

POLITECNICO DI MILANO

Corso di Laurea in Architettura

Scuola di Architettura e Società

Facoltà: Progettazione Architettonica



**ANALISI PRESTAZIONALI DI UN COMPONENTE LSC
INTEGRATO NELL'AMBITO EDILIZIO**

Relatore: Arch. Niccolò ASTE

Correlatori: Arch. Lavinia Chiara TAGLIABUE

Ing. Pietro PALLADINO

Elaborato di:

Ludovico MAESTRI Matr. 770988

Anno Accademico 2012-2013

INDICE

PREFAZIONE	1
CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE	4
1.1 – Il problema dell’energia e la tecnologia LSC	4
1.2 – Principi di funzionamento e descrizione del pannello LSC	10
1.2.1 – TIR – Riflessione Interna Totale	10
1.2.2 – I coloranti	12
CAPITOLO 2 – IL CONCENTRATORE SOLARE DI ENI	13
2.1 - Realizzazione del prototipo 50x50	13
2.1.1 – Il PMMA	14
2.1.2 – Fasi di assemblaggio	16
CAPITOLO 3 – IL MODULO ENI	19
3.1 – Realizzazione del modulo ENI	19
3.2 – Monitoraggio modulo LSC ENI	24
3.2.1 – Localizzazione Test Facility	24
3.2.2 – Dati climatici e ambientali	25
3.2.3 – Campagna di monitoraggio del modulo sperimentale LSC	28
3.3 – Confronto delle prestazioni elettriche del modulo ENI con pannelli fotovoltaici tradizionali	30
CAPITOLO 4 – LA PENSILINA FOTOVOLTAICA LSC	35
4.1 – Inquadramento	35
4.1.1 – Dato climatici e ambientali	35
4.1.2 – Dati relativi alla radiazione solare	37
4.2 – Realizzazione della pensilina fotovoltaica LSC	38
4.2.1 – Struttura portante della pensilina	38
4.2.2 – Assemblaggio delle pensilina	40
4.2.3 – I moduli LSC – composizione e dimensionamento dell’impianto	41
4.2.4 – Stima della produttività elettrica dell’impianto	44
4.2.5 – Stima della produttività elettrica dell’impianto	46

CAPITOLO 5 – COLORE E LUCE IN ARCHITETTURA	47
5.1 – Il colore in architettura	47
5.2 – La luce in architettura	65
CAPITOLO 6 – IPOTESI D’INTEGRAZIONE DEL PANNELLO LSC	70
6.1 – Campi d’applicazioni ipotizzati	70
6.1.1 – Livello morfologico	70
6.1.2 – Livello percettivo	77
6.2 – Tipologie dei componenti edilizi	82
6.3 – Spazio abitativo e colore della luce	97
6.3.1 – Luoghi dove il colore della luce è ininfluente	98
6.3.2 – Sovrapposizione di schermature	104
CAPITOLO 7 – CLASSIFICAZIONE DEL PANNELLO LSC RISPETTO AL QUINTO CONTO ENERGIA	109
7.1 – Inquadramento del Quinto Conto Energia	109
7.1.1 – Impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative	110
CAPITOLO 8 – OTTIMIZZAZIONE DEL PANNELLO LSC	111
8.1 – Normative e Decreti di riferimento	111
8.1.1 – D.g.r. 22 dicembre 2008 – n. 8/8745	111
8.1.2 – DM 26/6/2009	112
8.1.3 – D.P.R. 26 Agosto 1993, n.412	113
8.1.4 – UNI EN 13501-1:2009 – Reazione al fuoco dei materiali	115
8.1.5 – UNI EN 14351-1:2006 – Finestre e porte pedonali	117
8.2 – Progettazione del nuovo componente LSC	118
8.2.1 – Prestazioni isolamento termico	120
8.2.2 – Caratteristiche di reazione al fuoco	121
8.2.3 – Prestazioni illuminotecniche	121
8.2.4 – Caratterizzazione del nuovo componente LSC	126
CAPITOLO 9 – CARATTERIZZAZIONE DI UN AMBIENTE CHE INTEGRA LA TECNOLOGIA LSC	127
9.1 – Caratterizzazione dell’ambiente lavorativo: UFFICIO	127
9.1.1 – D.Lgs. del 09/04/2008, n.81 al titolo II e all’allegato IV	127
9.1.2 – Dimensioni modello di studio	128

9.2 – Analisi componenti opachi	130
9.2.1 – Elementi di chiusura verticali opachi – Muri perimetrali	130
9.2.2 – Elementi di chiusura orizzontali opachi – Pavimentazione	131
9.2.3 – Elementi di chiusura orizzontali opachi – Soffitto	132
9.3 – Prima campagna di rilevamenti	133
9.3.1 – Il modello di Tregenza	133
9.3.2 – Acquisizione dati prime simulazioni	135
CAPITOLO 10 – CONTROLLO DELLA LUCE NATURALE	137
10.1 – Sistemi di schermatura	139
10.2 – Sistemi di illuminazione diurna LIGHTSHELF	145
CAPITOLO 11 – ANALISI E RISULTATI DELLE PROVE EFFETTUATE SUL MODELLO DI STUDIO	148
11.1 – modello fisico dell’ufficio con lightshelf	148
11.2 – Simulazioni con il modello	149
11.2.1 – Misurazione dei parametri sul modello fisico senza l’elemento schermante lightshelf	150
11.2.2 – Misurazione dei parametri sul modello fisico con l’elemento schermante lightshelf	152
11.2.3 – Confronto dei parametri misurati sul modello con sopraluce LSC con e senza lightshelf	154
CAPITOLO 12 – RILEVAZIONI DELLE PRESTAZIONI TECNICHE ED ILLUMINOTECNICHE	156
12.1 – Dimensionamento impianto illuminante tramite software DIALux	164
12.2 – Calcolo fabbisogni energetici tramite il software BESTEnergy	171
12.2.1 – Riassunto principali inseriti nel software	179
12.2.2 – Analisi dei dati ottenuti	180
12.2.3 – Calcolo dell’energia primaria	184
12.3 – Modellazione con il software Ecotect	188
12.4 – Valutazione della distribuzione d’illuminamento e del Daylight Factor con il software Radiance	189
12.4.1 – Calcolo del Daylight Factor	191
12.4.2 – Calcolo dell’illuminamento in condizioni di cielo coperto	195
12.4.3 – Calcolo dell’illuminamento in condizioni di cielo sereno	199
12.4.4 – Considerazioni	203

12.4 – Valutazione degli indici di abbagliamento con il software Evalglare	204
12.5 – Considerazioni sui risultati ottenuti dalle simulazioni	209
12.5.1 – Introduzione di una schermatura solare mobile	210
CAPITOLO 13 – IL PROGETTO DELLA FINESTRA INTELLIGENTE, LA SMART WINDOW	212
CONCLUSIONI	218
ALLEGATI	220
INDICE DELLE FIGURE	230
INDICE DEI RIFERIMENTI	237
INDICE DEI GRAFICI	239
INDICE DELLE TABELLE	240
BIBLIOGRAFIA	243

PREFAZIONE

L'istituto di Ricerca ENI Donegani ha avviato una ricerca per la realizzazione e caratterizzazione di un componente fotovoltaico LSC¹ al fine di valutarne la reale efficienza e i possibili campi d'applicazione. ENI ha commissionato al Politecnico di Milano, Dipartimento ABC, uno studio per la caratterizzazione elettrica ed illuminotecnica del componente LSC, la valutazione dei possibili campi d'integrazione architettonica ed infine il progetto del primo sito dimostrativo con pensilina fotovoltaica LSC sita a Roma nel parcheggio degli uffici ENI.

In questo panorama si inserisce questa tesi di ricerca che vuole fornire le prime indicazioni prestazionali ed illustrare i possibili campi d'integrazione architettonica del componente LSC. La ricerca può essere suddivisa in diverse parti, correlate tra di loro, che hanno portato alla progettazione di una "finestra intelligente" (smart window) in grado di adattarsi alle condizioni esterne creando un ambiente interno idoneo per il corretto svolgimento delle funzioni da parte delle utenze.

La ricerca è così suddivisa:

- 1) Analisi delle prestazioni elettriche ed illuminotecniche del componente LSC e realizzazione della pensilina fotovoltaica;
- 2) Analisi e studio dei campi d'integrazione architettonica e ottimizzazione del componente LSC per ottenere una totale integrazione con l'involucro edilizio;
- 3) Simulazioni e analisi, tramite modello in scala e utilizzo di software, di un ambiente lavorativo che integra la componente LSC;
- 4) Progettazione di una finestra intelligente al fine di ottenere un totale controllo della radiazione solare e un miglioramento delle condizioni visive interne all'ambiente.

Come punto di partenza (Capitolo 1), è stata effettuata una panoramica dell'attuale situazione energetica e sugli obiettivi che gli stati Europei, aderenti al "Piano d'azione per l'efficienza energetica", si sono posti di raggiungere entro il 2020 al fine di realizzare edifici a energia "quasi zero".

Compreso l'attuale panorama energetico, nei capitoli 2 e 3 è stato descritto ed analizzato il componente LSC realizzato da ENI al fine di ottimizzarlo per realizzare il primo modulo fotovoltaico LSC (modulo composto da sei lastre LSC delle dimensioni di 50x50 cm) e comprenderne le prestazioni. Quest'analisi ha portato, come descritto nel capitolo 4, alla progettazione e alla realizzazione della prima pensilina dimostrativa fotovoltaica LSC, posizionata nel parcheggio degli uffici ENI a Roma.

Questa tecnologia, però, trova il suo massimo nell'integrazione nell'involucro edilizio proprio per la sua caratteristica di trasparenza. È stata quindi condotta, nei capitoli 5 e 6,

¹ Luminescent Solar Concentrator (Concentratore Solare Luminescente)

un'accurata ricerca per capire i luoghi e le configurazioni in cui poter integrare questo componente, analizzando materiali e sistemi di fissaggio di pannelli colorati integrati nelle architetture contemporanee. Nel capitolo 7, è stato inoltre analizzato il "Quinto Conto Energia" al fine di verificare in quale tipologia tecnologica potesse rientrare il pannello LSC per beneficiare delle tariffe incentivanti.

A causa della natura plastica del componente, è stato necessario ottimizzarlo al fine di rispettare le indicazioni fornite dalle normative italiane per quanto riguarda le caratteristiche termiche, di impermeabilizzazione all'acqua/aria e di reazione al fuoco.

Il componente è stato quindi ottimizzato (Capitolo 8) per rispettare tutti i limiti imposti e creare un elemento in grado di sostituire totalmente o parzialmente, a seconda delle esigenze, le componenti trasparenti dell'involucro edilizio.

Caratterizzato il componente, nel capitolo 9 è stato ipotizzato un campo d'integrazione architettonica al fine di verificare le prestazioni illuminotecniche del pannello LSC all'interno di un ambiente. Per le sue proprietà ottico-illuminanti, il campo d'applicazione più idoneo è risultato un ambiente lavorativo. Il modulo LSC è stato posizionato in una porzione della sistema finestra, nello specifico nel sopralucente, riuscendo così a mixare la luce bianca che attraversa la finestra con la luce gialla proveniente dal componente. Questa scelta è stata effettuata in quanto, un sistema finestra totalmente giallo, avrebbe portato a disturbi visivi alle utenze con elevata permanenza nell'ambiente. Per valutare i livelli di illuminamento e la temperatura di colore all'interno dell'ambiente con la configurazione ipotizzata (finestra + sopralucente LSC), è stato utilizzato un modello di studio in scala e sono state effettuate le misurazioni in ambiente reale tramite uno spettrometro. I primi risultati hanno fatto emergere un problema non trascurabile: in presenza di luce diretta che attraversa il pannello LSC, questo proietta nell'ambiente una macchia di colore giallo che causa disturbi visivi alle utenze. Per risolvere questo problema, sono stati analizzati, nel capitolo 10, vari sistemi di schermatura optando per un sistema lightshelf fisso interno/esterno.

Infine, per verificare l'efficacia del sistema schermante e analizzare i consumi elettrici, termici, i livelli di illuminamento e abbagliamento all'interno dell'ambiente, nei capitoli 11 e 12, sono state effettuate delle prove sia con il modello di studio in scala (tramite rilevazioni con spettrometro) sia con simulazioni con diversi software (DIALux, BESTEnergy, Ecotect, Radiance, Evalglare).

I risultati ottenuti hanno fatto emergere l'efficacia del lightshelf che riesce a schermare la macchia di luce gialla ridirezionando la luce verso il soffitto il quale la riflette nell'ambiente. Questo sistema comporta tuttavia un leggero aumento dei consumi e una diminuzione poco significativa dei valori di abbagliamento derivanti dalla finestra trasparente. È stato necessario introdurre quindi un secondo sistema di schermatura a lamelle orizzontali mobili orientabili che, grazie ad un sensore di luce interne, riescono ad adattarsi garantendo sempre i giusti livelli di illuminamento e abbagliamento derivanti dalla porzione di finestra trasparente.

Nell'ultimo capitolo (Capitolo 13), viene illustrato il prodotto finale elaborato, una "Smart Window" (finestra intelligente), ideata e progettata in seguito a tutte le analisi e simulazioni effettuate, al fine di creare un ambiente idoneo per il corretto svolgimento delle funzioni da parte delle utenze.

Questa finestra è in grado di modificare la penetrazione della luce in base alle condizioni esterne/interne e contemporaneamente, grazie alla tecnologia LSC posizionata nel sopraluce, riesce a modificare la temperatura di colore a livelli più idonei per l'impiego svolto e, cosa molto importante, a produrre energia elettrica per soddisfare, in parte, le esigenze elettriche dei vari sistemi che compongono l'edificio.

I vantaggi che si possono ottenere con questo sistema sono molteplici:

- Produzione di energia elettrica;
- Risparmio energetico;
- Efficiente gestione del clima e dell'illuminazione interno che porta ad un notevole miglioramento del confort dell'ambiente interno;
- Controllo automatico delle ottimali condizioni illuminotecniche dell'ambiente.

CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE

1.1 - Il problema dell'energia e la tecnologia LSC

Il primo rapporto della Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo (WCED) del 1987, *“Il nostro futuro”* e il summit del 1992 tenuto a Rio de Janeiro, dove è stato approvato il documento *“Agenda 21”* (Agenda per il ventunesimo secolo), hanno ufficializzato il termine di *Sviluppo Sostenibile*.

L'Agenda 21 è il documento ufficiale approvato da tutti i paesi del mondo e, dalla sua approvazione, la *“Commissione delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile”* effettua un monitoraggio annuale per verificare la sua attuazione nei paesi sottoscrittori.

Questo documento, inoltre, ci fornisce la definizione di sostenibilità: *“Lo sviluppo che soddisfa i bisogni delle generazioni esistenti senza compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare i propri”*.

Herman E. Daly, economista presso la Banca Mondiale, nel 1991 ha ricondotto lo sviluppo sostenibile a tre condizioni generali concernenti l'uso delle risorse naturali da parte dell'uomo:

- Il tasso di utilizzo delle risorse non deve superare il loro tasso di rigenerazione;
- L'immissione di sostanze inquinanti e di scorie nell'ambiente, non deve superare la capacità di carico dell'ambiente stesso;
- Lo stock di risorse non rinnovabili deve restare costante nel tempo.

Il rapporto emesso nel 1998 da *“State of the World”* sosteneva che avviare il mondo su un percorso di sviluppo sostenibile non sarebbe stato facile dato il degrado e la confusione economica che prevalevano in quegli anni. Inoltre, aggiungeva che solo quando la volontà degli uomini di assicurare un futuro sostenibile diverrà concreta, sarà possibile evitare il continuo deterioramento del sistema naturale.

Lo sfruttamento dell'energia solare svolge un ruolo chiave nello sviluppo sostenibile e dell'efficienza energetica degli edifici. Da questa energia derivano più o meno quasi tutte le altre fonti energetiche disponibili all'uomo e può essere utilizzata direttamente a scopi energetici per produrre energia elettrica con varie tipologie di impianto:

- Il pannello fotovoltaico;
- Il pannello fotovoltaico a concentrazione solare.

Il *“Libro verde sull'efficienza energetica”* della Commissione Europea del 2005 e il successivo *“Piano d'azione per l'efficienza energetica”* del 2006, individuano le azioni primarie da eseguire per il raggiungimento di un risparmio del 20% dei consumi di energia, pari a 780 milioni di tonnellate di CO₂, entro il 2020 e un obiettivo minimo obbligatorio del 10% che tutti gli Stati membri dovranno raggiungere. Uno dei parametri in rilievo del Libro verde è lo spostamento verso il concetto di efficienza energetica e uso sostenibile delle

risorse che fa riferimento al concetto di “fare di più con meno”, ovvero, alla possibilità di produrre di più consumando di meno. Con questo parametro, sono state introdotti nuovi termini come negawatt² e negajoule³ che mettono in risalto come l’introduzione di nuove tecnologie per l’efficienza energetica che producono una riduzione del consumo energetico, possano essere considerate come una sorgente di produzione di energia.

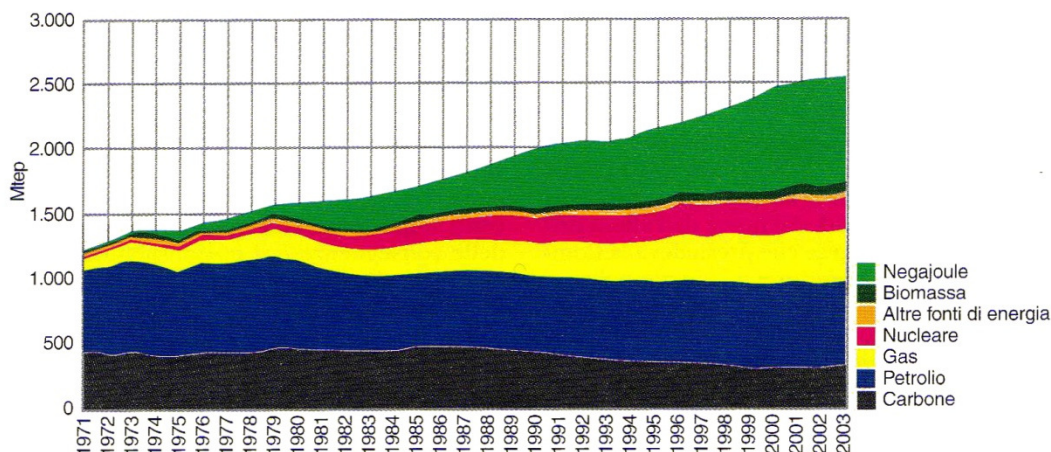


Grafico 1 - Evoluzione della domanda di energia primaria e di negajoule.

Da studi più approfonditi, emerge un dato molto interessante sui consumi energetici nel settore civile (edifici residenziali e commerciali): questo settore consuma da solo circa il 27% dell’intero consumo di energia e, considerando i consumi indiretti (trasporto materiali ed energia necessaria per produrli, consumi energetici per la cantierizzazione e realizzazione, etc.), il consumo supera il 40% degli usi finali di energia a livelli UE. Inoltre, la Comunità Europea evidenzia che gli edifici e i trasporti, possono essere i settori trainanti per raggiungere l’obiettivo del 20% di risparmio. Oltre a questi settori, va evidenziato quello connesso alle perdite di trasformazione e distribuzione per un totale di circa il 29% dell’energia totale utilizzata. Questo aspetto ha comportato un notevole interesse verso forme di produzione e distribuzione dell’energia strategicamente posizionata nel territorio, quindi, sviluppare una maggior efficienza nella generazione di energia attraverso la cogenerazione, la generazione distribuita e l’utilizzo delle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER).

² Negawatt = Unità di misura che quantifica la potenza risparmiata in un processo grazie ad una tecnologia o ad un comportamento (corrisponde "in negativo" al watt). Il concetto di negawatt è dovuto ad Armory Loveli, fondatore del Rocky Mountain Institute, il quale immaginò una nuova tipologia di mercato che riducesse lo scarto fra il costo di produzione e quello sostenuto per risparmiare una certa quantità d’energia.

³ Negajoule = Mancato consumo di energia grazie all’utilizzo di energie alternative.

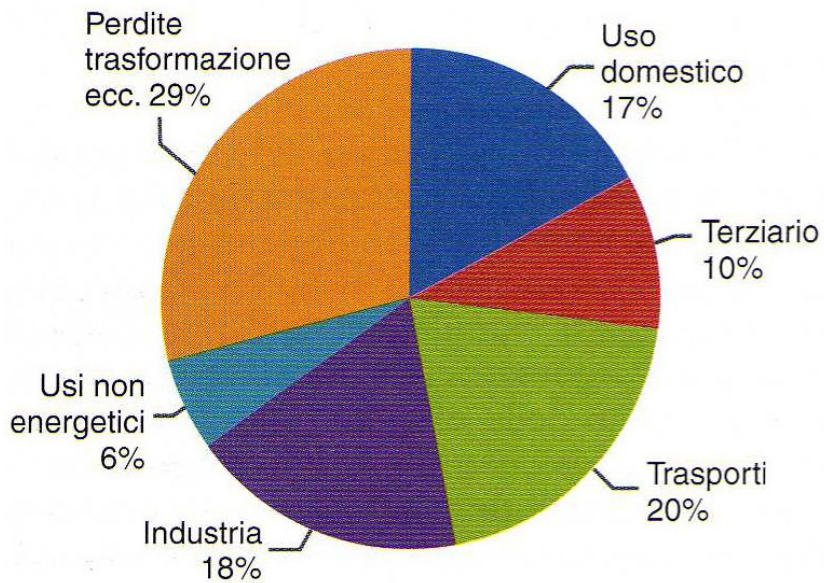


Grafico 2 - Consumo lordo di energia nei paesi UE. (fonte Comunità Europea).

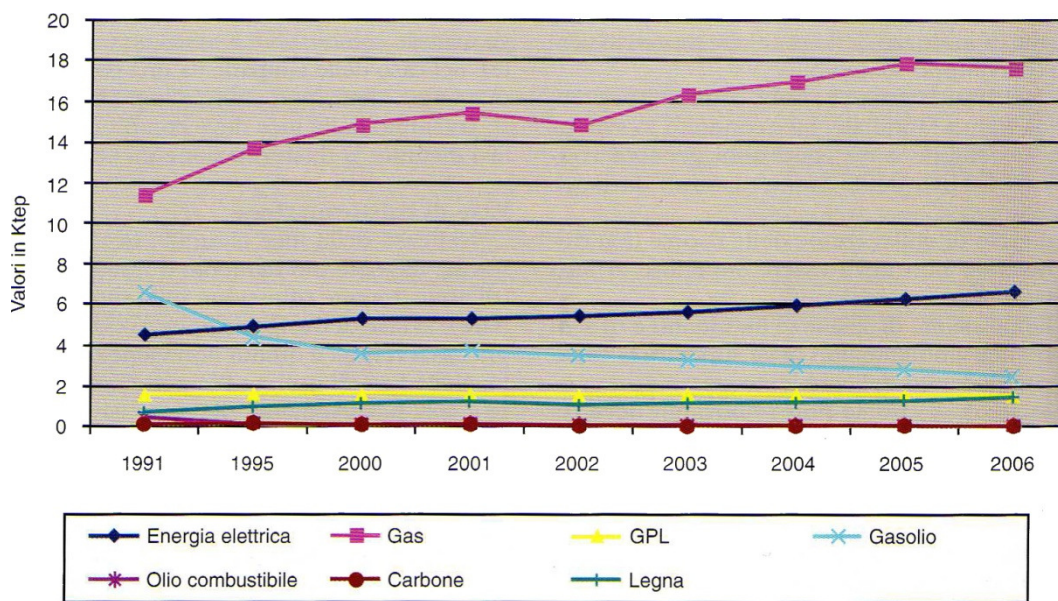


Grafico 3 - consumi finali di energia nel settore residenziale. (fonte MSE-ENEA)

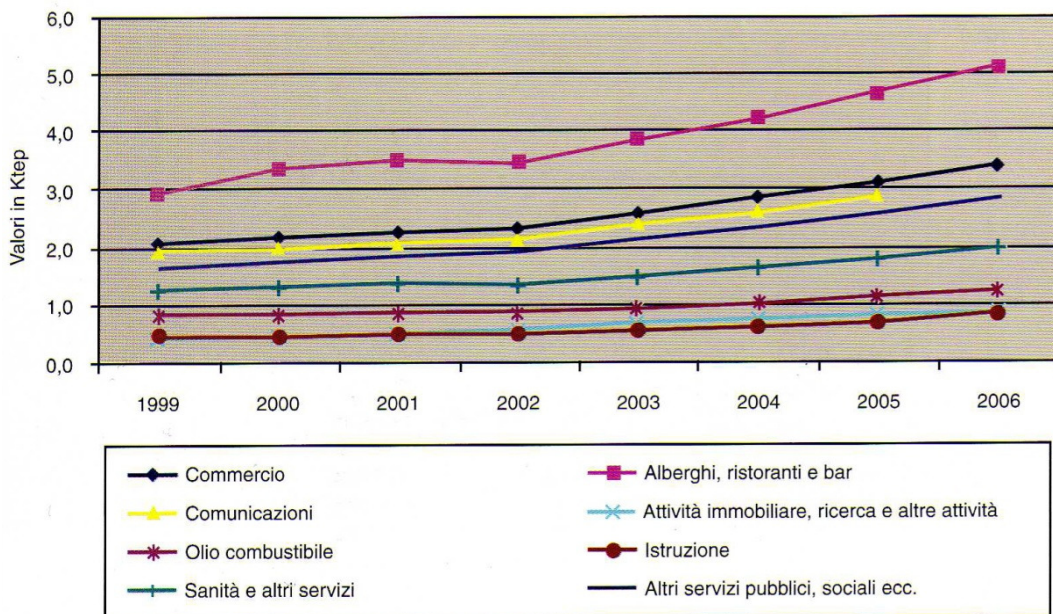


Grafico 4 - Consumi di energia elettrica nel settore non residenziale (fonte TERNA, elaborazione ENEA)

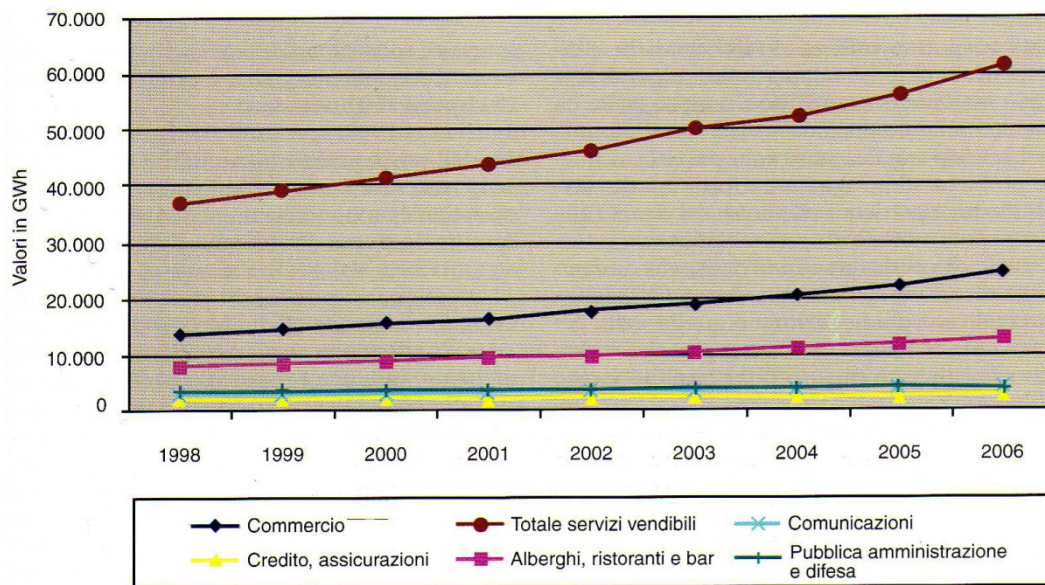


Grafico 5 - Usi finali di energia nel settore non residenziale (Elaborazione ENEA)

In base a queste direttive, per raggiungere gli obiettivi sanciti, le varie tecnologie di pannelli fotovoltaici sono sistemi privilegiati da utilizzare per realizzare edifici a energia “quasi zero”.

L'uso e la tecnologia dei moduli fotovoltaici standard sono in continua crescita al fine di realizzare una totale integrazione architettonica, ma questa tecnologia comporta alcune limitazioni:

- I componenti necessitano di un'elevata radiazione diretta per raggiungere la miglior efficienza;
- I componenti più efficienti sono moduli opachi e non consentono il passaggio della luce negli ambienti interni.

Negli ultimi tempi, in questo panorama, si inserisce una tecnologia già nota da tempo, utilizzabile quando la trasparenza e un uso della radiazione solare diffusa sono necessari. Questa tecnologia, i “Concentratori solari luminescenti” (LSC), è nata alla fine degli anni '60, tuttavia, l'inadeguatezza delle celle fotovoltaiche, delle caratteristiche ottiche dei coloranti utilizzati e la loro scarsa stabilità nel tempo, aveva scoraggiato la ricerca in questo settore. Recentemente, con l'evoluzione delle celle fotovoltaiche e la scoperta di nuovi coloranti e materiali, l'attività di ricerca è stata ripresa con rinnovato interesse.

Quando si parla di concentrazione della radiazione solare si è generalmente indotti a pensare a sistemi di specchi parabolici o lenti che focalizzano la luce sulle celle fotovoltaiche. Questo approccio, sebbene preferibile per generare elevate potenze, ha alcuni inconvenienti come la necessità di introdurre sistemi di inseguimento del moto apparente del sole e di raffreddamento delle celle che altrimenti raggiungerebbero temperature troppo elevate.

Un sistema alternativo di concentrazione della radiazione solare è rappresentato dai concentratori solari luminescenti (LSC).

Gli LSC sono costituiti da lastre di materiale trasparente, plastico o vetroso, all'interno del quale sono dispersi coloranti fluorescenti. I coloranti assorbono una parte della luce solare e la emettono all'interno della lastra. La radiazione emessa, sfruttando il fenomeno della “Riflessione Interna Totale” (TIR)⁴ utilizzato nelle fibre ottiche, giunge verso i sottili bordi della lastra dove viene concentrata su celle solari convenzionali di piccola superficie che la trasformano in energia elettrica. Poiché la superficie di raccolta della luce è grande e quella laterale dei bordi è piccola, si ottiene un effetto di concentrazione luminosa ai bordi.

⁴ La riflessione è il fenomeno, governato dalla legge della riflessione, per cui un'onda elettromagnetica che colpisce una superficie di separazione tra due mezzi, in parte prosegue il suo percorso deviandolo al di là della superficie, mentre in parte torna nella direzione da cui proveniva. In particolare, secondo la nota legge, detto θ_i l'angolo di incidenza del raggio luminoso e detto θ_r l'angolo formato dal raggio riflesso con la normale alla superficie, si ha che $\theta_i = \theta_r$. Se invece si chiama θ_t l'angolo formato dal raggio rifratto con la normale alla superficie, secondo la legge di Snell si ha che $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$, detti n_1 e n_2 gli indici di rifrazione dei mezzi. La riflessione totale avviene se l'angolo θ_t raggiunge l'ampiezza di $\pi/2$, cioè se non esiste più onda rifratta. Questo fenomeno può avvenire nel passaggio da un mezzo più denso a uno meno denso (ovvero, $n_1 > n_2$) e l'angolo θ_i tale per cui non esiste onda rifratta è detto angolo critico.

La capacità di generare energia elettrica di questi dispositivi è intimamente legata alle caratteristiche dei coloranti fluorescenti utilizzati.

Un'importante caratteristica di questi concentratori è che, a differenza delle convenzionali celle fotovoltaiche, catturano egualmente bene la luce diretta e la luce diffusa. Questo li rende meno sensibili all'orientamento e possono, per esempio, essere installate tanto in posizione orizzontale che verticale o inclinata. Inoltre, per la stessa ragione, sono efficienti anche in condizioni di illuminazione scarsa, come quando il sole è basso sull'orizzonte (all'alba o al tramonto), o quando il cielo è nuvoloso.

La radiazione emessa dai coloranti e concentrata sulle celle è tale da migliorare l'efficienza di queste ultime rispetto al caso in cui fossero direttamente irradiate dalla luce solare. Inoltre la componente infrarossa della radiazione solare non viene concentrata e le celle non vengono surriscaldate, cosa che ne comprometterebbe durata ed efficienza.

Tutte queste caratteristiche rendono gli LSC ideali per l'integrazione in edifici (Building Integrated PhotoVoltaics o BIPV), per esempio attraverso la realizzazione di finestre o lucernari fotovoltaici, involucri edilizi, serre, pensiline, barriere antirumore e in tutti i casi in cui è richiesta la contemporanea illuminazione degli ambienti e la generazione di energia elettrica.

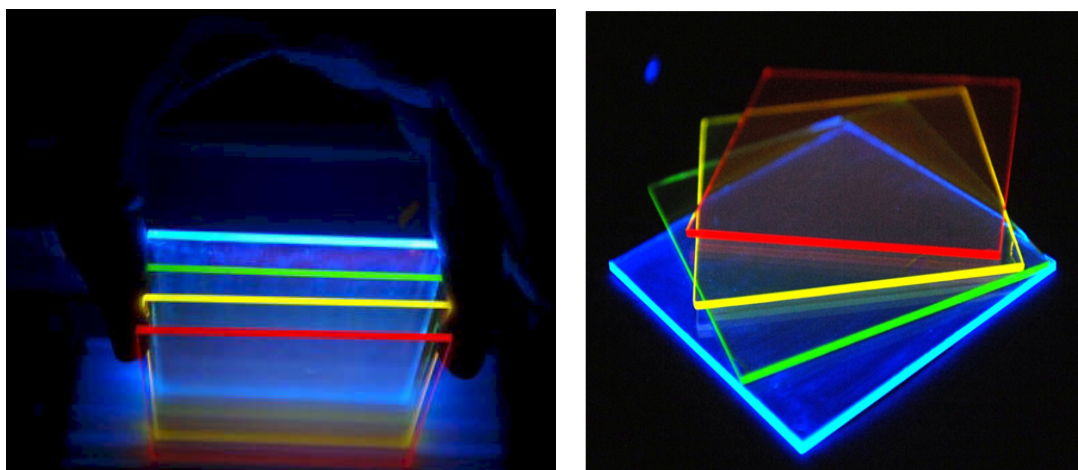


Figura 1 – Riflessione Interna Totale osservabile in lastre in materia plastica

Presso il “Centro Ricerche per le Energie Non Convenzionali – Istituto ENI Donegani” sono stati sviluppati e brevettati numerosi coloranti fluorescenti che, agendo come convertitori di spettro, risultano particolarmente adatti agli LSC. Essi sono infatti caratterizzati da un elevato rendimento di fluorescenza e, al tempo stesso, da una ridotta sovrapposizione tra le regioni spettrali di assorbimento (per esempio nell'UV-blu) e di emissione (per esempio nel giallo-arancio) della radiazione.

Questa caratteristica è fondamentale perché limita il fenomeno di autoassorbimento, ovvero il riassorbimento della radiazione emessa da parte del colorante medesimo. Se il riassorbimento non viene adeguatamente controllato, la radiazione emessa all'interno della

lastra non può arrivare ai bordi e illuminare le celle. Con questi coloranti sono stati realizzati diversi prototipi di LSC e avviata la progettazione e la realizzazione di impianti dimostrativi. Questa tecnologia può essere una valida alternativa ai moduli fotovoltaici tradizionali andando ad inserire in una progettazione che non coinvolge solamente l'aspetto di integrazione e di produzione di energia, ma anche uno studio più approfondito sulla composizione delle facciate degli edifici e della loro illuminazione interna. Grazie proprio alle sue caratteristiche ottiche (trasparenza e colore), è possibile andare a modificare la luce che penetra all'interno degli edifici migliorando l'effetto visivo e creando ambienti più confortevoli. Inoltre, può essere installato in porzioni dell'edificio o in ambienti all'interno della città, dove un modulo tradizionale risulterebbe poco efficace, in questo modo, la tecnologia LSC, riesce utilizzare superfici solitamente non sfruttate dai moduli tradizionali.

1.2- Principi di funzionamento e descrizione del pannello LSC

1.2.1 - TIR – Riflessione Interna Totale

La trasmissione della luce attraverso i pannelli LSC è quindi basata sul fenomeno della “Riflessione totale interna” (TIR) che si presenta quando la luce incide obliquamente sull'interfaccia tra due mezzi con diverso indice di rifrazione, con un angolo minore dell'angolo critico.

Un raggio luminoso che incide su una superficie di interfaccia tra due mezzi di indici diversi ($n_1 > n_2$) viene in parte riflesso e in parte rifratto (trasmesso), secondo la nota legge di Snell (o legge dei seni):

$$n_1 \cdot \sin\alpha = n_2 \cdot \sin\beta$$

dove α è l'angolo di incidenza del raggio rispetto la normale alla superficie di incidenza e β è l'angolo che il raggio rifratto forma con la stessa normale nel secondo mezzo.

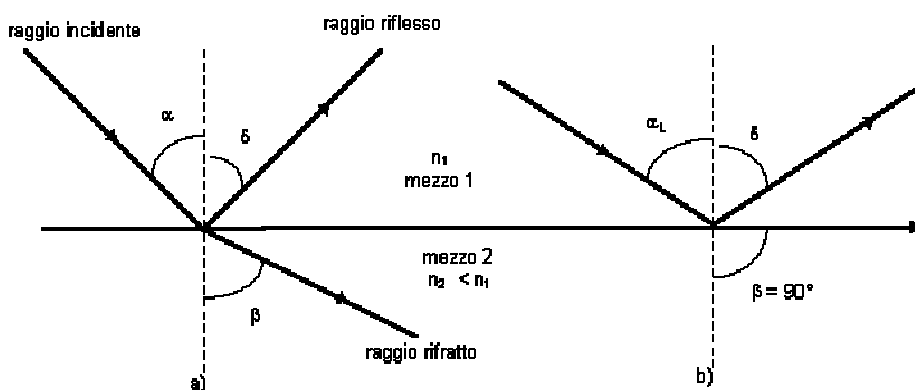


Figura 2 - Riflessione e rifrazione di raggi

Poiché $n_2 < n_1$, β tende ad aumentare al crescere di α sino a quando si arriva alla condizione per cui si ha $\beta = \pi/2$, ovvero assenza di raggio rifratto. In quest'ultima situazione si è in presenza del fenomeno di riflessione totale, in cui l'angolo di incidenza oltre il quale si ha assenza di rifrazione è $\alpha_L = \arcsin(n_2/n_1)$, generalmente indicato come angolo critico o limite.

