolli come il LEED e il WELL.

La scuola materna in questione, nella versione del progetto esecutivo, presenta cinque aule con le medesime dimensioni ed aperture, nello specifico: ogni aula misura 640 cm x 890 cm, ha una portafinestra di 300 cm x 200 cm, due finestre che misurano rispettivamente 260 cm x 320 cm e 260 cm x 150 cm, un sopraluce di 80 cm x 890 cm. Inoltre, l'aula di riferimento (una delle cinque individuate) è dotata di una mensola sporgente che funge da schermatura fissa, essa è posizionata a 300 cm da terra e sprgente di 60 cm. Le chiusure trasparenti sono formate da due vetri accoppiati, separati da una intercapedine di gas Argon, il cui perimetro è composto da un leggero telaio metallico sottoposto a doppia sigillatura.

È stata studiata e selezionata la componente trasparente che riportasse le stesse caratteristiche indicate negli abachi dei serramenti presenti nel progetto esecutivo, trasmittanza termica di $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, fattore solare di 0.42, fattore di trasmissione luminosa di 0.47.

Dove:

g [-]: è il fattore di trasmissione solare totale

t [-]: è il fattore di trasmissione luminosa

U [$\text{W/m}^2\text{K}$]: è la trasmittanza termica

Inoltre, è importante indicare i materiali ipotizzati nelle simulazioni con le rispettive caratteristiche ottiche, dove:

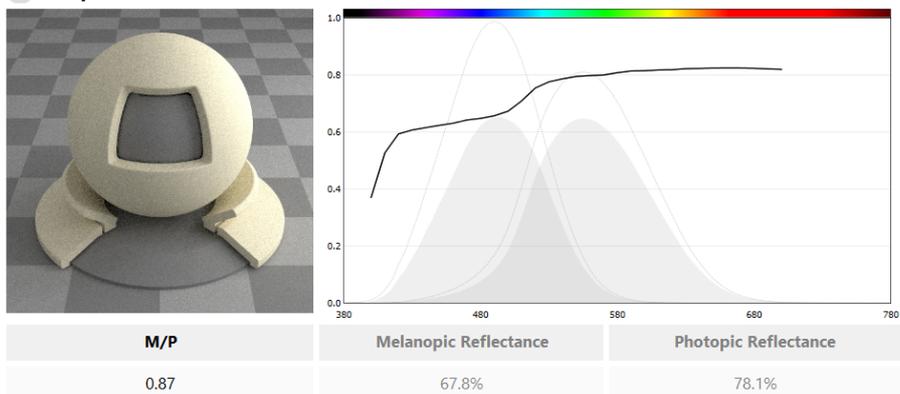
M/P [-]: è l'efficienza circadiana, data dal rapporto tra l'illuminamento melanopico e l'illuminamento fotopico, ossia quanti lux melanopici sono contenuti in ogni lux fotopico in funzione dell'energia spettrale all'interno della luce considerata. Dove:

M melanopico [-]: è il fattore di riflessione melanopico

P fotopico [-]: è il fattore di riflessione fotopico

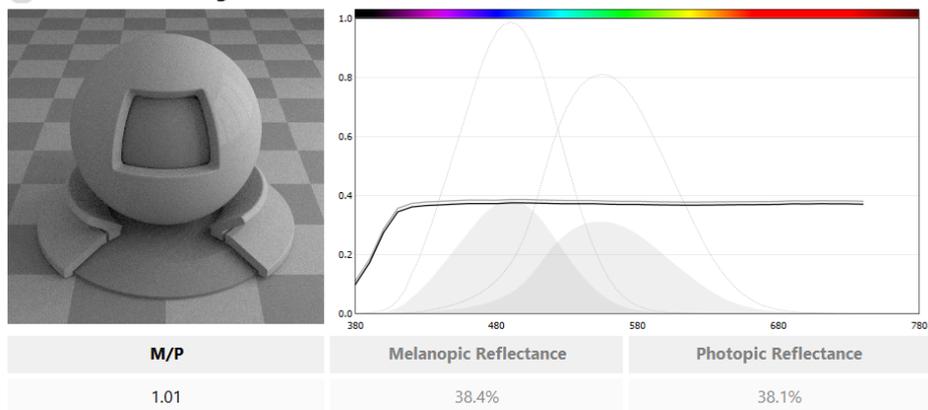
	M/P	M melanopico	P fotopico
Pareti interne	0.87	67.8	78.1

Dupont Off White 90



Porte interne	0.94	48.3	51.4
Mensole di schermatura	0.87	34.1	39.0
Copertura interna	0.97	82.7	84.9
Telai aperture	0.96	18.8	19.6
Pavimento	1.01	38.4	38.1

Interior Flooring



Nelle simulazioni successive è stato modificato un solo parametro alla volta, ciò permette di identificare il concreto effetto di ognuno di essi sull'intero ambiente. Si è ritenuto di fondamentale importanza evidenziare se il caso studio modificato non era in grado di soddisfare i requisiti minimi richiesti dalla normativa.

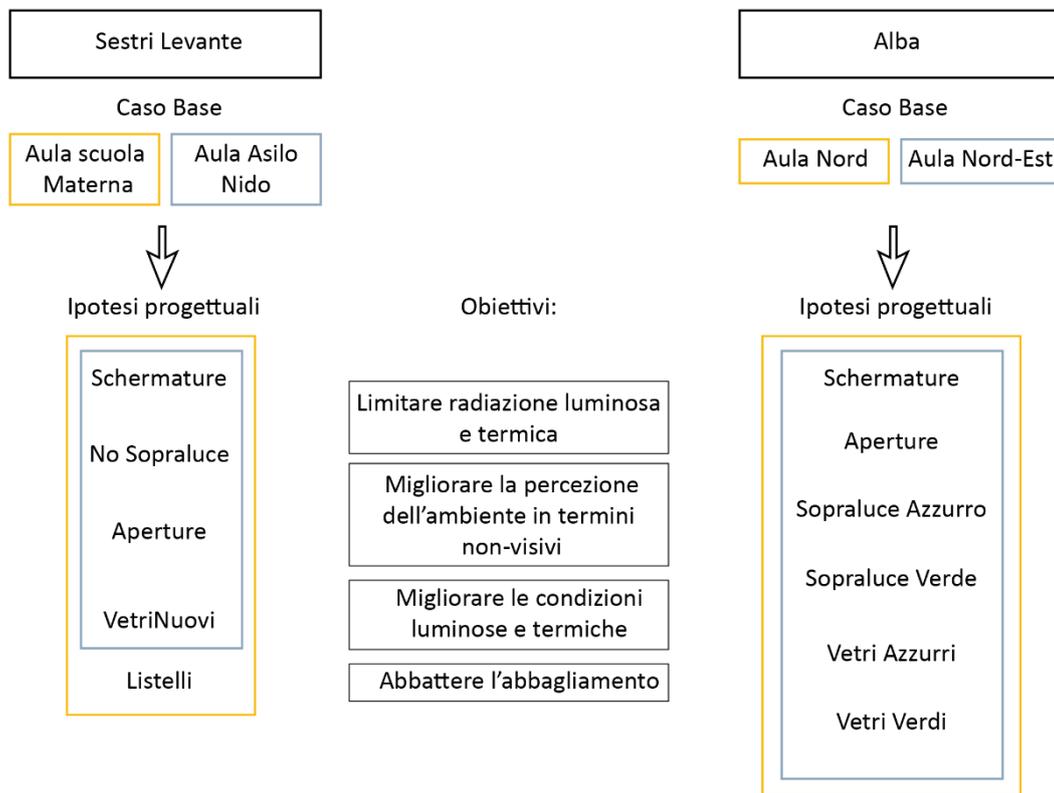


Figura 38_Rappresentazione grafica di obiettivi e ipotesi progettuali riferiti ai casi studio

Aumento delle schermature

Un aspetto molto importante da prendere in considerazione negli spazi che vengono utilizzati per diverse ore nel corso della giornata sono le schermature, soprattutto se si ha a che fare con spazi esposti a sud come nel caso studio in questione.

Una prima ipotesi progettuale che si propone prevede di aumentare le schermature facendo riferimento alle mensole fisse già presenti nel progetto esecutivo, poiché, le aperture sono esposte a sud e dunque è possibile che nei mesi estivi si presenti la necessità di limitare la radiazione termica e luminosa entrante in ambiente. La modifica effettuata sulle mensole schermanti è dimensionale, infatti nella variante lo sporto passa da 60 cm a 100 cm, mantenendola ad un'altezza da terra di 300 cm.

Analisi successivamente nominata "Schermature".

Eliminazione del sopra luce

Il sopra luce è in genere un componente sempre presente negli infissi che delimitano gli spazi dedicati all'apprendimento e negli uffici poiché consente di massimizzare la superficie della chiusura trasparente che permette un maggiore ingresso di luce in ambiente ed in alcuni casi contribuisce al

ricircolo di aria. In questo esempio specifico si tratta di una semplice chiusura vetrata fissa. È possibile analizzare una versione priva di sopra luce poiché nel caso base si è registrato un fattore medio di luce diurna che soddisfa ampiamente la normativa di riferimento (FLDm: 5.7%). Successivamente, quando verranno illustrati i risultati delle simulazioni sarà possibile notare quanto quest'ampia vetrata incida a livello di luce entrante in ambiente.

Analisi successivamente nominata "NoSopraluce"

Ridimensionamento delle aperture

Il criterio utilizzato per giungere alla scelta di ridimensionare le aperture è in linea con ciò che è stato detto riguardo il sopra luce; ci troviamo infatti in una condizione molto favorevole per l'ingresso di luce naturale nelle aule, dunque, si può pensare ad un modulo differente per progettare le vetrate. Nello specifico è stata mantenuta la portafinestra di 300 cm x 200 cm, mentre due finestre ora misurano rispettivamente 260 cm x 200 cm e 260 cm x 120 cm. È importante sottolineare che nonostante si stia parlando di ridimensionare le componenti trasparenti, in questo caso il sopra luce non sia stato rimosso, in questo modo è possibile visualizzare successivamente l'apporto e l'importanza di ciascun elemento costruttivo.

Analisi successivamente nominata "Aperture".

Sostituzione componente trasparente

Quando si progetta uno spazio, qualunque sia la sua destinazione d'uso, è necessario progettare il tipo di vetro da impiegare poiché cambiando anche solo una delle tante caratteristiche della componente trasparente è possibile ottenere risultati molto differenti in termini di radiazione solare e luminosa entrante in ambiente. Esistono numerose tipologie di vetrate del tipo a una o più camere ma ciò su cui è stata posta principalmente l'attenzione nella seguente analisi sono le tre caratteristiche principali dell'intera componente vetrata.

Dove:

g [-]: è il fattore di trasmissione solare totale

T_v [-]: è il fattore di trasmissione luminosa

U [W/m^2K]: è la trasmittanza termica

Il vetro di partenza ha g : 0,42, T_v : 0.47, U : 1.5 W/m^2K mentre, il vetro scelto nella variante ha g : 0,25, T_v : 0.39, U : 1,24 W/m^2K .

Analisi successivamente nominata "VetriNuovi".

Un'ultima analisi interessante da mostrare è quella in cui si contempla l'utilizzo di listelli verticali di dimensioni 15 cm x 15 cm posti in aderenza alle vetrate per tutta l'altezza della facciata, l'uso di essi è previsto per abbattere l'abbagliamento, rappresentato dall'ASE, presente all'interno dell'aula.

Successivamente, quando verranno mostrati i risultati, sarà possibile effettuare un confronto tra le diverse strategie impiegate.

Analisi successivamente nominata "Listelli"

4.2 Asilo nido Sestri Levante

L'asilo nido di Sestri Levante è collocato nello stesso edificio dentro al quale si trova la scuola materna. Gli ambienti di loro pertinenza sono mantenuti distinti, riguardo sia agli ingressi che ai servizi necessari per lo svolgimento delle attività previste. Le aule di dominio dell'asilo e dunque di utilizzo esclusivo dei divezzi devono infatti assecondare richieste diverse rispetto a quelle della scuola e, per questo motivo hanno metrature ed aperture differenti.

L'asilo, nella versione reale, presenta una sola aula per lo svolgimento delle attività dei bambini esposta a sud che si affaccia sul cortile interno; le altre aule presenti sono accessibili perlopiù dal personale o hanno funzioni differenti come: aula per il regolare sonno dei bambini, mensa e servizi igienici. Lo spazio oggetto di analisi è quello progettato per lo svolgimento delle attività, il quale ha dimensioni di 890 cm x 460 cm, ospita una portafinestra di 300 cm x 180 cm, due finestre che misurano rispettivamente 260 cm x 320 cm e 260 cm x 130 cm e un sopraluce di 80 cm x 890 cm. Inoltre, l'ambiente è dotato di una mensola sporgente che funge da schermatura fissa, posizionata a 300 cm da terra e sporgente di 60 cm.

Le chiusure trasparenti sono formate da due vetri accoppiati, separati da una intercapedine di gas Argon, il cui perimetro è composto da un leggero telaio metallico sottoposto a doppia sigillatura.

Quando si parla di componenti vetrate è necessario esplicitare le caratteristiche fondamentali:

g [-]: è il fattore di trasmissione solare totale

T_v [-]: è il fattore di trasmissione luminosa

U [W/m^2K]: è la trasmittanza termica

Il vetro in questione presenta: U : 1.5 W/m^2K , g : 0.42 e T_v : 0.47. Per le caratteristiche appena esposte dell'ambiente oggetto di analisi, sono state proposte tutte le ipotesi progettuali della scuola materna

poiché non ci sono particolari differenze tra i due ambienti se non la profondità delle aule e l'affaccio dell'asilo verso il cortile interno.

Nell'ambiente in questione, i materiali di rivestimento selezionati ed utilizzati per le simulazioni sono i medesimi della scuola materna presente nello stesso edificio, questa scelta è dettata dalla volontà di mantenere continuità materica ed estetica.

4.3 Asilo nido di Alba

Anche in questo caso studio si è deciso di analizzare innanzi tutto l'edificio così come si presenta nella realtà così da poter applicare successivamente delle modifiche più o meno consistenti ed infine analizzare i risultati ottenuti dalle simulazioni.

L'asilo nido in questione ha una disposizione a pettine, è presente un corpo centrale sull'asse Ovest-Est sul quale si innestano verso Nord quattro aule con i relativi servizi e un altro corpo in direzione Sud nel quale sono presenti servizi, cucina e altri spazi di uso riservato al personale. Ogni ambiente destinato ai divezzi è composto da un'aula che misura 765 cm x 995 cm, la quale è dotata di un'ampia finestra che misura 330 cm x 270 cm fornita di una sporgenza esterna di 72 cm che ha funzione schermante, due finestrelle sul lato opposto che misurano 90 cm x 93 cm e una porta che collega allo spazio esterno di pertinenza della scuola anch'essa vetrata. A completare ogni ambiente sono presenti servizi igienici, fasciatori ed un'ulteriore stanza in cui avviene il riposino pomeridiano dei bambini. Le chiusure trasparenti sono formate da tre vetri assemblati, separati da una intercapedine di gas Argon, il cui perimetro è composto da un leggero telaio metallico sottoposto a doppia sigillatura.

Le caratteristiche principali del vetro in questione sono: $U: 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g: 0.52$, $T_v: 0.55$.

Le aule confinano attraverso ampie vetrate ed una porta finestra con un lungo corridoio quasi completamente trasparente che consente l'ingresso in ambiente di molta luce nonostante sia completamente schermato da listelli orizzontali orientabili.

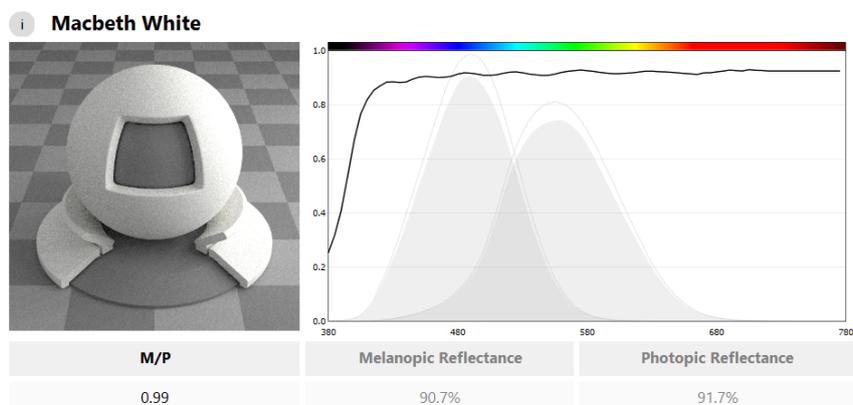
È importante per un completo studio degli ambienti considerati esplicitare i materiali di rivestimento impiegati nelle simulazioni con le rispettive caratteristiche ottiche, dove:

M/P [-]: è l'efficienza circadiana, data dal rapporto tra l'illuminamento melanopico e l'illuminamento fotopico, ossia quanti lux melanopici sono contenuti in ogni lux fotopico in funzione dell'energia spettrale all'interno della luce considerata. Dove:

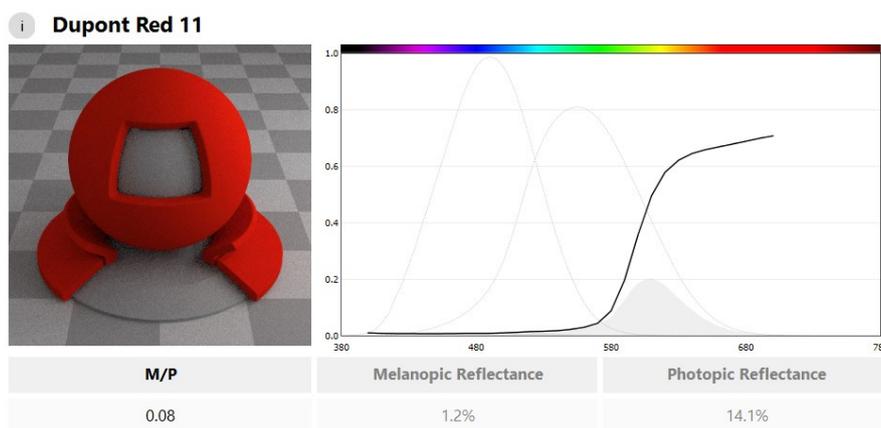
M melanopico [-]: è il fattore di riflessione melanopico

P fotopico [-]: è il fattore di riflessione fotopico

	M/P	M melanopico	P fotopico
Pareti interne	0.99	90.7	91.7



Porte interne	0.94	48.3	51.4
Mensole di schermatura	0.08	1.2	14.1



Copertura interna	0.97	82.7	84.9
Telai aperture	0.96	18.8	19.6
Pavimento	1.01	38.4	38.1

I materiali impiegati sono stati scelti sulla base di ciò che è stato reso esplicito nel progetto esecutivo, come ad esempio, le mensole schermanti.

In questo caso studio si è deciso di analizzare parallelamente due aule poiché hanno orientamenti parzialmente differenti e le aperture specchiate sui due lati principali; risulta dunque interessante indagare quanto cambino i valori esaminati nonostante gli ambienti siano identici dal punto di vista dimensionale ed organizzativo interno.

Nell'edificio in questione sono state svolte in parte simulazioni già proposte nel caso studio precedente, ma ne sono state effettuate anche di ulteriori poiché i due edifici hanno caratteristiche differenti. Nelle simulazioni è stato modificato un solo parametro alla volta, ciò permette di

identificare l'effettivo valore di ognuno di essi. Di fondamentale importanza è stato evidenziare se il caso studio modificato non verificava i requisiti minimi richiesti dalla normativa.

Aumento delle schermature

Nell'asilo in questione le aperture principali delle aule confinanti direttamente con l'esterno sono in direzione est-ovest ma vi sono anche vetrate di dimensioni importanti tra le aule ed il corridoio di servizio anch'esso vetrato con esposizione sud.

È dunque interessante analizzare le schermature presenti nelle aule, in particolar modo lo sporto che protegge la finestra principale, il quale dista da terra 37 cm ed ha una sporgenza di 75 cm.

Una prima ipotesi progettuale che si propone prevede di aumentare le schermature in questione al fine di comprendere quanto fondamentale sia il loro compito anche in aperture con esposizione est-ovest; la modifica effettuata sugli sporti schermanti è dimensionale. Nella variante infatti, l'aggetto passa da 75 cm a 100 cm, mantenendo un'altezza da terra di 37 cm.

Analisi successivamente nominata "Schermature"

Ridimensionamento delle aperture

La scelta di mantenere l'analisi in questione è dettata dal fatto che ci troviamo in una condizione molto favorevole per l'ingresso di luce naturale nelle aule grazie alla presenza di numerose superfici vetrate in direzione del corridoio. Per queste ragioni si ipotizza di mantenere invariate le aperture comunicanti con l'esterno, fatta eccezione di due finestrelle su quattro, e rendere opaco il confine tra aula e corridoio mantenendo trasparente solo la porta di accesso.

Analisi successivamente nominata "Aperture"

Vetri colorati

Una nuova ipotesi introdotta, è di prevedere una variazione nel colore delle superfici trasparenti, in primo luogo cambiando solamente la colorazione dei sopra-luce presenti nei serramenti interni delle aule e confinanti con il corridoio e poi, successivamente modificando direttamente le vetrate che delimitano il corridoio verso l'esterno. Quest'analisi non porta a cambiamenti estremamente rilevanti dal punto di vista delle metriche chiamate in causa in questo step, ma ci si aspetta che possa modificare notevolmente la percezione che si ha dell'ambiente in termini di effetti non visivi, misurabili attraverso i requisiti propri del protocollo WELL. Per questo motivo si sono adottate due colorazioni principali per mostrare i cambiamenti, inizialmente usando vetri con colorazioni tendenti

all'azzurro e in secondo luogo tendenti al verde escludendo tutta la gamma di colori caldi poiché si ha a che fare con spazi per bambini molto piccoli che hanno necessità di ambienti che inducano alla tranquillità ed al riposo.

4.4 Considerazioni sulle ipotesi di intervento

Prima di presentare i risultati delle simulazioni effettuate sui casi studio e sulle ipotesi progettuali su essi realizzati, è importante visionare alcuni dati fondamentali riportati nei seguenti grafici. Le figure 37 e 38) riportano il fattore medio di luce diurna ($FLD_m - DF$), fattore ampiamente discusso nella sezione dedicata alla normativa vigente (UNI 10840:2007), la quale richiede che negli ambienti scolastici nido e materna si verifichi un valore minimo del 5%. Un'altra normativa, molto meno stringente, che richiama questo fattore è la 17037:2019 la quale richiede a seconda dello Stato in cui avviene l'analisi, facendo riferimento alla latitudine della capitale, un FLD_m differente. In Italia viene richiesto un fattore medio di luce diurna di almeno 3,9%.



Figura 39_ Grafico FLD_m o DF primo caso studio (mia elaborazione)

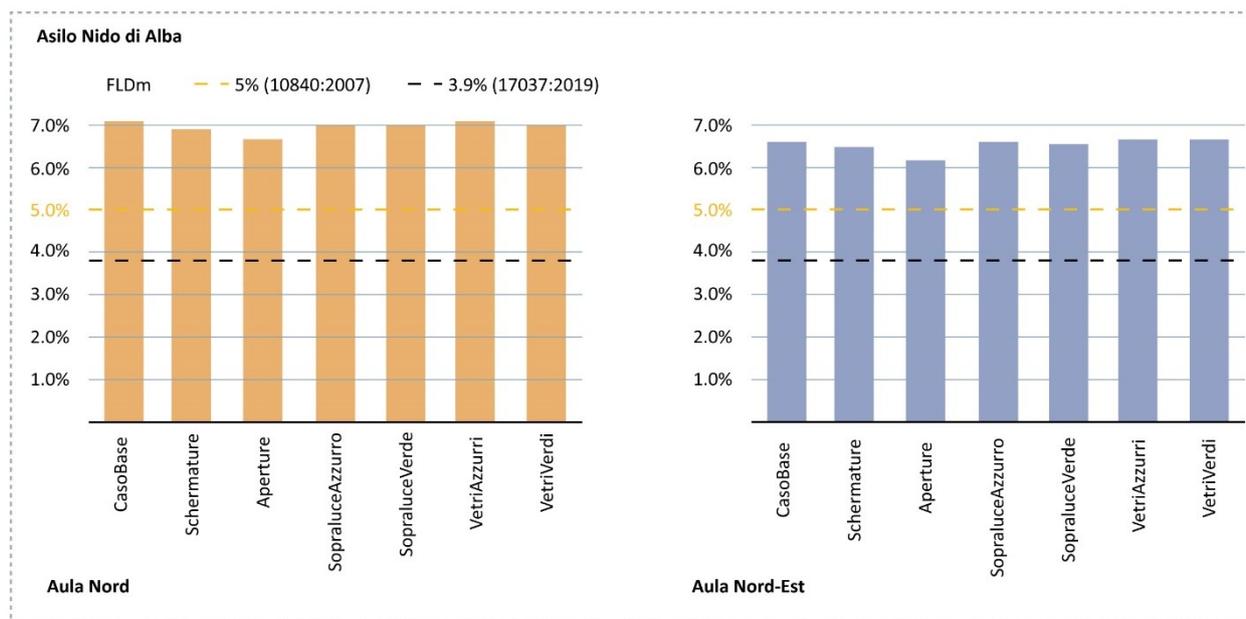


Figura 40_Grafico FLD_m o DF secondo caso studio (mia elaborazione)

È possibile osservare che tutti i casi base, ossia la versione del progetto esecutivo dei diversi casi studio, rispettano e soddisfano sempre i requisiti imposti dalla UNI 10840 del 2007, mentre, le ipotesi e le variazioni introdotte in quest'analisi sul caso nr.1, scuola di Sestri Levante, non soddisfano sempre i requisiti minimi delle normative di settore cogenti.

I risultati ottenuti sono in parte attesi, nello specifico non si raggiunge l'obiettivo prefissato dalla 10840 nella scuola materna quando si elimina il sopraluce, ottenendo un FLD_m del 4,2%, risultato comprensibile poiché l'apertura in esame è di dimensioni molto elevate e dunque appare evidente che la quantità di luce a cui consente l'ingresso è notevole, ciononostante rispetta il requisito della 17037 del 2019.

Nell'asilo del medesimo edificio l'unica ipotesi progettuale che non soddisfa nessuno dei due requisiti è quella in cui si elimina il sopraluce presente in facciata. Bisogna tuttavia ricordare che l'ambiente in esame si colloca in adiacenza al cortile ed è dunque più che ragionevole ammettere che eliminare il sopraluce, superficie vetrata di notevoli dimensioni, possa comportare il non raggiungimento della soglia richiesta del fattore medio di luce diurna.

Nell'asilo di Alba invece tutti i casi analizzati riescono ampiamente a verificare il requisito più stringente del 5,0%, ciò è in parte sicuramente dettato dal tipo di vetro impiegato e dalla presenza delle ampie aperture che permettono il raggiungimento del rapporto aeroilluminante (RAI) pari a 0.72 nel caso base dell'analisi e 0.29 nel caso in cui si diminuiscono le superfici vetrate delle aule. È importante sottolineare che anche nel caso più svantaggioso, ossia quando la percentuale delle

superfici vetrate si riduce notevolmente, il rapporto aeroilluminante rimane comunque molto elevato rispetto ai minimi, citati dalla normativa vigente, fissati ad 1/8, ossia 0.125.

Le figure 41 e 42 si riferiscono allo Spatial Daylight Autonomy (sDA), che secondo il protocollo LEED risulta: 0 punti se $sDA < 40\%$, 1 punto se $40\% < sDA < 55\%$, 2 punti se $55\% < sDA < 75\%$, 3 punti se $sDA > 75\%$. In tutti i casi analizzati, base e no, lo sDA risulta essere 100% e quindi con l'attribuzione del punteggio massimo.

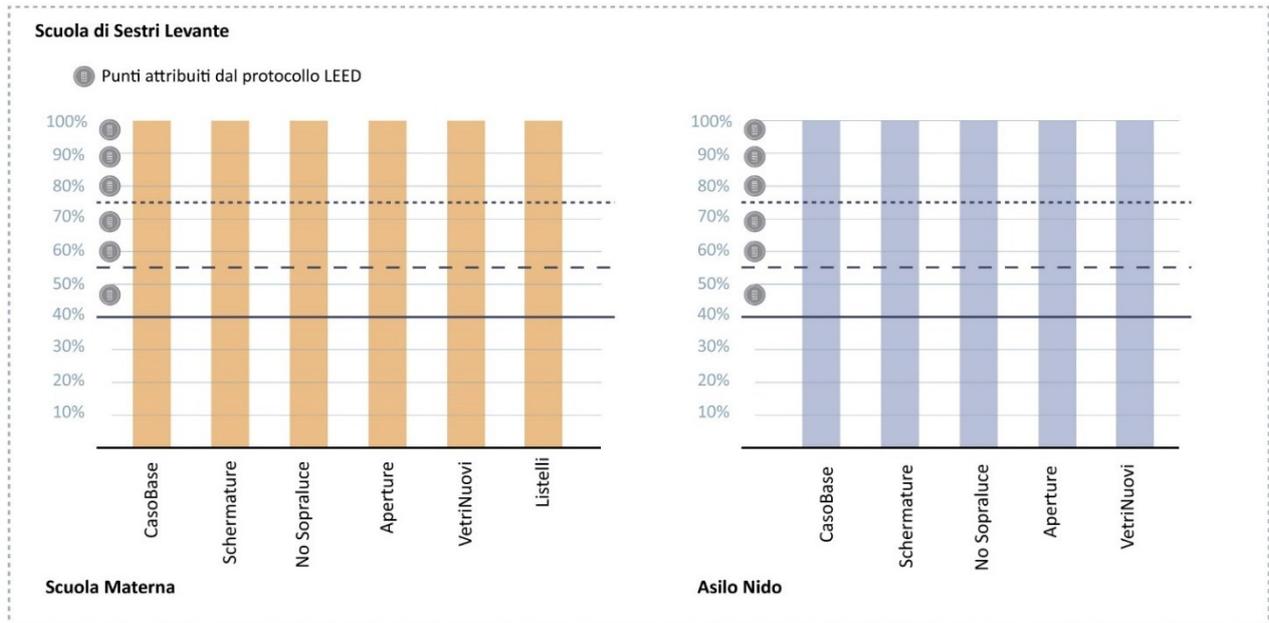


Figura 41_Grafico sDA primo caso studio (mia elaborazione)

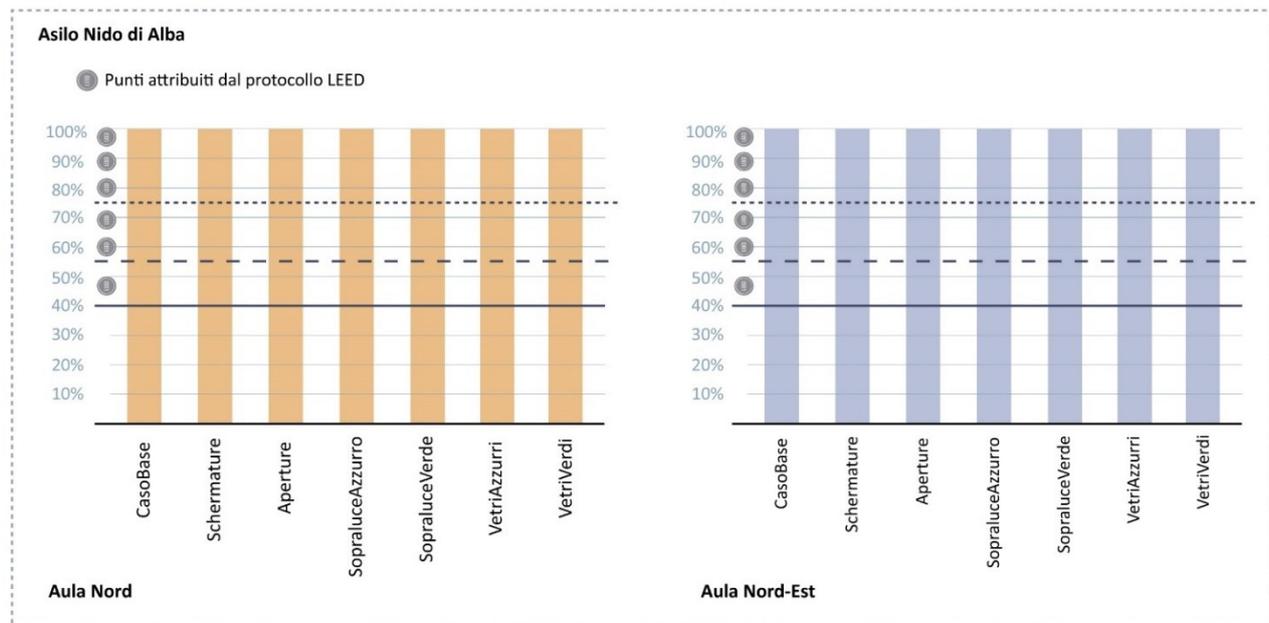


Figura 42_Grafico sDA secondo caso studio (mia elaborazione)

Nelle figure 43 e 44 viene riportato l'Annual Sunlight Exposure (ASE), per il protocollo LEED gli spazi che hanno un valore di questa metrica maggiore del 10% hanno l'obbligo di identificare come viene affrontato il problema dell'abbagliamento. Ogni ambiente analizzato, sia nelle versioni reali che nelle ipotesi progettuali, presenta tende oscuranti ed è stata indicata la percentuale di utilizzo secondo l'occupazione e la necessità degli utenti.

Nessun ipotesi della scuola di Sestri Levante rimane sotto la soglia del 10%, anzi, nell'aula della scuola materna i valori sono molto elevati se paragonati all'asilo nido presente nello stesso edificio. Il motivo principale per cui si hanno valori molto diversi è dato dalla localizzazione spaziale delle due aule oggetto dell'analisi all'interno della medesima struttura. È da evidenziarsi il risultato ottenuto dall'ipotesi progettuale dell'aula della scuola materna in cui vengono inseriti i listelli schermanti, che evidenzia quanto essi siano necessari per abbattere notevolmente il valore dell'abbagliamento indicato dalla metrica analizzata.

Molto diversi sono invece i valori di ASE nell'asilo di Alba dove entrambe le aule analizzate e tutte le ipotesi progettuali non raggiungono il valore limite del 10%.

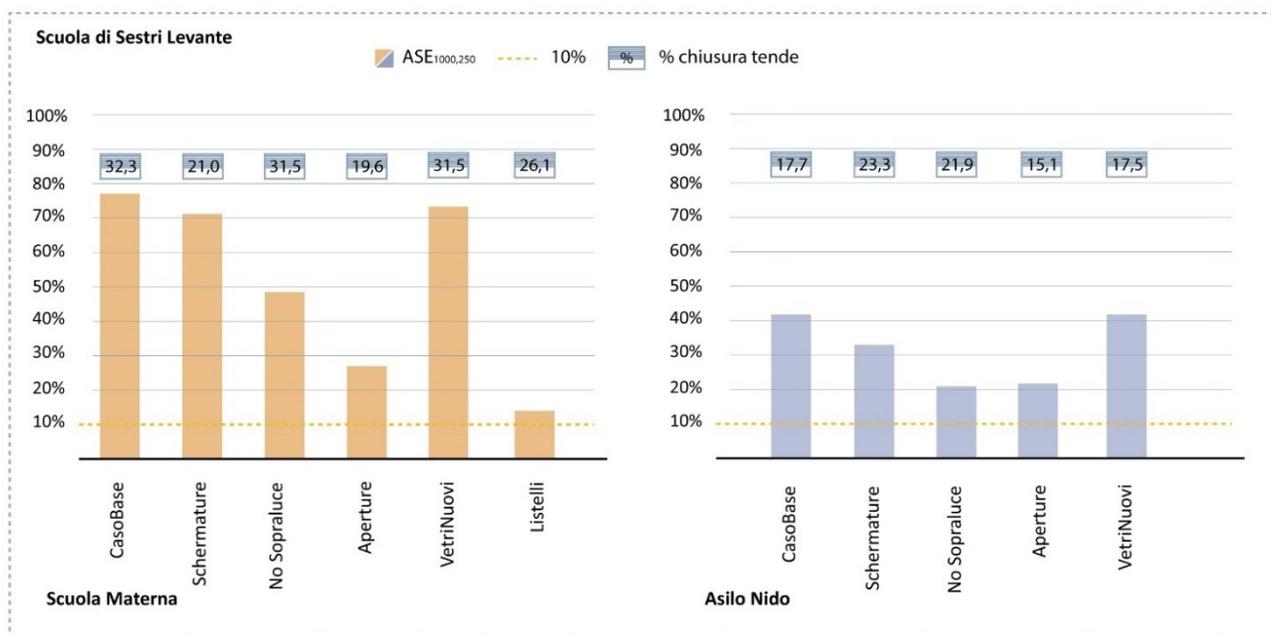


Figura 43_Grafico ASE primo caso studio (mia elaborazione)

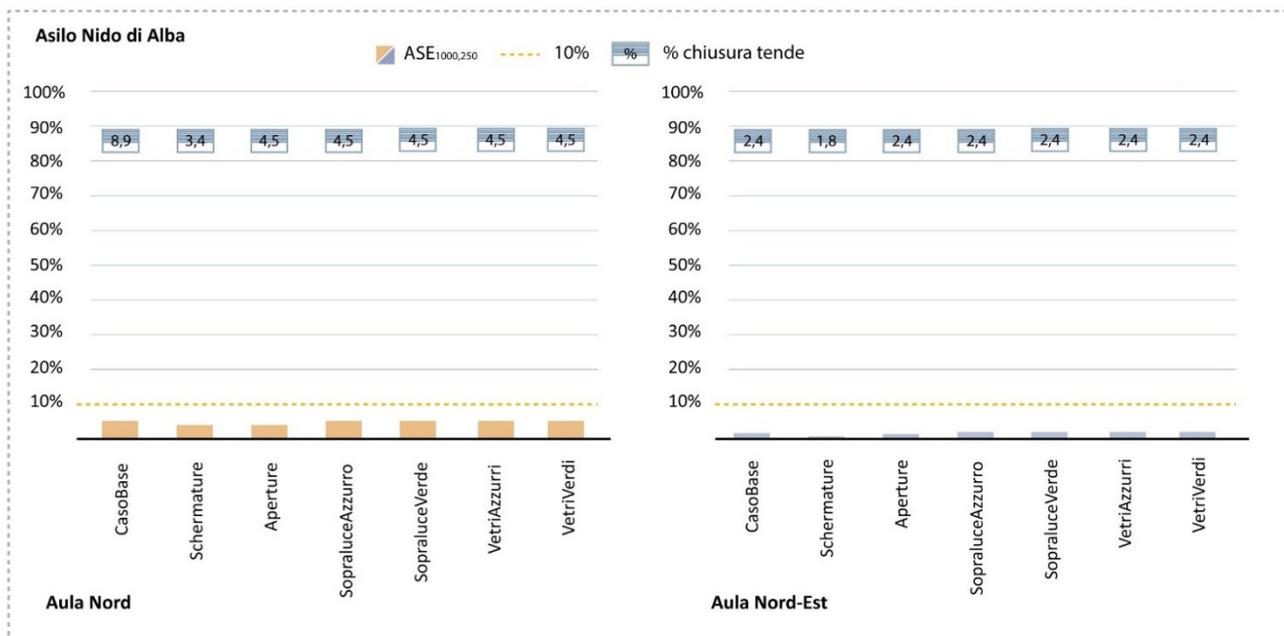


Figura 44_Grafico ASE secondo caso studio (mia elaborazione)

Le figure 45 e 46 mettono in evidenza i lux medi presenti in ambiente, questo dato è importante per riuscire a motivare più chiaramente i valori delle metriche analizzate.

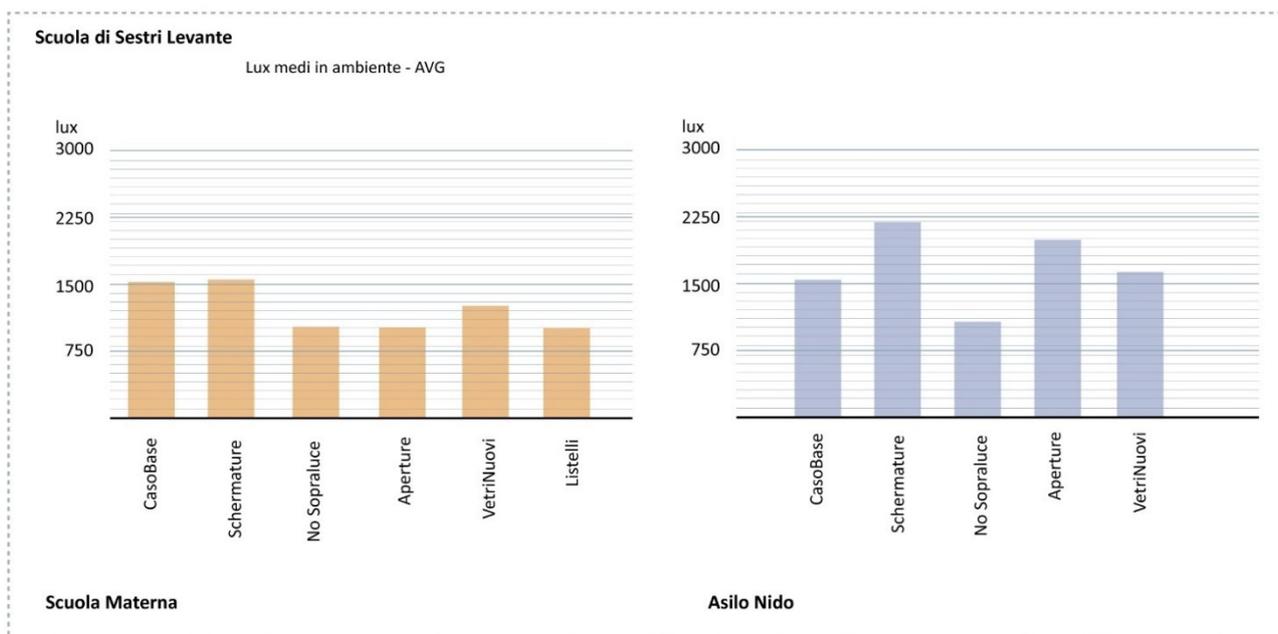


Figura 45_Grafico lux medi primo caso studio (mia elaborazione)

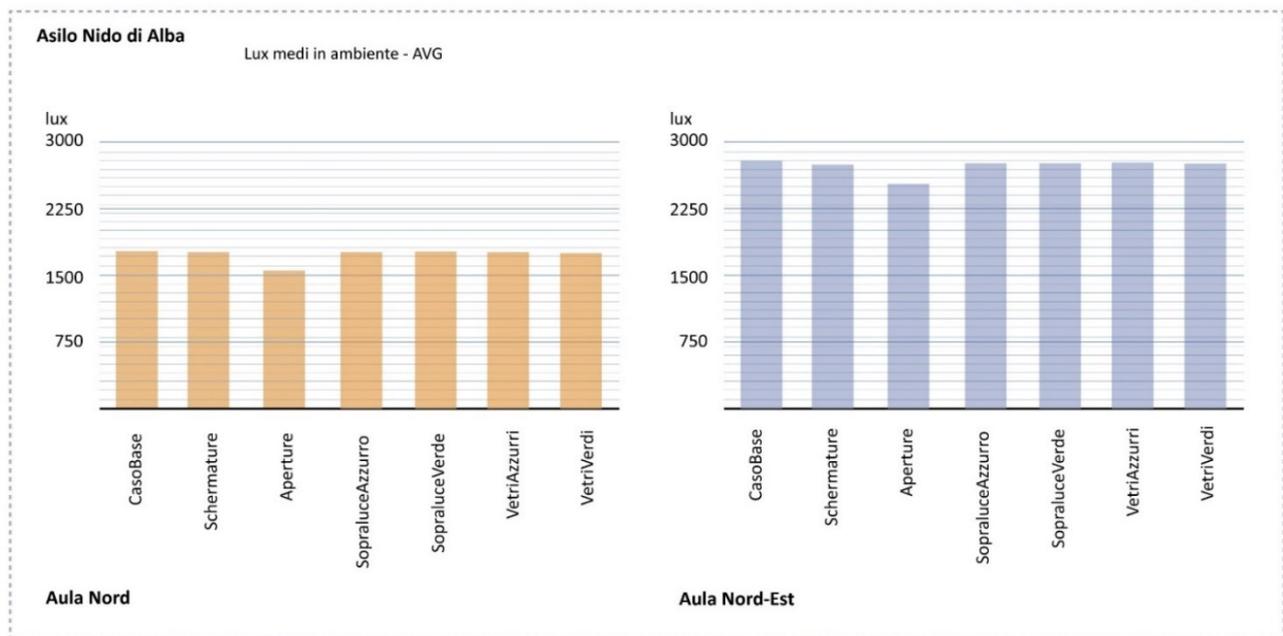


Figura 46_Grafico lux medi secondo caso studio (mia elaborazione)

Le figure 47 e 48 mostrano i risultati per la verifica della normativa 17037:2019 e del Decreto 23/06/2022 dei requisiti dei Criteri Ambientali Minimi. In particolare si è posta l'attenzione sull'illuminazione naturale che come criteri di verifica, nelle scuole materne e negli asili nido, richiede due requisiti principali: dev'essere garantito un livello di illuminamento da luce naturale di almeno 750 lux, verificato nel 50% dei punti di misura e 500 lux verificato nel 95% dei punti di misura, per almeno la metà delle ore di luce diurna. Per poter analizzare in modo completo le richieste del Decreto sono stati studiati gli ambienti e riportate le percentuali di ore per entrambi i requisiti, evidenziando quando sia l'uno che l'altro risultano verificati.

Nel primo caso studio, in particolare nell'aula della scuola materna quando si elimina il sopraluce, si ridimensionano le aperture e si introducono i listelli schermanti non vengono verificati i requisiti minimi mentre, nell'aula dell'asilo dello stesso edificio si ha la medesima situazione solo quando si elimina il sopraluce.

Diversi sono i risultati ottenuti dall'analisi dell'asilo di Alba, situazione in cui, qualsiasi ipotesi progettuale verifica i requisiti del Decreto analizzato con un minimo del 75% delle ore sia per il target illumination che per il minimum illumination.

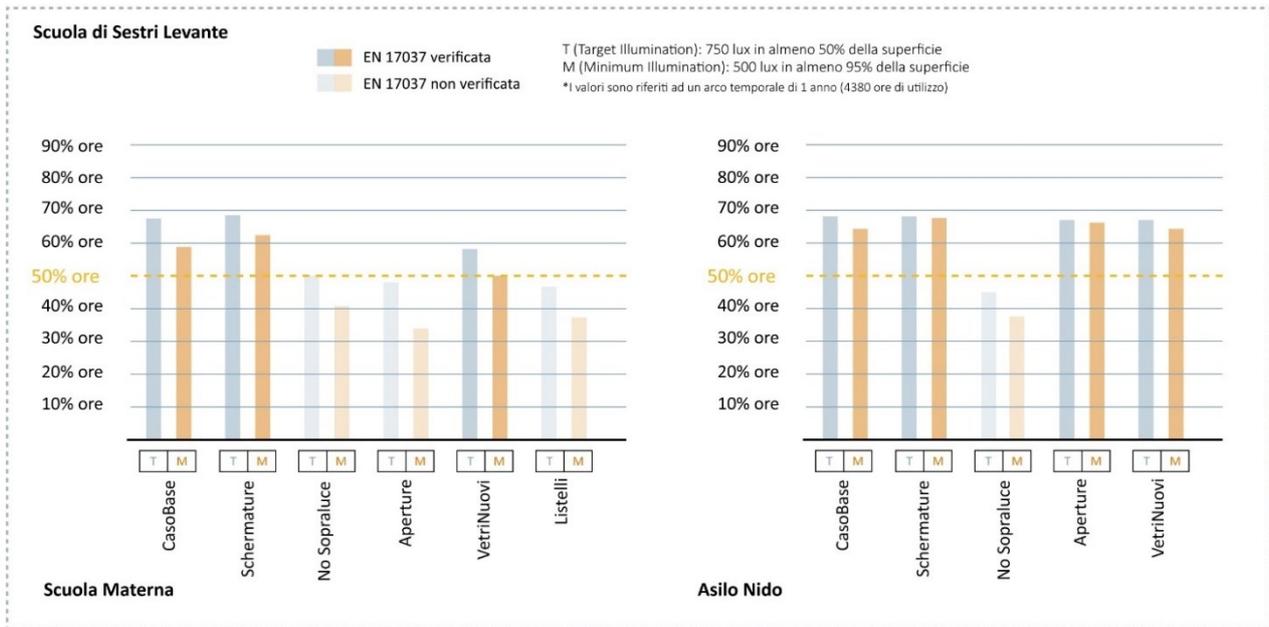


Figura 47_Grafico normativa 17037:2019 primo caso studio (mia elaborazione)

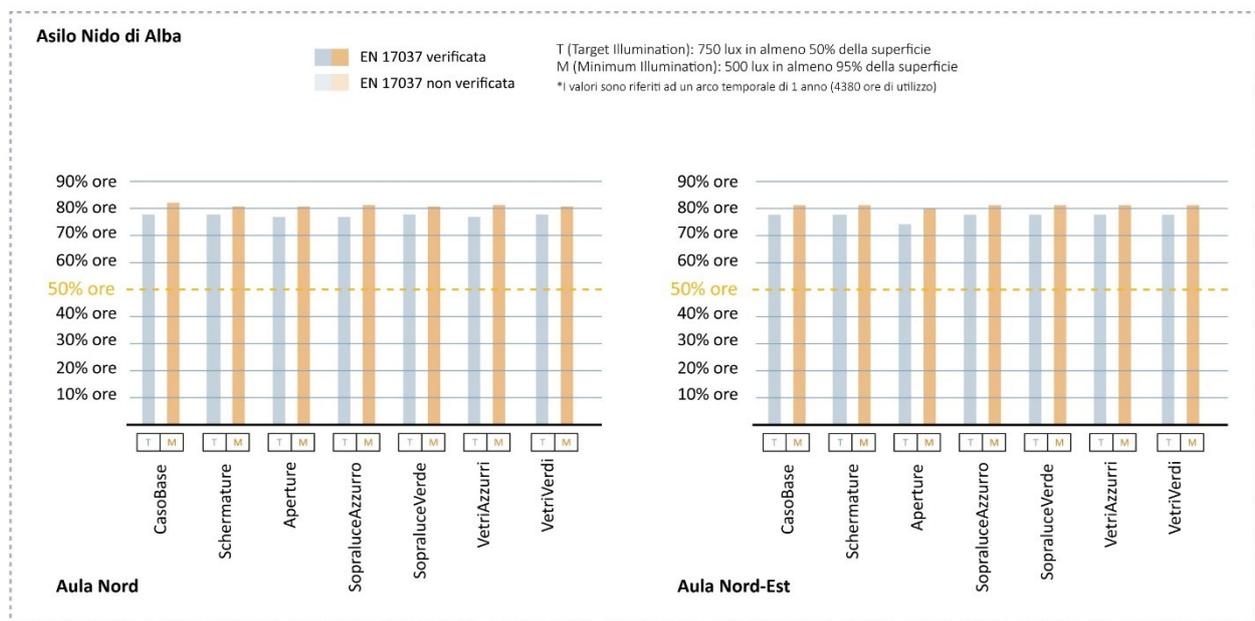


Figura 48_Grafico normativa 17037:2019 secondo caso studio (mia elaborazione)

Il protocollo WELL assegna per la “Feature 03 - Circadian Lighting Design, Progettazione illuminotecnica – aspetti circadiani” fino ad un massimo di 3 punti nel caso in cui in ambiente si registrino almeno 250 mel-EDI e 1 punto se ne vengono registrati 163 avendo $sDA > 75\%$. Nel caso più sfavorevole, ossia quando non si verificano almeno 163 mel-EDI, il protocollo non assegna alcun punto per la corrente Feature.

Le figure 49 e 50 mostrano i risultati delle simulazioni effettuate sui casi studio e le relative ipotesi progettuali soltanto nei giorni in cui si registrano delle differenze tra essi, vengono quindi esclusi il 21 giugno, in condizioni di cielo sereno e coperto, e il 20 marzo, con cielo coperto, giornate in cui tutte le analisi raggiungono invece i 3 punti assegnati dal protocollo. In tutte le simulazioni effettuate si registrano valori di mel-EDI non soddisfacenti per l’assegnazione del massimo del punteggio nel giorno 21 dicembre alle ore 9 in condizioni di cielo coperto. In particolare, ponendo maggiore attenzione alla scuola di Sestri Levante, è evidente come nel caso dell’aula dedicata all’asilo nido aumentino notevolmente gli orari e i giorni in cui non vengono raggiunti i 250 mel-EDI nonostante il cielo sereno. In generale, nelle aule analizzate del suddetto edificio, emerge che nella giornata del 21 dicembre alle ore 15 con cielo coperto, in tutte le simulazioni dell’aula dei divezzi e in numerose della scuola materna, non si raggiungano i valori necessari per il punteggio massimo. Nell’ambiente dedicato ai divezzi, nella giornata citata, alle ore 9 non siano soddisfatti i requisiti nemmeno per l’assegnazione del punteggio minimo, corrispondente ad almeno 163 mel-EDI e $sDA > 75\%$.

Gli ambienti analizzati di Alba sono molto simili tra loro anche a livello melanopico, non viene infatti raggiunto il massimo dei 3 punti alle ore 9 del 21 dicembre, ma quantomeno in numerose alternative progettuali si arriva al minimo di 1 punto poiché i valori di sDA e mel-EDI soddisfano le sopracitate soglie.

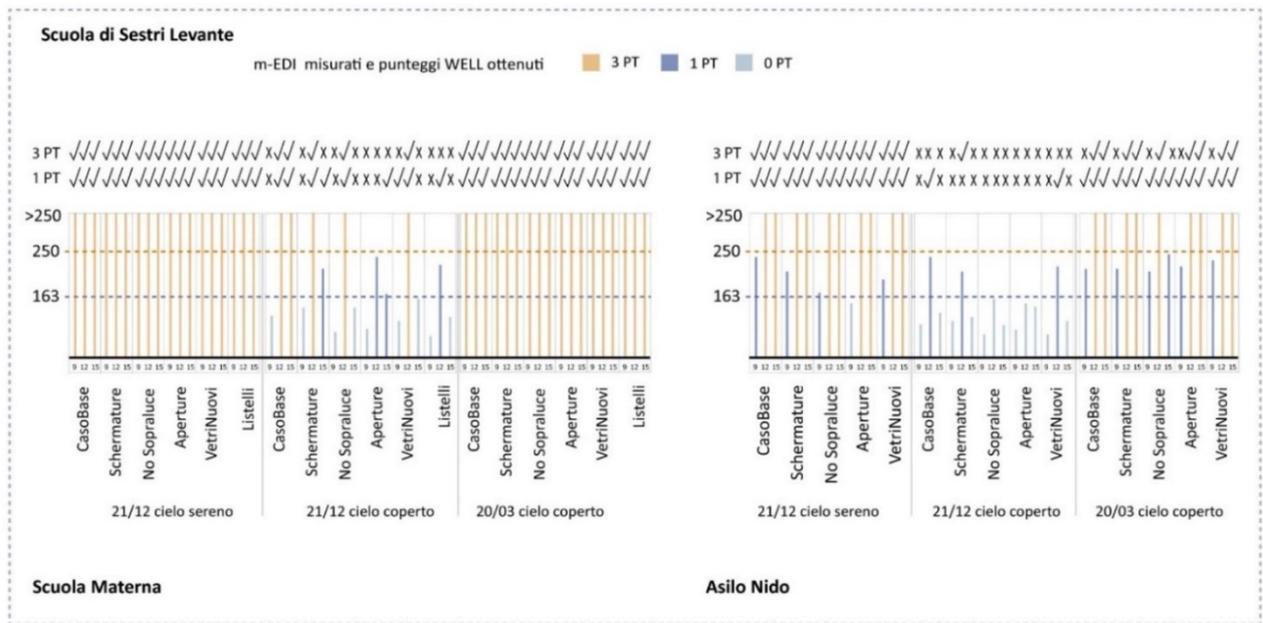


Figura 49_Grafico mel-EDI primo caso studio (mia elaborazione)

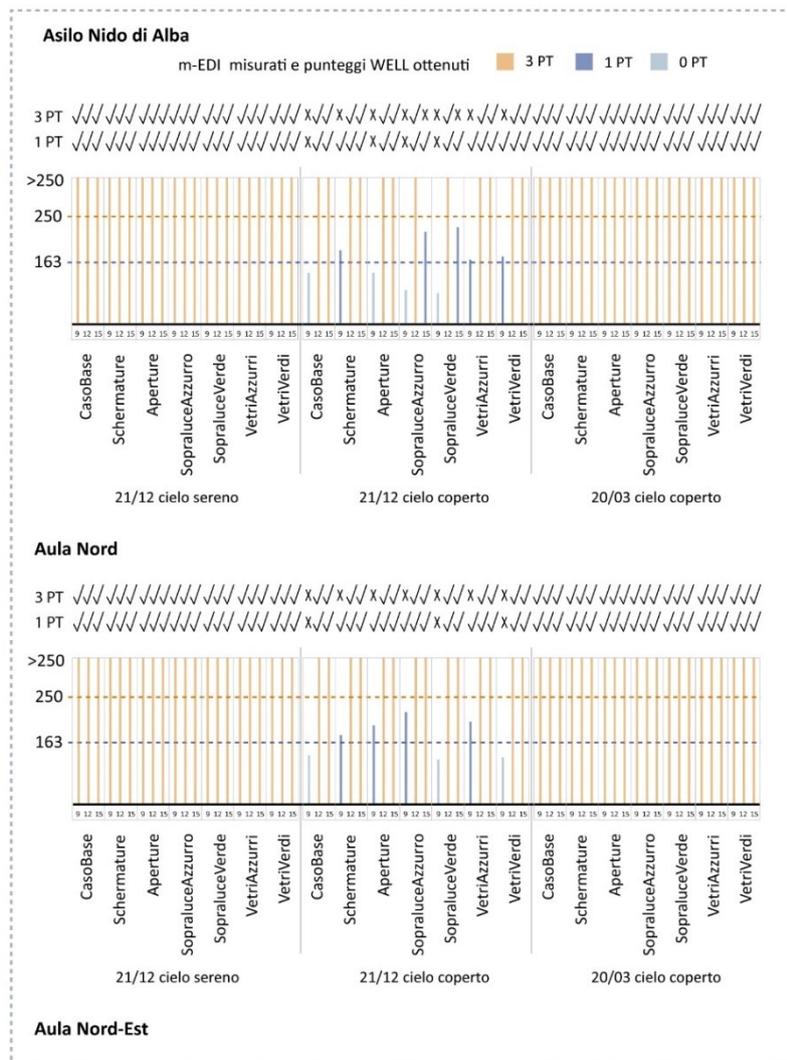
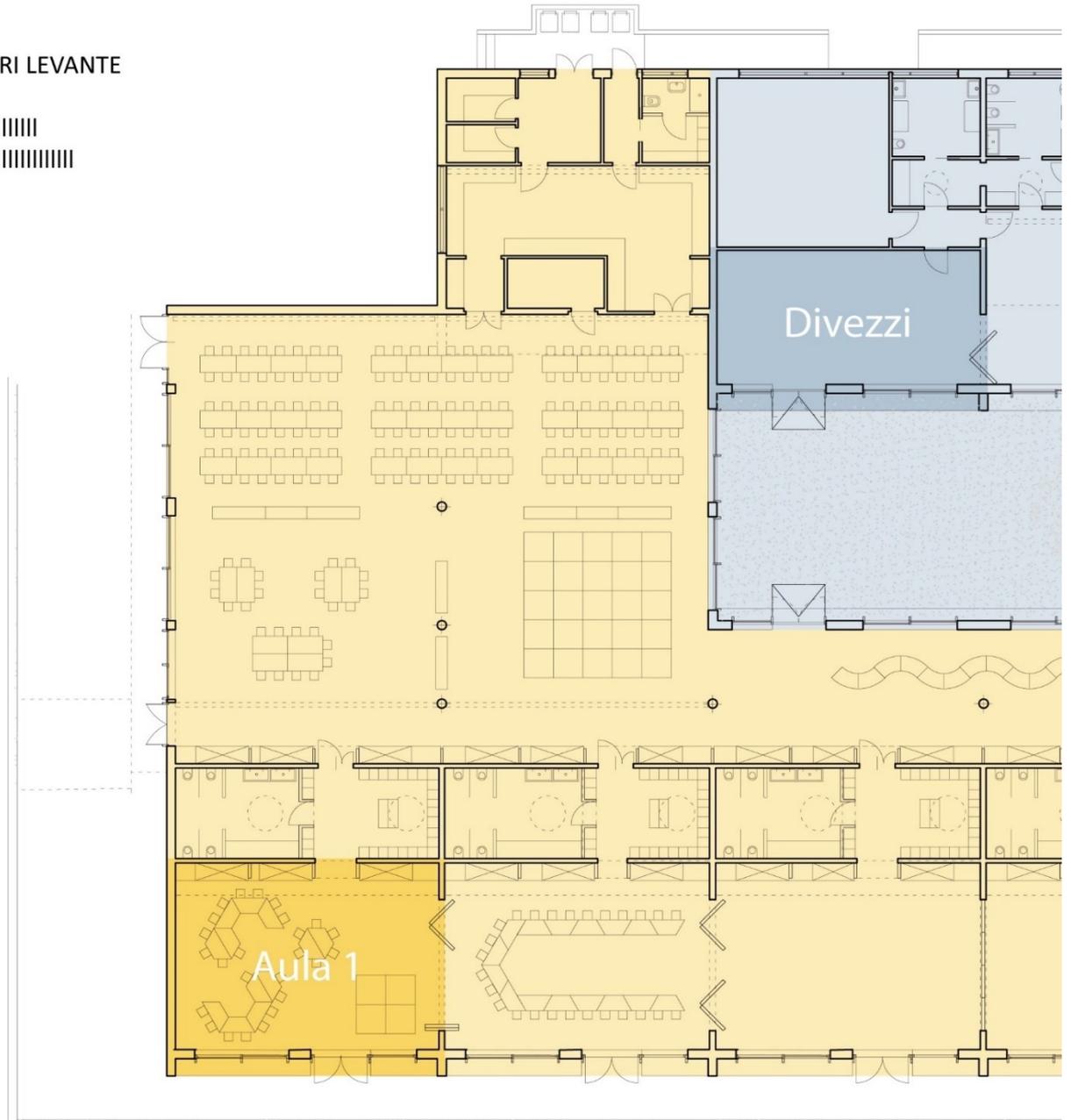
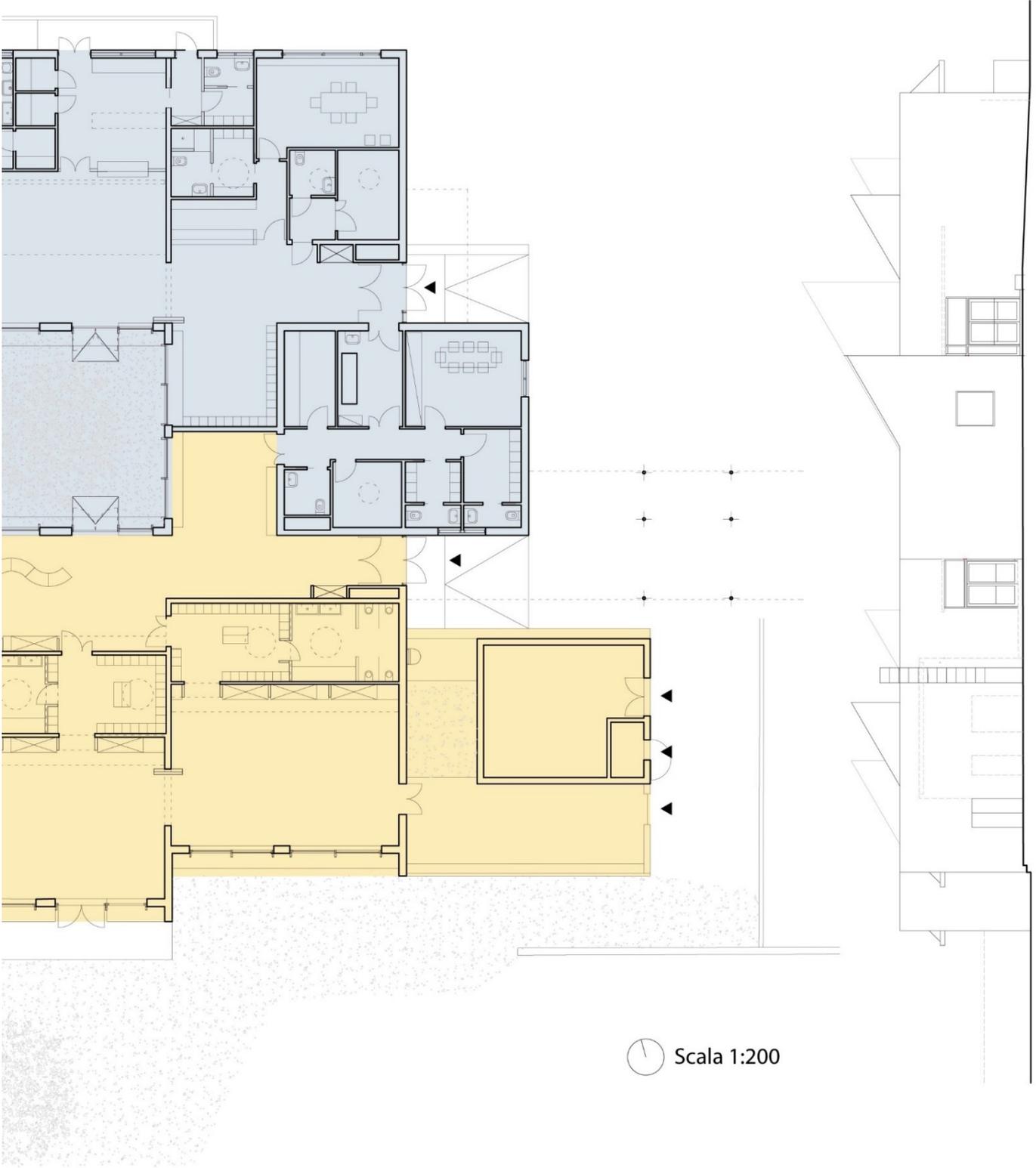