Grazie a questo fenomeno, gli LSC mostrano un miglior rendimento rispetto ai moduli fotovoltaici tradizionali.

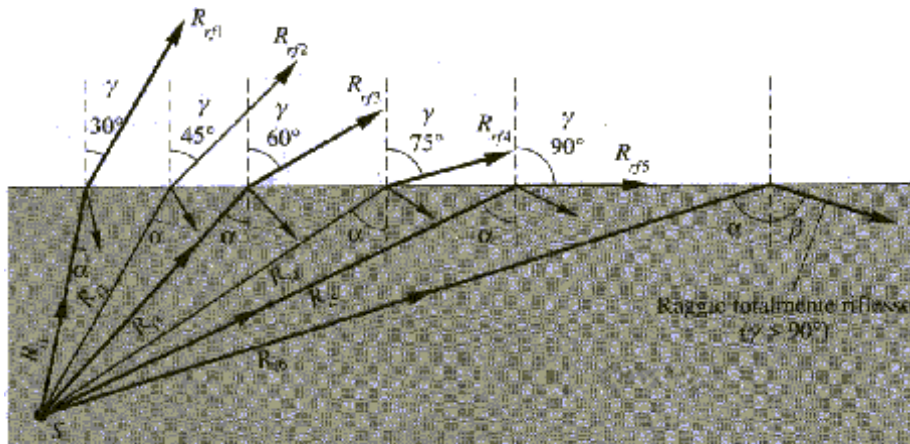


Figura 3 - Esempi del fenomeno di riflessione e rifrazione per diversi raggi di incidenza provenienti da una sorgente S.

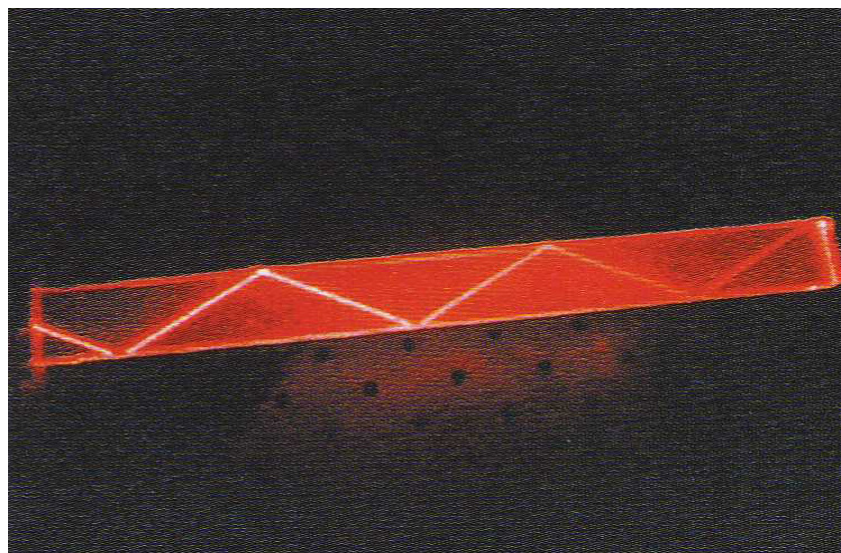


Figura 4 - Fenomeno della Riflessione Interna Totale interno ad una lastra in PMMA

1.2.2 – I coloranti

Le molecole fluorescenti, le quali vengono disperse nella lastra, agiscono come convertitori di spettro: assorbono ed emettono fotoni con frequenze diverse.

I fotoni emessi da una molecola del colore diffuso nella piastra, non vengono assorbiti se incontrano un'altra molecola dello stesso colorante. In questo modo, la luce emessa può essere concentrata ai bordi, grazie alla riflessione interna totale, dove vengono incollate le celle fotovoltaiche. Le caratteristiche del pannello LSC permettono un miglior sfruttamento delle celle fotovoltaiche mediante lo spostamento (shifting) dello spettro.

Nel caso del colorante sviluppato da ENI per il prototipo studiato, circa il 25% di tutta la radiazione solare che raggiunge la superficie di apertura (cioè la superficie anteriore) degli LSC viene assorbita, e il restante 75% lo attraversa. Quindi, una parte della radiazione solare assorbita colpisce le celle ai bordi, con una variazione dello spettro e del contenuto energetico.

La radiazione solare assorbita dalle molecole fluorescenti a frequenza ν_1 viene emessa più bassa a frequenza ν_2 che non può essere riassorbita dalle altre molecole fluorescenti.

Pertanto il problema dell'auto-assorbimento viene minimizzato e la radiazione riemessa, grazie alla riflessione interna totale, si concentra sui bordi sulle celle solari.

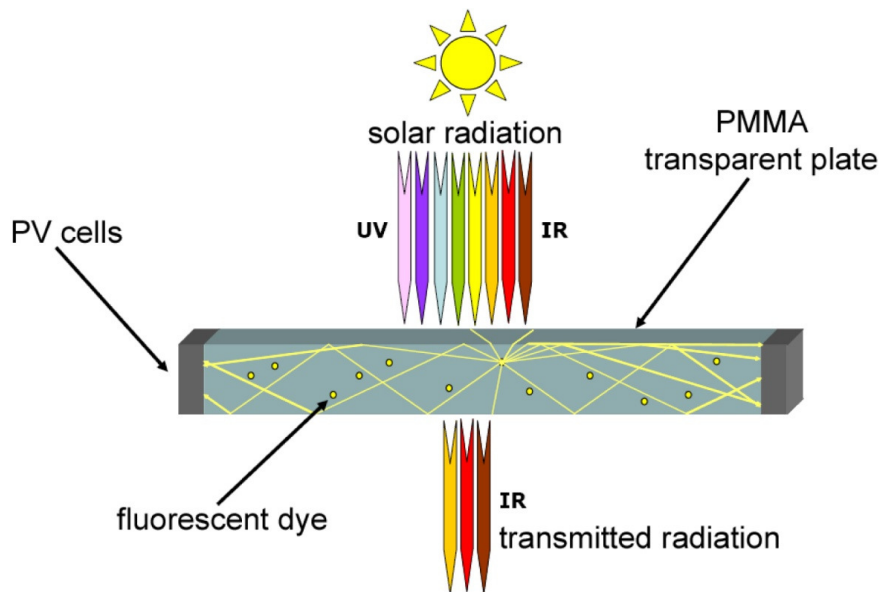


Figura 5 - Diagramma dei fotoni incidenti e dei fotoni emessi da una molecola colorante all'interno dell' LSC.

Il principio degli LSC consente di minimizzare la superficie fotovoltaica che è la parte più costosa del componente, aggiungendo il vantaggio della trasparenza del componente che può svolgere un'ulteriore funzione illuminotecnica oltre che tecnologica di chiusura di tamponamento delle costruzioni ed energetica di produzione elettrica da parte delle celle fotovoltaiche.

CAPITOLO 2 – IL CONCENTRATORE SOLARE LUMINESCENTE DI ENI

2.1 - Realizzazione del prototipo 50x50

Il pannello LSC realizzato dall'Istituto di Ricerca ENI Donegani, utilizza una lastra in polimetilmetacrilato (PMMA) di 50×50cm, 6mm di spessore, in cui sono dispersi due coloranti: DTB (4,7-di (2-tienil) benzo [c] 1,2,5-tiadiazolo) sintetizzati da ENI e DPA (9,10-diphenylanthracene), un colorante commerciale⁵. I coloranti sviluppati possono avere diversi colori per la realizzazione di pannelli in PMMA: giallo o rosso. L'istituto ENI Donegani, individua le applicazioni del pannello giallo in ambito residenziale e lavorativo, mentre il pannello rosso per le serre. Questa distinzione è stata effettuata rispetto a studi approfonditi che riguardano il passaggio della luce attraverso le due lastre.

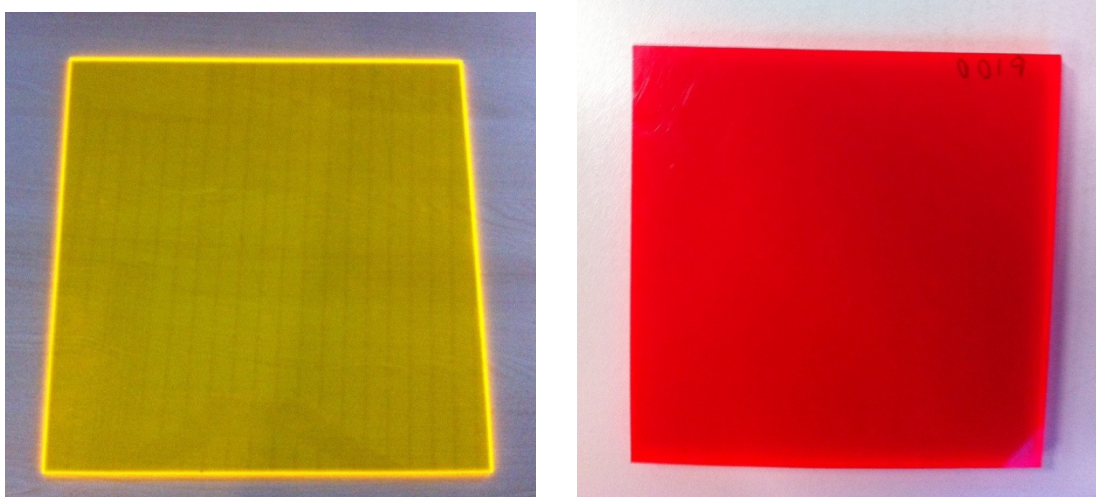


Figura 6 – Lastre in PMMA con i due coloranti analizzati realizzate dall'istituto ENI Donegani

Il pannello giallo consente di avere una luce adeguata al campo visivo mentre il pannello rosso seleziona lo spettro adeguato per la crescita delle piante.

Per la realizzazione del pannello LSC la lastra viene dotata di 88 celle fotovoltaiche monocristalline, 22 × 6 mm ciascuna, assemblate con silicone sui quattro bordi della lastra. La realizzazione delle connessioni elettriche avviene per mezzo di basette pre-assemblate.

⁵ Photoluminescent composition useful in a spectrum converter which is used in a solar device comprises an acene compound and a benzothiadiazole compound Application number and country: MI09A001796 - Italia

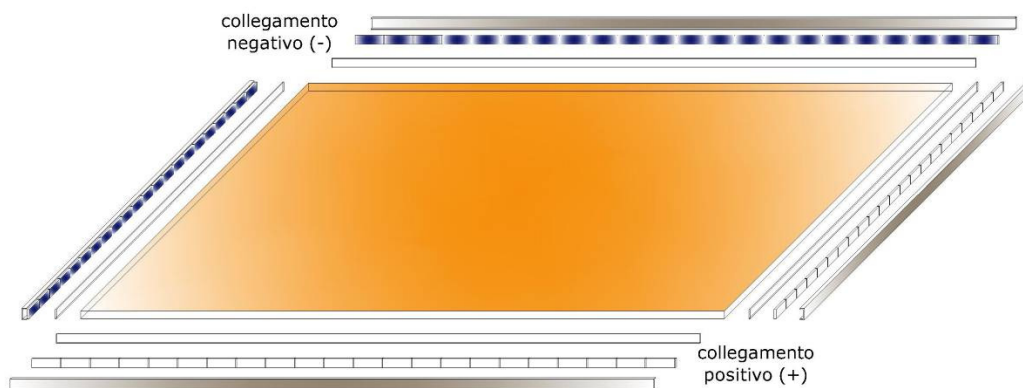


Figura 7 - Schema dei componenti del pannello LSC base

2.1.1 - Il PMMA

Il PMMA (polimetilmetacrilato) è una materia plastica formata da polimeri del metacrilato di metile. Questo materiale fu sviluppato nel 1928 e immesso sul mercato nel 1933 dall'industria chimica tedesca Röhm. E' un materiale molto trasparente, più del vetro, al punto che possiede caratteristiche di comportamento assimilabili alla fibra ottica per qualità di trasparenza, ed ha la proprietà di essere infrangibile a seconda della sua mescola. Il PMMA è spesso usato in alternativa al vetro. Alcune delle principale differenze tra i due materiali sono riportate nella seguente tabella:

	PMMA	Vetro	Unità di misura
Peso specifico	1,19	2,55	g/cm ²
Densità	1,18	2,50	g/cm ³
Conducibilità termica	0,19	1	W/Km
Indice di rifrazione	1,42	1,6	-
Trasmissione luminosa	92%	90%	-
Comportamento al fuoco	Classe B2 - Normalmente infiammabile	Classe A1 - Non infiammabile	-
Carico di rottura	600	400	Kg/cm ²
Resistenza a trazione			
a) - 40°C	110		MPa
b) +23°C	80	40	
c) +70°C	40		
Resistenza a flessione	115	40	MPa
Resistenza a compressione	110	1000	MPa

Resistenza a graffio	25		% Haze
Isolamento acustico			
a) 4 mm	26	25,5	dB
b) 6mm	30	26,5	
c) 10 mm	32	28	

Tabella 1 - Confronto PMMA – Vetro

Come si può osservare, è un materiale molto trasparente con un altissimo coefficiente di trasmissione luminosa pari al 92%, che consente una trasparenza pressoché totale, anche con alti spessori. Inoltre, possiede un indice di rifrazione di 1,42, una densità di 1,18 g/cm³, un carico di rottura di ca. 600 kg/cm², assorbimento d'acqua dello 0,3%; le resistenze alla flessione, all'urto, alla compressione sono poco influenzate dalla temperatura nell'intervallo -60°C +80°C. Altre caratteristiche molto interessanti di questo materiale sono la sua straordinaria capacità antiurto (è dieci volte più resistente del vetro a parità di spessore), l'eccellente protezione dai raggi ultravioletti e un ottimo isolamento acustico. A differenza del vetro, possiede una scarsa resistenza al fuoco, abrasioni e graffi e a compressione (circa dieci volte in meno).

Le lastre in PMMA si possono ottenere per colatura (CN) o per estrusione (XT). Le lastre hanno proprietà fisiche poco dissimili e hanno lo stesso comportamento a livello di durabilità. Le differenze più sensibili riguardano le proprietà termiche e chimiche e in particolare la risposta ad alcune lavorazioni. In particolare l'XT presenta una fluidità a caldo nettamente superiore al CN, rendendolo più termoformabile e consentendo una riproduzione molto più dettagliata nei casi di stampaggi delicati. Le lastre CN invece hanno una qualità di superficie, una planarità e purezza ottica superiore alle lastre XT, ma una tolleranza maggiore sullo spessore. La gamma degli spessori delle lastre è pressoché illimitata.

Gli impieghi principali delle lastre in PMMA riguardano, proprio per le sue caratteristiche ottiche e meccaniche, la sostituzione del vetro, poiché risulta meno fragile e più trasparente. Alcuni esempi di impiego sono le barriere antirumore autostradali, i finestrini degli aerei, le barriere di protezione negli stadi e le grandi finestre degli acquari. In architettura viene utilizzato maggiormente per oggetti di design mentre non può essere utilizzato per la sostituzione di tamponature trasparenti orizzontali ed oblique a causa della sua scarsa resistenza al fuoco, e verticali per la sua alta trasmittanza.

2.1.2 - Fasi di assemblaggio

I componenti del pannello LSC sono stati assemblati e realizzati i collegamenti in parallelo su ogni lato della lastra. Le celle fotovoltaiche e i bus sono stati preassemblati in modo tale che nello stabilimento arrivasse il materiale da assemblare ai bordi della lastra fornita da ENI tramite silicone. Questa scelta è stata effettuata in modo tale da rendere più rapido il processo di assemblaggio e garantire la funzionalità dei collegamenti elettrici tra le celle. Prima dell'assemblaggio delle celle alla lastra in PMMA, sono state svolte prove elettriche dei bus con assemblate le celle fotovoltaiche, di cui è stata rilevata la tensione tramite un multimetro digitale, per verificarne la corretta funzionalità elettrica.

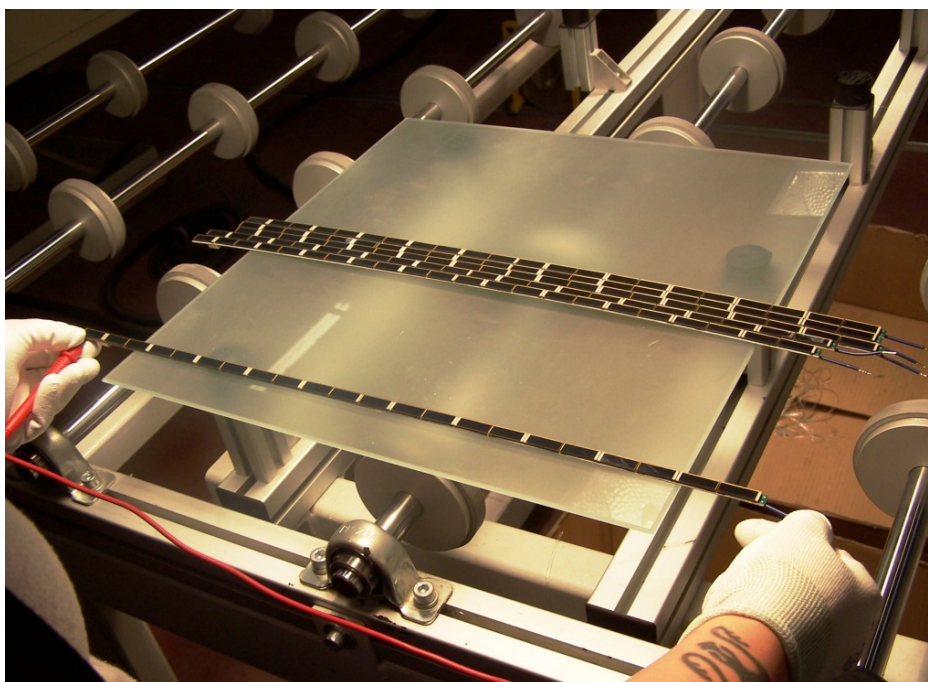


Figura 8 - Verifica elettrica delle celle assemblate.

Una volta verificata la funzionalità elettrica delle celle, queste sono state fissate alle lastre in PMMA tramite silicone trasparente per garantire la continuità del materiale e, quindi, l'accoppiamento ottico tra celle e lastre.

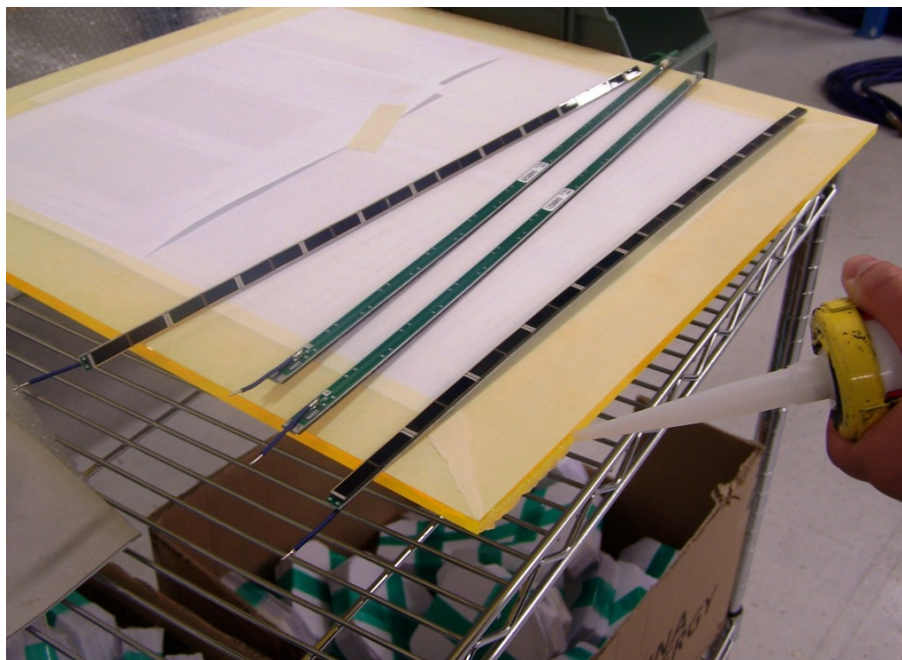


Figura 9 – Posa del silicone sui bordi delle lastre in PMMA



Figura 10 - Posizionamento delle strisce di celle assemblate ai bus sui lati della lastra in PMMA.

Le celle, una volta posizionate, sono state fissate con elastici per rendere solidali i materiali e consentire la polimerizzazione del silicone e realizzare il pannello completo con i collegamenti tra i bus sugli angoli del pannello stesso. Dopo che è avvenuta la polimerizzazione tra i due materiali, ulteriori prove sono state svolte in camera climatica per verificare la corretta tenuta dell'assemblaggio alle alte temperature.

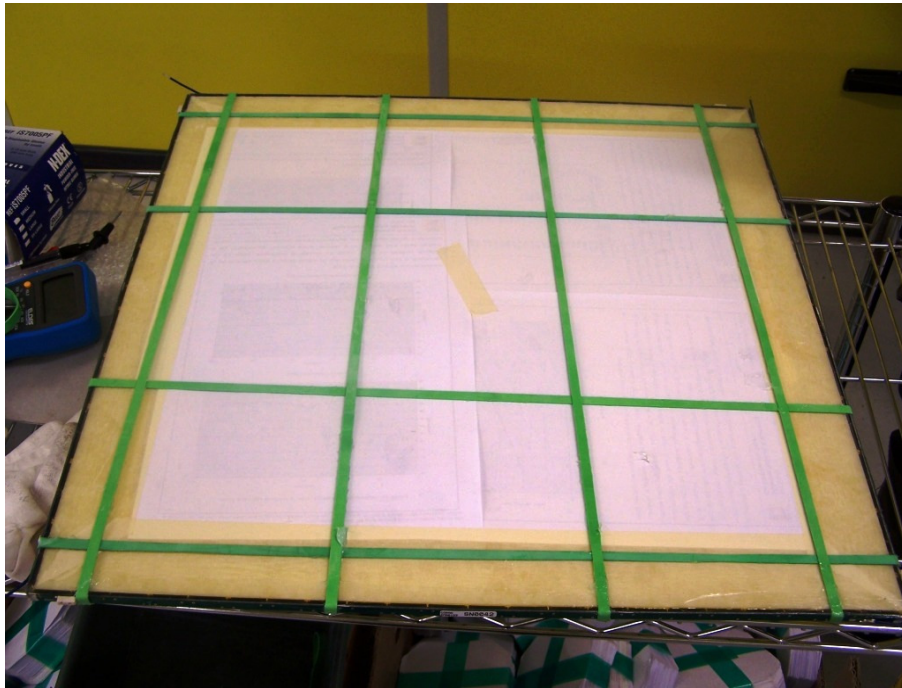


Figura 11 - Fissaggio delle celle ai bordi della lastra.

CAPITOLO 3 – IL MODULO ENI

3.1 - Realizzazione del modulo ENI

Assemblando sei lastre LSC, secondo uno schema di 3x2, è stato ottenuto un modulo fotovoltaico confrontabile con i moduli fotovoltaici standard. La progettazione di questo modulo è la prima parte di un processo che ha portato alla realizzazione della prima pensilina fotovoltaica basata su tecnologia LSC posizionata presso gli uffici ENI di Roma come sito dimostrativa.

Il modulo sperimentale LSC di ENI, sviluppato dal Politecnico di Milano in collaborazione con Secco Sistemi spa, è stato realizzato con un telaio in acciaio con pezzi standard della produzione serramentistica, minimizzando in questo modo le lavorazioni e le tempistiche di approvvigionamento. I profili utilizzati sono sistemi fermavetro in acciaio a cui vengono imbullonati dei profili scatolari per il fissaggio delle lastre LSC.

Le dimensioni totali del modulo sperimentale sono di 108,4x161,8 cm.

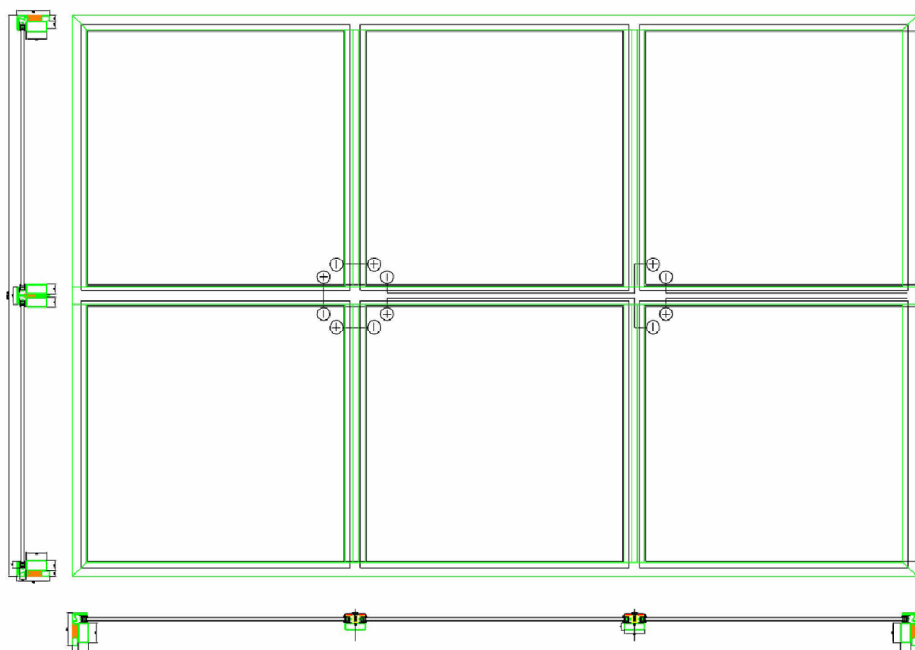


Figura 12 - Modulo LSC realizzato con la componentistica Secco Sistemi, prima versione.

I sei pannelli delle dimensioni di 50x50 cm, inseriti nell'intelaiatura sono collegati tra di loro in serie. Il fissaggio dei pannelli LSC all'interno della struttura, avviene tramite profili quadrati in acciaio avvvitati al profilo principale saldato per la realizzazione del modulo. Il pannello 50x50, dotato di 88 celle fotovoltaiche ottimizzato nella prima parte della ricerca, è stato utilizzato come componente di base del modulo da 3x2 lastre.



Figura 13 - Telaio del modulo LSC 3x2 pannelli, vista del lato corto (1084mm).



Figura 14 - Fronte posteriore del modulo, scatolato per il bloccaggio dei pannelli LSC.

I pannelli LSC sono stati predisposti con cornici a C in alluminio per la protezione delle celle fotovoltaiche ed i bus di parallelo. La cornice a C svolge un ruolo molto importante, infatti, è fissata in modo da conferire la corretta resistenza meccanica al pannello assemblato con le celle fotovoltaiche e i bus poiché, tali componenti, non presentano il medesimo spessore: la lastra in PMMA ha uno spessore di 6 mm, le celle fotovoltaiche di 7,5 mm e i bus di parallelo di 8 mm.

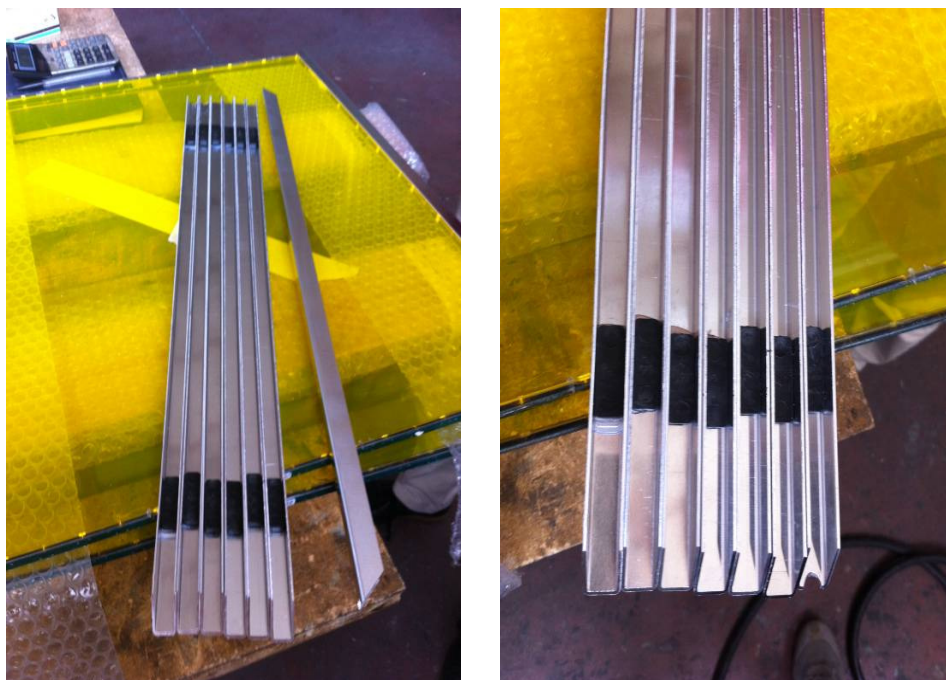


Figura 15 - Cornici con spessori interni per il posizionamento dei pannelli LSC.

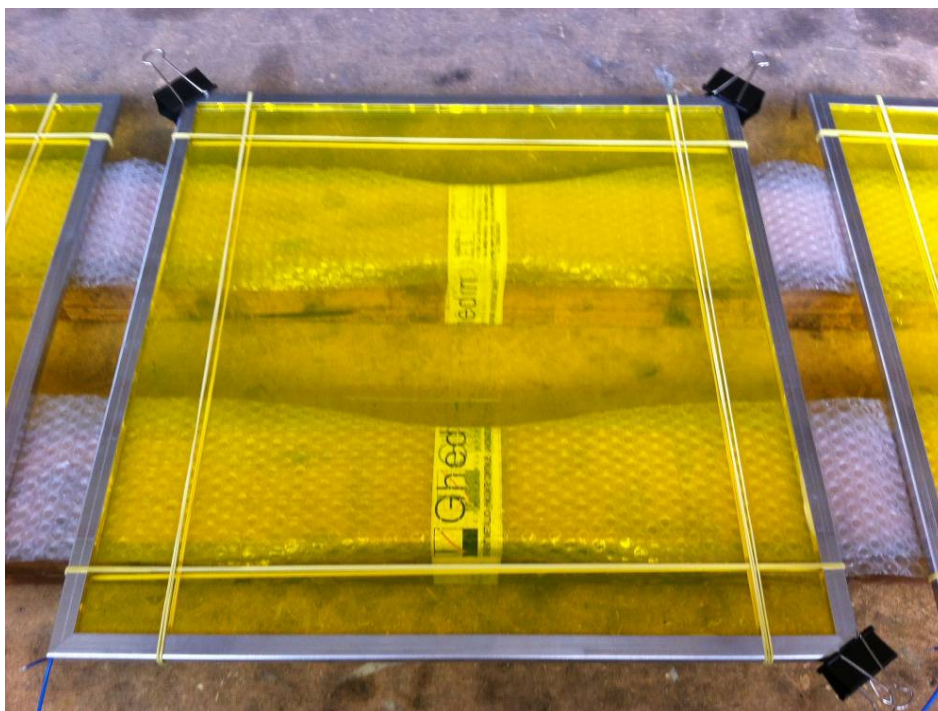


Figura 16 – Pannello in posa per il fissaggio delle 4 parti che compongono la cornice

La cornice a C, una volta posizionata, è fissata tramite silicone per garantire l'adeguata impermeabilità all'acqua.

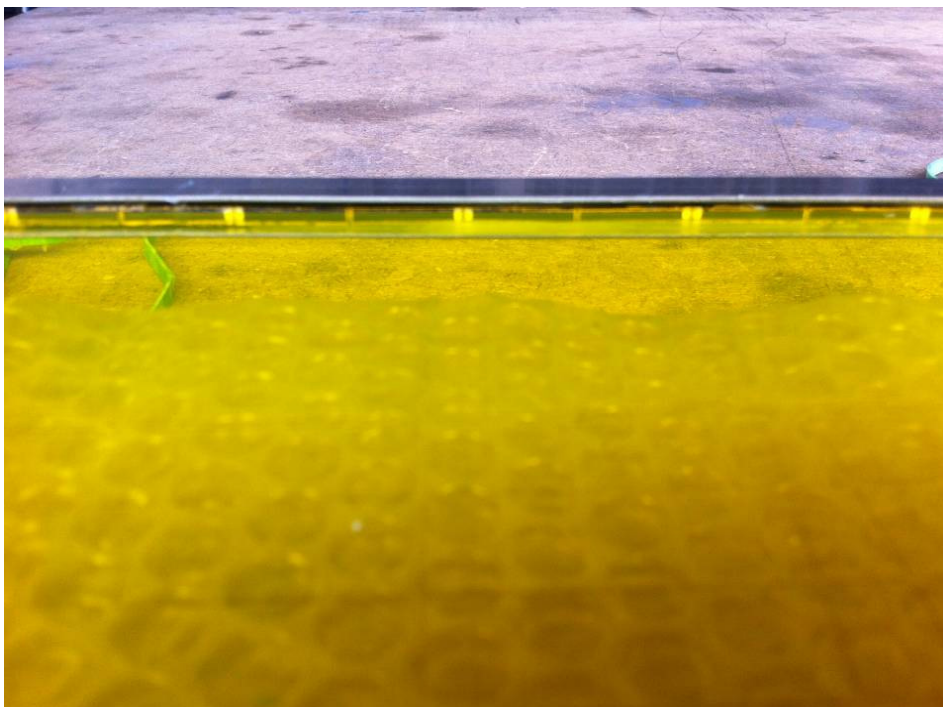


Figura 17 - Vista delle celle assemblate al bordo della lastra PMMA all'interno della cornice

Per garantire un adeguato cablaggio dei pannelli, alla cornice è stato praticato un foro per permettere la fuoriuscita dei cavi delle celle fotovoltaiche, in questo modo, i cablaggi corrono esternamente alla cornice in alluminio a C e all'interno del profilo metallico principale.

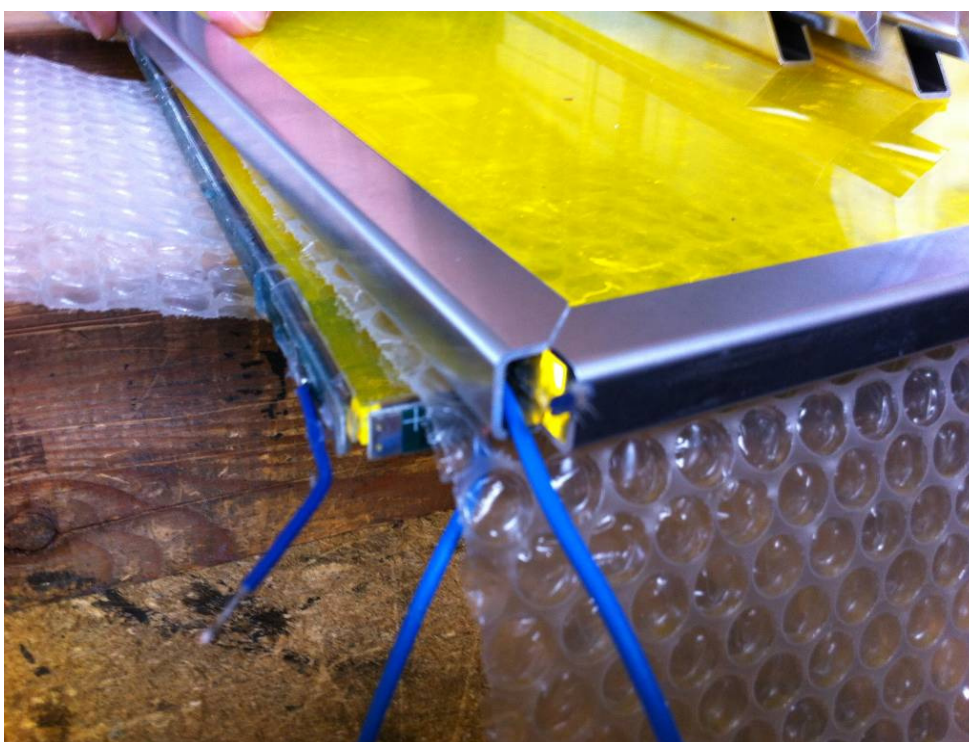


Figura 18 - Foro per l'uscita dei cavi all'angolo del pannello.



Figura 19 – Foro per l'uscita dei cavi nella parte superiore del modulo

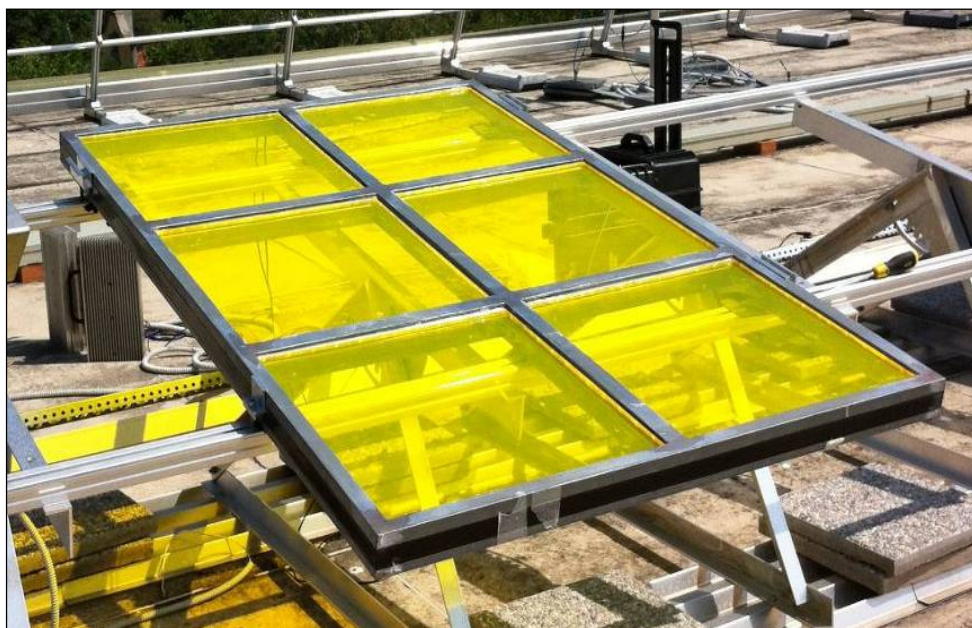


Figura 20 - Modulo fotovoltaico LSC realizzato con 6 pannelli LSC.

3.2 - Monitoraggio modulo LSC ENI

3.2.1 – Localizzazione Test Facility

Il sito sperimentale del Politecnico di Milano si trova in via Bonardi n.9, sulla copertura dell'Edificio 14 (Edificio Nave). L'edificio, dotato di una copertura piana, è un parallelepipedo ed è orientato con asse maggiore est-ovest. Grazie alla copertura piana e al suo orientamento, è un sito ideale dove poter installare moduli fotovoltaici, con direzione sud ed orizzonte libero da ombreggiamenti, ed effettuare le necessarie campagne di rilevamento. La "Test Facility" è stata realizzata per il monitoraggio di diverse tipologie di moduli fotovoltaici. Il sito è equipaggiato con strutture a cavalletto di supporto per i moduli fotovoltaici che consentono di variare l'inclinazione dei moduli. I moduli sono orientati a sud con angolo azimutale $\gamma = 0^\circ$ e sono inclinati con un angolo ψ di 30° .

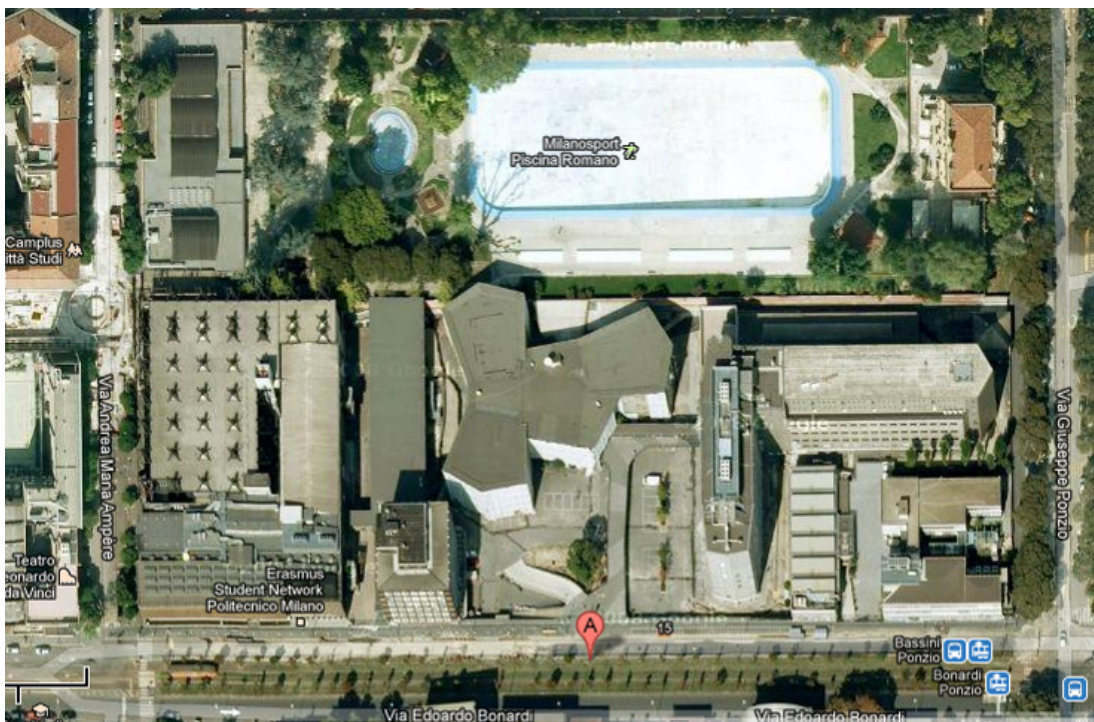


Figura 21 - Planimetria generale del Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura, copertura dell'edificio 14 (Nave).



Figura 22 - Moduli fotovoltaici in fase di test nel sito sperimentale.

3.2.2 - Dati climatici e ambientali

I parametri climatici considerati sono stati desunti dalla norma UNI 10349 “Riscaldamento e Raffrescamento degli Edifici, Dati Climatici”.

Latitudine – Longitudine - Altitudine

Il sito in oggetto è caratterizzato dalle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 45°29'42''36 N
- Longitudine: 9°18'3''96 E
- Altitudine: 121 s.l.m.

Temperature

Si riportano di seguito i valori delle temperature desunte dai dati relativi alla località di Milano.

- Temperatura minima/massima all'aperto: -15°C ÷ +35°C;
- Temperatura media del giorno più caldo: +30°C;
- Temperatura media delle massime mensili: +25°C.

Le temperature medie mensili nei vari mesi dell'anno sono riportate nella tabella successiva.

Mese	Temperatura media [°C]
Gennaio	2,3
Febbraio	4,6
Marzo	9,4
Aprile	13,8
Maggio	17,9
Giugno	22,2
Luglio	24,9
Agosto	23,7
Settembre	20,3
Ottobre	14,1
Novembre	8,2

Tabella 2 - Milano, temperatura media mensile dell'aria (UNI 10349).

Presenza di liquidi

Esterno: si (pioggia anche di stravento)

Dati relativi al vento

Classificazione secondo la norma UNI 10349.

Zona di vento: 1

Velocità media: 0.9 m/s

Direzione prevalente: E

Classificazione secondo il T.U. del 30 marzo 2005.

Zona di vento: 1

Velocità di riferimento: 25 m/s

Carico di neve

Il carico di neve al suolo è quello riportato dal D.M. 16/01/1996 per la Zona 1 fino a 200 m di altitudine e cioè 1,6 kPa.

Condizioni ambientali speciali

Presenza di sostanze chimiche che possono originare corrosione: no

Presenza di correnti contigue vaganti: no

Presenza di vibrazioni: no

Altre condizioni ambientali speciali: no

- Dati relativi alla radiazione solare

La disponibilità di radiazione solare nel sito in oggetto è illustrata nella tabella riportata di seguito.

Irradiazione giornaliera media mensile su superficie orizzontale

Si elencano di seguito i dati d'irradiazione su superficie orizzontale non ostruita, relativi alla località di Milano. Anche in questo caso, i lavori riportati sono stati desunti dalla normativa UNI 10349 "Riscaldamento e Raffrescamento degli Edifici, Dati Climatici".

Mese	Componente diffusa [MJ/m ² /g]	Componente diretta [MJ/m ² /g]
Gennaio	2,3	1,5
Febbraio	3,5	3,2
Marzo	5,1	6,5
Aprile	6,7	9,8
Maggio	7,9	12,1
Giugno	8,3	13,9
Luglio	7,5	16,5
Agosto	6,9	12,5
Settembre	5,6	8,4
Ottobre	3,9	4,5
Novembre	2,5	1,9
Dicembre	2,0	1,3

Tabella 3 - Valori di radiazione solare sul piano orizzontale per Milano secondo la norma UNI 10349.

Irradiazione media annuale su superficie orizzontale

Il valore medio annuale dell'irradiazione su superficie orizzontale non ostruita, relativamente alla località di Milano, corrispondono a circa 1307 kWh/m² anno.

Irradiazione media annuale sul piano ottimale

Il valore medio annuale dell'irradiazione su superficie ottimale (30°) non ostruita, relativamente alla località di Milano, corrisponde a circa 1443 kWh/m² anno.

Irradiazione media annuale sul piano del modulo

La prima fase di monitoraggio sul modulo sperimentale LSC, è stata condotta posizionando il modulo con orientamento $\gamma=0^\circ$ ed inclinazione ψ di 10° . Il valore medio annuale dell'irradiazione su tale superficie, relativamente alla località di Milano, ammonta a circa 1381 kWh/m² anno.

3.2.3 – Campagna di monitoraggio del modulo sperimentale LSC

Il prototipo è stato installato con un orientamento sud e inclinazione di 10° sulla struttura a cavalletto della Test Facility. Al modulo sono stati collegati diversi dispositivi di monitoraggio per rilevare la potenza in uscita, la tensione e la corrente in condizione di inseguimento del punto di massima potenza. Inoltre, sono state collegate due sonde di temperatura, una ambientale posizionata all'ombra e l'altra fissata alla superficie posteriore del modulo. E' stato utilizzato un solarimetro per la registrazione dei dati di radiazione globale sul piano del modulo.



Figura 24 - Sito sperimentale per il monitoraggio del modulo LSC con i dispositivi di misura allestiti e collegati al modulo.

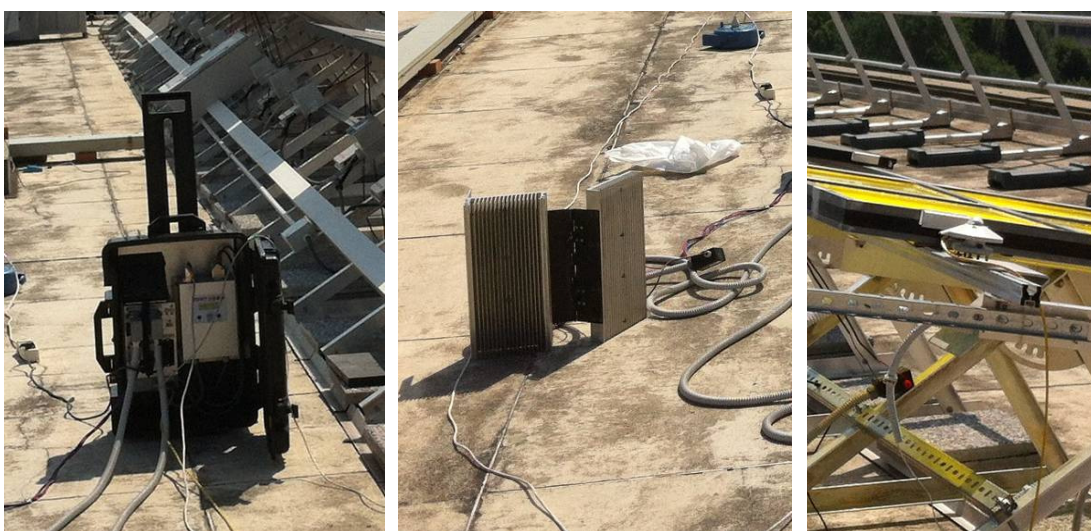


Figura 23 - Dispositivo di rilevazione delle grandezze elettriche in uscita dal modulo, resistore, solarimetro complanare al piano di captazione del modulo.



Figura 25 - Prototipo LSC di ENI realizzato con 6 pannelli posizionati sui cavalletti della Test Facility.

A causa di un disservizio del modulo, è stato possibile effettuare la campagna di monitoraggio solo per tre giorni del mese di Giugno 2012.

Di seguito sono riportate le tabelle che indicano i giorni e gli orari della campagna di monitoraggio e i risultati preliminari.

Giorno	Mese	Ora inizio rilevazione	Ora fine rilevazione
27	Giugno	12:15	19:15
28		9:30	19:50
29		9:30	19:00

Tabella 4 - Giorni e orari di monitoraggio.

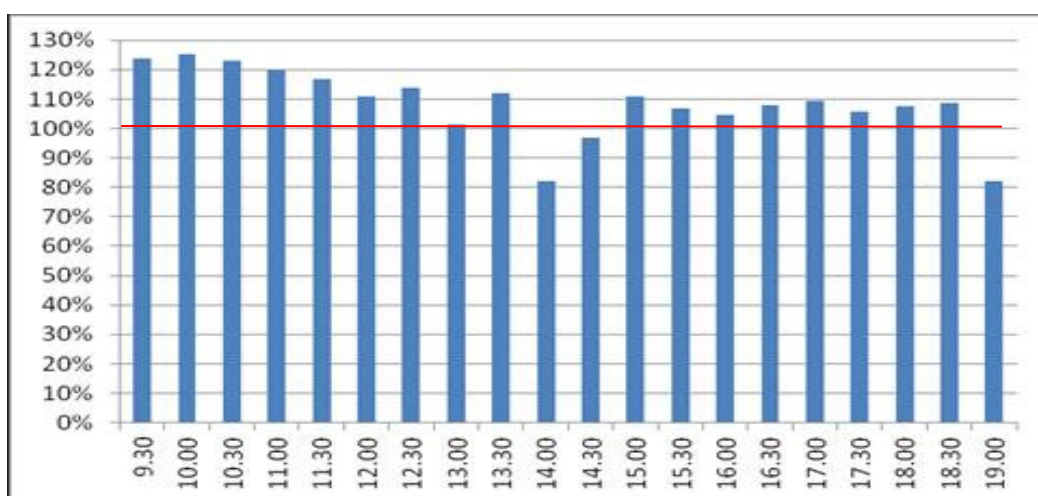


Grafico 6 - Fattore di concentrazione del prototipo LSC

I risultati della fase di monitoraggio preliminare sono riassunti nella seguente tabella:

Giorno	Mese	Radiazione giornaliera [Wh]	Potenza media [W]	Energia prodotta [Wh]
27	Giugno	5557	10,87	79,74
28		6278	8,70	87,00
29		6617	8,59	85,88

Tabella 5 - Risultati di potenza media ed energia prodotta dal prototipo LSC nei giorni del monitoraggio.

3.3 – Confronto delle prestazioni elettriche del modulo ENI con pannelli fotovoltaici tradizionali

Al fine di valutare la reale efficienza del modulo sperimentale LSC, sono state paragonate le prestazioni rilevate nel mese di giugno, con moduli fotovoltaici tradizionali di diversa tecnologia (silicio cristallino e a film sottile), testato nelle stesse condizioni climatiche della Test Facility del Politecnico di Milano. In questo modo è possibile analizzare i vantaggi che possono essere ottenuti dal componente LSC. Le misurazioni sono state effettuate in condizioni atmosferiche diverse (tre giorni di sole e tre giorni nuvolosi) al fine di analizzare il comportamento del modulo LSC.

I parametri tecnici dei differenti moduli sono riassunti nella seguente tabella:

	Units	LSC ENI module	POLI module	MONO module	TANDEM module
Technology		Sc-Si	Mc-Si	Sc-Si	µc-Si
Module area	[m ²]	1.75	1.63	1.63	1.421
Cells area	[m ²]	0.055	1.46	1.42	1.45
Maximum power P _{mpp}	[W]	14.08	240.21	250.00	148.80
Maximum power voltage V _{mpp}	[V]	24.29	30.10	30.60	49.20
Maximum power current I _{mpp}	[A]	0.58	7.98	8.20	3.02
Open circuit voltage I _{sc}	[A]	0.63	8.50	8.61	3.45
Short circuit current V _{oc}	[V]	30.16	37.54	37.40	59.80
Temperature coefficient αV _{oc}	[%/°C]	-0.33	-0.42	-0.44	-0.30

Tabella 6 - Caratteristiche dei moduli tradizionali confrontati con l'LSC di ENI

Il comportamento operativo del modulo LSC consente un migliore sfruttamento della radiazione solare rispetto ai moduli tradizionali. I coloranti dispersi nei pannelli, assorbono la radiazione solare e la riemettono in una gamma di lunghezza d'onda più favorevole per la conversione fotovoltaica. Nel seguente grafico si può osservare lo spostamento dello spettro di assorbimento e riflesso verso le lunghezze d'onda in cui l'efficienza quantica delle celle fotovoltaiche è più alta.

L'efficienza quantica è un parametro molto importante per valutare le prestazioni e la qualità di una cella solare. Per caratterizzare la cella si utilizzano:

- L'efficienza quantica esterna (EQE);
- L'efficienza quantica interna (IQE).

Il EQE misura il rapporto tra elettroni raccolti e fotoni incidenti, in funzione della lunghezza d'onda della luce incidente monocromatica. Analogamente, il IQE è il rapporto di elettroni e fotoni assorbiti in funzione della lunghezza d'onda. I due parametri sono collegati dalla capacità di assorbimento della luce e di raccolta dell'efficienza luminosa (LHE) del materiale assorbente come funzione della lunghezza d'onda.

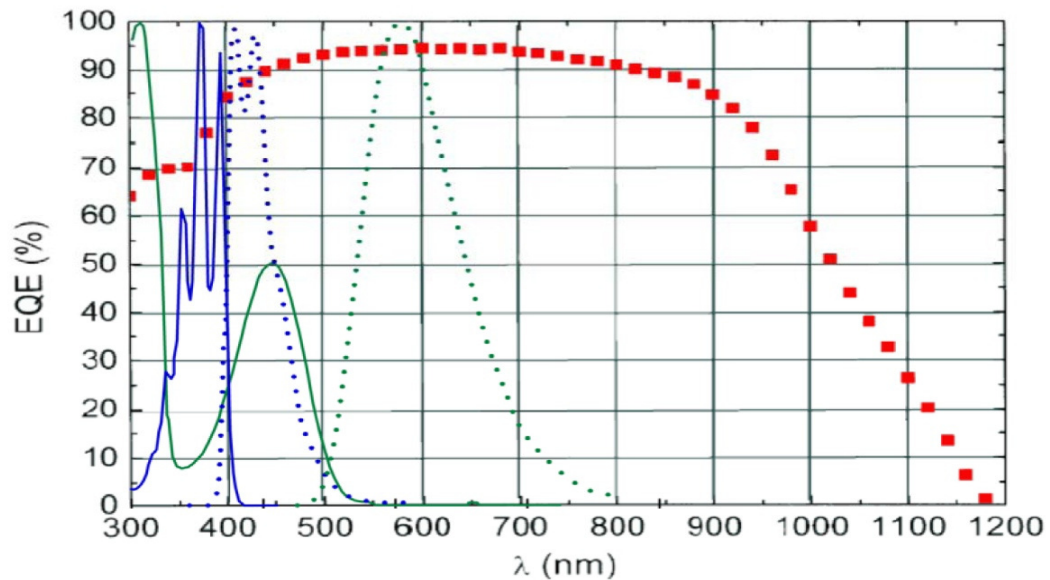


Grafico 7 - Efficienza quantica esterna delle celle Sc-Si (puntini quadrati) e lunghezza d'onda di assorbimento

La densità di potenza specifica del modulo LSC è paragonabile a quella generata dai moduli standard sebbene il pannello LSC assorba solo il 25% della radiazione solare mentre il restante 75% viene riemesso.

I grafici seguenti rappresentano le prestazioni del modulo LSC, paragonate ai moduli standard, in condizioni di cielo sereno e cielo nuvoloso.

Nei grafici che seguono è possibile visualizzare i dati misurati e calcolati in condizioni di cielo sereno e parzialmente nuvoloso.

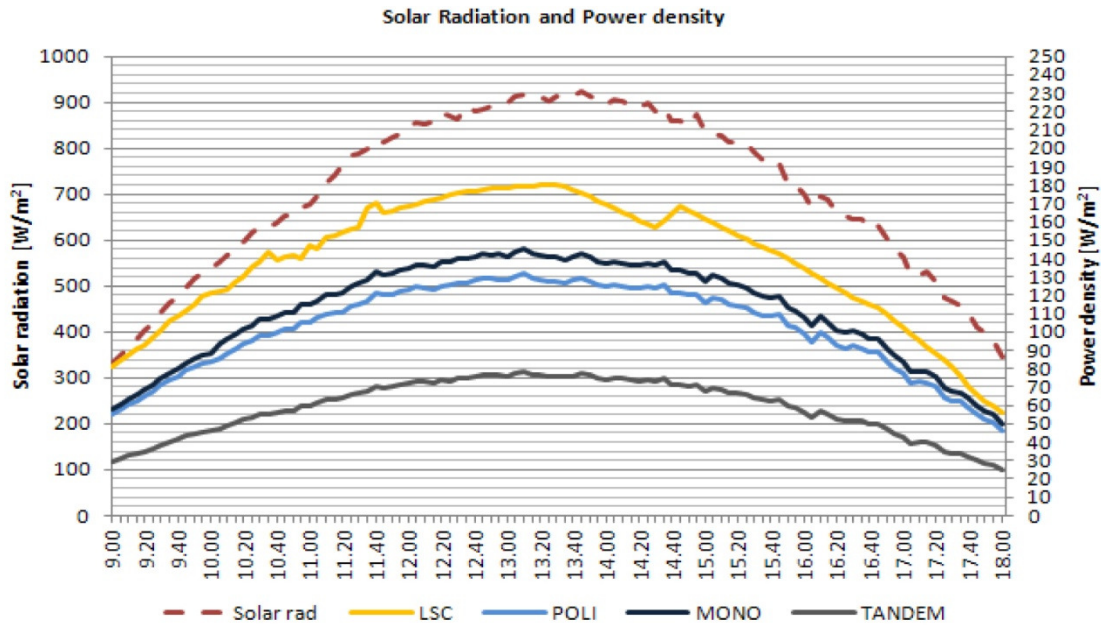


Grafico 8 - Cielo sereno: Confronto densità di potenza dei diversi moduli e radiazione solare.

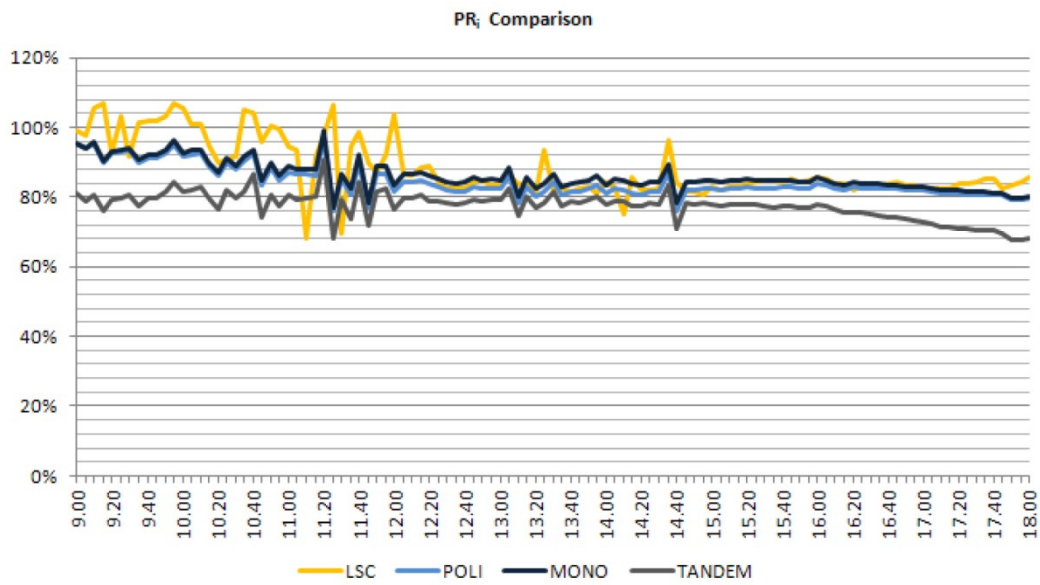


Grafico 9 - Giorno sereno: Confronto performance tra i diversi moduli.

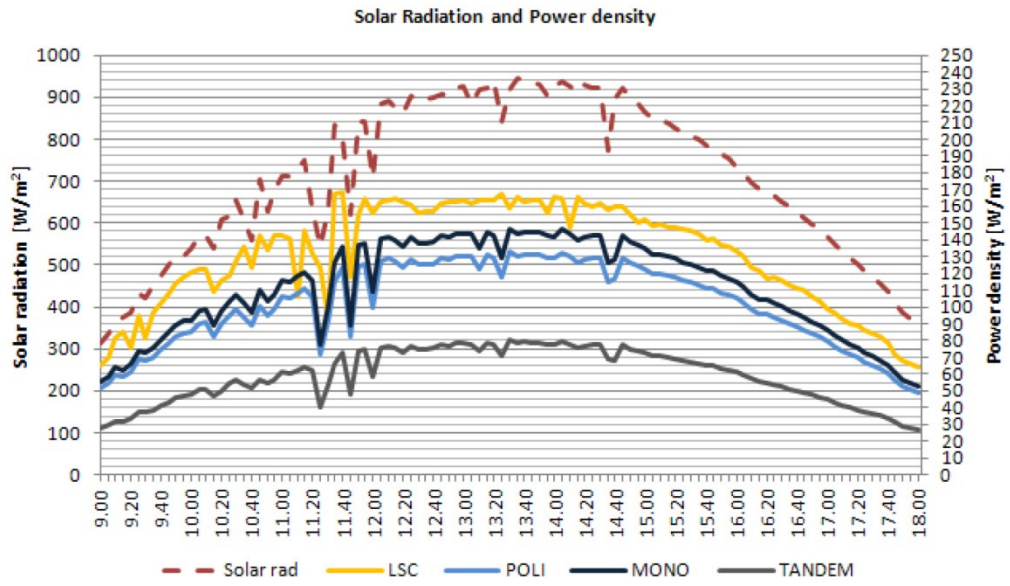


Grafico 10 - Cielo nuvoloso: Confronto densità di potenza dei diversi moduli e radiazione solare.

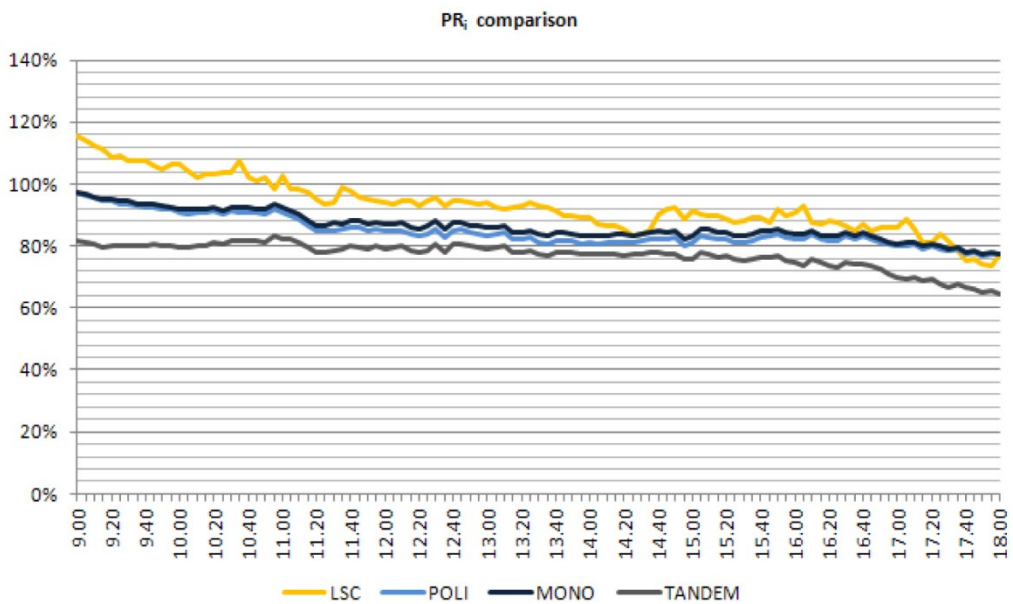


Grafico 11 - Giorno sereno: Confronto performance tra i diversi moduli.

Durante la giornata di sole il grafico PR_i ⁶ mostra valori più elevati per il modulo LSC in un intervallo tra il 20% e il 40% a seconda della tecnologia (maggiori variazioni si riferiscono a moduli con celle tandem a film sottile). Durante il giorno nuvoloso i valori PR_i per il modulo LSC sono ancora più alti del 30-45% in più rispetto ai moduli FV.

Il modulo LSC risulta sempre superiore rispetto agli altri moduli, in particolare durante le giornate di cielo nuvoloso. I valori del PR_d ⁷ per i moduli cristallini, si aggira al 7% in meno dei valori PRD del modulo ENI durante le giornate di sole e di un 8% durante quelle nuvolose.

In conclusione, il principio di funzionamento dei moduli LSC consente uno sfruttamento più ampio dell'efficienza quantica da parte delle celle fotovoltaiche, con un tasso di conversione superiore, che significa, nelle medesime condizioni atmosferiche, una miglior produzione di energia elettrica.

⁶ PR_i è l'istantanea indice di Performance Ratio. Per calcolare il PR_i si utilizza la seguente formula:

$$PR_i = \frac{P_i}{\frac{G}{1000} P}$$

Dove: P_i è il rapporto tra la potenza di uscita in corrente continua generata dal modulo [W]; G è l'irraggiamento solare sul modulo [W/m^2]; P è la potenza del modulo calcolata in STC [W].

⁷ PR_d è il quotidiano indice di Performance Ratio. Per calcolare il PR_d si utilizza la seguente formula:

$$PR_d = \frac{E}{\frac{H}{1000} P}$$

Dove: E l'energia generata in corrente durante un giorno [Wh]; H è l'irradiazione solare giornaliera sul modulo fotovoltaico [Wh/m^2 giorno]; P è la potenza del modulo calcolata in STC [W].

CAPITOLO 4 – LA PENSILINA FOTOVOLTAICA LSC

4.1 – Inquadramento

Come accennato precedentemente, la progettazione del modulo fotovoltaico LSC è stato il primo step per la realizzazione della pensilina fotovoltaica LSC realizzata come sito dimostrativo ENI. L'impianto, oltre a produrre energia elettrica sfruttando la fonte solare per mezzo della tecnologia di conversione fotovoltaica rendendola disponibile per i carichi elettrici ad essa collegata, ha lo scopo di testare l'efficienza della tecnologia LSC e raccogliere dati per analizzare nel dettaglio le prestazioni e le criticità per dei pannelli fotovoltaici LSC oggetto della ricerca condotta da ENI. L'impianto è stato installato presso il complesso direzionale ENI, situato nel comune di Roma. L'area destinata alla pensilina è di circa 5x12 m e corrisponde a sei posti auto del parcheggio di pertinenza degli uffici ENI in via del Serafico a Roma.

4.1.1. - Dati climatici e ambientali

I parametri climatici considerati sono stati desunti dalla norma UNI 10349 "Riscaldamento e Raffrescamento degli Edifici, Dati Climatici".

Latitudine e longitudine

Il sito in oggetto è caratterizzato dalle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 41°54'39" N
- Longitudine: 12°28'54" E

Altitudine

Il sito in oggetto si trova a quota 20 m s.l.m.

Temperature

Si riportano di seguito i valori delle temperature d'interesse ai fini dell'installazione in oggetto, desunte dai dati relativi alla località di Roma, assunta come riferimento.

- Temperatura minima/massima all'interno degli edifici: +5°C/+35°C;
- Temperatura minima/massima all'aperto: -9,5°C/+40°C;
- Temperatura media del giorno più caldo: +33,8°C;
- Temperatura media delle massime mensili: +31,2°C.

Le temperature medie mensili nei vari mesi dell'anno vengono riportate nella tabella successiva.

Mese	Temperatura media [°C]
Gennaio	7,5
Febbraio	8,6
Marzo	11,1
Aprile	14,1
Maggio	18,1
Giugno	22,1
Luglio	24,9
Agosto	24,6
Settembre	21,6
Ottobre	16,8
Novembre	12,1
Dicembre	8,8

Tabella 7 - Roma, temperatura media mensile dell'aria (UNI 10349).

Presenza di corpi solidi estranei

Esterno: no

Interno: no

Presenza di liquidi

Esterno: si (pioggia anche di stravento)

Interno: no

Dati relativi al vento

Classificazione secondo norma UNI 10349.

Zona di vento: 2

Velocità media: 2,6 m/s

Direzione prevalente: SW

Classificazione secondo il D.M. 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

Zona di vento: 3

Velocità di riferimento: 27 m/s

Carico di neve

Il carico di neve al suolo è quello riportato nel D.M. 16/01/1996 per la zona 3 fino a 200 m di altitudine cioè 0,6 kPa.

Condizioni ambientali speciali

Presenza di sostanze chimiche che possono originare corrosione: no

Presenza di correnti continue vaganti: no

Livello massimo di rumore: 50 dB diurno (classe 3)

Presenza di vibrazioni:	no
Altre condizioni ambientali speciali:	no

Effetti sismici

In base all'ordinanza n.3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", l'edificio oggetto di intervento risulta ubicato in zona sismica 3.

4.1.2 - Dati relativi alla radiazione solare

La disponibilità di radiazione solare nel sito in oggetto è illustrata nella tabella successiva.

Irradiazione giornaliera media mensile su superficie orizzontale

Si elencano di seguito i dati di irradiazione su superficie orizzontale non ostruita, relativi alla località di Roma. I valori riportati sono stati desunti dalla norma UNI 10349 "Riscaldamento e Raffrescamento degli Edifici, Dati Climatici".

Mese	Componente diffusa [MJ/m ² /g]	Componente diretta [MJ/m ² /g]
Gennaio	2,9	3,4
Febbraio	3,9	5,3
Marzo	5,3	8,4
Aprile	6,7	12,2
Maggio	7,3	16,3
Giugno	7,5	18,2
Luglio	6,6	20,5
Agosto	6,2	17,1
Settembre	5,3	12,3
Ottobre	4,1	8,1
Novembre	3,1	4,2
Dicembre	2,6	2,8

Tabella 8 - Valori di radiazione solare sul piano orizzontale per Roma secondo la norma UNI 10349.

Irradiazione media annuale su superficie orizzontale

Il valore medio annuale dell'irradiazione su superficie orizzontale non ostruita, relativamente alla località di Roma corrisponde a circa 1612 kWh/m²anno.

Irradiazione media annuale sul piano ottimale

Il valore medio annuale dell'irradiazione su superficie ottimale non ostruita ($\gamma = 0^\circ$; $\psi = 30^\circ$), relativamente alla località di Roma, corrisponde a circa 1796 kWh/m²anno.

4.2 - Realizzazione della pensilina fotovoltaica LSC

4.2.1 – Struttura portante della pensilina

La pensilina fotovoltaica è composta da sei moduli a “Y” autoportanti affiancati tra di loro con un'inclinazione di circa 20° delle due ali. La scelta di questa inclinazione è stata operata in seguito alle criticità emerse (depositi superficiale e ristagno delle acque meteoriche) riscontrate durante la fase di monitoraggio del modulo sperimentale LSC posizionato nella Test Facility al Politecnico di Milano. Questa inclinazione consentire un maggior deflusso delle acque meteoriche e un maggior effetto di dilavamento.

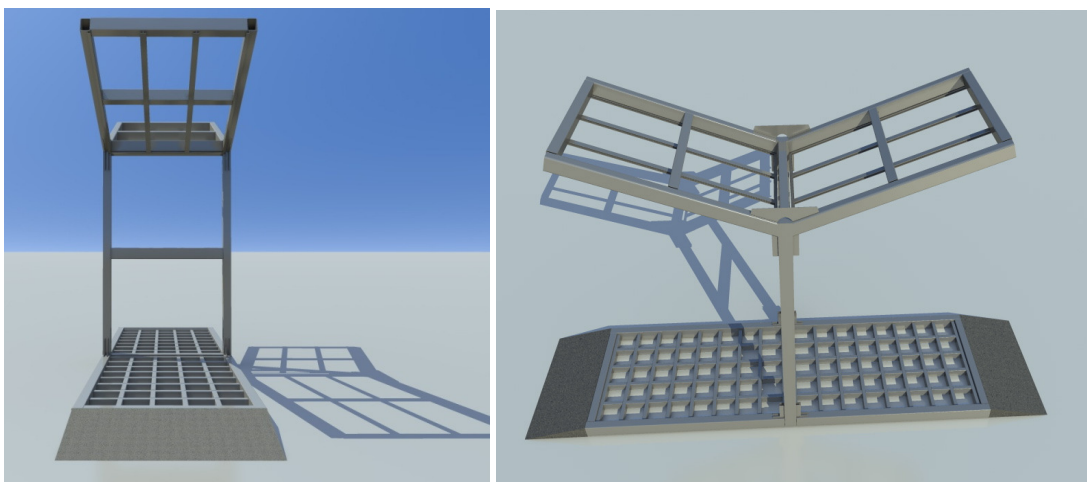


Figura 26 – Vista frontale e assonometrica della struttura di un elemento della pensilina

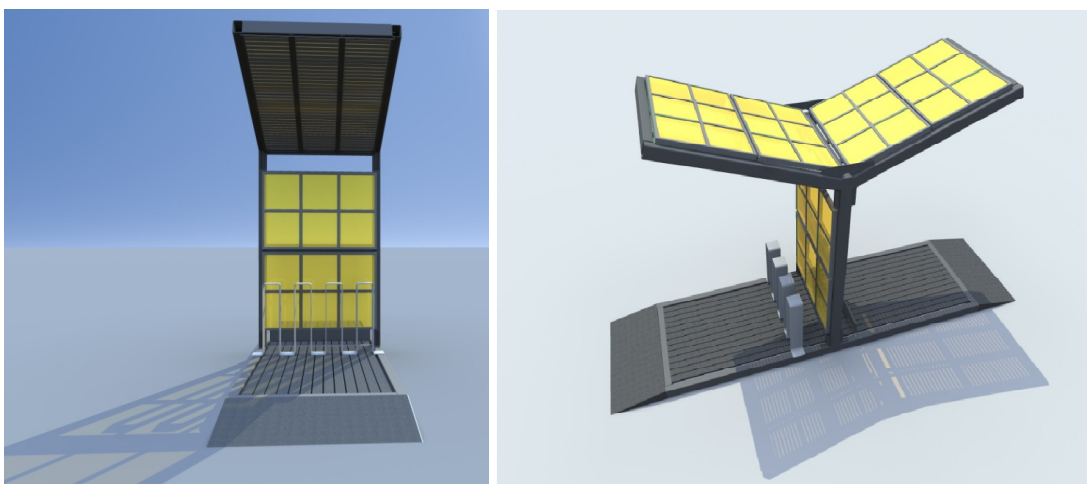


Figura 27 - Vista frontale e assonometrica della struttura di un elemento della pensilina con i moduli LSC

La pensilina è composta, quindi, da un elemento base (modulo) ripetuto sei volte. Il modulo è realizzato con una struttura in acciaio costituita da montanti e profili di collegamento

(controventi) atti a portare i moduli fotovoltaici LSC. La struttura può essere divisa in tre porzioni:

- Struttura al piede (base);
- Struttura verticale e nodi;
- Struttura superiore e controventatura.