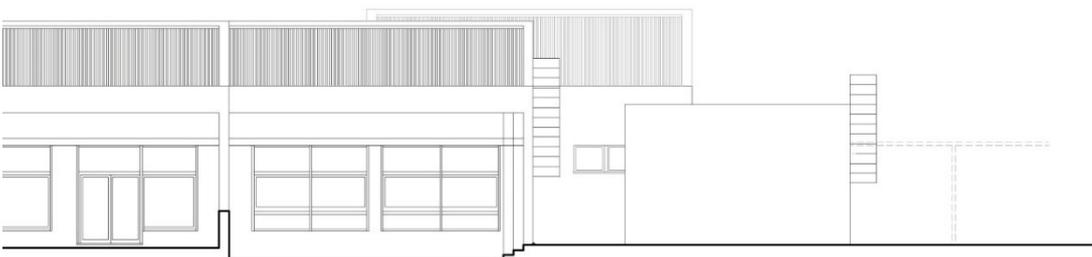
Figura 50_Grafico mel-EDI secondi caso studio (mia elaborazione)

SCUOLA SESTRI LEVANTE

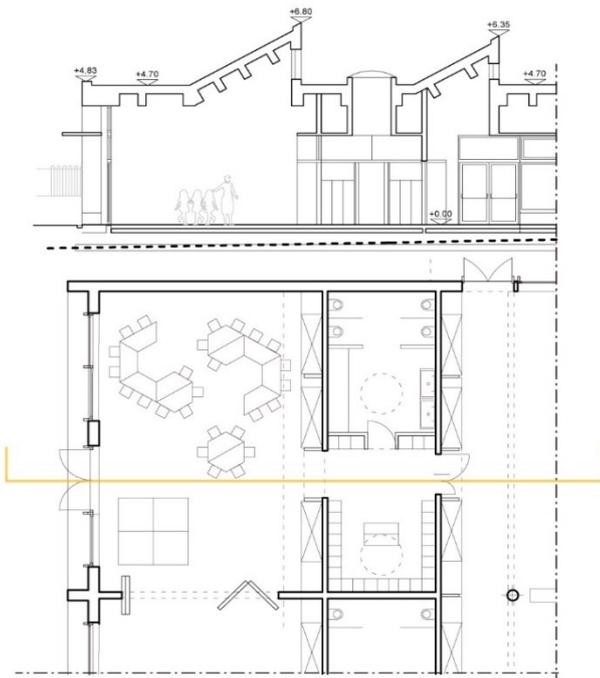




Scala 1:200

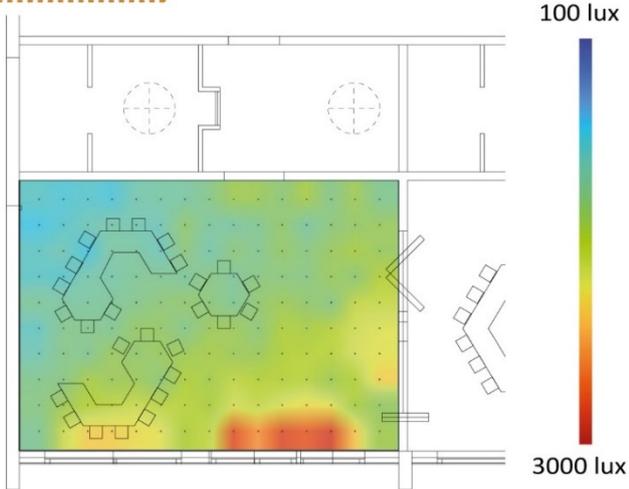


Analisi del caso base



Scala 1:100

UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
68.40% ore	61.07% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

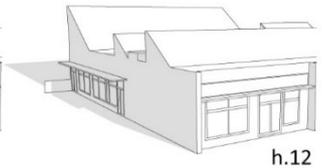
SW_{open}: 18.6 m²
 Sw: 25.74 m²
 SW_{glazing}: 21.64 m²

S_{floor}: 52,76 m²
 SW_{open}/S_{floor}: 0.35
 Sw/S_{floor}: 0.49
 SW_{glazing}/S_{floor}: 0.41

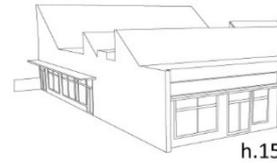
21 dicembre



h.9



h.12

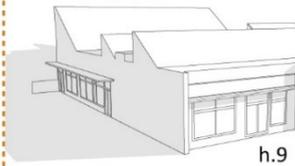


h.15

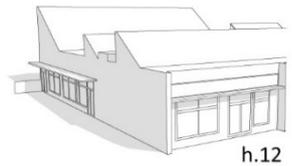
Clear Sky
 h.9: 1914 lux
 h.12: 8702 lux
 h.15: 3337 lux

Overcast Sky
 h.9: 137 lux
 h.12: 391 lux
 h.15: 251 lux

20 marzo



h.9



h.12

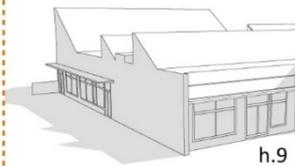


h.15

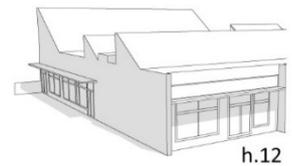
Clear Sky
 h.9: 2945 lux
 h.12: 8516 lux
 h.15: 5488 lux

Overcast Sky
 h.9: 449 lux
 h.12: 746 lux
 h.15: 616 lux

21 giugno



h.9



h.12

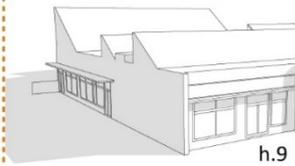


h.15

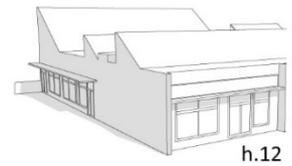
Clear Sky
 h.9: 1379 lux
 h.12: 2117 lux
 h.15: 1667 lux

Overcast Sky
 h.9: 722 lux
 h.12: 989 lux
 h.15: 855 lux

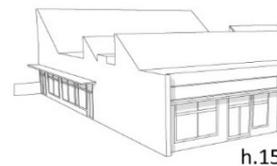
22 settembre



h.9



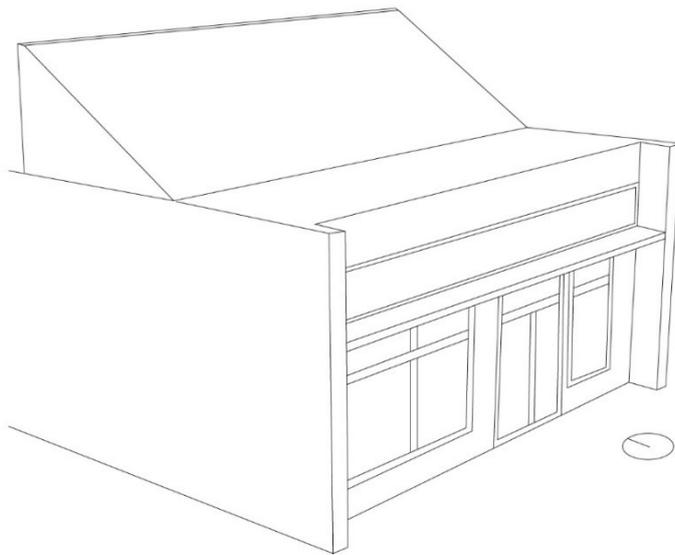
h.12



h.15

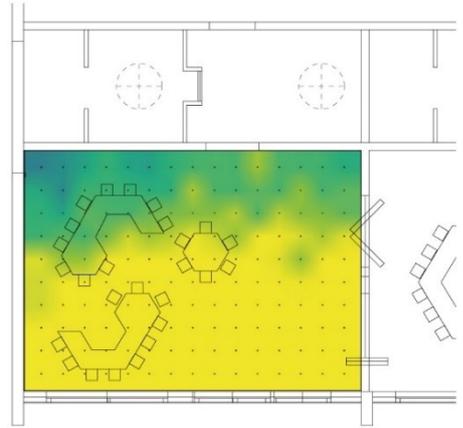
Clear Sky
 h.9: 3532 lux
 h.12: 8599 lux
 h.15: 4804 lux

Overcast Sky
 h.9: 493 lux
 h.12: 761 lux
 h.15: 587 lux



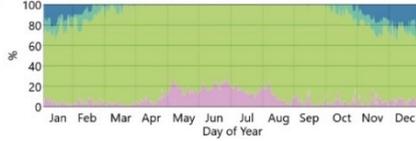
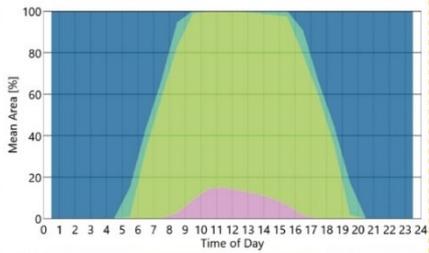
Daylight Factor (FD - FLDm) : 5,7%

Uniformità: 39%



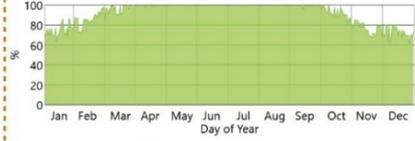
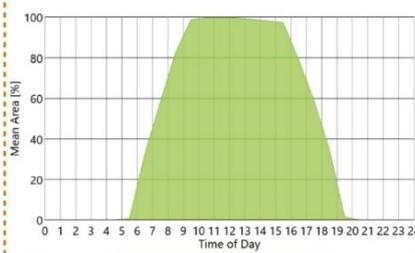
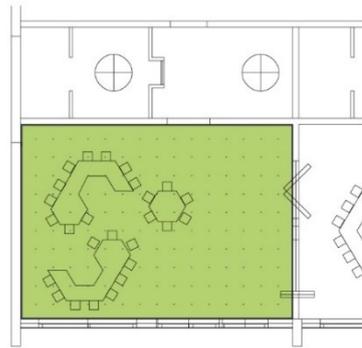
Blinds Open: 67.7%

UDI.a: 83,2%



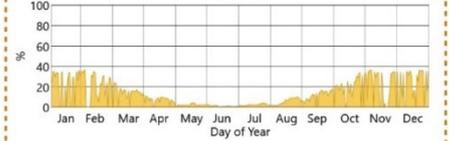
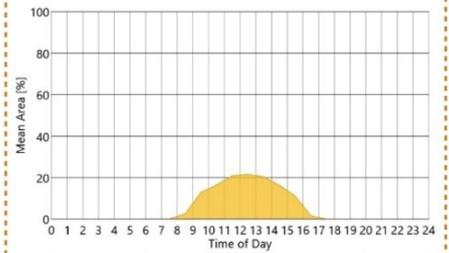
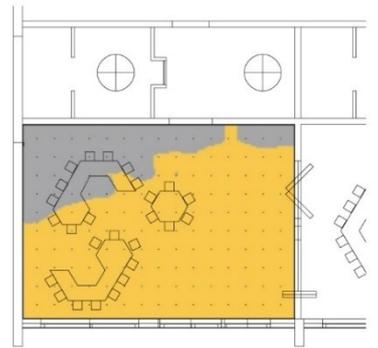
UDI.f: 4,37% UDI.s: 3,97% UDI.e: 8,90%

sDA300/50: 100,0%



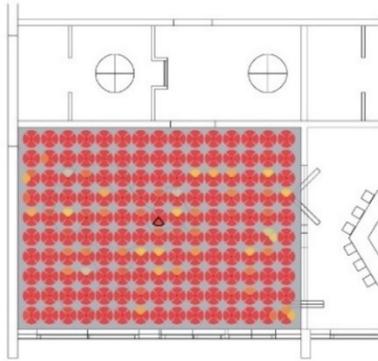
Autonomous (>300 lux)

ASE1000,250: 77,3%

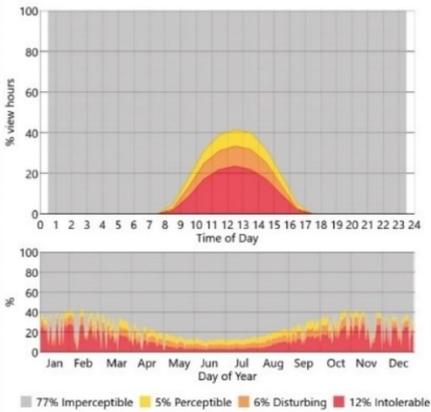
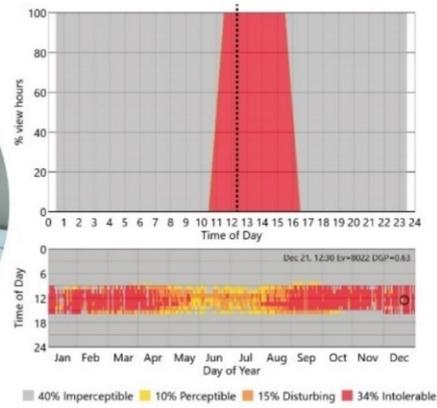


Overlit (>1000 lux direct)

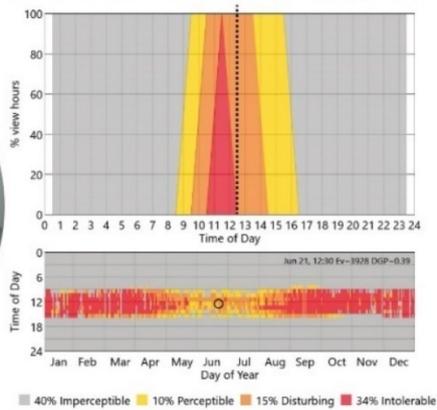
sDG: 88,7%



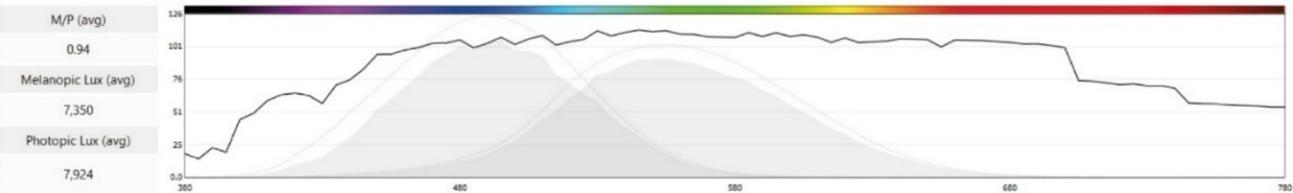
Vista 303 _21 dicembre h. 12.30



Vista 303 _21 giugno h. 12.30



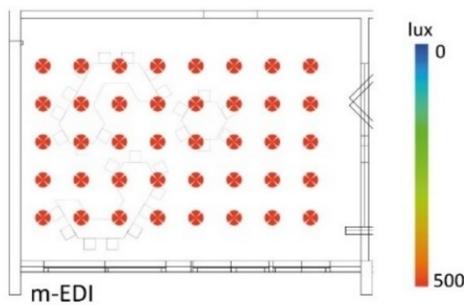
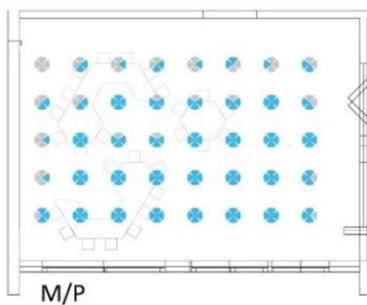
12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



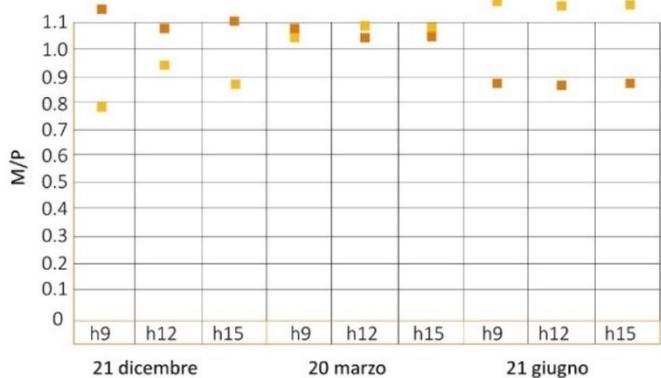
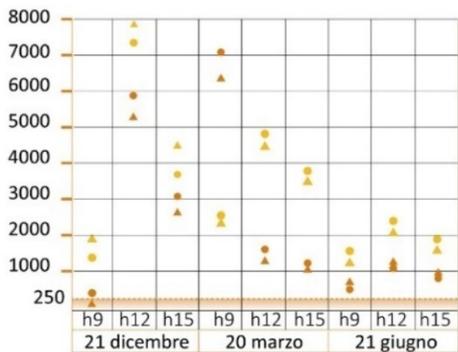
M/P Ratio 0.94

- Blue Enriched (M/P > 0.9) 74.4%
- Blue Depleted (M/P < 0.39) 0.0%
- Neither (0.35 < M/P < 0.9) 25.6%

% di viste sopra i 250 m-EDI 100%

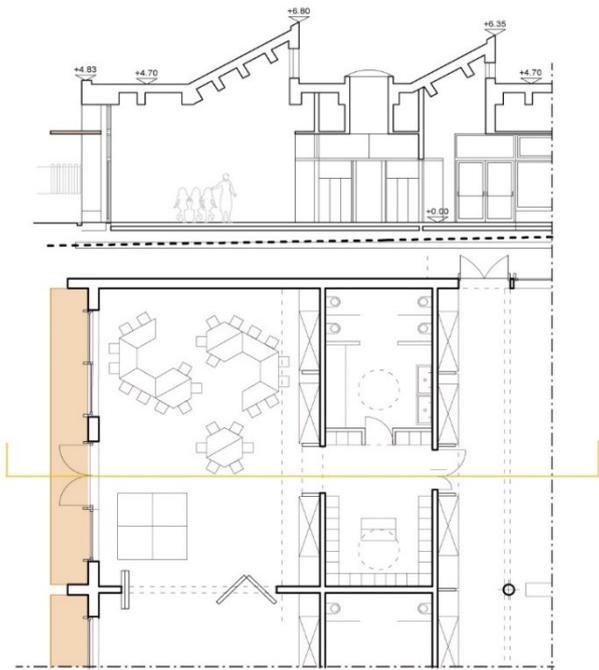


ANALISI COMPLETA ANNUALE



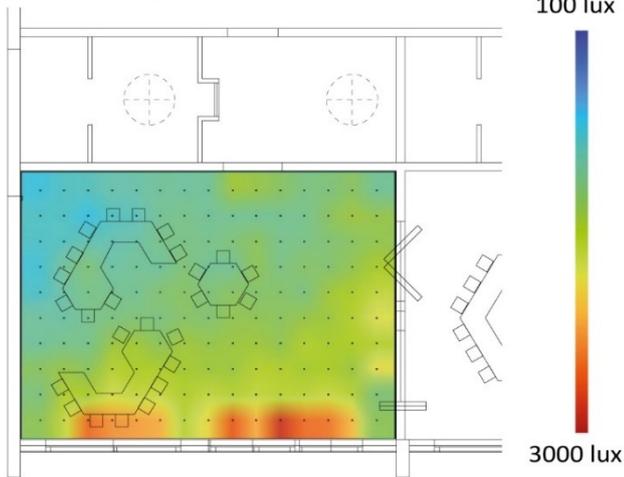
SCUOLA SESTRI LEVANTE

Analisi del caso in cui si aumentano le schermature



Scala 1:100

UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
68.84% ore	63.15% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

SW _{open} : 18.6 m ²	S _{floor} : 52,76 m ²
Sw: 25.74 m ²	SW _{open} /S _{floor} : 0.35
SW _{glazing} : 21.64 m ²	Sw/S _{floor} : 0.49
	SW _{glazing} /S _{floor} : 0.41

21 dicembre

h.9

h.12

Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 1405 lux	h.9: 101 lux
h.12: 6162 lux	h.12: 289 lux
h.15: 2473 lux	h.15: 188 lux

20 marzo

h.9

h.12

Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 1281 lux	h.9: 335 lux
h.12: 6450 lux	h.12: 553 lux
h.15: 4061 lux	h.15: 458 lux

21 giugno

h.9

h.12

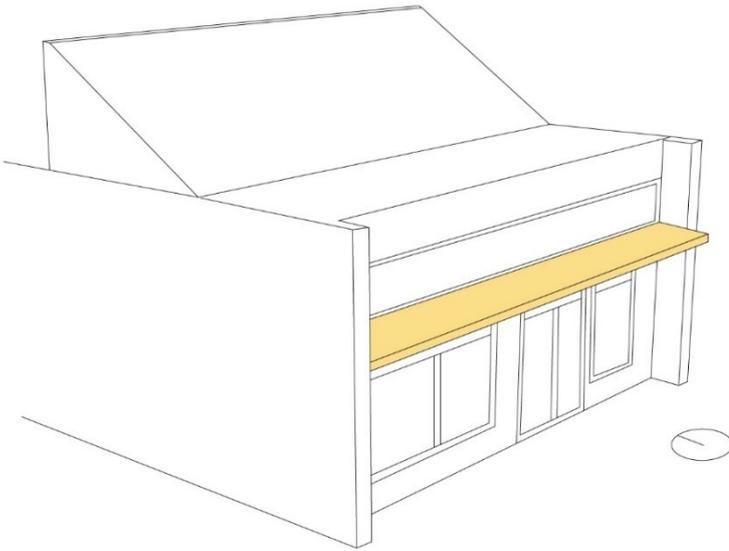
Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 1379 lux	h.9: 722 lux
h.12: 2117 lux	h.12: 989 lux
h.15: 1667 lux	h.15: 855 lux

22 settembre

h.9

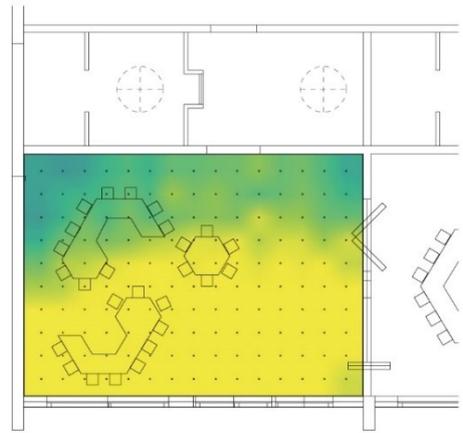
h.12

Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 3532 lux	h.9: 493 lux
h.12: 8599 lux	h.12: 761 lux
h.15: 4804 lux	h.15: 587 lux



Daylight Factor (FD - FLDm) : 5,5%

Uniformità: 45%

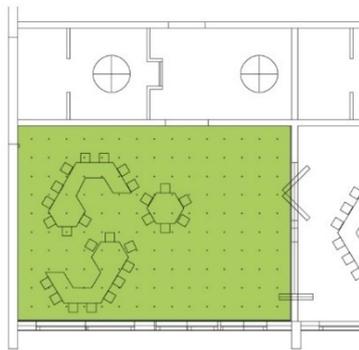


Blinds Closed: 28,6%

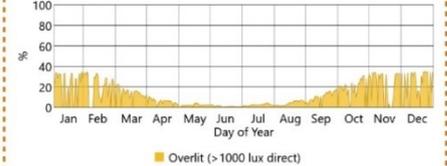
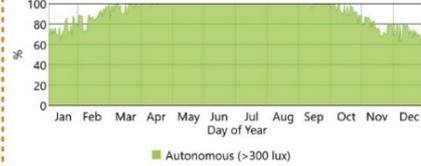
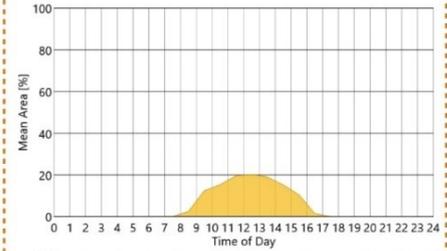
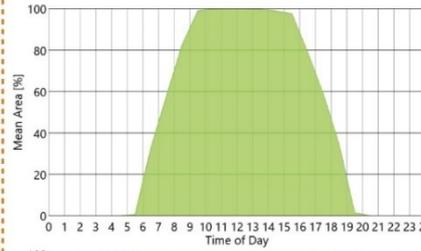
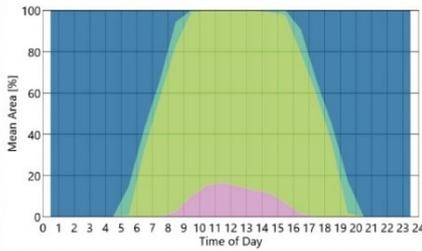
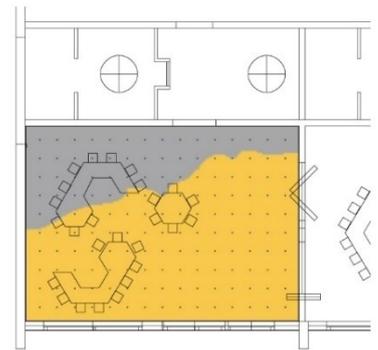
UDI.a: 82,7%



sDA300/50: 100,0%

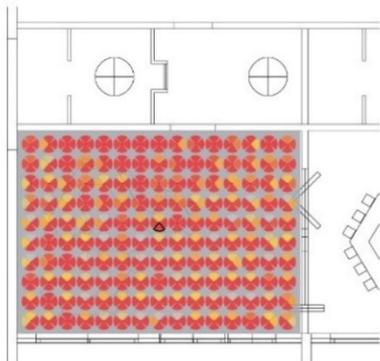


ASE1000,250: 71,3%

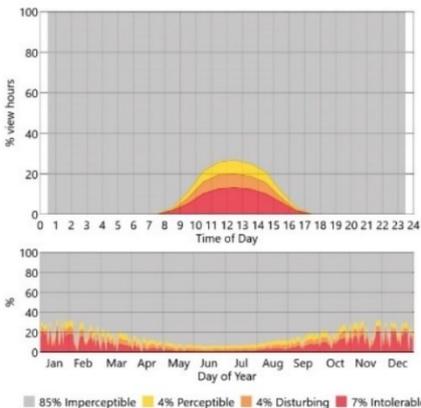
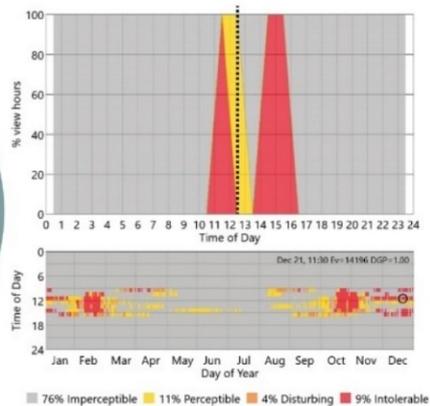


UDI.f: 4,42% UDI.s: 3,78% UDI.e: 9,03%

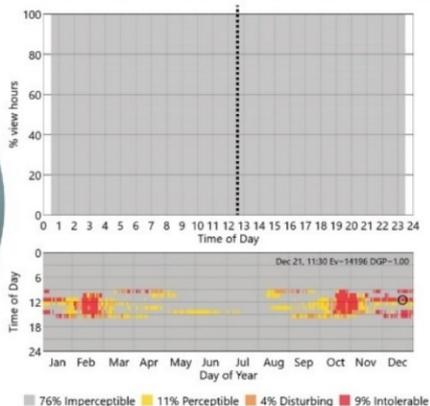
sDG: 67,0%



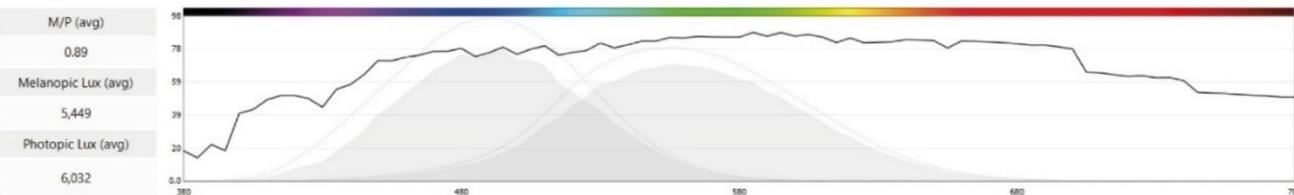
Vista 303 _ 21 dicembre h. 12.30



Vista 303 _ 21 giugno h. 12.30



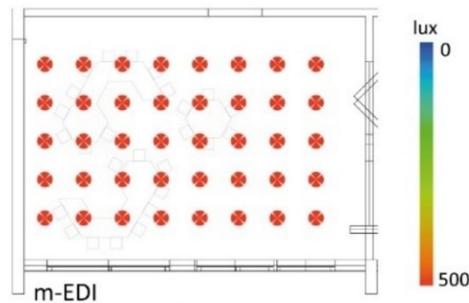
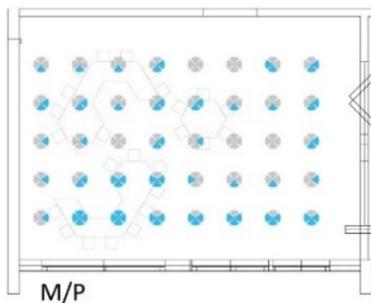
12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



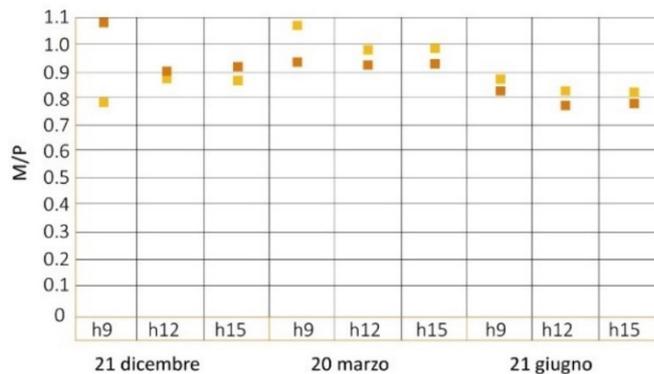
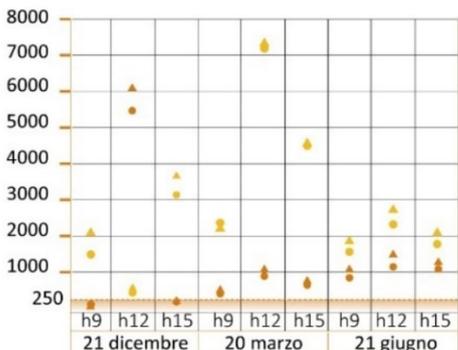
M/P Ratio 0.89

- Blue Enriched (M/P > 0.9) 41.3%
- Blue Depleted (M/P < 0.39) 0.0%
- Neither (0.35 < M/P < 0.9) 58.8%

% di viste sopra i 250 m-EDI 100%

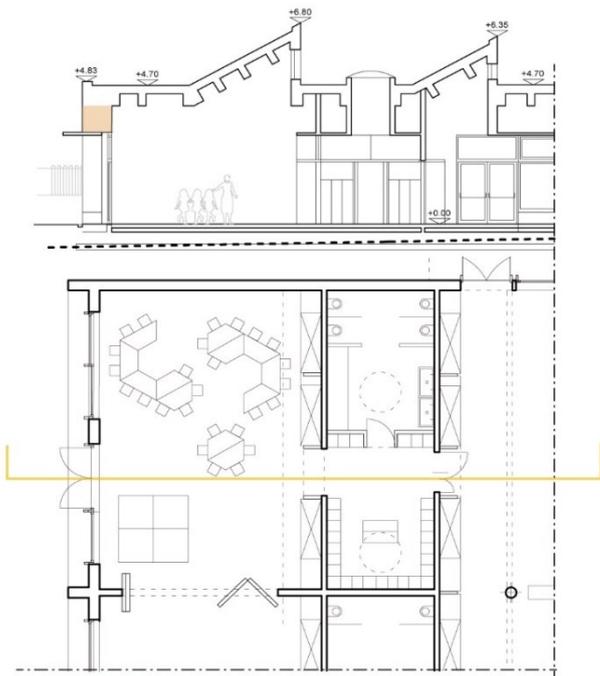


ANALISI COMPLETA ANNUALE



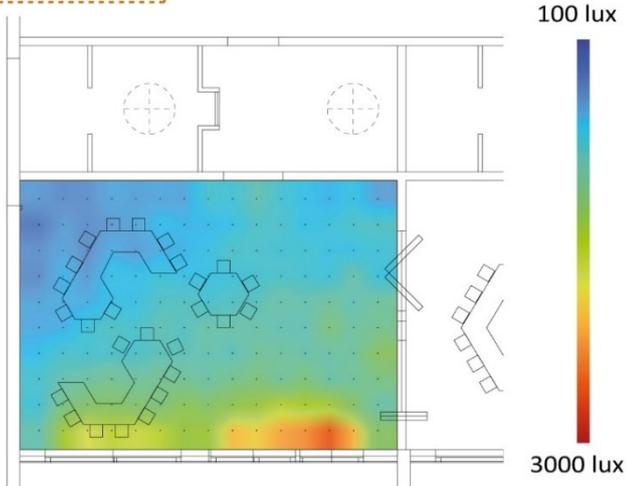
SCUOLA SESTRI LEVANTE

Analisi del caso in cui si elimina il sopraluce



Scala 1:100

UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
50.39% ore	42.35% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

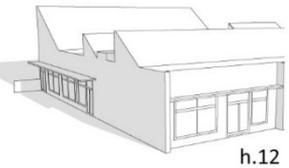
SW_{open} : 18.6 m²
 SW : 18.6 m²
 $SW_{glazing}$: 11.48 m²

S_{floor} : 52,76 m²
 SW_{open}/S_{floor} : 0.35
 SW/S_{floor} : 0.35
 $SW_{glazing}/S_{floor}$: 0.22

21 dicembre



h.9



h.12

Clear Sky

h.9: 1448 lux
 h.12: 7118 lux
 h.15: 2683 lux

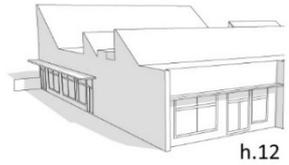
Overcast Sky

h.9: 101 lux
 h.12: 293 lux
 h.15: 187 lux

20 marzo



h.9



h.12

Clear Sky

h.9: 1680 lux
 h.12: 5420 lux
 h.15: 3800 lux

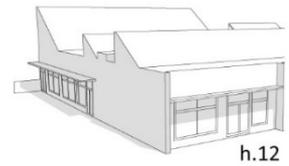
Overcast Sky

h.9: 335 lux
 h.12: 549 lux
 h.15: 456 lux

21 giugno



h.9



h.12

Clear Sky

h.9: 999 lux
 h.12: 1427 lux
 h.15: 1164 lux

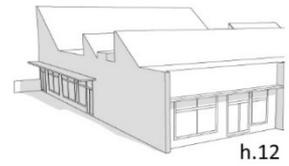
Overcast Sky

h.9: 530 lux
 h.12: 725 lux
 h.15: 638 lux

22 settembre



h.9



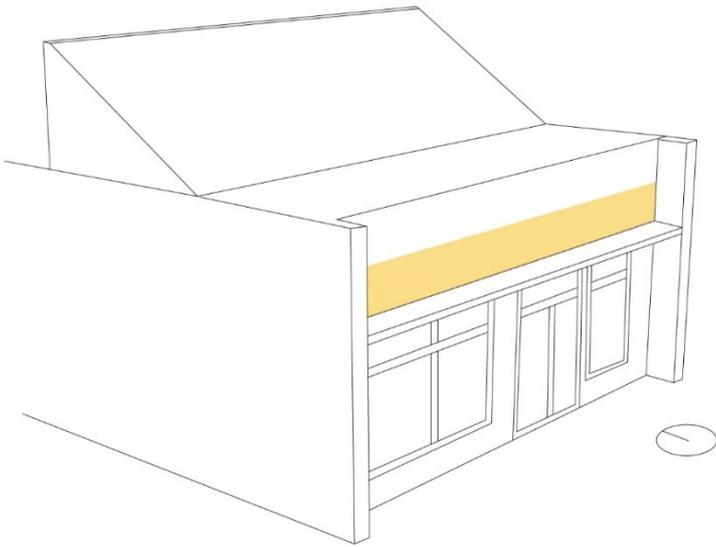
h.12

Clear Sky

h.9: 2071 lux
 h.12: 5471 lux
 h.15: 3340 lux

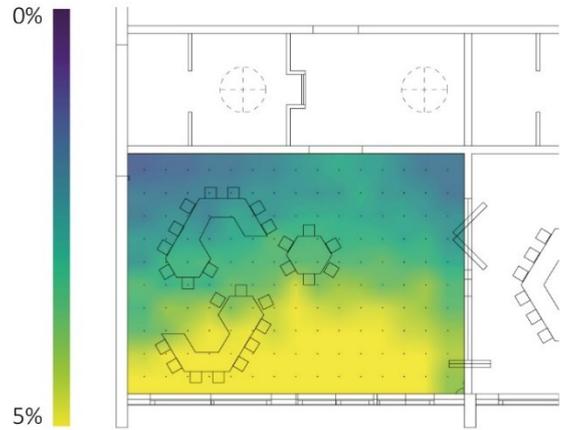
Overcast Sky

h.9: 361 lux
 h.12: 553 lux
 h.15: 435 lux



Daylight Factor (FD - FLDm) : 4,2%

Uniformità: 37%

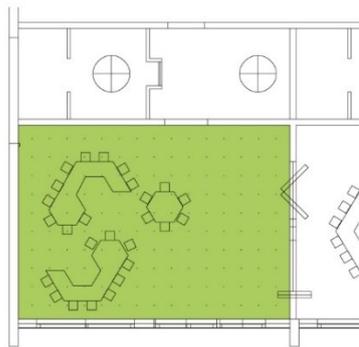


Blinds Closed: 31,5%

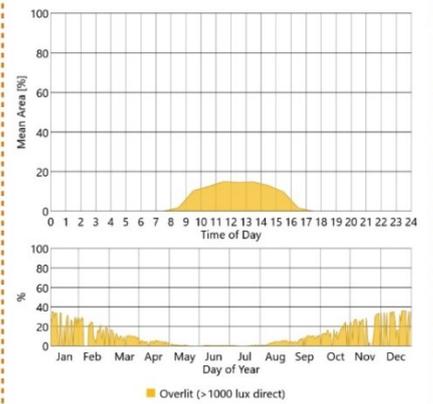
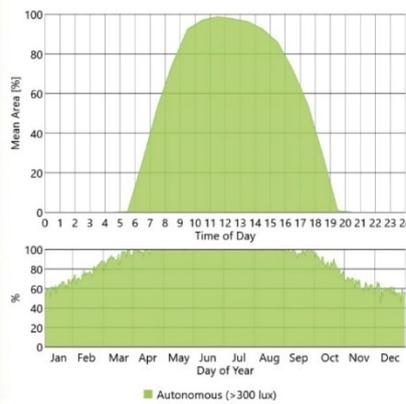
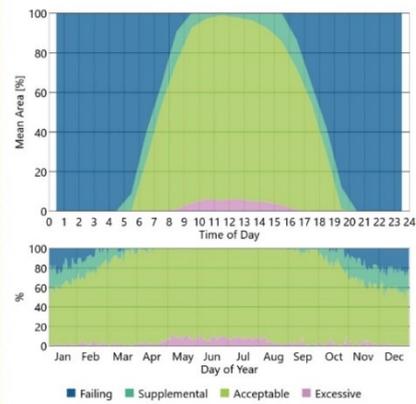
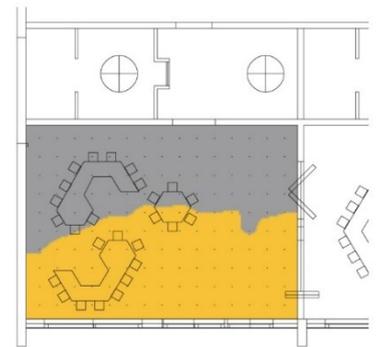
UDI.a: 83,1%



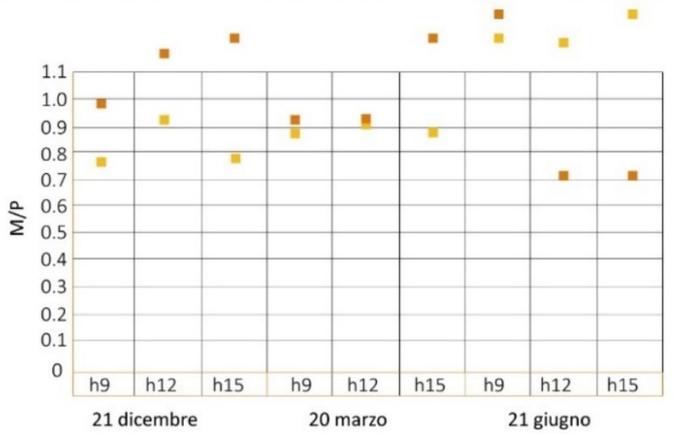
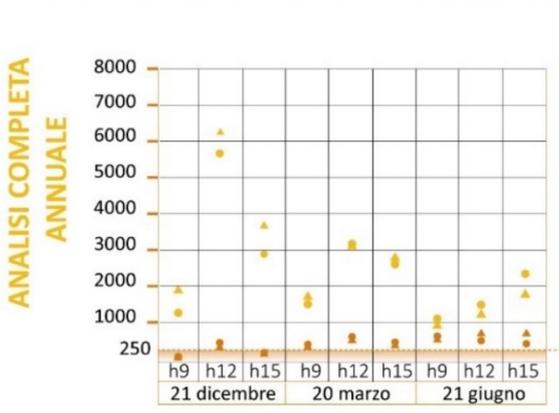
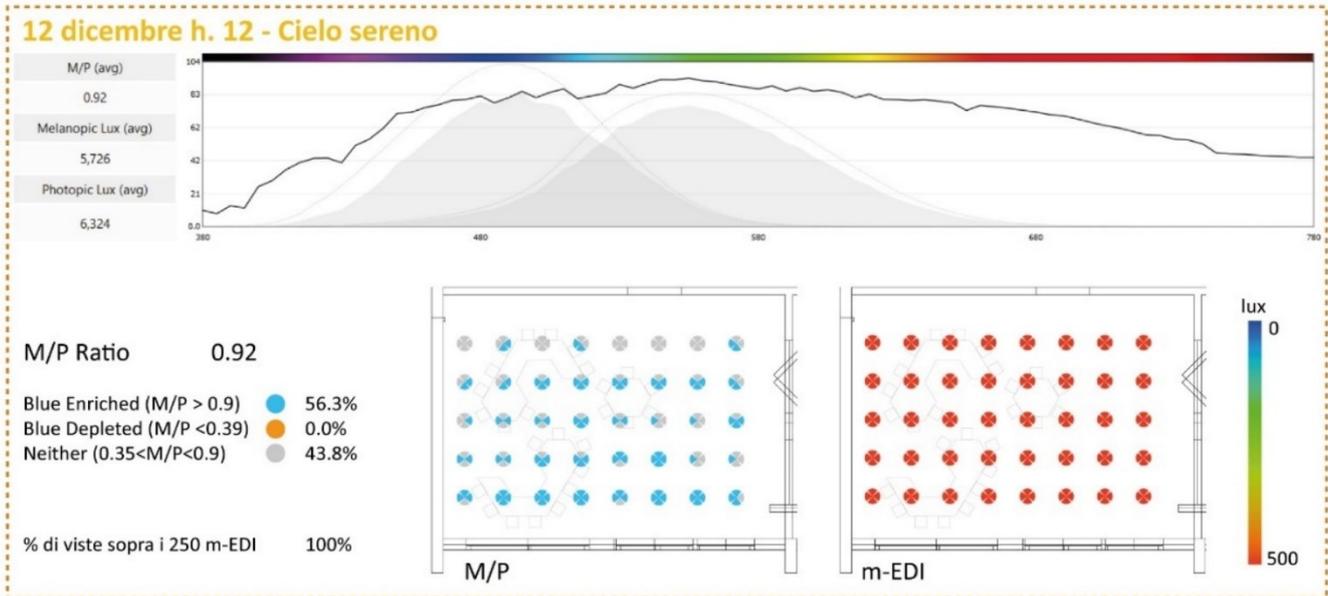
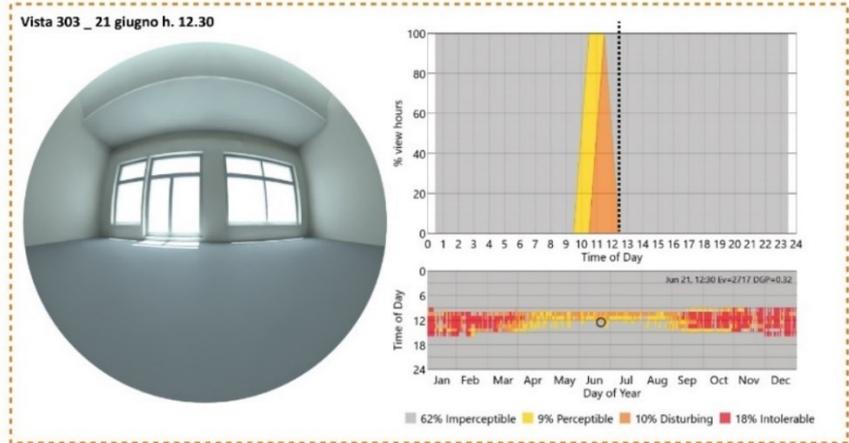
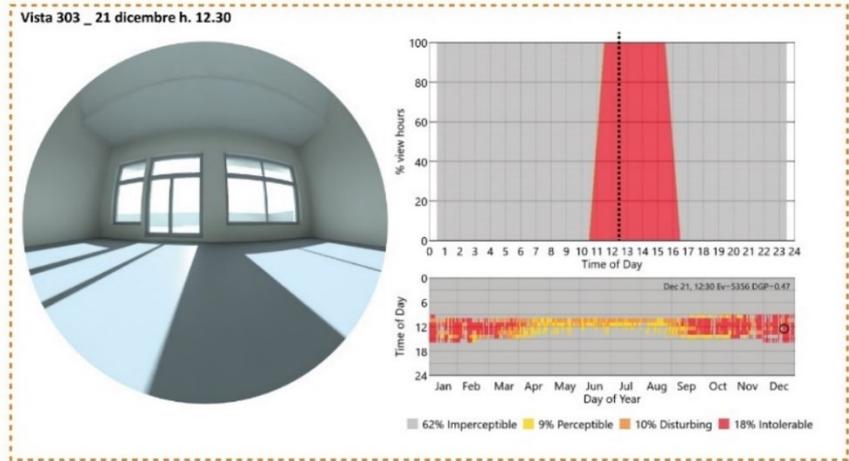
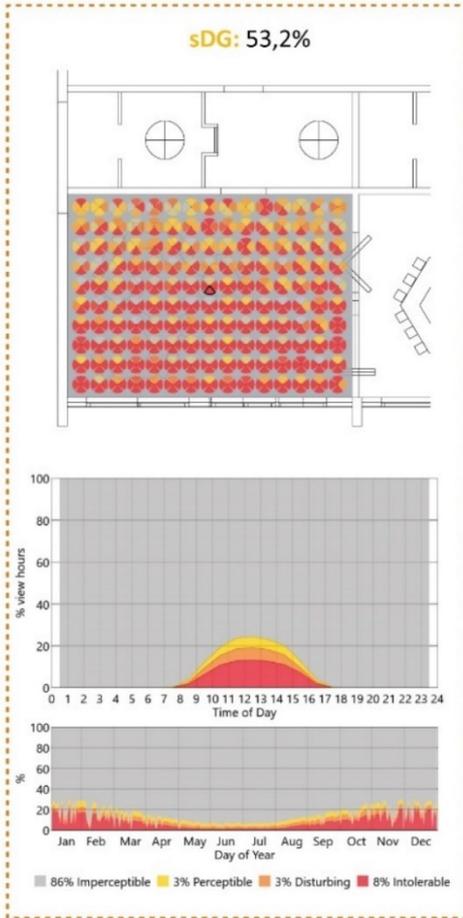
sDA300/50%: 100,0%



ASE1000,250: 49,3%

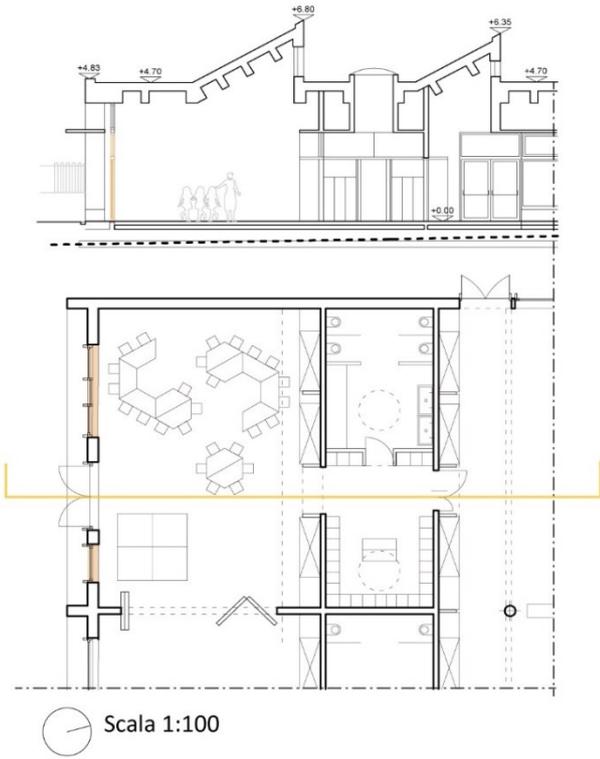


UDI.f: 5,47% UDI.s: 8,15% UDI.e: 3,52%

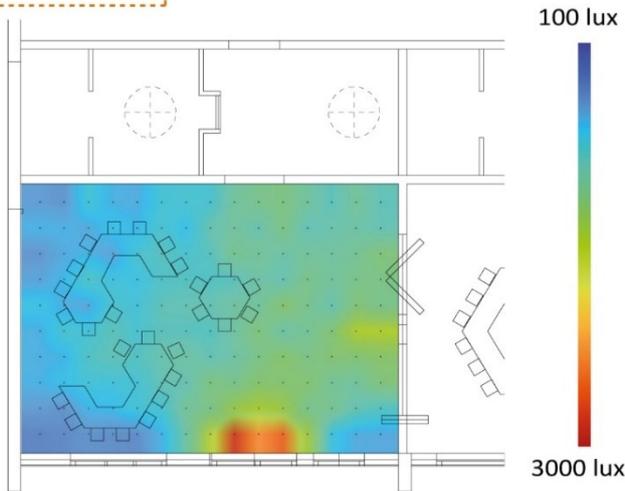


SCUOLA SESTRI LEVANTE

Analisi del caso in cui si modifica la dimensione delle aperture



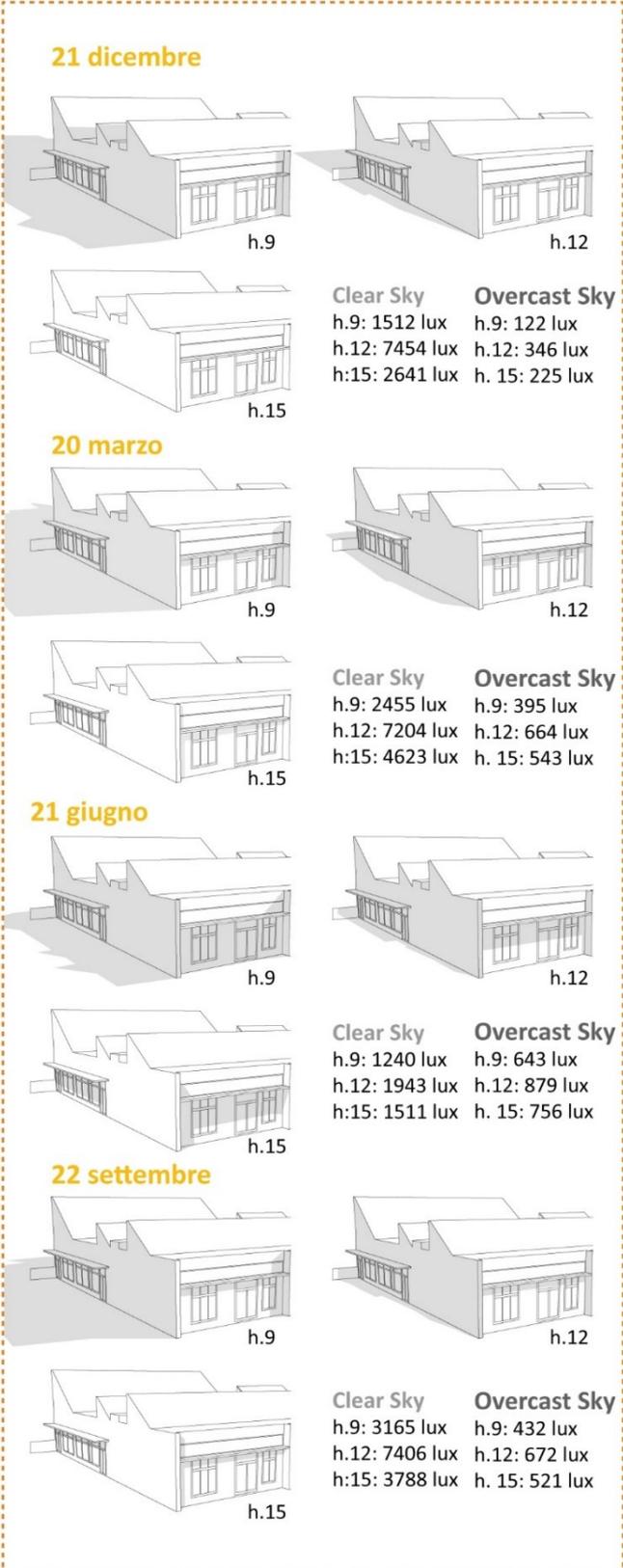
UNI 17037

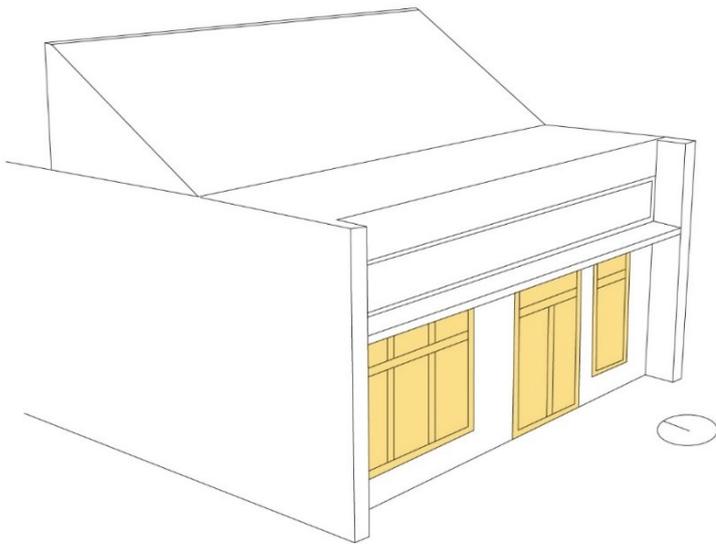


REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
48.56 % ore <input checked="" type="checkbox"/>	35.11 % ore <input checked="" type="checkbox"/>

Rapporto Aeroilluminante RAI

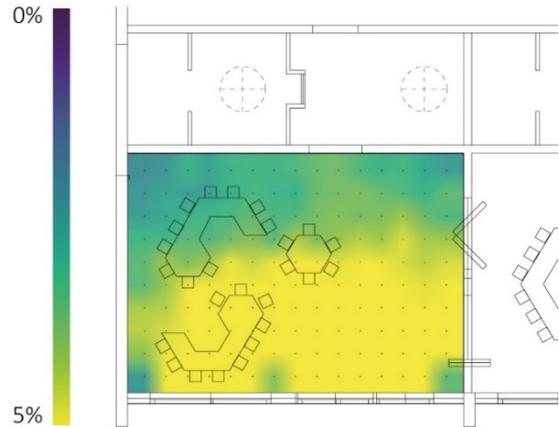
$SW_{open}: 15.23 \text{ m}^2$	$S_{floor}: 52,76 \text{ m}^2$
$SW: 22.34 \text{ m}^2$	$SW_{open}/S_{floor}: 0.29$
$SW_{glazing}: 18.84 \text{ m}^2$	$SW/S_{floor}: 0.42$
	$SW_{glazing}/S_{floor} : 0.36$





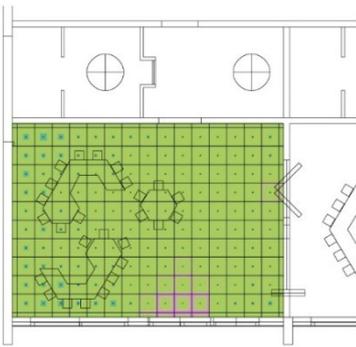
Daylight Factor (FD - FLDm) : 5,1%

Uniformità: 45%

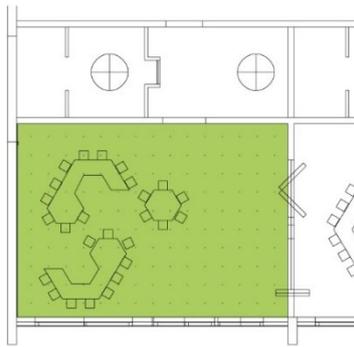


Blinds Closed: 19,6%

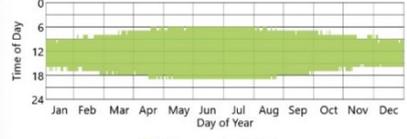
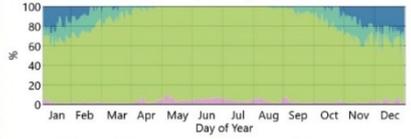
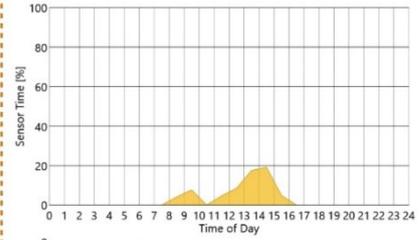
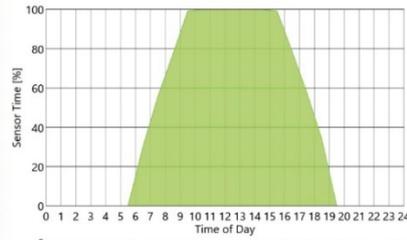
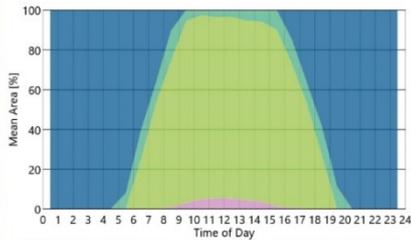
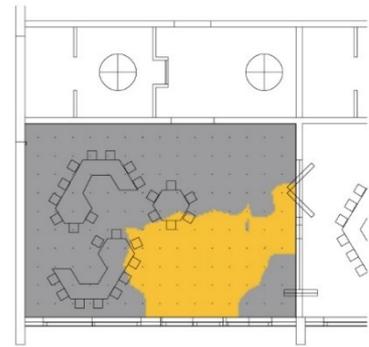
UDI.a: 83,4%



SDA300/50%: 100,0%

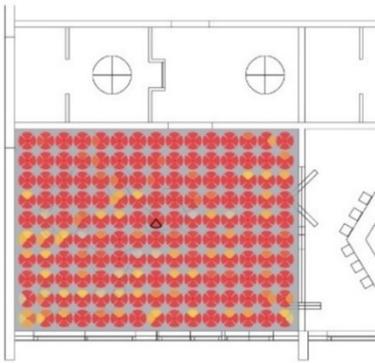


ASE1000,250: 27,3%

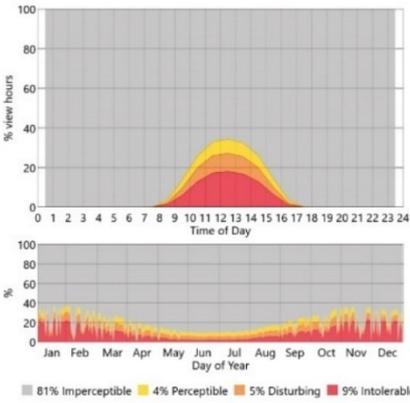
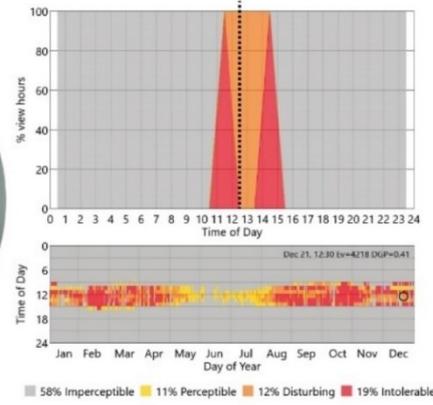


UDI.f: 5,73% UDI.s: 7,73% UDI.e: 2,91%

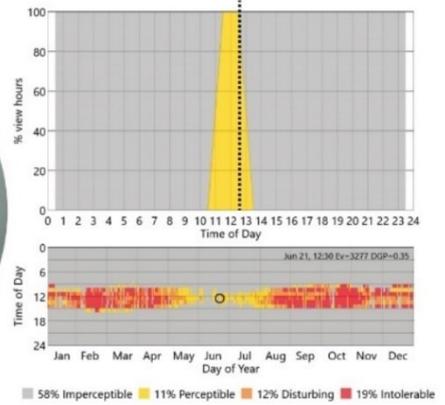
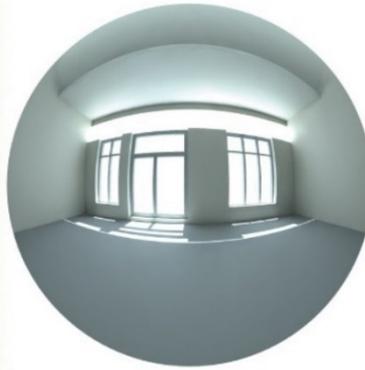
sDG: 81,2%



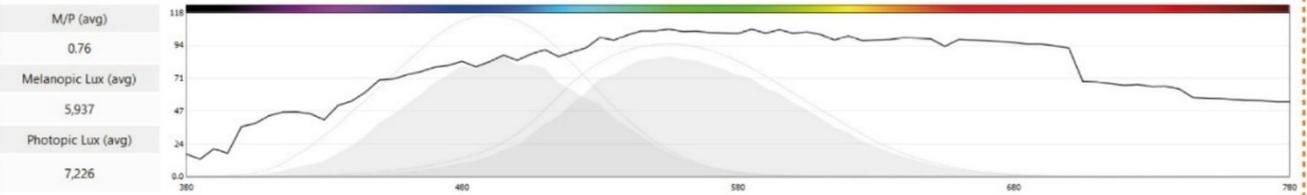
Vista 303 _ 21 dicembre h. 12.30



Vista 303 _ 21 giugno h. 12.30



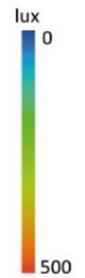
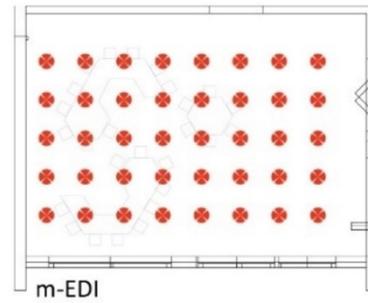
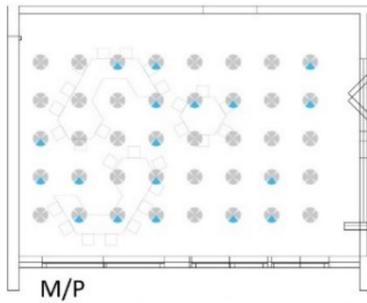
12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



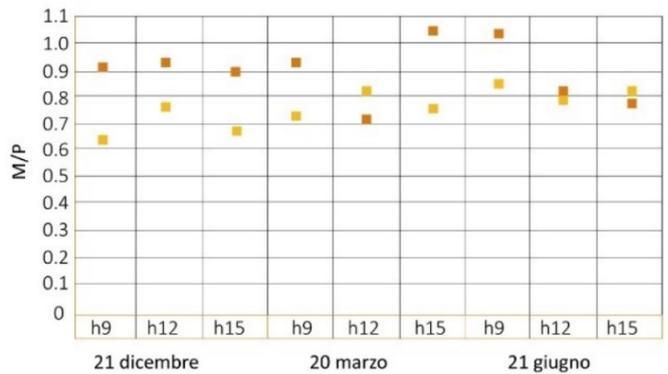
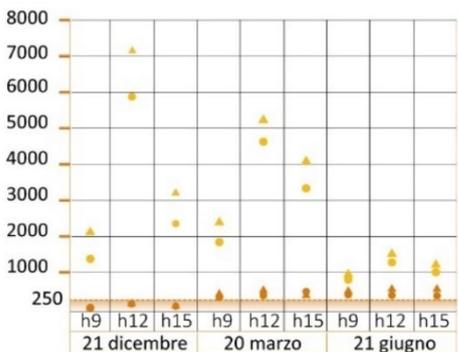
M/P Ratio 0.76