• **Struttura al piede**

La base della pensilina è realizzata con elementi tubolari in acciaio 150x100x6 cm saldati e zavorrati con elementi in cemento precompresso con funzione di pavimentazione di 70 kg/m².

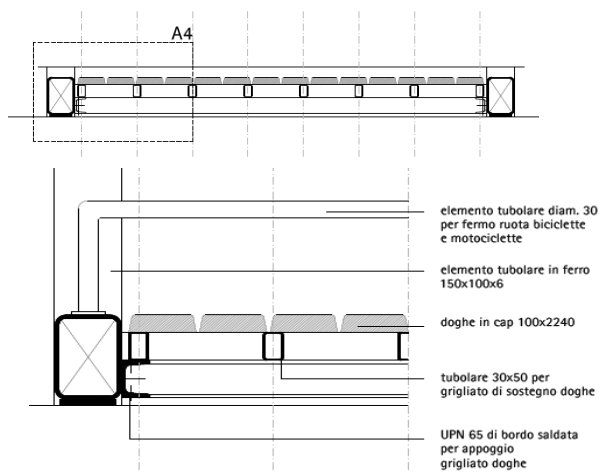


Figura 28 - Sezione trasversale e dettaglio del piede d'appoggio.

• **Struttura verticale e nodi**

La struttura verticale e i nodi sono realizzati con elementi tubolari in acciaio 150x100x6 cm saldati e fazzoletti sagomati di rinforzo dei nodi.

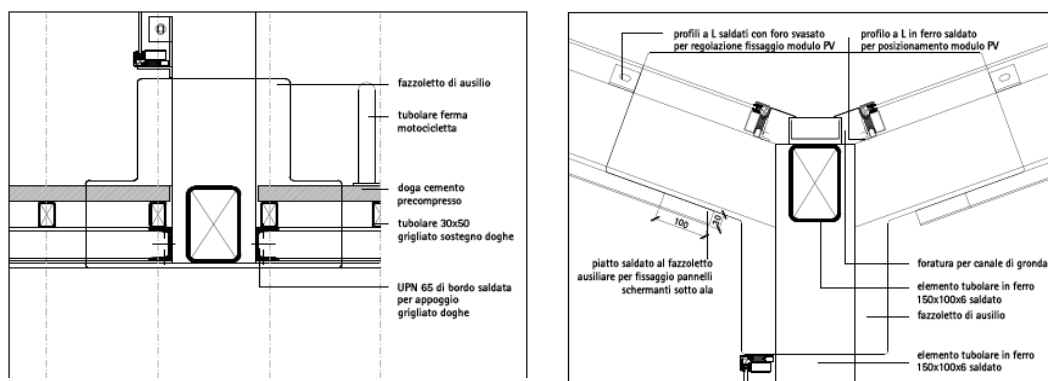


Figura 29 - Sezione longitudinale del piede e dettaglio fazzoletti ausiliari.

- **Struttura superiore e controventature**

La struttura superiore e le controventature sono realizzate con elementi tubolari in acciaio 150x100x6 cm saldati e fazzoletti sagomati di rinforzo dei nodi.

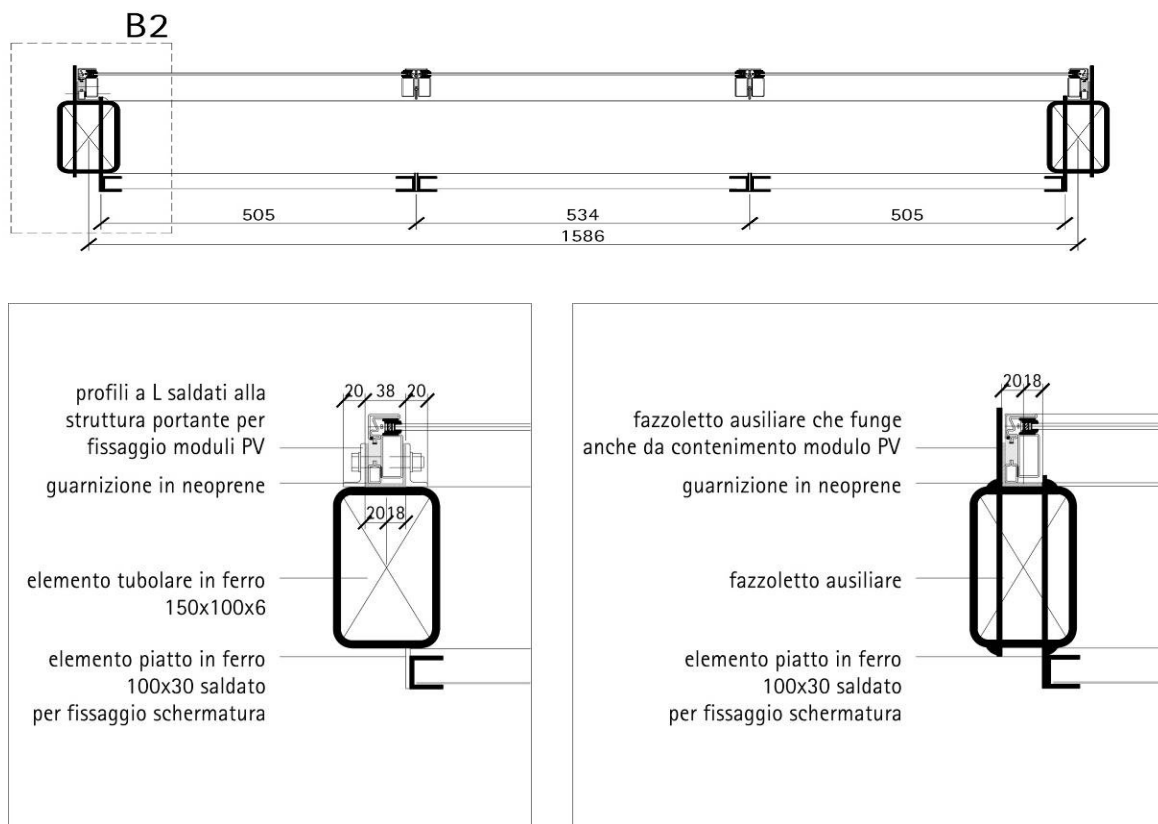


Figura 30 - Sezione trasversale e dettagli dell'ala di copertura.

4.2.2 – Assemblaggio della pensilina

I lati della pensilina, entrambi praticabili, accolgono due funzioni diverse: il lato posteriore accoglie il deposito delle biciclette elettriche mentre il lato frontale è predisposto per il parcheggio dei motorini. Ogni modulo autoportante prevede il posizionamento in copertura dei moduli fotovoltaici LSC per un totale di 24 moduli (144 pannelli LSC) con una superficie complessiva di 36 m². In verticale è previsto il posizionamento dei moduli fotovoltaici LSC in quattro porzioni della pensilina per un totale di 8 moduli (48 pannelli LSC) per una superficie di 12 m², posizionati sul lato OVEST (in fase di montaggio della pensilina, i moduli verticali sono stati posizionati sul lato EST per motivi di visibilità promossa da ENI). Le due porzioni rimanenti sono state adibite all'alloggiamento della strumentazione elettrica, uno schermo LCD per il monitoraggio del sistema e comunicazione delle informazioni e un pannello retroilluminato con il logo di ENI.

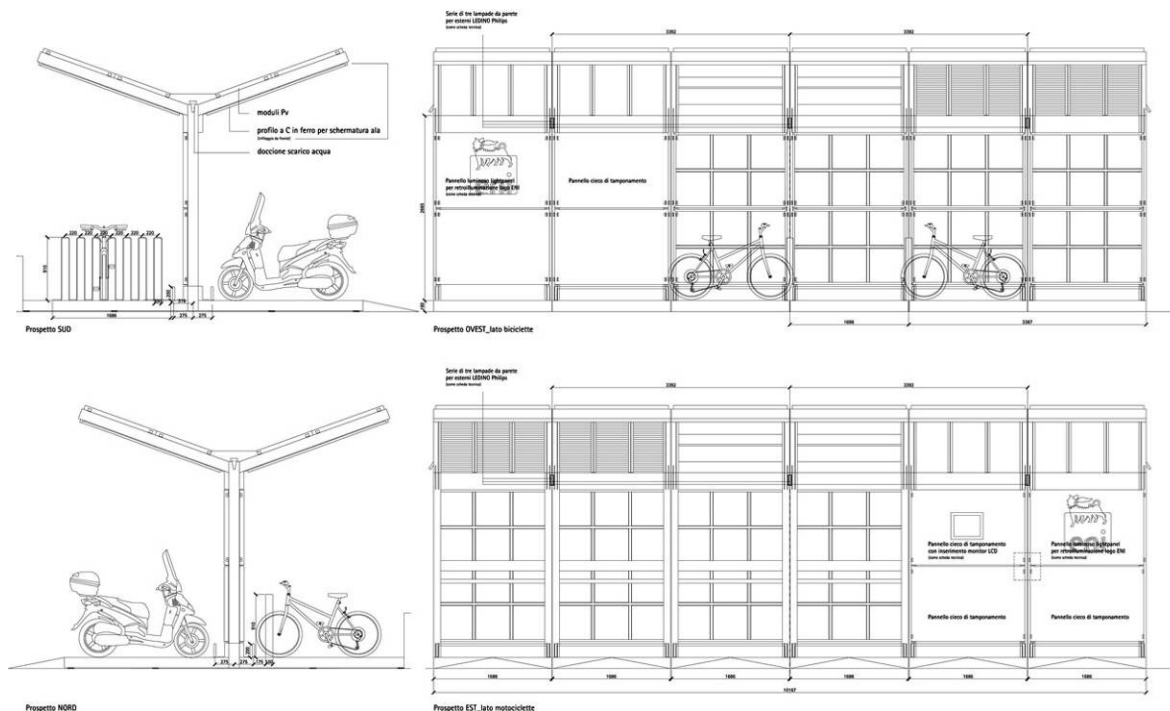


Figura 31 - Prospetti della pensilina.

In totale, la pensilina fotovoltaica LSC è composta da 32 moduli LSC dotati di celle in silicio monocristallino installate in tre diversi orientamenti ed inclinazioni:

Tipologia applicativa	Angolo di inclinazione ψ	Azimut superficiale γ	N° moduli	N° Stringhe
1	20°	-90°	12	6
2	20°	+90°	12	6
3	90°	0°	8	4

Tabella 9 - Caratteristiche delle diverse tipologie applicative.

4.2.3 - I moduli LSC– composizione e dimensionamento dell’impianto

I moduli LSC utilizzati sono della stessa tipologia studiata durante le prime fasi di progettazione dal Politecnico di Milano.

Le caratteristiche sono di seguito riportate:

- Ogni modulo è formato da sei pannelli LSC delle dimensioni di 50x50 cm. La struttura del modulo è composta da elementi in acciaio della produzione serramentistica. Il modulo ha dimensioni di 108,1x161,8 cm.

Infine, è stato effettuato il dimensionamento dell'impianto e dei diversi componenti. I valori minimi e massimi riportati in tabella delle diverse sezioni sono da ritenersi come limite inferiore e superiore all'interno del quale è possibile ritenere valida la configurazione impiantistica.

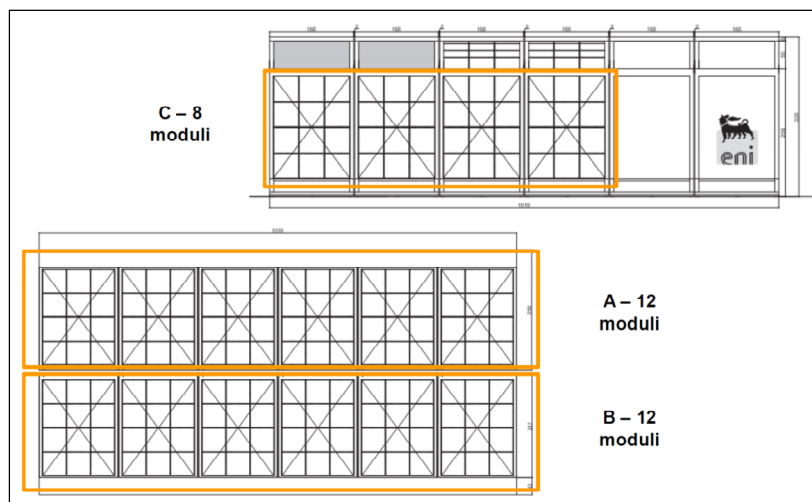


Figura 32 - Indicazione delle sezioni dell'impianto (A, B, C).

	Sezione C		Sezione B		Sezione A	
	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>
Tensione V_{MMP} [V]	48.00	47.04	48.00	47.04	48.00	47.04
Corrente I_{MMP} [A]	3.28	2.32	4.92	3.48	4.92	3.48
Corrente I_{sc} [A]	4.04	2.52	6.06	3.77	6.06	3.77
Potenza P_{MMP} [W]	157.44	109.13	236.16	163.70	236.16	163.70
Tensione V_{OC} [V]	64.08	60.00	64.08	60.00	64.08	60.00
Tensione $V_{OC} (-5^{\circ}C)$ [V]	64.84	60.76	64.84	60.76	64.84	60.76
Regolatore di carica	STECA MPPT 1010		STECA MPPT 2010		STECA MPPT 2010	
Tensione accumulatori [V]	12		12		12	
Inverter	STUDER XTM 1500-12					

Tabella 10 - Dati prestazionali relativi a ciascuna sezione impiantistica proposta

L'impianto in oggetto è di tipo stand-alone⁸ con funzionamento prevalente in isola rispetto alla rete elettrica di alimentazione. Considerando il carattere sperimentale del progetto e dei

⁸ Impianti fotovoltaici a isola (Stand Alone) – È un impianto al servizio di quelle utenze elettriche isolate da altre fonti energetiche, come la rete nazionale in C.A., che si riforniscono da un impianto fotovoltaico elettricamente isolato e autosufficiente

componenti utilizzati, è stata prevista un'alimentazione ausiliaria da rete elettrica che approvvigionerà l'utenza quando l'energia erogata dal generatore fotovoltaico e stoccata negli appositi accumulatori non risulterà sufficiente. Quindi, l'impianto è stato dotato di un inverter bidirezionale in grado di alimentare in corrente alternata i carichi elettrici della pensilina prelevando l'energia necessaria dagli accumulatori dell'impianto o dall'alimentazione di rete.

I moduli fotovoltaici sono collegati in serie a due a due formando un totale di 16 stringhe. Le stringhe sono raggruppate a loro volta in tre diverse sezioni (le due ali della pensilina e la parte verticale) collegate a loro volta in parallelo. Ogni sezione dell'impianto è collegata ad un apposito accumulatore elettrochimico attraverso un regolatore di carica dotato di logica di inseguimento del punto di massima potenza. I tre inverter presenti, a cui sono collegati i regolatori di carica sopra citati, convergono in un unico inverter che a sua volta provvede all'alimentazione dei carichi elettrici dell'utenza.

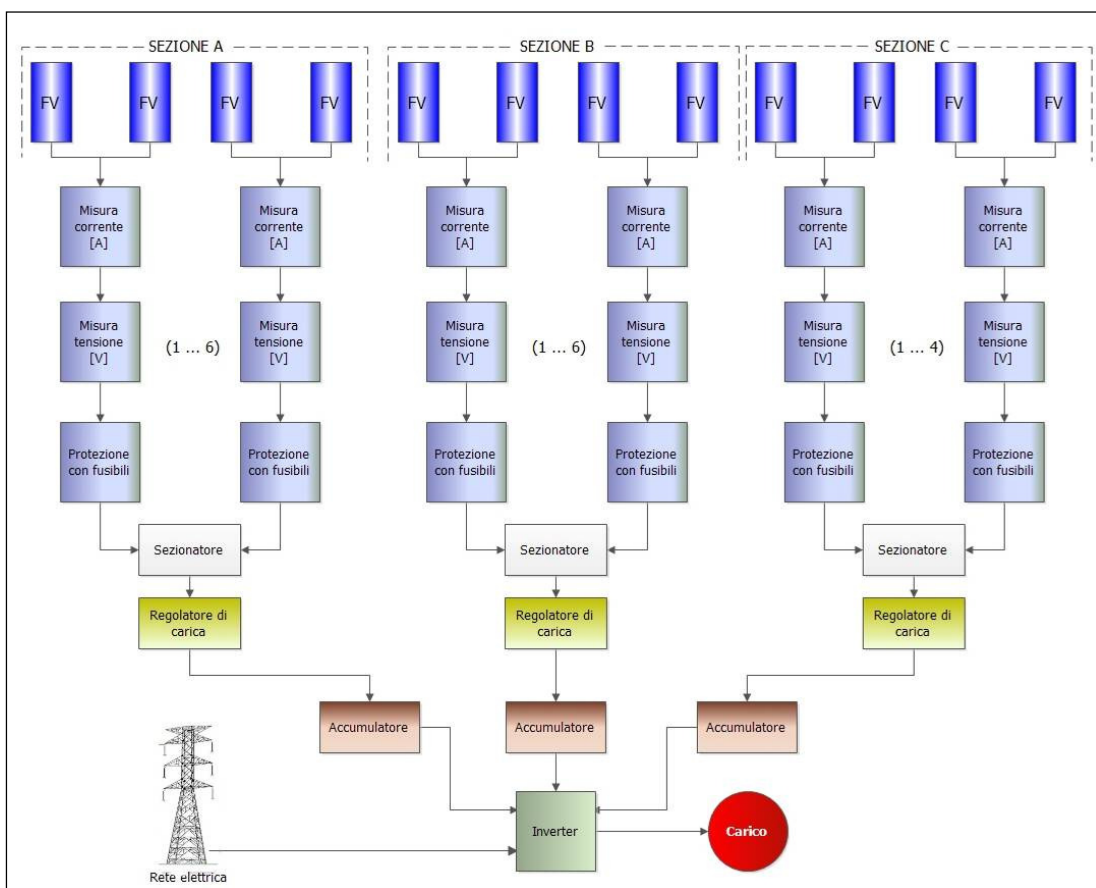


Figura 33 - Schema impiantistico di massima.

4.2.4 - Schermature solari

La pensilina è studiata in modo da poter accogliere nella parte inferiore della copertura diverse tipologie di schermatura solare. Profili metallici a C sono saldati alla struttura principale e al loro interno possono essere posizionati pannelli metallici o in policarbonato. Nelle sezioni di copertura (A e B) otto moduli sono installati senza elementi retrostanti, ad otto moduli è stato installato, nella parte retrostante, un sistema di diffusore bianco e, per gli otto moduli restanti, sempre nella parte retrostante, è installato un sistema di schermatura dalla radiazione solare a lamelle metalliche orizzontali. Nella sezione verticale (C) i moduli sono installati senza elementi di chiusura.

Questa soluzione è stata adottata per poter verificare i diversi rendimenti e comportamenti dei moduli LSC accoppiati con i diversi materiali operanti una riflessione della radiazione che attraversa gli elementi trasparenti.

La potenza di picco dell'impianto fotovoltaico è compresa tra $430 W_p$ e $630 W_p$ rispetto ai dati di Flash Test svolti sui pannelli.

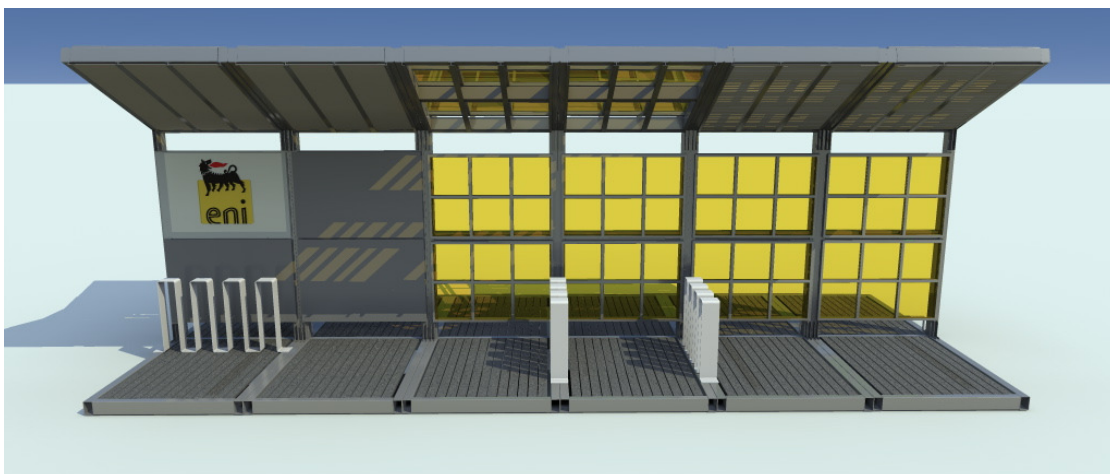


Figura 35 - Prospetto pensilina lato biciclette

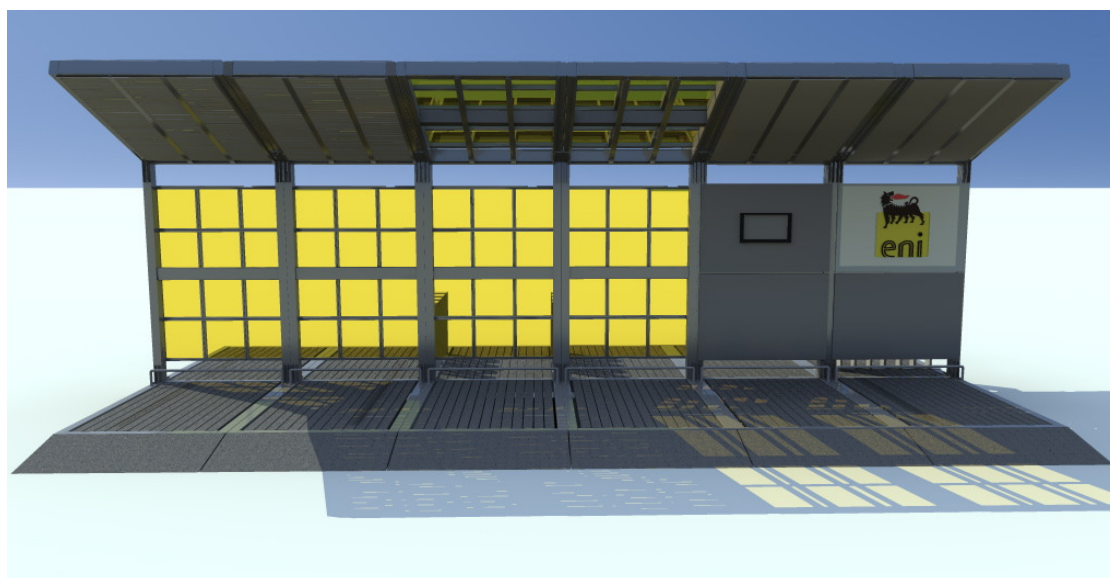


Figura 34 - Prospetto pensilina lato motociclette

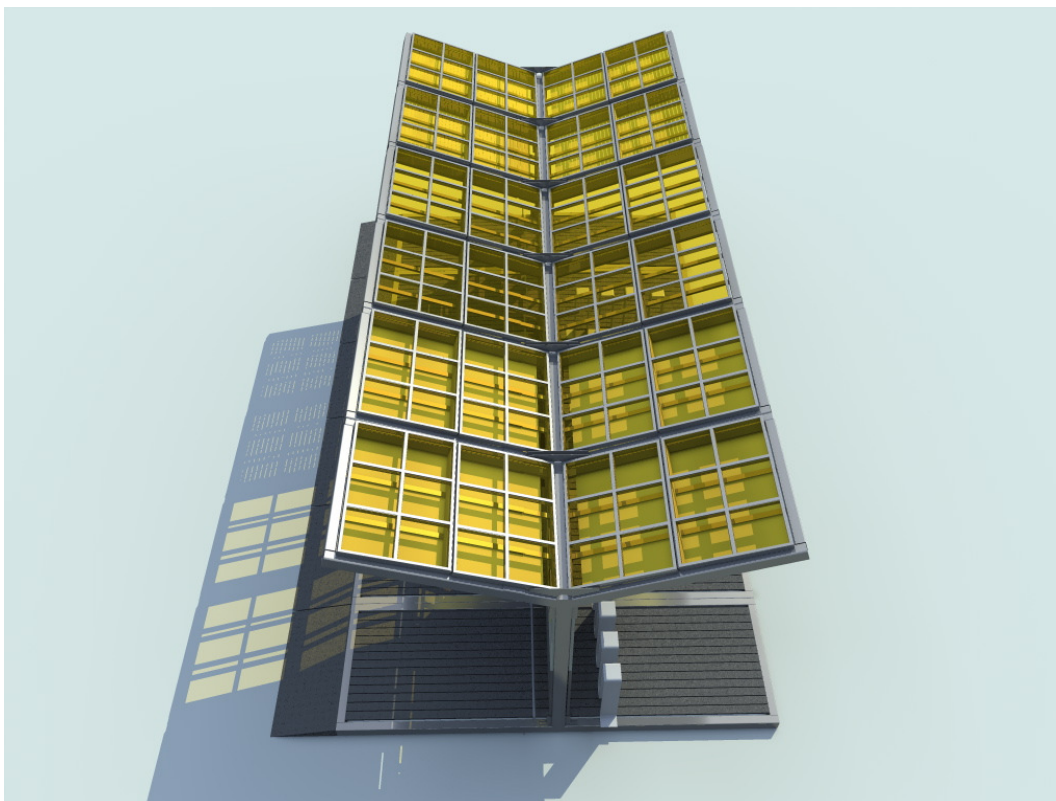


Figura 37 - Vista prospettica tetto pensilina

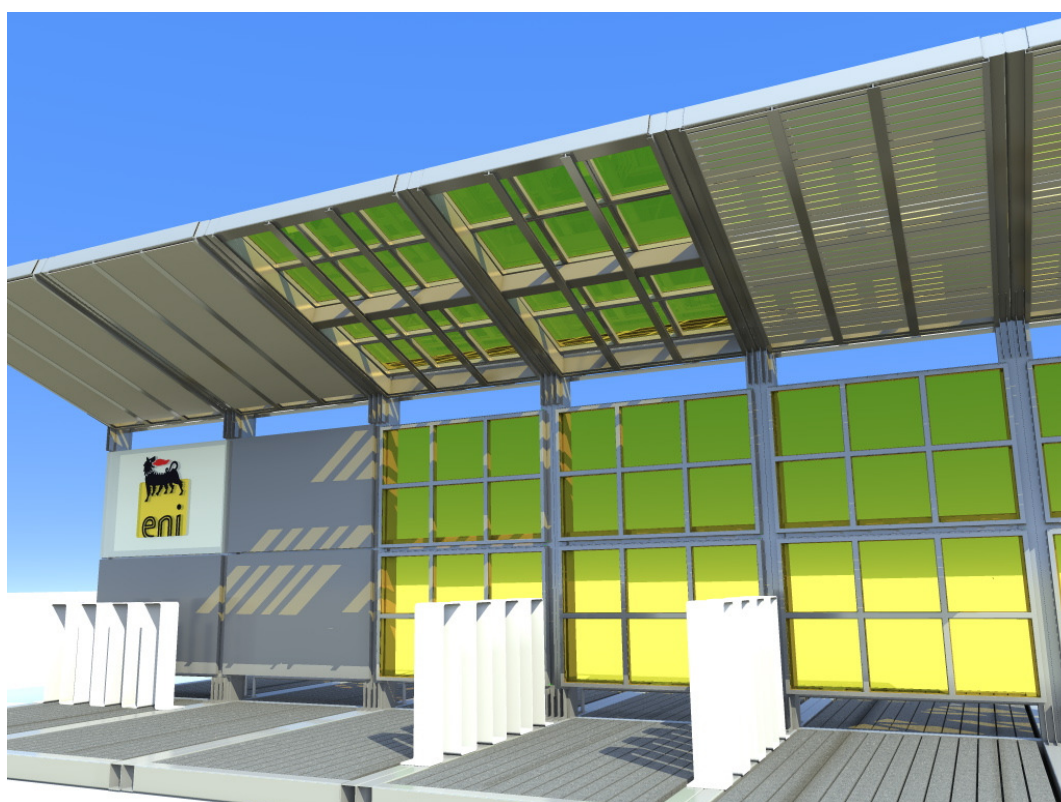


Figura 36 - Vista prospettica pensilina lato biciclette

4.2.5 - Stima della produttività elettrica dell'impianto

Al fine di valutare la produttività elettrica dell'impianto, il Dipartimento ABC del Politecnico di Milano, ha impiegato un modello di calcolo che utilizza la potenza di picco dei moduli misurati a STC ed un valore di Performance Ratio calcolato sulla base della configurazione tecnica considerata, ipotizzando l'applicazione di moduli fotovoltaici standard. Poiché non esistono dati di rilevamento di lungo periodo in condizioni outdoor del pannello LSC, per il calcolo della produzione totale, sono stati utilizzati i seguenti dati:

$$PR = 0,7;$$

$$P_{PVmin} = 430 \text{ kW}_p;$$

$$P_{PVmax} = 630 \text{ kW}_p.$$

L'energia producibile annualmente, quindi, è stata calcolata tramite le seguenti formule:

$$E_{PVmax} \text{ (totale)} = PR \cdot P_{PVmax} \cdot S$$

$$E_{PVmin} \text{ (totale)} = PR \cdot P_{PVmin} \cdot S$$

La produzione di energia elettrica totale, sommando la produzione di tutte le sezioni della pensilina, ammonta complessivamente a 416,35 kWh/anno assunto come valore minimo di potenza, e 567,75 kWh/anno come valore massimo.

CAPITOLO 5 – COLORE E LUCE IN ARCHITETTURA

Parallelamente alla progettazione della pensilina LSC, sono stati studiati ed analizzati i campi d'applicazione del pannello LSC negli edifici. Questa ricerca ha portato all'analisi di alcune architetture che utilizzano il colore come elemento decorativo e di caratterizzazione e allo studio della penetrazione della luce naturale negli ambienti interni.

La luce e il colore hanno sempre affascinato l'uomo il quale li ha sempre applicati in tutti gli ambiti di attività. Prima il colore sulle pareti delle caverne, poi sulla pelle, vestiti, arredi, fino ad arrivare a colorare gli edifici sia all'interno che all'esterno. Allo stesso modo la luce è stata fin da sempre utilizzata e manipolata dall'uomo; sia la luce naturale che quella proveniente dal fuoco, grazie a specchi e parabole realizzate nelle forme più varie per aumentare l'illuminazione che diventa una caratteristica di qualità degli spazi abitativi e del loro intorno.

Nel campo dell'illuminazione, grazie all'evoluzione tecnologica e l'utilizzo di software, negli ultimi trent'anni, si sono andate consolidando tecniche progettuali, tracce metodologiche e ruoli professionali che si occupano di illuminotecnica e light design. Per quanto riguarda l'uso e lo studio del colore, non si è verificata un'evoluzione così marcata ma è stato mantenuto un approccio sostanzialmente estetico e percettivo. Negli ultimi anni, la crescente evoluzione scientifica e tecnologica, ha aperto importanti strade verso una maggior conoscenza dei fenomeni percettivi e psico-fisici.

Al fine di progettare ambienti dove luce e colore collaborino tra di loro andando a creare luoghi dove l'uomo possa svolgere le proprie funzioni nel migliore dei modi, è necessario considerare a fondo che la luce emessa da sorgenti artificiali e naturali e nuovamente riemessa dalle superfici che investe e che danno luogo alla sensazione cromatica, sono alla base dell'evoluzione oltre ad essere fattori fondamentali per il nostro equilibrio e benessere psicofisico. E' la continua comparazione tra dato fisico, psicologico e culturale la base della quale può partire per il progetto del colore e dell'illuminazione.

5.1 - Il colore in architettura

Il colore fornisce una rappresentazione del mondo esterno ma non ne è una caratteristica intrinseca. Il colore è una sensazione cerebrale che si unisce alla complessità della percezione, interagendo con il nostro atteggiamento fisiologico e psicologico attraverso il filtro della cultura, dei sentimenti, delle attese conscie e inconscie.

Quindi, il colore è un aspetto importante della nostra quotidianità, è un valore immateriale che interessa tutto ciò che ci circonda; tecnicamente è il frutto della riflessione della luce su una superficie però, nella realtà, il colore rivela aspetti molto più complessi. E' oggetto di diverse discipline; dalla psicologia alla cromoterapia, che ne studiano gli effetti terapeutici sull'uomo, per arrivare alla grafica che ne indaga le proprietà comunicative. In architettura il

colore può amplificare e sottolineare gli spazi, definire i singoli elementi ma può anche diventare parte stessa dell'opera: non solo ornamento e finitura di superfici ma vero linguaggio architettonico cambiando la percezione degli spazi e influenzando la percezione e i sentimenti dell'utente.

Sia l'architettura contemporanea che quella storica mostrano numerosi esempi di manufatti dove il colore è parte integrante dell'opera stessa.

Da sempre i colori hanno avuto il compito di richiamare stati d'animo ed emozioni. Dall'antichità fino all'affacciarsi del Neoclassicismo, il colore non solo è stato solo scelto secondo scopi ornamentali, simbolici, rappresentativi o sentimentali ma anche per rispondere ad esigenze percettive d'insieme. Ogni architettura è sempre stata pensata e realizzata tenendo in considerazione l'aspetto cromatico, una presenza impossibile da evitare poiché facente parte della vita di ciascun individuo. Siamo talmente abituati a pensare ad un'architettura monocroma, che è difficile immaginare, anche se ne siamo perfettamente al corrente, che il Partenone e l'architettura greca in genere fossero, in realtà, assolutamente policromi, in un mischiarsi di tinte differenti per dare gradazione ai fondi e staccare più sensibilmente i bassorilievi e gli altri elementi decorativi. Negli anni '60 venne riconosciuto il valore simbolico-sociale del colore e, non meno importante, la sua influenza sulla psicologia dell'uomo. Nella progettazione architettonica il colore è un elemento importante e può costituire una modalità tramite la quale, oltre ad ampliare le caratteristiche degli spazi, delle superfici e dei corpi solidi, è possibile connotare il linguaggio della stessa architettura. I colori (ed il tipo di luce che i colori stessi generano) possono diventare componenti dell'architettura al pari di qualunque altro materiale che definisce i volumi, il pieno e il vuoto, gli spessori e le superfici, i contatti e le separazioni. La loro presenza (o assenza) può contribuire ad aggiungere qualità percettive allo spazio e alle dimensioni, manipolare la fisicità, connotare i volumi dei corpi rivelando ciò che aspetta di essere svelato. È interessante notare come il colore applicato in ambito architettonico, sia per quanto riguarda gli spazi privati che quelli urbani, abbia assunto, nel corso degli ultimi anni, il carattere di colore "progettato". Colore è visto quindi come progetto, come colore pensato, ragionato e non frutto di semplice decorazione murale.

Oggi il colore è uno degli elementi principali della progettazione e architetti come Sauerbruch Hutton, Bernard Buhler, Italo Rota e Roger Diener, utilizzano lastre colorate come filtro o seconda pelle dei loro edifici. Grazie a soluzioni progettuali diverse, con l'utilizzo di lastre colorate, si riesce sia a dare un elemento caratterizzante l'edificio, sia a modificare la luce interna andando a creare degli ambienti con una luce naturale adatta alla funzione che vi si svolge.

Al fine di capire a pieno dove e come gli architetti contemporanei utilizzano lastre colorate per l'involucro degli edifici, è stata condotta un'accurata ricerca andando a studiare e analizzare diversi edifici e i luoghi dove i pannelli vengono utilizzati, il tipo di ancoraggio all'edificio e la loro funzione. Sono state individuate diverse categorie e tipologie le quali, nella maggior parte dei casi, entrano in relazione tra di loro creando giochi di luce e colore sia all'interno che all'esterno degli edifici.

Categorie e tipologie individuate



Doppia pelle



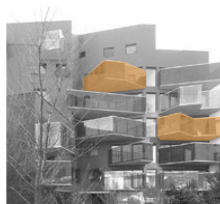
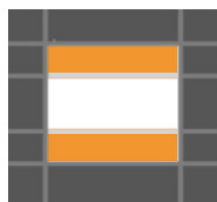
Schermo verticale



Elementi orizzontali



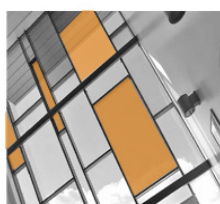
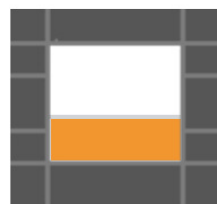
Sopraluce/Sottoluce



Box/Serra



Parapetto balcone



Disposizioni modulare discontinua



Disposizioni modulare omogenea

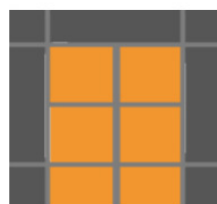


Figura 38 - Immagine e schema delle categorie e tipologie individuate

"Arc en Ciel" - Arch. Bernard Buhler Architects - Bordeaux (Francia), 2010

1

L'edificio Arc en Ciel di Bernard Buhler Architects si distingue dai suoi dintorni con una forma sinuosa, colorata, la cui funzione è ambigua. Potrebbe essere una scuola o una biblioteca, ma anziché civico, il suo scopo è residenziale e commerciale. Forma un ancoraggio visivo per una zona pedonale intensamente trafficata, creando una continuità con il contesto urbano. L'edificio che accoglie circa quaranta appartamenti e diversi uffici, è sviluppato su 6 livelli e appare composto da 3 strati: a pian terreno una griglia metallica avvolge e nasconde un parcheggio seminterrato da circa trenta posti auto. La griglia verrà gradualmente coperta da piante rampicanti. Il primo piano, completamente vetrato, accoglie gli uffici. I restanti 4 piani sono protetti da fasce di vetro colorato STADIP. Dei cubi colorati, estensioni di terrazzi o appartamenti, sporgono dalla facciata e rompono il ritmo degli elementi vetrati.