- Blue Enriched (M/P > 0.9) 11.3%
- Blue Depleted (M/P < 0.39) 0.0%
- Neither (0.35 < M/P < 0.9) 88.8%

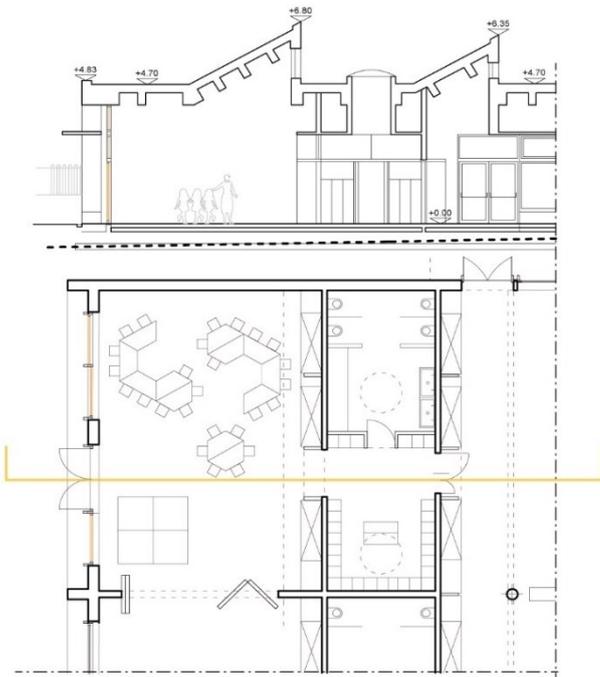
% di viste sopra i 250 m-EDI 100%



ANALISI COMPLETA ANNUALE

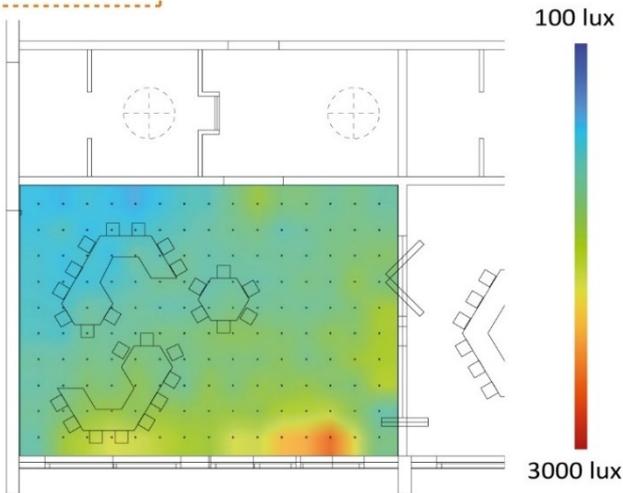


Analisi del caso in cui si modifica il tipo di vetro



Scala 1:100

UNI 17037



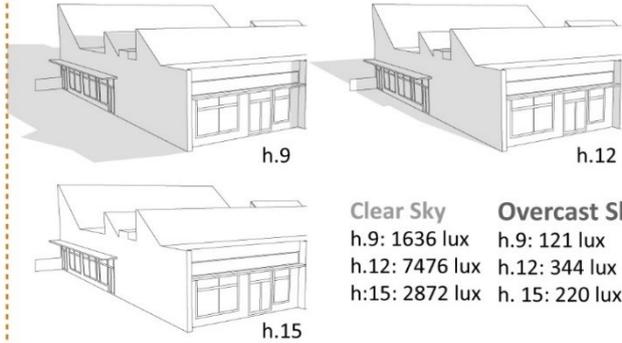
REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
56.96 % ore	48.88 % ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

SW_{open}: 18.6 m²
 SW: 25.74 m²
 SW_{glazing}: 21.64 m²

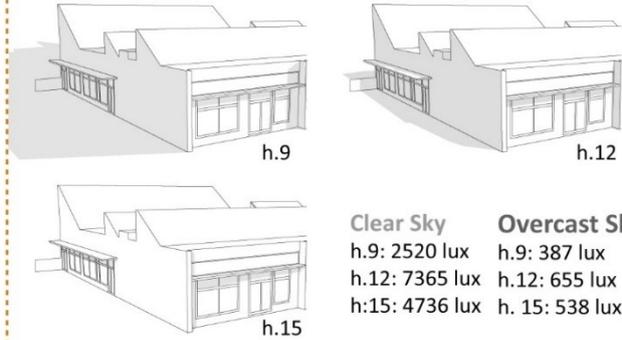
S_{floor}: 52,76 m²
 SW_{open}/S_{floor}: 0.35
 SW/S_{floor}: 0.49
 SW_{glazing}/S_{floor}: 0.41

21 dicembre



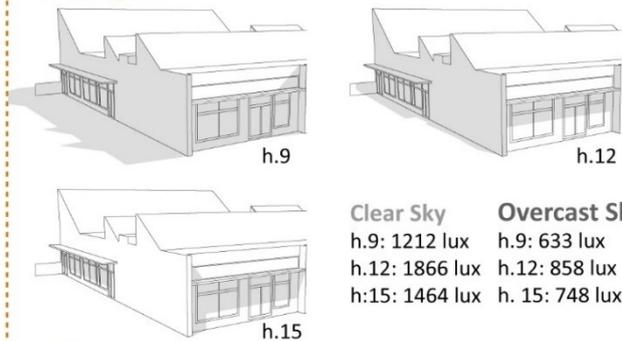
Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 1636 lux	h.9: 121 lux
h.12: 7476 lux	h.12: 344 lux
h.15: 2872 lux	h.15: 220 lux

20 marzo



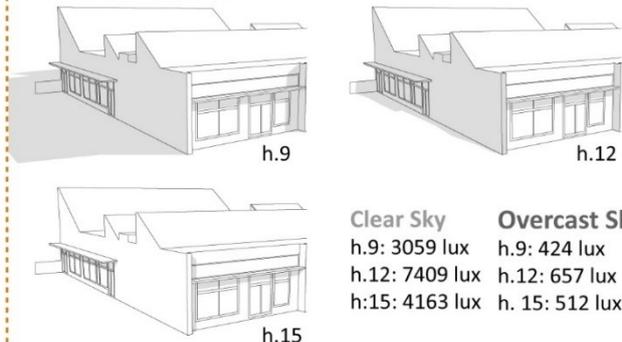
Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 2520 lux	h.9: 387 lux
h.12: 7365 lux	h.12: 655 lux
h.15: 4736 lux	h.15: 538 lux

21 giugno

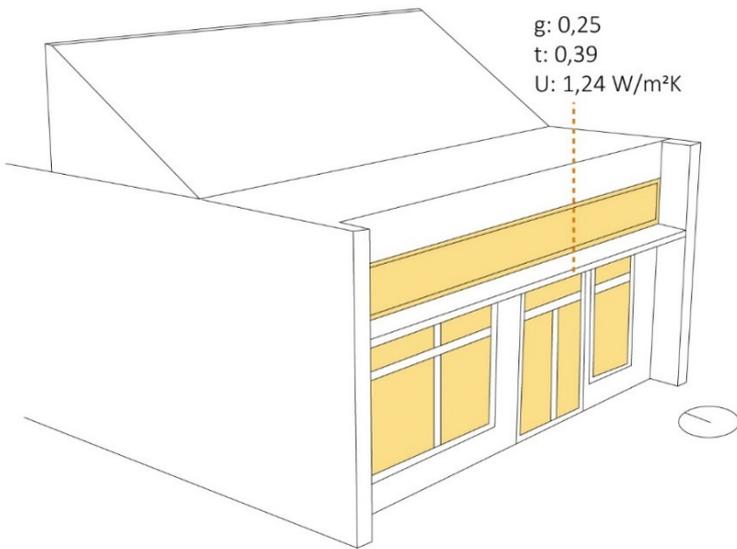


Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 1212 lux	h.9: 633 lux
h.12: 1866 lux	h.12: 858 lux
h.15: 1464 lux	h.15: 748 lux

22 settembre

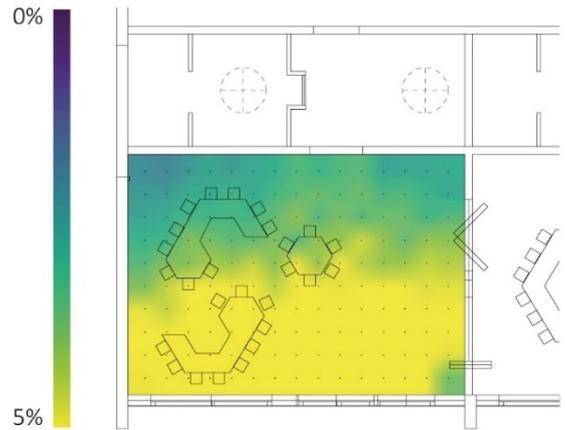


Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 3059 lux	h.9: 424 lux
h.12: 7409 lux	h.12: 657 lux
h.15: 4163 lux	h.15: 512 lux

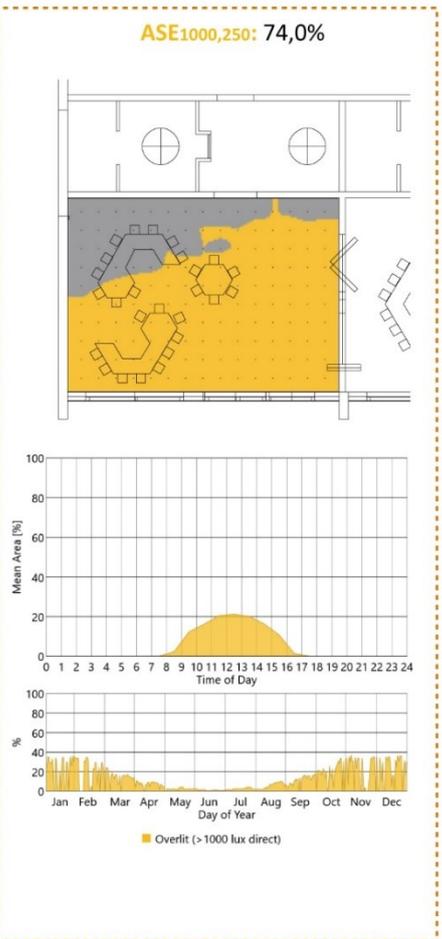
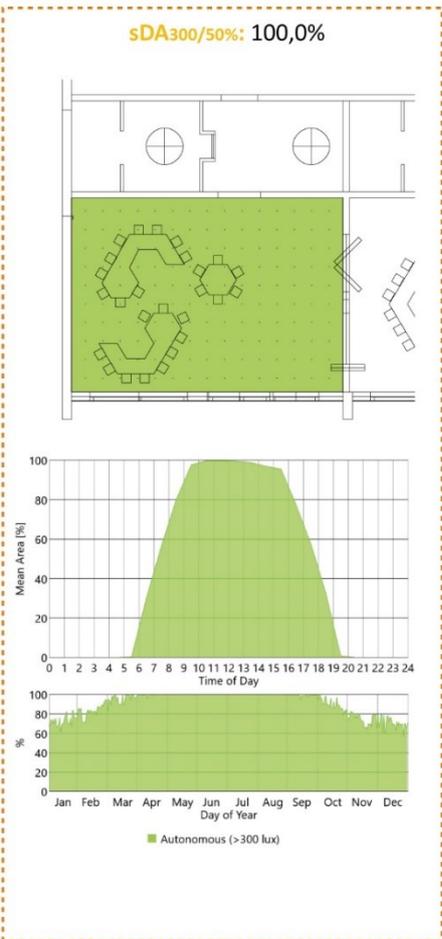
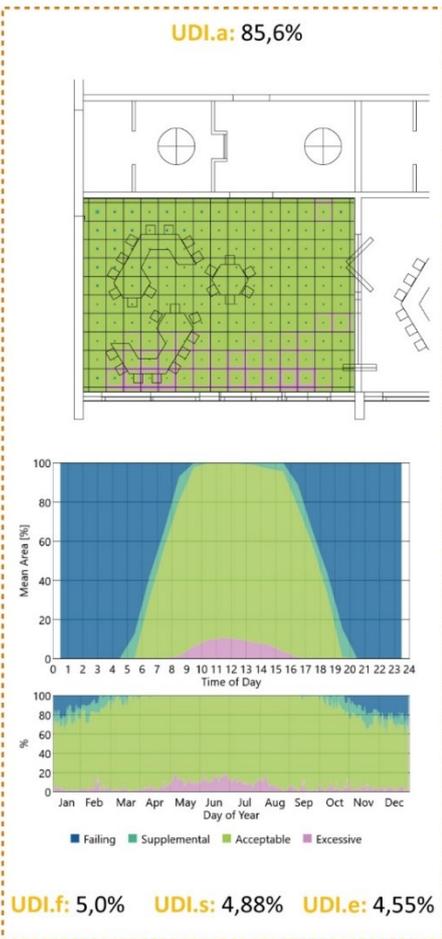


Daylight Factor (FD - FLDm) : 4,7%

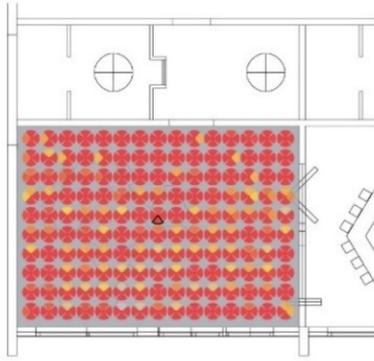
Uniformità: 41%



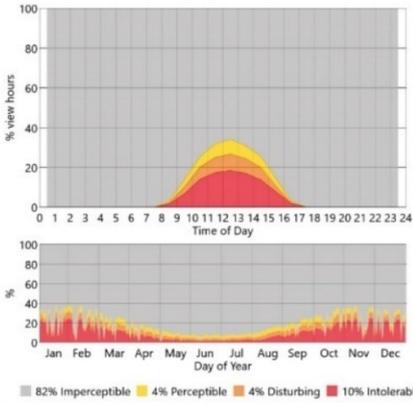
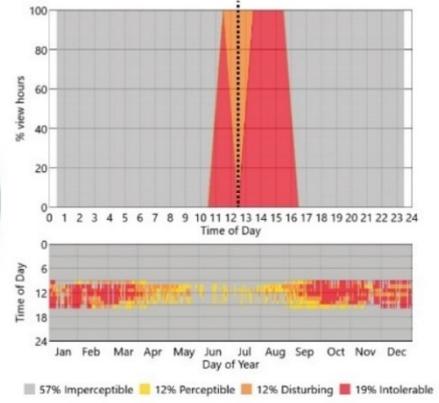
Blinds Closed: 31,5%



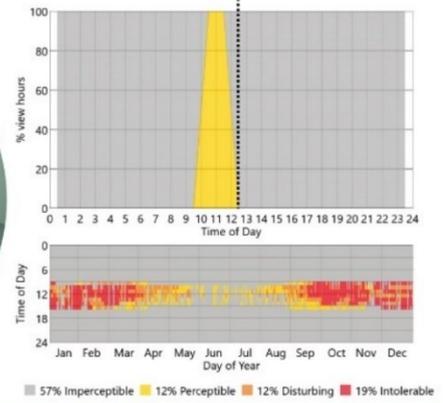
sDG: 78,7%



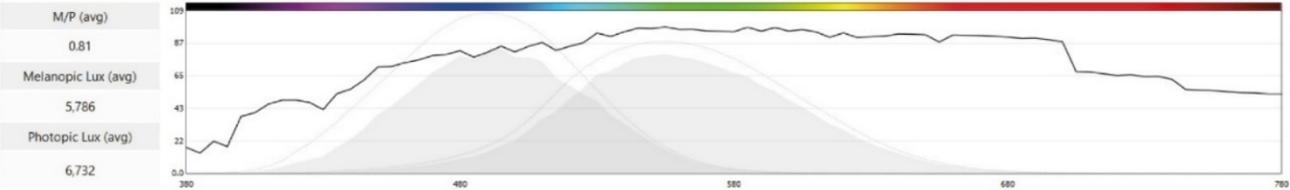
Vista 303 _ 21 dicembre h. 12.30



Vista 303 _ 21 giugno h. 12.30



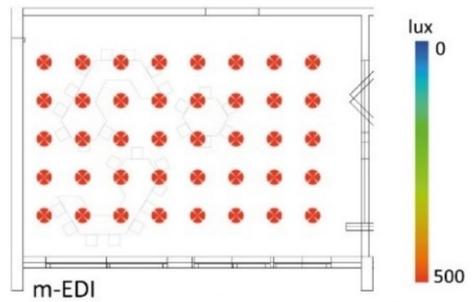
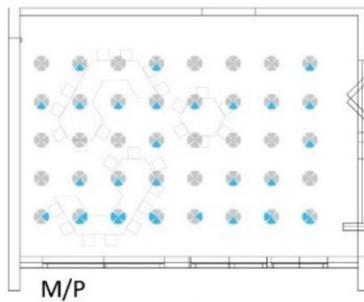
12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



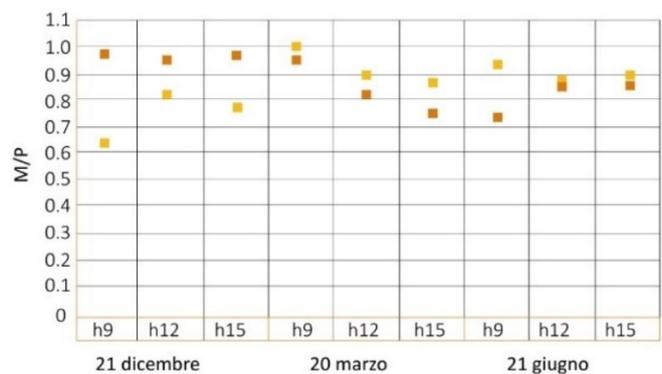
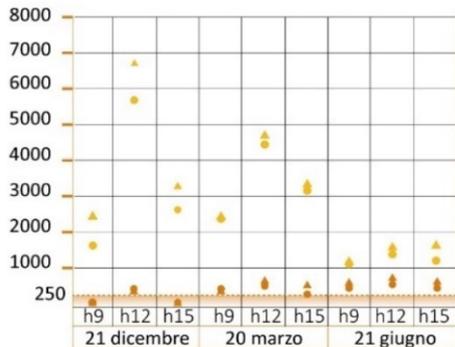
M/P Ratio 0.81

- Blue Enriched (M/P > 0.9) 20.0%
- Blue Depleted (M/P < 0.39) 0.0%
- Neither (0.35 < M/P < 0.9) 80.0%

% di viste sopra i 250 m-EDI 100%

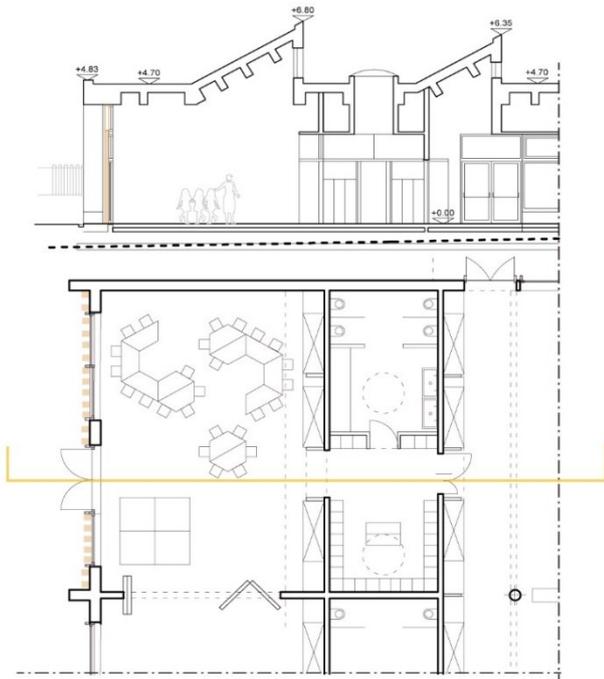


ANALISI COMPLETA ANNUALE



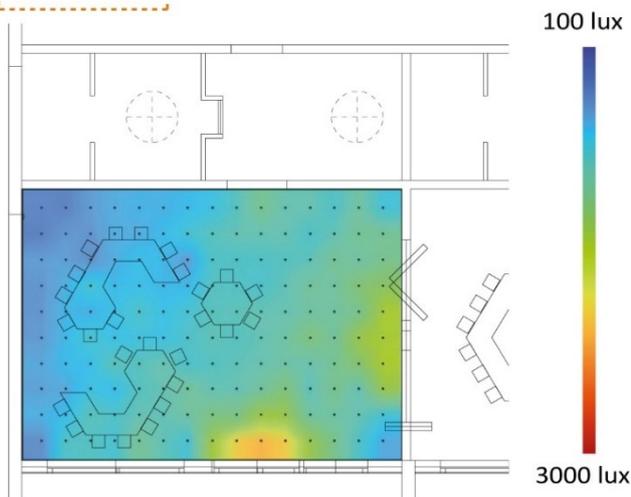
SCUOLA SESTRI LEVANTE

Analisi del caso in cui si aggiungono listelli schermanti



Scala 1:100

UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
47.24% ore	38.42% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

$SW_{open}: 18.6 \text{ m}^2$	$S_{floor}: 52,76 \text{ m}^2$
$SW: 25.74 \text{ m}^2$	$SW_{open}/S_{floor}: 0.35$
$SW_{glazing}: 21.64 \text{ m}^2$	$SW/S_{floor}: 0.49$
	$SW_{glazing}/S_{floor}: 0.41$

21 dicembre

h.9

h.12

Clear Sky

h.9: 1044 lux
h.12: 5160 lux
h.15: 1509 lux

Overcast Sky

h.9: 84 lux
h.12: 239 lux
h.15: 157 lux

20 marzo

h.9

h.12

Clear Sky

h.9: 1587 lux
h.12: 5209 lux
h.15: 2185 lux

Overcast Sky

h.9: 272 lux
h.12: 456 lux
h.15: 379 lux

21 giugno

h.9

h.12

Clear Sky

h.9: 891 lux
h.12: 1383 lux
h.15: 1081 lux

Overcast Sky

h.9: 438 lux
h.12: 600 lux
h.15: 527 lux

22 settembre

h.9

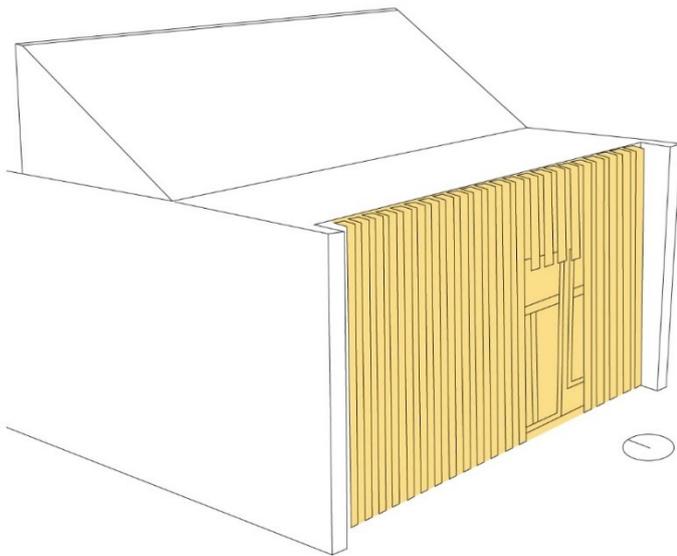
h.12

Clear Sky

h.9: 1806 lux
h.12: 5878 lux
h.15: 1926 lux

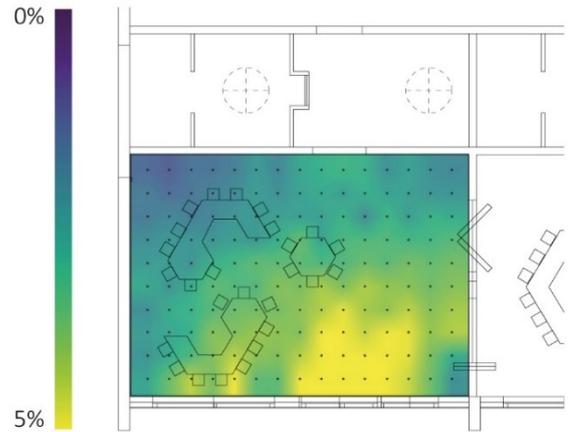
Overcast Sky

h.9: 300 lux
h.12: 460 lux
h.15: 359 lux



Daylight Factor (FD - FLDm) : 3,5%

Uniformità: 37%

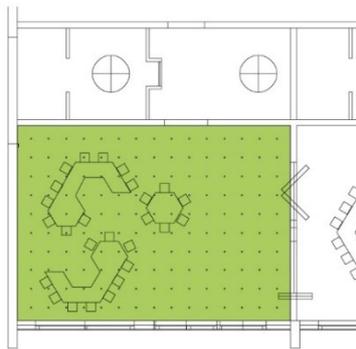


Blinds Closed: 26,1%

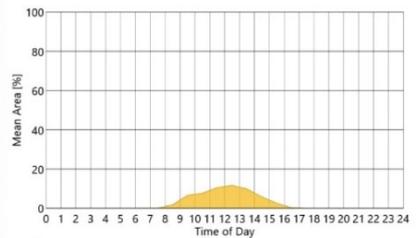
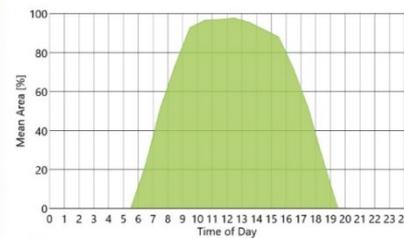
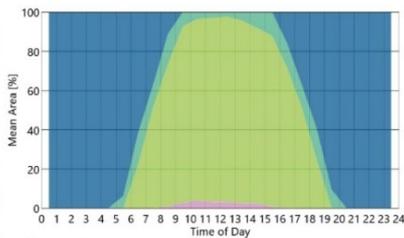
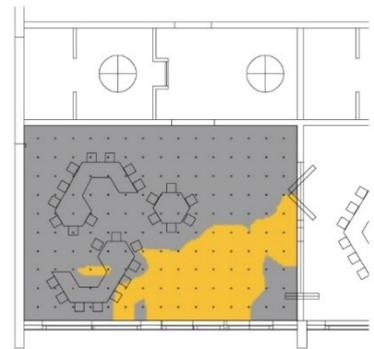
UDI.a: 83,7%



sDA300/50%: 100,0%

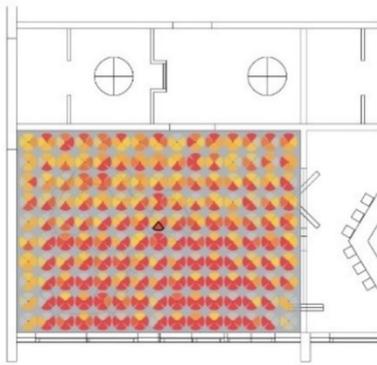


ASE1000,250: 24,7%

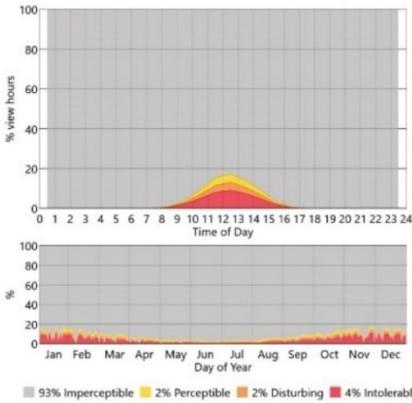
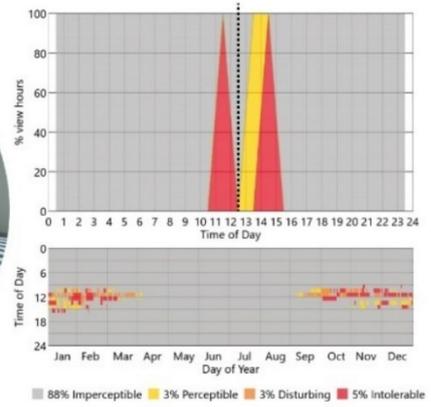


UDI.f: 6,01% UDI.s: 8,29% UDI.e: 1,96%

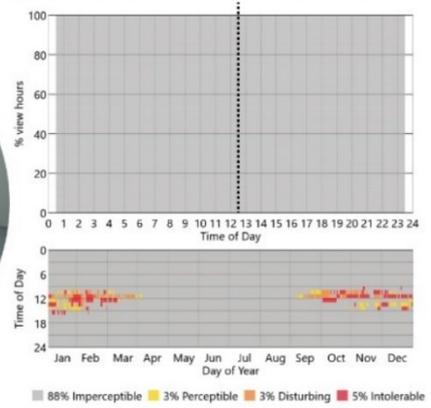
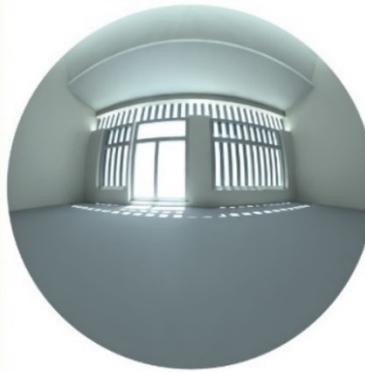
sDG: 32,8%



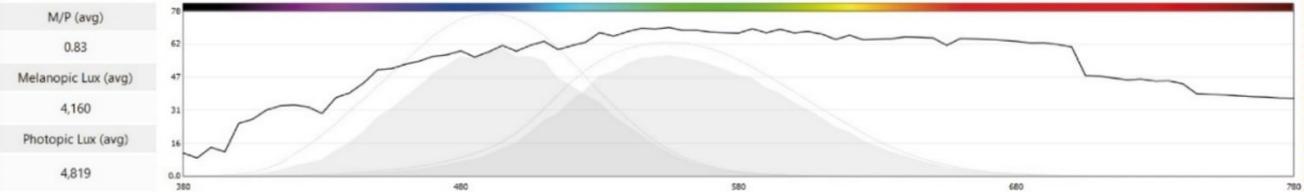
Vista 303 _ 21 dicembre h. 12.30



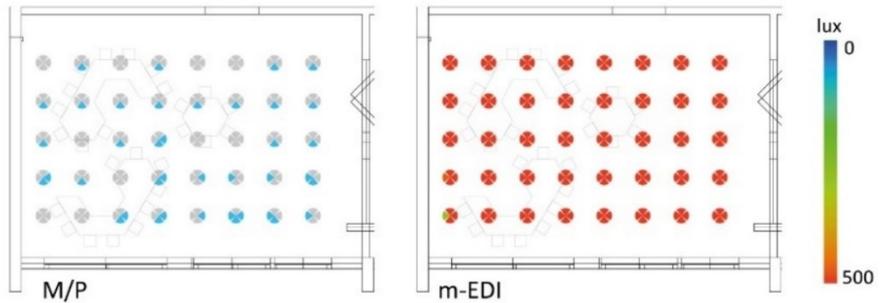
Vista 303 _ 21 giugno h. 12.30



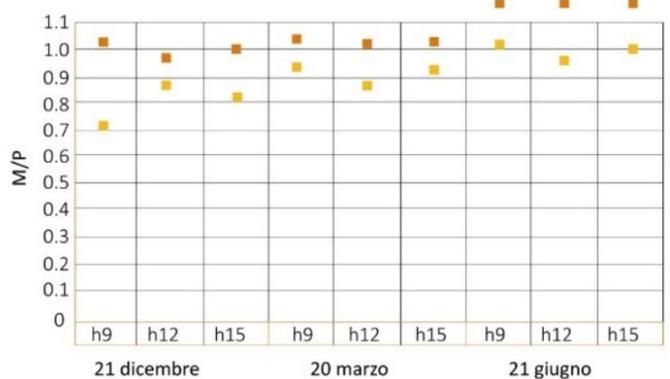
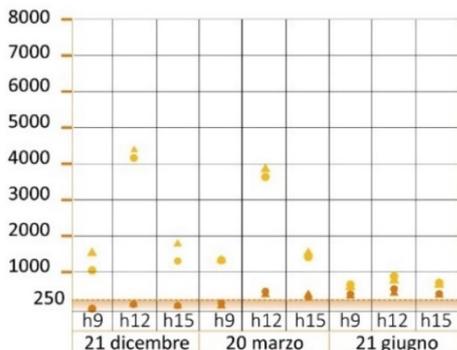
12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



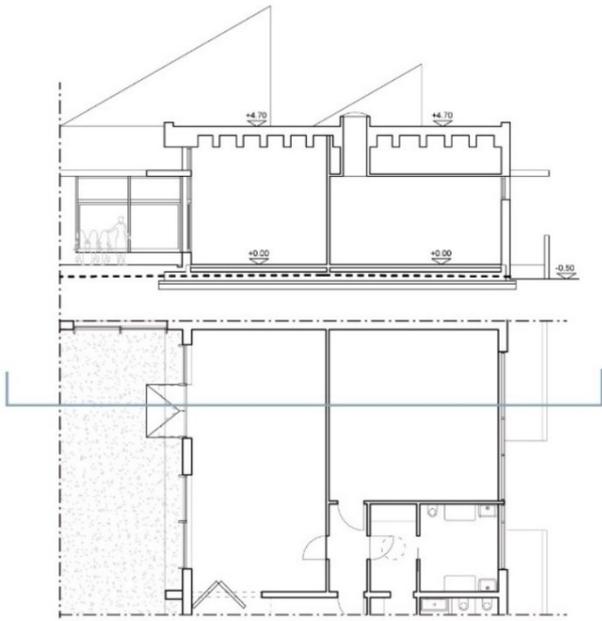
M/P Ratio 0.83
 Blue Enriched (M/P > 0.9) 24.4%
 Blue Depleted (M/P < 0.39) 0.0%
 Neither (0.35 < M/P < 0.9) 75.6%
 % di viste sopra i 250 m-EDI 100%



ANALISI COMPLETA ANNUALE

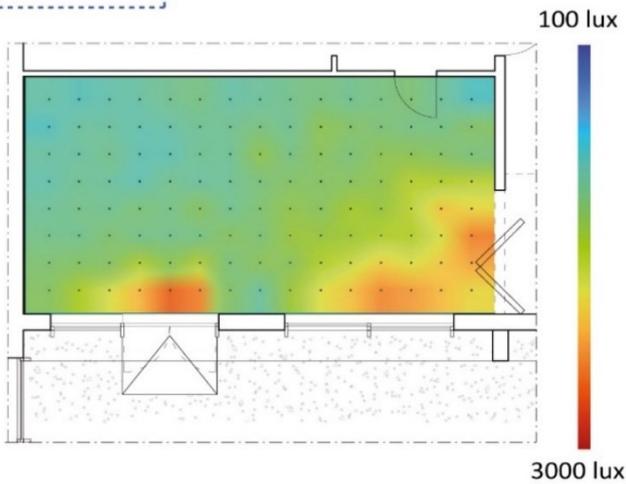


Analisi del caso base



Scala 1:200

UNI 17037

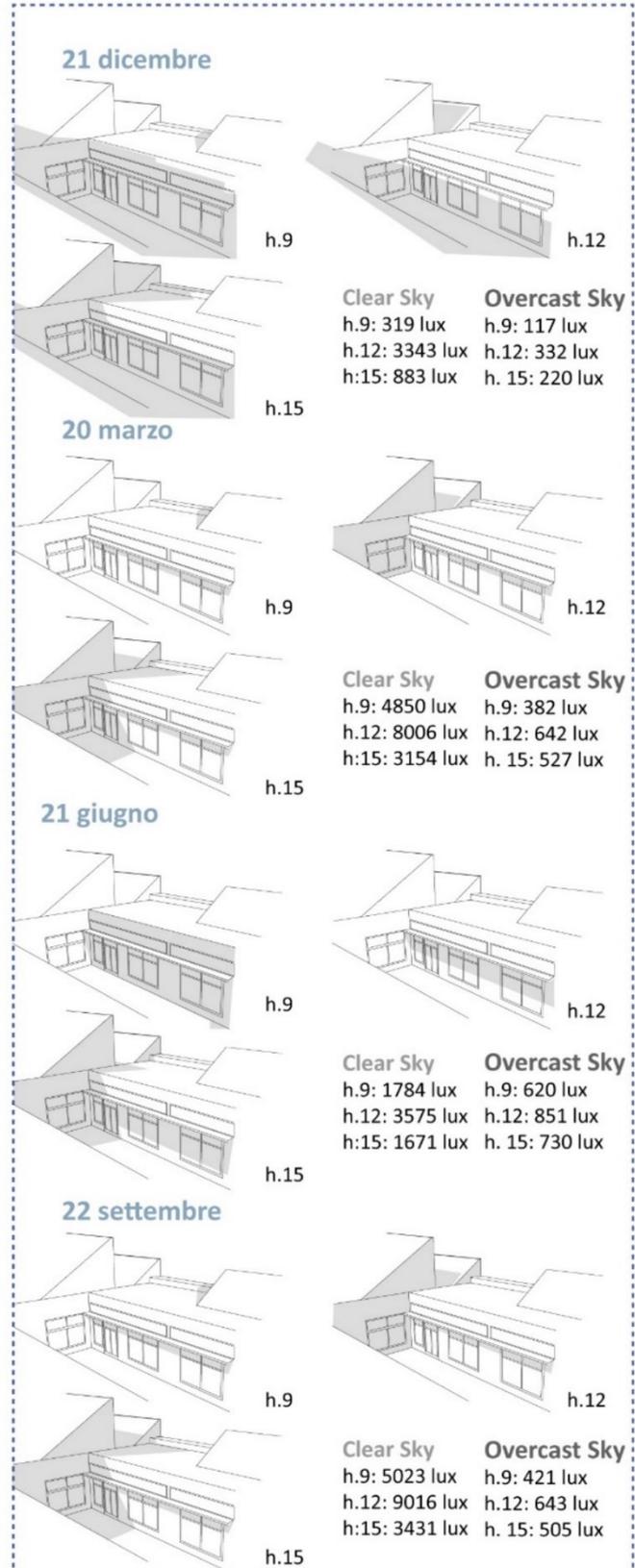


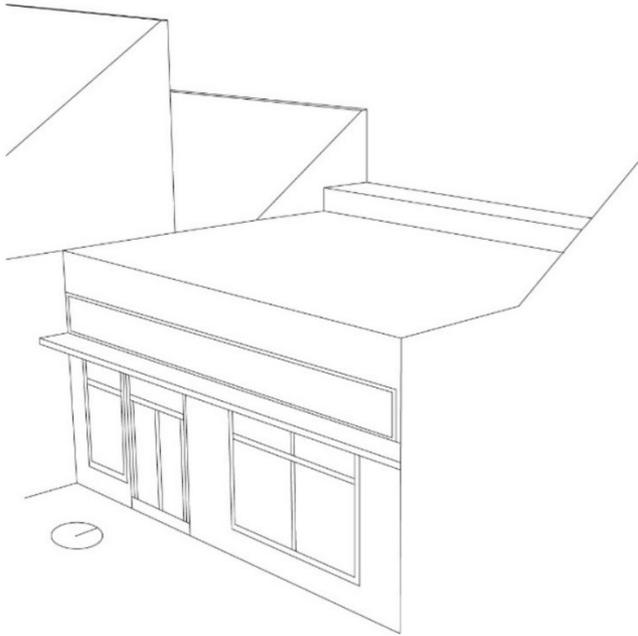
REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
68.42% ore <input checked="" type="checkbox"/>	64.70% ore <input checked="" type="checkbox"/>

Rapporto Aeroilluminante RAI

SW_{open}: 17.68 m²
 SW: 24.94 m²
 SW_{glazing}: 20.76 m²

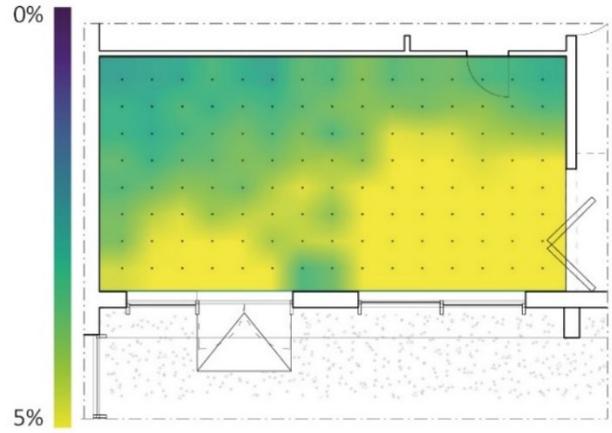
S_{floor}: 41.17 m²
 SW_{open}/S_{floor}: 0.42
 SW/S_{floor}: 0.60
 SW_{glazing}/S_{floor}: 0.5





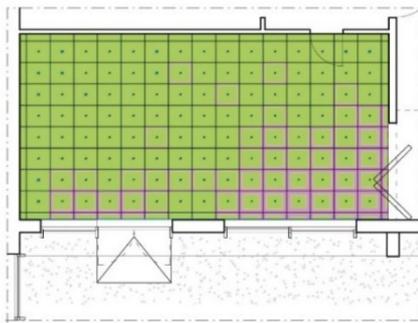
Daylight Factor (FD - FLDm) : 5,0%

Uniformità: 55%

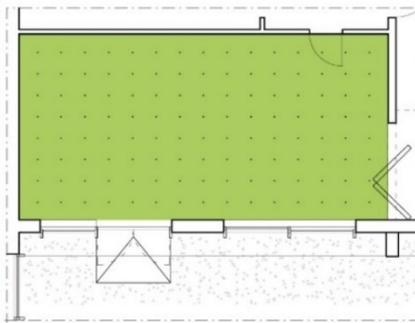


Blinds Closed: 17,7%

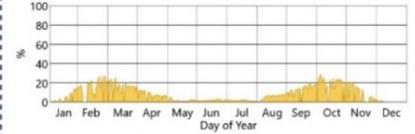
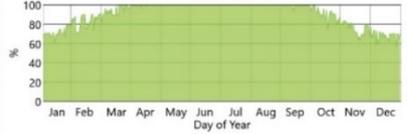
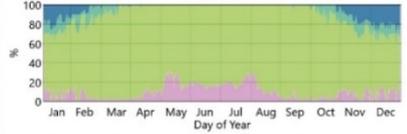
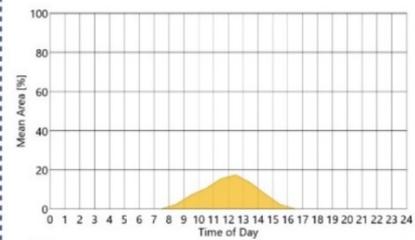
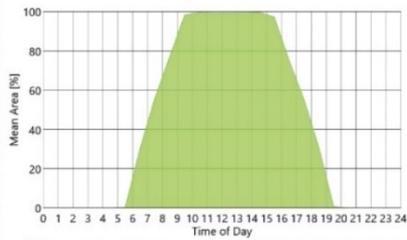
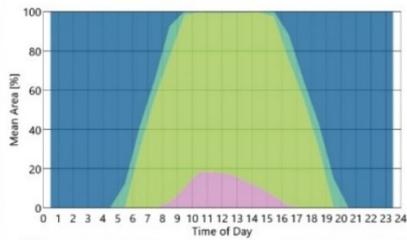
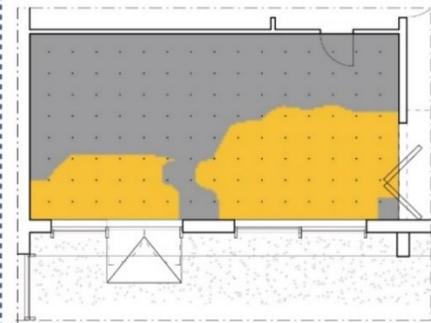
UDI.a: 80.5%



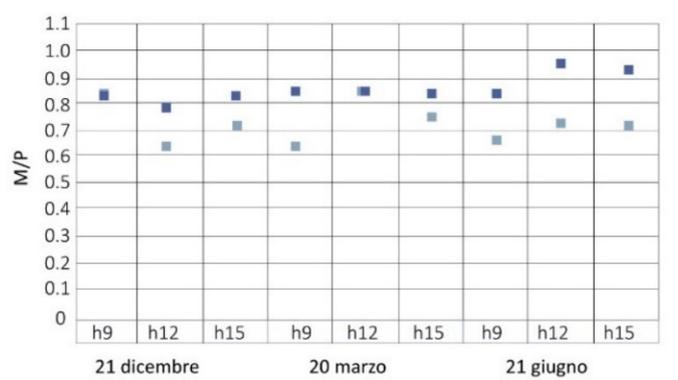
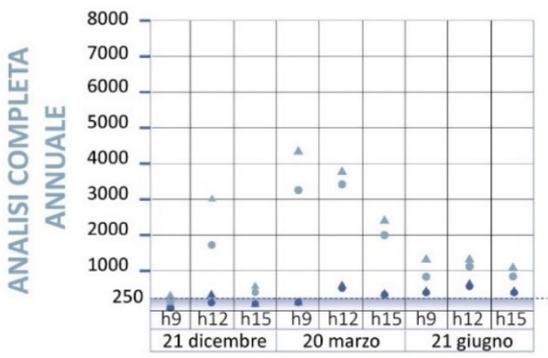
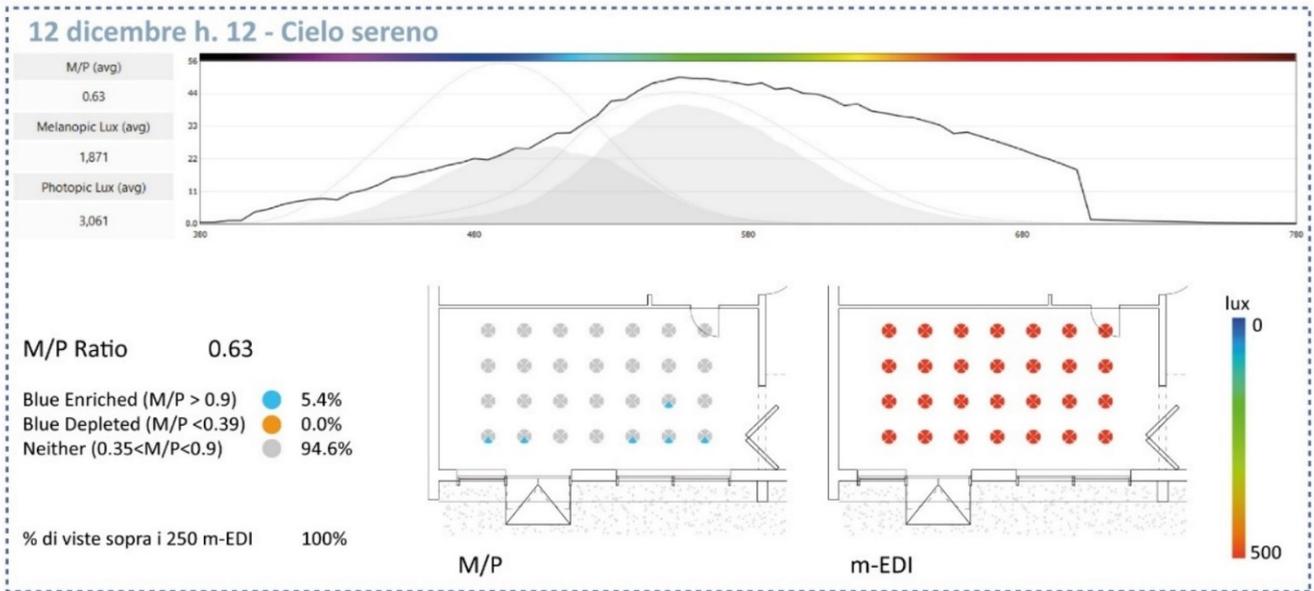
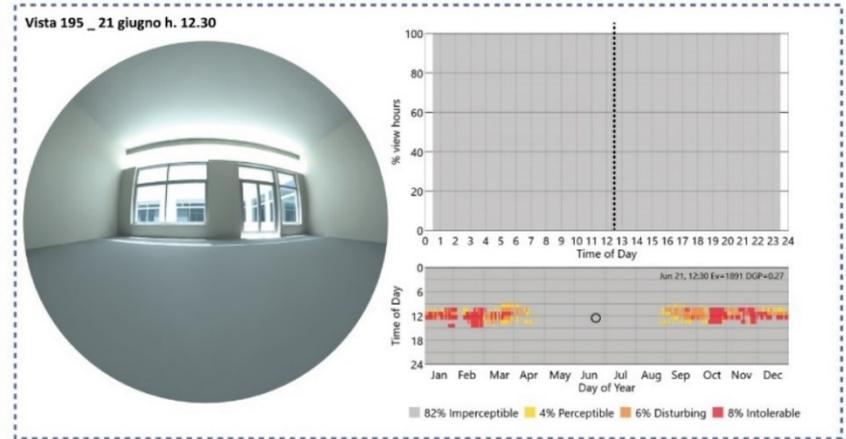
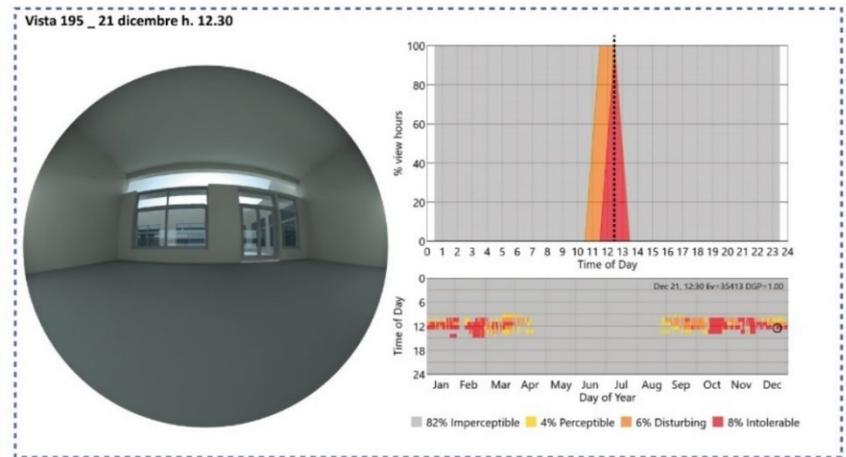
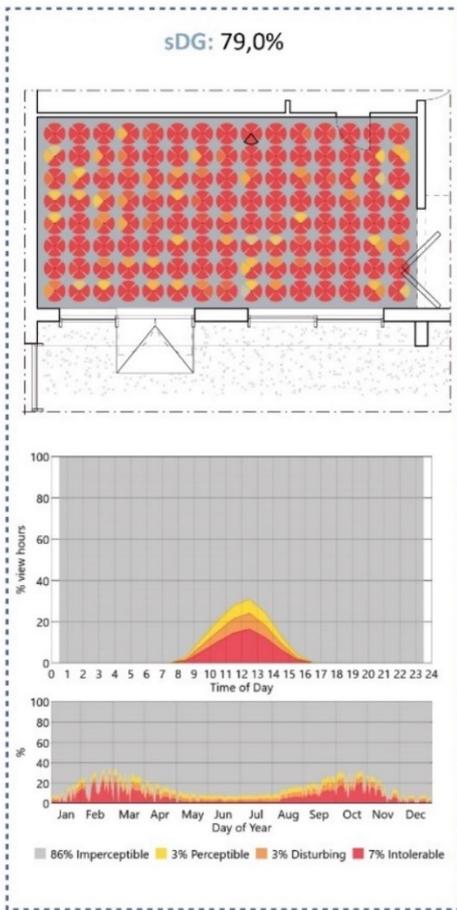
sDA300/50%: 100,0%



ASE1000,250: 41,7%

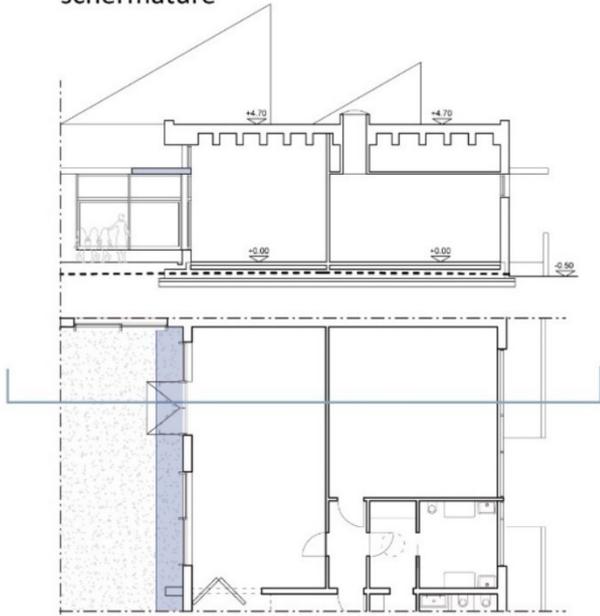


UDI.f: 4,94% UDI.s: 4,73% UDI.e: 9,79%



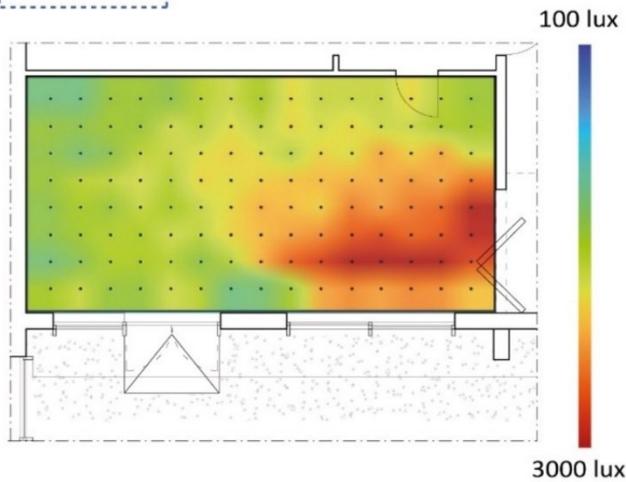
ASILO SESTRI LEVANTE

Analisi del caso in cui si aumentano le schermature



Scala 1:200

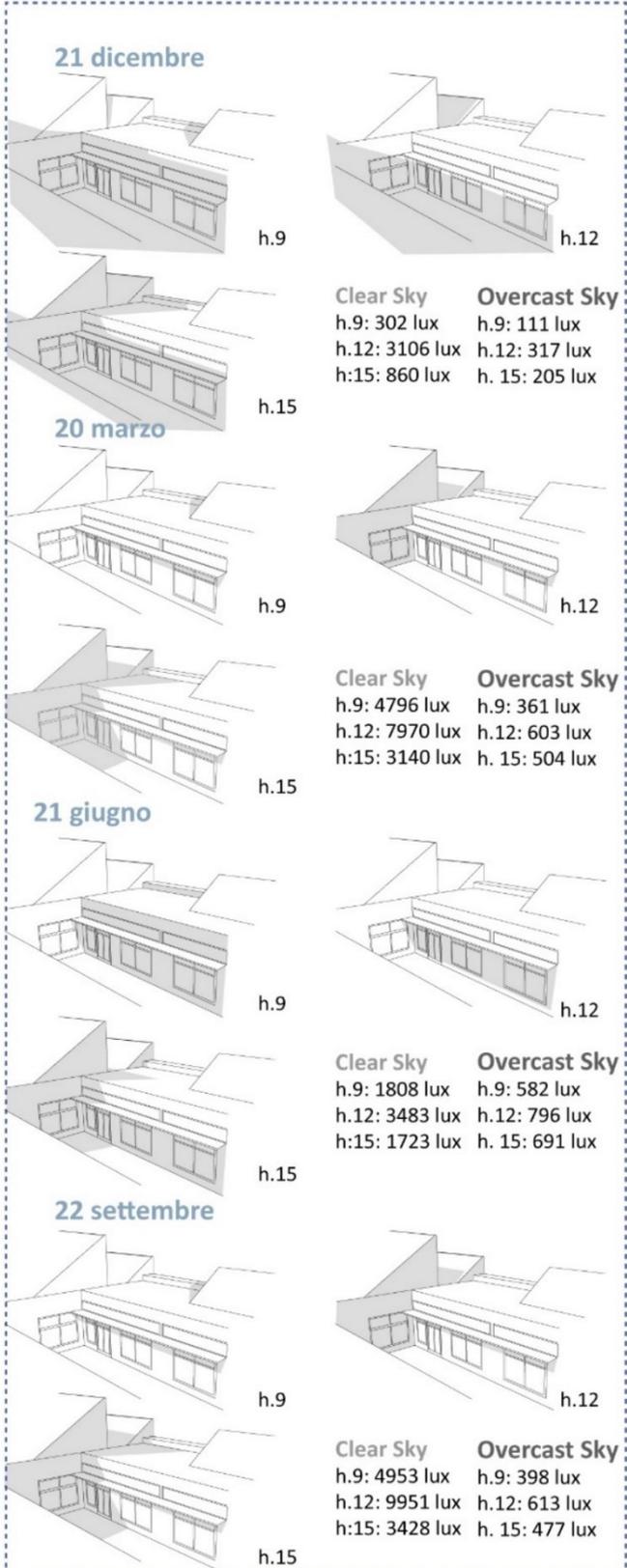
UNI 17037

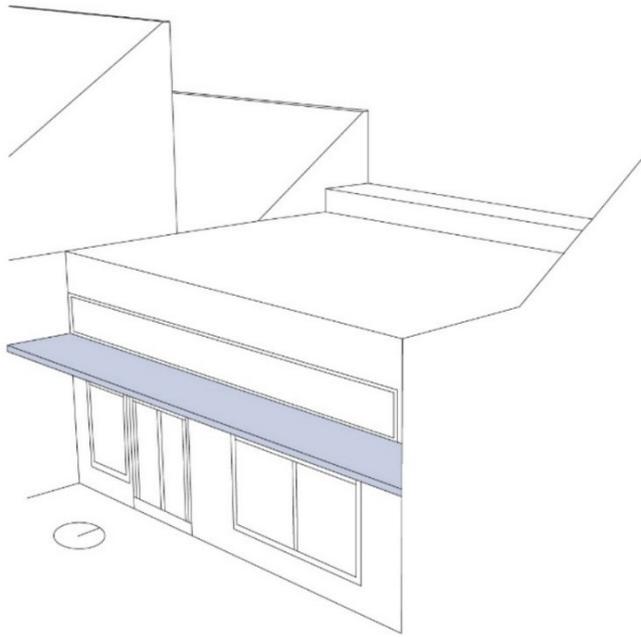


REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
68.93% ore	68.63% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

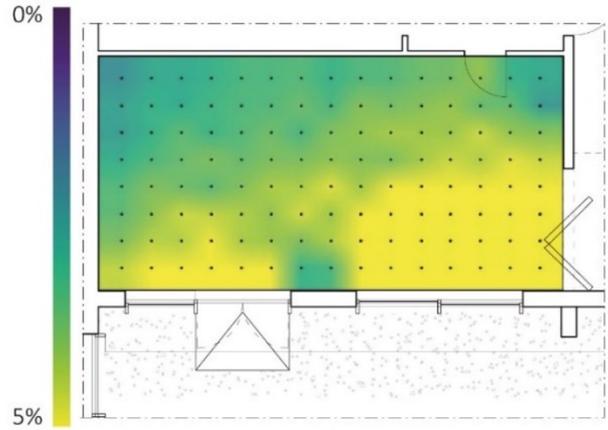
S_{Wopen} : 17.68 m ²	S_{floor} : 41.17 m ²
S_w : 24.94 m ²	S_{Wopen}/S_{floor} : 0.42
$S_{Wglazing}$: 20.76 m ²	S_w/S_{floor} : 0.60
	$S_{Wglazing}/S_{floor}$: 0.5





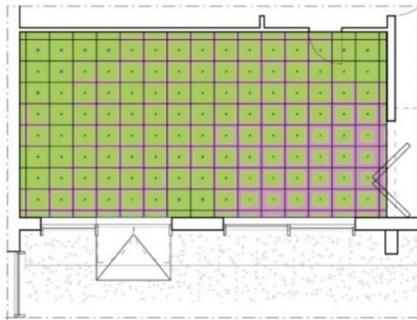
Daylight Factor (FD - FLDm) : 4,6%

Uniformità: 51%

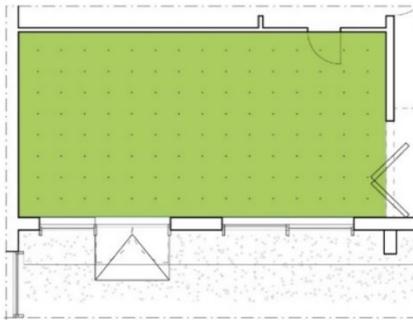


Blinds Closed: 15,1%

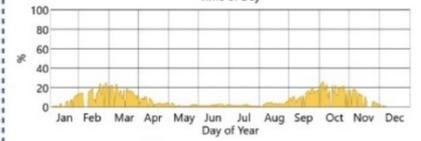
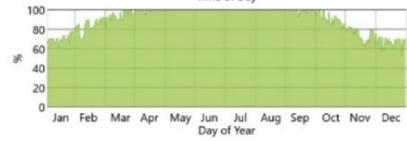
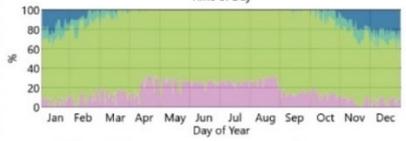
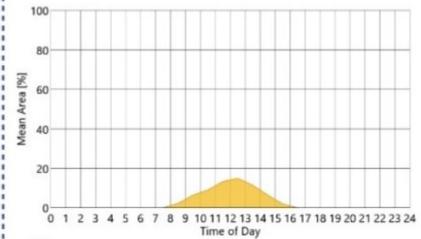
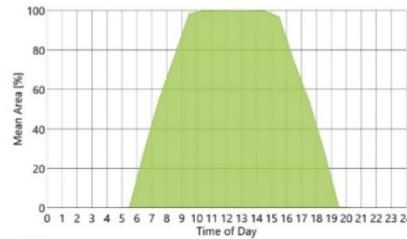
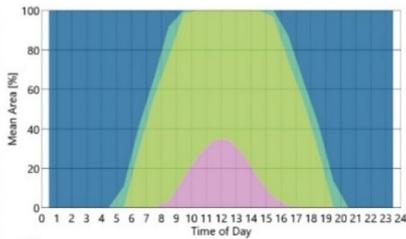
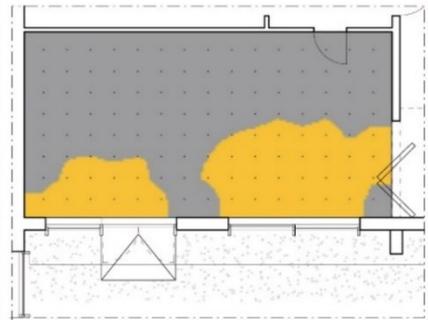
UDI.a: 74,2%



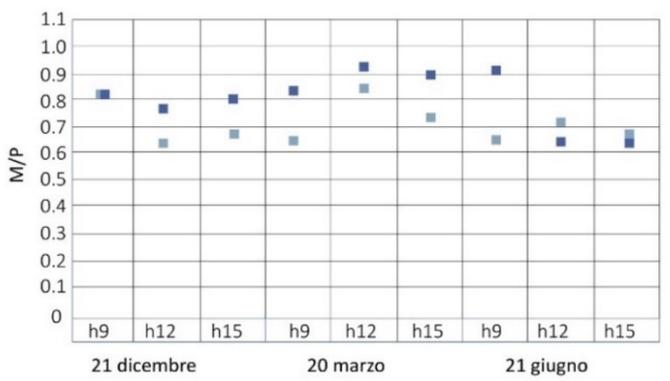
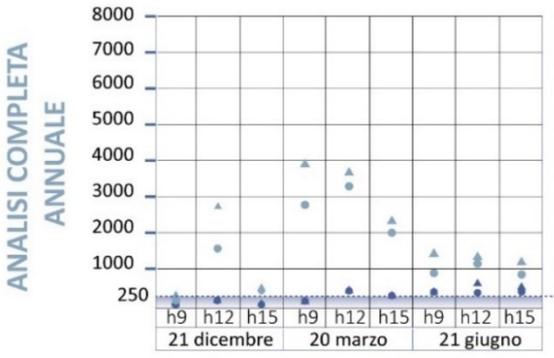
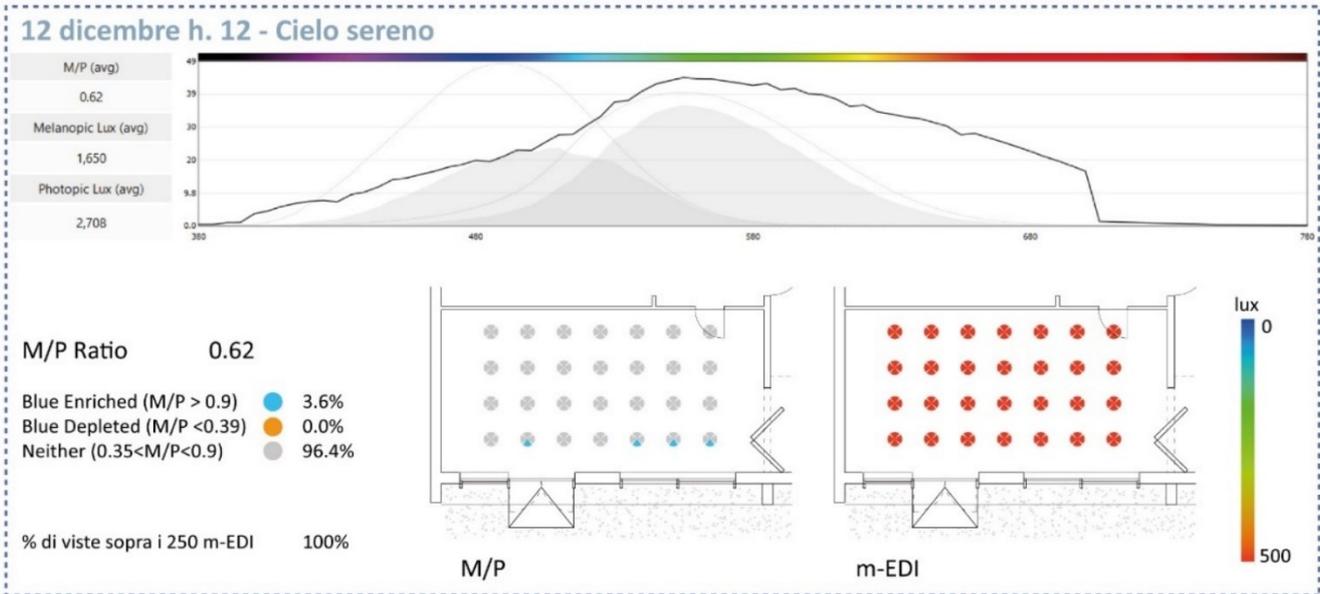
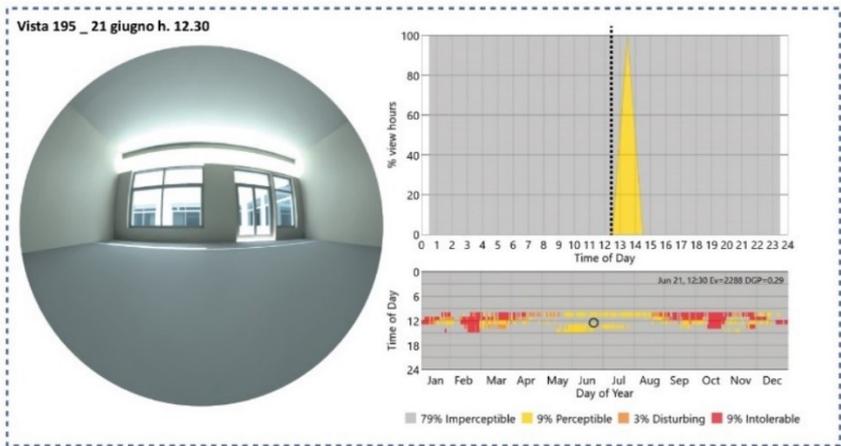
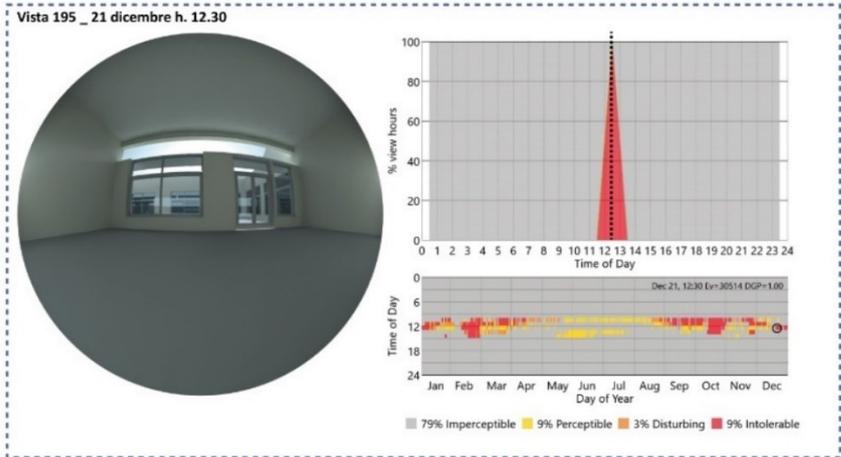
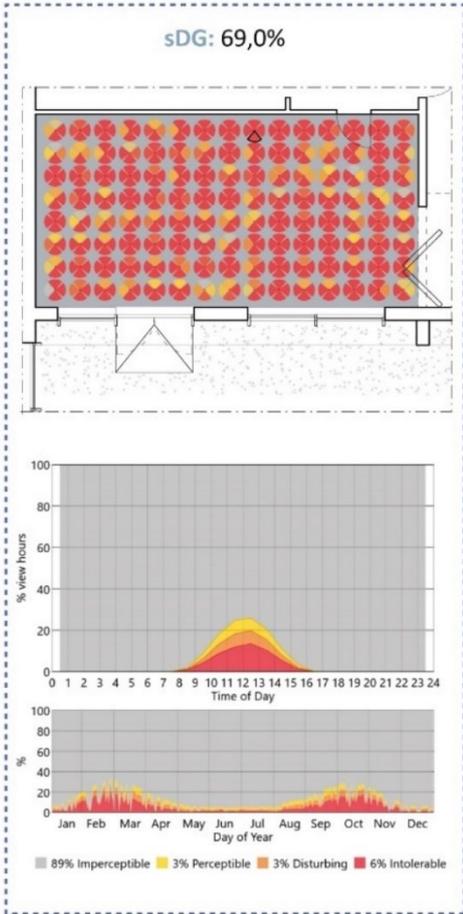
sDA300/50%: 100,0%



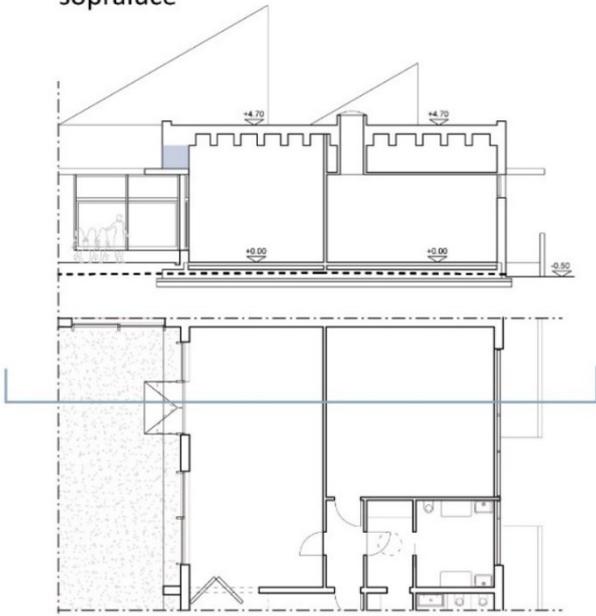
ASE1000,250: 32,5%



UDI.f: 5,20% UDI.s: 4,61% UDI.e: 16,0%

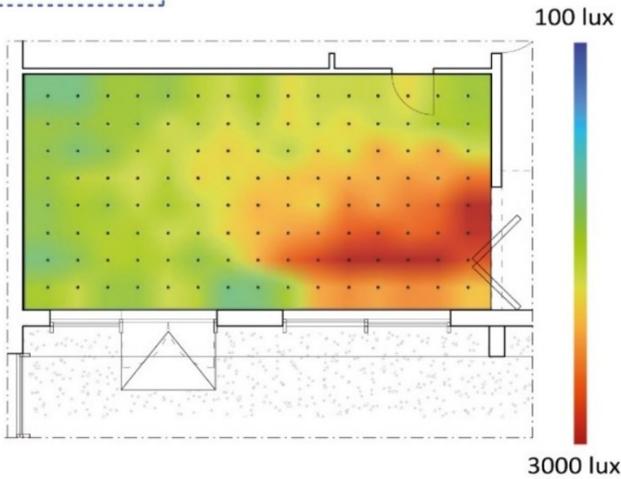


Analisi del caso in cui si elimina il sopra-luce



Scala 1:200

UNI 17037



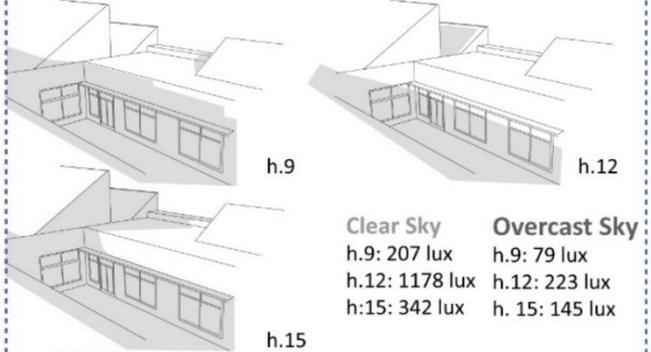
REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
46.42% ore	38.11% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

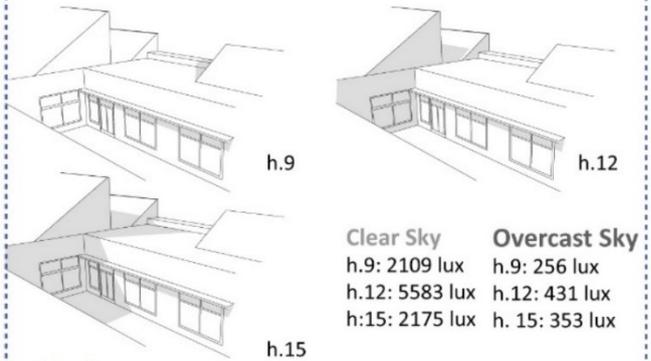
SW_{open}: 17.68 m²
 Sw: 17.68 m²
 SW_{glazing}: 10.44 m²

S_{floor}: 41.17 m²
 SW_{open}/S_{floor}: 0.42
 Sw/S_{floor}: 0.42
 SW_{glazing}/S_{floor}: 0.25

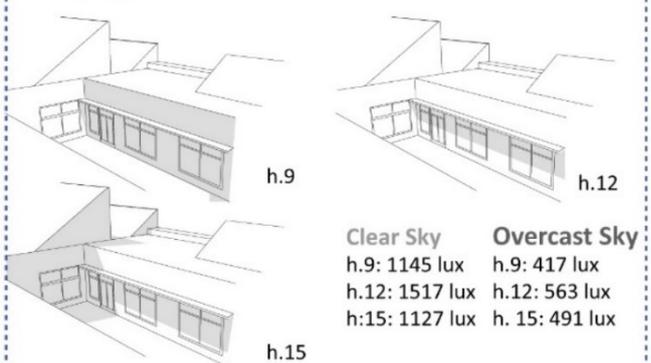
21 dicembre



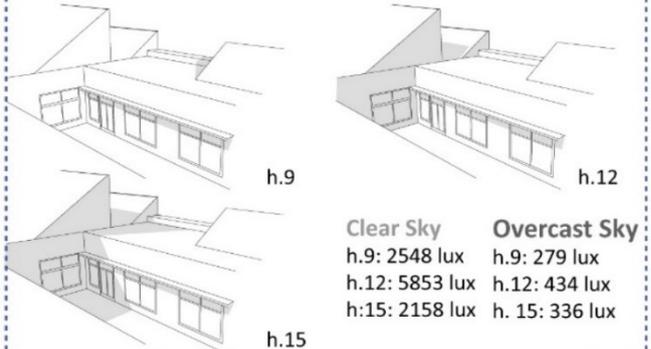
20 marzo

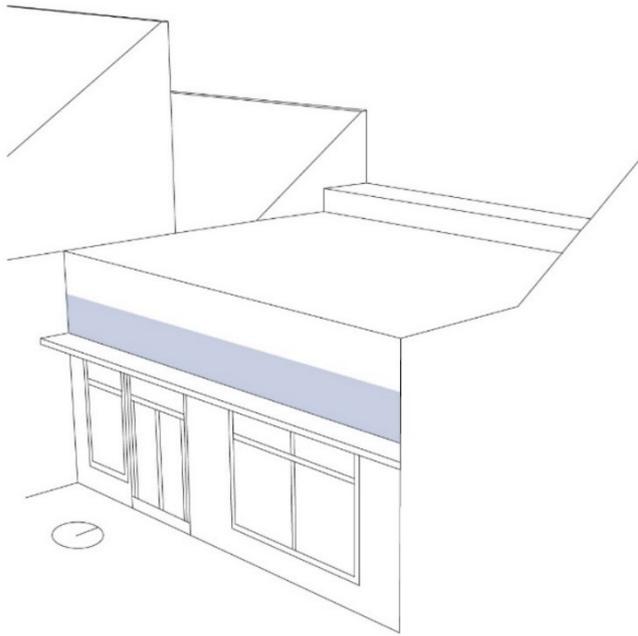


21 giugno



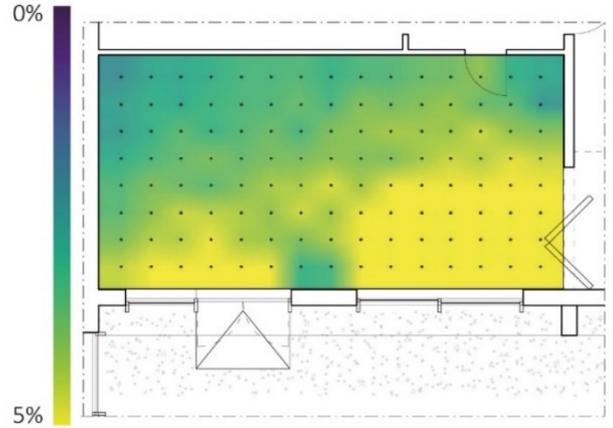
22 settembre





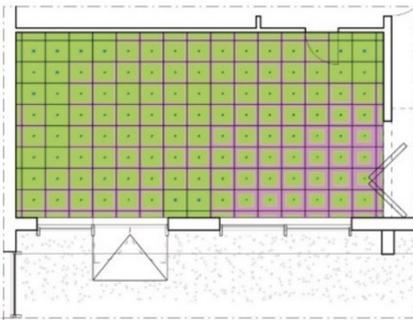
Daylight Factor (FD - FLDm) : 3,2%

Uniformità: 37%

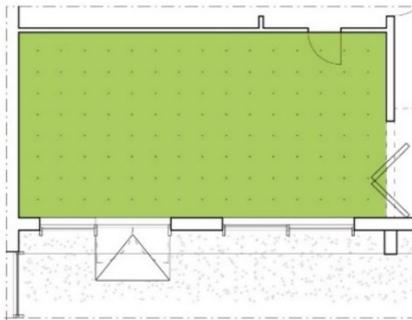


Blinds Closed: 17,5%

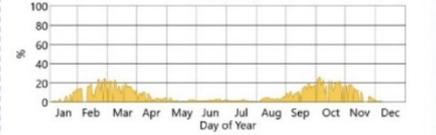
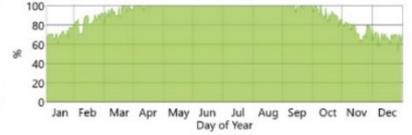
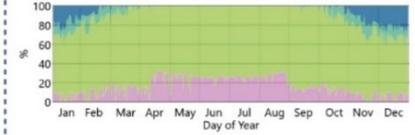
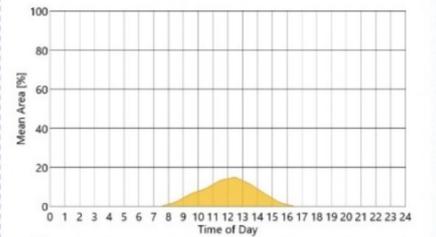
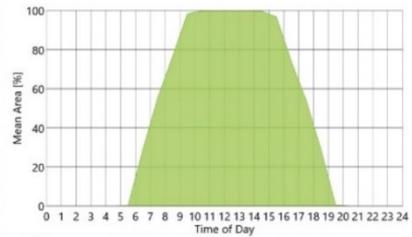
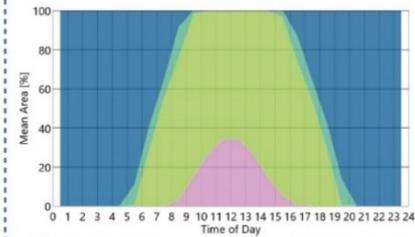
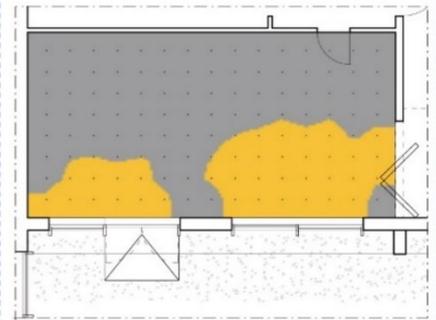
UDI.a: 80.5%



sDA300/50%: 100,0%



ASE1000,250: 41,7%



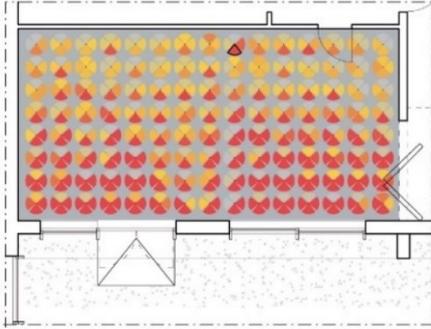
■ Failing ■ Supplemental ■ Acceptable ■ Excessive

■ Autonomous (>300 lux)

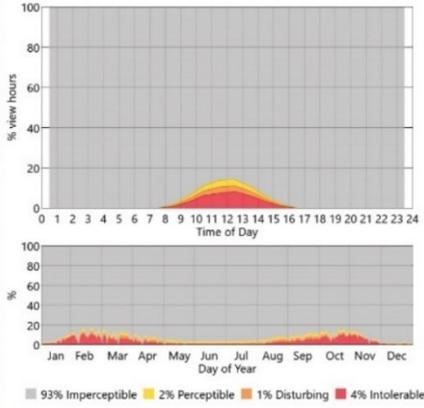
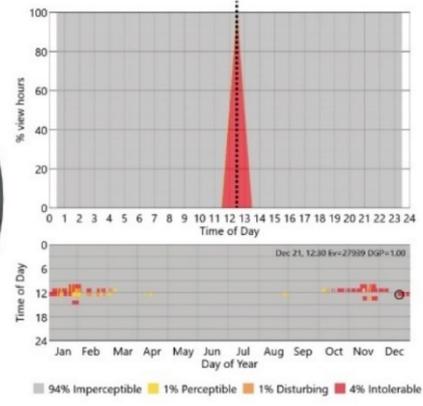
■ Overlit (>1000 lux direct)

UDI.f: 6,70% UDI.s: 8,78% UDI.e: 3,48%

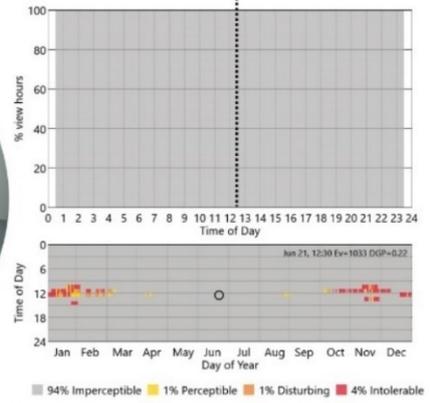
sDG: 24,4%



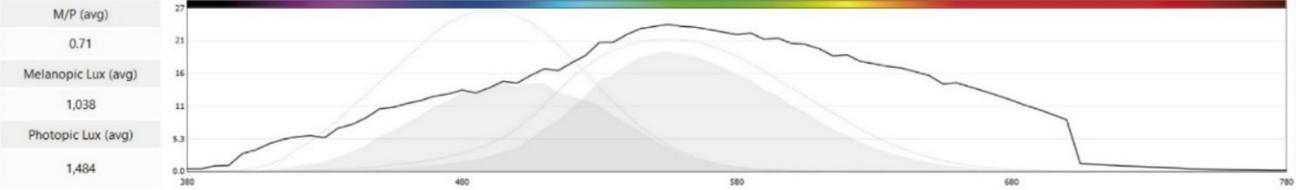
Vista 195_ 21 dicembre h. 12.30



Vista 195_ 21 giugno h. 12.30



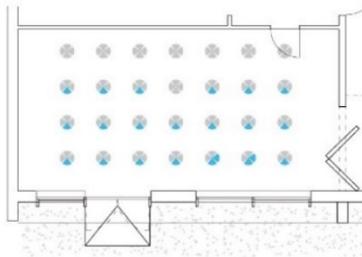
12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



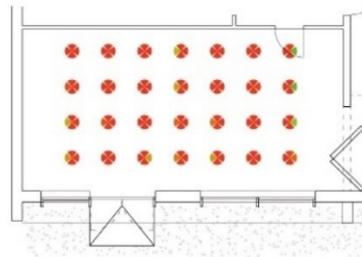
M/P Ratio 0.71

- Blue Enriched (M/P > 0.9) 19.6%
- Blue Depleted (M/P < 0.39) 0.0%
- Neither (0.35 < M/P < 0.9) 80.4%

% di viste sopra i 250 m-EDI 98.2%



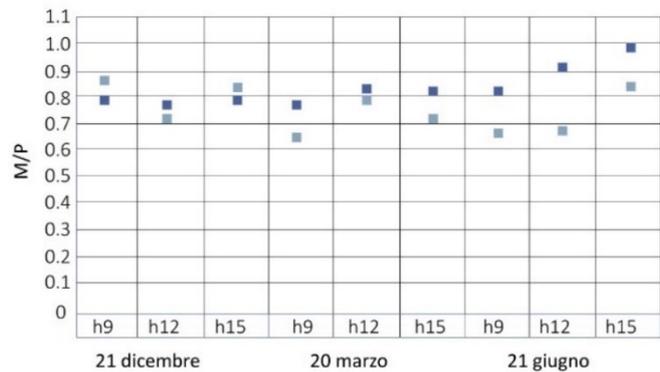
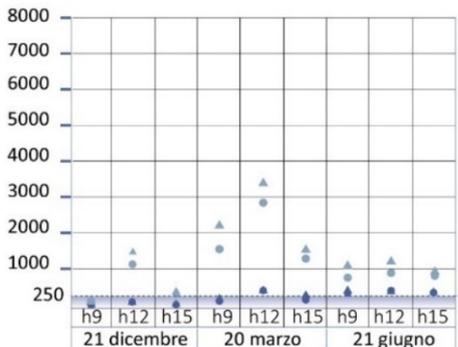
M/P



m-EDI

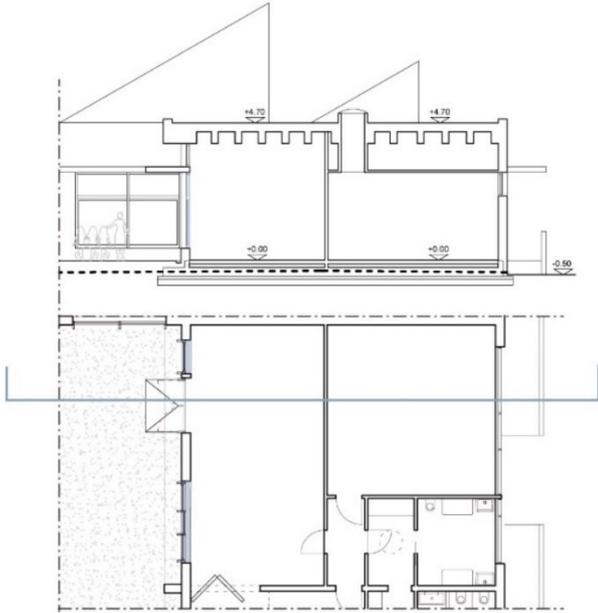


ANALISI COMPLETA ANNUALE



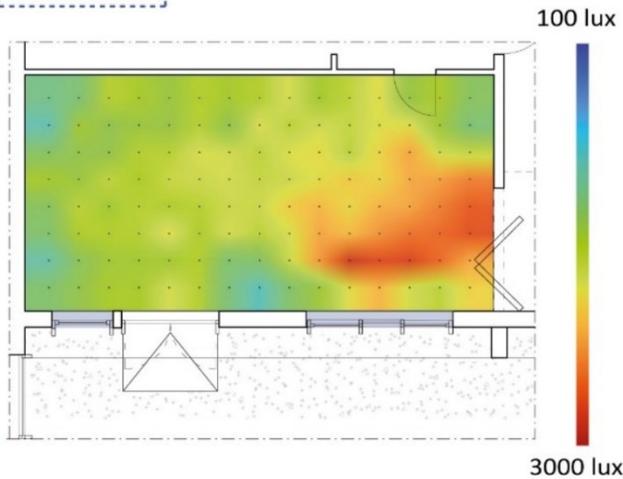
ASILO SESTRI LEVANTE

Analisi del caso in cui si modifica la dimensione delle aperture



Scala 1:200

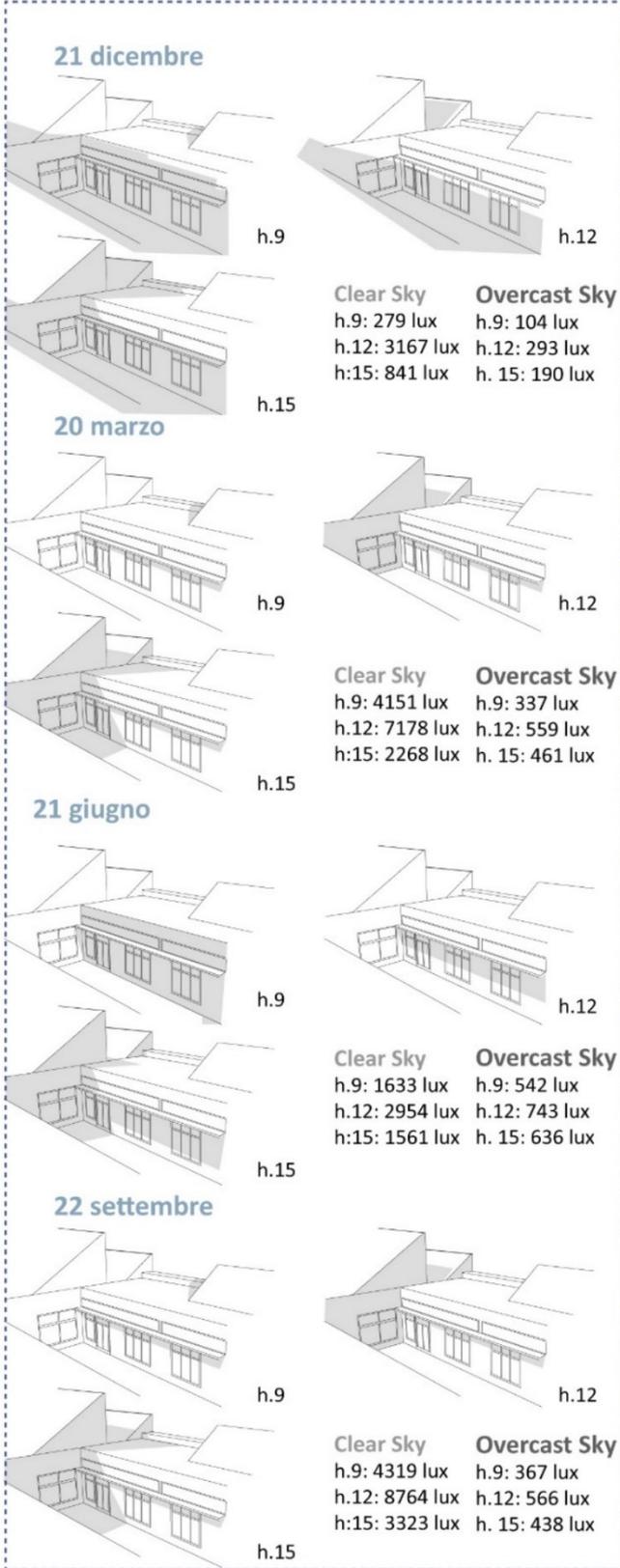
UNI 17037

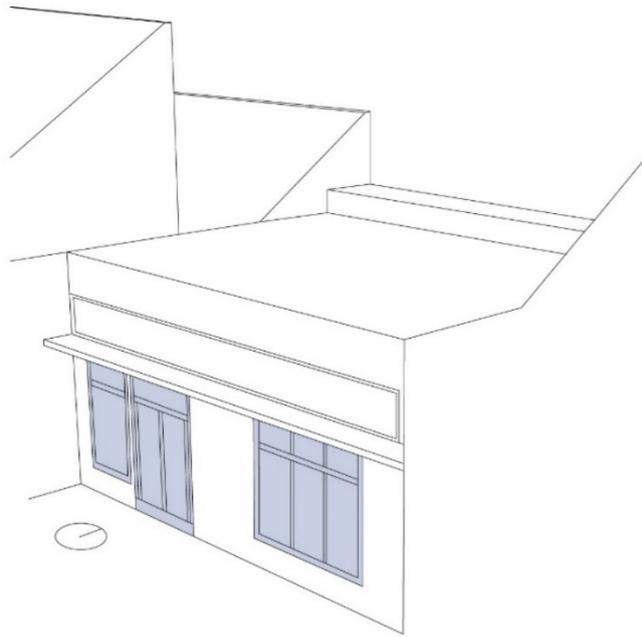


REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
67.76% ore	66.0% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

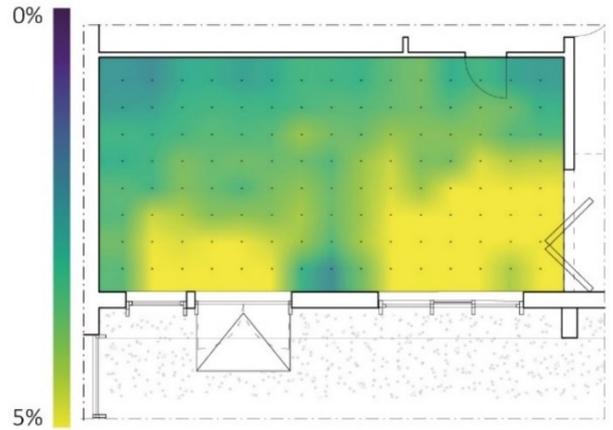
S_{Wopen} : 14.96 m ²	S_{floor} : 41.17 m ²
S_w : 21.36 m ²	S_{Wopen}/S_{floor} : 0.36
$S_{Wglazing}$: 18.52 m ²	S_w/S_{floor} : 0.52
	$S_{Wglazing}/S_{floor}$: 0.45





Daylight Factor (FD - FLDm) : 4,3%

Uniformità: 53%

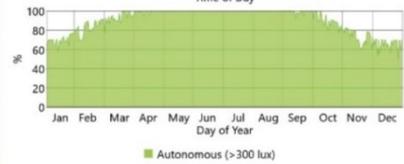
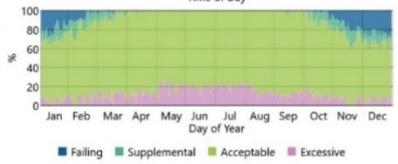
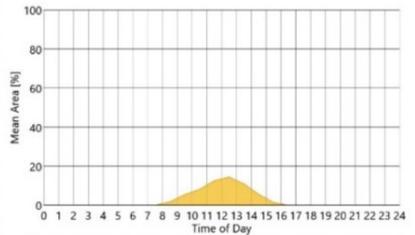
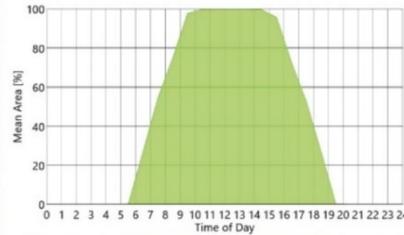
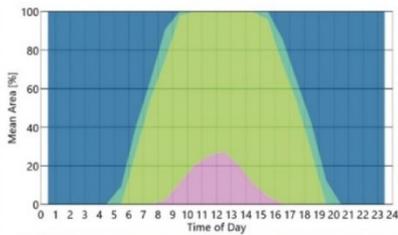
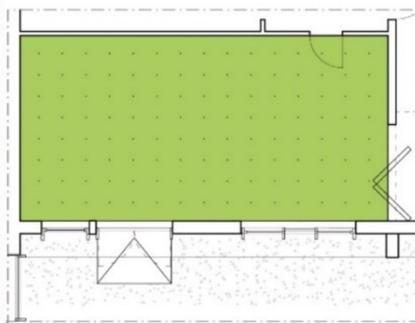
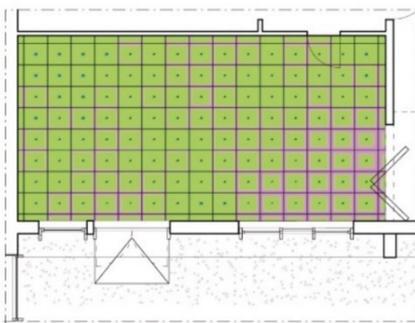


Blinds Closed: 23,3%

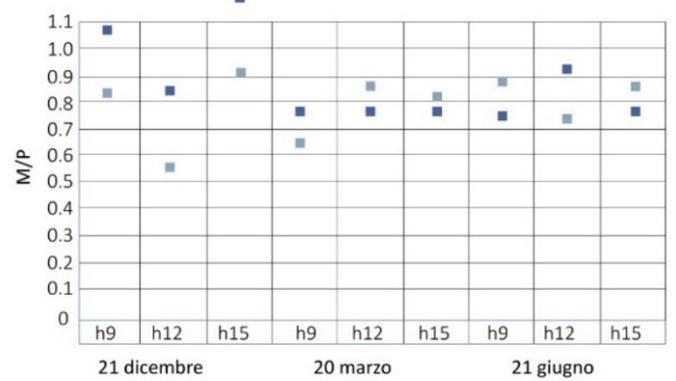
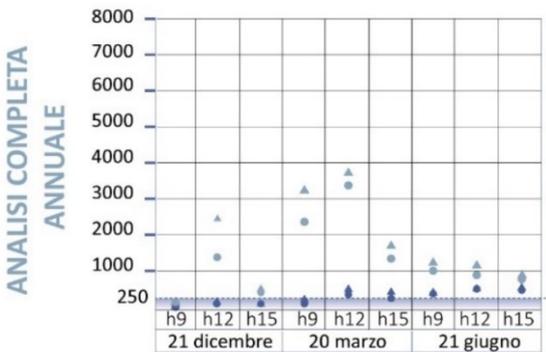
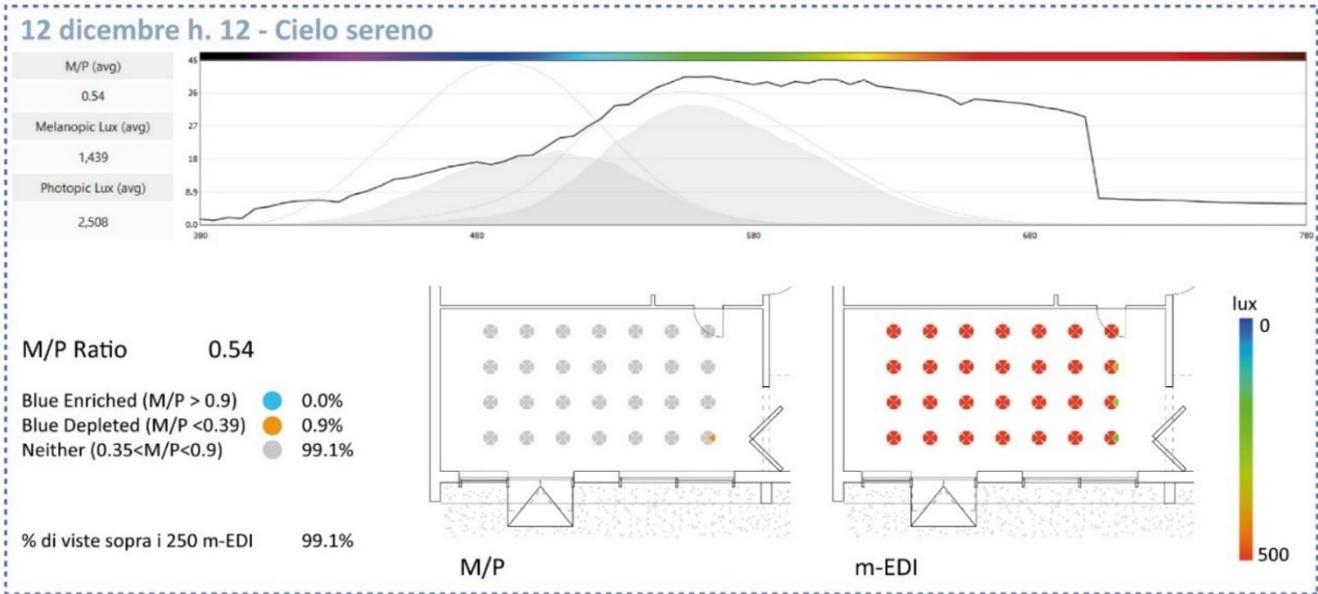
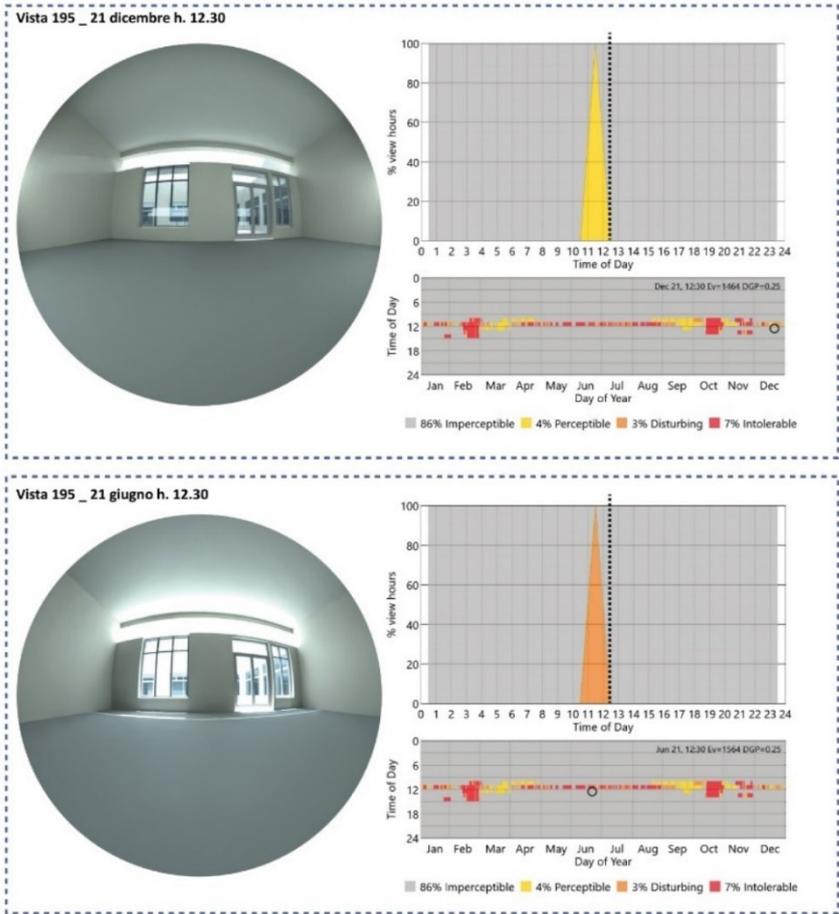
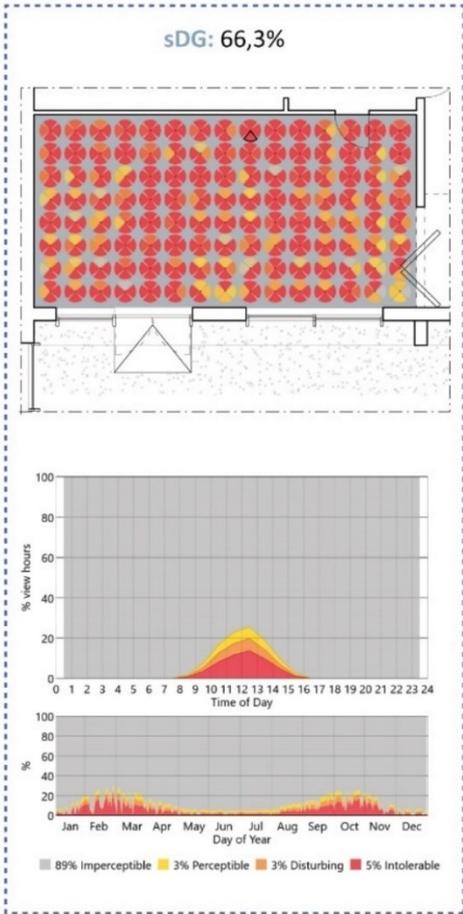
UDI.a: 77,5%

sDA300/50%: 100,0%

ASE1000/250: 21,7%

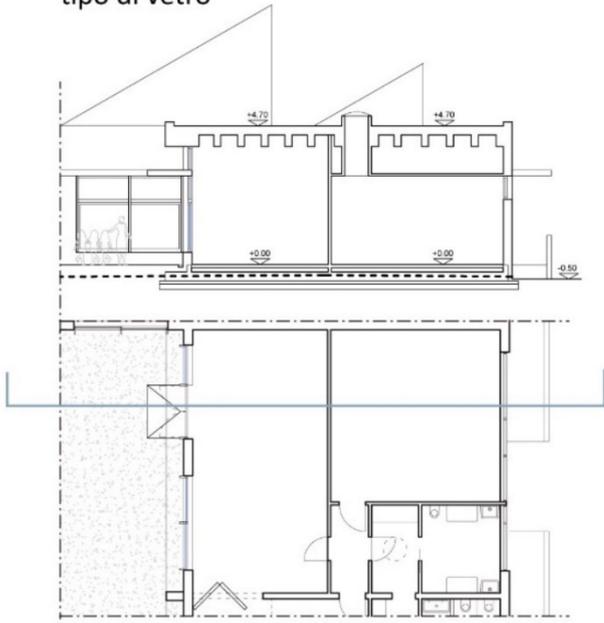


UDI.f: 5,49% UDI.s: 4,89% UDI.e: 12,1%



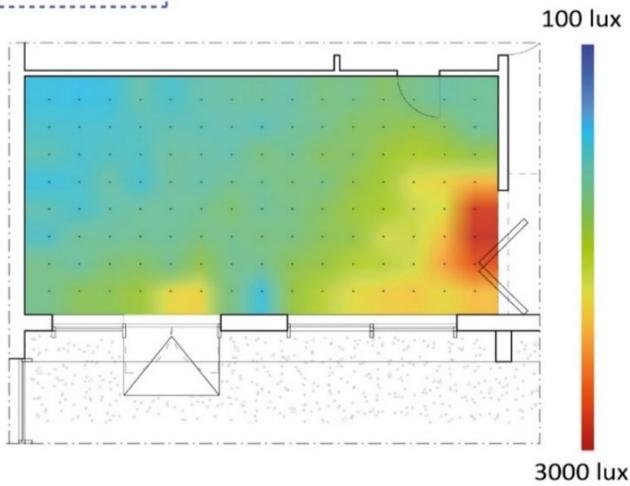
Analisi del caso in cui si modifica il tipo di vetro

S_{Wopen} : 17.68 m ²	S_{floor} : 41.17 m ²
S_w : 24.94 m ²	S_{Wopen}/S_{floor} : 0.42
$S_{Wglazing}$: 20.76 m ²	S_w/S_{floor} : 0.60
	$S_{Wglazing}/S_{floor}$: 0.5



Scala 1:200

UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
64.66% ore	57.03% ore

21 dicembre

h.9

h.12

Clear Sky

h.9: 288 lux
h.12: 2824 lux
h.15: 768 lux

Overcast Sky

h.9: 103 lux
h.12: 297 lux
h.15: 189 lux

20 marzo

h.9

h.12

Clear Sky

h.9: 5879 lux
h.12: 6708 lux
h.15: 2690 lux

Overcast Sky

h.9: 337 lux
h.12: 563 lux
h.15: 465 lux

21 giugno

h.9

h.12

Clear Sky

h.9: 1572 lux
h.12: 3080 lux
h.15: 1535 lux

Overcast Sky

h.9: 541 lux
h.12: 740 lux
h.15: 643 lux

22 settembre

h.9

h.12

Clear Sky

h.9: 5442 lux
h.12: 8285 lux
h.15: 2903 lux

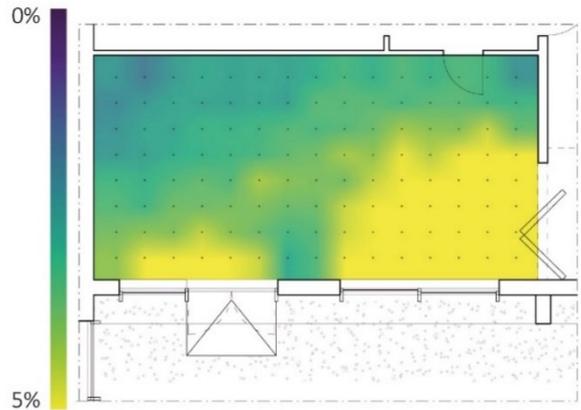
Overcast Sky

h.9: 369 lux
h.12: 571 lux
h.15: 440 lux



Daylight Factor (FD - FLDm) : 4,3%

Uniformità: 44%

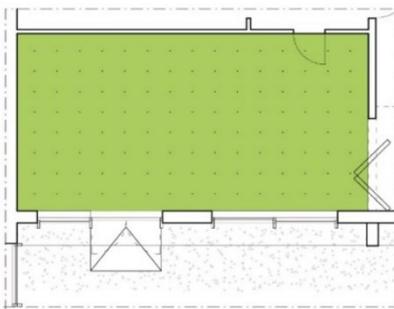


Blinds Closed: 21,6%

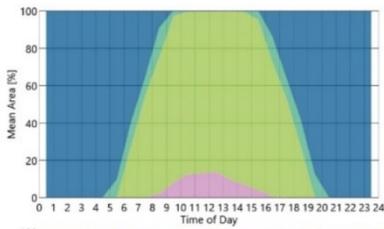
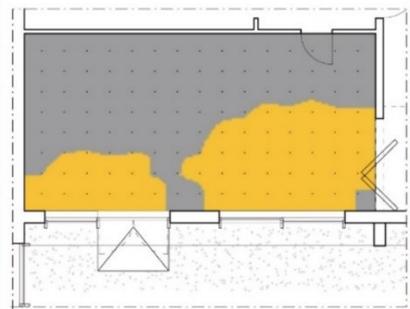
UDI.a: 82,4%



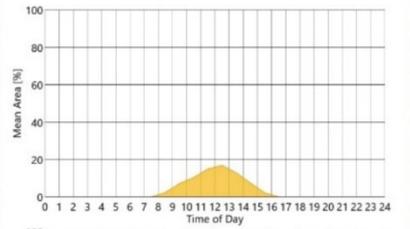
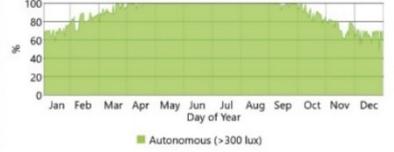
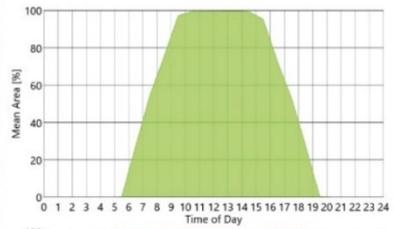
sDA300/50%: 100,0%



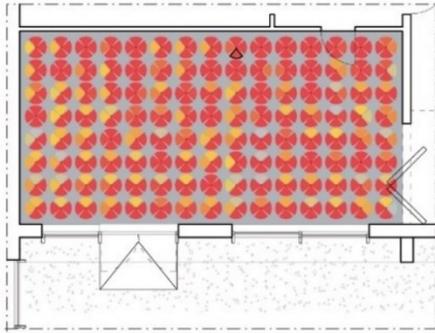
ASE1000,250: 38,3%



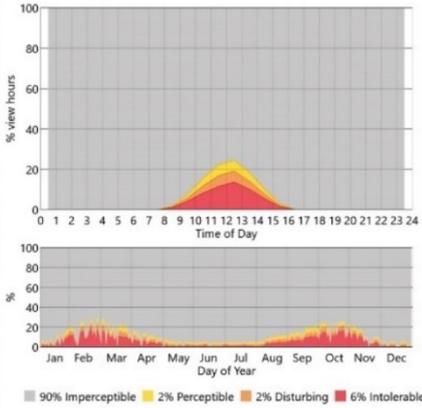
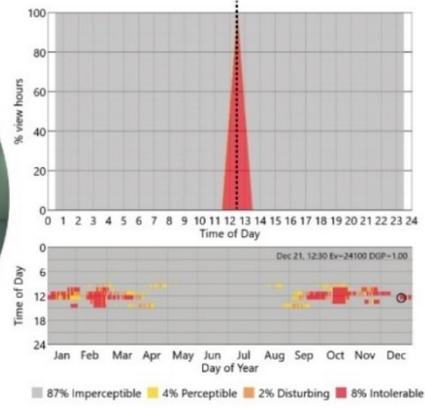
UDI.f: 5,39% UDI.s: 5,19% UDI.e: 6,99%



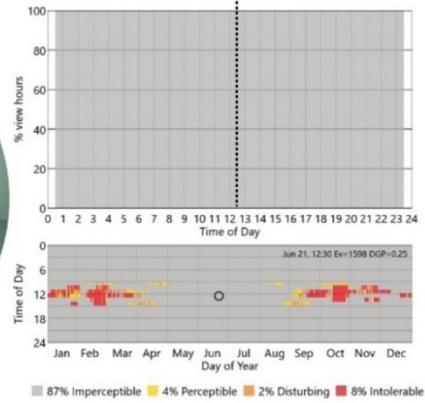
sDG: 65,8%



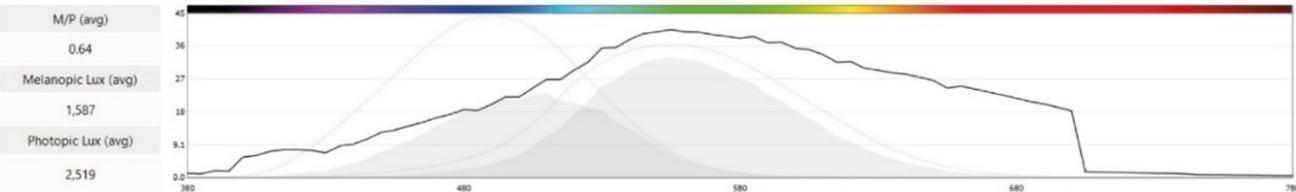
Vista 195_ 21 dicembre h. 12.30



Vista 195_ 21 giugno h. 12.30



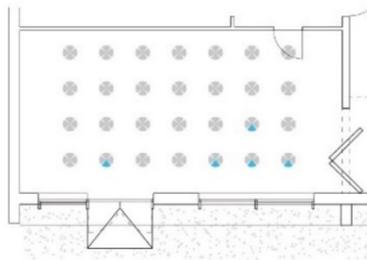
12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



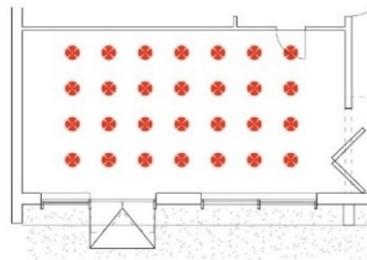
M/P Ratio 0.64

- Blue Enriched (M/P > 0.9) 4.5%
- Blue Depleted (M/P < 0.39) 0.0%
- Neither (0.35 < M/P < 0.9) 95.5%

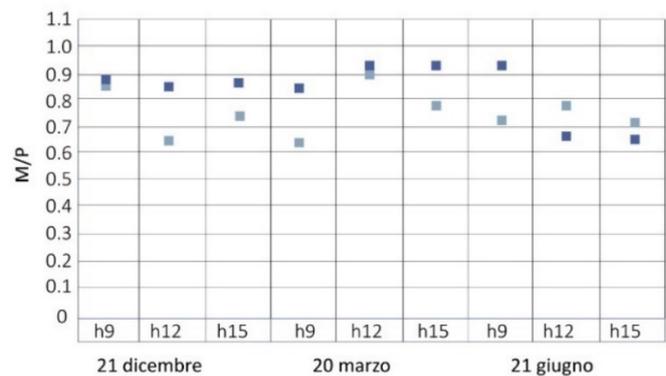
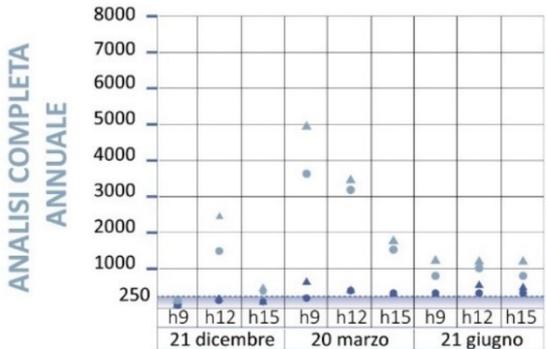
% di viste sopra i 250 m-EDI 100%

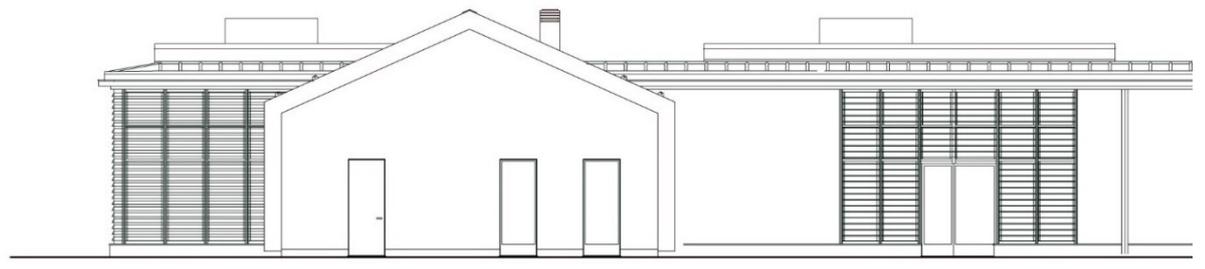
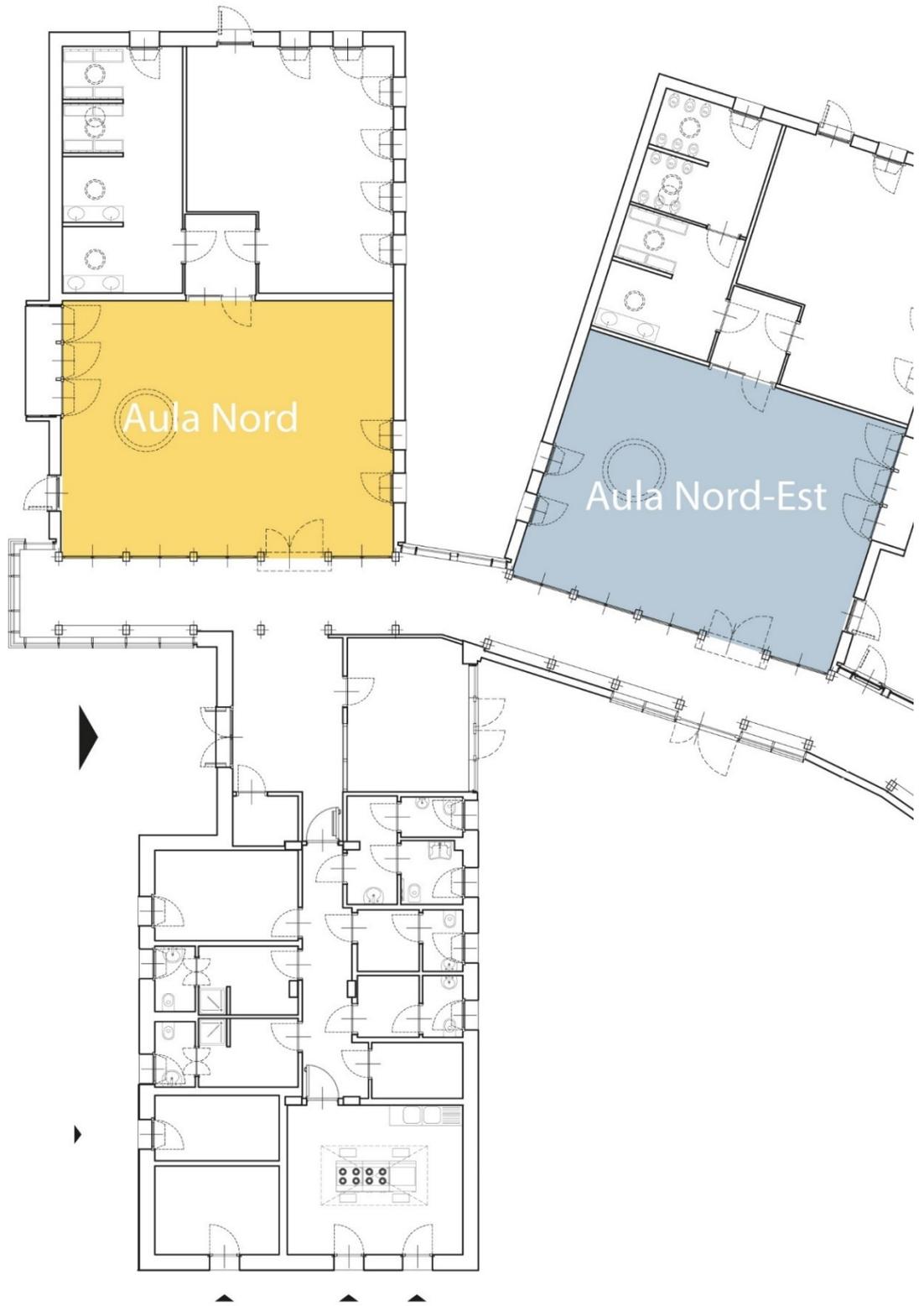
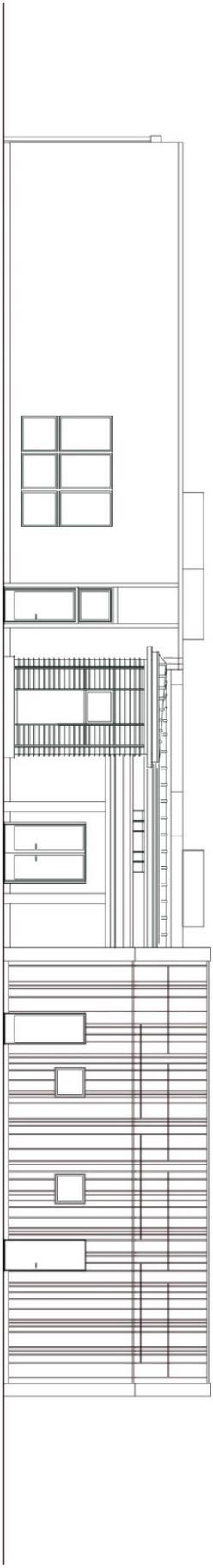


M/P

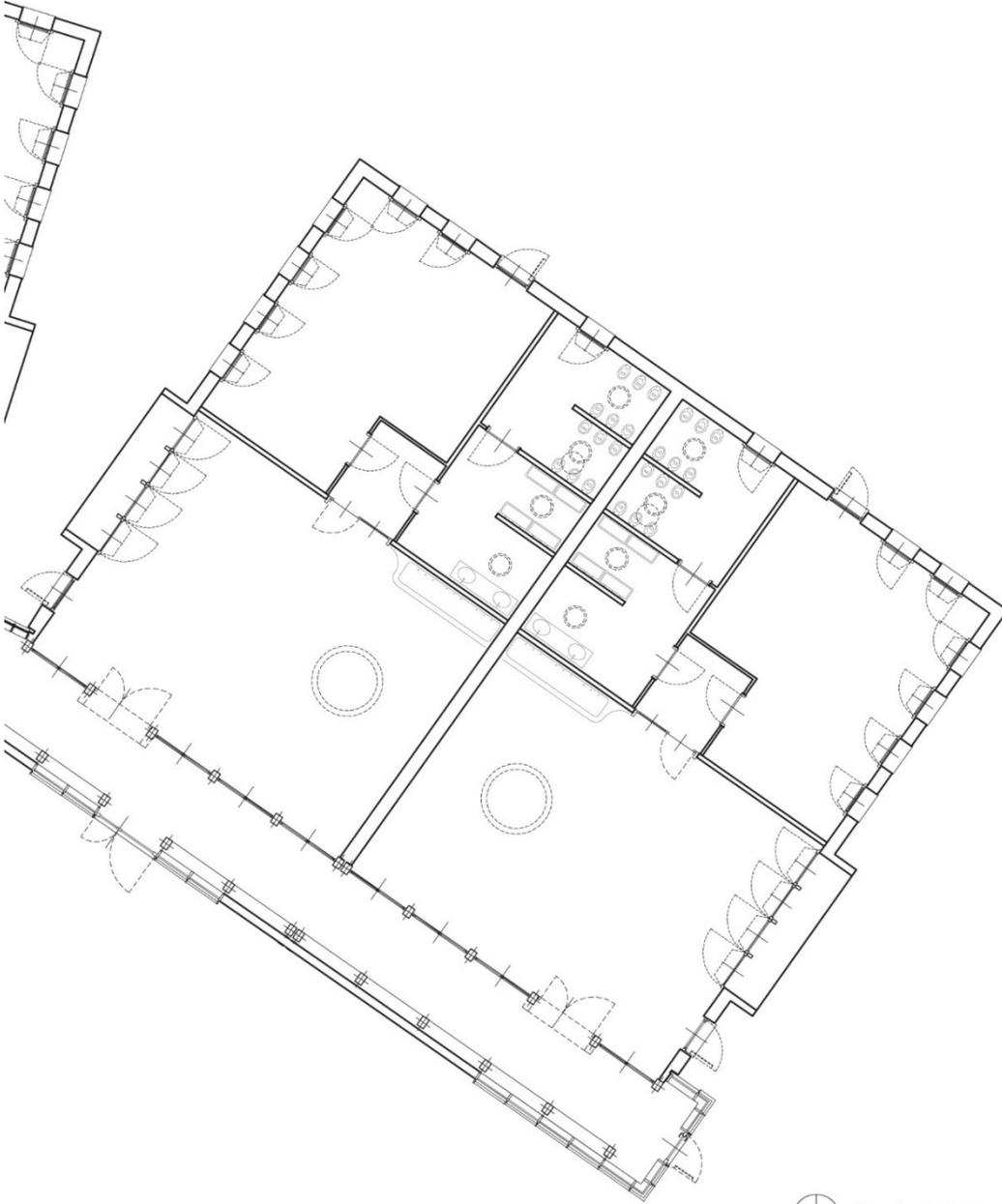


m-EDI

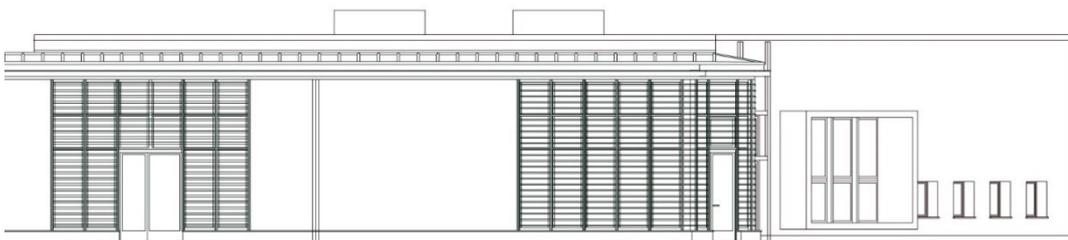




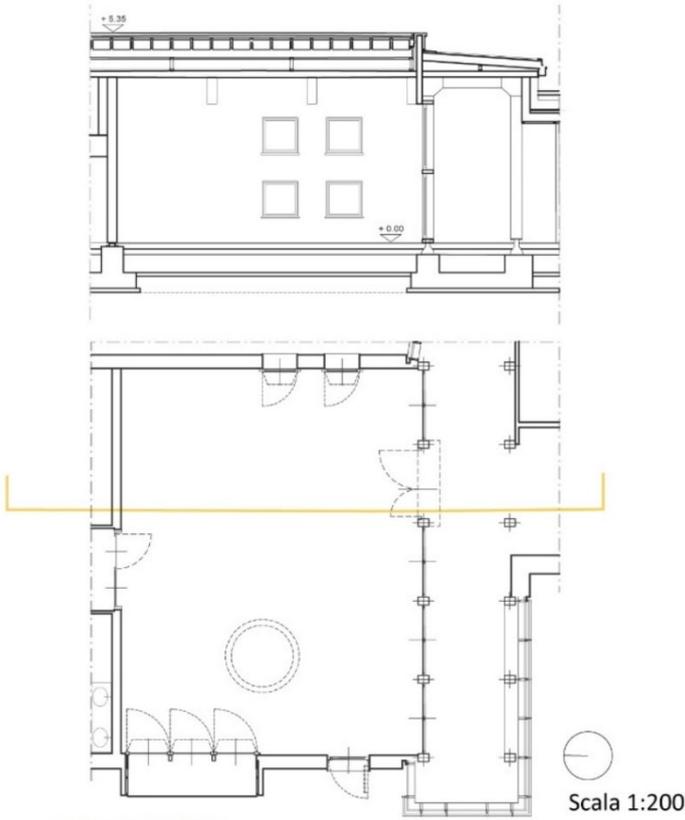
ASILO NIDO ALBA



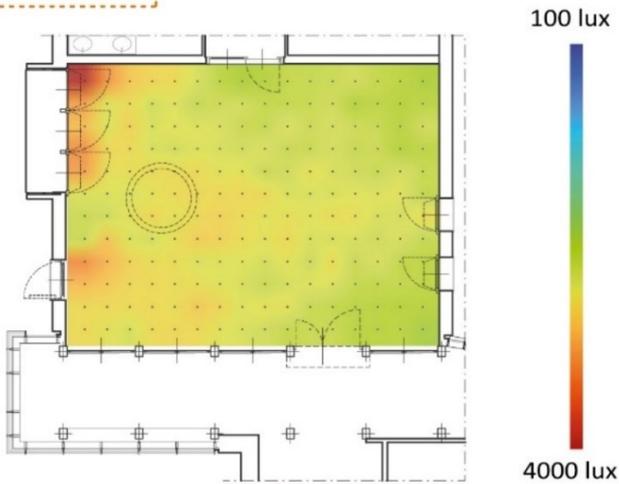
⊙ Scala 1:200



ASILO NIDO ALBA
 Analisi del caso base **Aula Nord**



UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
78.81% ore	82.05% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