Doppia pelle

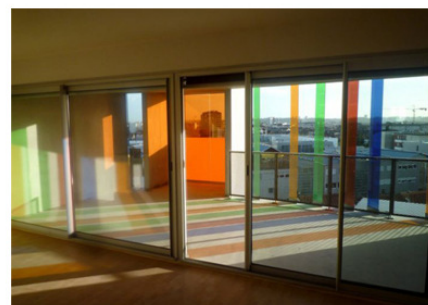
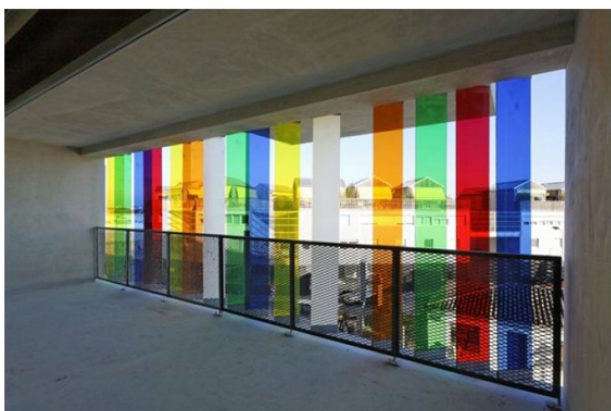


Schermo verticale

Materiale usato: Vetro colorato STADIP (Vetro-PVB colorato-Vetro)

Luoghi utilizzo: Corridoi esterni, Balconi. Per gli uffici il vetro è trasparente

Aggancio: Metallico alle estremità con possibilità di rotazione degli elementi



Riferimento 1 - "Arc en Ciel" - Arch. Bernard Buhler Architects - Bordeaux (Francia), 2010

“Centro Sportivo Infantile” - Arch. KOZ Architects - Saint-Cloud (Francia), 2009

2

Il nuovo centro sportivo e ludico traduce in audace landmark un’architettura dedicata ai bambini. Nella costruzione-giocattolo i colori dei vetri di facciata rimandano ai colori degli ambienti interni e ogni differenziazione cromatica è mezzo di orientamento spaziale per i bambini. L’architettura per l’infanzia possiede una finalità didattica che carica il progetto di grandi responsabilità, non solo verso i piccoli fruitori ma anche verso il quartiere che lo accoglie. L’immagine compatta, ottenuta con pannelli prefabbricati in cemento, è smaterializzata dal ritmo dei tamponamenti di facciata a moduli vetriati colorati e traslucidi. Se l’involucro appare monocromo e unitario, i colori dei vetri sono studiati per indicare anche all’esterno le diverse zone di fruizione. I passaggi cromatici dei moduli di facciata, dai rossi, ai gialli ai verdi, sono resi come se fossero stati dipinti a strisce dai bambini, anche sbordando dai loro contorni fino alle ringhiere che delimitano i percorsi di ingresso. Accentua la chiave di lettura della costruzione-giocattolo lo scavo al centro del volume, funzionale a convogliare ai piani una grande quantità di luce naturale, grazie all’aggiunta di elementi vetriati trasparenti.



Doppia pelle

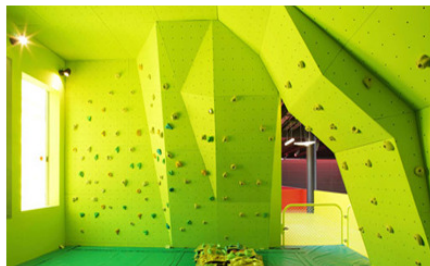
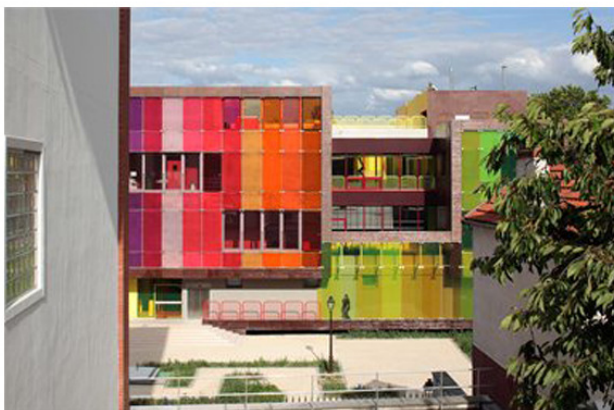
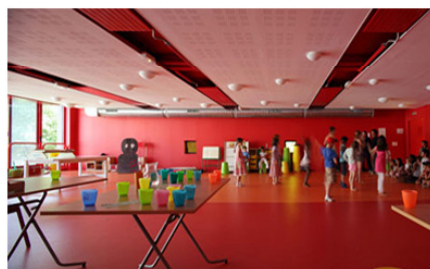


Disposizioni modulare omogenea

Materiale usato: Vetro colorato stratificato

Luoghi utilizzo: Rivestimento in facciata nelle parti opache

Aggancio: Morsetti metallici ancorati alla struttura sottostante

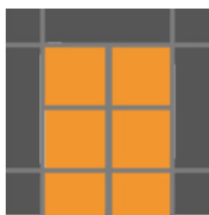


Riferimento 2 - “Centro Sportivo Infantile” - Arch. KOZ Architects - Saint-Cloud (Francia), 2009

Il complesso per uffici di Sauerbruch e Hutton, denominato MAC 5-7, perfeziona le tecniche espressive di un maturo pensiero architettonico e declina alla specificità del complesso. Le facciate curtain wall è pensata per dare risalto all'andamento verticale dei fabbricati, con moduli lineari alti 4 m e larghi 1,5 m, ripartiti ulteriormente in sottomoduli; una soluzione formale ma anche tecnologica che consente il risparmio energetico del 50%, se paragonata ad una costruzione tradizionale e consiste, per tutti i livelli che ospitano gli uffici, in una facciata a doppia pelle e intercapedine ventilata, composta da cellule montate su profili di alluminio prodotti ad hoc. La parte interna è costituita da una fascia di parapetto fissa rivestita con materiale fono assorbente. La pelle esterna è composta da lastre vitree serigrafate sul retro; le fasce superiori di ogni modulo sono orientabili di 135 gradi elettronicamente. Le 35 gradazioni di colore sono state selezionate secondo lo scandinavo “Natural Color System” (Istituto scandinavo per i colori) e si accordano sulle tonalità base di rosso, verde e blu.



Doppia pelle

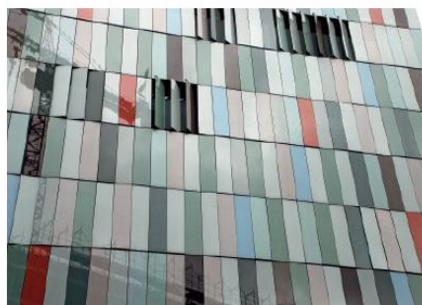


Disposizione modulare omogenea

Materiale usato: Lastre vitree serigrafate sul retro

Luoghi utilizzo: Uffici, Sale riunione

Aggancio: Metallico alle estremità con possibilità di rotazione degli elementi



Riferimento 3 - “Maciachini Center, MAC 5-6-7” - Arch. Sauerbruch Hutton - Milano (Italia), 2009

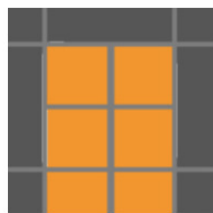
“Mediateca Sandro Penna” - Arch. Italo Rota - San Sisto (PG), (Italia), 2010

4

L'edificio è in parte interrato, sfruttando la naturale pendenza del terreno ed in parte emerge come se un grande disco fosse atterrato nella città. Lo spazio al primo livello è destinato ad accoglienza, con dotazione di computer portatili agli utenti, uffici e ad area dei periodici, emeroteca, con poltrone e tavolini. Da questo spazio si può accedere al teatro, con una sala per 250 posti, che ha comunque il suo ingresso principale. Il secondo livello accoglie la parte più consistente dei libri, che sono contenuti nella grande libreria circolare centrale accessibile dall'interno e dall'esterno, tramite un ballatoio vetrato, da cui si ha la visione di tutto lo spazio centrale, fino ai grandi lucernari a oblò che illuminano il cuore dell'edificio. Per quello che riguarda l'illuminazione, si è scelto di sfruttare al massimo la luce naturale, filtrata attraverso le vetrate rosa, colore rilassante e che favorisce la concentrazione, e quella zenitale dei lucernari, integrata da un lato dall'illuminazione con disegno a raggiera con specifici apparecchi che assicurano omogeneità sul piano di studio.



Doppia pelle

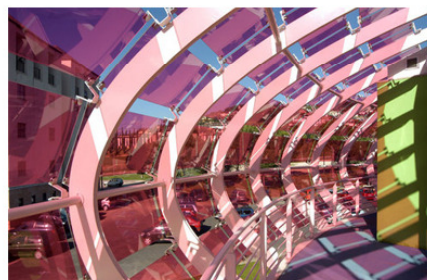


Disposizione modulare omogenea

Materiale usato: Vetri temperati e colorati

Luoghi utilizzo: Sala lettura, biblioteca

Aggancio: Pinze metalliche negli angoli



Riferimento 4 - “Mediateca Sandro Penna” - Arch. Italo Rota - San Sisto (PG), (Italia), 2010

Dall'esterno l'edificio segna l'entrata del Campus e la facciata rispecchia la sua posizione preminente nel complesso. L'edificio si affaccia su parchi e aree verdi da due lati e sulla piazza, sul lato nord. Un aspetto caratterizzante l'edificio è il singolare aspetto esterno della facciata, composto da lastre policrome di vetro, disposte a più strati. Osservate da lontano, sembra che le singole lastre di vetro colorato si muovano, modificando costantemente l'aspetto della costruzione. L'edificio ha due facciate vetrate, una pelle interna chiusa finestrata e una di rivestimento aperta verso l'esterno, separate da una loggia. La sovrapposizione dei vetri avviene su tre livelli, e l'adattamento dei vetri colorati si sviluppa secondo l'intensità dei toni e del programma spaziale.



Doppia pelle

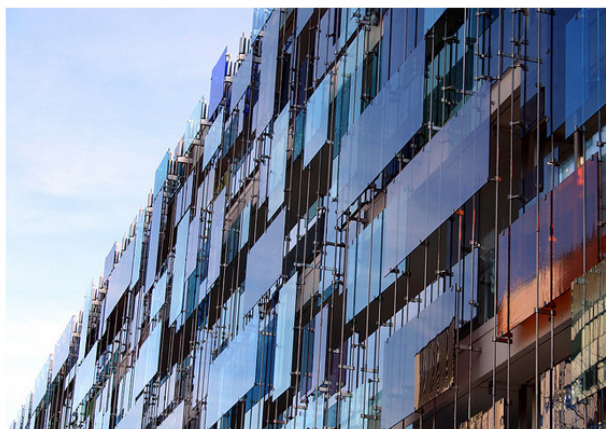


Disposizioni modulare discontinua

Materiale usato: Vetro colorato (Vetro trasparente + vetro colorato SCHOTT)

Luoghi utilizzo: Seconda pelle in vetro per uffici, bar, ristorante

Aggancio: Morsetti metallici sul perimetro fissati su aste in acciaio pretese



Riferimento 5 - "Novartis Campus, Forum 3" - Arch. R. Diener, H. Federle, G. Wiederin - Basilea (Svizzera), 2001

“The Wit Hotel” - Arch. Jackie Koo - Chicago (U.S.A.), 2001

6

La facciata in vetro è un elemento unico che si distingue subito grazie alla lama in vetro gialla che con un andamento a zig-zag, parte dalla base e arriva fino la fine dell'edificio attraversando diversi ambienti come le camere da letto, il ristorante e il centro benessere. Il design della facciata riflette l'estetica emozionante del quartiere dove è posizionato il The Wit: il quartiere dei teatri di Chicago. La lama a zig-zag ricorda le luci lampeggianti all'ingresso dei teatri, elemento che ha aiutato The Wit a diventare un luogo di primo piano per i turisti e gli utenti locali.

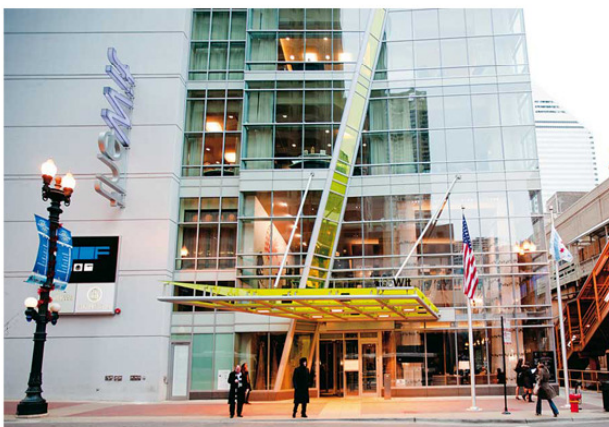


Schermo verticale

Materiale usato: Vetro stratificato con PVB colorato

Luoghi utilizzo: Reception, camere da letto, ristorante, bar, centro benessere

Aggancio: Serramento in alluminio



Riferimento 6 - “The Wit Hotel” - Arch. Jackie Koo - Chicago (U.S.A.), 2001

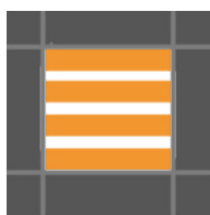
"Parkhaus Auto Garage" - Arch. Kny & Weber - Berlino (Germania), 2008

7

Allo studio di architettura Kny & Weber è stata assegnata la pianificazione sia del parcheggio che del blocco uffici. L'obiettivo principale degli architetti è stato quello di organizzare le funzioni del garage con l'utilizzo ottimale delle aree preesistenti, garantendo l'integrazione armonica delle gallerie di negozi e del blocco uffici. La facciata del parcheggio è molto espressiva e colorata. I colori animano l'aspetto del garage e si armonizzano con i colori dell'adiacente "Municipio Rosso" (così chiamato per la sua facciata in mattoni rossi).



Schermo verticale

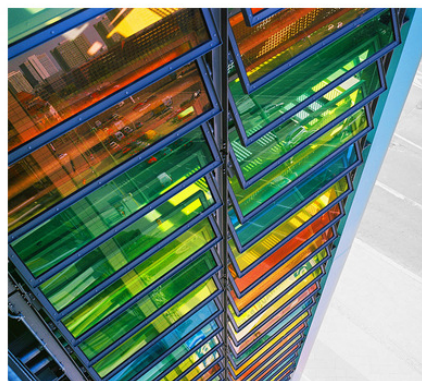
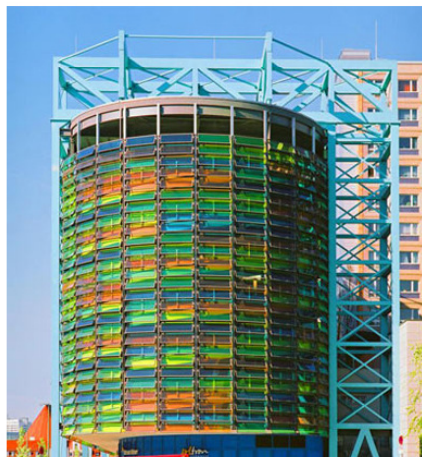


Elementi orizzontali

Materiale usato: Vetro stratificato con PVB colorato

Luoghi utilizzo: Garage

Aggancio: Serramento in alluminio

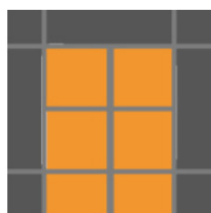


Riferimento 7 - "Parkhaus Auto Garage" - Arch. Kny & Weber - Berlino (Germania), 2008

La natura nelle sue varie forme è sempre stata una costante fonte di ispirazione per l'uomo. Il cielo con i suoi vari e sempre mutevoli colori è uno degli elementi più dinamici della natura, ed è ciò che ha ispirato la facciata di questo edificio. Il vetro colorato della facciata non segue nessuno schema ripetitivo ed è il simbolo della natura imprevedibile del cielo. Esso rappresenta anche la vitalità dei giovani d'oggi. La facciata dona una identità unica al progetto ed è il primo del suo genere ad essere costruita in India. Situato in una zona con un tessuto urbano molto denso, la pianificazione si è spostata verso un progetto lineare. Sono stati fatti particolari sforzi per garantire la creazione di spazi non monotoni che non seguono il modello lineare previsto. La facciata in vetro cromatico riduce l'accumulo di calore all'interno, inoltre, diventa più dinamica di notte quando le luci interne si accendono creando un effetto ipnotico sulla piazza sottostante. Gli spazi di circolazione sono stati creati lungo la facciata in vetro curvato, consentendo l'illuminazione naturale di giorno conferendo un aspetto più interessante e dinamico.



Schermo verticale

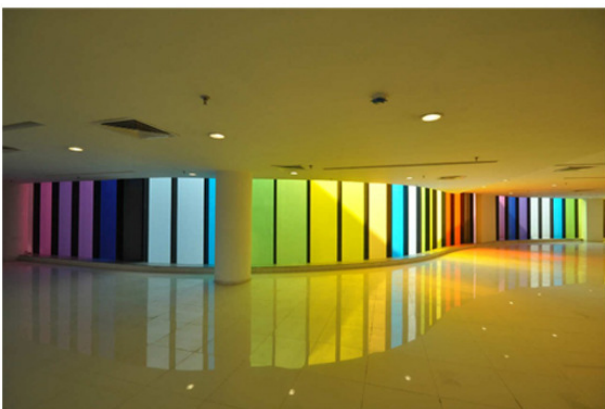


Disposizioni modulare omogenea

Materiale usato: Vetro stratificato con PVB colorato Stadip

Luoghi utilizzo: Luoghi di passaggio

Aggancio: Cornice in alluminio



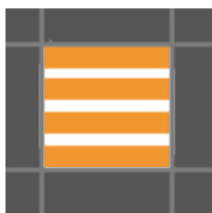
Riferimento 8 - "International Management Institute" - Arch. Abin Design Studio - Calcutta (India), 2010

"The Reece School" - Arch. Platt Byard Dovell White Architects - New York (U.S.A.), 2007

9

Dopo aver abbandonato la facciata in mattoni in cui la scuola ha iniziato e maturato il suo programma, la Reece School affida a Platt Byard e Dovell White la progettazione di una nuova struttura sulla East 104 Street, progettata e organizzata per rispondere alle esigenze specifiche dei bambini.

La facciata è uno schermo in vetro colorato, creato per una scuola con bambini che hanno bisogni speciali. La facciata cattura il sole per portare grandi macchie di colore all'interno delle aule creando giochi di luce. L'edificio contiene anche gli uffici, una palestra, una sala d'arte e una terrazza all'aperto.



Elementi orizzontali



Disposizioni modulare discontinua

Materiale usato: Vetro stratificato con PVB colorato

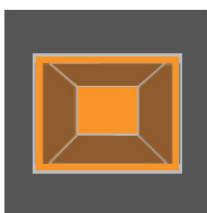
Luoghi utilizzo: Classi scolastiche

Aggancio: Serramento in alluminio



Riferiment 9 - "The Reece School" - Arch. Platt Byard Dovell White Architects - New York (U.S.A.), 2007

Gli attici di via Doberdò a Milano sono pensati come elemento di rottura in un paesaggio prettamente industriale. Un condominio lontano dalle consuete logiche dell'abitare, un groviglio di vetrate, volumi che appaiono quasi scomposti tra loro, aperture e colori che contengono ogni sorta di dimensione abitativa, dal monolocale, all'interno di medie dimensioni fino al superattico caratterizzato da ampie terrazze che si affacciano sul paesaggio esterno. Le quattro direzioni cardinali vengono scandite da caratteristiche uniche della struttura; mentre a nord si trovano affacci inseriti in un disegno di pannellature metalliche rivolte verso le proprietà confinanti, a sud ampie vetrate accolgono la luce filtrata da griglie metalliche che fungono al contempo da brise soleil. La facciata viene interrotta dai "cubi serra" di diversi colori che si affacciano nel vuoto; la varianza materica a ovest alterna aperture calibrate e oggetti all'interno di pareti rivestite in lamiera piena rossa, gialla e blu disegnata come un patchwork che gradualmente si sgretola verso sud, mentre a est si alternano vetrate e aperture irregolari.

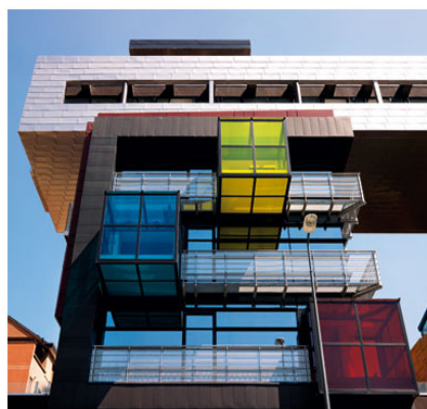


Box/Serra

Materiale usato: Vetro stratificato e colorato

Luoghi utilizzo: Serra adiacente sala da pranzo

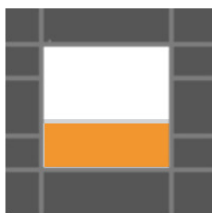
Aggancio: Serramento in alluminio "Mirawall"



Riferimento 10 - "Attici di via Doberdò" - Arch. ARKPABI - Milano (Italia), 2009

Per creare una forte presenza visiva, John Curran ha voluto avvolgere gli edifici in una superficie "liquida" formata da acciaio e vetro. Allo stesso tempo, ha creato una galleria soprannominata il 'Shanghai Chandelier', che contiene dei giardini pensili.

La progettazione architettonica del terminale considera la scala erculeo delle navi da crociera che attraccheranno. Le facciate in vetro che creano una seconda pelle all'edificio, rimandano al tema delle increspature dell'acqua che avvolgono l'edificio. Allo stesso tempo, questa seconda pelle, crea un riparo al percorso pedonale al piano terra. All'interno si innestano i balconi degli uffici con i loro parapetti in vetro colorato ben visibili dall'esterno soprattutto durante la notte grazie ai giochi di luce.

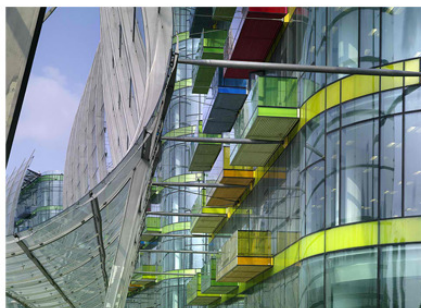


Parapetto balconi

Materiale usato: Vetro stratificato con PVB colorato

Luoghi utilizzo: Balconi degli uffici

Aggancio: Serramento in alluminio

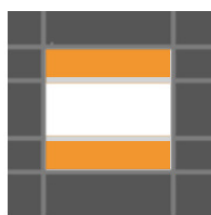


Riferimento 11 - "International Cruis Terminal" - Arch. John Curran - Shanghai (Cina), 2010

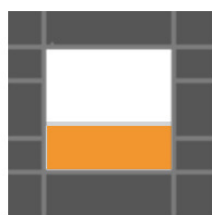
“Pantone Hotel” - Arch. Michel Penneman + Oliver Hannaert - Bruxelles (Belgio), 2010

12

Pantone Inc ha iniziato 45 anni fa ad introdurre il suo rivoluzionario sistema di corrispondenza dei colori che ha permesso ai progettisti di riprodurre il colore esatto ovunque nel mondo. Pantone Inc ha deciso di costruire un hotel come parte della nuova campagna "Pantone Universe". Progettato da Michel Penneman e Oliver Hannaert, l'hotel incarna pienamente la società, come "l'albergo dei colori" e mette in mostra il colore delle emozioni con un colore distintivo per ogni piano. L'hotel è stato progettato sulla base di contrasti e utilizza uno sfondo bianco come fosse una tela. Ogni livello dei sette piani offre una tavolozza di colori diversi. Le combinazioni di colori variano da "allegro, caldo" a "fresco, ansioso".



Sopraluce/Sottoluce

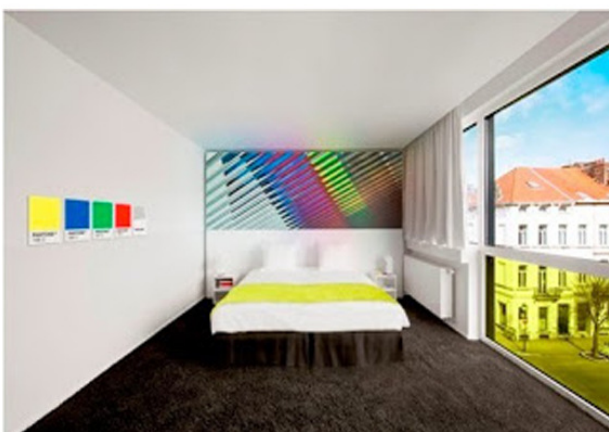
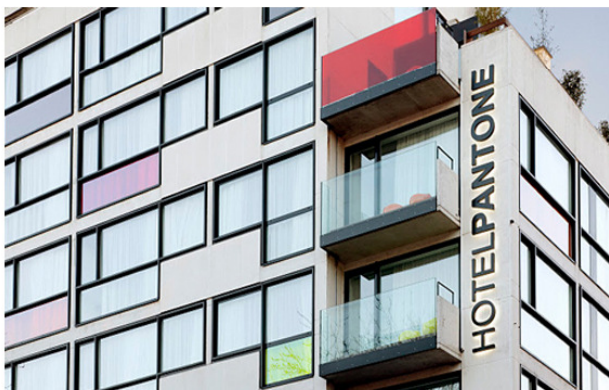


Parapetto balconi

Materiale usato: Vetro stratificato con PVB colorato

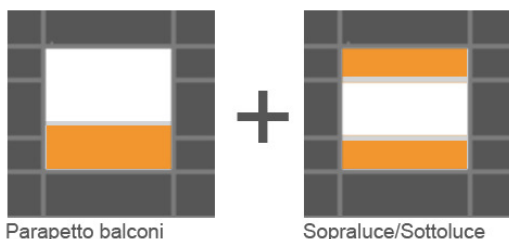
Luoghi utilizzo: Camere da letto, balconi

Aggancio: Serramento in alluminio



Riferimento 12 - “Pantone Hotel” - Arch. Michel Penneman + Oliver Hannaert - Bruxelles (Belgio), 2010

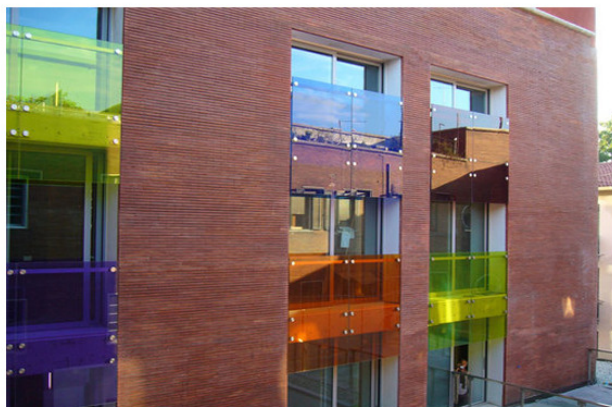
La “Centrale Mazzoni” ex centrale termica della stazione ferroviaria, progettata e costruita negli anni '30 dall'Architetto e Ingegnere “futurista” Angiolo Mazzoni, è uno di questi edifici novecenteschi, di grande valore formale e simbolico, presenti nel tessuto della Città Antica. Edificio arrivato ai giorni nostri in stato di abbandono, sotto forma di un grande scatolone vuoto. Le facciate scrupolosamente conservate dal progetto di restauro, come testimonianza della rivoluzione industriale Veneziana, nascondono il cuore “organico” del progetto di recupero. Ogni finestra è mediata da un colore diverso, così come ogni parapetto, attraverso una combinazione che non dà punti di riferimento, impedendo al nostro cervello di razionalizzare, occupando impropriamente con la razionalità lo spazio proprio delle sensazioni. I vetri colorano la luce, anche quella artificiale durante le ore notturne ma sono anche specchio riflesso per il contesto circostante e a sua volta hanno la possibilità di specchiarsi loro stessi sull'acqua. Il vetro è parte fondativa della tradizione industriale di questa città. Il rosso del mattone ed il bianco della Pietra d'Istria, l'uso del colore nel progetto si relaziona con la materia costitutiva stessa della città.



Materiale usato: Vetro stratificato con PVB colorato

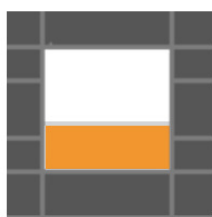
Luoghi utilizzo: Balconi degli uffici

Aggancio: Aggancio Spider



Riferimento 13 - “Centrale Mazzoni” - Arch. Gruppo FON Architetti - Venezia (Italia), 2010

I prospetti sono diversi su ogni lato e dialogano col rispettivo affaccio. Sul fronte d’ingresso dell’edificio abbiamo uno sviluppo prettamente orizzontale, mentre nel retro abbiamo uno sviluppo e un equilibrio puntuale. Sul fronte principale si contrappongono i volumi negativi della parte centrale del prisma che danno vita alle logge dei singole appartamenti. A sovvertire l’andamento di pieni e vuoti c’è la forte presenza del balcone lineare posto al piano primo e secondo, col parapetto in vetro colorato rosso trasparente. L’enfatizzazione di questi nastri rossi chiusi all’interno di una cornice bianca è filtrata da una seconda pelle dettata dalla presenza di Brise-soleil. Nel prospetto del retro l’equilibrio è dettato esclusivamente dalle mensole dei balconi che con la loro diversa profondità e larghezza sono tenuti insieme dal giusto equilibrio dettato dal colore dei vetri dei parapetti che cambiano da balcone a balcone.



Parapetto balconi

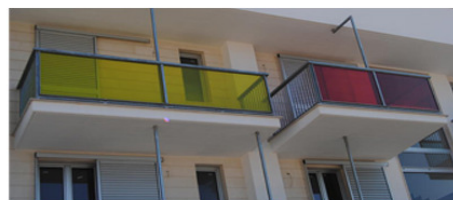


Schermo verticale

Materiale usato: Vetro stratificato con PVB colorato

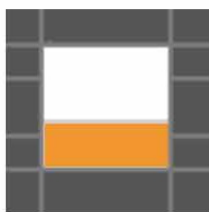
Luoghi utilizzo: Balconi, camere da letto

Aggancio: Cornice in alluminio



Riferimento 14 - “ Die Dans Van Kleur ” - Arch. Salvatore Gentile - Manfredonia (Italia), 2011

Il complesso di appartamenti WoZoCo, conosciuto anche come Oklahoma, è un sistema residenziale dedicato a persone oltre i 55 anni di età e si trova nell'area sud-ovest di Amsterdam. L'idea di progetto è sempre stata quella di realizzare un edificio con tipologia a ballatoio che ospitasse cento unità familiari ma il piano vigente non consentiva ciò senza privare gli edifici che sorgevano nelle vicinanze della corretta esposizione solare. Non potendo aumentare la profondità del corpo di fabbrica fu adottata una soluzione estrema: realizzare le 13 unità abitative rimanenti totalmente a sbalzo lungo la parete nord dove sono collocati i ballatoi. Nonostante una certa uniformità, la facciata Sud offre ai residenti un senso di individualità, carattere e diversità attraverso la varietà di colori, dimensioni e le posizioni dei balconi e delle finestre.



Parapetto balconi

Materiale usato: Vetro stratificato con PVB colorato

Luoghi utilizzo: Balconi

Aggancio: Cornice in alluminio



Riferimento 15 – "WoZoCo" – Arch. MVRVD – Amsterdam (Olanda), 1997

5.2 - La luce in architettura

La luce è energia radiante elettromagnetica che l'occhio umano è capace di percepire. Le radiazioni visibili dall'occhio umano occupano solo una minima parte dell'estesa gamma di lunghezze d'onda che costituiscono l'intero spettro delle onde elettromagnetiche: la banda visibile è compresa tra i 380 e i 780 nm.

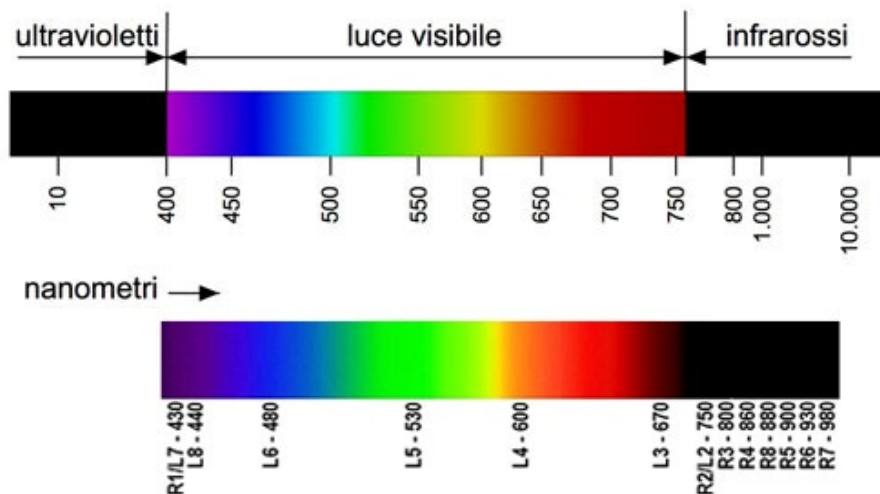


Figura 39 - Tipologie di radiazione luminosa

Alle differenti lunghezze d'onde appartenenti alla banda visibile dall'occhio umano, il cervello associa colori diversi che vanno dal rosso, per le lunghezze d'onda maggiore, al violetto, per le lunghezze d'onda minori. Le frequenze al di fuori della lunghezza d'onda visibile, vengono chiamate “Ultravioletto” (UV), per le alte frequenze, e “Infrarosso” (IR), per le basse. Anche se queste radiazioni non sono visibili dall'occhio umano, esse provocano effetti di vario genere su persone ed oggetti.

La natura della luce è di tipo ondulatorio e può essere rappresentata mediante curve ad andamento sinusoidale caratterizzate da:

- *Periodo (T)*: il più piccolo intervallo di tempo dopo il quale il moto riassume le stesse proprietà;
- *Lunghezza d'onda (λ)*: la distanza percorsa dall'onda durante un ciclo completo di oscillazione (espressa in nm);
- *Ampiezza*: la differenza tra il valore massimo e quello minimo assunti dall'onda elettromagnetica;
- *Frequenza (f)*: il numero di cicli completi di oscillazioni che avvengono in ogni secondo (espressa in hertz – Hz).

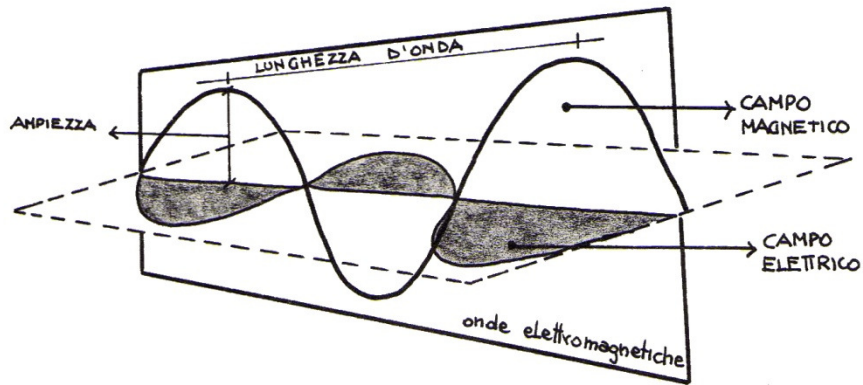


Figura 40 - Lunghezza d'onda elettromagnetica

Un fascio luminoso, secondo la teoria postulata da Einstein, è un'insieme di particelle chiamate "fotoni" che si comportano come particelle di energia. Ogni fotone che raggiunge il nostro occhio, in relazione all'energia che trasporta (cioè in relazione alla frequenza), si accompagna ad una definita percezione del colore; l'intensità luminosa aumenta all'aumentare del numero di fotoni.

La luce e tutte le altre onde elettromagnetiche si propagano nel vuoto lungo una linea retta ed alla stessa velocità che è indipendente dalla lunghezza d'onda. Quando queste onde attraversano un mezzo, come ad esempio l'aria o il vetro, la velocità di propagazione della luce è inferiore e di conseguenza diminuisce la lunghezza d'onda mentre la frequenza rimane la stessa. Il passaggio da un mezzo ad un altro dà luogo ad una modifica delle caratteristiche cromatiche della luce. Il flusso luminoso, quando colpisce un qualsiasi mezzo, viene in parte assorbito, in parte riflesso e in parte trasmesso secondo tre diversi fattori: di assorbimento, di riflessione e di trasmissione.