$S_{Wopen}: 14.65 \text{ m}^2$	$S_{floor}: 76.51 \text{ m}^2$
$S_w: 55.21 \text{ m}^2$	$S_{Wopen}/S_{floor}: 0.19$
$S_{Wglazing}: 44.05 \text{ m}^2$	$S_w/S_{floor}: 0.72$
	$S_{Wglazing}/S_{floor}: 0.58$

21 dicembre

h.9

h.12

h.15

Clear Sky

h.9: 430 lux
h.12: 2248 lux
h.15: 1796 lux

Overcast Sky

h.9: 191 lux
h.12: 546 lux
h.15: 352 lux

20 marzo

h.9

h.12

h.15

Clear Sky

h.9: 2010 lux
h.12: 3631 lux
h.15: 4555 lux

Overcast Sky

h.9: 621 lux
h.12: 1038 lux
h.15: 854 lux

21 giugno

h.9

h.12

h.15

Clear Sky

h.9: 3880 lux
h.12: 4819 lux
h.15: 6293 lux

Overcast Sky

h.9: 1006 lux
h.12: 1364 lux
h.15: 1183 lux

22 settembre

h.9

h.12

h.15

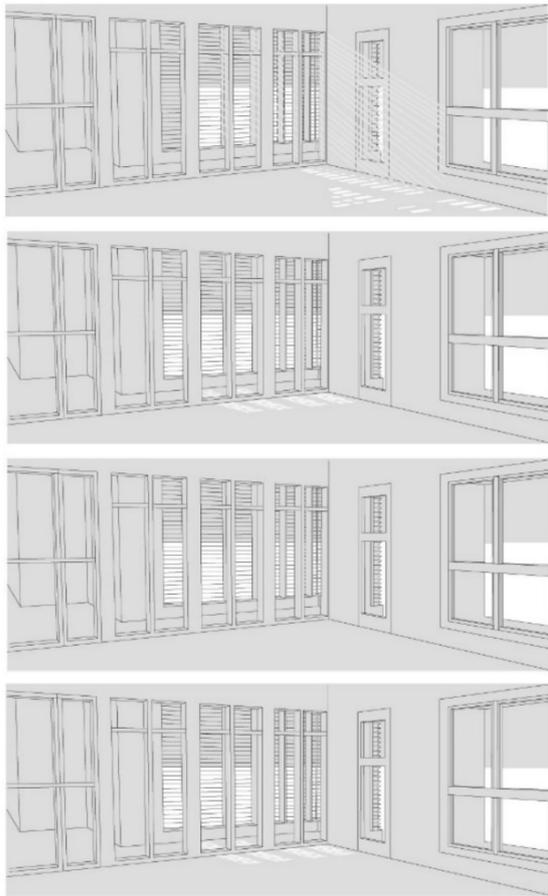
Clear Sky

h.9: 2224 lux
h.12: 3674 lux
h.15: 5206 lux

Overcast Sky

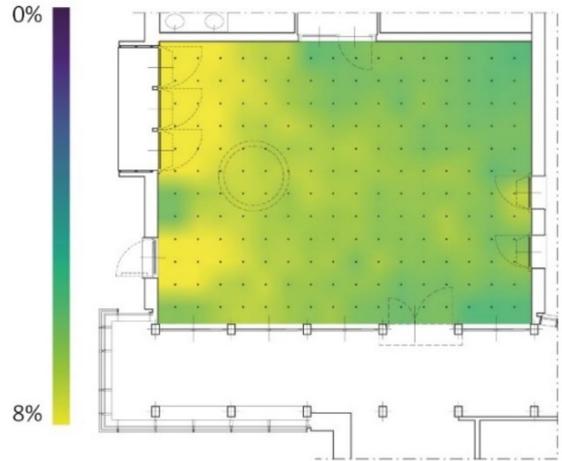
h.9: 678 lux
h.12: 1050 lux
h.15: 817 lux

21 dicembre - h.12
 20 marzo - h.12
 21 giugno - h.12
 22 settembre - h.12



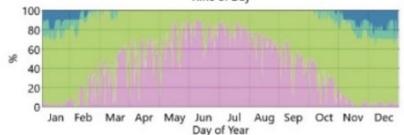
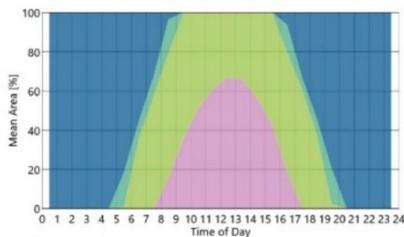
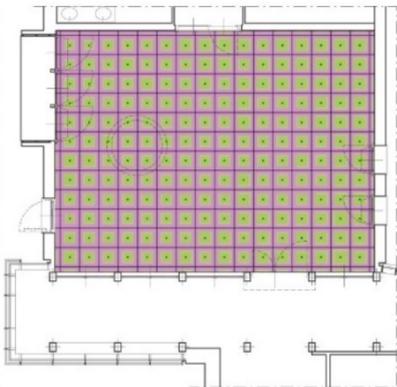
Daylight Factor (FD - FLDm) : 7,1%

Uniformità: 79%



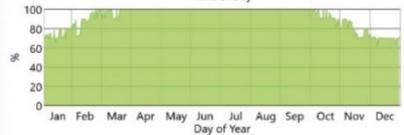
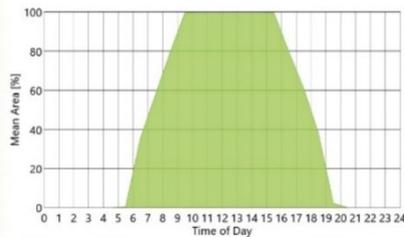
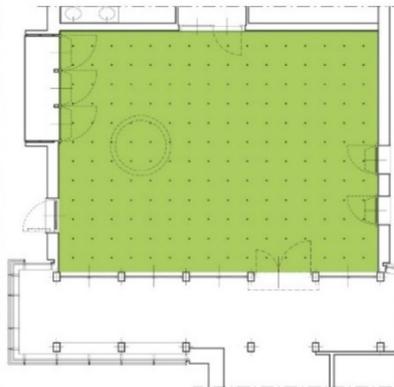
Blinds Closed: 8,9%

UDI.a: 51,1%



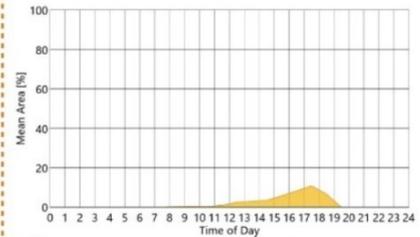
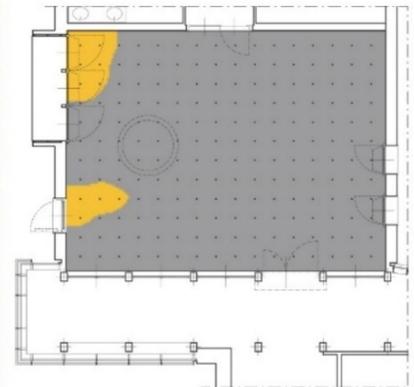
■ Failing ■ Supplemental ■ Acceptable ■ Excessive

sDA300/50%: 100,0%



■ Autonomous (>300 lux)

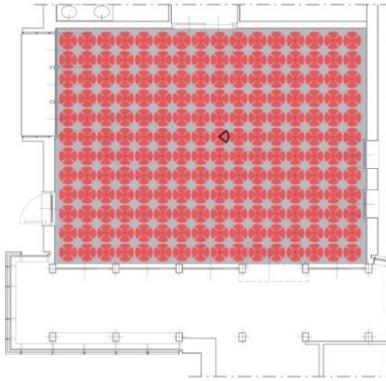
ASE1000,250: 5,2%



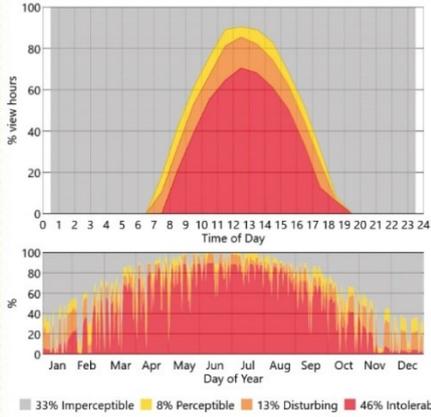
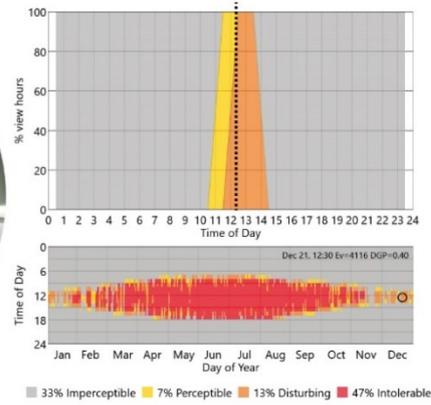
■ Overlit (>1000 lux direct)

UDI.f: 3,74% UDI.s: 4,21% UDI.e: 40,9%

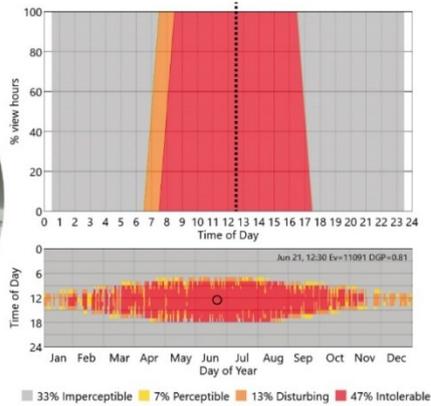
SDG: 100,0%



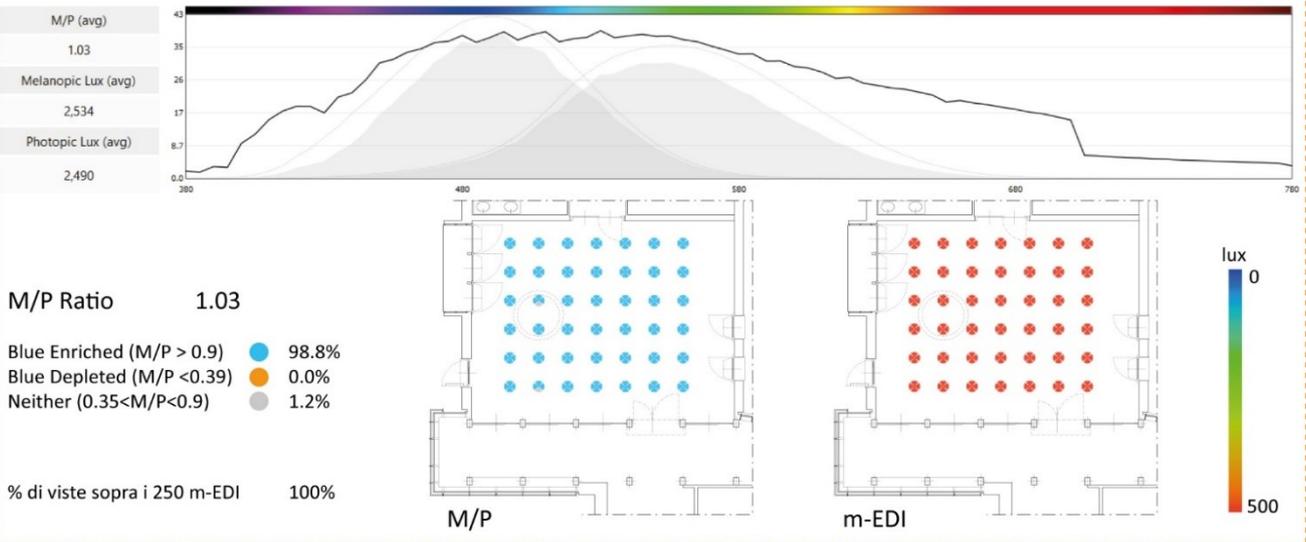
Vista 408_ 21 dicembre h. 12.30



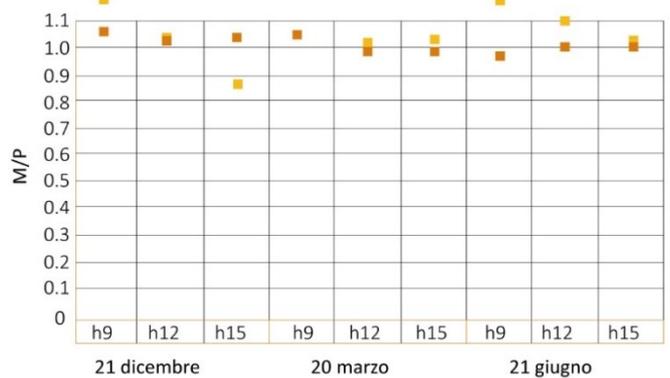
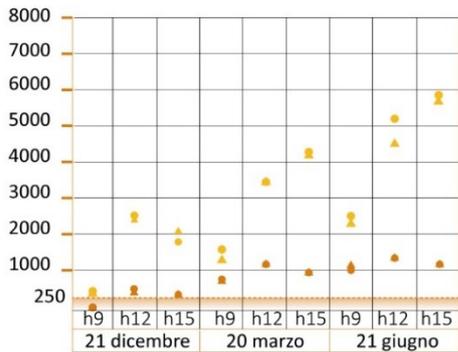
Vista 408_ 21 giugno h. 12.30



12 dicembre h. 12 - Cielo sereno

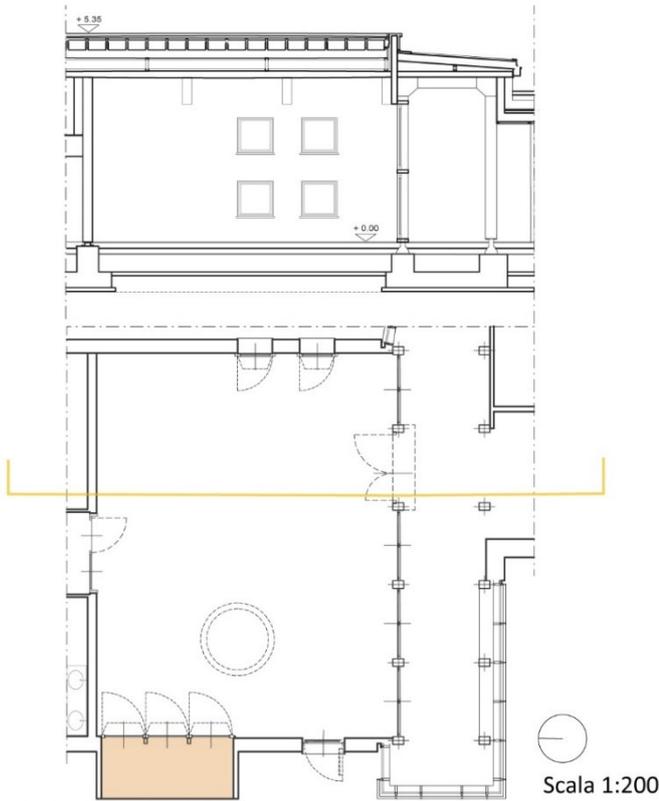


ANALISI COMPLETA ANNUALE

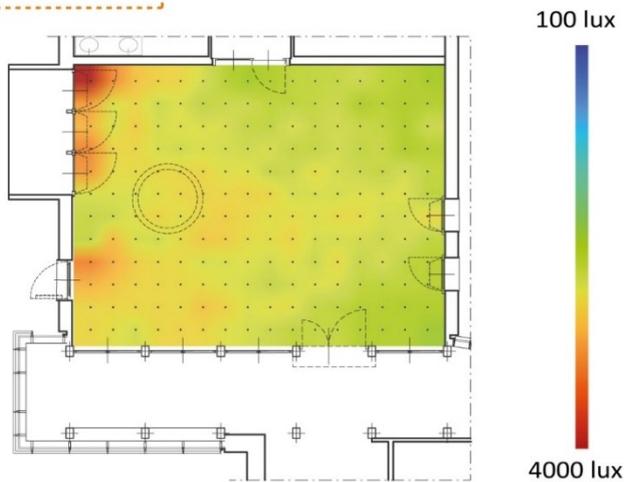


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si aumentano gli sporti dell' **Aula Nord**



UNI 17037



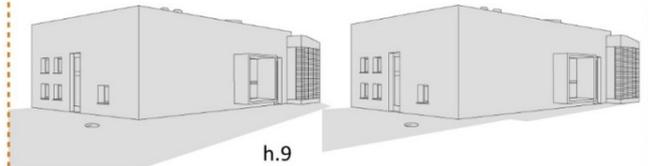
REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
78.52% ore ✓	81.98% ore ✓

Rapporto Aeroilluminante RAI

S_{Wopen} : 14.65 m²
 S_w : 55.21 m²
 $S_{Wglazing}$: 44.05 m²

S_{floor} : 76.51 m²
 S_{Wopen}/S_{floor} : 0.19
 S_w/S_{floor} : 0.72
 $S_{Wglazing}/S_{floor}$: 0.58

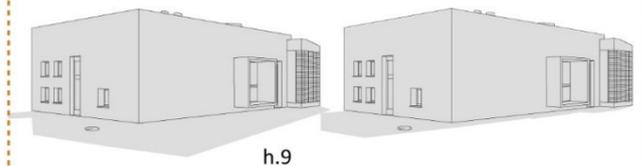
21 dicembre



Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 388 lux	h.9: 167 lux
h.12: 2168 lux	h.12: 476 lux
h.15: 1387 lux	h.15: 307 lux

h.15

20 marzo



Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 1920 lux	h.9: 540 lux
h.12: 3503 lux	h.12: 900 lux
h.15: 3574 lux	h.15: 741 lux

h.15

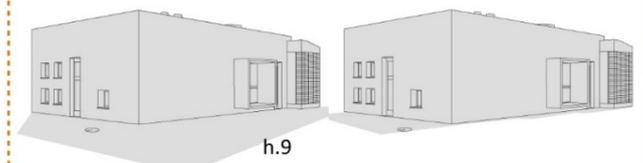
21 giugno



Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 3765 lux	h.9: 875 lux
h.12: 4681 lux	h.12: 1192 lux
h.15: 4514 lux	h.15: 1037 lux

h.15

22 settembre



Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 2142 lux	h.9: 591 lux
h.12: 3536 lux	h.12: 921 lux
h.15: 4057 lux	h.15: 714 lux

h.15

21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

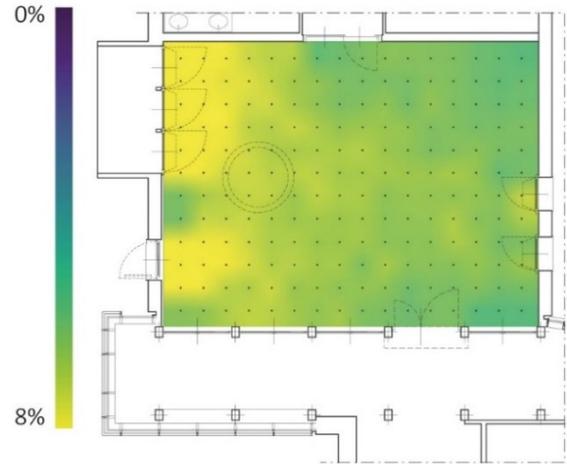


22 settembre - h.12



Daylight Factor (FD - FLDm) : 6,9%

Uniformità: 79%

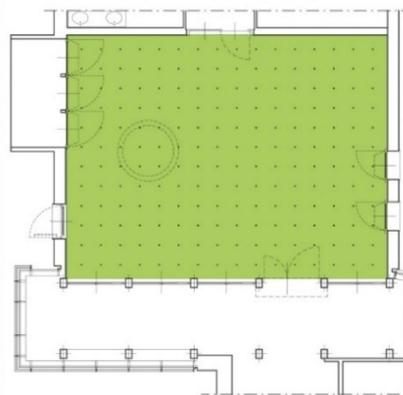


Blinds Closed: 3,4%

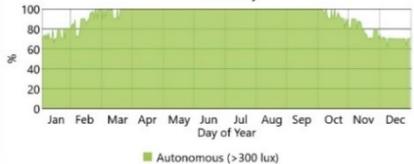
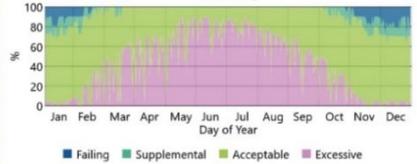
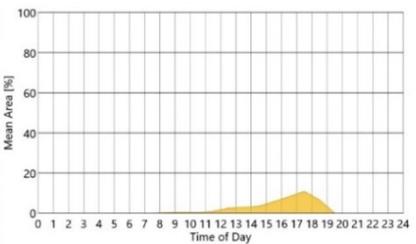
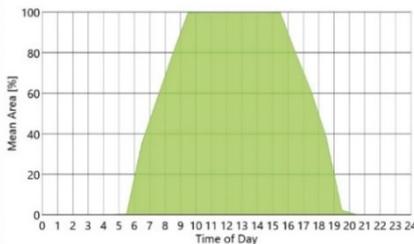
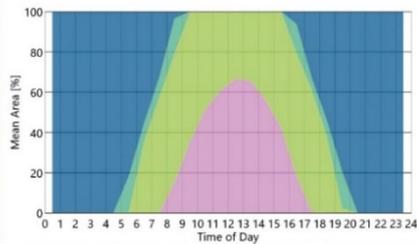
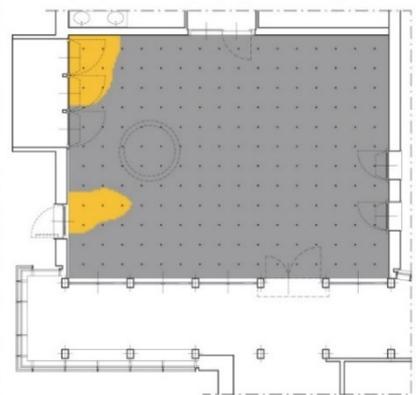
UDI.a: 51,4%



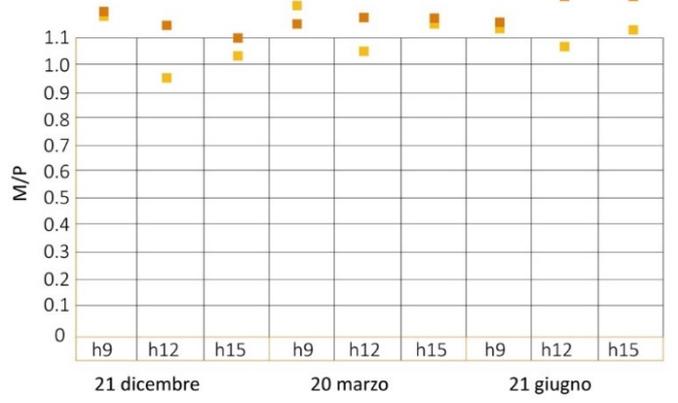
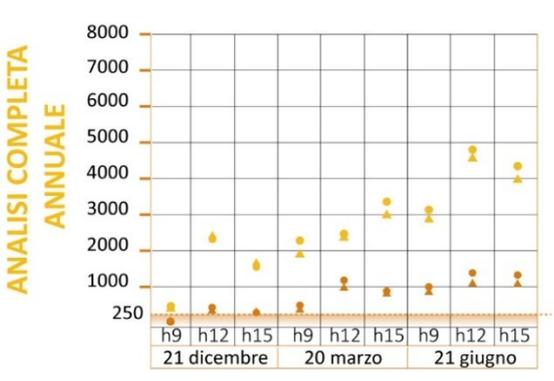
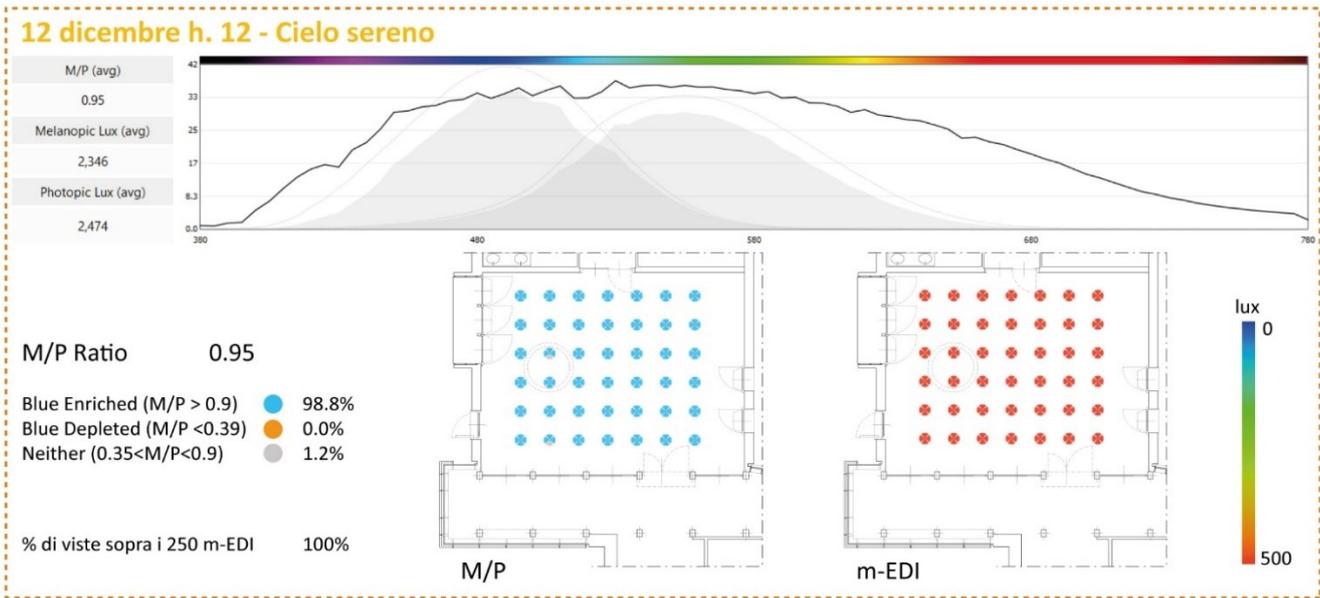
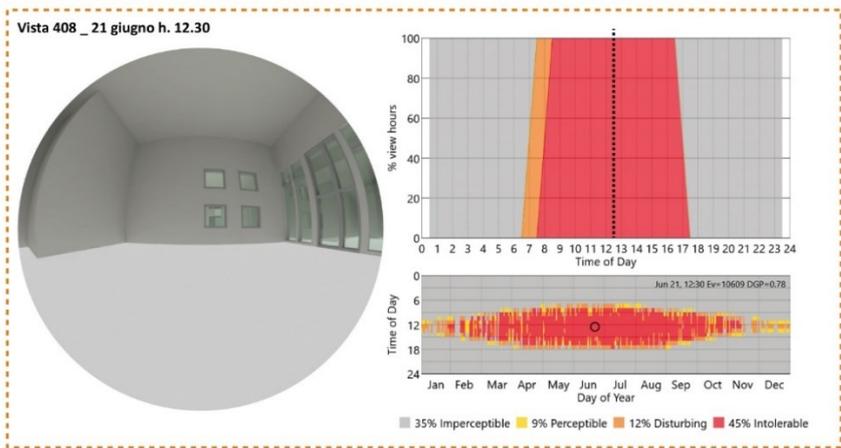
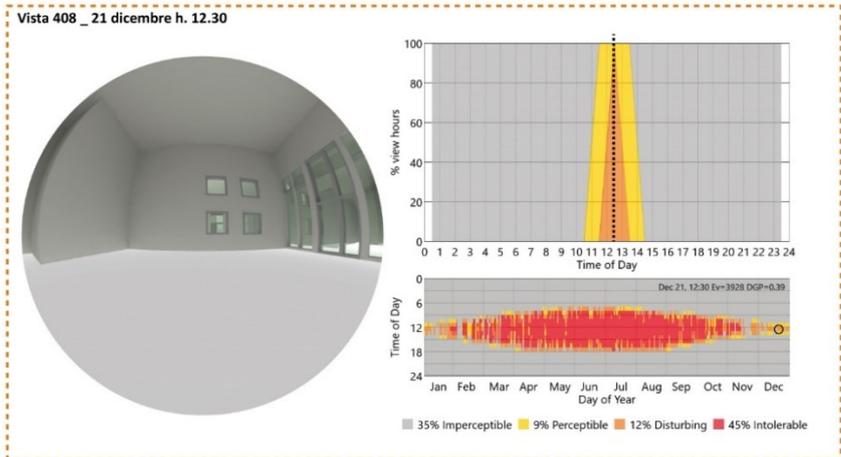
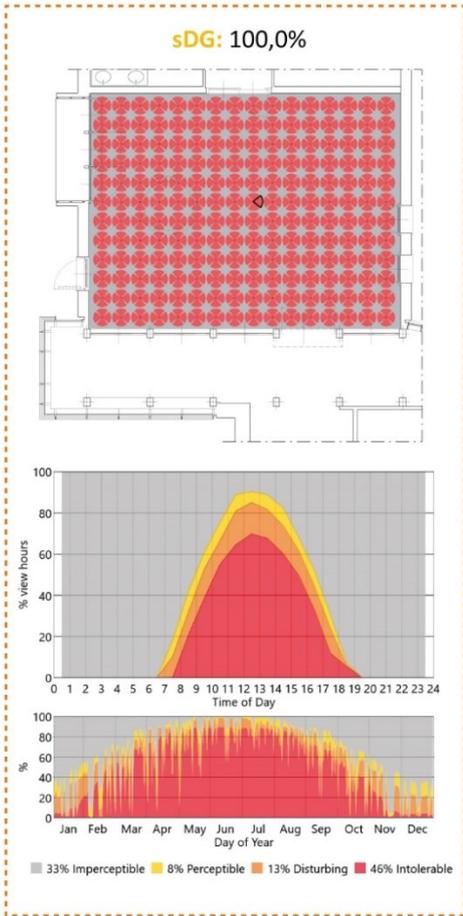
sDA300/50%: 100,0%



ASE1000,250: 4,7%



UDI.f: 3,81% UDI.s: 4,22% UDI.e: 40,3%



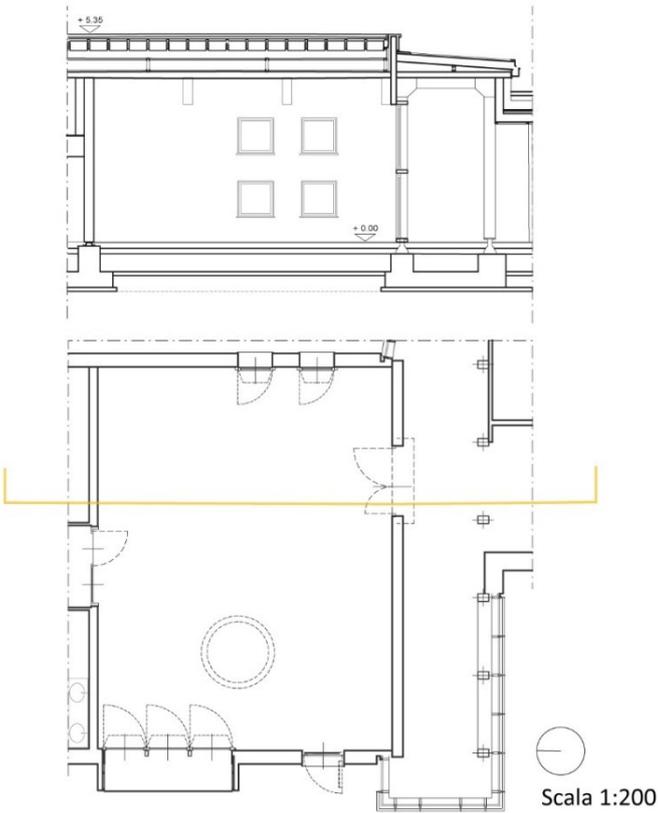
ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si diminuiscono le superfici vetrate dell' **Aula Nord**

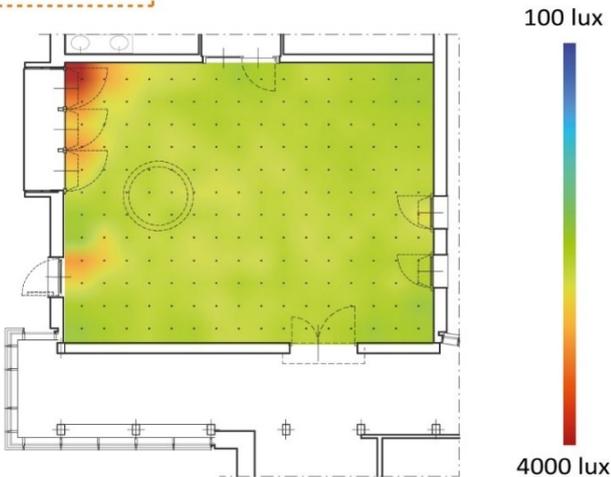
Rapporto Aeroilluminante RAI

S_{Wopen} : 13.6 m²
 S_{W} : 22.41 m²
 $S_{Wglazing}$: 16.61 m²

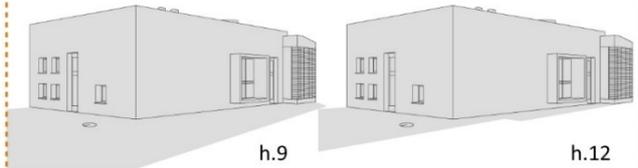
S_{floor} : 76.51 m²
 S_{Wopen}/S_{floor} : 0.18
 S_{W}/S_{floor} : 0.29
 $S_{Wglazing}/S_{floor}$: 0.22



UNI 17037



21 dicembre



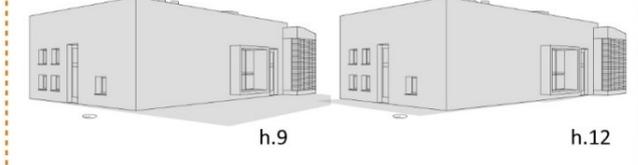
Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 372 lux	h.9: 163 lux
h.12: 1572 lux	h.12: 463 lux
h.15: 1020 lux	h.15: 299 lux

20 marzo



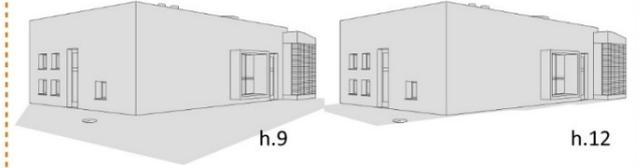
Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 1861 lux	h.9: 524 lux
h.12: 3381 lux	h.12: 880 lux
h.15: 3590 lux	h.15: 730 lux

21 giugno



Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 3260 lux	h.9: 856 lux
h.12: 4553 lux	h.12: 1162 lux
h.15: 4891 lux	h.15: 1010 lux

22 settembre



Clear Sky	Overcast Sky
h.9: 2074 lux	h.9: 575 lux
h.12: 3412 lux	h.12: 889 lux
h.15: 3991 lux	h.15: 692 lux

REQUISITI

750 lux in almeno **50%** dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna

500 lux in almeno **95%** dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna

RISULTATI

77.17% ore ✓

81.32% ore ✓

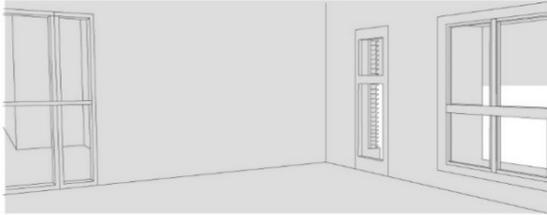
21 dicembre - h.12



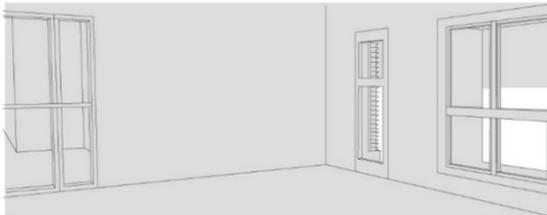
20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

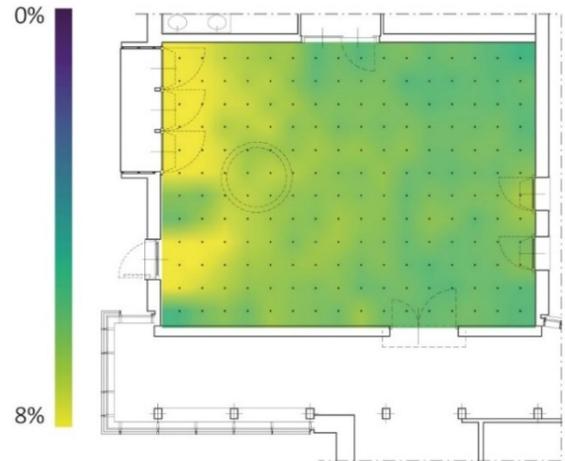


22 settembre - h.12



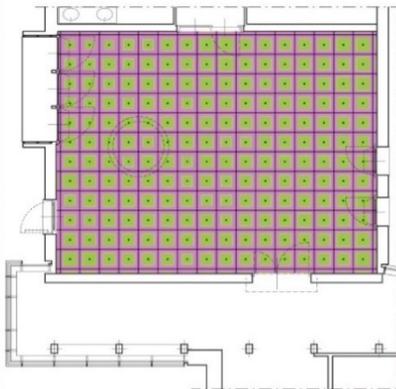
Daylight Factor (FD - FLDm) : 6,7%

Uniformità: 77%

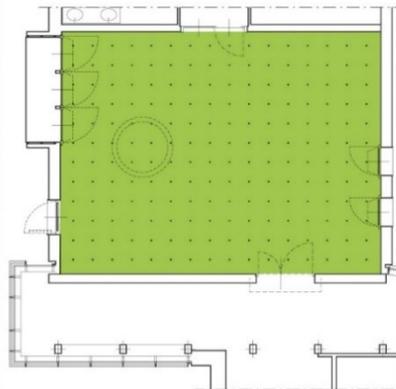


Blinds Closed: 4,1%

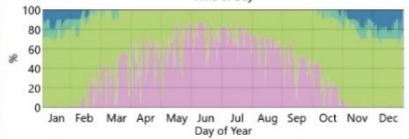
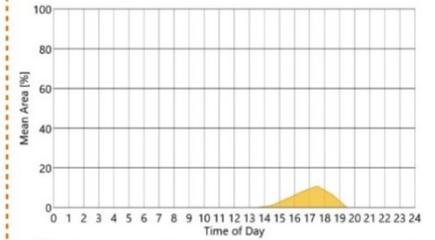
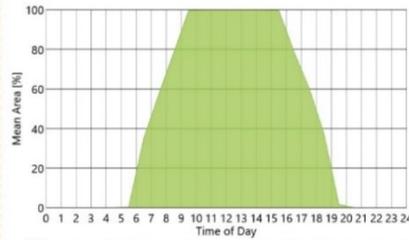
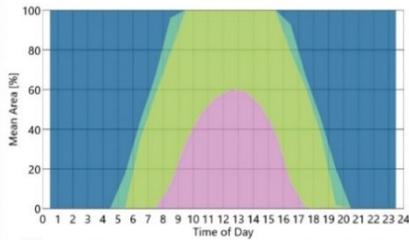
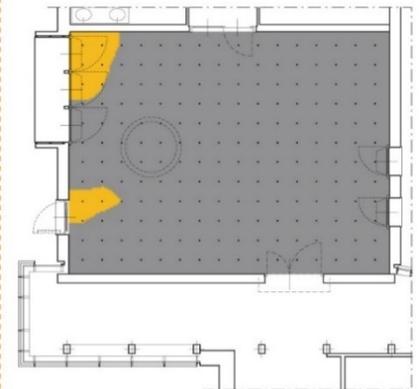
UDI.a: 54,7%



sDA300/50%: 100,0%

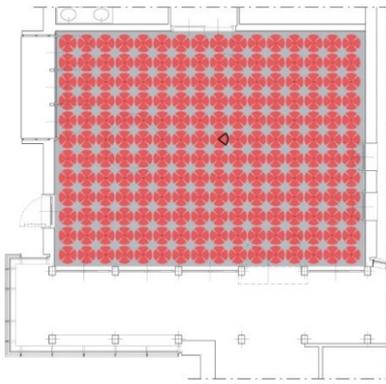


ASE1000,250: 4,7%

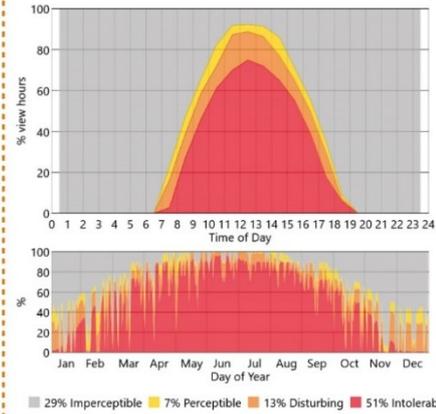
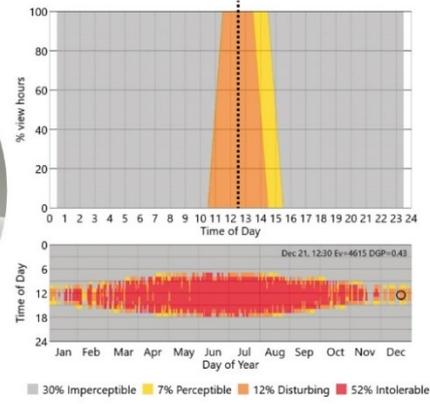


UDI.f: 3,96% UDI.s: 4,26% UDI.e: 37,1%

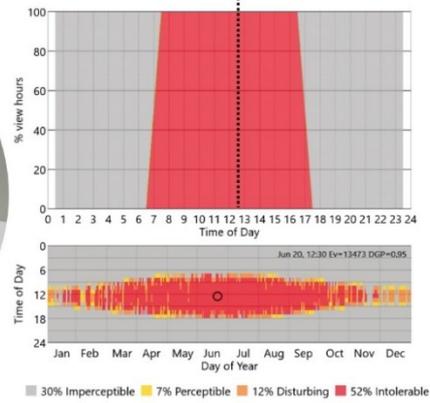
sDG: 100,0%



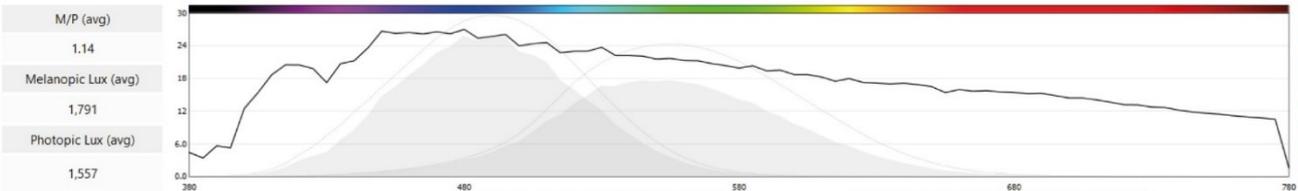
Vista 408 _ 21 dicembre h. 12.30



Vista 408 _ 21 giugno h. 12.30



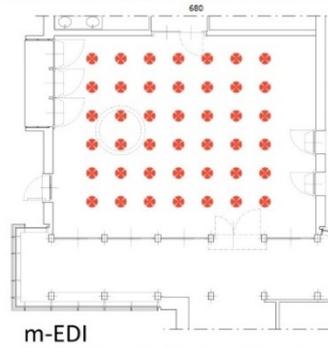
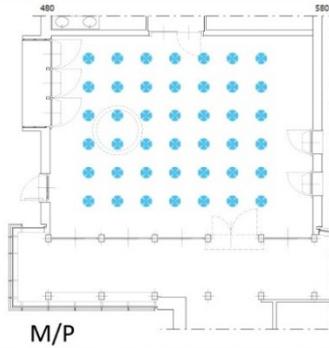
12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



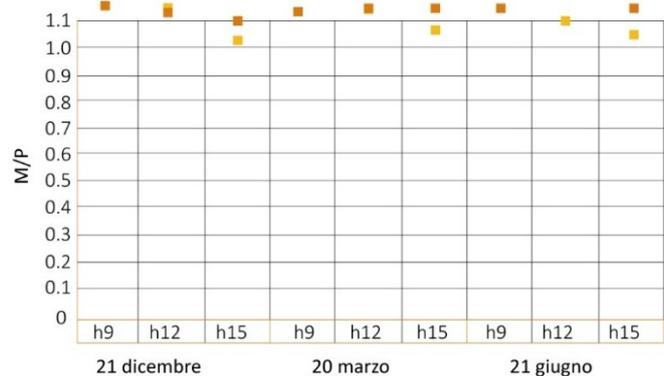
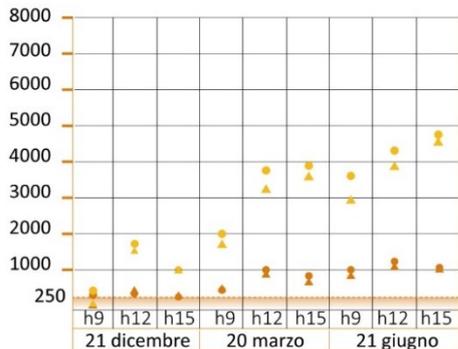
M/P Ratio 1.14

- Blue Enriched (M/P > 0.9) 100%
- Blue Depleted (M/P < 0.39) 0.0%
- Neither (0.35 < M/P < 0.9) 0.0%

% di viste sopra i 250 m-EDI 100%

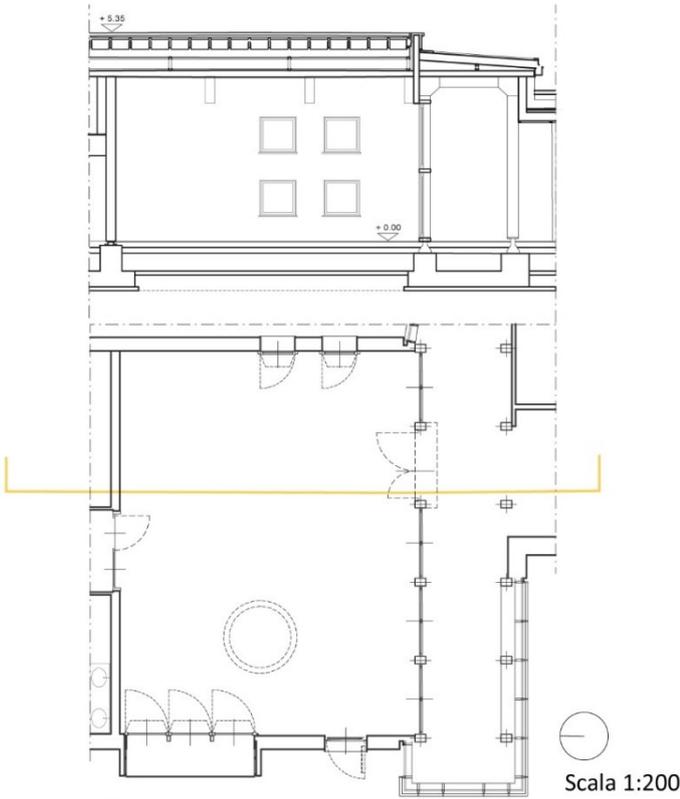


ANALISI COMPLETA ANNUALE

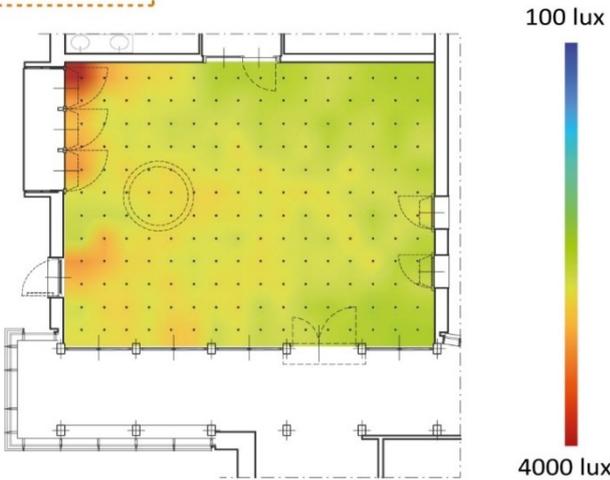


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si modifica il colore del vetro nell'**Aula Nord** (azzurro)



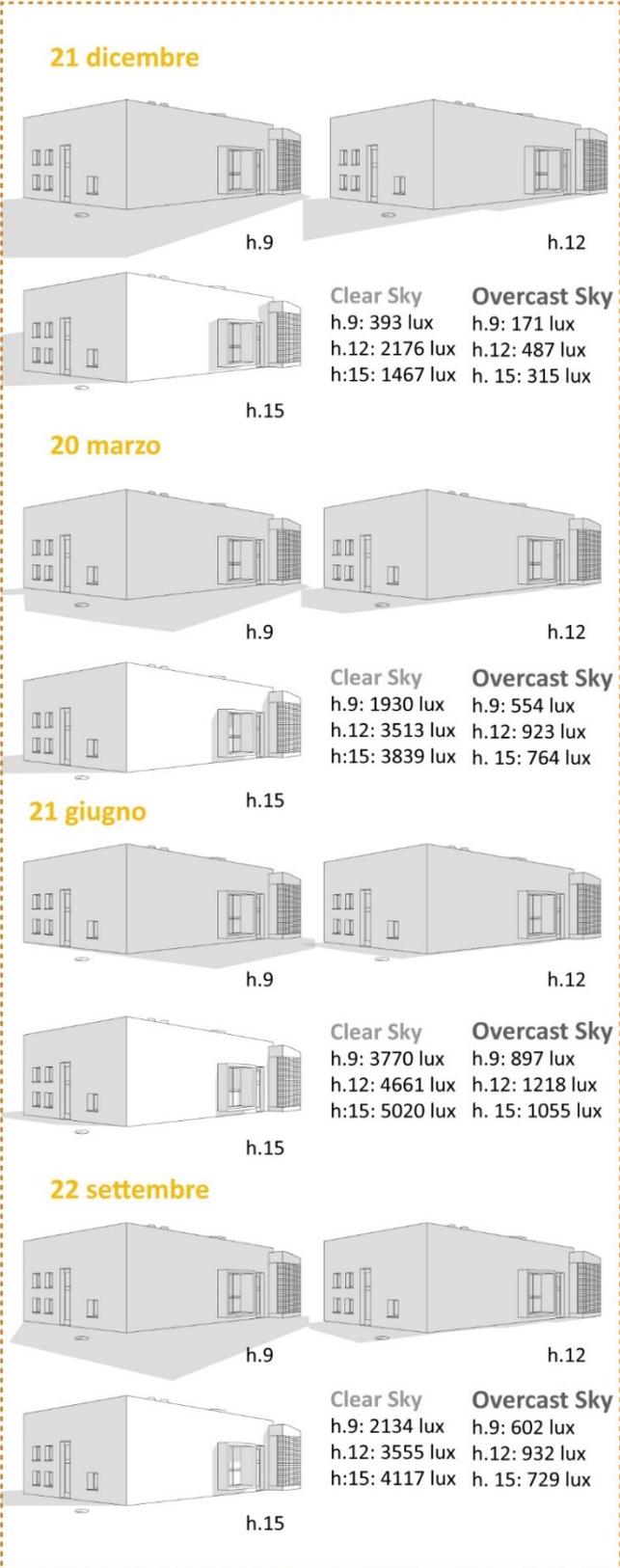
UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
78.70% ore ✓	82.01% ore ✓

Rapporto Aeroilluminante RAI

$SW_{open}: 14.65 \text{ m}^2$	$S_{floor}: 76.51 \text{ m}^2$
$SW: 55.21 \text{ m}^2$	$SW_{open}/S_{floor}: 0.19$
$SW_{glazing}: 44.05 \text{ m}^2$	$SW/S_{floor}: 0.72$
	$SW_{glazing}/S_{floor}: 0.58$



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

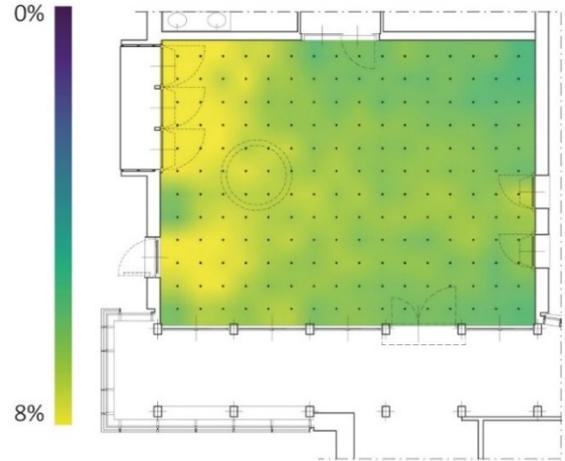


22 settembre - h.12



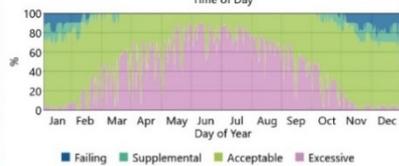
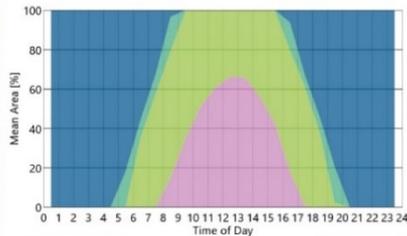
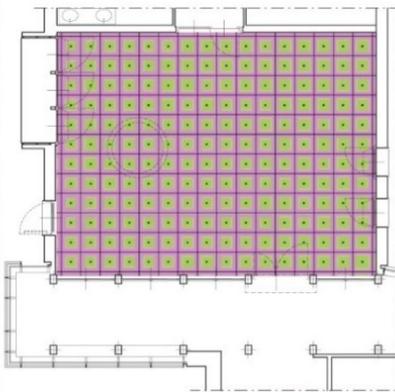
Daylight Factor (FD - FLDm) : 7,0%

Uniformità: 78%



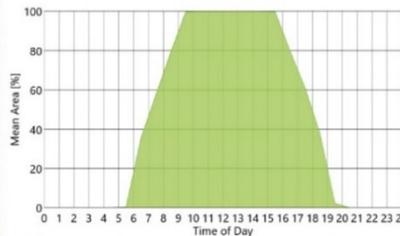
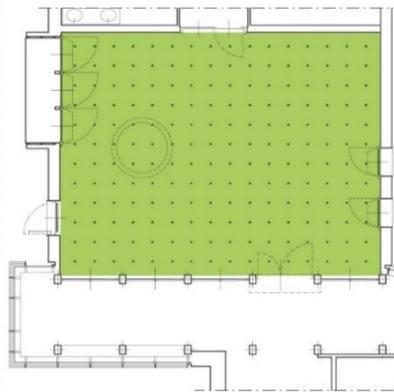
Blinds Closed: 4,5%

UDI.a: 51,2%

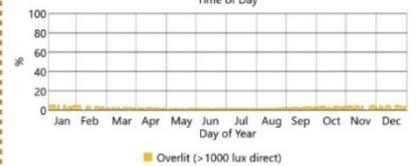
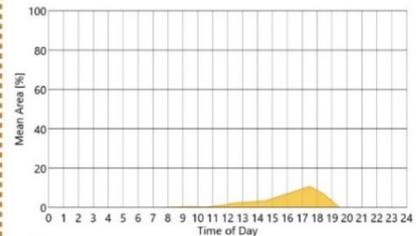
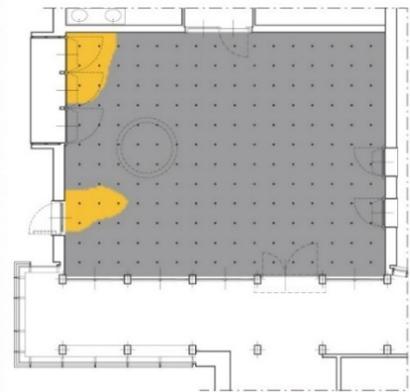


UDI.f: 3,75% UDI.s: 4,20% UDI.e: 40,9%

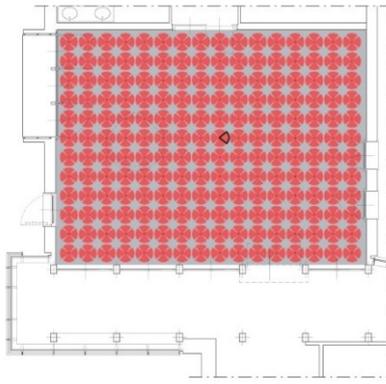
sDA300/50%: 100,0%



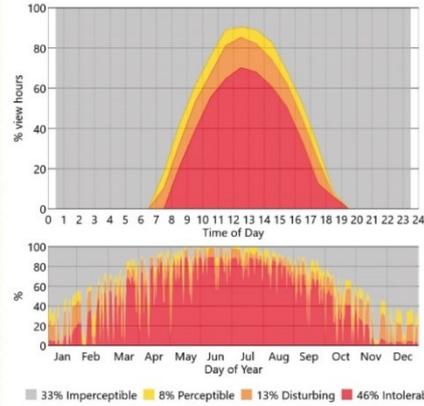
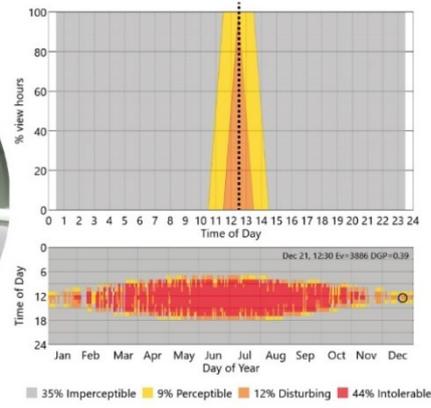
ASE1000,250: 5,2%



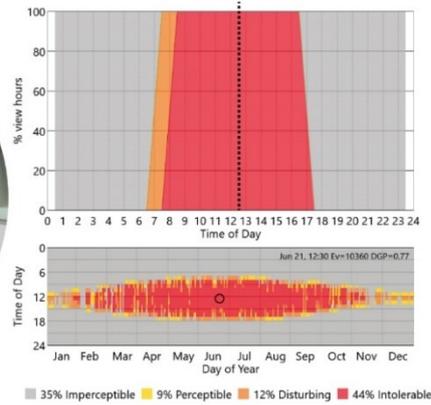
sDG: 100,0%



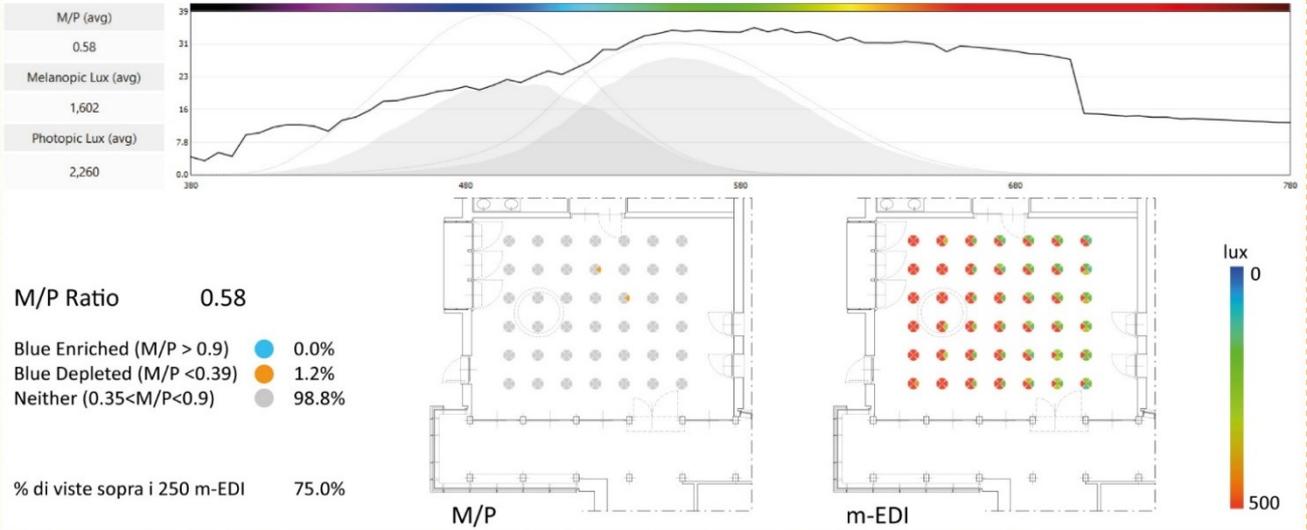
Vista 408 _ 21 dicembre h. 12.30



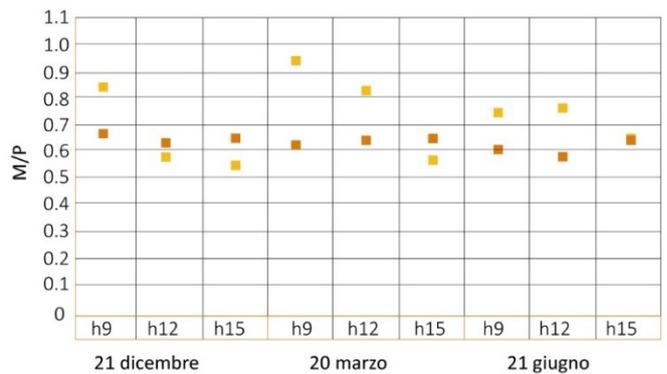
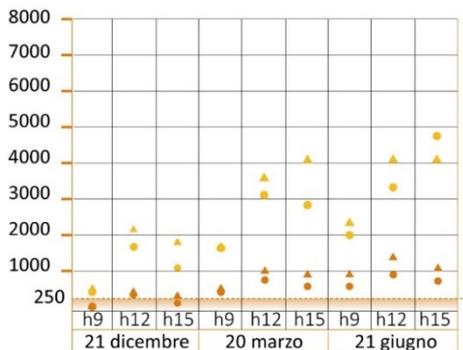
Vista 408 _ 21 giugno h. 12.30



12 dicembre h. 12 - Cielo sereno

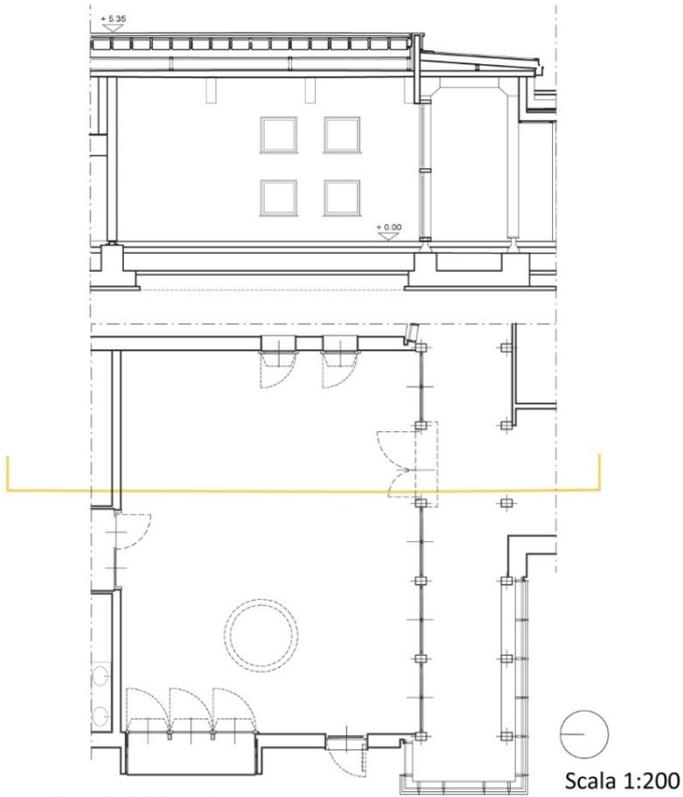


ANALISI COMPLETA ANNUALE

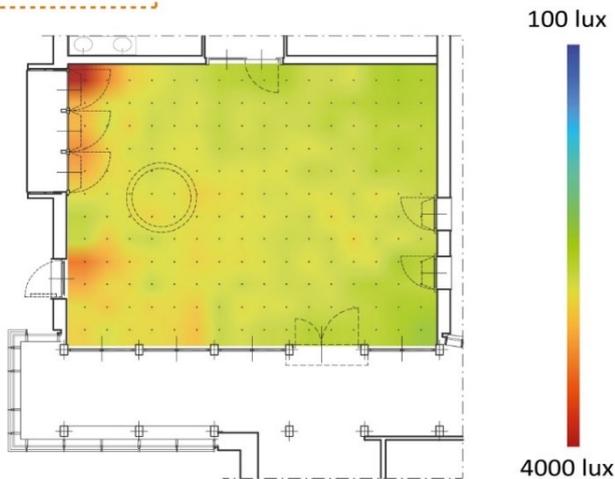


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si modifica il colore del vetro nell'**Aula Nord** (verde)