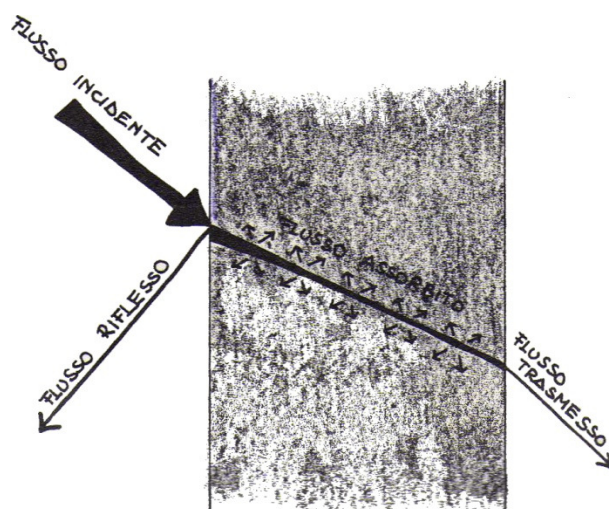


Figura 41 - Scomposizione del flusso luminoso incidente su una superficie

La luce naturale è un elemento caratterizzante l'architettura in termini sia estetici che funzionali. Fino agli inizi del Novecento, nonostante il diffondersi dell'illuminazione elettrica, ha costituito la sorgente luminosa principale per gli edifici pubblici e privati. Tuttavia, con la sempre più crescente disponibilità di luce artificiale, con l'abbassamento del suo costo e con la consapevolezza che l'illuminazione artificiale permette una più libera progettazione, la luce naturale ha progressivamente perso la sua funzione primaria. Poiché la luce naturale è una luce difficile da controllare a causa della sua continua variabilità e direzione, a differenza di quella artificiale, la progettazione si è spostata verso edifici sempre più dipendenti da fonti di energia artificiali. Con la crisi energetica degli anni '70, si è cominciato a riconsiderare tutte le potenzialità della luce naturale che diventa, nuovamente, elemento dell'architettura e requisito qualitativo per le utenze. La natura dinamica e variabile della radiazione solare viene vista come un pregio essendo in grado di soddisfare le necessità biologiche in funzione del ritmo naturale che varia nell'arco della giornata: ambienti di lavoro e di vita quotidiana vengono considerati più stimolanti e produttivi, risultando più graditi dalle utenze. La presenza di luce naturale garantisce agli edifici una qualità elevata, permette agli utenti di percepire il trascorrere del tempo, l'alternarsi delle stagioni, i cambiamenti climatici, insomma, consente di mantenere un contatto con il mondo esterno e garantisce, da un punto di vista cromatico, la perfetta riconoscibilità dell'ambiente.

Negli ultimi dieci anni si è assistito al proliferare di architetture dove le superfici trasparenti hanno sempre più acquisito la funzione di carattere tipologico degli edifici contemporanei. L'importanza conferita all'elemento "involucro trasparente" determina come conseguenza un'elevata disponibilità di luce naturale negli ambienti interni ma, tale disponibilità, non può essere incontrollata. Se da una parte la luce naturale è vista come un bene, dall'altra, la sua eccessiva quantità all'interno degli edifici, può comportare svantaggi notevoli come il surriscaldamento delle parti che colpisce, fenomeni di abbagliamento, riflessione su superfici lucide, aumento dell'energia necessaria per il raffrescamento dell'edificio. Si vengono a creare situazioni di disagio, sia termiche che visive, per le utenze e si registrano maggior consumi e costi energetici. Per questi motivi, oltre ad un adeguato uso delle porzioni trasparenti degli edifici, sempre di più vengono utilizzati sistemi di schermatura per il controllo della radiazione solare in modo da poter aumentare il benessere e ridurre gli svantaggi per le persone che vivono nell'edificio. Il tema dell'illuminazione è sempre più oggetto di attenzione da parte dei progettisti, anche in considerazioni delle recenti normative relative sia al campo illuminotecnico che ai settori della sicurezza sul lavoro o del risparmio energetico, che impongono un utilizzo più ampio, razionale ed efficiente della luce diurna.

*"Perché l'architettura è un fatto d'arte, che suscita emozioni. L'architettura è per commuovere. E' il gioco sapiente, rigoroso e significativo dei volumi sotto la luce"*⁹

⁹ Cit. Pietro Palladino in "La luce in architettura".

Come si può notare, l'illuminazione è un elemento fondamentale nella nostra vita ed esiste ormai la consapevolezza che l'uomo ha bisogno di una buona illuminazione. La luce moderna ha modificato profondamente la percezione del mondo esterno, ha trasformato la sensibilità, il gusto, la stessa socialità. La luce è materia di architettura.

Se la luce è come un gioco, di questo esistono delle regole ben precise da utilizzare e rispettare. Non si può utilizzare la luce in modo disordinato o lasciata al caso e a tentativi, bensì bisogna utilizzare opportuni strumenti al fine di creare stati d'animo, agire sulla percezione e sull'emotività dell'uomo.

Si può affermare che la luce è "uno strumento" con il quale è possibile creare specifiche condizioni visive, infatti, può influenzare la percezione dello spazio, l'atmosfera e il benessere di chi lo occupa. Grazie a questo strumento, si possono delimitare confini, espanderli, separarli, collegarli o accentuare delle zone o punti precisi. Il progetto illuminotecnico assume un ruolo determinante nella definizione dell'architettura e nell'utilizzo degli spazi che essa contiene.

Il "lighting Design" ricerca proprio la pianificazione di un ambiente vivo in grado di creare specifiche condizioni percettive e sensazioni ben definite. L'occhio umano cattura le immagini e attraverso il nervo ottico, arrivano al cervello che le decodifica e le trasforma in segnali riconoscibili. La sensazione che si ha quando si analizzano le caratteristiche e le relazioni che un oggetto ha con l'ambiente circostante, trasformandole in immagini integrali e sensoriali, si chiama percezione.

La percezione implica il contributo di molteplici altre forme di informazioni come il tatto, il gusto, l'udito o la sensibilità termica. La luce ci permette di vedere ma, in realtà, essa è molto di più della causa fisica di ciò che vediamo. Luce e colore coinvolgono la sfera psichica ed emotiva e possono influenzare i nostri sentimenti e stati d'animo. Infatti, esistono fenomeni che ci portano a giudicare gradevole o meno un ambiente in relazione all'illuminazione e alle qualità cromatiche in gioco.

- **Osservazioni**

Progettare per l'uomo non vuol dire solamente fare calcoli statici e dare una forma all'architettura, progettare per l'uomo è un processo ben più complicato, è uno sforzo più ampio dove bisogna mettere in equilibrio le varie energie in gioco: il corpo, la mente, le capacità bio-elettriche e il proprio mondo. Il colore e la luce sono in grado di coinvolgere tutti questi processi: vitali, fisiologici, neurologici e psicologici che risultano essere strumenti efficienti per creare condizioni ambientali favorevoli al benessere.

L'idea di inserire nell'involucro edilizio il pannello LSC che consente di sfruttare le sue proprietà di trasparenza e cromatiche risulta una scelta vincente. L'elemento può svolgere funzioni aggiuntive che i componenti fotovoltaici tradizionali non riescono a coprire. Le lastre LSC consentono l'ingresso della luce all'interno dell'ambiente confinato codificandone la qualità. Al controllo della luce si abbina la funzione di produzione

energetica per soddisfare parte delle esigenze dell'edificio. L'involucro edilizio assume, inoltre, nuovi cromatismi che possono diventare punti di distinzione e riconoscibilità per l'edificio stesso.

CAPITOLO 6 – IPOTESI D'INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA DEL PANNELLO LSC

La possibilità d'integrazione architettonica del pannello LSC è estremamente ampia. Le scelte applicative e il progetto per un sistema d'integrazione non devono essere effettuate solo sulla base della valenza compositiva, ma soprattutto sulla particolare funzione che viene svolta all'interno dello spazio abitativo. Infatti, la presenza di colore all'interno dell'edificio durante tutta la giornata, può influire negativamente sullo svolgimento delle attività, al contrario, con un'adeguata progettazione e partizione del colore può avere un effetto positivo.

Le caratteristiche tecniche ed estetiche del pannello LSC permettono, quindi, di ipotizzare numerose applicazioni nell'attuale contesto costruttivo e le opzioni individuate hanno valore sia per edifici di nuova costruzione che per edifici esistenti.

6.1 - Campi d'applicazioni ipotizzati

Dalle ricerche e studi condotti fino a questo punto, sono state elaborate delle ipotesi per quanto riguarda l'integrazione architettonica del pannello LSC. Queste ipotesi sono state dedotte analizzando i casi studio descritti nel "Capitolo 5 – Colore e luce in architettura" e studiando i luoghi più idonei per l'applicazione del componente.

Da questo studio sono emersi due diversi livelli che interagiscono tra di loro andando a creare molteplici scenari e ipotesi d'integrazione. I livelli individuati sono¹⁰:

- *Livello morfologico*: individuazione e definizione delle posizioni dei componenti LSC rispetto l'involucro edilizio;
- *Livello percettivo*: individuazione e definizione di alcune possibilità applicative degli LSC in base a differenti qualità visive.

6.1.1 - Livello morfologico

Nel livello morfologico sono state individuate quattro differenti tipologie che riguardano sia i componenti dell'edificio, sia elementi per l'installazione degli LSC in ambienti outdoor. Le tipologie individuate sono:

- Between;
- Front;

¹⁰ Le tipologie sono riprese dall'articolo "Colore energetico: possibilità di diffusione di concentratori solari luminescenti nell'architettura per la produzione fotovoltaica e la riqualificazione degli edifici (ora). Autori: Gianni Scudo, Alessandro Rogora, Barbara Ferrari (PoliMI), Daniele Testa (ENI); IX CONFERENZA DEL COLORE – Firenze - 19 - 20 settembre 2013".

- Top;
- Outdoor.

Di seguito sono riportate le schede che sintetizzano, con immagini analogiche e/o evocative, le possibilità di applicazione dei pannelli LSC.

LIVELLO MORFOLOGICO: possibilità d'uso



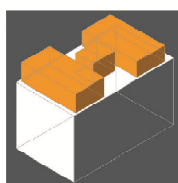
_Between

Utilizzo negli spazi di connessione tra edifici, nei collegamenti verticali (scale e ascensori), nei pozzi di luce, negli interstizi urbani (lotti edificati particolarmente stretti). In questi spazi risulta ininfluenza la colorazione delle luce dovuta alle caratteristiche dei concentratori solari; cioè essa non interferisce dal punto di vista funzionale con le attività svolte all'interno dell'edificio. La proiezione luminosa può invece essere valorizzata dal punto di vista sensoriale e percettivo contribuendo alla definizione di spazi cromatici particolari.



_Front

Uso dei concentratori in facciata con doppia declinazione:
 1_Aderente. Il pannello costituisce il tamponamento esterno dell'involucro edilizio. Può rappresentare facciate continue, finestrate, tamponamenti vetrati fissi. Il valore della trasparenza risulta particolarmente adatto per definire spazi luminosi mentre la caratteristica cromatica contribuisce all'identità del progetto. In questi casi, però, la proiezione luminosa all'interno degli spazi abitati va calibrata e gestita in maniera tale da non influire con le attività svolte e con la percezione sensoriale degli ambienti. Diventa fondamentale intervenire sulla quantità e sulla collocazione degli LSC
 2_Doppia pelle. Il pannello è inteso come elemento che costituisce un doppio livello del fronte per realizzare una facciata ventilata oppure un volume aggiunto. Può essere applicato a logge, balustre, tamponare collegamenti orizzontali come i ballatoi o schermare finestre.



_Top

Utilizzo dei concentratori solari luminescenti per la realizzazione di volumi aggiunti in copertura. Questi nuovi volumi possono contenere ambienti abitabili oppure spazi accessori, di servizio o tecnologici. Possono inoltre essere lucernari, shed e terminali di camini luminosi.



_Outdoor

Utilizzo dei concentratori solari per la realizzazione di installazioni negli spazi aperti. Queste realizzazioni possono rappresentare attrezzature urbane di parchi e strade, infopoint, costruzioni temporanee, espositive, dimostrative. Possono essere componenti di infrastrutture (ponti, barriere stradali, parcheggi, pensiline ferroviarie, etc.) o di serre e volumi per accumulo di calore. In questi casi la caratteristica cromatica e la trasparenza del materiale risultano determinanti per la definizione dell'identità di progetto. Il tempo di permanenza e di utilizzo degli spazi outdoor sono tali da non richiedere particolare controllo della componente cromatica luminosa.

Figura 42 - Schemi esplicativi del livello morfologico

LIVELLO MORFOLOGICO: possibilità d'uso



Scenario: BETWEEN

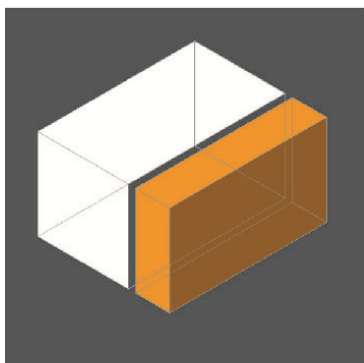


Localizzazioni/funzioni



Riferimento 16 - Nieto Sobejano Arquitectos, Joanneum Museum, Graz, Austria.

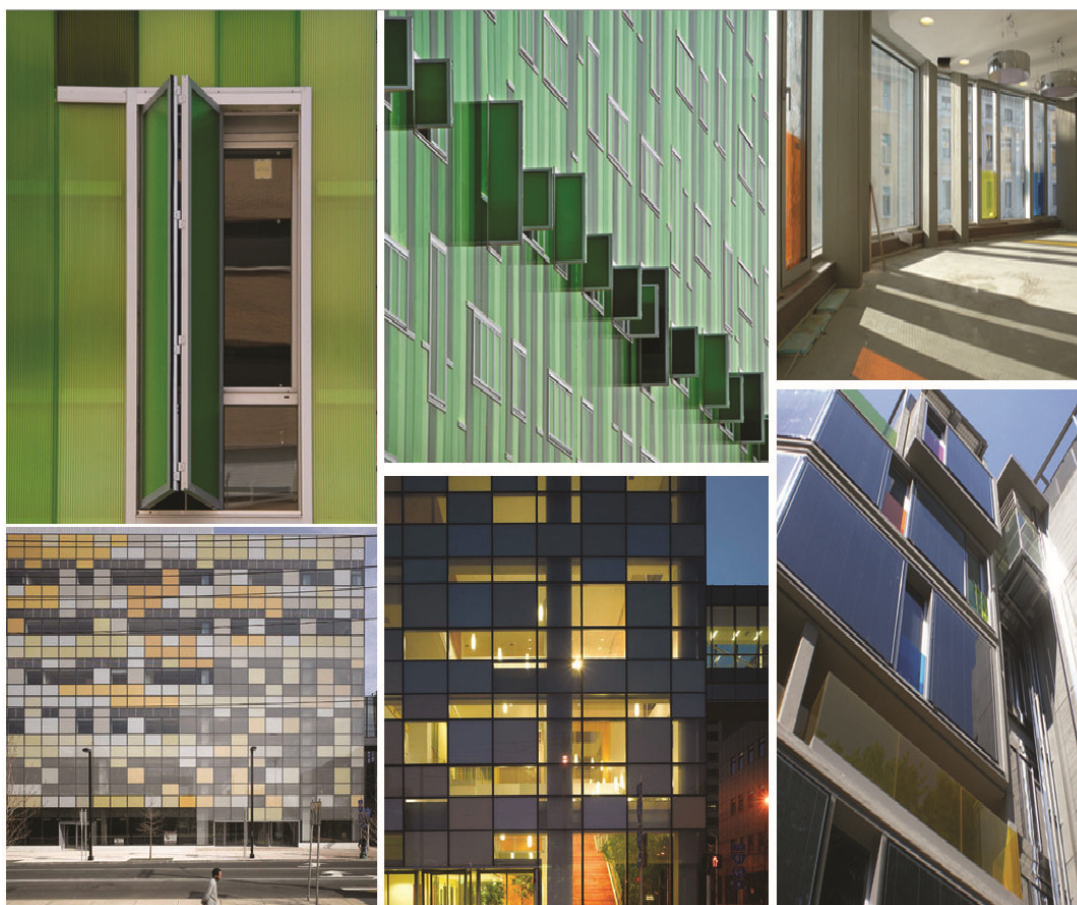
LIVELLO MORFOLOGICO: possibilità d'uso



Scenario: FRONT_aderente

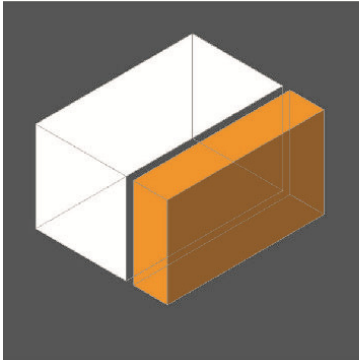


Localizzazioni/funzioni



Riferimento 17 - Somas Arquitectos, Social Housing, Madrid, (facciata e finestra); Riccispaini Architetti Associati, Eco office, Roma (vetrata a tutta altezza); Behnisch Architekten, Park Street Building, New Haven (facciata continua opaca e trasparente).

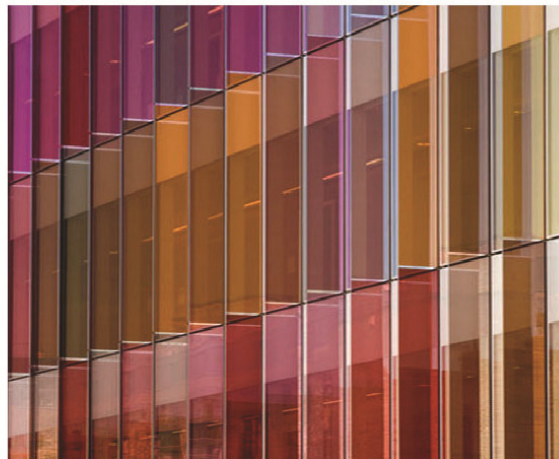
LIVELLO MORFOLOGICO: possibilità d'uso



Scenario: FRONT_doppia pelle

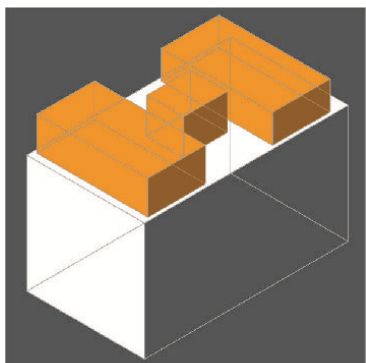


Localizzazioni/funzioni

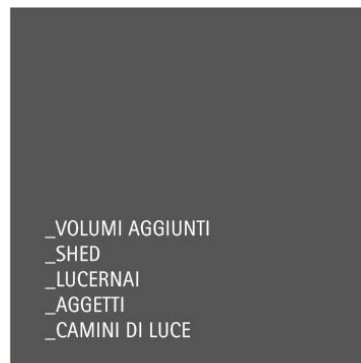


Riferimento 18 - Search, Row Housing Building, Amsterdam (ballatoi); Hawkins/Brown, New Biochemistry Building, Università di Oxford (schermatura multicolore).

LIVELLO MORFOLOGICO: possibilità d'uso



Scenario: TOP

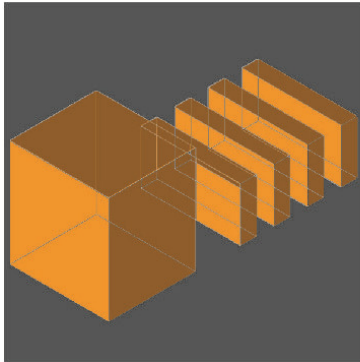


Localizzazioni/funzioni



Riferimento 19 - Armani Hotel, Milano (volume in copertura); Mikou Design Studio, Bailly School Complex, Saint Denis (shed colorati); Pinear Panigua, ospedale, Alicante (shed trasparenti).

LIVELLO MORFOLOGICO: possibilità d'uso



Scenario: OUTDOOR



Localizzazioni/funzioni



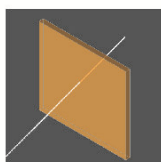
Riferimento 20 - Dominique Perrault, ponte Arganzuela, Madrid; Eric Owen Moss, Samitaur Tower, Culver City, USA. Infrastrutture nel territorio esteso.

6.1.2 - Livello Percettivo

Nel livello percettivo sono state individuate quattro differenti tipologie in base a differenti qualità visive in modo da soddisfare le diverse esigenze legate alla destinazione d'uso degli edifici. Sono state individuate alcune caratterizzazioni sensoriali in base alle quali cambia il tipo di percezione dell'edificio sia dall'esterno che dall'interno.

Di seguito è riportata la scheda che spiega le quattro tipologie identificate le schede che rappresentano le possibilità di applicazione degli LSC in base alle differenti qualità visive.

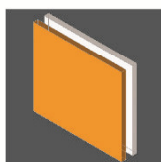
LIVELLO PERCETTIVO: scenari sensoriali



_Trasparenza

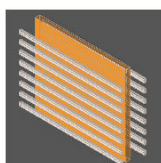
Valorizzazione della caratteristica di trasparenza del materiale. Utilizzo come elemento che permette di mantenere contemporaneamente la relazione visiva interno/esterno degli spazi abitati e di caratterizzare cromaticamente l'involucro architettonico. Si può scegliere di avere effetti monocromatici (utilizzando solo gli LSC e il vetro trasparente) oppure policromatici (decidendo di alternare i colori degli LSC o di altri materiali). È possibile anche determinare delle texture modulando le dimensioni e la quantità di materiale utilizzato e alternandolo con altri materiali. La caratterizzazione sensoriale degli spazi interni e del volume edificato è sempre determinata dalla quantità di materiale utilizzato (rapporto superficie/ambiente) rispetto alle superfici e ai volumi.

Il controllo della radiazione solare è da valutare attraverso l'accostamento di un materiale a bassa emissività.



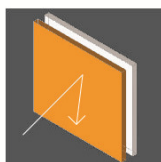
_Traslucenza

Possibilità di accoppiare il pannello LSC con un materiale opaco (vetro satinato) per ottenere un componente che riduca la permeabilità visiva ma lasci passare la luce. Anche in questo caso valgono le indicazioni progettuali dei componenti trasparenti per determinare l'identità dell'edificio e degli spazi abitati.



_Schermatura

Utilizzo del materiale accoppiato a elementi di schermatura posti all'interno dell'edificio (per non compromettere la captazione solare) con l'obiettivo di intervenire sulla qualità cromatica della luce (modificazione del colore, deviazione dell'ombra colorata, ecc.) oltre che sull'effetto compositivo delle facciate.



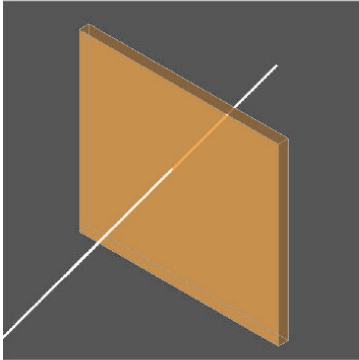
_Opacità

Possibilità di accoppiare il pannello LSC con un materiale opaco che permetta di accentuare la qualità cromatica e riduca completamente il passaggio della luce negli ambienti interni. L'utilizzo di pannelli specchianti a stretto contatto con il materiale luminescente potrebbe aumentare l'efficienza del pannello stesso.

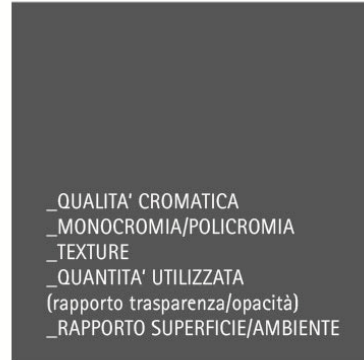
Dal punto di vista della caratterizzazione sensoriale si possono alternare i pannelli opachi e quelli trasparenti ottenendo superfici variabili e quasi cangianti.

Figura 43 - Schemi esplicativi del livello percettivo

LIVELLO PERCETTIVO: caratterizzazione sensoriale



Scenario: TRASPARENZA

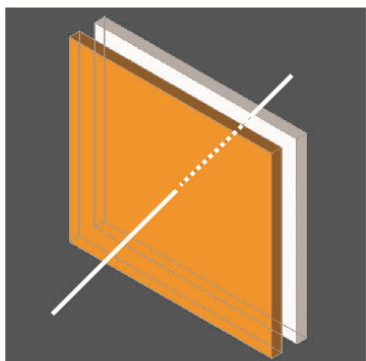


Caratterizzazione sensoriale

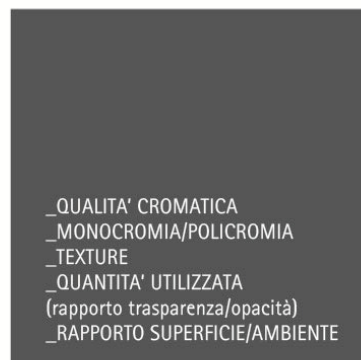


Riferimento 21 - Gaëtan Le Penhuel Architectes, Collège A. Schweitzer, Creteil; Ramòn Esteve, les Jaumei, Ontinyent.
Trasparenza colorata.

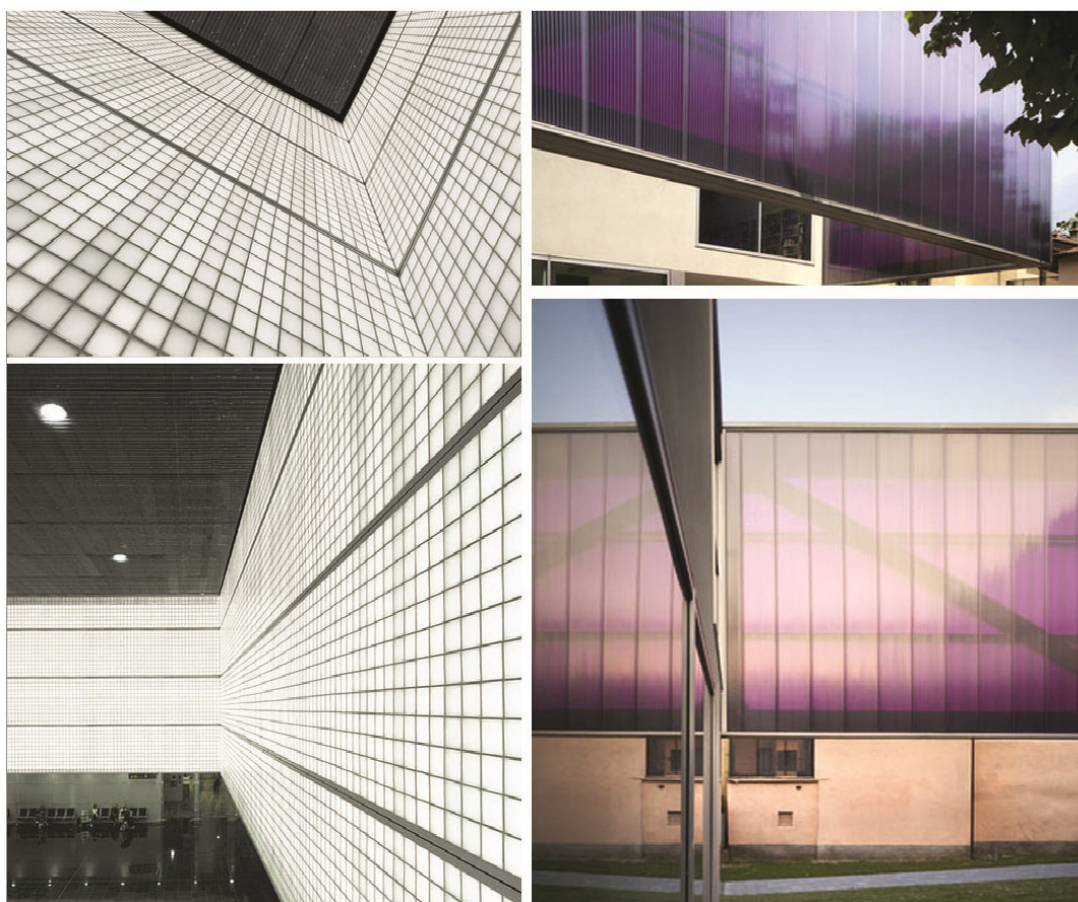
LIVELLO PERCETTIVO: caratterizzazione sensoriale



Scenario: TRASLUCENZA

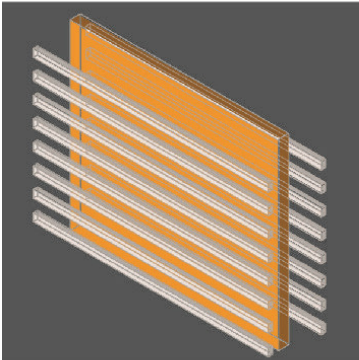


Caratterizzazione sensoriale



Riferimento 22 - Ferrater Iambarri Sanabria, Artigues, aeroporto di El Prat, Barcellona; Dap Studio, Centro Culturale Roberto Gritti, Ranica. Luce diffusa mono o policromatica.

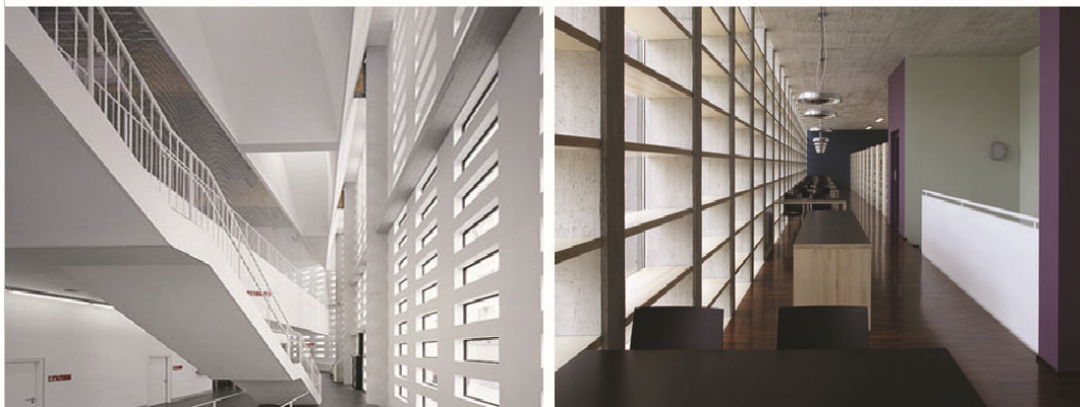
LIVELLO PERCETTIVO: caratterizzazione sensoriale



Scenario: SCHERMATURA

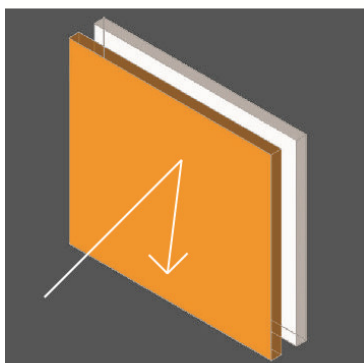
_ QUALITA' CROMATICA
_ MONOCROMIA/POLICROMIA
_ TEXTURE
_ QUANTITA' UTILIZZATA
(rapporto trasparenza/opacità)
_ RAPPORTO SUPERFICIE/AMBIENTE
_ ACCOPPIAMENTO MATERIALI

Caratterizzazione sensoriale

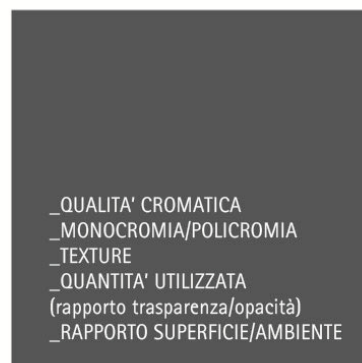


Riferimento 23- Murat Tabanlıoğlu, Asmaçatı Shopping, Izmir, Turchia; Marco Ortalli, Nuova Biblioteca, Erba (CO). Schermature interne con passo regolare o a texture decorative.

LIVELLO PERCETTIVO: caratterizzazione sensoriale



Scenario: OPACITA'



Caratterizzazione sensoriale

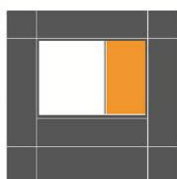


Riferimento 24 - Mansilla + Tuñón Arquitectos, MUSAC, Leòn; IF Design, Centro Civico Noivoiloro, Erba (CO). Vetri retroverniciati colorati o vetri satinati: colore opaco.

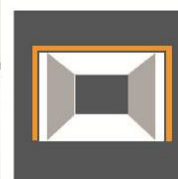
6.2 - Tipologie dei componenti edilizi

Dopo aver analizzato ed individuato le differenti tipologie morfologiche e le possibili configurazioni del pannello LSC, sono state individuate le differenti tipologie di componenti edilizi che possono essere sostituiti dai pannelli LSC. Nelle schede che seguono, quindi, sono individuate alcune proposte che possono ottimizzare tramite una progettazione definitiva. Gli esempi che sono riportati sono classificati in base ai parametri individuati precedentemente e in base ai componenti edilizi disponibili sul mercato. Rispetto alla distribuzione della luce è stata indicata, la possibilità di utilizzare il colore sia in maniera continua che alternata.

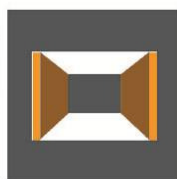
TIPOLOGIE DI COMPONENTI EDILIZI



FACCIATA/SERRAMENTO



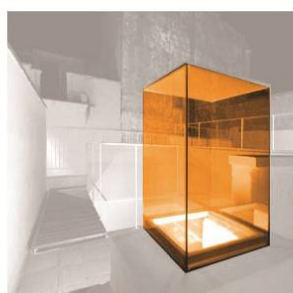
DOPPIA PELLE



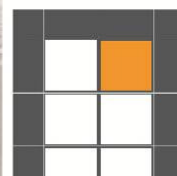
SCHERMO VERTICALE



SCHERMO ORIZZONTALE



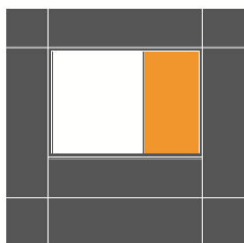
COPERTURA



ELEMENTO MODULARE

Figura 44 - Schemi esplicativi delle tipologie di componenti edilizi

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



FACCIATA - SERRAMENTO

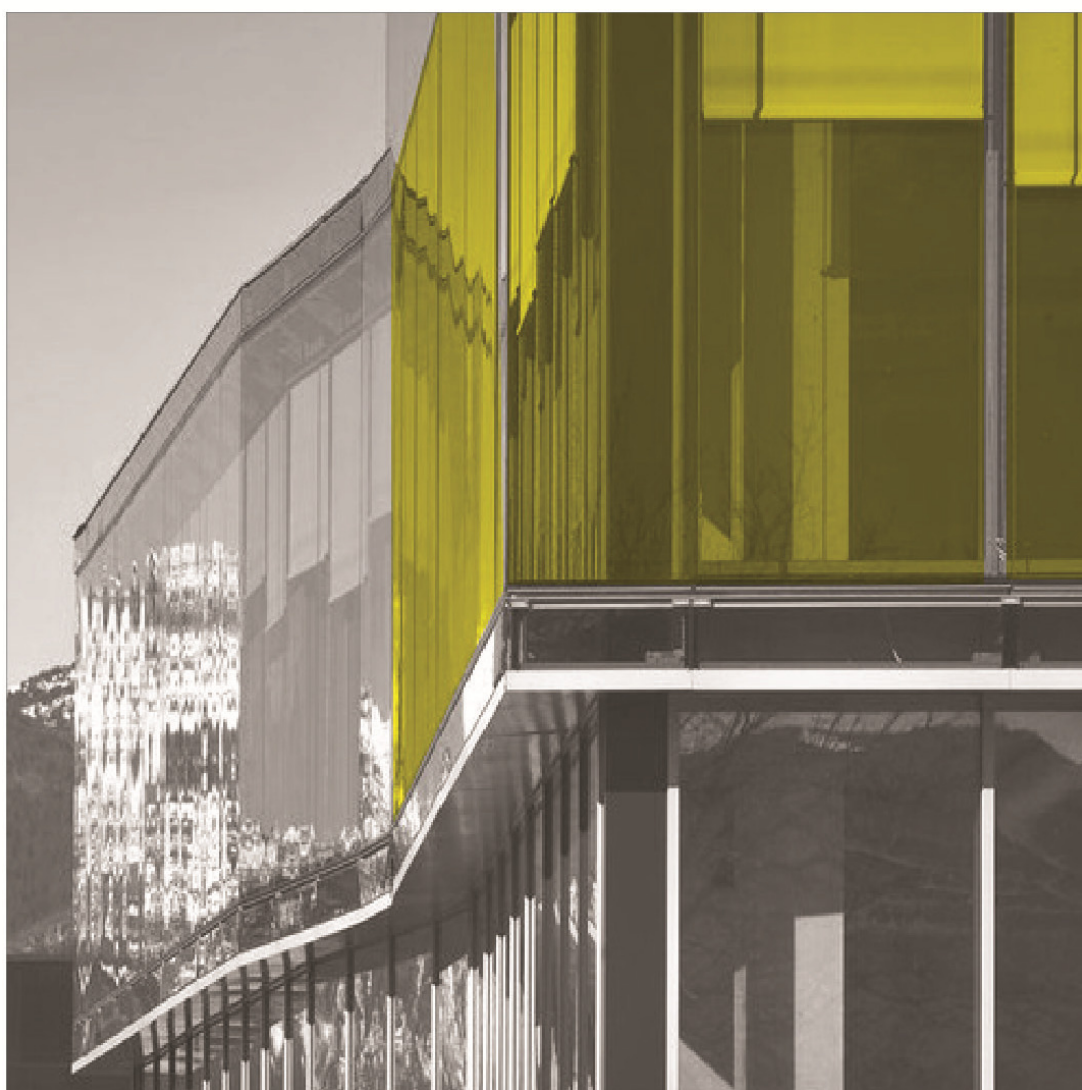
MORFOLOGICO
Front

PERCETTIVO
Trasparenza/traslucenza

TIPOLOGICO
Edilizia disgregata

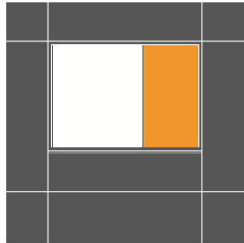
TECNOLOGICO
Facciata continua
con serramento fisso
e schermatura interna

Distribuzione colore:
continua o alternata



Riferimento 25 - De8 Architetti, Ecoforum, edificio terziario e commerciale, Clusone (BG).