UNI 17037



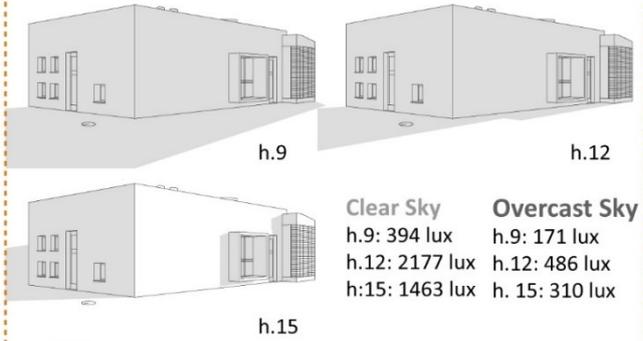
REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
78.70% ore	81.96% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

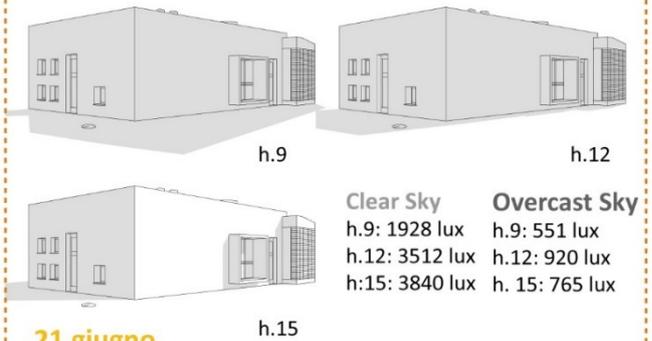
S_{wopen} : 14.65 m²
 S_w : 55.21 m²
 $S_{wglazing}$: 44.05 m²

S_{floor} : 76.51 m²
 S_{wopen}/S_{floor} : 0.19
 S_w/S_{floor} : 0.72
 $S_{wglazing}/S_{floor}$: 0.58

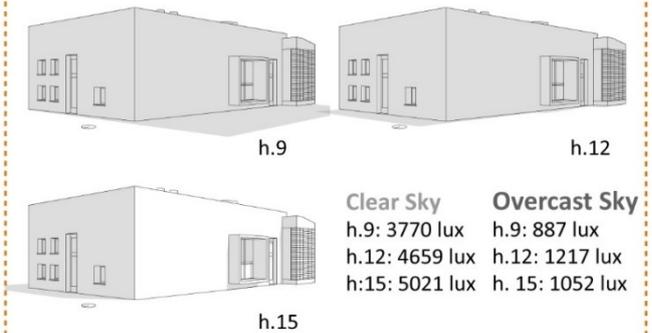
21 dicembre



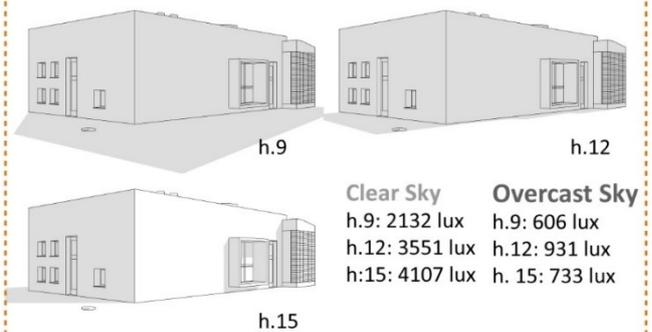
20 marzo



21 giugno



22 settembre



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

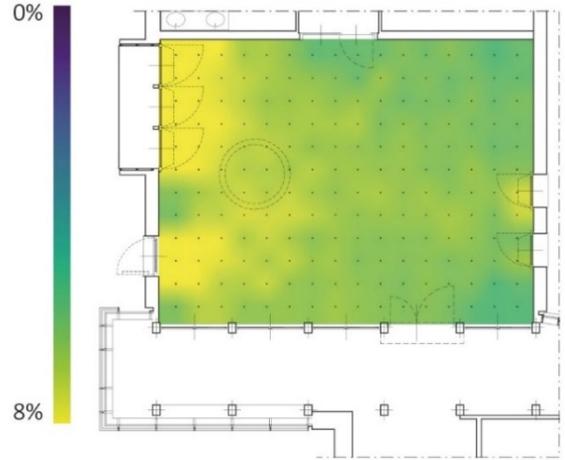


22 settembre - h.12



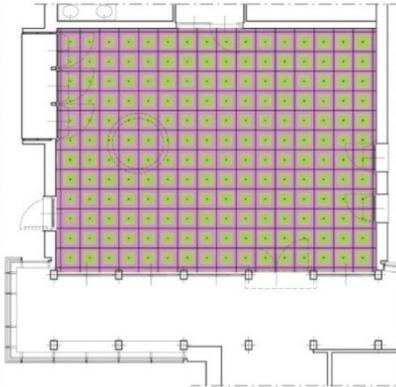
Daylight Factor (FD - FLDm) : 7,0%

Uniformità: 78%

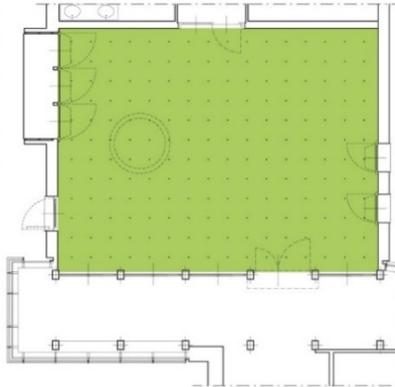


Blinds Closed: 4,5%

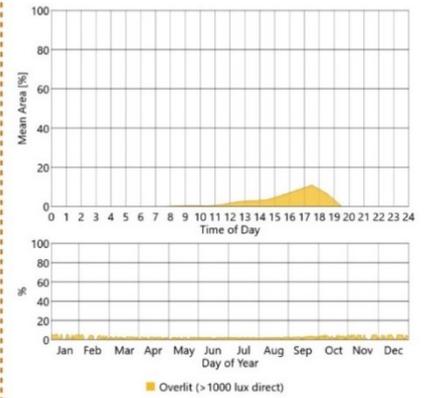
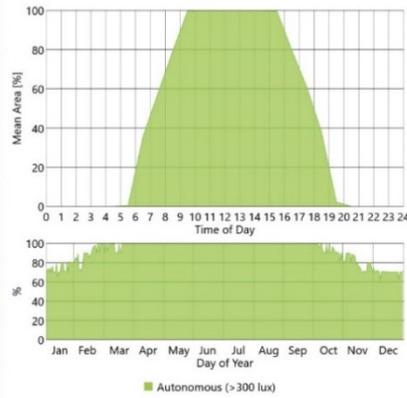
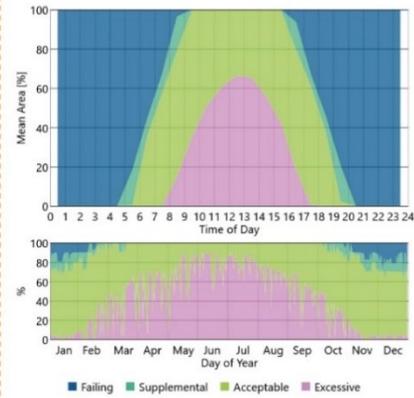
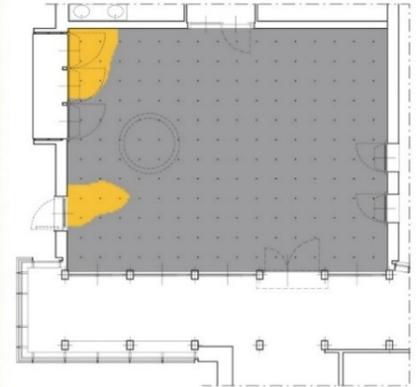
UDI.a: 51,2%



sDA300/50%: 100,0%

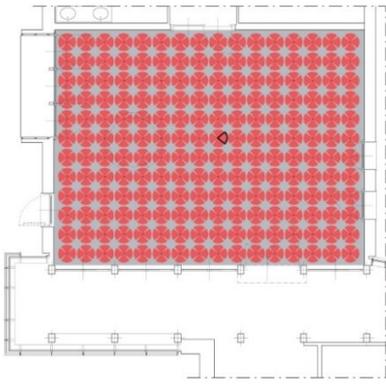


ASE1000,250: 5,2%

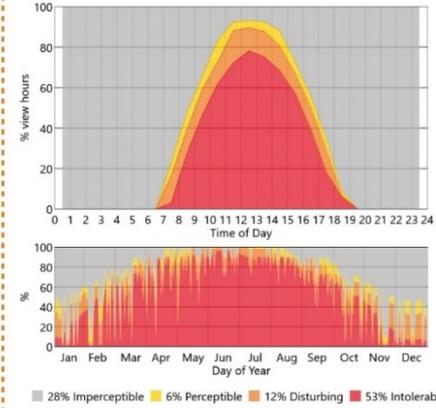
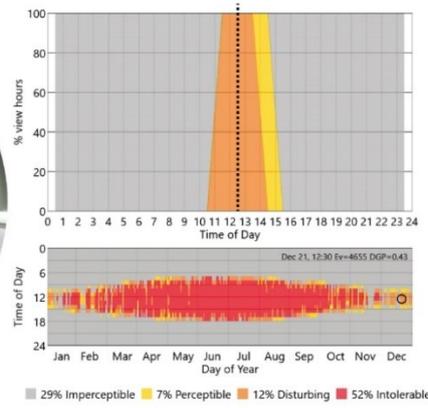


UDI.f: 3,74% UDI.s: 4,20% UDI.e: 40,9%

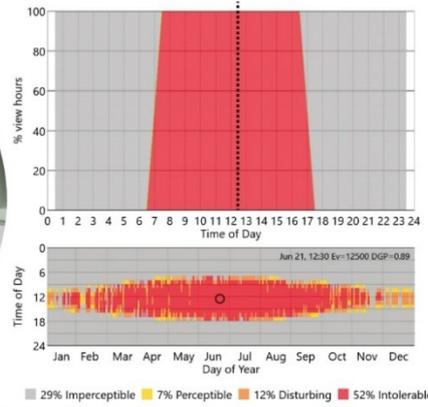
sDG: 100,0%



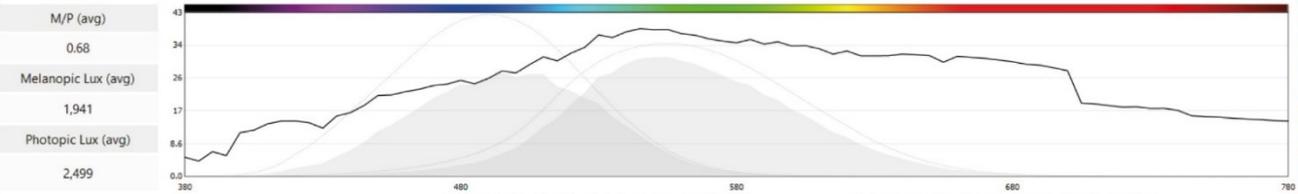
Vista 408 _ 21 dicembre h. 12.30



Vista 408 _ 21 giugno h. 12.30



12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



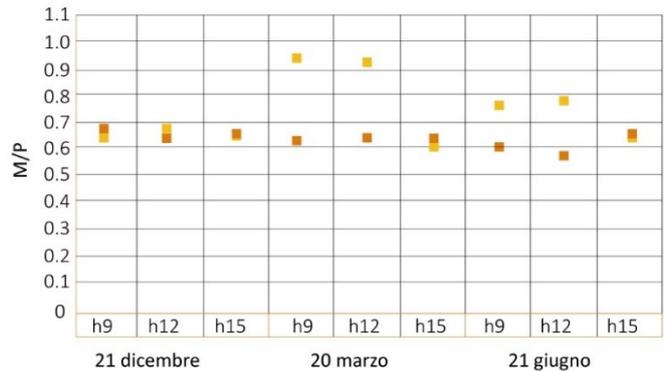
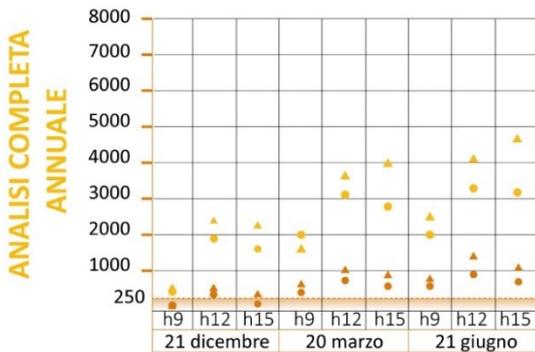
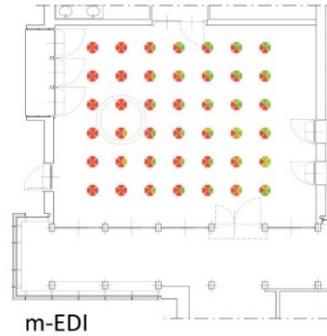
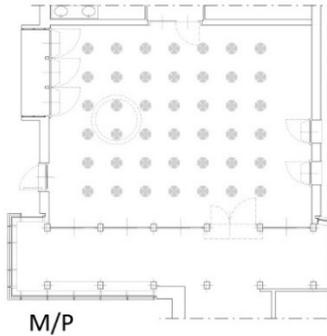
M/P Ratio 0.68

Blue Enriched (M/P > 0.9) 0.0%

Blue Depleted (M/P < 0.39) 0.0%

Neither (0.35 < M/P < 0.9) 100.0%

% di viste sopra i 250 m-EDI 85.7%



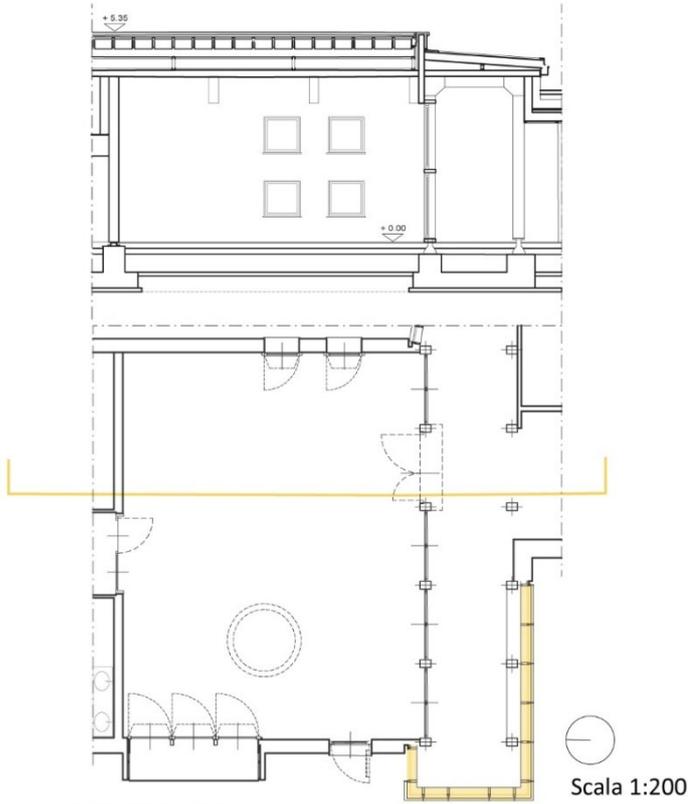
ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si modifica il colore del vetro del corridoio, risultati dell'**Aula Nord** (azzurro)

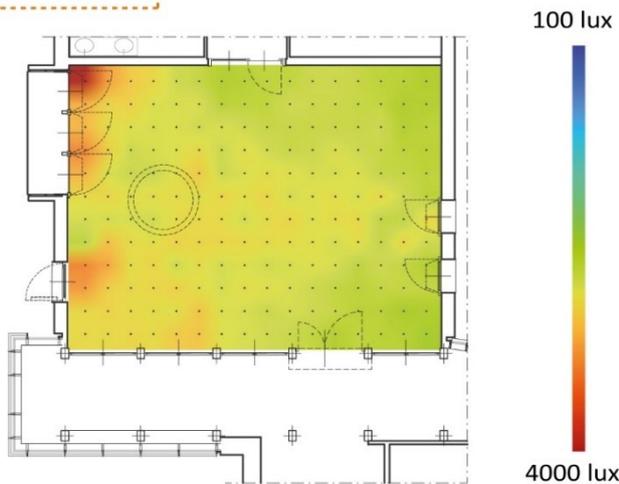
Rapporto Aeroilluminante RAI

S_{wopen} : 14.65 m²
 S_w : 55.21 m²
 $S_{wglazing}$: 44.05 m²

S_{floor} : 76.51 m²
 S_{wopen}/S_{floor} : 0.19
 S_w/S_{floor} : 0.72
 $S_{wglazing}/S_{floor}$: 0.58

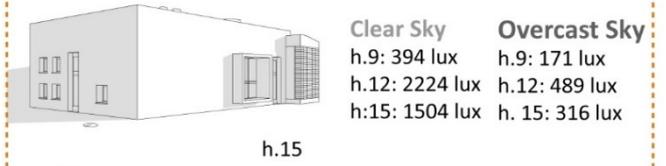
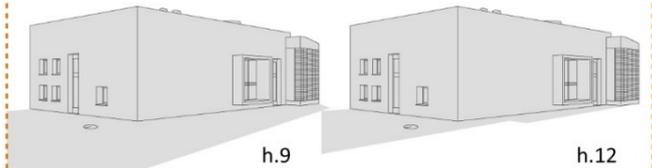


UNI 17037

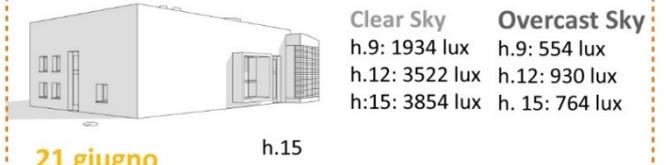
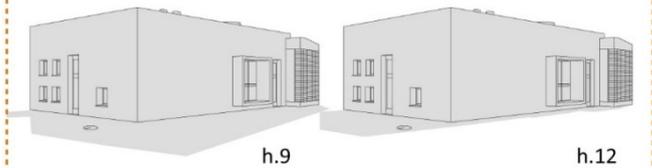


REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
78.65% ore	82.24% ore

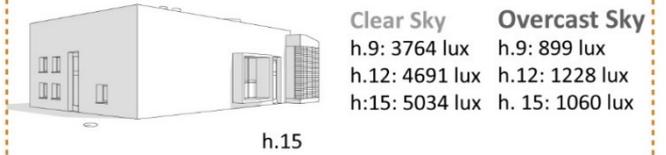
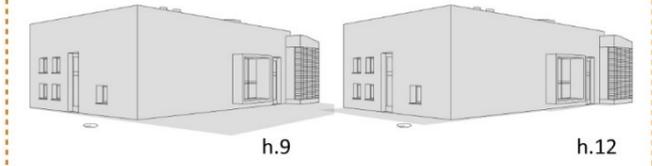
21 dicembre



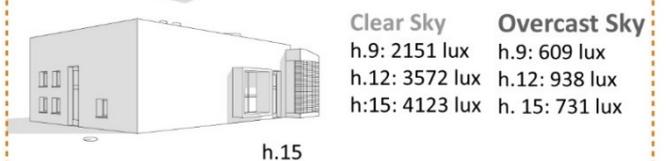
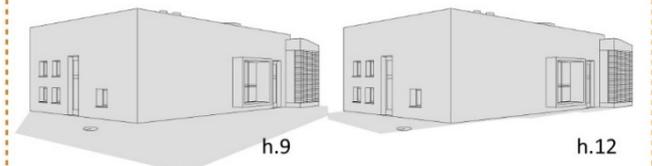
20 marzo



21 giugno



22 settembre



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

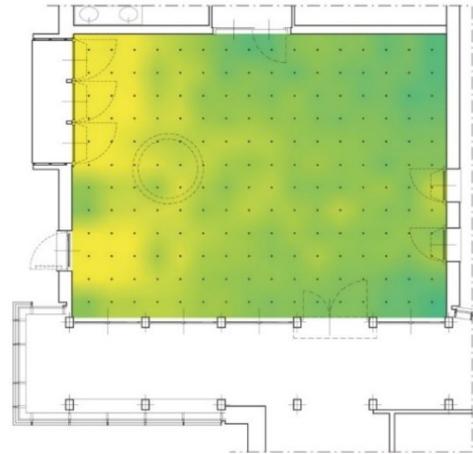


22 settembre - h.12



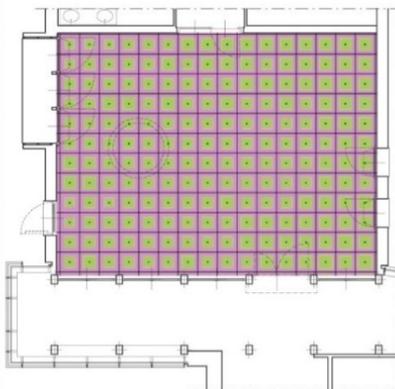
Daylight Factor (FD - FLDm) : 7,1%

Uniformità: 76%

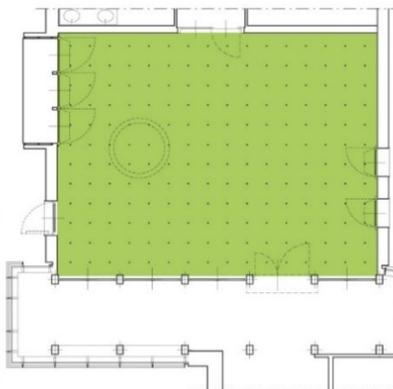


Blinds Open: 4,5%

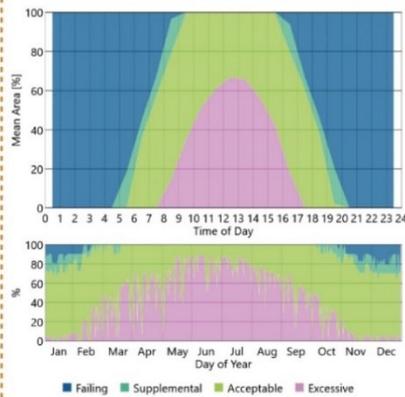
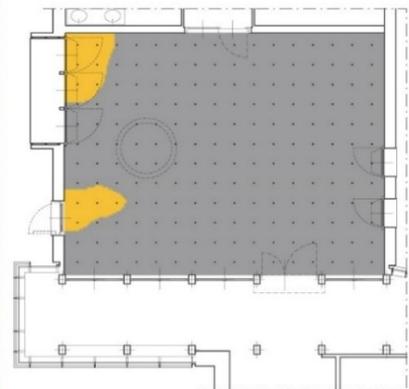
UDI.a: 51,1%



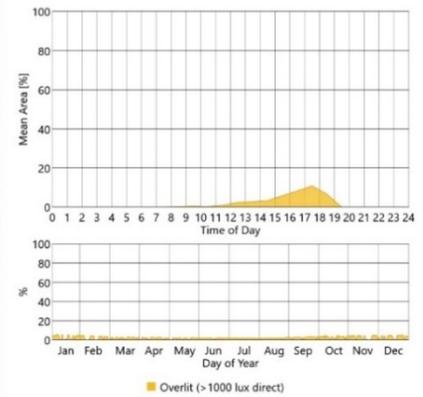
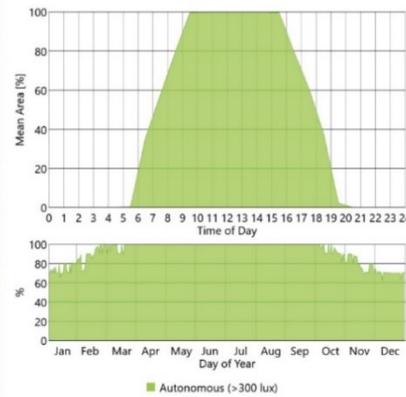
sDA300/50%: 100,0%



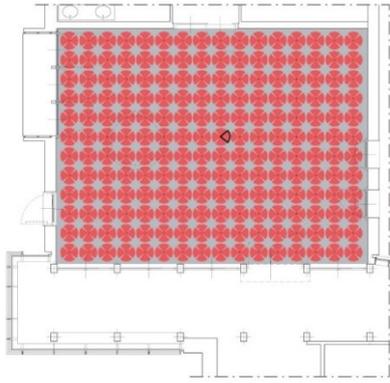
ASE1000,250: 5,2%



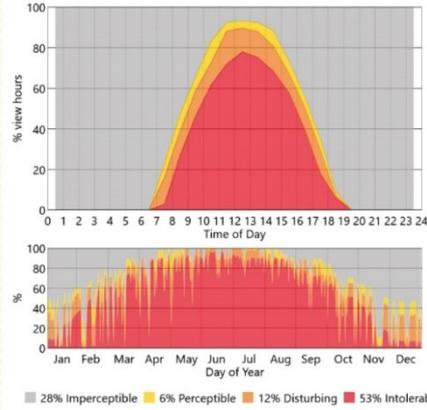
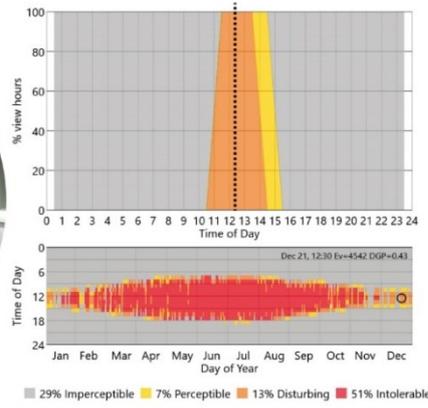
UDI.f: 3,74% UDI.s: 4,21% UDI.e: 40,9%



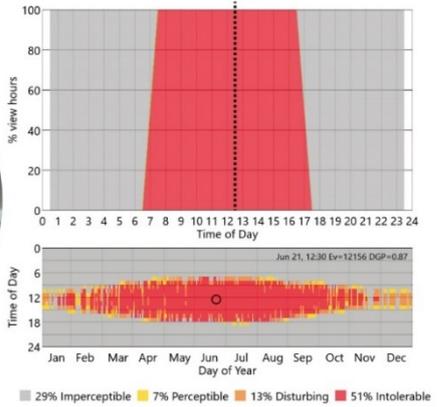
sDG: 100,0%



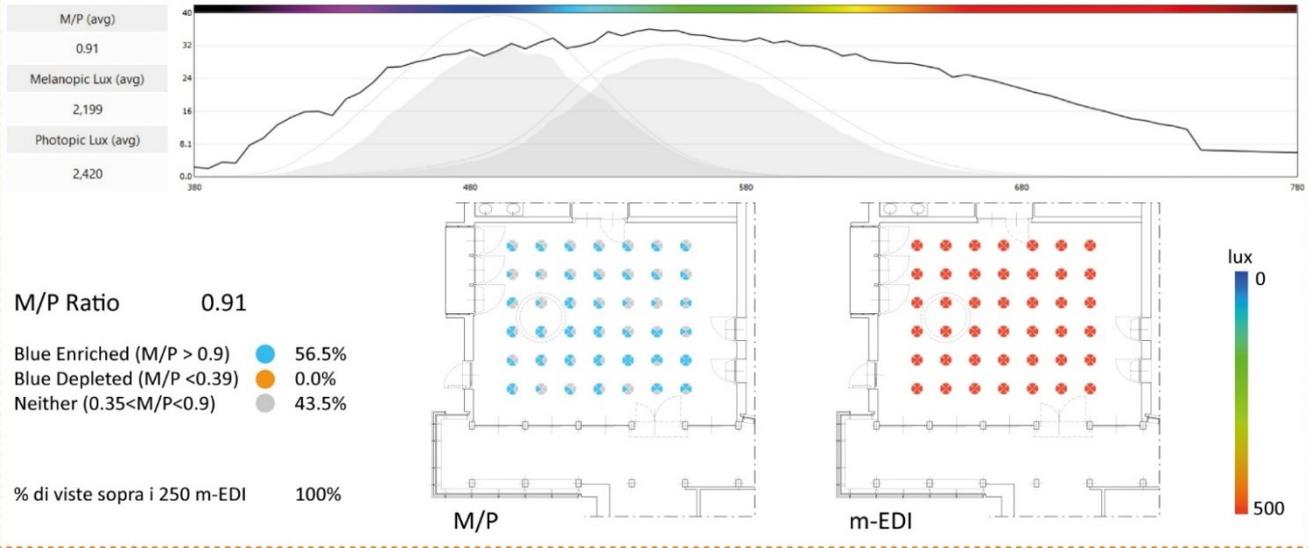
Vista 408 _ 21 dicembre h. 12.30



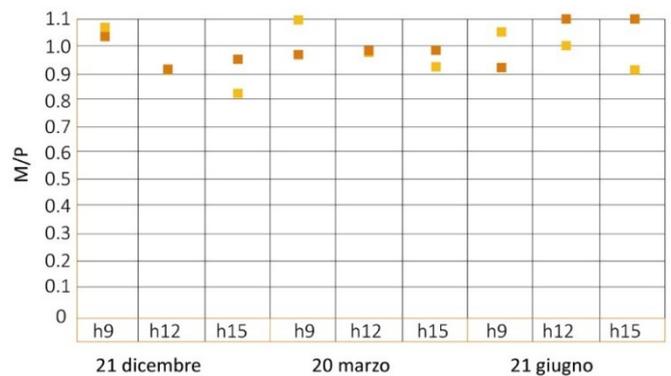
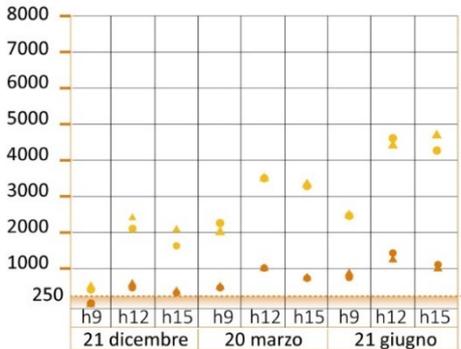
Vista 408 _ 21 giugno h. 12.30



12 dicembre h. 12 - Cielo sereno

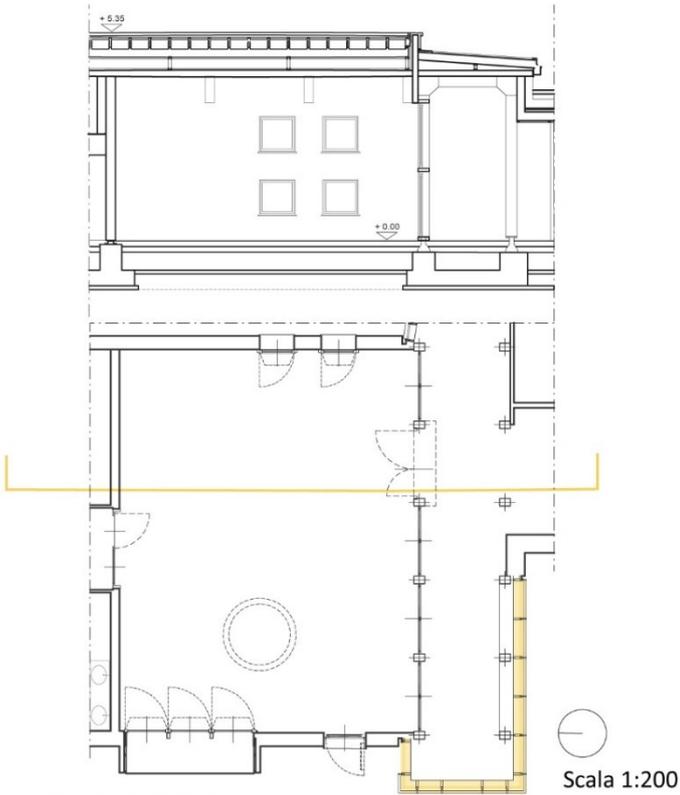


ANALISI COMPLETA ANNUALE

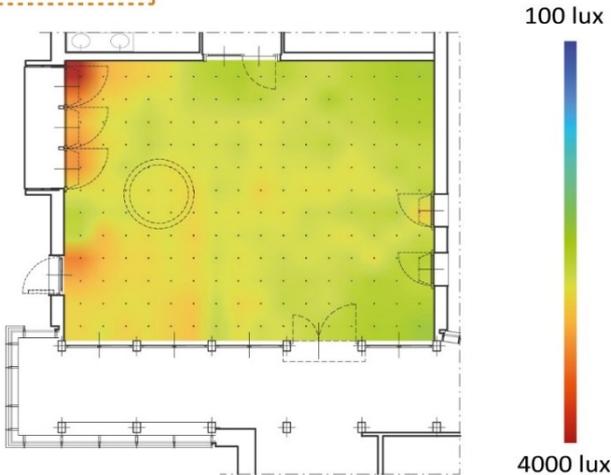


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si modifica il colore del vetro del corridoio, risultati dell'**Aula Nord** (verde)



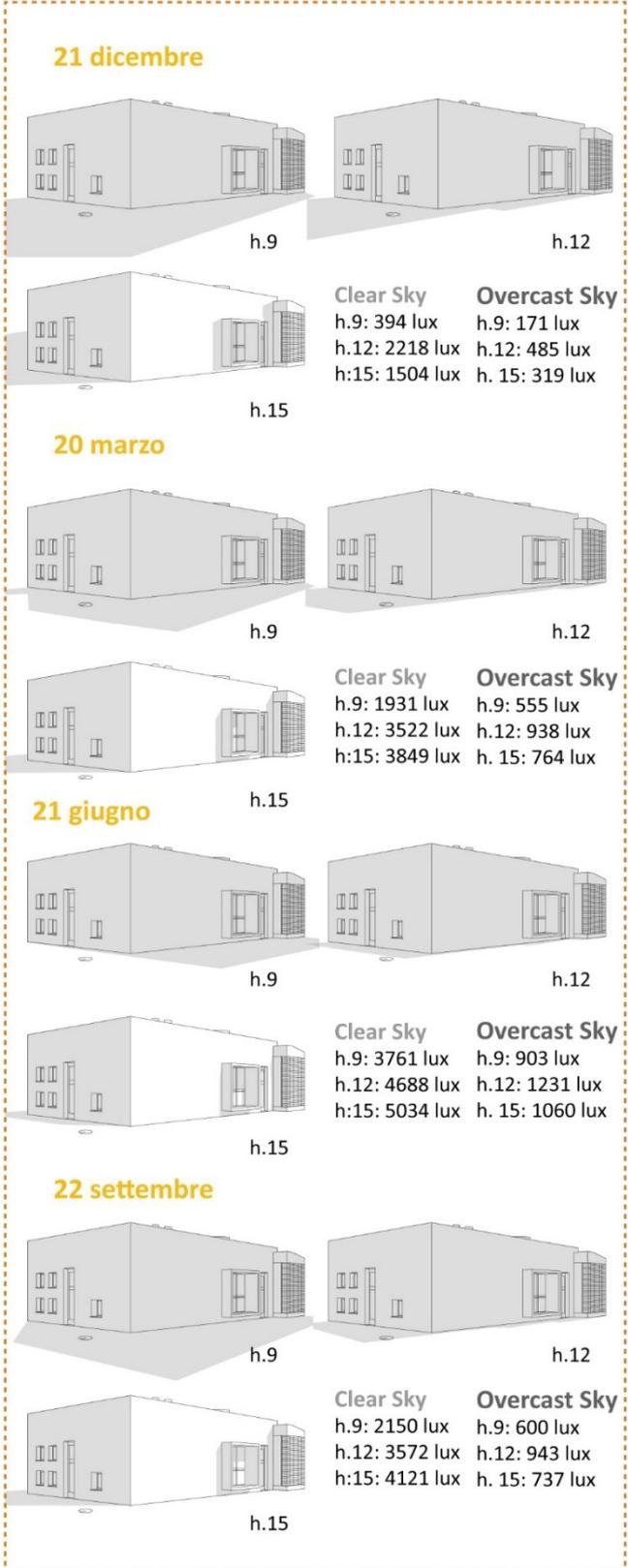
UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
78.70% ore	81.89% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

$SW_{open}: 14.65 \text{ m}^2$	$S_{floor}: 76.51 \text{ m}^2$
$SW: 55.21 \text{ m}^2$	$SW_{open}/S_{floor}: 0.19$
$SW_{glazing}: 44.05 \text{ m}^2$	$SW/S_{floor}: 0.72$
	$SW_{glazing}/S_{floor}: 0.58$



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

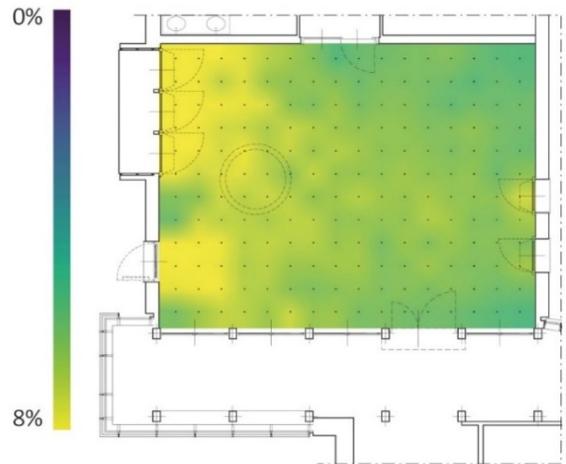


22 settembre - h.12



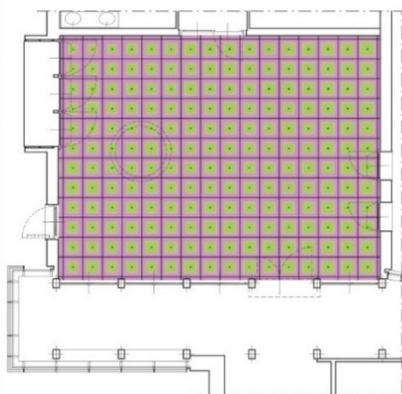
Daylight Factor (FD - FLDm) : 7,0%

Uniformità: 78%

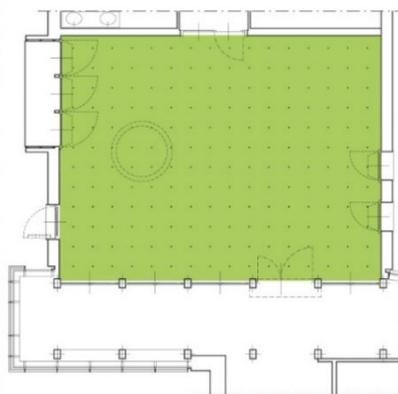


Blinds Open: 4,5%

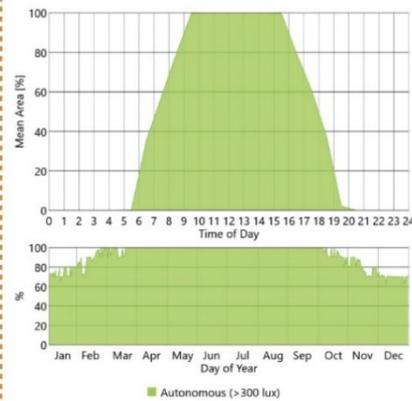
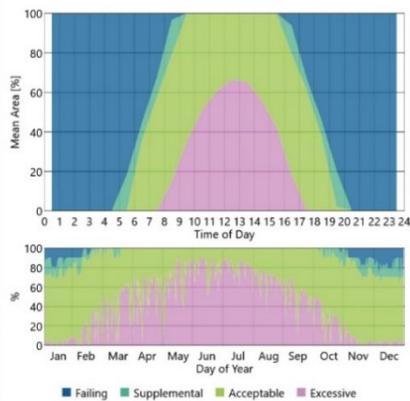
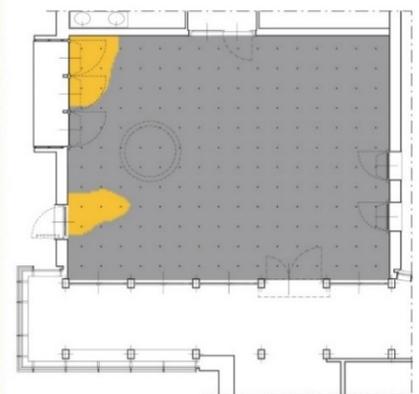
UDI.a: 51,2%



SDA300/50%: 100,0%

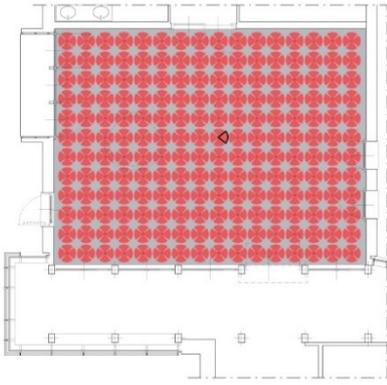


ASE1000,250: 5,2%

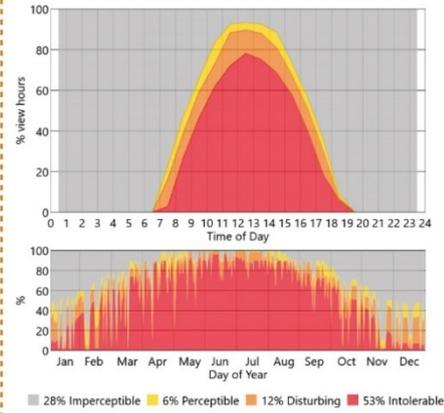
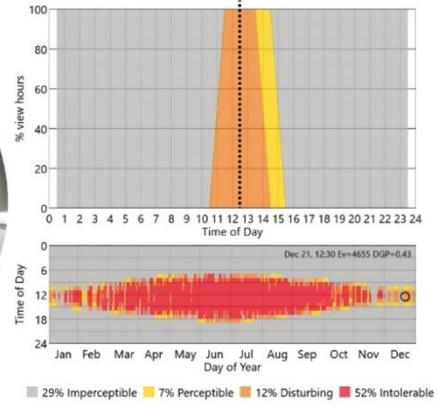


UDI.f: 3,74% UDI.s: 4,20% UDI.e: 40,9%

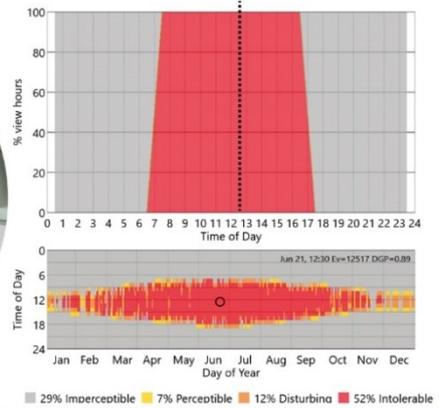
sDG: 100,0%



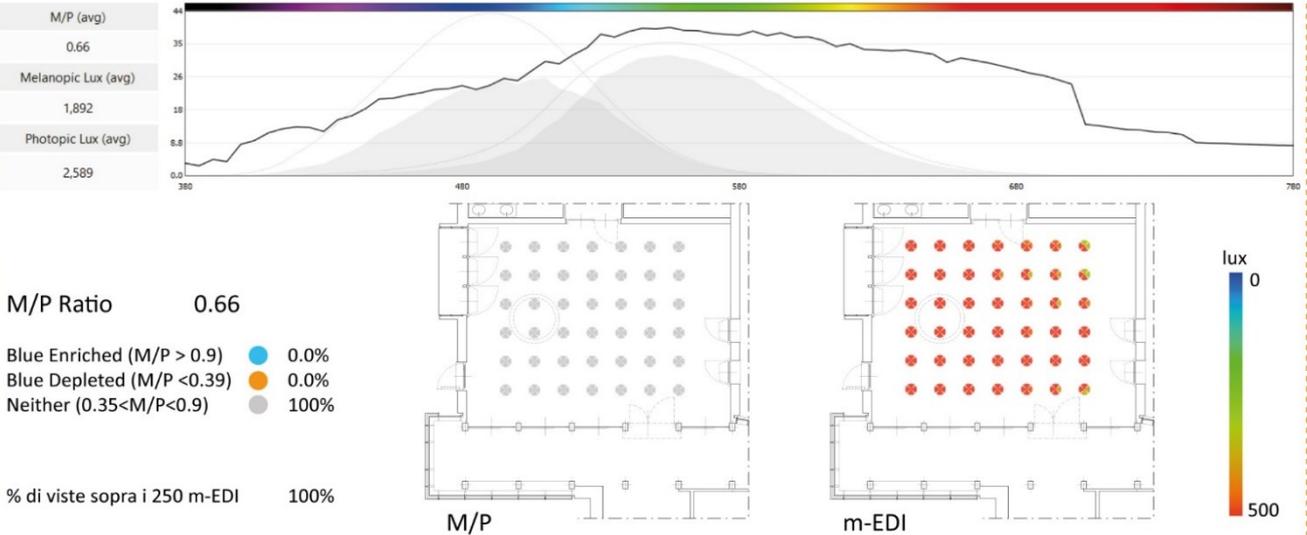
Vista 408_ 21 dicembre h. 12.30



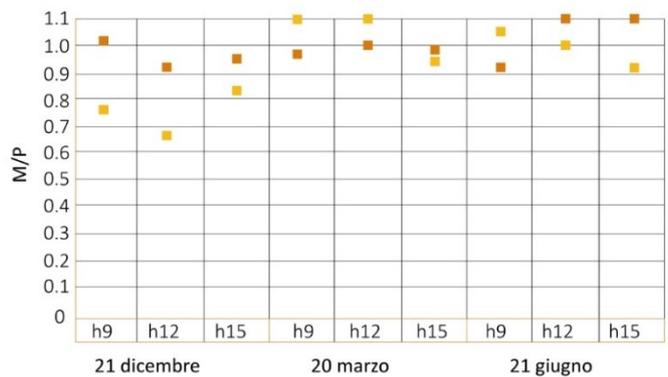
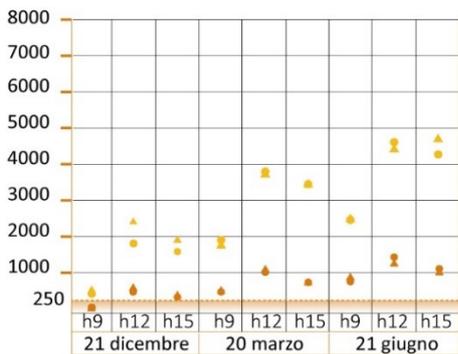
Vista 408_ 21 giugno h. 12.30



12 dicembre h. 12 - Cielo sereno



ANALISI COMPLETA ANNUALE

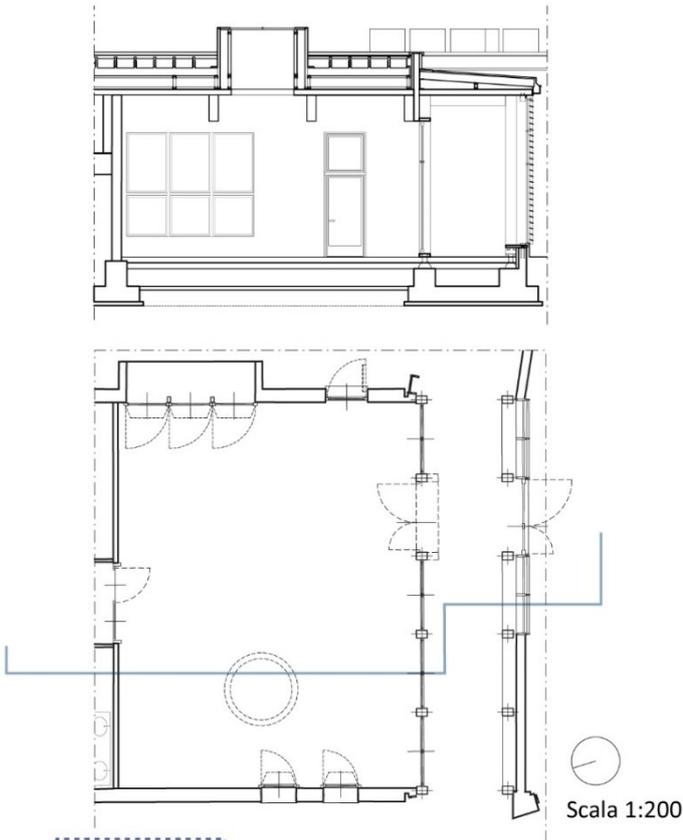


ASILO NIDO ALBA
 Analisi del caso base **Aula Nord-Est**

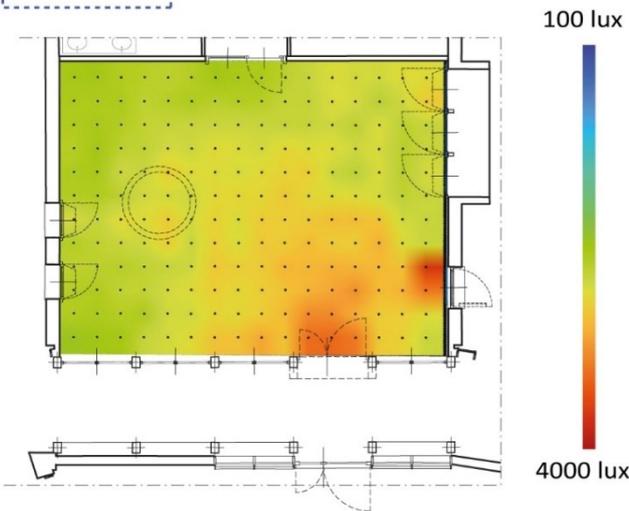
Rapporto Aeroilluminante RAI

S_{Wopen} : 14.65 m²
 S_w : 55.21 m²
 $S_{Wglazing}$: 44.05 m²

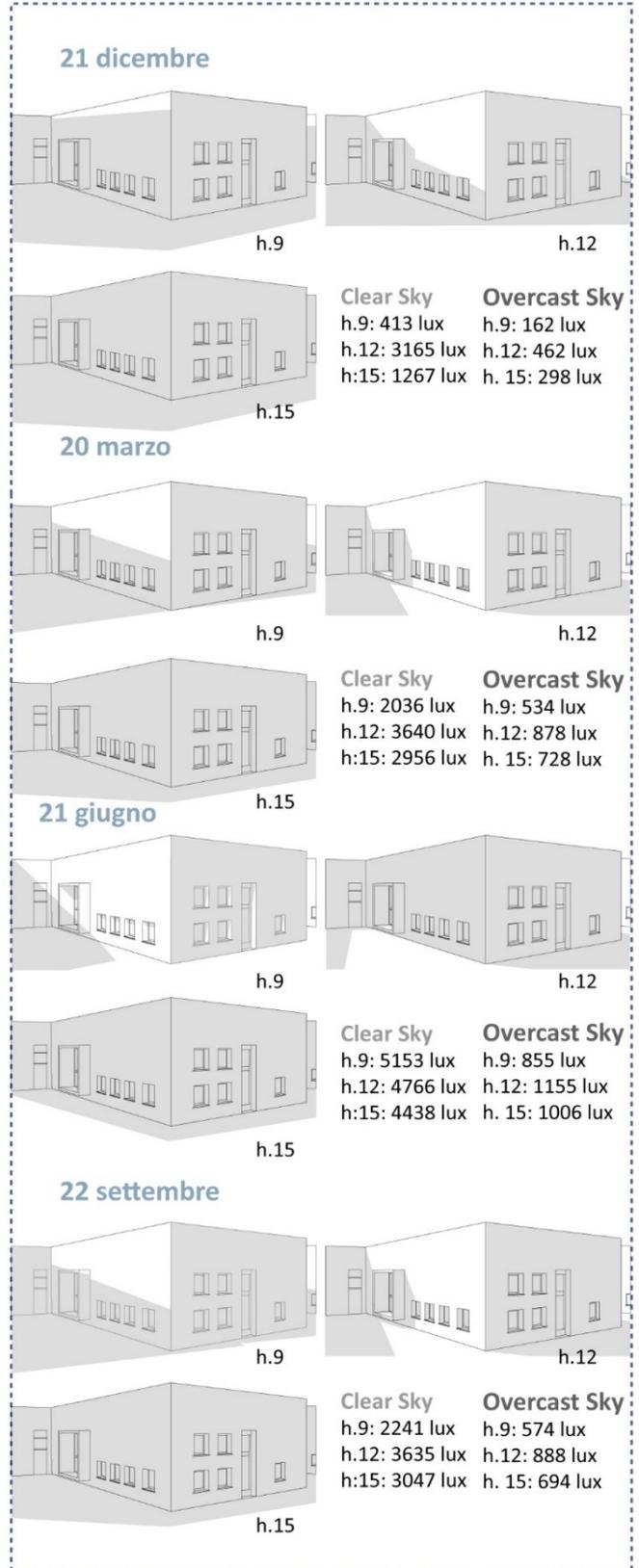
S_{floor} : 76.51 m²
 S_{Wopen}/S_{floor} : 0.19
 S_w/S_{floor} : 0.72
 $S_{Wglazing}/S_{floor}$: 0.58



UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
77.35% ore	81.12% ore



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

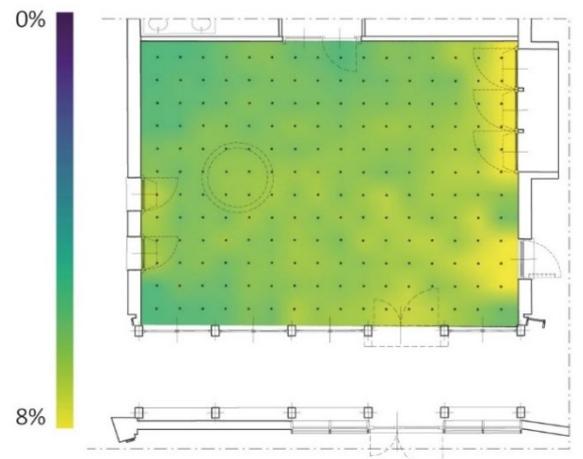


22 settembre - h.12



Daylight Factor (FD - FLDm) : 6,7%

Uniformità: 81%

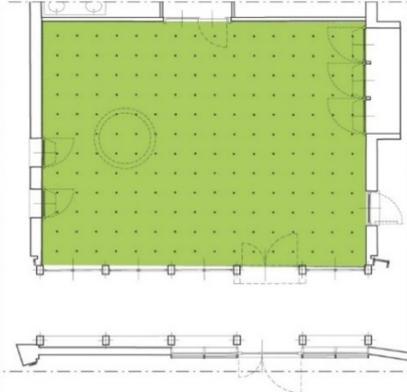


Blinds Closed: 2,4%

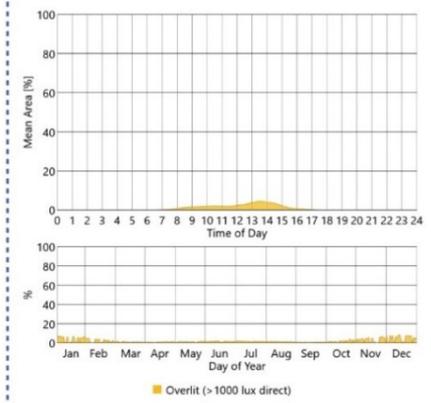
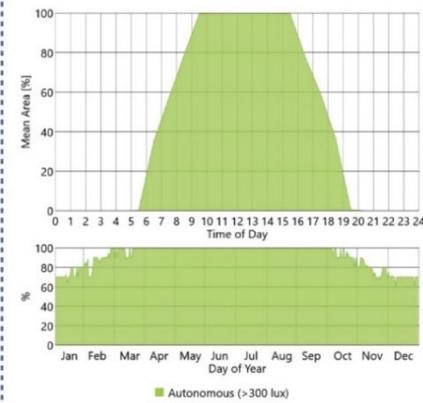
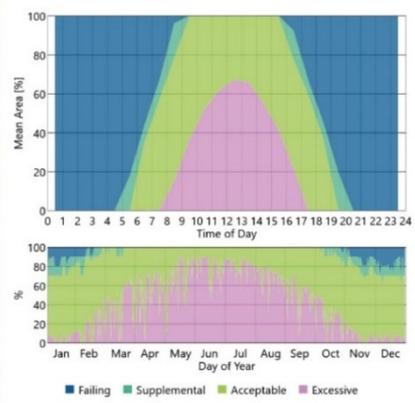
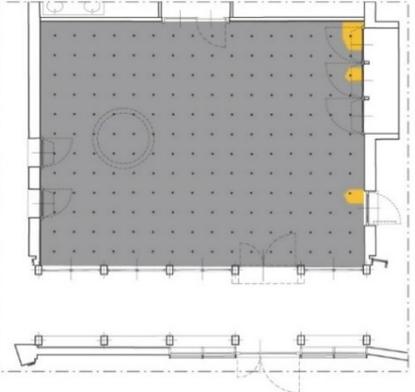
UDI.a: 50,0%



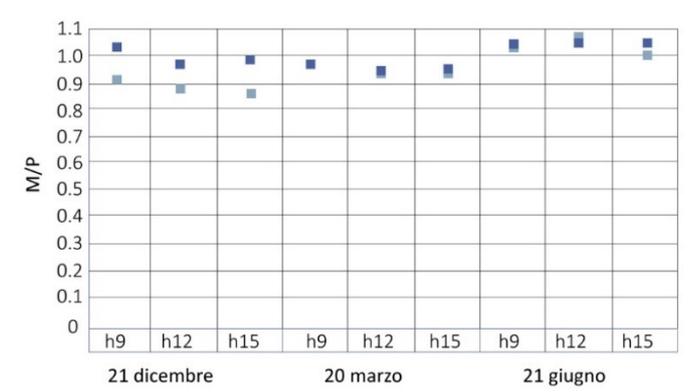
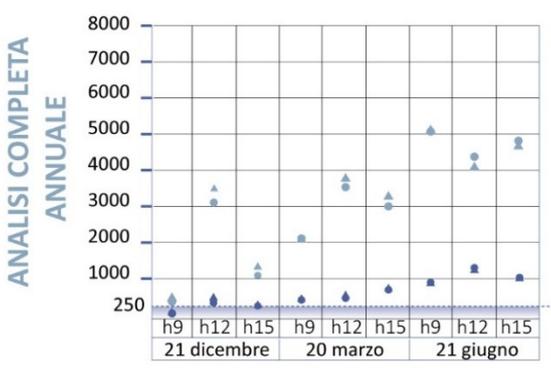
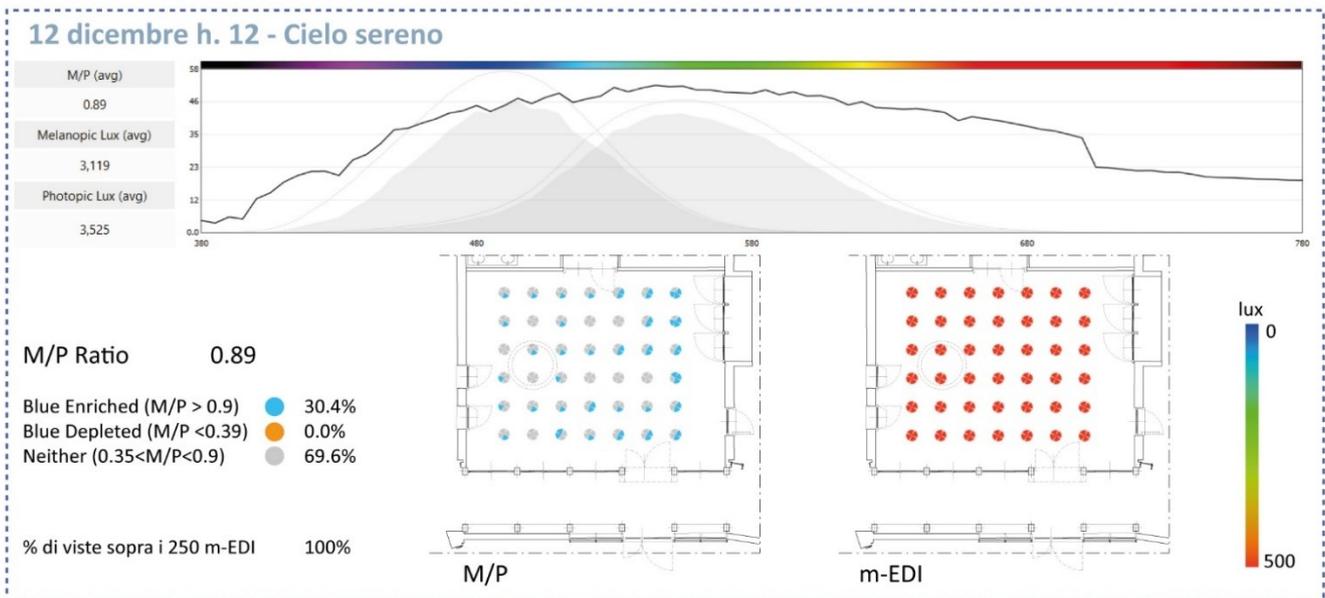
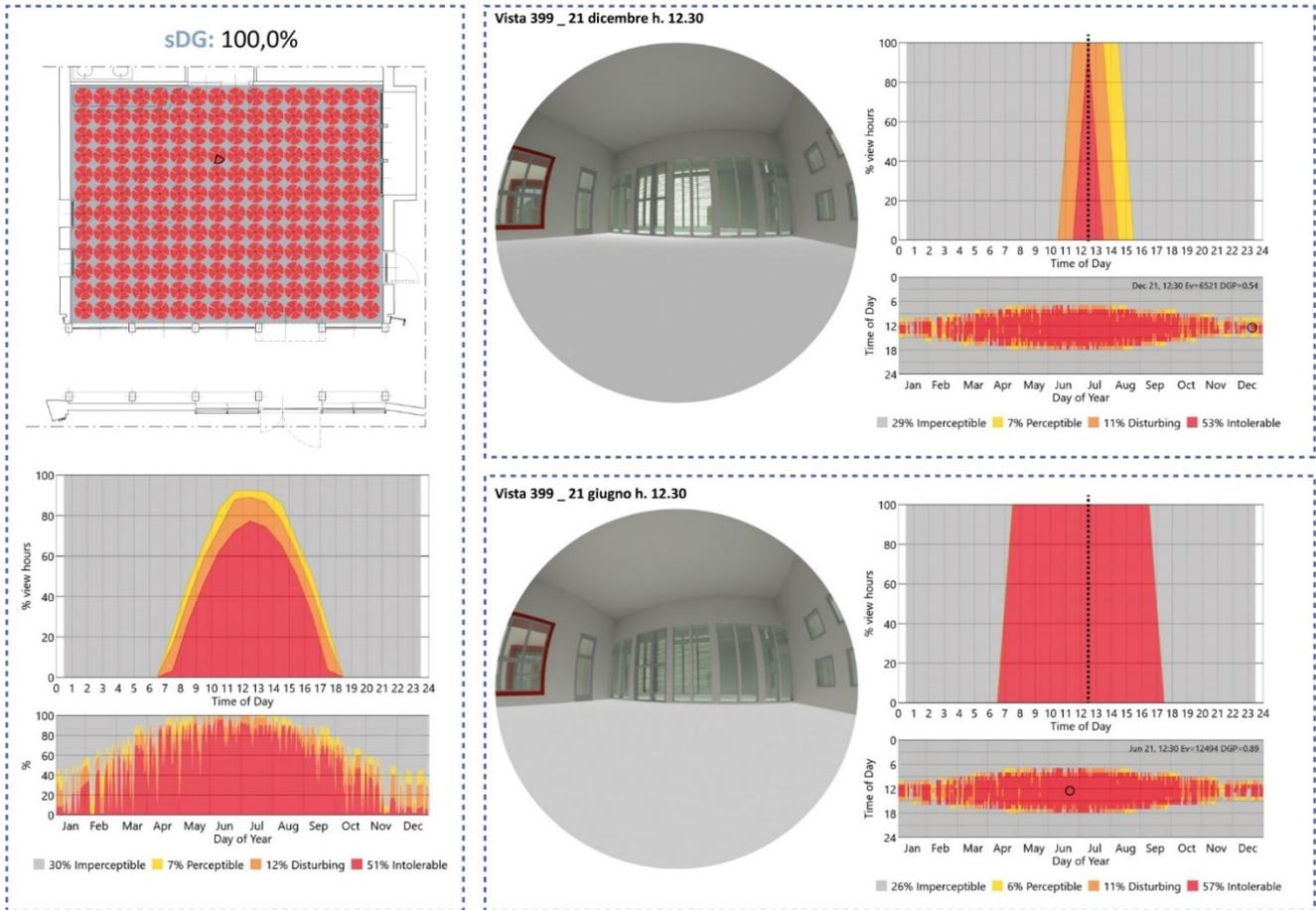
sDA300/50%: 100,0%



ASE1000,250: 1,6%

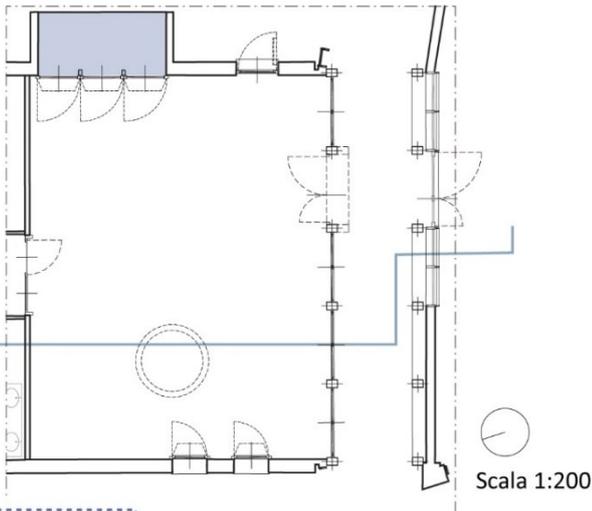
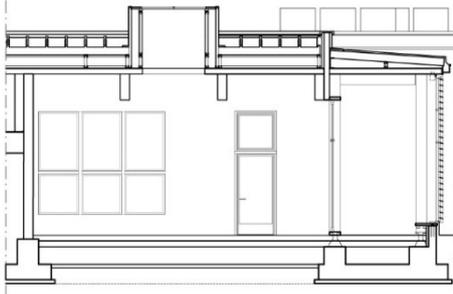


UDI.f: 3,95% UDI.s: 4,44% UDI.e: 41,5%

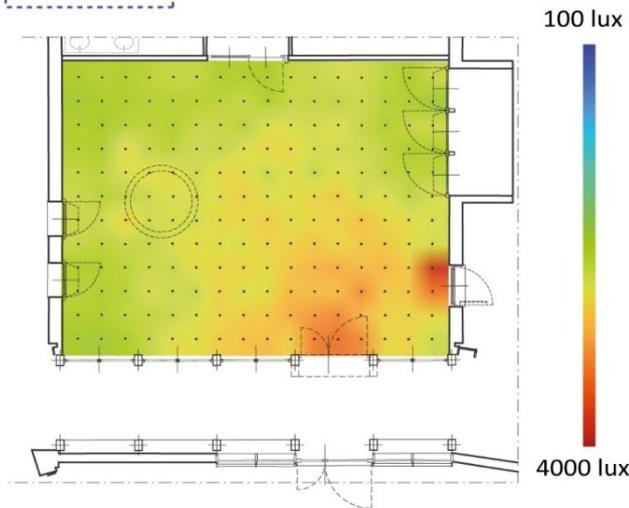


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si aumentano gli sporti dell' **Aula Nord-Est**



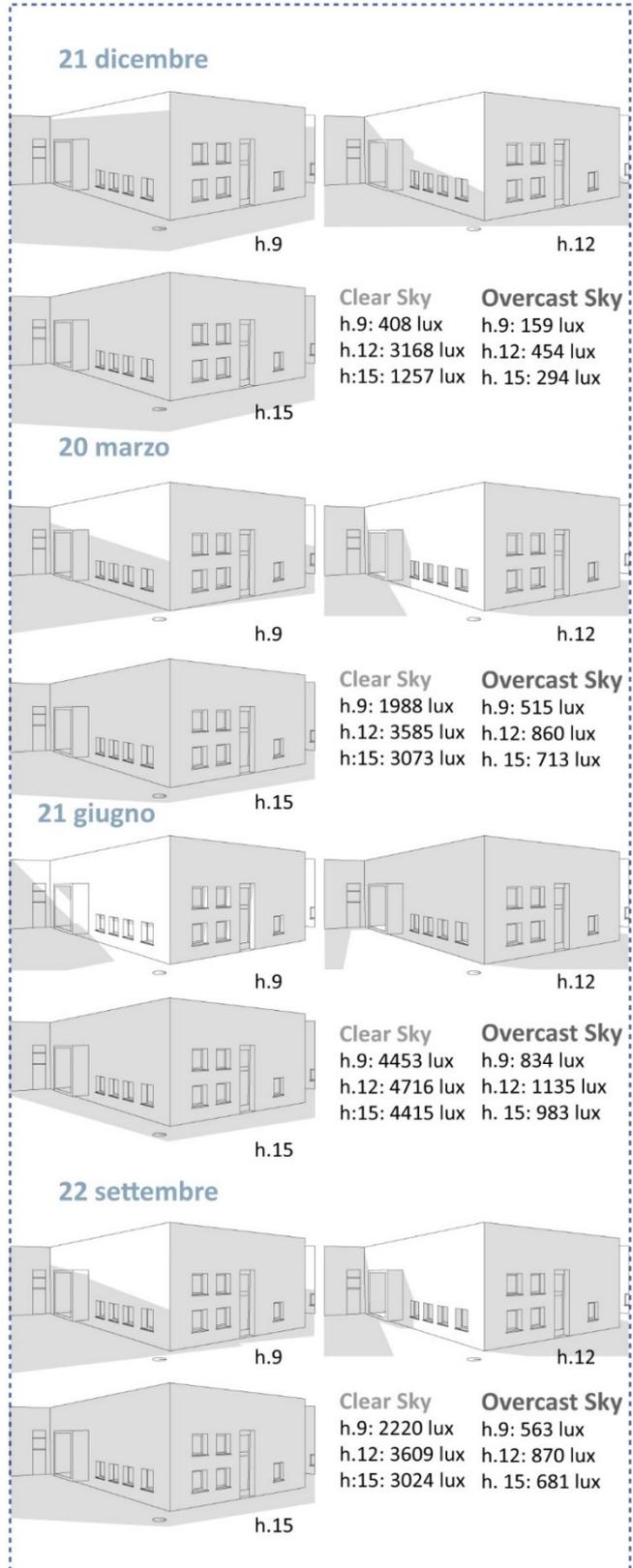
UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
77.03% ore	80.94% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

S_{Wopen} : 14.65 m ²	S_{floor} : 76.51 m ²
S_w : 55.21 m ²	S_{Wopen}/S_{floor} : 0.19
$S_{Wglazing}$: 44.05 m ²	S_w/S_{floor} : 0.72
	$S_{Wglazing}/S_{floor}$: 0.58



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

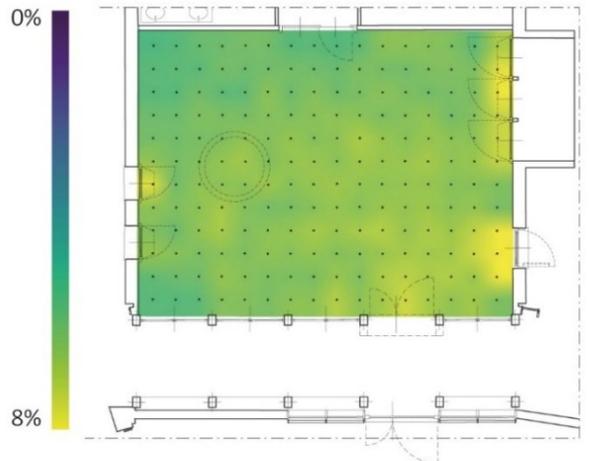


22 settembre - h.12



Daylight Factor (FD - FLDm) : 6,5%

Uniformità: 82%

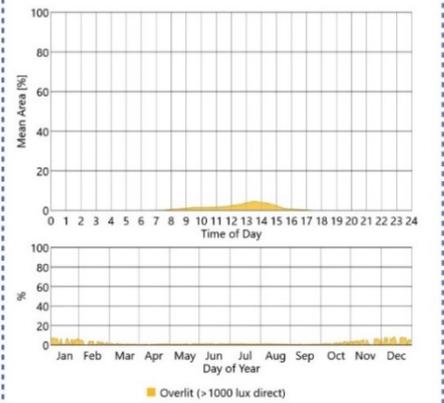
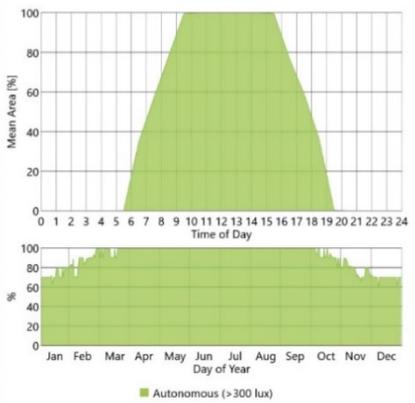
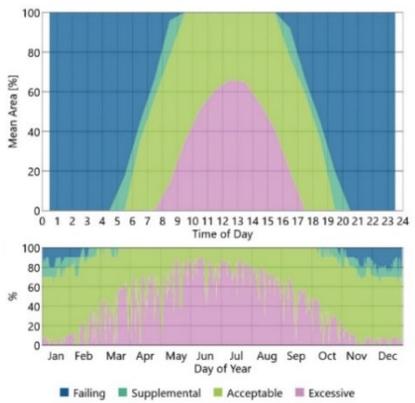
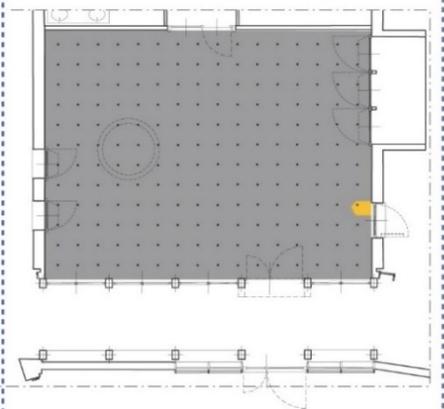
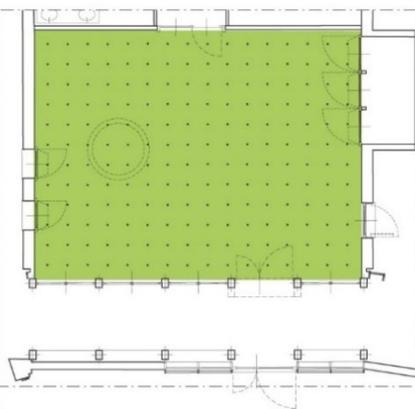


Blinds Closed: 1,2%

UDI.a: 51,0%

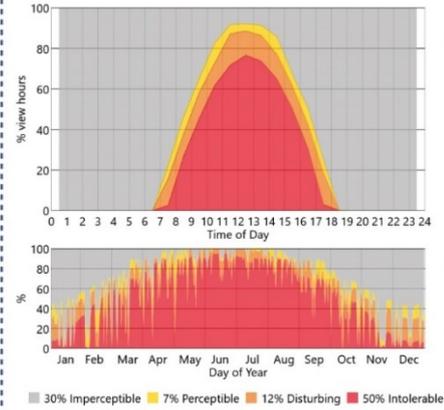
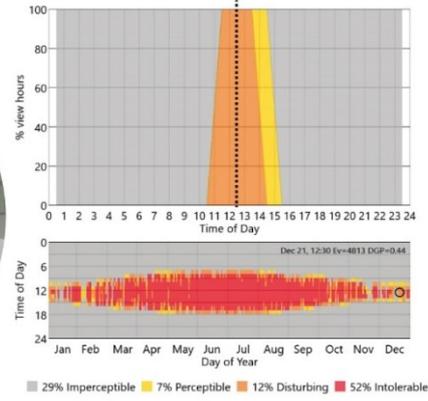
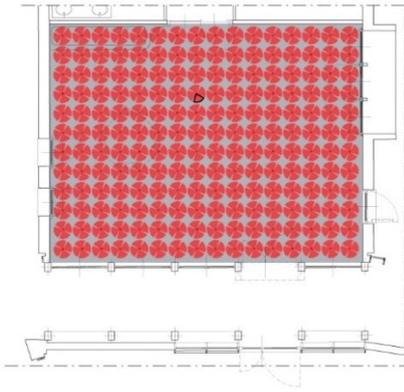
sDA300/50%: 100,0%

ASE1000,250: 0,5%

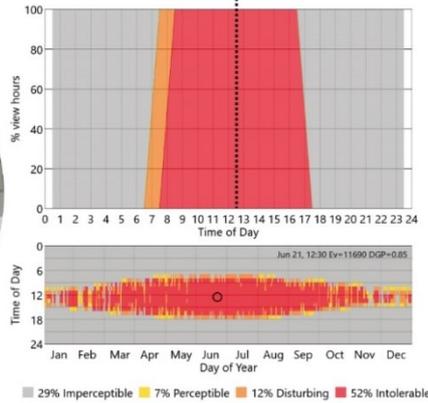


UDI.f: 4,05% UDI.s: 4,44% UDI.e: 40,5%

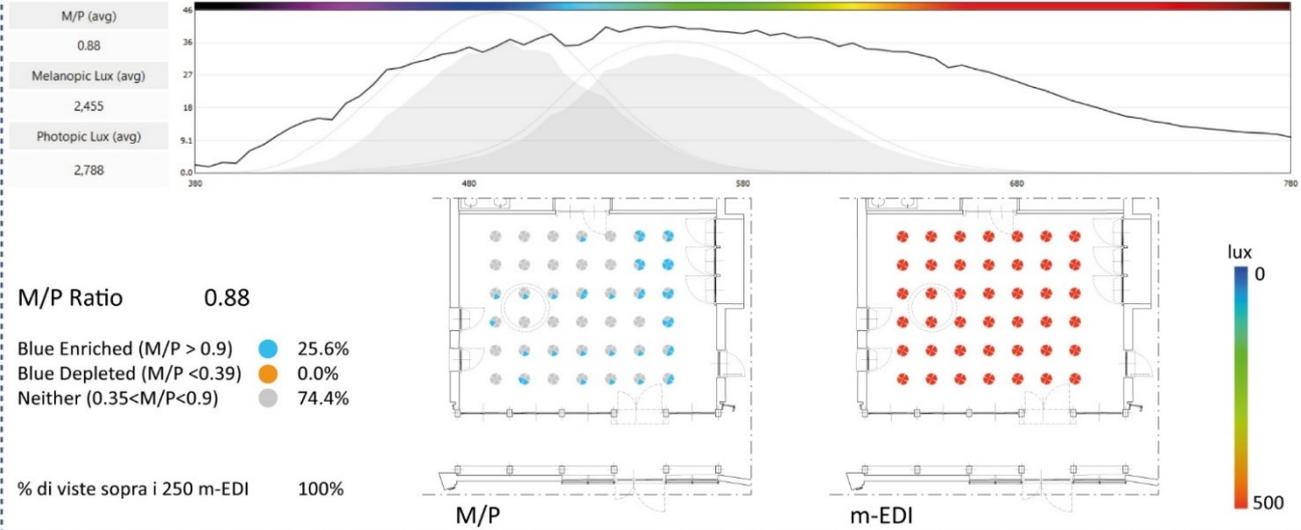
sDG: 100,0%



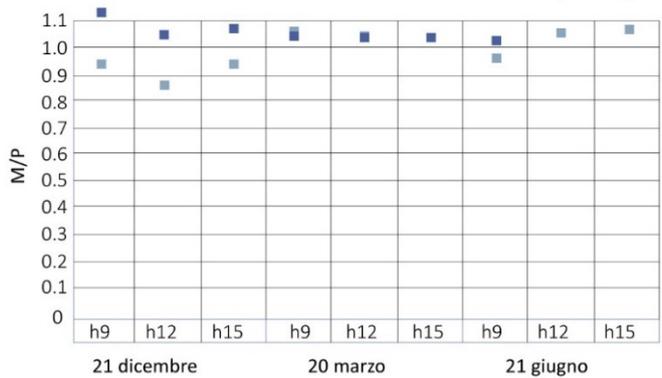
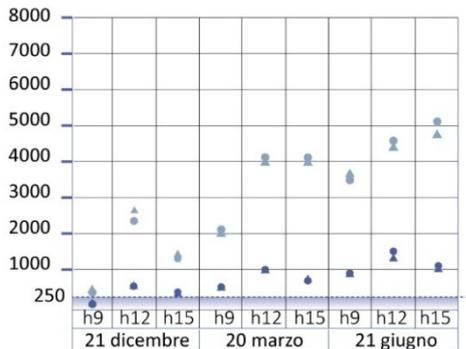
Vista 399_ 21 giugno h. 12.30



12 dicembre h. 12 - Cielo sereno

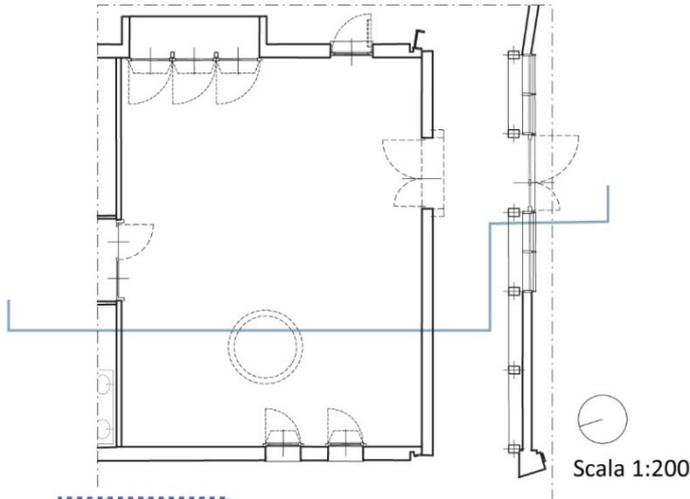
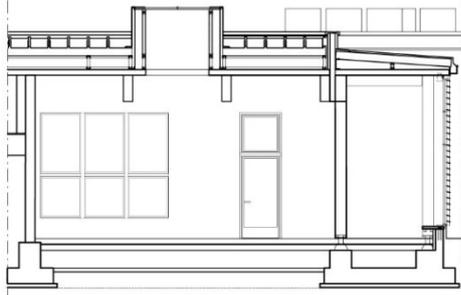


ANALISI COMPLETA ANNUALE

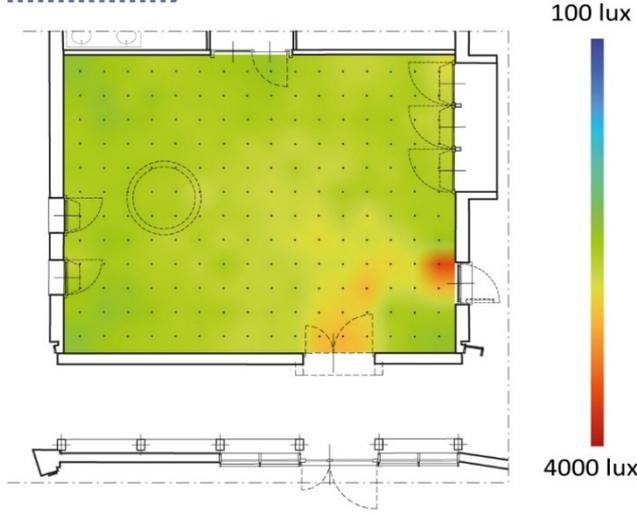


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si diminuiscono le superfici vetrate dell' **Aula Nord-Est**



UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
75.34% ore ✓	80.30% ore ✓

Rapporto Aeroilluminante RAI

$S_{Wopen}: 13.6 \text{ m}^2$	$S_{floor}: 76.51 \text{ m}^2$
$S_w: 22.41 \text{ m}^2$	$S_{Wopen}/S_{floor}: 0.18$
$S_{Wglazing}: 16.61 \text{ m}^2$	$S_w/S_{floor}: 0.29$
	$S_{Wglazing}/S_{floor} : 0.22$

21 dicembre

h.9

h.12

h.15

Clear Sky

h.9: 358 lux
h.12: 1927 lux
h.15: 938 lux

Overcast Sky

h.9: 152 lux
h.12: 433 lux
h.15: 280 lux

20 marzo

h.9

h.12

h.15

Clear Sky

h.9: 1901 lux
h.12: 3452 lux
h.15: 2745 lux

Overcast Sky

h.9: 491 lux
h.12: 823 lux
h.15: 679 lux

21 giugno

h.9

h.12

h.15

Clear Sky

h.9: 5013 lux
h.12: 4614 lux
h.15: 4014 lux

Overcast Sky

h.9: 797 lux
h.12: 1084 lux
h.15: 943 lux

22 settembre

h.9

h.12

h.15

Clear Sky

h.9: 2110 lux
h.12: 3445 lux
h.15: 2683 lux

Overcast Sky

h.9: 539 lux
h.12: 830 lux
h.15: 648 lux

21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

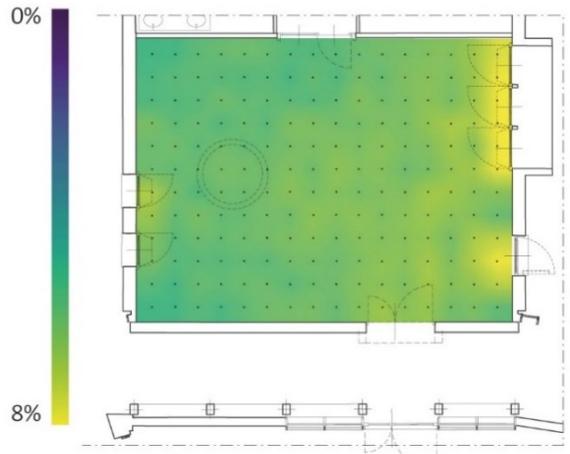


22 settembre - h.12



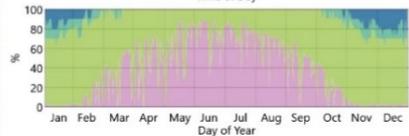
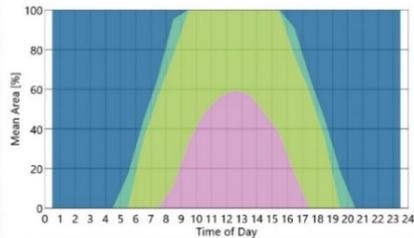
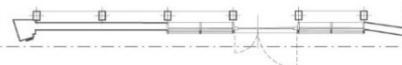
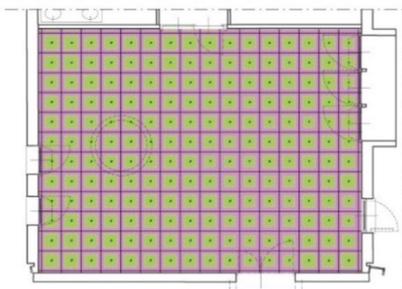
Daylight Factor (FD - FLDm) : 6,2%

Uniformità: 82%



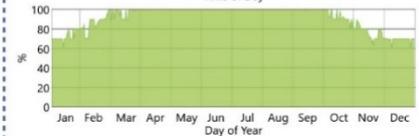
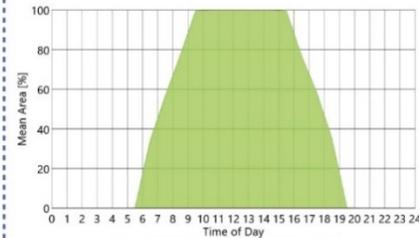
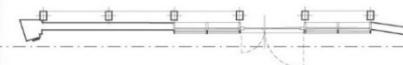
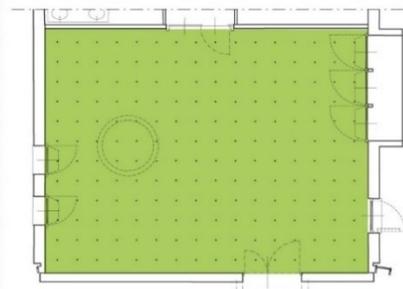
Blinds Closed: 2,4%

UDI.a: 54,5%



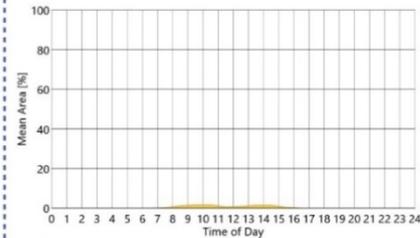
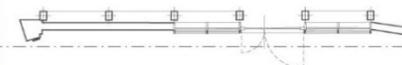
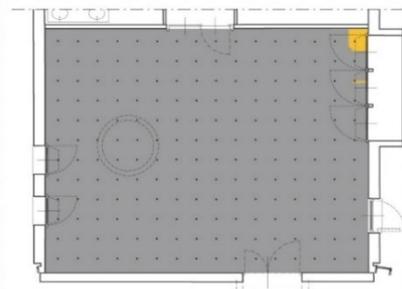
Failing Supplemental Acceptable Excessive

sDA300/50%: 100,0%



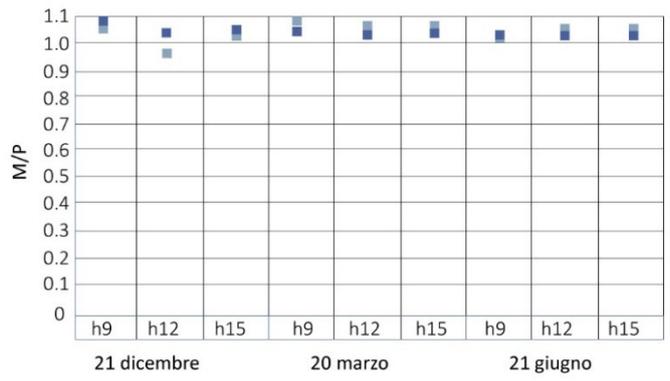
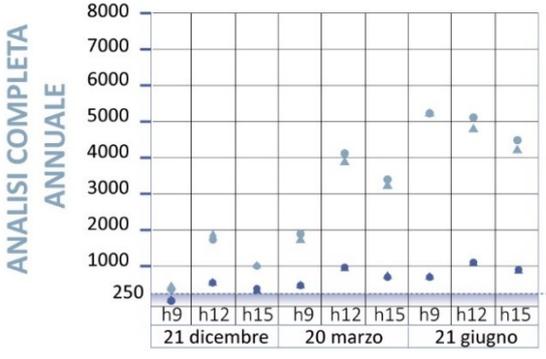
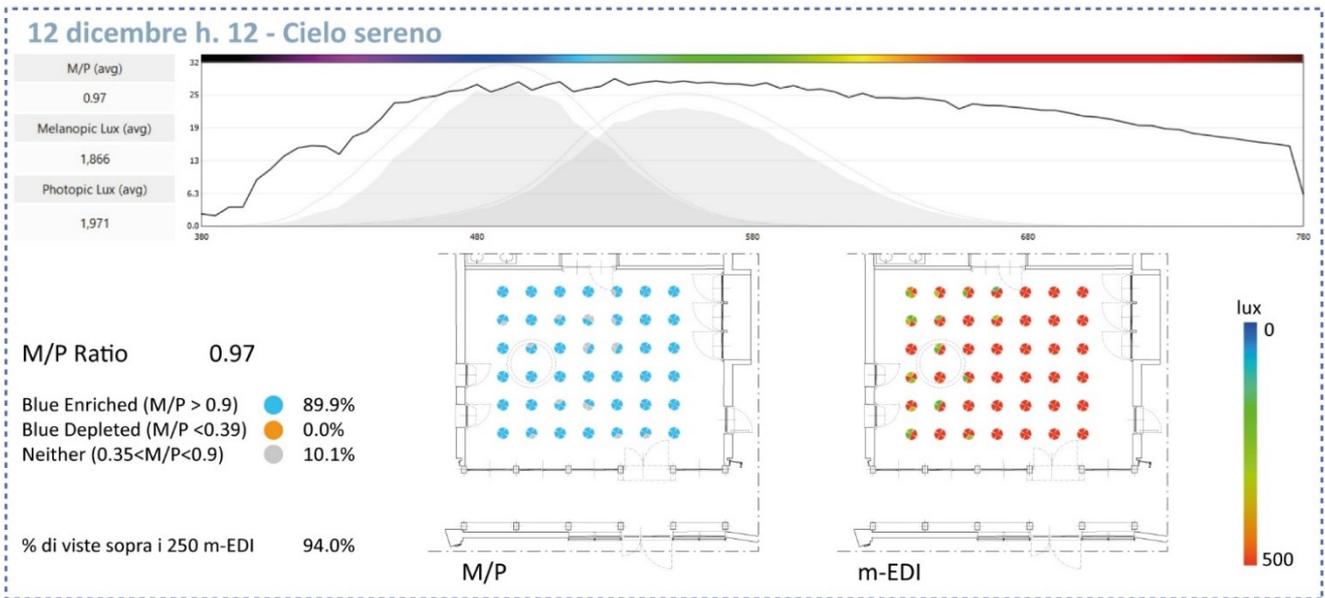
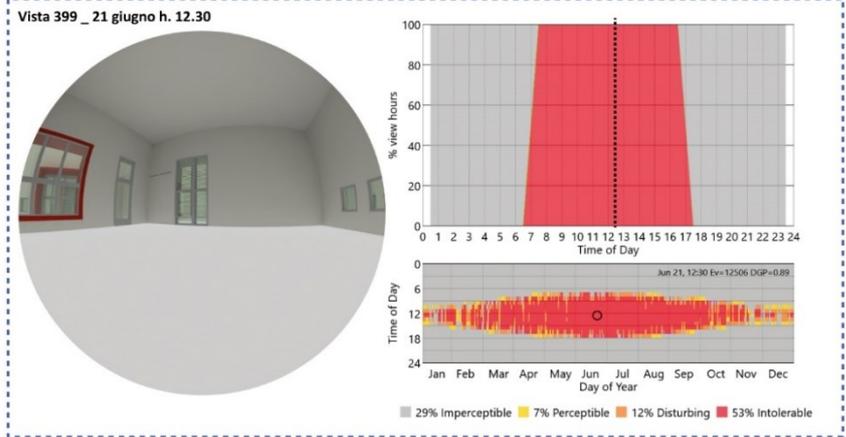
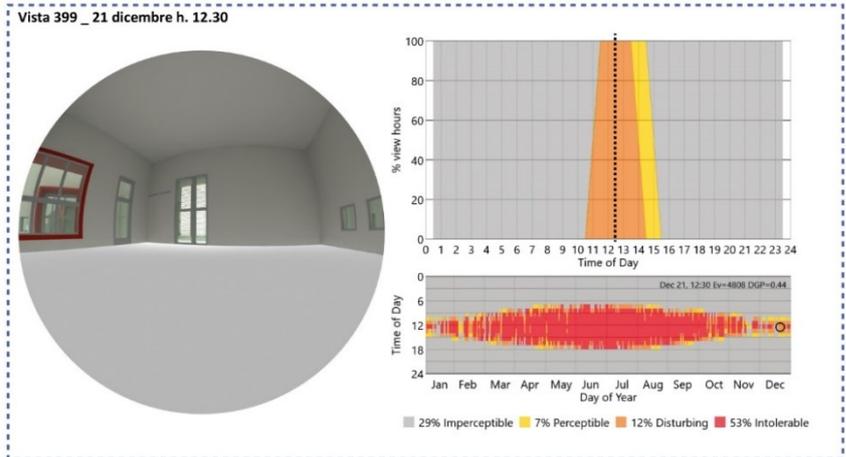
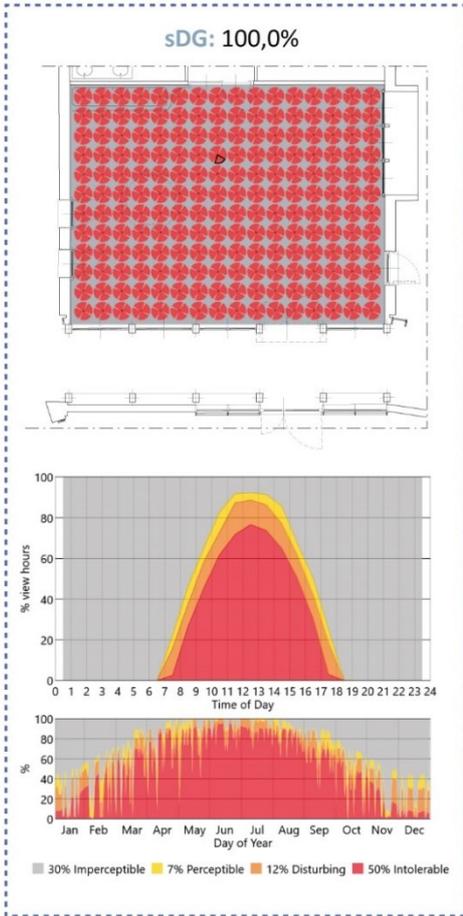
Autonomous (>300 lux)

ASE1000,250: 1,0%



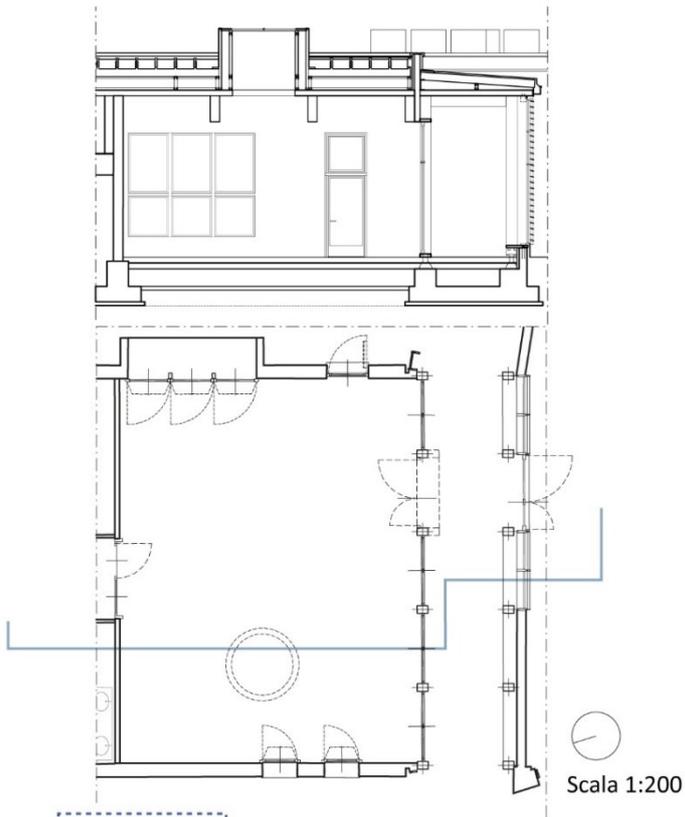
Overlit (>1000 lux direct)

UDI.f: 4,28% UDI.s: 4,44% UDI.e: 36,8%

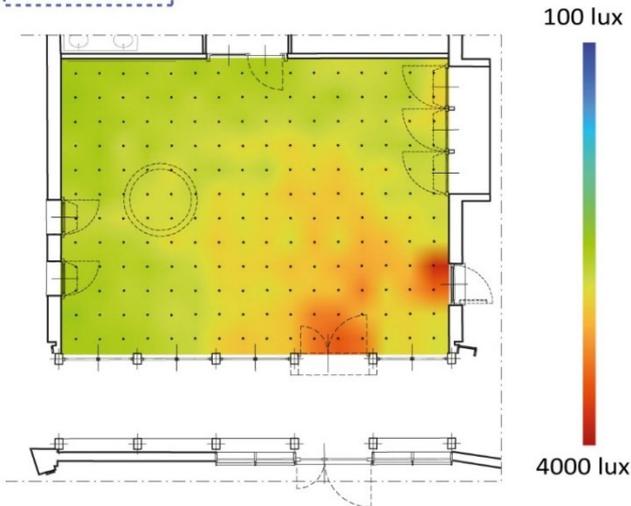


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si modifica il colore del vetro nell'**Aula Nord-Est** (azzurro)



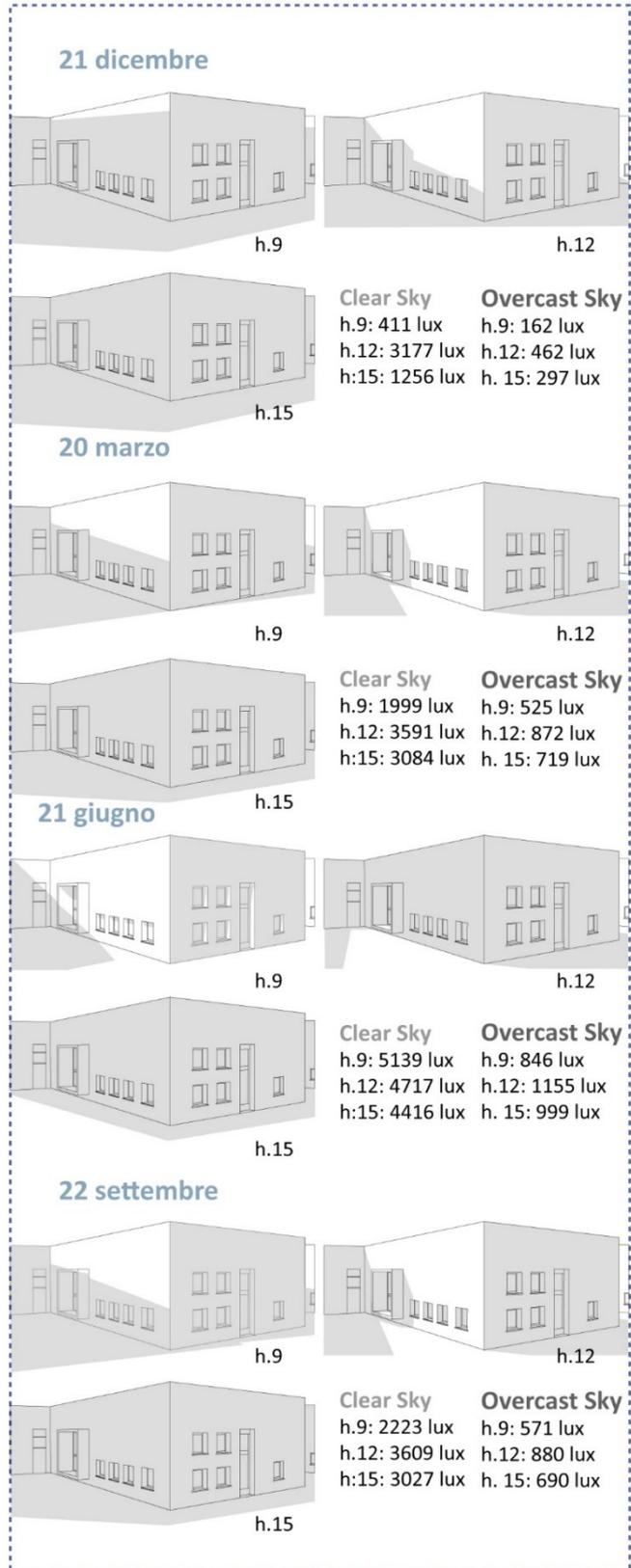
UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
77.19% ore	81.14% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

$S_{Wopen}: 14.65 \text{ m}^2$	$S_{floor}: 76.51 \text{ m}^2$
$S_w: 55.21 \text{ m}^2$	$S_{Wopen}/S_{floor}: 0.19$
$S_{Wglazing}: 44.05 \text{ m}^2$	$S_w/S_{floor}: 0.72$
	$S_{Wglazing}/S_{floor} : 0.58$



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

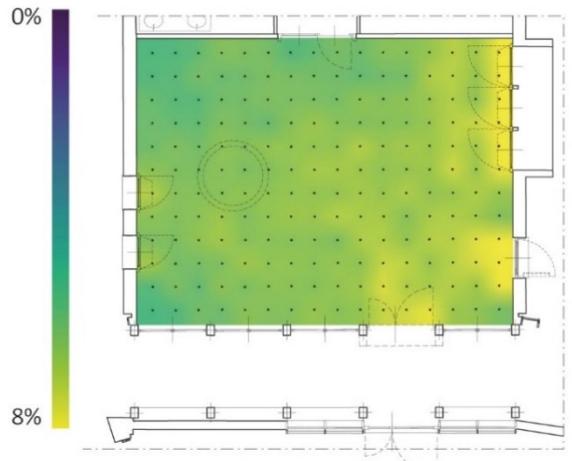


22 settembre - h.12



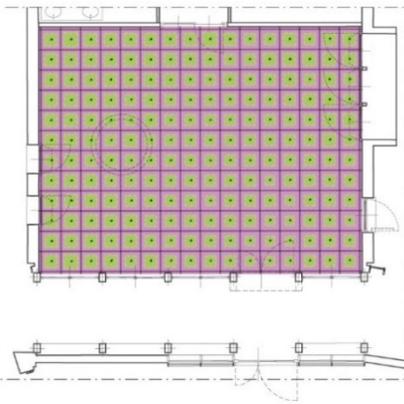
Daylight Factor (FD - FLDm) : 6,7%

Uniformità: 79%

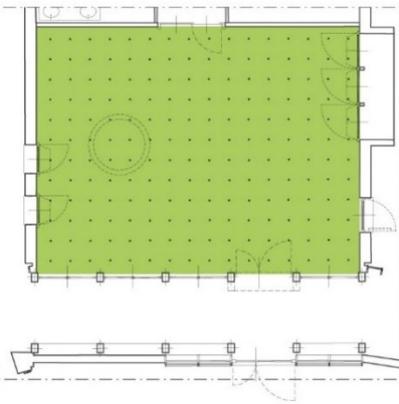


Blinds Closed: 2,4%

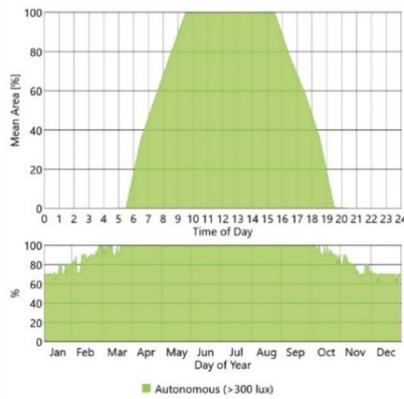
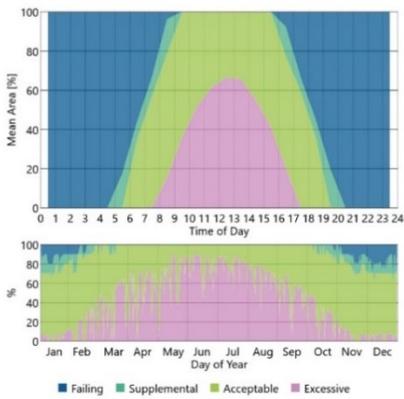
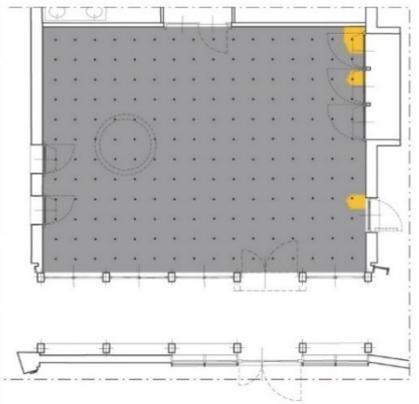
UDI.a: 50,4%



sDA300/50%: 100,0%

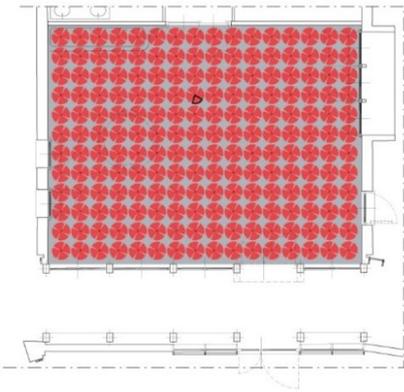


ASE1000,250: 1,6%

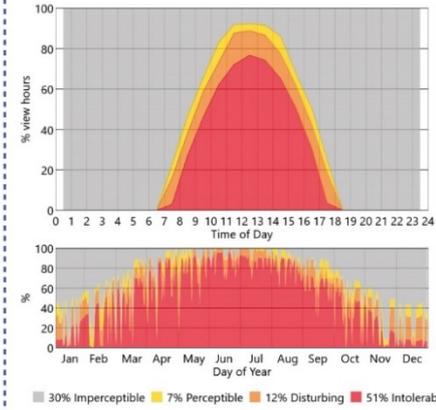
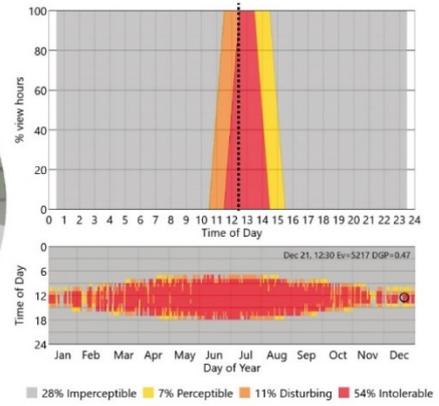


UDI.f: 3,97% UDI.s: 4,44% UDI.e: 41,1%

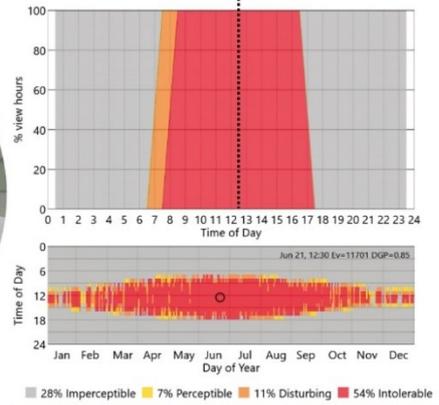
SDG: 100,0%



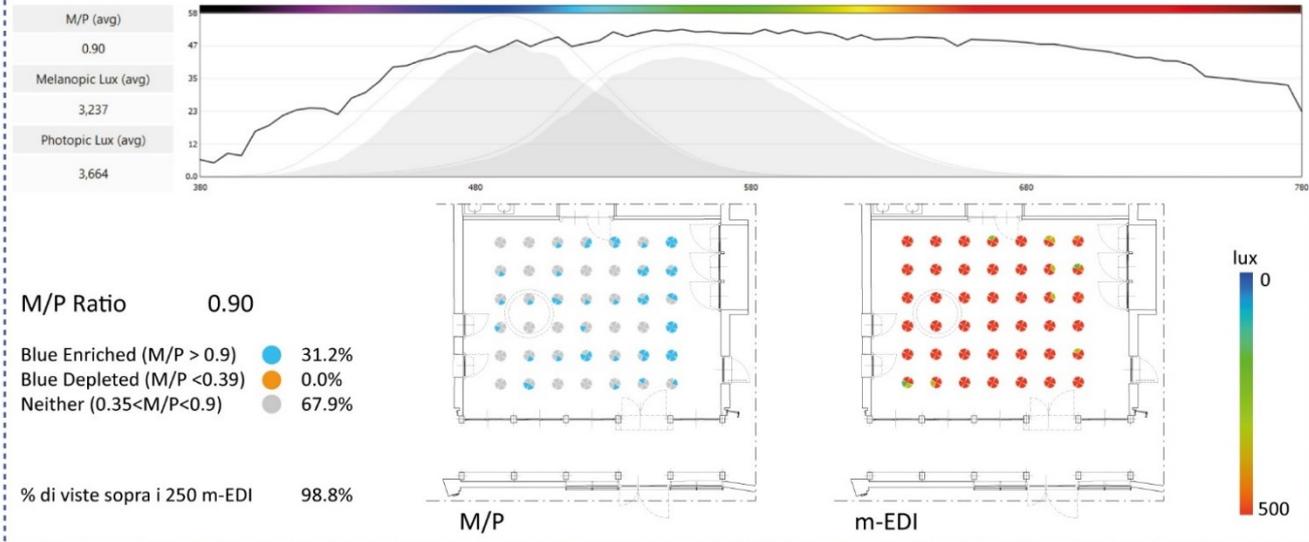
Vista 399_ 21 dicembre h. 12.30



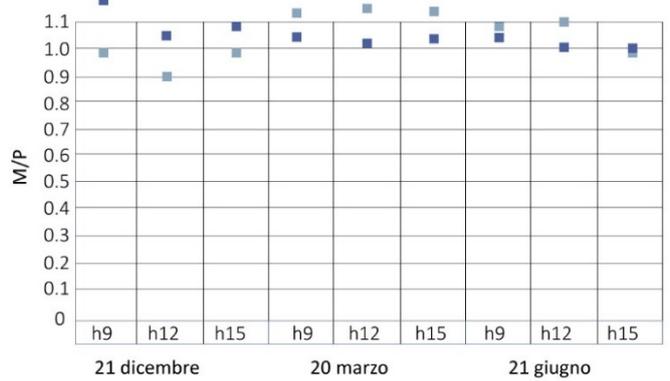
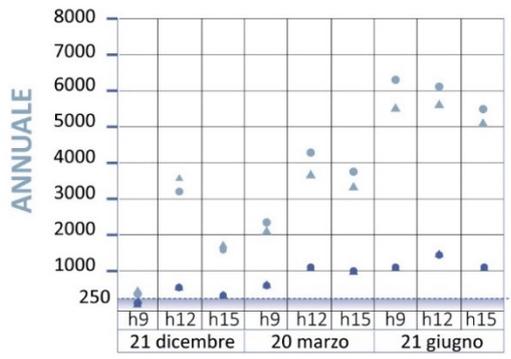
Vista 399_ 21 giugno h. 12.30



12 dicembre h. 12 - Cielo sereno

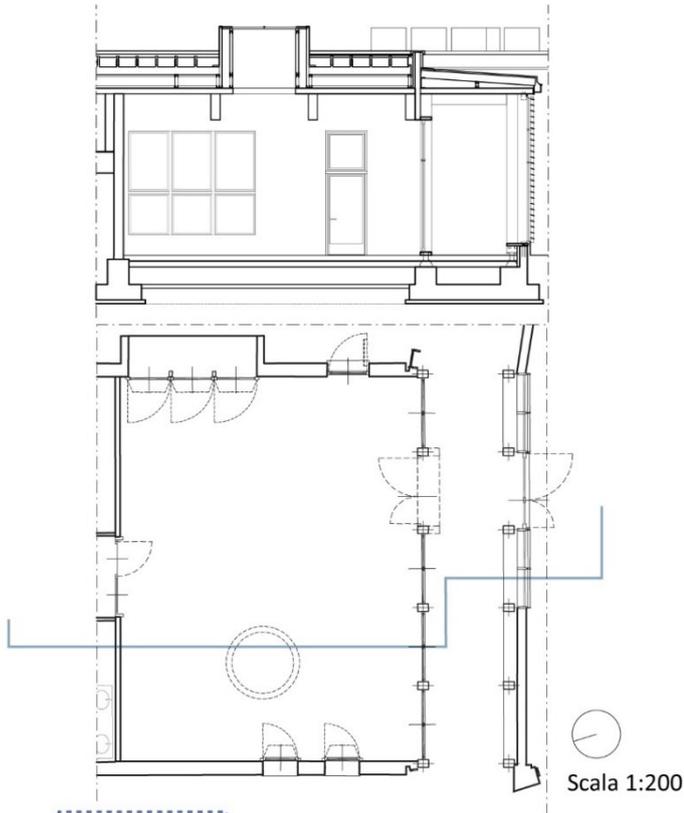


ANALISI COMPLETA ANNUALE

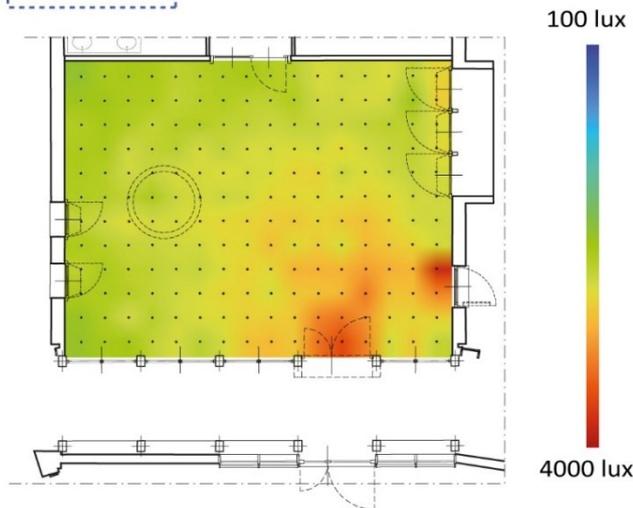


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si modifica il colore del vetro nell'Aula Nord-Est (verde)



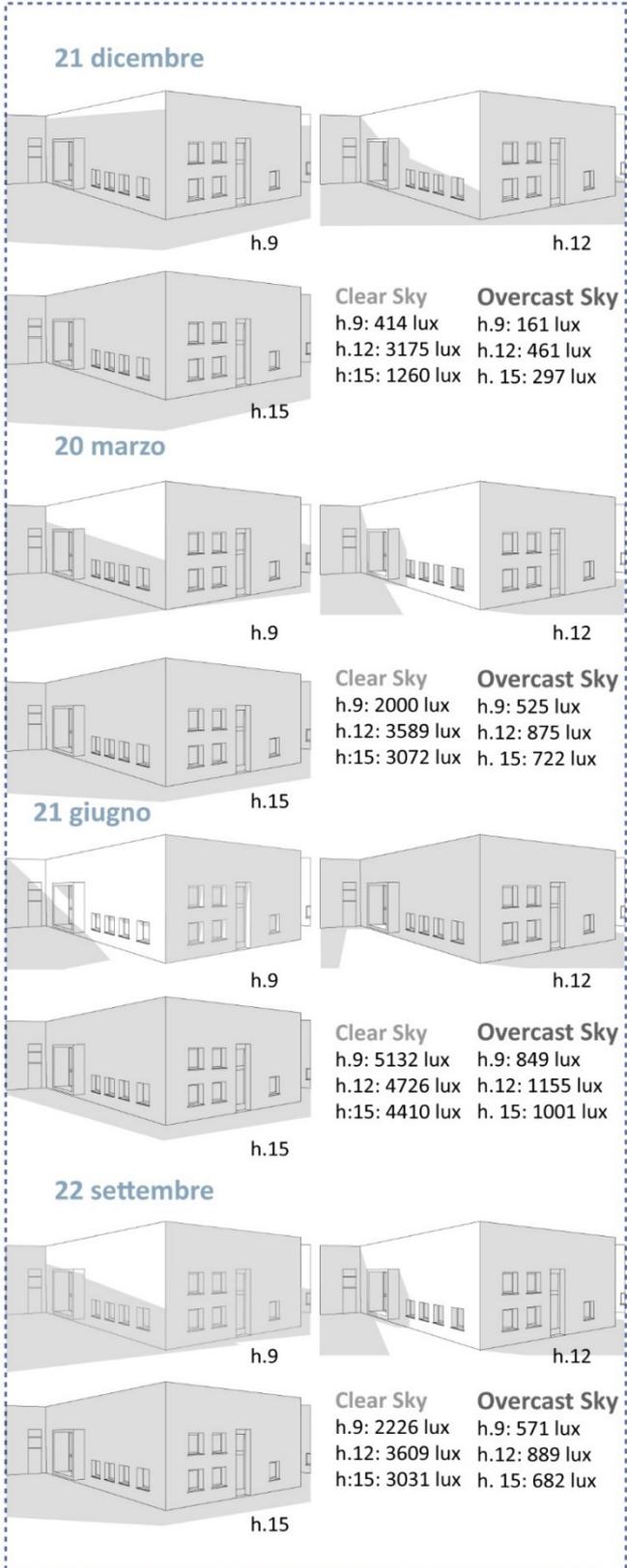
UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
77.08% ore	81.03% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

$S_{wopen}: 14.65 \text{ m}^2$	$S_{floor}: 76.51 \text{ m}^2$
$S_w: 55.21 \text{ m}^2$	$S_{wopen}/S_{floor}: 0.19$
$S_{wglazing}: 44.05 \text{ m}^2$	$S_w/S_{floor}: 0.72$
	$S_{wglazing}/S_{floor}: 0.58$



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

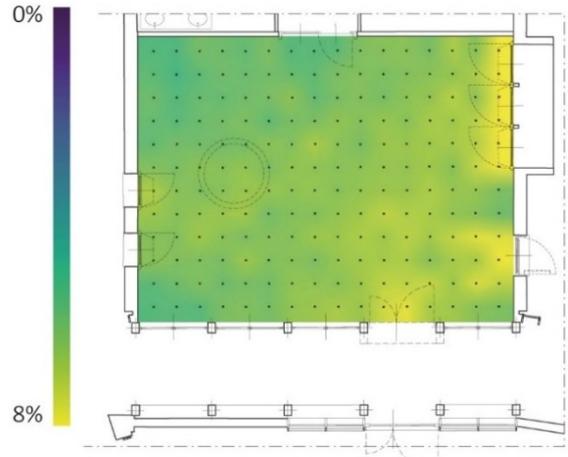


22 settembre - h.12



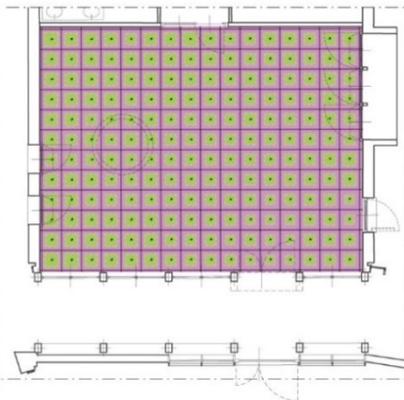
Daylight Factor (FD - FLDm) : 6,6%

Uniformità: 79%

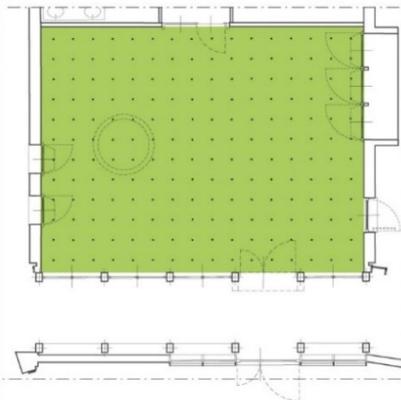


Blinds Closed: 2,4%

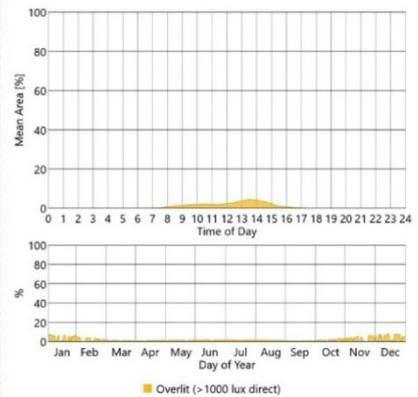
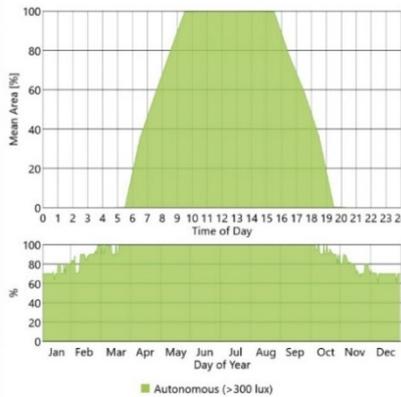
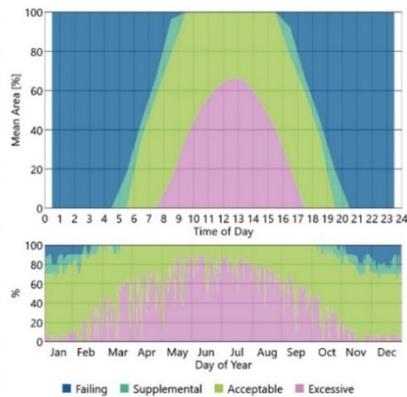
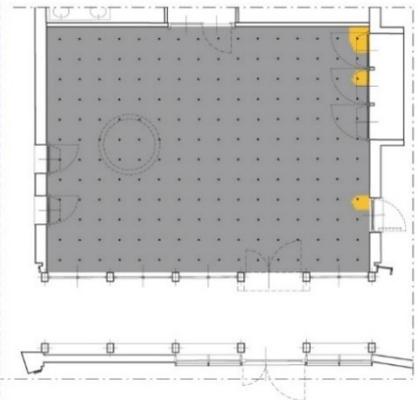
UDI.a: 50,6%



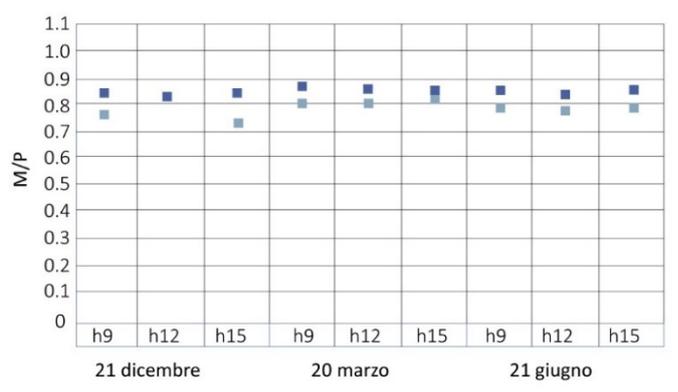
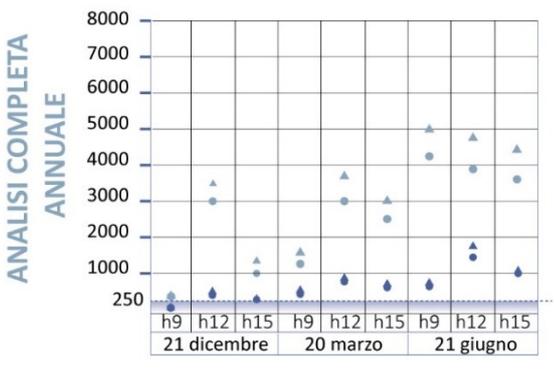
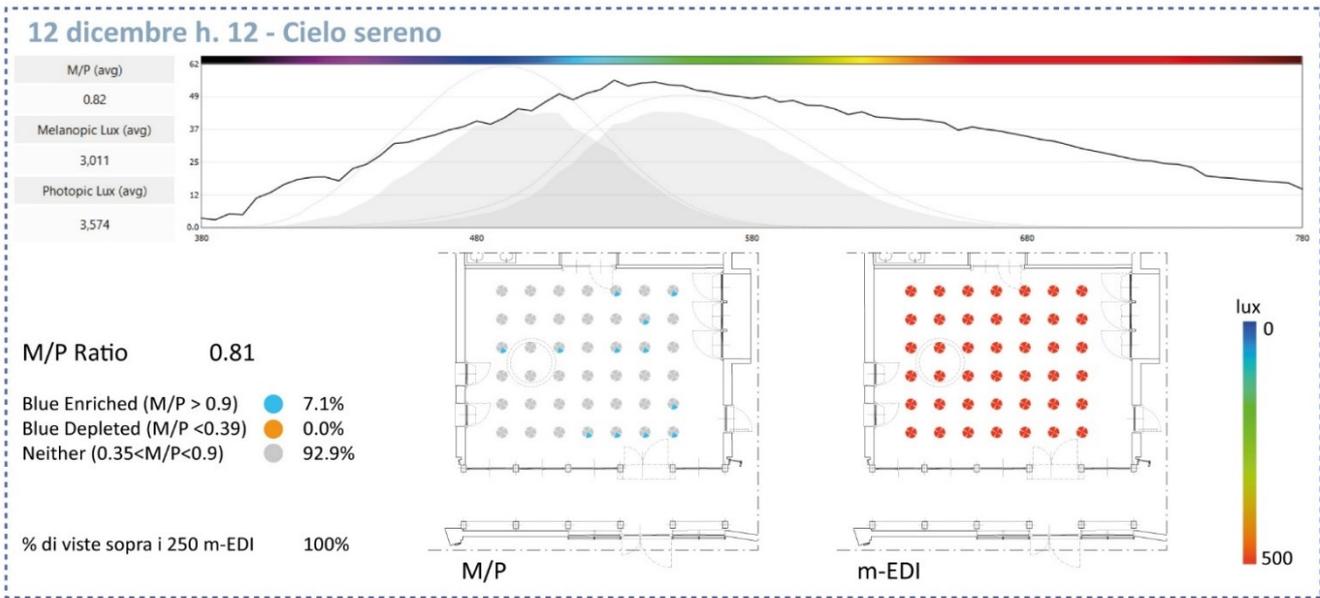
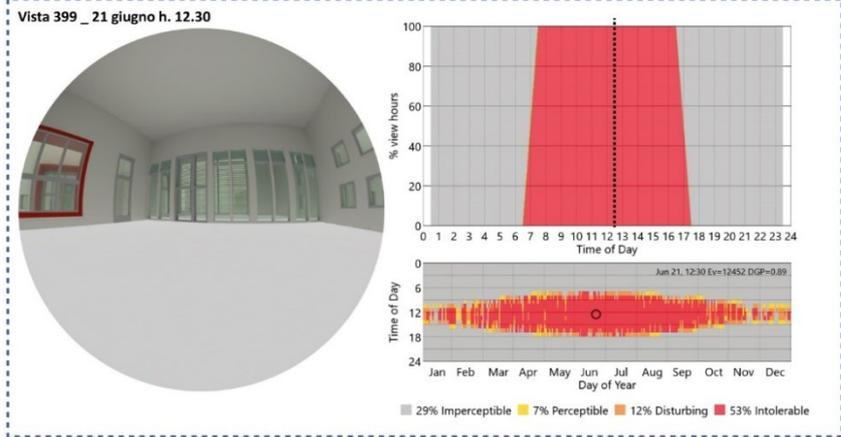
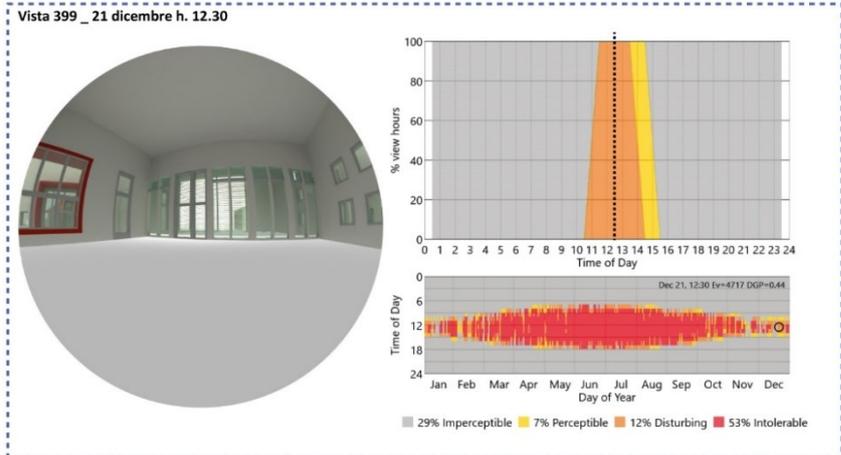
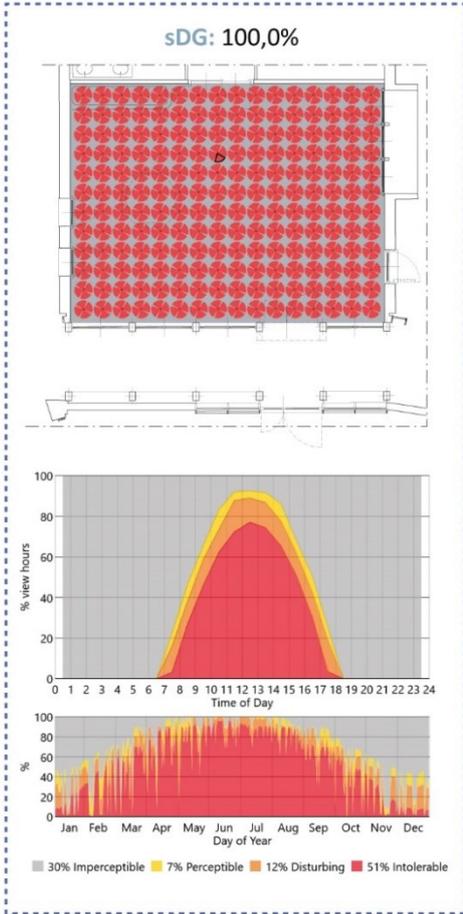
sDA300/50%: 100,0%