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



FACCIATA - SERRAMENTO

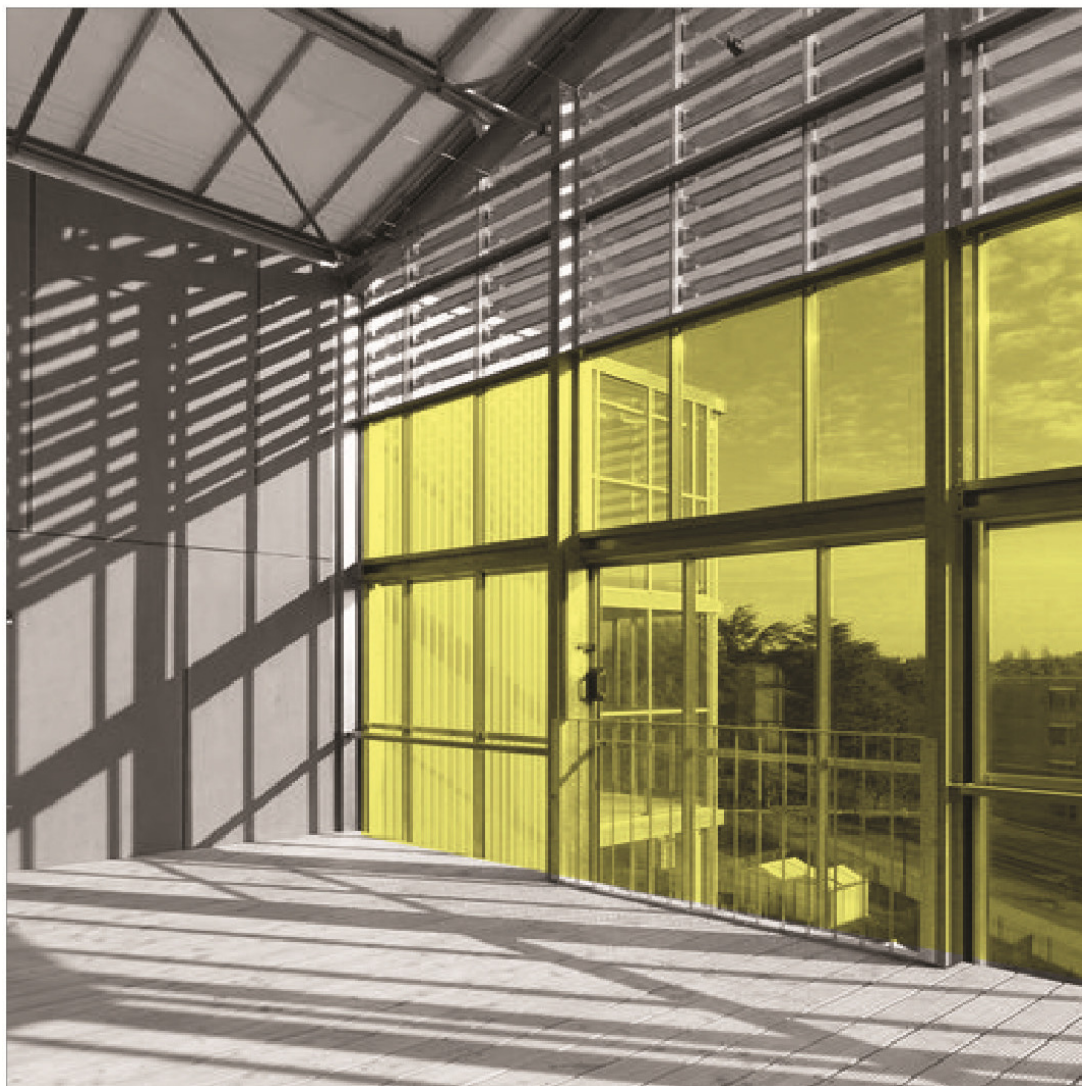
MORFOLOGICO
Front

PERCETTIVO
Trasparenza/traslucenza

TIPOLOGICO
Edilizia disgregata/densa

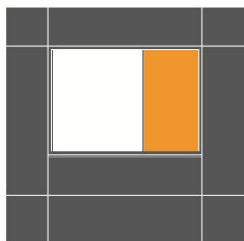
TECNOLOGICO
Spazio filtro o serra
addossata con serramento
sia fisso che apribile
e schermatura esterna.

Distribuzione colore:
continua



Riferimento 26 - Tetrac, boréal, Green Houses, Nantes, Francia.

IPOSTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



FACCIATA - SERRAMENTO

MORFOLOGICO
Front

PERCETTIVO
Trasparenza

TIPOLOGICO
Edilizia disgregata

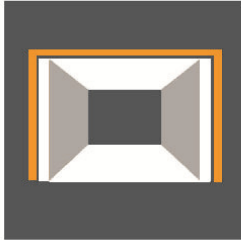
TECNOLOGICO
Collegamento orizzontale/
spazio di connessione
con serramento fisso

Distribuzione colore:
continua



Riferimento 27 - Kadawittfeldarchitektur, Aachenmünchener headquarters, Achen, Germania.

IPOSTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



DOPPIA PELLE

MORFOLOGICO
Front

PERCETTIVO
Trasparenza/opacità

TIPOLOGICO
Edilizia disgregata

TECNOLOGICO
Atrio e spazio filtro
con serramento
fisso non continuo

Distribuzione colore:
alternata



Riferimento 28 - Applicazione anche come retrofit:doppia pelle applicata a edificio preesistente.

IIPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



DOPPIA PELLE

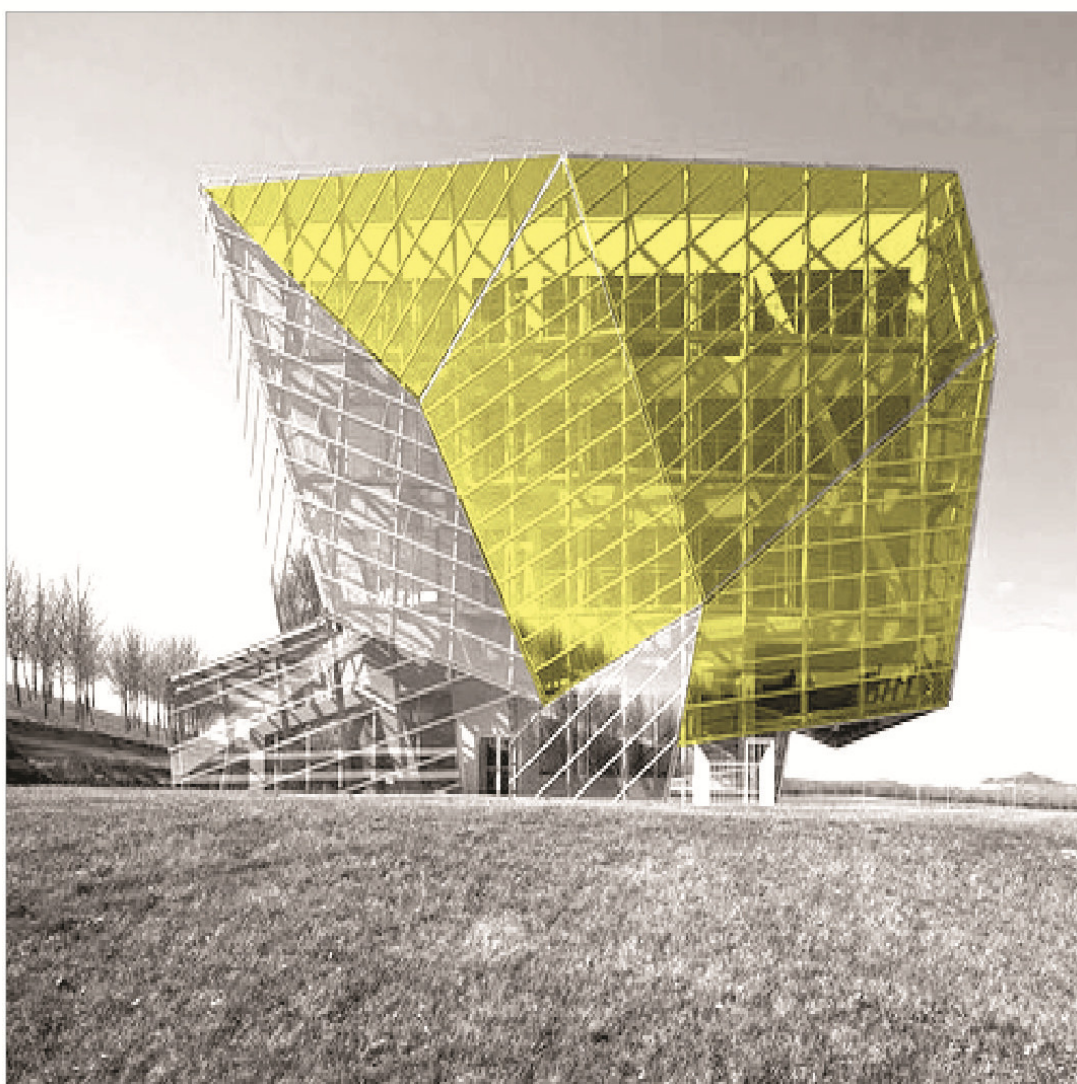
MORFOLOGICO
Front

PERCETTIVO
Trasparenza

TIPOLOGICO
Edilizia disgregata

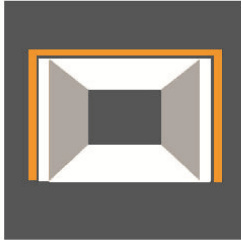
TECNOLOGICO
Doppio involucro con
serramento fisso

Distribuzione colore:
continua e/o alternata



Riferimento 29 - Coll-Barreu Arquitectos, Edificio E8, Parco Tecnológico, Álava, Spagna.

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



DOPPIA PELLE

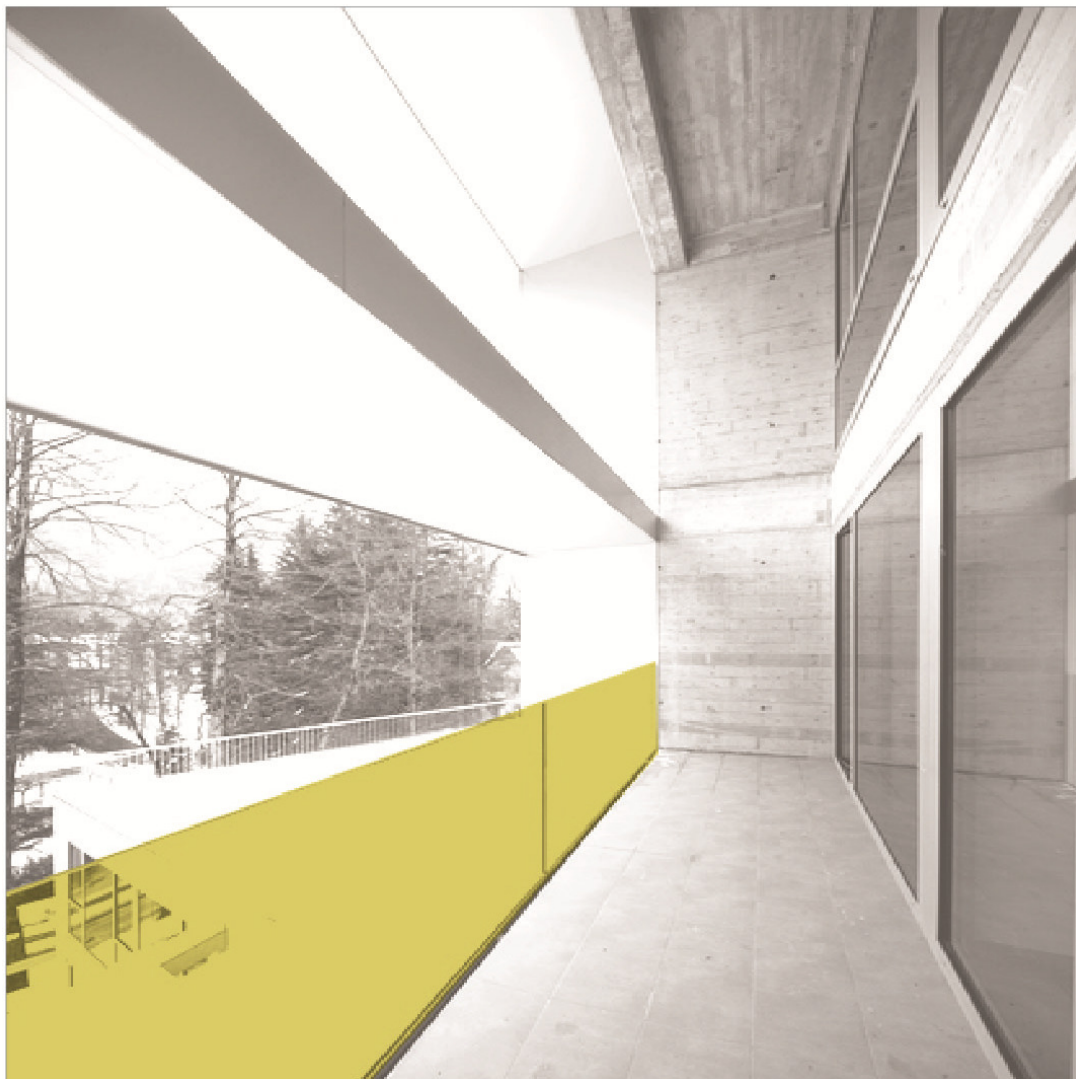
MORFOLOGICO
Front

TECNOLOGICO
Parapetto balcone

PERCETTIVO
Trasparenza/schermatura

TIPOLOGICO
Edilizia disgregata/densa

Distribuzione colore:
continua



Riferimento 30 - Basilio Tobías, Laboratori Canfranc, Huesca, Spagna.

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



DOPPIA PELLE

MORFOLOGICO
Front

PERCETTIVO
Trasparenza/opacità

TIPOLOGICO
Edilizia disgregata

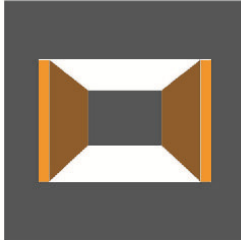
TECNOLOGICO
Schermatura fissa
di apparato tecnologico

Distribuzione colore:
continua/alternata



Riferimento 31 - Ortner & ortner Baukunst, Photovoltaik-pavillon, Potsdam, Germania.

IPOSTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



SCHERMATURE

MORFOLOGICO
Front

PERCETTIVO
Trasparenza

TIPOLOGICO
Edilizia densa

TECNOLOGICO
Schermatura fissa
di ballatoio e spazio
residenziale

Distribuzione colore:
alternata



Riferimento 32 - Peterson Architekten, F40 office Building, Berlino, Germania.

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



SCHEMATURE

MORFOLOGICO
Front

PERCETTIVO
Trasparenza/opacità

TIPOLOGICO
Edilizia disgregata

TECNOLOGICO
Schermatura fissa
di spazio comune
e spazio di lavoro

Distribuzione colore:
alternata



Riferimento 33 - 5+1AA, Nuova struttura direzionale Fiera Milano, Rho (MI), Italia.

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



COPERTURA

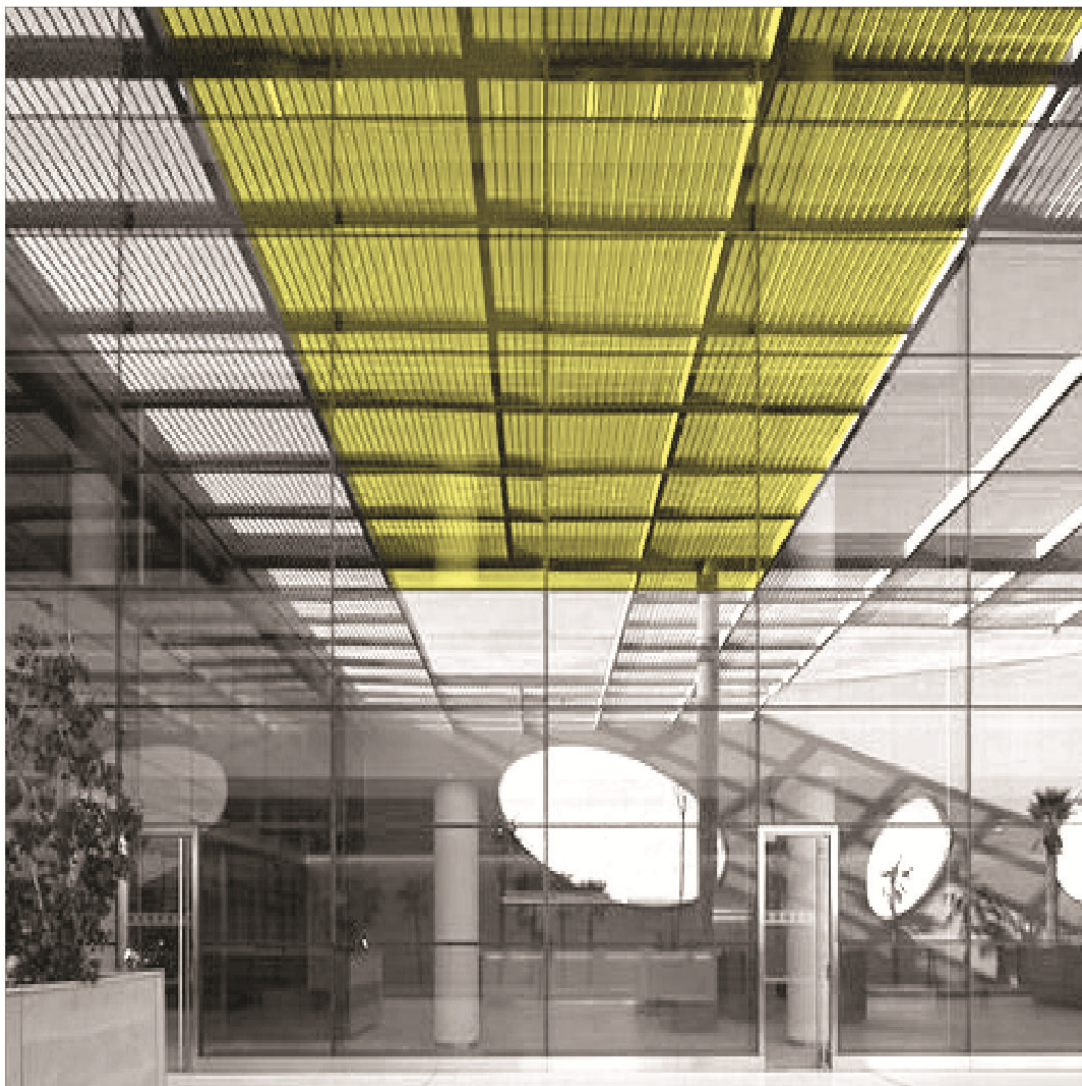
MORFOLOGICO
Top

PERCETTIVO
Trasparenza/schermatura

TIPOLOGICO
Edilizia compatta/densa

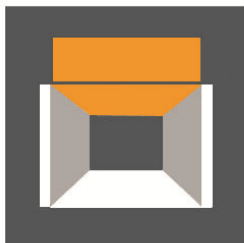
TECNOLOGICO
Copertura di spazio
comune con serramento
fisso e schermatura
interna

Distribuzione colore:
continua



Riferimento 34 - Charles Correa Associates, Champalimaud Centre, Lisbona, Portogallo.

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



COPERTURA

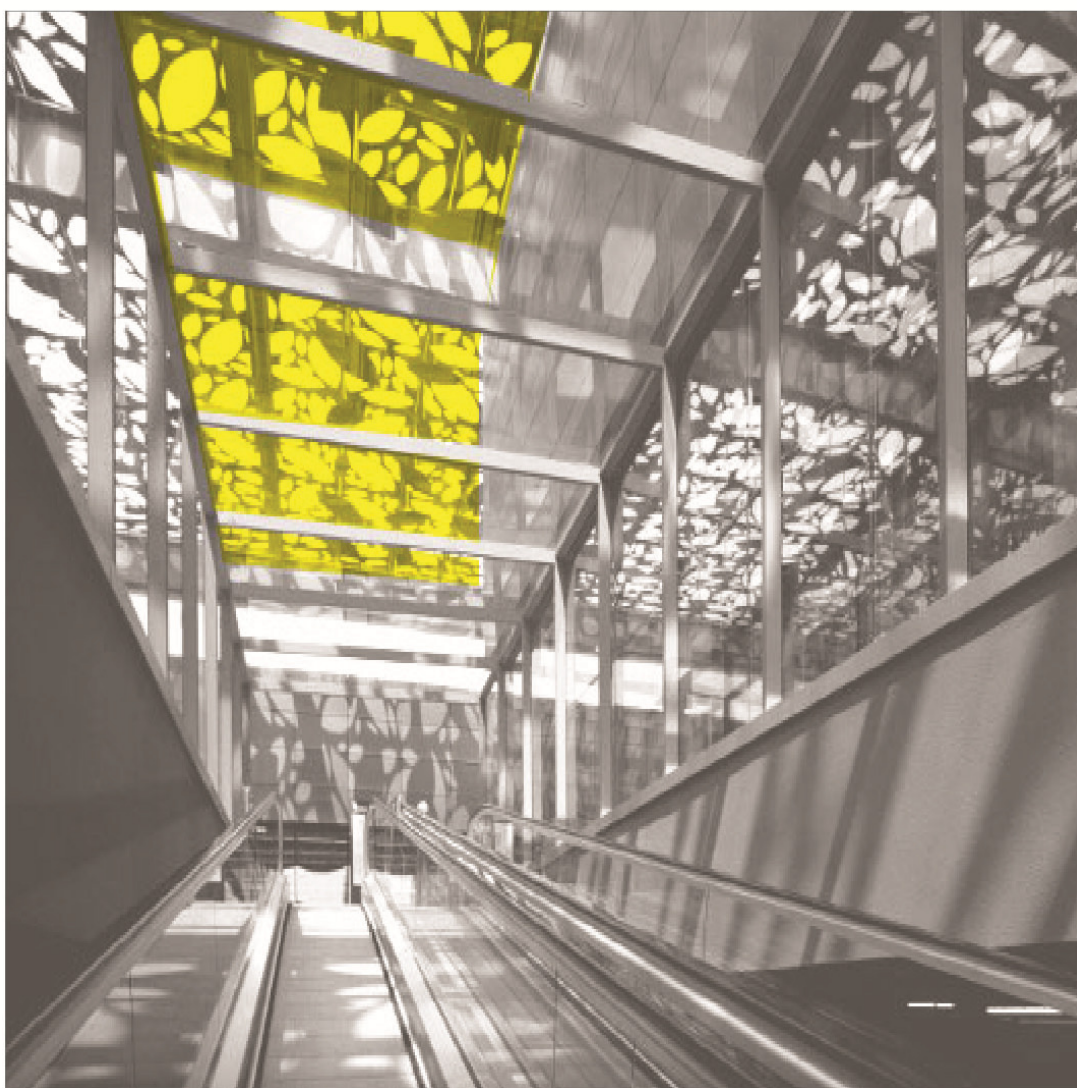
MORFOLOGICO
Top

PERCETTIVO
Trasparenza/schermatura

TIPOLOGICO
Edilizia compatta/densa

TECNOLOGICO
Copertura di spazio
comune con serramento
fisso e schermatura
interna

Distribuzione colore:
continua



Riferimento 35 - Murat tabanlıoğlu, Asmaçatı Shopping, İzmir, Turchia.

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



COPERTURA

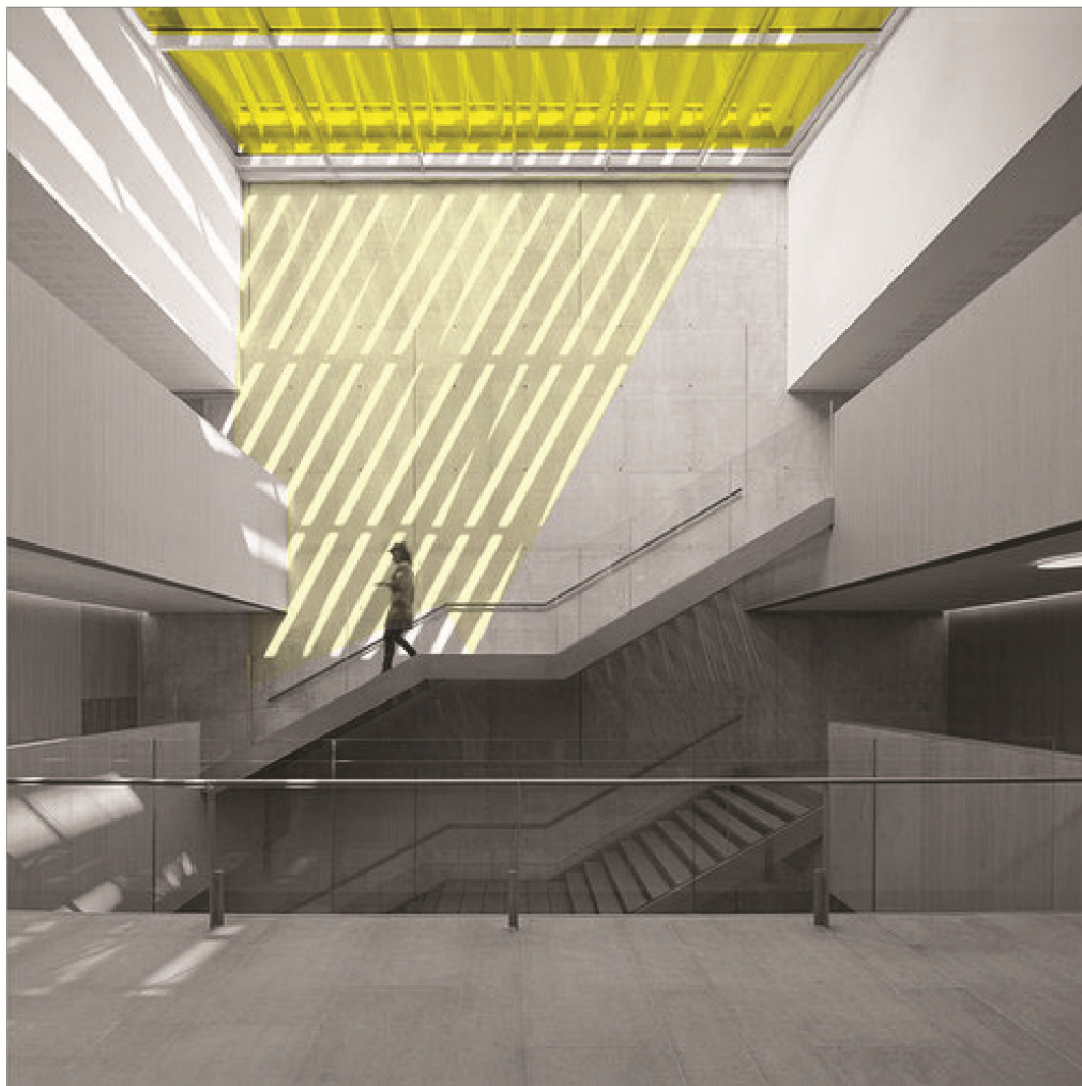
MORFOLOGICO
Top

PERCETTIVO
Trasparenza/schermatura

TIPOLOGICO
Edilizia compatta/densa

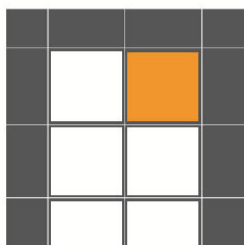
TECNOLOGICO
Copertura di spazio
comune con serramento
fisso e schermatura
interna

Distribuzione colore:
continua



Riferimento 36 - Artigues, Sanabria, Espuga, Consell General d'Andorra, Andorra.

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



ELEMENTO MODULARE

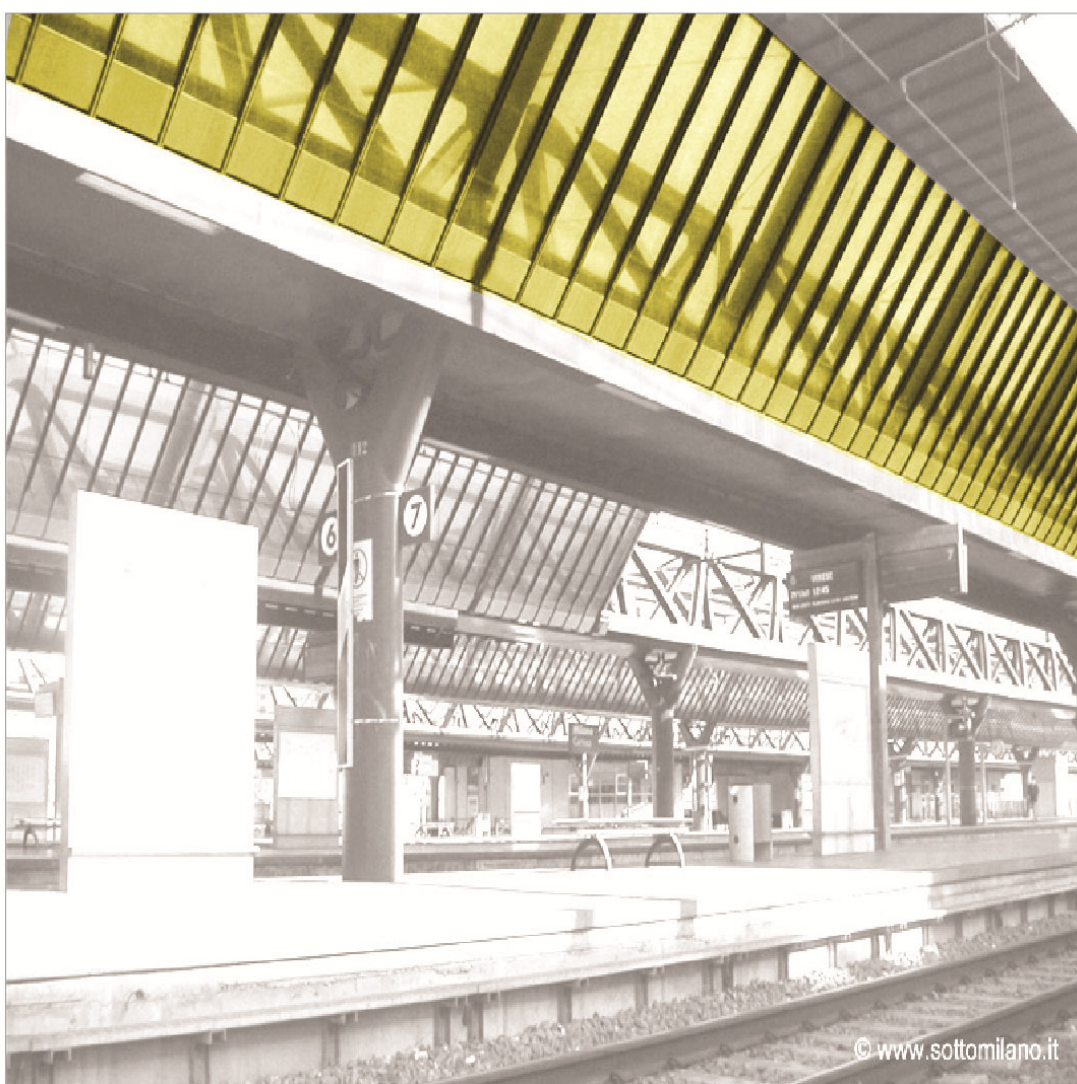
MORFOLOGICO
Top

PERCETTIVO
Trasparenza

TIPOLOGICO
Territorio esteso

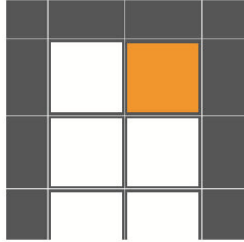
TECNOLOGICO
Copertura ferroviaria
con serramento fisso

Distribuzione colore:
continua



Riferimento 37 - Angelo Mangiarotti, Passante Ferroviario, Milano, Italia.

IPOTESI di INTEGRAZIONE e di DIFFUSIONE degli LSC



ELEMENTO MODULARE

MORFOLOGICO
Front

PERCETTIVO
Trasparenza

TIPOLOGICO
Territorio esteso

TECNOLOGICO
Tamponamento
di apparato tecnologico

Distribuzione colore:
continua



Riferimento 38 - Tamponamento traliccio elettrico, torri delle telecomunicazioni, acquedotti.

6.3 - Spazio abitativo e colore della luce

La caratteristica cromatica degli LSC determina, inevitabilmente, il formarsi di proiezioni luminose colorate negli ambienti interni sia in presenza di una luce diffusa ma, soprattutto, con la presenza di un'illuminazione diretta. In alcuni ambienti dell'edificio questo aspetto non influisce sull'uso e sulla qualità dell'ambiente, mentre in altri esso va valutato e progettato in maniera da non creare ambienti percettivamente fastidiosi.

Nella tabella seguente, vengono riassunti i luoghi dove risulta ininfluyente la colorazione della luce dei concentratori solari (la luce non interferisce dal punto di vista funzionale con le attività svolte all'interno dell'edificio) e i luoghi dove la percezione luminosa all'interno degli ambienti va calibrata e gestita in maniera tale da non influire con le attività svolte e con la percezione sensoriale. In questo caso, risulta fondamentale intervenire sulla qualità, sulla collocazione e sull'accoppiamento con altri materiali che contribuiscono ad ottimizzare le prestazioni dei pannelli LSC.

LUOGHI	COLORE DELLA LUCE ININFLUENTE	COLORE DELLA LUCE INFLUENTE
SOGGIORNARE	Aree comuni Balconi Bagni	Soggiorni Camere Verande Spazi espositivi
SERVIZIO	Serre Pozzi di luce Schermature Apparati tecnologici Installazioni urbane Infrastrutture Coperture tecniche	Spazi espositivi Spazi commerciali
PERCORRENZA	Atri Connessioni verticali Scale/Ascensori Corridoi Ballatoi	/

Tabella 11 - Rapporto spazio abitativo/colore della luce

6.3.1 - Luoghi dove il colore della luce è influente

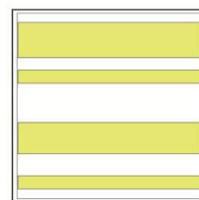
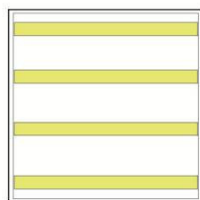
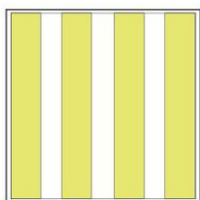
Al fine di ottenere una percezione della luce nei luoghi interna idonea alle attività svolte, la dimensione della superficie composta dai pannelli LSC e la loro distribuzione, dovrà essere quantificata e qualificata in modo da ottenere diverse percezioni sia dello spazio interno che della superficie esterna. La disposizione delle lastre determina texture luminose diverse che si possono sintetizzare come:

- *Luce filiforme*: luce generata da elementi lineari e continui che generano elementi grafici;
- *Luce solida*: luce che occupa un volume definito generata da elementi lineari che coincidono con figure geometriche non solo bidimensionali ma anche tridimensionali;
- *Luce puntiforme*: luce creata da singoli punti distribuiti in facciata in grado di generare diverse texture;
- *Luce direzionata*: luce in grado di modificare l'intensità e il colore della radiazione luminosa in entrata nello spazio abitativo.

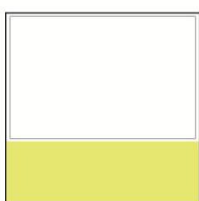
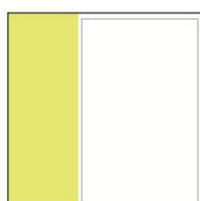
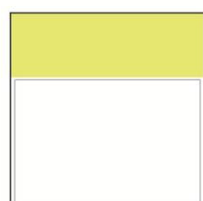
Questi effetti possono essere percepiti in modo diverso a seconda della scala di riferimento: ad esempio, un elemento che all'interno viene percepito come elemento colorato solido, all'esterno può apparire come elemento puntiforme andando a creare una texture sulla facciata. Il passaggio da una scala minore ad una maggiore permette di ampliare i risultati architettonici e definire una sorta di linguaggio cromatico/energetico.

Nelle schede seguenti, vengono riportati alcuni esempi esplicativi delle diverse tipologie di luce.

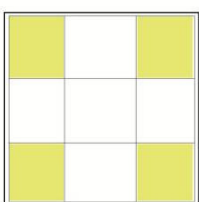
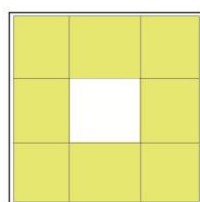
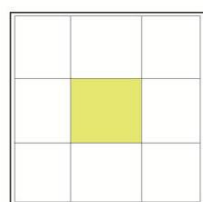
COMPOSIZIONE E DISTRIBUZIONE DEL COLORE: possibilità d'uso



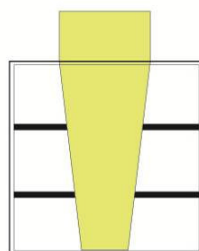
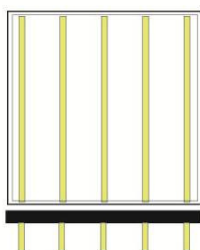
LUCE FILIFORME: luce generata da elementi lineari e continui che costituiscono segni quasi grafici



LUCE SOLIDA: luce che occupa un volume definito, che materializza una precisa porzione di spazio, una o più aree, che coincide con figure geometriche bidimensionali o tridimensionali.



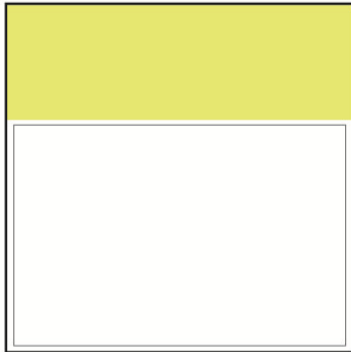
LUCE PUNTIFORME: luce fatta da singoli punti distribuiti nell'ambiente in grado di generare geometrie decori, texture riproponibili su spazi estesi.



LUCE DIREZIONATA: luce in grado di modificare l'intensità e il colore della radiazione luminosa in entrata nello spazio abitato.