ASE1000,250: 1,6%

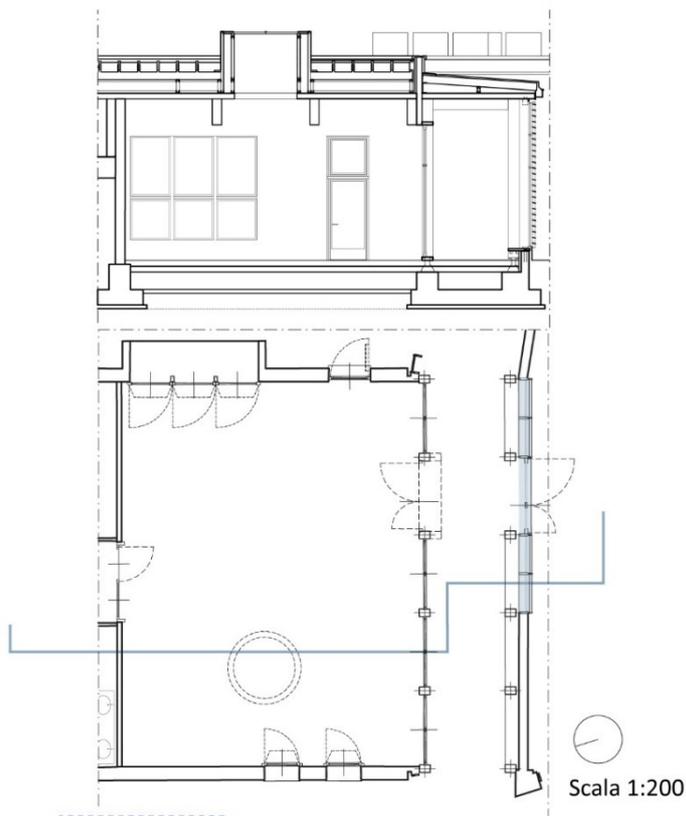


UDI.f: 4,05% UDI.s: 4,44% UDI.e: 40,5%

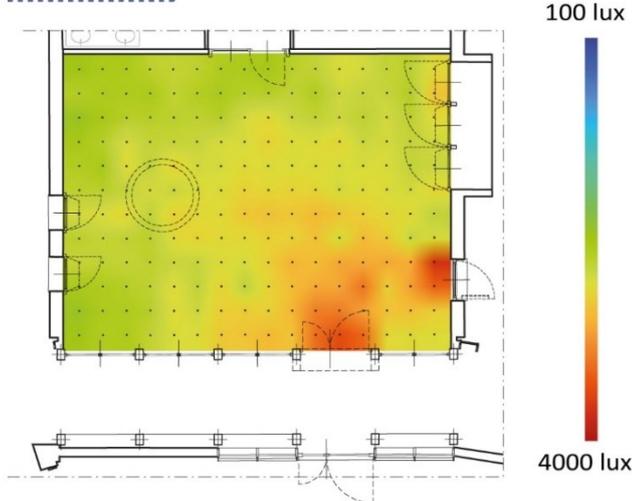


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si modifica il colore del vetro del corridoio, risultati dell'Aula Nord-Est (azzurro)



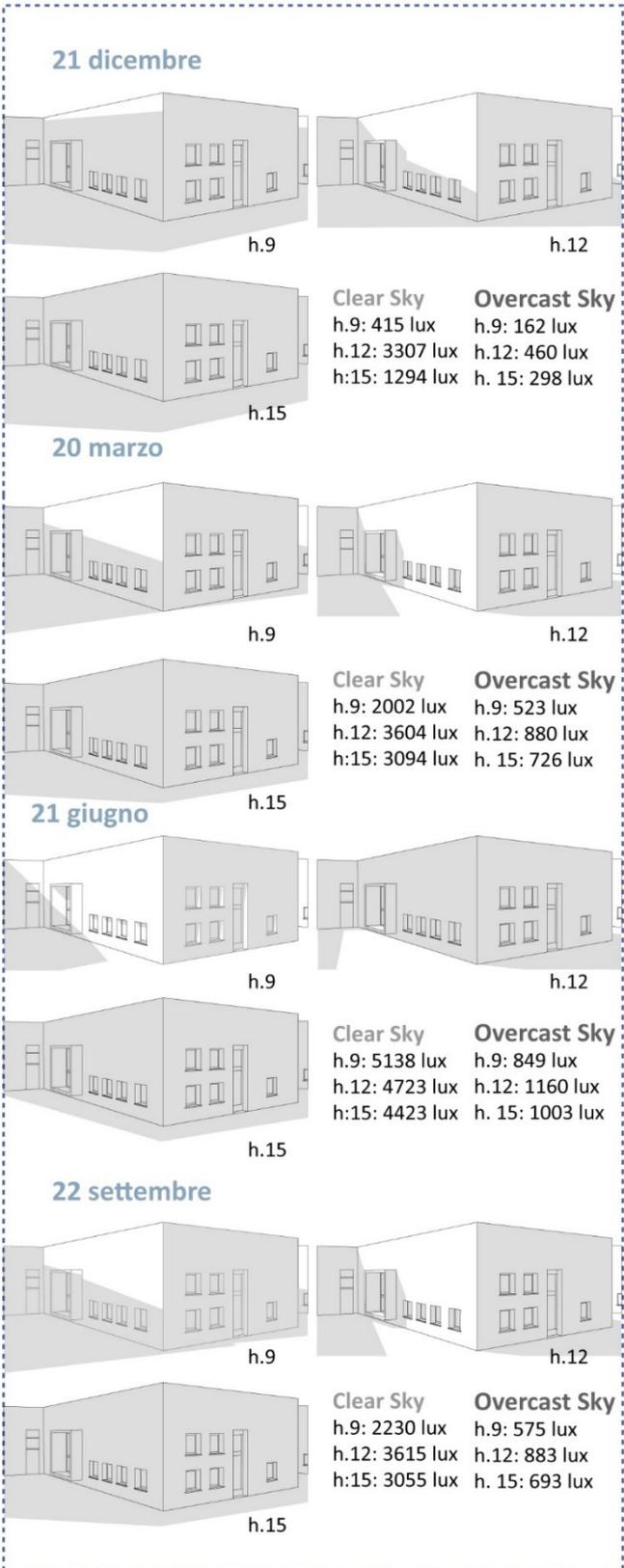
UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
77.26% ore	81.16% ore

Rapporto Aeroilluminante RAI

$S_{Wopen}: 14.65 \text{ m}^2$ $S_w: 55.21 \text{ m}^2$ $S_{Wglazing}: 44.05 \text{ m}^2$	$S_{floor}: 76.51 \text{ m}^2$ $S_{Wopen}/S_{floor}: 0.19$ $S_w/S_{floor}: 0.72$ $S_{Wglazing}/S_{floor}: 0.58$
---	--



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

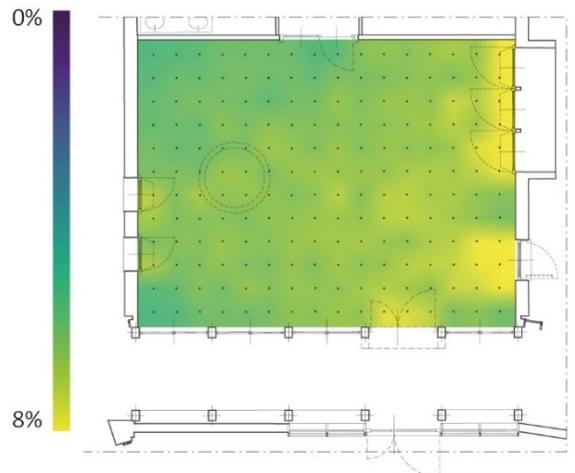


22 settembre - h.12



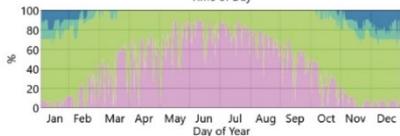
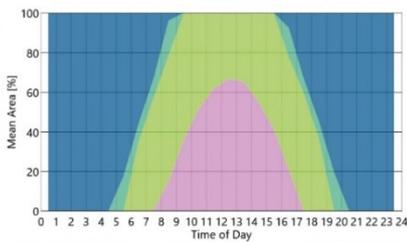
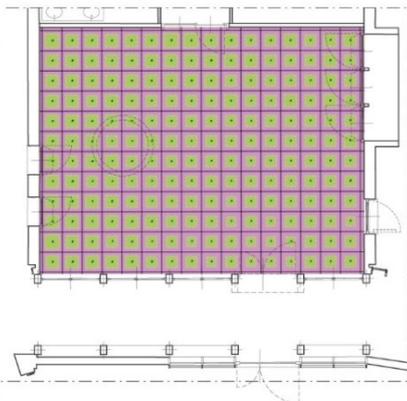
Daylight Factor (FD - FLDm) : 6,7%

Uniformità: 81%



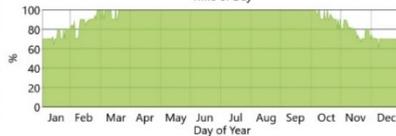
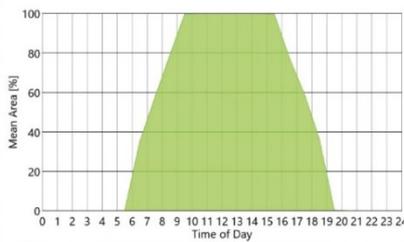
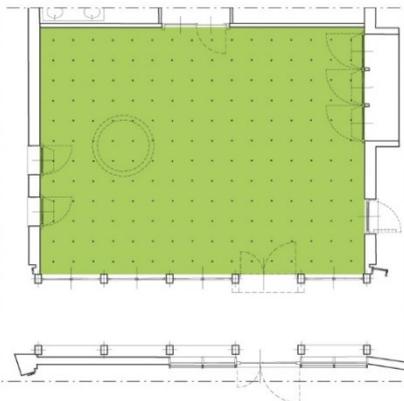
Blinds Open: 2,4%

UDI.a: 50,4%

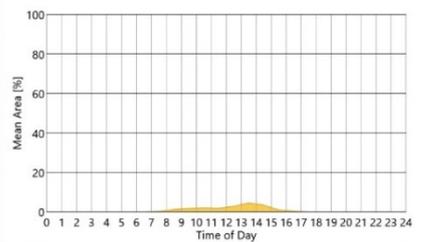
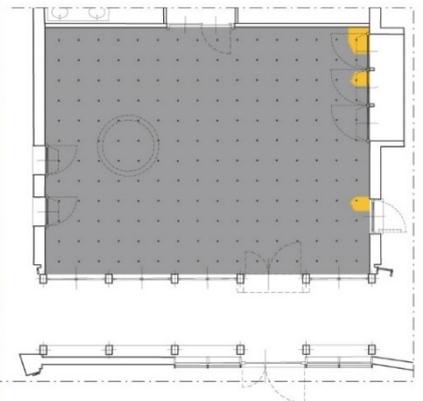


UDI.f: 3,97% UDI.s: 4,42% UDI.e: 41,2%

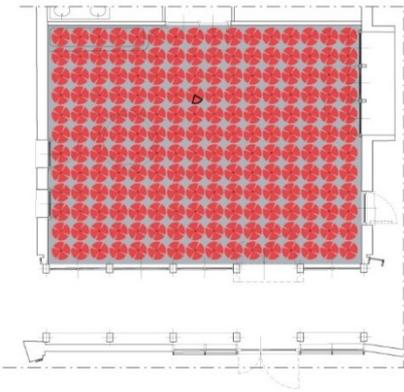
sDA300/50%: 100,0%



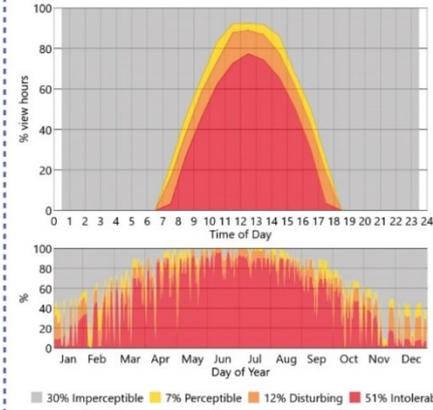
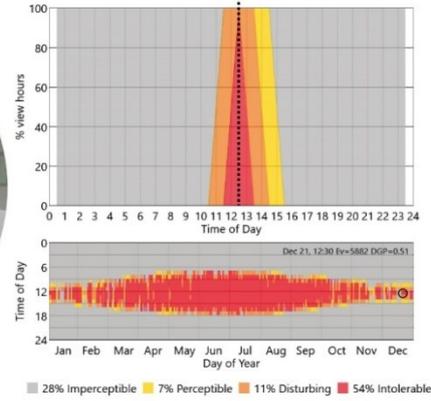
ASE1000,250: 1,6%



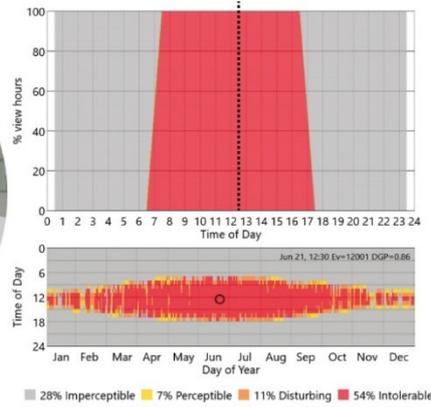
SDG: 100,0%



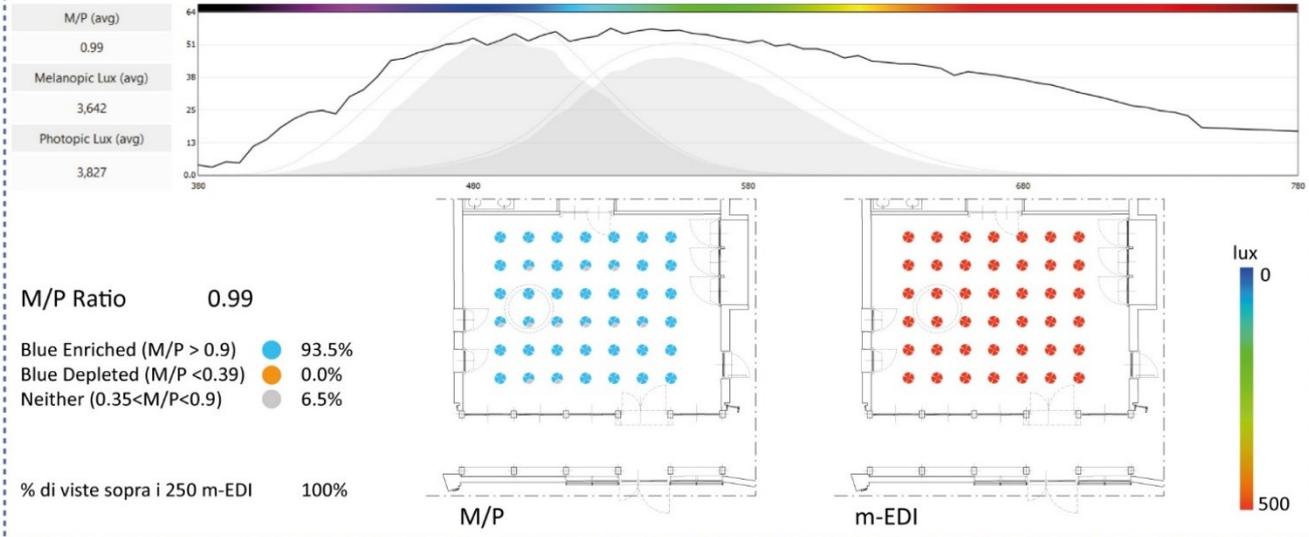
Vista 399_ 21 dicembre h. 12.30



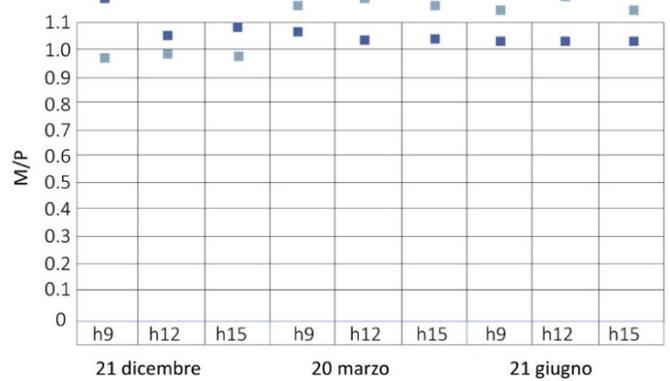
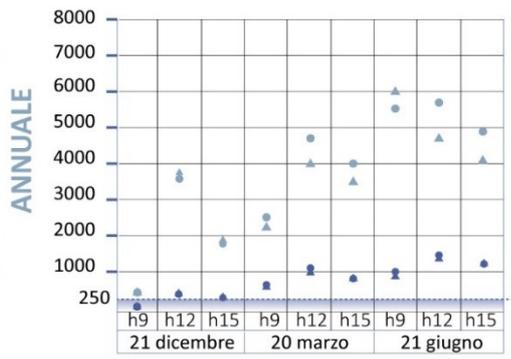
Vista 399_ 21 giugno h. 12.30



12 dicembre h. 12 - Cielo sereno

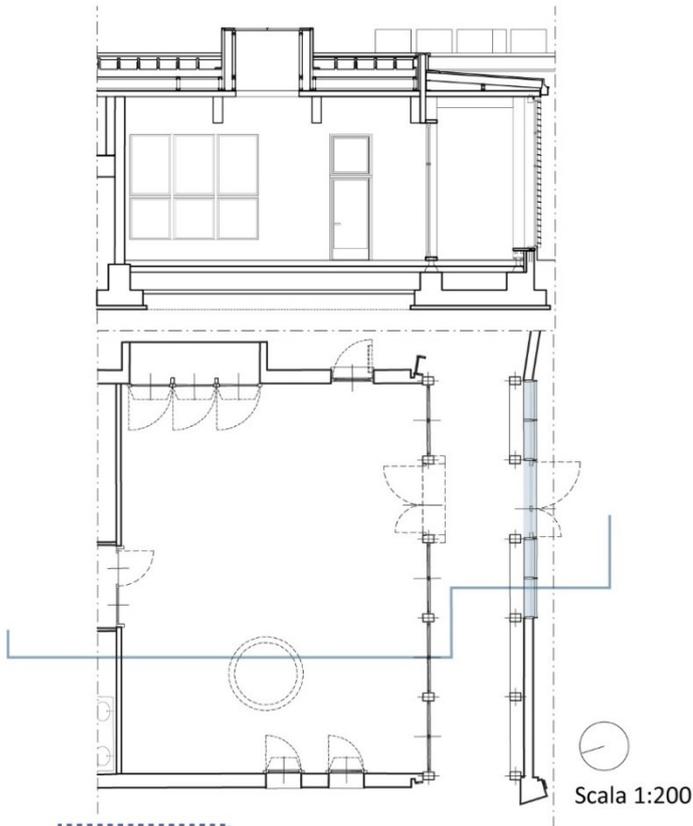


ANALISI COMPLETA ANNUALE

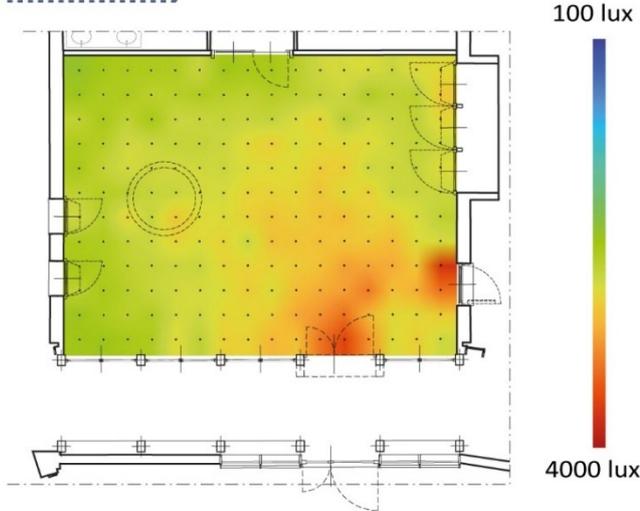


ASILO NIDO ALBA

Analisi del caso in cui si modifica il colore del vetro del corridoio, risultati dell'**Aula Nord-Est** (verde)



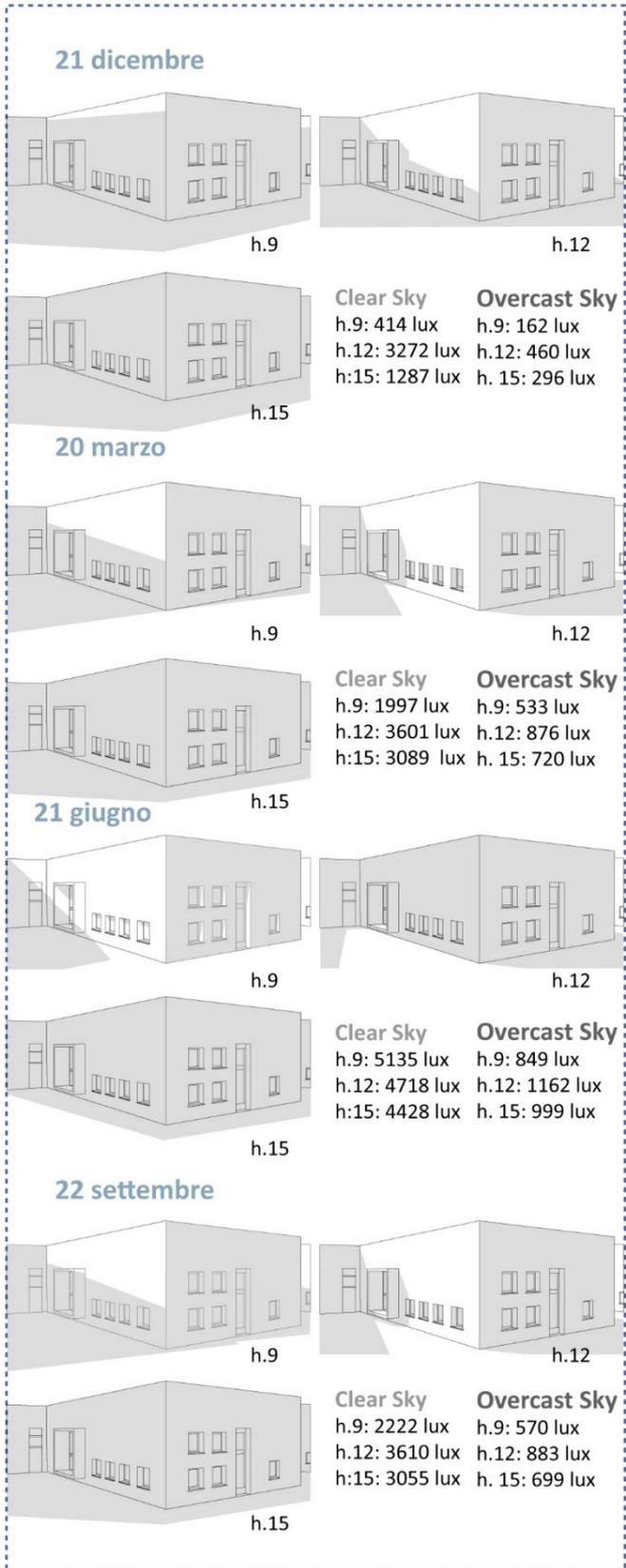
UNI 17037



REQUISITI	
750 lux in almeno 50% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna	500 lux in almeno 95% dei punti di misura per almeno metà delle ore di luce diurna
RISULTATI	
77.21% ore ✓	81.07% ore ✓

Rapporto Aeroilluminante RAI

S_{wopen} : 14.65 m ²	S_{floor} : 76.51 m ²
S_w : 55.21 m ²	S_{wopen}/S_{floor} : 0.19
$S_{wglazing}$: 44.05 m ²	S_w/S_{floor} : 0.72
	$S_{wglazing}/S_{floor}$: 0.58



21 dicembre - h.12



20 marzo - h.12



21 giugno - h.12

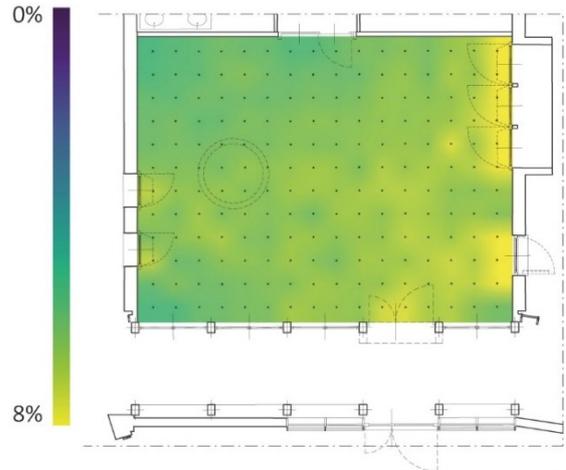


22 settembre - h.12



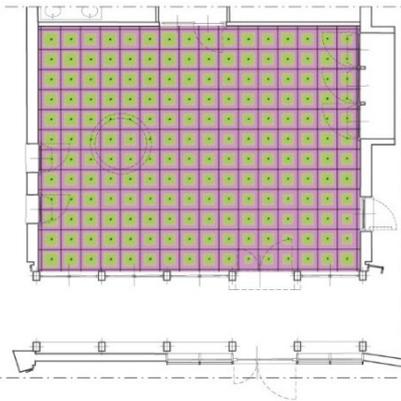
Daylight Factor (FD - FLDm) : 6,7%

Uniformità: 81%

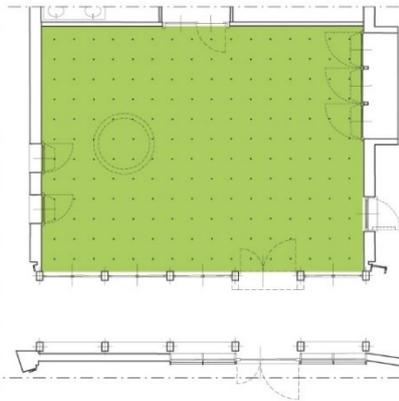


Blinds Open: 2,4%

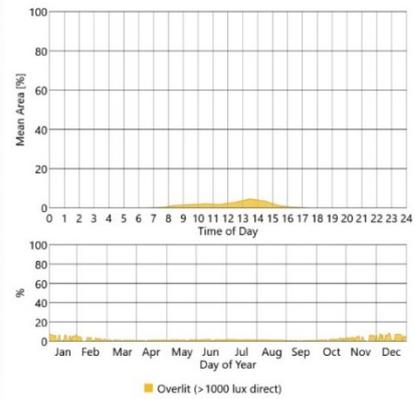
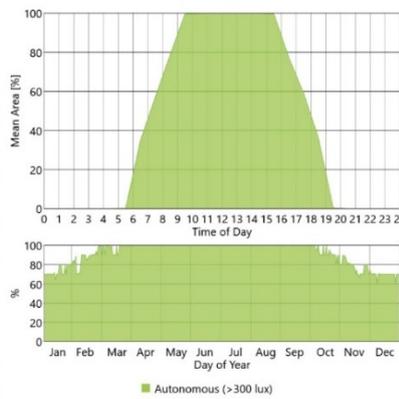
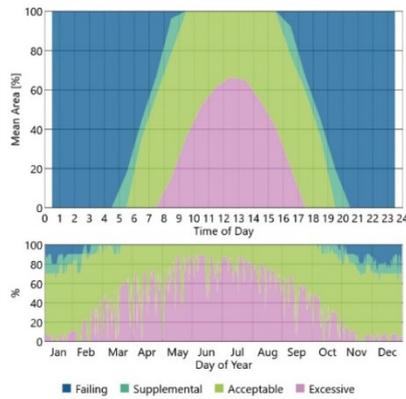
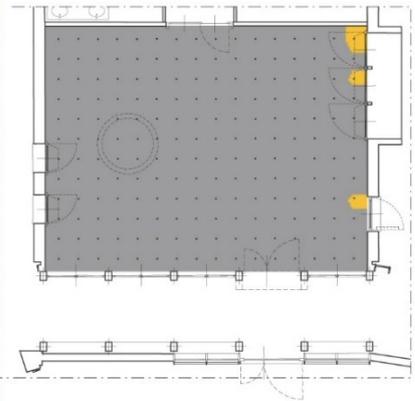
UDI.a: 50,5%



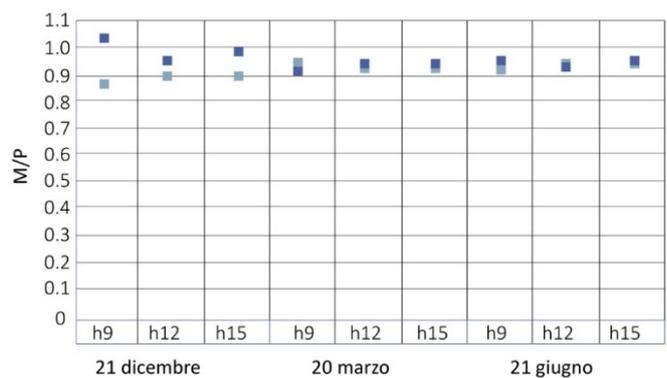
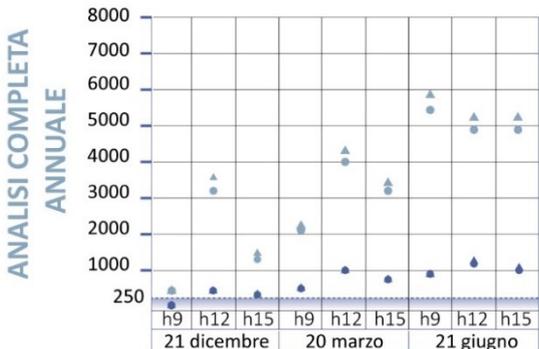
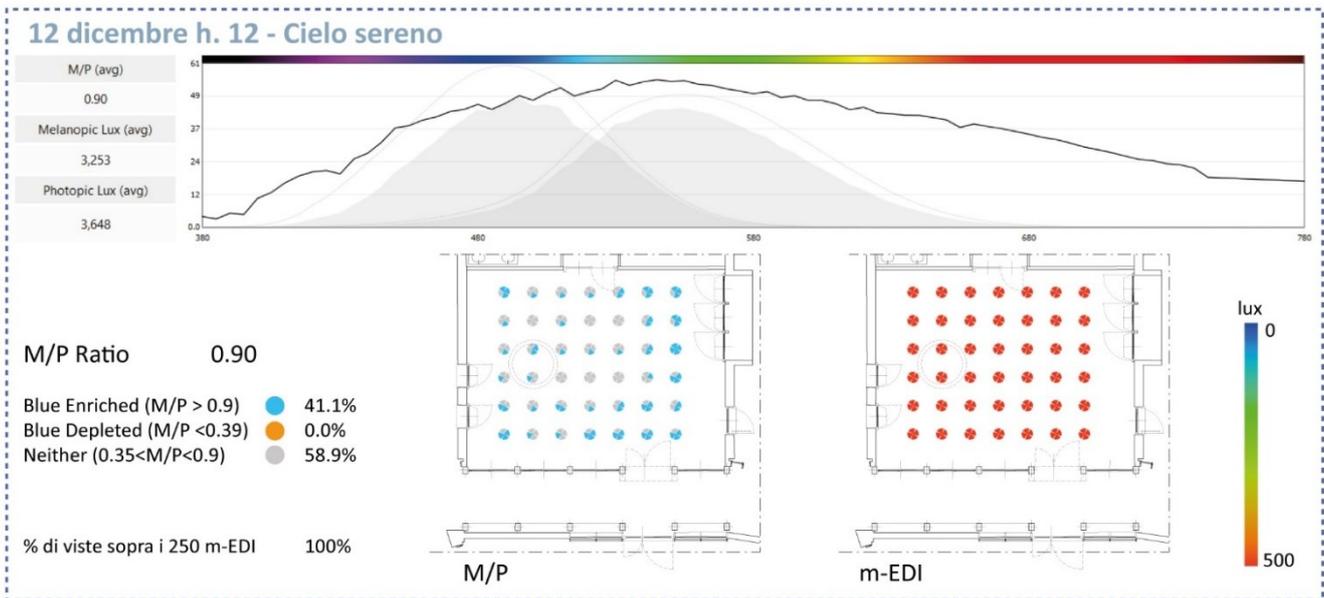
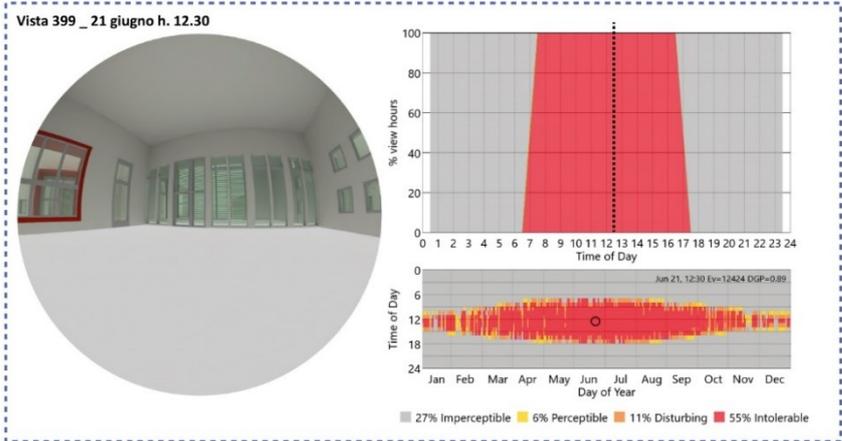
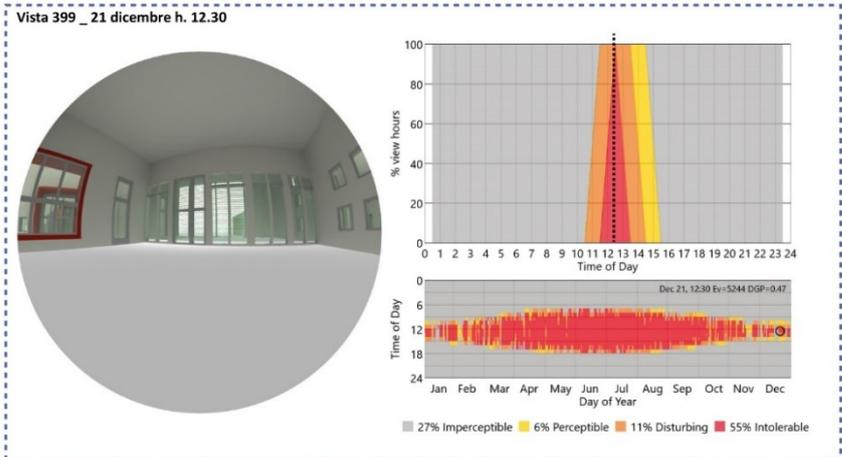
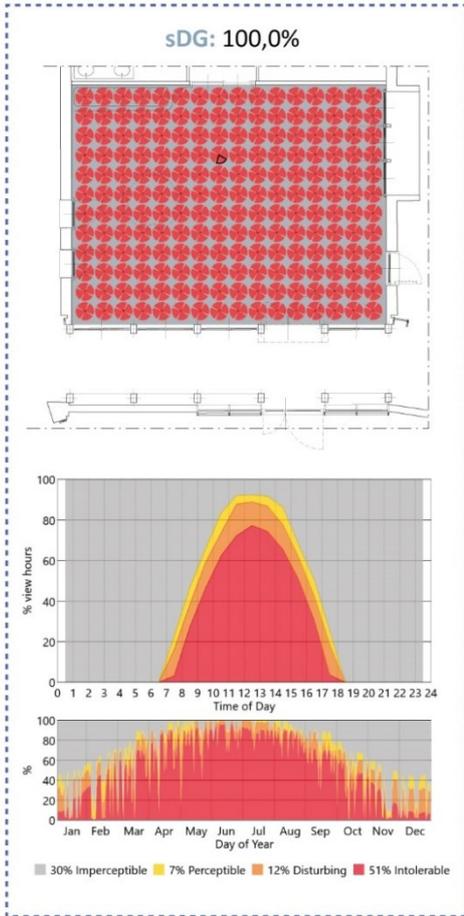
sDA300/50%: 100,0%



ASE1000,250: 1,6%



UDI.f: 3,99% UDI.s: 4,42% UDI.e: 41,1%



riassumendo:

		FLD _m ≥ 5%	FLD _m ≥ 3.9%	sDA > 75%	ASE < 10%	750 lx in almeno 50% pt di misura	500 lx in almeno 95% pt di misura	mel-EDI ≥ 250 lx	mel-EDI ≥ 163 lx
Sestri Levante aula scuola materna	Caso base	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓*	✓*
	Schermature	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓*	✓*
	No sopra luce	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓*	✓*
	Aperture	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓*	✓*
	Vetri nuovi	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓*	✓*
	Listelli	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓*	✓*
Sestri Levante aula asilo nido	Caso base	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓*	✓*
	Schermature	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓*	✓*
	No sopra luce	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓*	✓*
	Aperture	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓*	✓*
	Vetri nuovi	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓*	✓*
Alba aula nord	Caso base	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Schermature	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Aperture	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Sopraluce Azzurro	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Sopraluce Verde	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Vetri Azzurri	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Vetri Verdi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
Alba aula nord-est	Caso base	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Schermature	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Aperture	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Sopraluce Azzurro	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Sopraluce Verde	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Vetri Azzurri	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*
	Vetri Verdi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓*

*Tutti i casi analizzati verificano i requisiti melanopici richiesti dal protocollo WELL, in particolare, in alcuni giorni dell'anno, specifiche condizioni di cielo e orari non si raggiunge il minimo richiesto per l'assegnazione di 1 o 3 punti. Per un più dettagliato quadro sui giorni e gli orari in cui non verifica la soglia richiesta si vedano le figure 47 e 48.

5. Conclusioni

L'elaborato presenta un'analisi di quattro aule appartenenti a scuole per l'infanzia, due collocate nell'edificio scolastico di nuova realizzazione nel comune di Sestri Levante e due nella nuova scuola collocata nel comune di Alba. Lo studio è stato condotto interamente attraverso simulazioni per gli aspetti relativi alla luce diurna per ottenere dati melanopici e fotopici, che sono stati estrapolati attraverso due plug-in di Rhino attraverso analisi annuali per le metriche che lo richiedevano (FLD_m, sDA, UDI, ASE e sDG) e giornalieri considerando tre giorni e tre orari significativi per le altre prendendo come riferimento i due solstizi e l'equinozio di primavera.

L'obiettivo principale della ricerca è quello di definire se i casi base riuscissero a garantire ambienti correttamente illuminati dal punto di vista normativo sia percettivo per gli utenti; inoltre, le varianti proposte provano a fornire soluzioni per aumentare il benessere nelle aule.

Si è ulteriormente voluto analizzare e verificare se l'illuminamento dato dalla luce naturale fosse di 500 lux in almeno il 95% della superficie considerata e 750 lux in almeno il 50% della stessa e se l'illuminamento circadiano fosse coerente con il protocollo WELL "Features L03"; esso assegna 3 punti con almeno 250 mel-EDI oppure 163 mel-EDI con sDA > 75%.

Analizzando le metriche prese in esame e i differenti risultati ottenuti dalle simulazioni è possibile commentare e spiegare alcuni di essi in relazione a quanto previsto.

Prendendo in considerazione il fattore medio di luce diurna, ad esempio, è possibile affermare che tutte le simulazioni effettuate sull'edificio collocato ad Alba siano come atteso. È evidente, infatti, che il motivo per cui si verifici sia l'FLD_m richiesto dalla normativa 10840:2007 che dalla 17037:2019, rispettivamente 5% e 3.9%, sia dato dalla presenza di grandi vetrate non solo all'interno degli ambienti presi in esame ma anche e soprattutto negli spazi ad essi adiacenti e comunicanti.

Al contrario, nel caso studio sito a Sestri Levante, nonostante l'aula dell'asilo nido sia esposta a sud, essa si trova all'interno di una corte, posizione inadatta se si analizza la quantità di luce naturale entrante in ambiente. Per questo motivo, nell'ipotesi progettuale in cui si elimina il sopraffuce (elemento di notevoli dimensioni) non si raggiunge nemmeno il minimo richiesto. Considerando le aule della scuola materna presenti nel medesimo edificio, l'unica situazione sfavorevole per quanto riguarda questa metrica è quella in cui vengono inseriti i listelli, necessari però per abbattere notevolmente il valore di ASE, il quale, passa da 77.3% nel caso base a circa il 20% con rispettivamente una percentuale di ore di utilizzo con le tende chiuse di 32.3 e 26.1.

Ottimi risultati in termini di ASE si registrano invece nella scuola di Alba, dove, nonostante le numerose superfici vetrate non si arriva mai al limite del 10% fissato dalla normativa italiana mantenendo comunque molto ridotte anche le ore di utilizzo delle tende.

Dal punto di vista melanopico, tutti i casi analizzati con le relative ipotesi progettuali non soddisfano il requisito di 250 mel-EDI del protocollo WELL il 21 dicembre alle ore 9 in condizioni di cielo coperto. Più particolarmente, emerge come la scuola materna di Sestri Levante non ottenga questo valore nemmeno alle ore 15 dello stesso giorno nelle medesime condizioni. Se osserviamo i valori misurati nell'aula dedicata ai divezzi si riscontra la medesima situazione in tutti gli orari analizzati del 21 dicembre con cielo coperto, alle ore 9 del 20 marzo con cielo coperto e alle ore 9 del 21 dicembre avendo cielo sereno. Nel secondo caso studio in particolare nell'aula nord non si verifica il requisito di 250 mel-EDI anche alle ore 15 del 21 dicembre con cielo coperto.

Commentando i risultati ottenuti è possibile affermare che, a pari risposta melanopica, nell'aula della scuola materna di Sestri Levante l'ipotesi progettuale in cui vengono aggiunti i listelli sembra la migliore dal punto di vista dell'abbagliamento e dell'ASE, ma non raggiunge il minimo richiesto dalla legge per quanto concerne l'FLD_m e nemmeno per la normativa 17037:2019 in termini di lux in ambiente (almeno 750 lux in almeno 50% dei punti di misura e 500 lux nel 95% dei medesimi punti). I risultati ottenuti sono attesi, poiché i listelli introdotti nell'ipotesi progettuale, essendo posti su tutta la facciata, sono molto schermanti e riducono notevolmente la luce che può accedere in ambiente. Ponendo attenzione all'asilo nido presente nello stesso edificio emerge che, a causa della sua collocazione, l'ipotesi progettuale che meno soddisfa i diversi requisiti della normativa e degli aspetti melanopici è quella in cui si elimina il sopra-uce. Infatti, solo in questo specifico caso si hanno più giorni e orari in cui non si raggiungono i 250 mel-EDI richiesti dal protocollo WELL, non si verifica il fattore medio di luce diurna e la normativa 17037:2019 in termini di lux in ambiente. I risultati appena citati sono attesi, come, in egual modo lo sono quelli riferiti al caso studio di Alba poiché essendovi grandi aperture la quantità di luce che può accedere in ambiente è molto elevata al punto da soddisfare i requisiti sia di FLD_m che di lux in ambiente. Ciononostante, i valori di ASE rimangono molto bassi al contrario di quelli di abbagliamento.

Lo studio riscontra come non si trovi una concordanza tra le normative e i protocolli citati nel capitolo II. Le prime infatti, impongono dei valori minimi da raggiungere a livello fotopico ma non citano la sfera melanopica, fondamentale quando si progettano spazi in cui si trascorrono molte ore della giornata, o i protocolli. Essi possono solo limitarsi a stabilire un valore minimo accettabile senza che esso sia normato oppure reso obbligatorio. Inoltre, nelle normative si fa riferimento

all'illuminamento medio nelle aule, mentre il protocollo WELL si riferisce in modo specifico ai punti definiti in ogni ambiente.

Si può dunque sostenere che sarebbe necessario, per creare maggiore coerenza in ambito di progettazione ed assicurare un livello di benessere adeguato, attribuire maggiore attenzione alla luce percepita dall'occhio. Per questo si potrebbe porre sullo stesso piano di importanza il parametro mel-EDI e l'illuminamento sul piano di lavoro.

Bibliografia

- Abbasi, Maryam Ajilian, Ali Talaei, Ardeshir Talaei, e Ali Rezaei. «The use of appropriate colors in the design of children's rooms: A Short Review.» *International Journal of Pediatrics* 2, n. 4 (Ottobre 2014): 8.
- Alghemo, Chiara, Anna Pellegrino, e Silvia Cammarano. «Sistemi di gestione e controllo della luce naturale e artificiale.» Roma: ENEA, 2009. 128.
- Alghemo, Chiara, e Valerio Lo Verso. «Guida alla progettazione dell'illuminazione naturale.» Milano: AIDI, 2003. 197.
- Ambadi, P, e Benny Raphael. «Experimental evaluation of radiant heat trasmitted by light shelves.» *Journal of Building Engineering* 63, n. B (Gennaio 2023): 1-16.
- Banham, Reyner. «Ambiente e tecnica nell'architettura moderna.» Roma-Bari: Editori Laterza, 1969. 352.
- Baronchelli, Laura. *Human Centric Lighting: illuminazione smart al servizio dell'uomo*. 30 maggio 2019. <https://www.lumi4innovation.it/human-centric-lighting-illuminazione-smart-al-servizio-delluomo/> (consultato il giorno marzo 2024).
- Bellia , Laura, intervista di Università degli Studi di Milano Bicocca. *L'illuminazione al servizio dell'individuo* Milano, (2016).
- Bonaiuto, Marino, Giulia Amicone , e Irene Petrucelli. «Psicologia architettonica e ambientale degli ambienti scolastici.» *Psicologia sociale*, dicembre 2019: 131-170.
- Calder, Barnabas. «Architettura ed energia. Dalla preistoria all'emergenza climatica.» Torino: Einaudi, 2021. 504.
- Capanni , Fabio. «Architettura e luce. Principi elementari per progettare con la luce naturale.» Siracusa: LetteraVentidue Edizioni, 2017. 80.
- De Monte, Giulia, e Antonio Piotti. «I colori della psicologia.» Giunti T.V.P., 2020. 100.
- . «Spazio Scienze Umane.» Giunti T.V.P., 2023. 480.
- Farneti, Paola, e Elisabetta Grossi. «Per un approccio ecologico alla percezione visiva.» Milano: Franco Agnelli, 1995. 112.
- Fondazione AIRC. «Il sole: tanti raggi, tanrti effetti.» febbraio 2021. <https://www.airc.it/cancro/prevenzione-tumore/il-sole/raggi-del-sole> (consultato il giorno febbraio 2024).
- Ghezzi, S. «La progettazione dell'illuminazione naturale. Confronto tra metodi semplificati e modelli.» Milano: Politecnico di Milano, 2008-2009. 88.
- International WELL Building Institute (IWBI). *WELL v2, Q1-Q2 2024*. 2024. <https://v2.wellcertified.com> (consultato il giorno marzo 2024).
- Lorenzati, Alice. *Come progettare l'illuminazione negli ambienti scolastici: tra requisiti e linee guida*. 09 Giugno 2020. <https://www.ingenio-web.it/articoli/come-progettare-l-illuminazione-negli-ambienti-scolastici-tra-requisiti-e-linee-guida/#:~:text=> (consultato il giorno Febbraio 2024).

- Maley , Jacqueline. *Celebrating LEED-certified schools: Private and independent schools*. 26 settembre 2022. <https://www.usgbc.org/articles/celebrating-leed-certified-schools-private-and-independent-schools> (consultato il giorno aprile 2024).
- Michael H, Nicklas, e Bailey Gary B. «Analysis of the performance of students in daylight schools.» 1996, 1-6.
- Palladino, Pietro. «Manuale del Lighting Design, Teoria e pratica della professione.» Milano: Tecniche Nuove, 2019. 1052.
- Rea, M,S, e M,G Figueiro. «Light as a circadian stimulus for architectural lighting.» In *Lighting Research and Technology*, 14. Troy: Rensselaer Polytechnic Institute, 2016.
- Sole, Maurizio, e Manuela Crespi. «Edilizia scolastica.» Roma: DEI s.r.l., 2014. 218.
- Stanfield, C L. «Fisiologia.» Napoli: EdiSES, 2017. 776.
- Tschofen, Daniel. *What is Integrative Lighting?* 07 giugno 2021. <https://wirklicht-leuchten.com/en/blogs/news/was-ist-human-centric-lighting> (consultato il giorno febbraio 2024).
- U.S. Green Building Council. *LEED v4.1*. s.d. <https://www.usgbc.org/leed/v41> (consultato il giorno aprile 2024).
- Valan , Francesca. *Ceramiche VOGUE: il colore nelle scuole*. Biella: Arti Grafiche Biellesi, 2014.

Protocolli e normative

CEN (Comité Européen de Normalisation), Luce e illuminazione – Locali scolastici – Criteri generali per l’illuminazione artificiale e naturale, UNI 10840:2007, Bruxelles, 2007.

Decreto Ministeriale, del 18 dicembre 1975, “Norme tecniche aggiornate relative alla edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica”, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana Serie Generale n.29 del 02/02/1976, Roma.

Criteri Ambientali Minimi (CAM), “Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.”, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana Serie Generale n. 259 del 11/10/2017, Roma, 2017.

CEN (Comité Européen de Normalisation), Luce diurna negli edifici, UNI 17037:2019, Bruxelles, 2019.
 Criteri Ambientali Minimi (CAM, “Criteri ambientali minimi per l’affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l’affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l’affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi.”, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana Serie Generale n. 183 del 23/06/2022, Roma, 2022.

CEN (Comité Européen de Normalisation), Luce e illuminazione – Illuminazione degli ambienti di lavoro – Parte 1: Luoghi di lavoro al chiuso, UNI 12464:2021, Bruxelles, 2021.
 LEED v4.1, Building Design and Construction, Green Building Council, Washington, 2023.

International Well Building Institute, Green Business Certification Inc., WELL Building Standard v2, New York, 2023.

Allegati

Valori estrapolati dal plug-in ALFA

CASO BASE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu	
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot
Ore	h.9	1438	1974	2548	2503	1548	1279	139	116	703	644	610	681
	h.12	7350	7924	4882	4535	2352	2008	590	538	1650	1538	1009	1136
	h.15	3900	4566	3732	3527	1854	1556	302	268	1162	1081	811	909
Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P
Ore	h.9	0.78	1.05	1.18	1.17	1.07	0.88
	h.12	0.94	1.09	1.15	1.08	1.05	0.87
	h.15	0.88	1.07	1.16	1.11	1.06	0.88
Cielo sereno				Cielo coperto			

SCHERMATURE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu	
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot
Ore	h.9	1550	2107	2264	2130	1606	1851	152	137	426	446	852	1015
	h.12	5449	6032	7103	7189	2328	2719	433	469	959	1022	1256	1562
	h.15	3160	3748	4533	4541	1719	2030	227	238	715	760	1012	1252
Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P
Ore	h.9	0.79	1.08	0.88	1.09	0.94	0.81
	h.12	0.89	0.98	0.83	0.90	0.93	0.77
	h.15	0.87	0.99	0.81	0.93	0.93	0.78
Cielo sereno				Cielo coperto			

NO SOPRALUCE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu	
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot
Ore	h.9	1296	1830	1524	1618	1103	899	87	89	272	265	647	497
	h.12	5726	6324	3055	3026	1504	1252	304	259	628	616	504	645
	h.15	2917	3754	2740	2834	2340	1783	157	129	444	434	407	518
Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P
Ore	h.9	0.76	0.88	1.2	0.98	0.93	1.28
	h.12	0.92	0.91	1.18	1.16	0.92	0.71
	h.15	0.78	0.89	1.31	1.20	0.92	0.71
Cielo sereno				Cielo coperto			

Scuola di Sestri Levante (AULA 1)

APERTURE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu							
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot						
Ore	h.9	1349	2141	1916	2434	909	990	92	93	287	285	493	441						
	h.12	5937	7226	4631	5235	1383	1569	240	237	371	482	482	554						
	h.15	2399	3270	3395	4049	1043	1176	169	173	401	356	409	486						
							Cielo sereno							Cielo coperto					

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	0.62	0.72	0.84	0.91	0.93	1.03		
	h.12	0.76	0.81	0.79	0.93	0.71	0.81		
	h.15	0.68	0.75	0.81	0.90	1.04	0.78		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

VETRI NUOVI

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu							
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot						
Ore	h.9	1650	2573	2563	2598	1015	1024	101	96	370	367	464	595						
	h.12	5786	6732	4570	4756	1477	1526	320	314	522	623	637	700						
	h.15	2684	3344	3138	3282	1223	1555	162	152	378	480	499	547						
							Cielo sereno							Cielo coperto					

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	0.62	1.0	0.93	0.98	0.95	0.74		
	h.12	0.81	0.90	0.89	0.95	0.81	0.87		
	h.15	0.77	0.88	0.90	0.97	0.75	0.88		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

Scuola di Sestri Levante (AULA 1)

LISTELLI

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu							
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot						
Ore	h.9	1065	1595	1400	1449	647	605	65	61	203	186	349	289						
	h.12	4160	4819	3724	3950	963	940	230	224	466	435	608	504						
	h.15	1442	1751	1522	1568	745	701	120	114	335	311	458	380						
							Cielo sereno							Cielo coperto					

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	0.71	0.94	1.01	1.02	1.03	1.14		
	h.12	0.88	0.88	0.96	0.97	1.01	1.14		
	h.15	0.81	0.92	1.0	1.0	1.02	1.14		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

CASO BASE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu								
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot							
Ore	h.9	243	271	3271	4305	971	1359	69	76	211	232	441	493							
	h.12	1871	3061	3462	3845	1135	1394	245	285	511	562	660	644							
	h.15	433	585	2049	2408	839	1099	129	145	356	393	486	481							
							Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu				
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P				
Ore	h.9	0.84	0.64	0.67	0.83	0.84	0.83				
	h.12	0.63	0.84	0.72	0.79	0.84	0.94				
	h.15	0.71	0.74	0.71	0.82	0.83	0.93				
				Cielo sereno				Cielo coperto			

SCHERMATURE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu								
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot							
Ore	h.9	226	258	2987	3988	988	1428	66	76	207	233	374	379							
	h.12	1650	2708	3399	3791	1101	1360	200	242	424	424	430	627							
	h.15	411	581	2019	2386	897	1218	121	141	290	294	345	500							
							Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu				
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P				
Ore	h.9	0.81	0.63	0.65	0.81	0.82	0.91				
	h.12	0.62	0.83	0.71	0.77	0.92	0.64				
	h.15	0.68	0.73	0.68	0.80	0.90	0.64				
				Cielo sereno				Cielo coperto			

NO SOPRALUCE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu								
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot							
Ore	h.9	166	174	1664	2153	744	1009	51	57	193	221	301	330							
	h.12	1038	1484	2984	3312	962	1248	160	183	339	365	419	410							
	h.15	261	278	1301	1535	813	902	84	93	241	261	372	342							
							Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu				
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P				
Ore	h.9	0.87	0.64	0.66	0.79	0.77	0.81				
	h.12	0.71	0.79	0.68	0.77	0.82	0.91				
	h.15	0.83	0.71	0.83	0.79	0.81	0.99				
				Cielo sereno				Cielo coperto			

APERTURE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu								
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot							
Ore	h.9	153	172	2334	3239	1087	1215	76	69	197	239	313	387							
	h.12	1439	2508	3390	3742	959	1143	154	170	348	427	550	550							
	h.15	570	630	1459	1701	832	929	142	119	257	312	418	513							
							Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu				
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P				
Ore	h.9	0.83	0.65	0.89	1.07	0.76	0.75				
	h.12	0.54	0.87	0.74	0.84	0.76	0.92				
	h.15	0.91	0.81	0.87	1.17	0.76	0.76				
				Cielo sereno				Cielo coperto			

VETRI NUOVI

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu								
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot							
Ore	h.9	203	221	3703	4912	870	1152	67	71	237	260	373	368							
	h.12	1587	2519	3219	3407	1022	1190	217	234	453	451	402	549							
	h.15	403	522	1600	1868	841	1103	109	115	331	327	346	488							
							Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu				
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P				
Ore	h.9	0.85	0.63	0.72	0.88	0.84	0.93				
	h.12	0.64	0.90	0.78	0.86	0.93	0.67				
	h.15	0.74	0.78	0.71	0.88	0.93	0.65				
				Cielo sereno				Cielo coperto			

CASO BASE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu								
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot							
Ore	h.9	486	417	1602	1318	2594	2398	152	142	654	622	1082	1108							
	h.12	2534	2490	3577	3522	5103	4503	523	511	1179	1185	1445	1437							
	h.15	1756	2023	4331	4281	5893	5789	309	297	905	909	1226	1221							
							Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	1.15	1.2	1.15	1.06	1.05	0.97		
	h.12	1.03	1.01	1.1	1.02	0.99	1.0		
	h.15	0.87	1.02	1.02	1.04	0.99	1.0		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

SCHERMATURE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu								
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot							
Ore	h.9	508	429	2339	1926	3177	2908	179	152	651	572	1031	885							
	h.12	2346	2474	2532	2424	4976	4645	531	465	1161	1000	1458	1176							
	h.15	1696	1710	3416	3048	4436	3978	343	310	890	765	1376	1114							
							Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	1.17	1.21	1.13	1.18	1.14	1.16		
	h.12	0.95	1.05	1.07	1.14	1.16	1.24		
	h.15	1.02	1.14	1.12	1.10	1.16	1.24		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

APERTURE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu								
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot							
Ore	h.9	435	357	2030	1646	3619	2993	152	130	579	517	1011	884							
	h.12	1791	1557	3889	3396	4397	3974	486	433	1099	965	1380	1143							
	h.15	1090	1013	3913	3684	4752	4518	287	262	870	763	1178	1077							
							Cielo sereno							Cielo coperto						

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	1.21	1.22	1.20	1.16	1.12	1.14		
	h.12	1.14	1.14	1.10	1.12	1.14	1.20		
	h.15	1.02	1.08	1.05	1.10	1.14	1.09		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

SOPRALUCE AZZURRO

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu							
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot						
Ore	h.9	383	416	1644	1663	2057	2437	114	147	404	585	623	926						
	h.12	1602	2260	3164	3684	3391	4196	348	497	777	1096	936	1425						
	h.15	1169	1892	2837	4139	3299	4778	195	267	666	933	798	1109						
								Cielo sereno						Cielo coperto					

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	0.85	0.94	0.75	0.68	0.61	0.60		
	h.12	0.58	0.82	0.76	0.62	0.63	0.58		
	h.15	0.54	0.57	0.64	0.65	0.64	0.63		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

SOPRALUCE VERDE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu							
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot						
Ore	h.9	391	426	2032	1752	2030	2563	110	152	400	601	602	895						
	h.12	1941	2499	3154	3621	3361	4166	352	500	785	1091	906	1415						
	h.15	1699	2326	2851	4026	3269	4748	200	356	680	921	764	1100						
								Cielo sereno						Cielo coperto					

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	0.63	0.95	0.76	0.68	0.62	0.60		
	h.12	0.68	0.93	0.78	0.63	0.63	0.58		
	h.15	0.65	0.60	0.63	0.66	0.63	0.65		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

Scuola di Alba(AULA NORD)

VETRI AZZURRI

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu							
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot						
Ore	h.9	455	411	2312	2058	2551	2506	165	159	500	510	854	919						
	h.12	2199	2420	3510	3557	4607	4556	495	537	1080	1075	1437	1295						
	h.15	1622	2001	3306	3499	4375	4744	292	302	851	843	1185	1068						
								Cielo sereno						Cielo coperto					

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	1.08	1.10	1.05	1.03	0.97	0.92		
	h.12	0.91	0.98	1.0	0.91	0.99	1.10		
	h.15	0.81	0.93	0.91	0.95	0.99	1.10		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

VETRI VERDI

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu	
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot
Ore	h.9	483	415	1999	1776	2550	2500	170	159	430	498	849	923
	h.12	1892	2589	3835	3776	4600	4541	505	548	1091	1106	1426	1301
	h.15	1616	1997	3512	3521	4368	4726	296	310	853	846	1179	1056
		Cielo sereno						Cielo coperto					

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P
Ore	h.9	0.76	1.10	1.05	1.01	0.98	0.92
	h.12	0.66	1.10	1.0	0.93	1.0	1.10
	h.15	0.84	0.95	0.92	0.96	0.99	1.10
		Cielo sereno			Cielo coperto		

CASO BASE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu			
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot		
Ore	h.9	438	481	2139	2194	5184	5153	156	151	519	535	986	944		
	h.12	3119	3525	3650	3847	4435	4112	496	511	532	560	1264	1213		
	h.15	1191	1410	3085	3275	4814	4775	284	285	764	790	1079	1033		
								Cielo sereno				Cielo coperto			

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P
Ore	h.9	0.91	0.97	1.02	1.03	0.97	1.04
	h.12	0.89	0.94	1.08	0.97	0.95	1.04
	h.15	0.86	0.94	1.0	0.99	0.96	1.04
				Cielo sereno		Cielo coperto	

SCHERMATURE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu			
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot		
Ore	h.9	388	414	2159	2055	3666	3796	168	150	675	647	951	936		
	h.12	2455	2788	4191	4038	4674	4403	575	548	1035	1004	1548	1324		
	h.15	1380	1494	4166	4036	5160	4826	380	316	790	763	1182	1009		
								Cielo sereno				Cielo coperto			

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P
Ore	h.9	0.94	1.06	0.97	1.12	1.04	1.02
	h.12	0.88	1.04	1.06	1.05	1.03	1.17
	h.15	0.94	1.03	1.07	1.08	1.03	1.17
				Cielo sereno		Cielo coperto	

APERTURE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu			
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot		
Ore	h.9	419	398	1918	1760	5241	5226	194	178	547	526	766	747		
	h.12	1866	1971	4173	3900	5153	4834	603	581	996	971	1172	1147		
	h.15	1004	1044	3450	3223	4543	4265	291	273	790	768	974	951		
								Cielo sereno				Cielo coperto			

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P
Ore	h.9	1.06	1.09	1.01	1.09	1.04	1.03
	h.12	0.97	1.07	1.06	1.04	1.02	1.02
	h.15	1.02	1.07	1.06	1.06	1.03	1.02
				Cielo sereno		Cielo coperto	

SOPRALUCE AZZURRO

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu				
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot			
Ore	h.9	484	493	2475	2126	6372	5559	211	180	641	617	1155	1108			
	h.12	3237	3664	4386	3783	6119	5680	585	551	1136	1124	1501	1510			
	h.15	1639	1731	3859	3426	5513	5166	323	297	1025	1007	1147	1146			
							Cielo sereno						Cielo coperto			

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	0.99	1.12	1.09	1.17	1.04	1.04		
	h.12	0.90	1.15	1.1	1.06	1.01	1.0		
	h.15	0.99	1.13	1.09	1.09	1.02	1.0		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

SOPRALUCE VERDE

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu				
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot			
Ore	h.9	364	461	1370	1669	4220	5079	132	151	564	625	765	873			
	h.12	3011	3574	3068	3717	3985	4856	488	582	806	905	1571	1795			
	h.15	1106	1470	2575	3062	3649	4432	256	298	645	729	1031	1173			
							Cielo sereno						Cielo coperto			

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	0.77	0.80	0.79	0.85	0.88	0.86		
	h.12	0.82	0.80	0.78	0.82	0.87	0.84		
	h.15	0.73	0.81	0.79	0.84	0.86	0.86		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

VETRI AZZURRI

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu				
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot			
Ore	h.9	520	544	2542	2238	6079	5541	198	170	720	675	1019	989			
	h.12	3642	3827	4743	4082	5721	4790	547	521	1116	1087	1504	1459			
	h.15	1811	1916	4000	3522	4937	4182	347	320	852	824	1332	1301			
							Cielo sereno						Cielo coperto			

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu		
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P		
Ore	h.9	0.97	1.14	1.13	1.17	1.07	1.03		
	h.12	0.99	1.17	1.20	1.05	1.03	1.03		
	h.15	0.98	1.14	1.18	1.09	1.04	1.03		
				Cielo sereno			Cielo coperto		

VETRI VERDI

		21 dic		20 mar		21 giu		21 dic		20 mar		21 giu	
		Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot	Mel	Fot
Ore	h.9	435	495	2141	2241	5549	5950	148	143	619	673	952	992
	h.12	3253	3648	4053	4336	4937	5207	556	576	1006	1038	1230	1308
	h.15	1342	1519	3276	3512	4945	5235	303	305	820	859	1082	1106
		Cielo sereno						Cielo coperto					

		21 dic	20 mar	21 giu	21 dic	20 mar	21 giu	
		M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	M/P	
Ore	h.9	0.88	0.95	0.92	1.02	0.91	0.96	
	h.12	0.90	0.93	0.95	0.96	0.95	0.93	
	h.15	0.90	0.93	0.94	0.99	0.95	0.96	
		Cielo sereno			Cielo coperto			