Figura 45 - Schemi esplicativi della possibilità d'uso per la composizione e distribuzione del colore

01_CONCEPT di PRODOTTO



LUCE SOLIDA

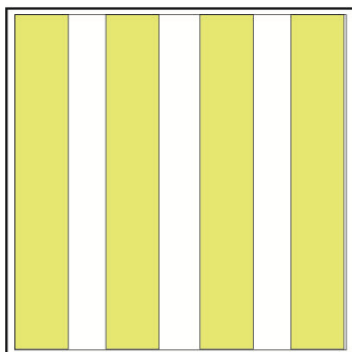
_FACCIAE CONTINUE
_FINESTRATURE (parte alta,
bassa, laterale, ...)

Fino al 50% della superficie
trasparente del locale



Riferimento 39 - Applicazione come sopra-luce del serramento. Effetto cromatico: luce solida. (Adamo-Faiden, Edificio Arribeños, Buenos Aires).

02_CONCEPT di PRODOTTO



LUCE FILIFORME

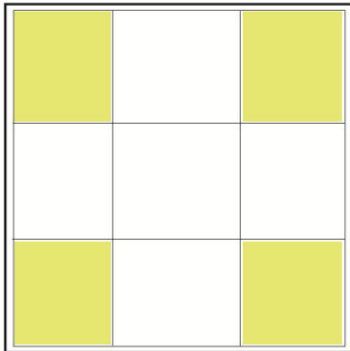
_FACCIAE CONTINUE
_FINESTRATURE (a passo variabile,
a passo regolare, ...)

Fino al 50% della superficie
trasparente del locale



Riferimento 40 - Alternanza a passo irregolare colore/trasparenza. Effetto cromatico: luce filiforme.

03_CONCEPT di PRODOTTO



LUCE PUNTIFORME

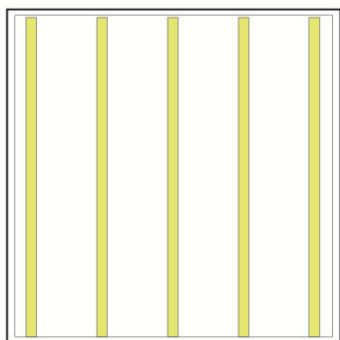
_FACCIAE CONTINUE
_FINESTRATURE (distribuzione regolare,
random, texture ...)

Fino al 70% della superficie
trasparente del locale



Riferimento 41 - Applicazione a texture. Effetto cromatico: luce puntiforme.

04_CONCEPT di PRODOTTO



LUCE DIREZIONATA

_FACCIATE CONTINUE
_SCHERMATURA FISSA

Fino al 50% della superficie
trasparente del locale

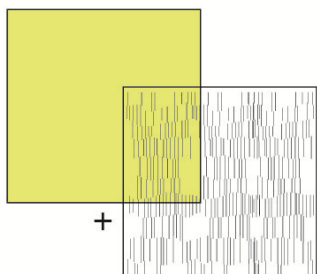


Riferimento 42 - Tomas Ghisellini, Scuola Primaria, Cenate Sotto (BG), Italia.

6.3.2 - Sovrapposizione di schermature

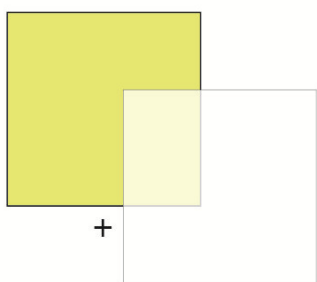
Quando la luce colorata in ingresso nei luoghi di soggiorno o servizio è eccessiva, pur avendo texturizzato la facciata, o si vogliono creare determinati giochi di luce, si può ricorrere ad una sovrapposizione di pannelli o lamelle. Questa sovrapposizione, se effettuata in maniera razionale e ragionata, oltre a regolare la luce, può portare un ulteriore vantaggio: grazie alla riflessione della luce sui pannelli o sulle lamelle, viene rimessa all'interno della lastra di PMMA portando un'ulteriore quantità di luce alle celle fotovoltaiche incollate ai bordi della lastra aumentando così la produzione di energia elettrica; in questo modo si potranno mettere in relazione gli effetti cromatici con le prestazioni energetiche.

PERCEZIONE CROMATICA: possibilità di interazione



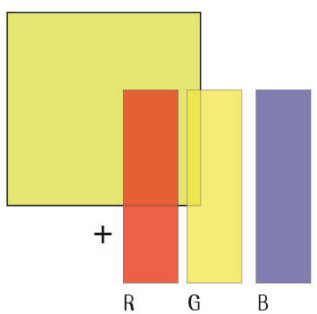
Colore + colore

La possibilità di interporre uno schermo tra i componenti LSC di facciata e l'ambiente interno permette di ottenere effetti visivi inaspettati. I codici di questi effetti sono da definire e non sono rintracciabili, se non parzialmente, nei dati quantitativi e misurabili. Si apre però, in questo modo, un ampio scenario di paesaggi luminosi e cromatici che vanno dalla modificazione del colore nella sua tonalità o intensità, fino alla moltiplicazione dei colori e della intensità luminosa.



Colore + materiale

La stessa logica applicata alla fase precedente vale per questa parte di analisi dove si prova a intervenire, migliorare, modificare, intercettare, la variante cromatica degli LSC attraverso l'interposizione di uno schermo ottenuto con materiali diversi che possono variare nell'essenza (legni, metalli, vetri, tessuti, ecc.) nella forma (lamelle, tubi, lastre, maglie, oggetti, ecc.) e nella quantità (fitti, radi, coprenti, ecc.). I risultati ottenuti (basati necessariamente su esperimenti) possono essere organizzati quasi esclusivamente secondo parametri e logiche progettuali soggettive.

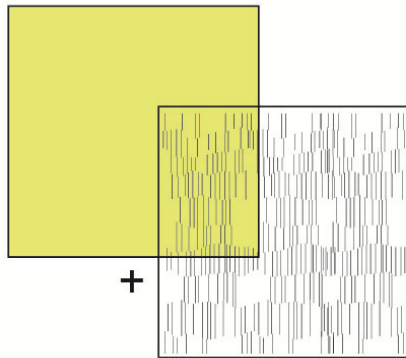


Colore + luce artificiale

La colorazione della luce che entra nell'ambiente definito dagli LSC può essere modificata anche attraverso un filtro cromatico che sia in grado di agire sulle dominanti calde e fredde della luce stessa. Questa analisi cerca di individuare gli strumenti per intervenire sulla colorazione della luce proiettata sulle pareti dell'ambiente interno.

Figura 46 – Schemi esplicativi delle possibilità di interazione di diversi materiali con il componente LSC

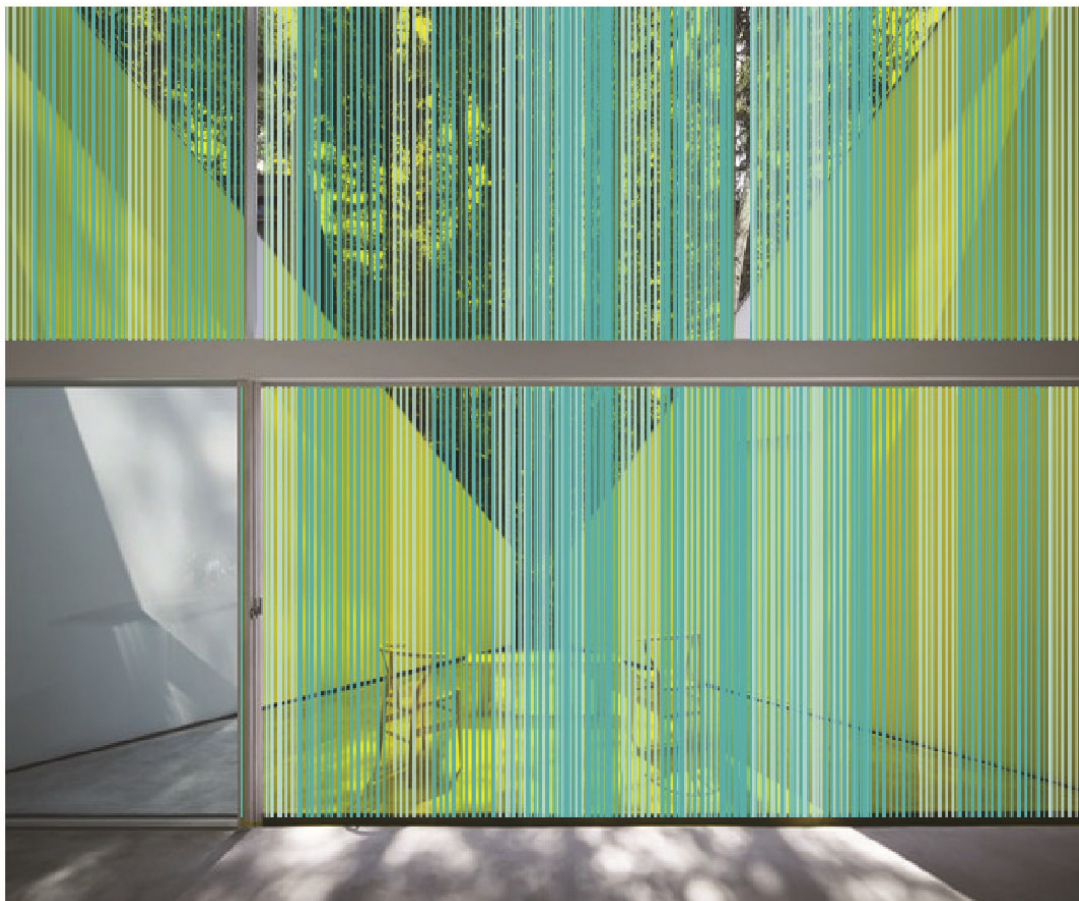
01_CONCEPT di PRODOTTO



COLORE + COLORE

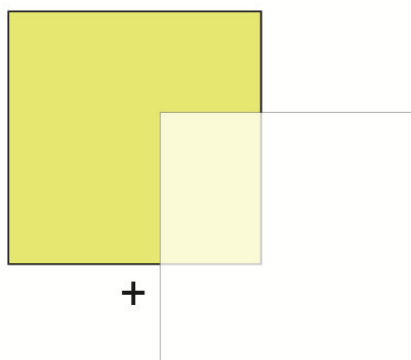
_VETRO COLORATO
_VETRO SATINATO (traslucido)
_POLIMERI

Facciate
Doppia pelle
Coperture



Riferimento 43 - Elementi verticali sottili e di differenti colori distanziati tra loro con passo regolare. (Ozeki, Ikuta, Forest Bath, Nagano, Giappone).

02_CONCEPT di PRODOTTO



COLORE + MATERIALE

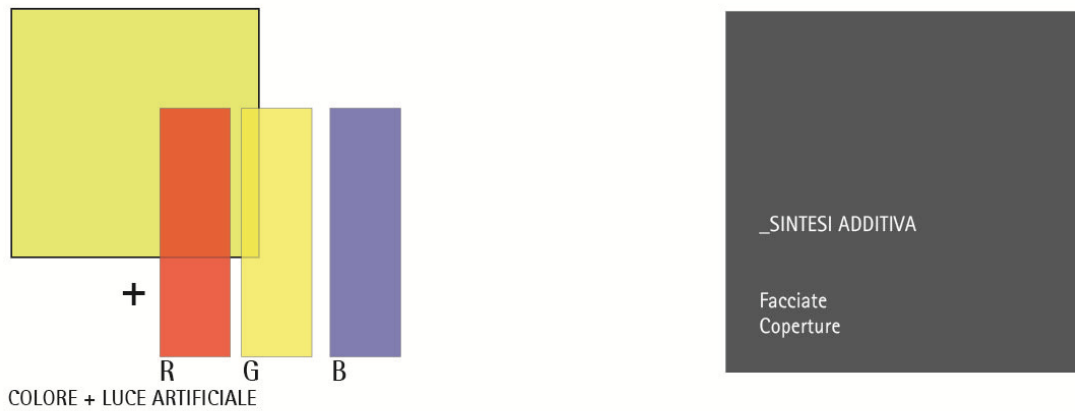
_VETRO SATINATO
_POLIMERI
_LEGNO
_METALLO

Facciate/serramento
Doppia pelle
Schermature
Coperture



Riferimento 44 - Pannello semitrasparente su parte della superficie colorata. (Ozeki, Ikuta, Forest Bath, Nagano, Giappone).

03_CONCEPT di PRODOTTO



Riferimento 45 - Sistema di illuminazione multidirezionale (sul perimetro del serramento). (Adamo-Faiden, Edificio Arribeños, Buenos Aires).

CAPITOLO 7 – CLASSIFICAZIONE DEL PANNELLO LSC RISPETTO AL QUINTO CONTO ENERGIA

Al fine di capire le modalità d'installazione e gli incentivi che si possono ottenere grazie a questa tecnologia, è stato analizzato l'ultimo conto energia emesso dall'organo competente, il GSE (Gestore Servizi Energia).

7.1 - Inquadramento del Quinto Conto Energia

Il DM 5 luglio 2012, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 159 del 10 luglio 2012, cosiddetto Quinto Conto Energia, ridefinisce le modalità di incentivazione per la produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica.

Le modalità di incentivazione previste dal Quinto Conto Energia si applicano a partire dal 27 agosto 2012 e cesserà di applicarsi decorsi 30 giorni solari dalla data in cui si raggiungerà un costo indicativo cumulato degli incentivi di 6,7 miliardi di euro l'anno (comprensivo dei costi impegnati dagli impianti iscritti in posizione utile nei Registri).

Le tariffe incentivanti del Quinto Conto Energia sono riconosciute alle seguenti tipologie tecnologiche:

- Impianti fotovoltaici suddivisi per tipologie installative (art.7 DM 5 luglio 2012);
- Impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative (art.8);
- Impianti fotovoltaici a concentrazione (art.9).

Per beneficiare delle tariffe incentivanti è necessario che gli impianti fotovoltaici rispettino i requisiti descritti negli articoli 7, 8 e 9 del DM 05/07/12 e specificati nelle "Regole Applicative per l'iscrizione al Registro e per il riconoscimento delle tariffe incentivanti".

Il Quinto Conto Energia remunera, a differenza dei precedenti meccanismi di incentivazione, con una tariffa omnicomprensiva la quota di energia netta immessa in rete dall'impianto e, con una tariffa premio, la quota di energia netta consumata in sito. In particolare il GSE eroga:

- *Sulla quota di produzione netta immessa in rete:* per gli impianti di potenza nominale fino a 1 MW e per gli impianti di potenza nominale superiore a 1 MW;
- *Sulla quota di produzione netta consumata in sito:* è attribuita una tariffa premio.

La tecnologia LSC rientra nella categoria d'incentivazione "impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative" regolate dall'articolo 8.

7.1.1 - Impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative

L'art. 8 del DM 5 luglio 2012 stabilisce che gli impianti fotovoltaici di potenza non inferiore a 1 kW e non superiore a 5 MW, realizzati secondo le previsioni del Decreto e che presentino tutti i requisiti prescritti, che utilizzano moduli non convenzionali e componenti speciali, sviluppati specificatamente per integrarsi e sostituire elementi architettonici di edifici, energeticamente certificabili secondo la normativa nazionale, hanno diritto alle tariffe incentivanti riportate nell'Allegato 6 del Decreto.

Caratteristiche e modalità d'installazione

Possono accedere alle tariffe incentivanti gli impianti fotovoltaici che utilizzano moduli e componenti con le seguenti caratteristiche:

- Moduli e componenti speciali, sviluppati specificatamente per l'integrazione e sostituzione di elementi architettonici dell'edificio, energeticamente certificabili;
- Moduli e componenti che abbiano significative innovazioni di carattere tecnologico;
- Moduli progettati e realizzati industrialmente per svolgere, oltre alla produzione di energia elettrica anche funzioni architettoniche quali:
 - o Protezione e regolazione termica dell'edificio;
 - o Tenuta all'acqua e impermeabilizzazione della struttura;
 - o Tenuta meccanica compatibile con l'elemento architettonico sostituito.

I moduli dovranno essere installati secondo le seguenti modalità:

- I moduli devono sostituire componenti architettonici degli edifici;
- I moduli devono svolgere una funzione di rivestimento di parti dell'edificio;
- Da un punto di vista estetico, il sistema fotovoltaico deve comunque inserirsi armoniosamente nel disegno architettonico dell'edificio.

L'integrazione architettonica del fotovoltaico è da considerarsi tale se, a seguito di una eventuale rimozione dei moduli fotovoltaici, viene compromessa la funzionalità dell'involucro edilizio, rendendo la costruzione non più idonea all'uso.

Nella "Guida alle applicazioni innovative finalizzate all'integrazione architettonica del fotovoltaico" sono contenuti i criteri generali e le schede di dettaglio, relative alle singole applicazioni, per il riconoscimento delle tariffe riservate agli impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative.

CAPITOLO 8 – OTTIMIZZAZIONE DEL PANNELLO LSC

Il pannello LSC, proprio per le sue caratteristiche ottico-illuminanti e di cattura della radiazione solare, può rappresentare una valida alternativa ai moduli fotovoltaici tradizionali e grazie alla sua versatilità, come analizzato nei capitoli precedenti, può essere applicato ad un gran numero di superfici con diverse configurazioni e funzioni. Questa tecnologia, a causa della sua scarsa resistenza termica (paragonabile ad una lastra di vetro singolo) e all'alta infiammabilità, presenta dei limiti che vanno analizzati e risolti al fine di creare un componente che possa raggiungere gli standard termici richiesti da normativa e una reazione al fuoco adeguata. Come prima fase per creare questo nuovo componente, sono stati studiati ed analizzati decreti e normative in riferimento alle prestazioni energetiche e reazione e tenuta al fuoco degli edifici.

8.1 - Normative e Decreti di riferimento

Le normative ed i decreti presi in esame sono:

- D.g.r. 22 dicembre 2008 – n VIII/8745 – Determinazione in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici;
- DM 26/06/2009 – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici;
- D.P.R. 26 Agosto 1993, n. 412 - Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.
- Norma UNI EN 13501-1:2009 - Reazione al fuoco dei materiali: classificazione europea;
- DM 26/06/2009 – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici;
- Norma UNI EN 14351-1:2006 - Finestre e porte pedonali - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali.

8.1.1 - D.g.r. 22 dicembre 2008 – n. VIII/8745

Il D.g.r. n.VIII/8745 sancisce le disposizioni da attuare al fine di ottenere un risparmio energetico, l'uso razionale dell'energia e la produzione energetica da fonti energetiche rinnovabili. Nella stessa sono descritti i requisiti minimi dell'involucro edilizio, i requisiti degli impianti per la climatizzazione invernale ovvero per il solo riscaldamento ambientale e per la produzione di acqua calda sanitaria, i requisiti di prestazione energetica del sistema edificio-impianto termico, nonché i requisiti per la certificazione energetica degli edifici.

Il decreto impone i valori di trasmittanza limite per i componenti opachi e trasparenti che delimitano l'involucro edilizio verso l'esterno, ovvero, verso ambienti a temperatura non controllata.

Tali valori sono riportati nella tabella seguente:

Zona climatica	Strutture rivolte verso l'esterno ovvero verso ambienti a temperatura non controllata			
	Opache verticali	Opache orizzontali o inclinate		Chiusure trasparenti comprensive di infissi
		Coperture	Pavimenti	
D	0,36	0,32	0,36	2,4
E	0,34	0,30	0,33	2,2
F	0,33	0,29	0,32	2,0

Tabella 12 - Trasmittanza massima per le strutture opache e trasparenti imposti dal - D.g.r. 22 dicembre 2008 – n.VIII/8745

Nella sezione “5 – Requisiti minimi dell’involucro edilizio” del suddetto decreto, vengono riportati i valori da rispettare per quanto riguarda la massa superficiale e la trasmittanza termica periodica, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva o il raffrescamento e contenere la temperatura interna degli ambienti. Questi valori vanno tenuti in considerazioni per le località nelle quali il valore medio mensile dell’irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, $I_{m,s}$ sia maggiore o uguale a 290 W/m^2 :

- Il valore della massa superficiale deve essere superiore a 230 kg/m^2 ;
- Il valore del modulo della trasmittanza termica periodica Y_{IE} deve essere inferiore a $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ per tutte le superfici opache verticali, e inferiore a $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le strutture opache orizzontali e inclinate.

8.1.2 - DM 26/06/2009

Il Decreto Ministeriale 26/6/2009 illustra in modo dettagliato le linee guida per la certificazione energetica degli edifici. Il suddetto Decreto fornisce le regole per la valutazione dell’indice di prestazione energetica estiva. Attualmente non si tiene conto dell’impianto di raffrescamento e quindi non si parla di energia primaria ma solo di energia richiesta dall’involucro per mantenere le condizioni di comfort estivo (26°C). Due i metodi per calcolare questo parametro:

- *Metodo dell’Epe, inv*

Questo metodo si basa sulla determinazione dell’EPE, inv con il metodo riportato nelle UNIT/TS 11300 parte 1 espresso in kWh/m^2 anno ed è pari al rapporto tra l’energia termica richiesta a mantenere le condizioni di comfort e la superficie netta del volume climatizzato.

- *Metodo basato su parametri qualitativi*

Nel caso di edifici esistenti con superficie utile inferiore a 1000 m^2 in alternativa al metodo

dell'Epe, inv è possibile fare una valutazione della qualità termica estiva dell'involucro in base alle caratteristiche dinamiche dello stesso: sfasamento¹¹ (S), espresso in ore, e attenuazione¹² (fa), grandezza adimensionale. Sulla base dei valori assunti da tali parametri si definisce la seguente classificazione valida per tutte le destinazioni d'uso:

Sfasamento (h)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$fa < 0,15$	Ottime	I
$12 > S > 10$	$0,15 < fa < 0,30$	Buone	II
$10 > S > 8$	$0,30 < fa < 0,40$	Medie	III
$8 > S > 6$	$0,40 < fa < 0,60$	Sufficienti	IV
$S < 6$	$fa > 0,60$	Mediocri	V

Tabella 13 – Qualità prestazionali dei valori di sfasamento e attenuazione

Nei casi in cui le coppie di parametri caratterizzanti l'edificio non rientrano coerentemente negli intervalli fissati in tabella, per la classificazione prevale il valore dello sfasamento.

8.1.3 - D.P.R. 26 Agosto 1993, n. 412

La classificazione del territorio italiano in zone climatiche è studiata al fine di contenere i consumi energetici degli impianti termici di riscaldamento.

Nella tabella per ognuna delle zone climatiche previste viene indicato il periodo dell'anno e il numero massimo di ore giornaliere in cui è consentita l'accensione degli impianti di riscaldamento, siano essi autonomi o centralizzati. Nell'eventualità di condizioni meteorologiche avverse i comuni interessati dalle temperature particolarmente rigide possono consentire l'accensione degli impianti termici anche in periodi differenti da quelli indicati. L'unità di misura utilizzata per assegnare ciascuno degli 8100 comuni italiani ad una specifica zona climatica è il grado-giorno, ovvero la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera.

Di seguito sono riportate la tabella contenente le zone climatiche italiane con i rispettivi gradi giorno, periodo di accensione e ore totali di accensione.

¹¹ Sfasamento è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno.

¹² Fattore di attenuazione o fattore di decremento è il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie.

ZONA	GRADI GIORNO	PERIODO	ORE
A	fino a 600	1 Dicembre - 15 Marzo	6
Lampedusa, Linosa, Porto Empedocle			
B	da oltre 600 a 900	1 Dicembre - 31Marzo	8
Agrigento, Catania, Crotone, Messina, Palermo, Reggio Calabria, Siracusa, Tortoli, Trapani			
C	da oltre 900 a 1400	15 Novembre - 31 Marzo	10
Andria, Bari, Barletta, Benevento, Brindisi, Cagliari, Carbonia, Caserta, Catanzaro, Cosenza, Iglesias, Imperia, Latina, Lecce, Napoli, Olbia, Oristano, Ragusa, Salerno, Sanluri, Sassari, Taranto, Trani, Villacidro			
D	da oltre 1400 a 2100	1 Novembre - 15 Aprile	12
Ancona, Ascoli Piceno, Avellino, Caltanissetta, Chieti, Fermo, Firenze, Foggia, Forlì, Genova, Grosseto, Isernia, La Spezia, Lanusei, Livorno, Lucca, Macerata, Massa, Carrara, Matera, Nuoro, Pesaro, Pesaro, Pescara, Pisa, Pistoia, Prato, Roma, Savona, Siena, Tempio Pausania, Teramo, Terni, Verona, Vibo Valentia, Viterbo			
E	da oltre 2100 a 3000	15 Ottobre - 15 Aprile	14
Alessandria, Aosta, Arezzo, Asti, Bergamo, Biella, Bologna, Bolzano, Brescia, Campobasso, Como, Cremona, Enna, Ferrara, Cesena, Frosinone, Gorizia, L'Aquila, Lecco, Lodi, Mantova, Milano, Modena, Monza, Novara, Padova, Parma, Pavia, Perugia, Piacenza, Pordenone, Potenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rieti, Rimini, Rovigo, Sondrio, Torino, Trento, Treviso, Trieste, Udine, Varese, Venezia, Verbania, Vercelli, Vicenza			
F	oltre 3000	Nessuna limitazione	24
Belluno, Cuneo			

Tabella 14 - Suddivisione in zone climatiche del territorio Italiano secondo D.g.r. 22 dicembre 2008 - n. VIII/8745

8.1.4 - UNI EN 13501-1:2009 - Reazione al fuoco dei materiali

Per reazione al fuoco si intende il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto. La classificazione dei prodotti è regolata dalla UNI EN 13501-1:2009. Tale norma classifica i prodotti secondo le modalità riportate nella tabella seguente.

CLASSIFICAZIONE		CLASSIFICAZIONE ADDIZIONALE (Primo livello)			CLASSIFICAZIONE ADDIZIONALE (Secondo livello)			
A1	Il materiale non è combustibile	Non necessaria			Non necessario			
A2	Il materiale non contribuisce in maniera significativa alla propagazione dell'incendio	s	Classe di opacità dei fumi	1	d	Classe di gocciolamento	0	Nessun gocciolamento
B	Il materiale è debolmente combustibile			2			1	Lento gocciolamento
C D E	Il materiale è combustibile			3			2	Elevato gocciolamento
F	Non classificato							

Classificazione principale			Classificazione accessoria		
A1	+ + + + +	classi dei materiali incombustibili (vetro, fibra di vetro, metalli, porcellane, ecc)	1	++ migliore	s = smoke: produzione di fumo durante la combustione
A2			s	2 +	
B	+ + + +	materiali combustibili non infiammabili	3	- peggiore	
C	+ + +	materiali combustibili non facilmente infiammabili	0	++ migliore	d = dripping: gocciolamento durante la combustione
D	+ +		d	+	
E	+		2	- peggiore	
F	--	materiali facilmente infiammabili			

Tabella 15 - Metodo di assegnazione classe reazione al fuoco.

La reazione al fuoco dei materiali, che non ha niente a che fare con la resistenza al fuoco delle strutture (caratteristica che riguarda quando tempo una struttura mantiene le proprie capacità portanti o separanti) può essere valutata solo in laboratorio. Per questo motivo, la classe di reazione al fuoco di un qualsiasi prodotto si esprime attraverso il valore che si attribuisce al prodotto stesso dopo una prova. I prodotti che sono riportati nell'allegato C) della decreto, non devono essere sottoposti all'esecuzione delle relative prove di reazione al fuoco in ottemperanza alle decisioni della Commissione dell'Unione europea.

- ***Elenco dei materiali da considerare come appartenenti alle classi A1 e A1fl di reazione al fuoco di cui alla decisione 2000/147/ce senza dover essere sottoposti a prove***

Per essere considerati delle classi A1 e A1FL senza essere sottoposti a prove, i prodotti devono

essere composti solo di uno o più dei seguenti materiali. I prodotti composti mediante incollatura di uno o più dei seguenti materiali saranno considerato delle classi A1 e A1FL senza essere sottoposti a prove a condizione che la colla non superi lo 0,1% del peso o del volume (in base a quello che produce l'effetto più restrittivo).

MATERIALI	OSSERVAZIONI
Argilla espansa	
Perlite espansa	
Vermiculite espansa	
Lana di roccia	
Vetro multicellulare	
Calcestruzzo	Include il calcestruzzo pronto per l'uso e i prodotti prefabbricati in cemento armato o in calcestruzzo compresso
Calcestruzzo in granuli	Può contenere aggiunte e additivi, pigmenti e altri materiali. Comprende elementi prefabbricati
Elementi in cemento cellulare trattati in autoclave	Elementi costituiti di leganti idraulici, come il cemento e/o la calce mescolati a materiali fini e materiali cellulari. Comprende elementi prefabbricati
Fibrocemento	
Cemento	
Calce	
Loppa di altoforno/ceneri volanti	
Aggregato minerale	
Ferro, acciaio e acciaio inossidabile	Non in forme finemente sminuzzate
Rame e leghe di rame	Non in forme finemente sminuzzate
Zinco e leghe di zinco	Non in forme finemente sminuzzate
Alluminio e leghe di alluminio	Non in forme finemente sminuzzate
Piombo	Non in forme finemente sminuzzate
Gesso e malte a base di gesso	Può comprendere additivi, aggregati compatti o aggregati leggeri.
Malta con leganti inorganici	Malte per rinzaffo e intonaco, malte per massetti e malte per murature contenenti uno o più agenti leganti inorganici, quali cemento, calce, cemento per murature e gesso.
Elementi in argilla	Elementi in argilla o in altre materie argillose che contengono o meno sabbia, combustibili o altri additivi. Comprende mattoni, pavimenti in mattonelle ed elementi in argilla refrattaria
Elementi in silicato di calcio	Elementi fabbricati a partire da un miscuglio di

	calce e di materiali naturalmente silicei. Possono includere pigmenti colorati.
Prodotti in pietra naturale e in ardesia	Elementi in ardesia o in pietre naturali lavorate o non.
Elementi in gesso	Comprende blocchi e altri elementi a base di solfato di calcio e di acqua contenenti eventualmente fibre, materiali di riempimento, aggregati e altri additivi, e può essere colorato con pigmenti.
Mosaico alla palladiana	Include mattonelle prefabricate e pavimentazione in sito
Vetro	Vetro temperato
Vetroceramica	Vetroceramica che comprende una fase cristallina e una residua
Ceramica	Comprende i prodotti in polvere di argilla pressata, i prodotti estrusi, vetrificati o meno

Tabella 16 . -Elenco dei materiali da considerare come appartenenti alle classi a1 e a1fl di reazione al fuoco di cui alla decisione 2000/147/ce senza dover essere sottoposti a prove

8.1.5 - UNI EN 14351-1:2006 - Finestre e porte pedonali

La norma UNI EN 14351-1:2006, contiene tutte le prescrizioni per la certificazione dei requisiti necessari a ottenere la marcatura “CE”. La marcatura “CE” è un marchio apposto dai fabbricanti, sotto loro propria responsabilità, sui prodotti a garanzia che questi rispettino i requisiti UE in materia di sicurezza, salute e protezione ambientale. I prodotti recanti la marcatura “CE” sono conformi alle direttive di pertinenza e di conseguenza possono circolare liberamente nel Mercato Europeo. I requisiti essenziali per ottenere il marchio “CE” sono:

- Resistenza meccanica e stabilità;
- Sicurezza in caso d’incendio;
- Igiene, salute e ambiente;
- Sicurezza nell’impiego;
- Protezione contro il rumore;
- Risparmio energetico e ritenzione del calcolo.

La parte 1 della norma UNI EN 14351-1:2006 (Finestre e porte esterne pedonali senza caratteristiche di resistenza al fuoco e/o tenuta al fumo (ma incluse le prestazioni di comportamento al fuoco delle finestre da tetto)) si applica alle seguenti tipologie di serramento:

- Finestre con o senza oscuranti e/o schermi;
- Finestre da tetto;
- Portefinestre per uso esterno;
- Porte esterne pedonali;
- Porte esterne per vie di fuga.

Le caratteristiche prestazionali essenziali per ottenere la Marcatura CE dei serramenti sono riassunte nella seguente tabella:

CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI	FINESTRE	PORTE ESTERNE PEDONALI	FINESTRE DA TETTO	CHIUSURE OSCURANTI
PRESTAZIONE AL FUOCO DALL'ESTERNO			°	
REAZIONE AL FUOCO			°	
PERMEABILITÀ ALL'ARIA	°	°	°	
RESISTENZA AL CARICO DI VENTO	°	°	°	°
TENUTA ALL'ACQUA	°	°	°	
TRASMITTANZA TERMICA	°	°	°	
ISOLAMENTO ACUSTICO	°	°	°	
RESISTENZA ALL'IMPATTO (PER PORTE VETRATE)		°	°	
CAPACITA' DI RILASCIO		°	°	
FORZE DI MANOVRA		°	°	
RESISTENZA AI CARICHI DEI DISPOSITIVI DI SICUREZZA			°	
SOSTANZE PERICOLOSE	<i>Se presenti, il produttore è tenuto a dichiararlo</i>			

Tabella 17 - Caratteristiche prestazionali al fine di ottenere il marchi "CE"

Come si può osservare, per quanto riguarda le prove da effettuare al fine di ottenere il marchio “CE” per l’elemento finestre, le prove di “Prestazione al fuoco dall’esterno” e “Reazione al fuoco” non sono richieste poiché l’elemento è composto da materiali, come il vetro, classificati materiali incombustibili. Le prove che andranno effettuate riguardano la permeabilità all’aria, la resistenza al carico di vento, la tenuta all’acqua, la trasmittanza termica e l’isolamento acustico.

8.2 - Progettazione del nuovo componente LSC

Il nuovo componente LSC è stato pensato e progettato al fine di creare un’integrazione totale con l’involucro edilizio, in grado di soddisfare i requisiti termici richiesti da normativa.

La struttura portante, che deriva dalla produzione serramentistica, è un sistema fermavetro in alluminio o PVC a taglio termico in modo da alleggerire l’intera struttura e garantire adeguate prestazioni termiche ed energetiche.

La finestra con integrato il pannello LSC è ancorata al telaio in modo da garantire un’adeguata tenuta all’acqua e al vento.

Di seguito sono riportate alcuni profili commerciali individuati per creare pareti, balconi e tetti in PVC termoisolanti e rinforzati in acciaio che, esternamente o su entrambi i lati, vengono rivestiti con gusci in alluminio in grado di integrare la tecnologia LSC.

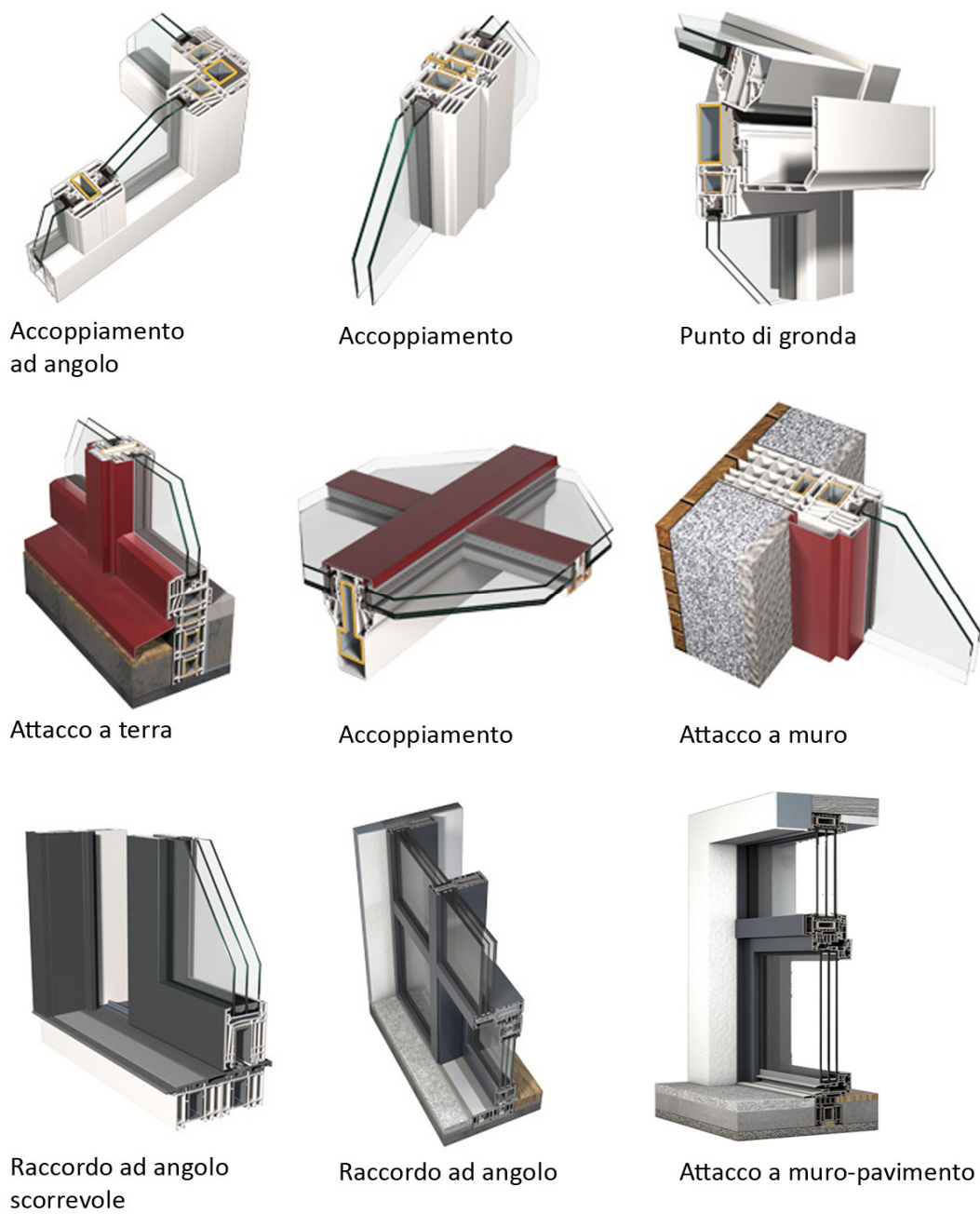


Figura 47 - Esempi di possibili serramenti da utilizzare per il nuovo componente

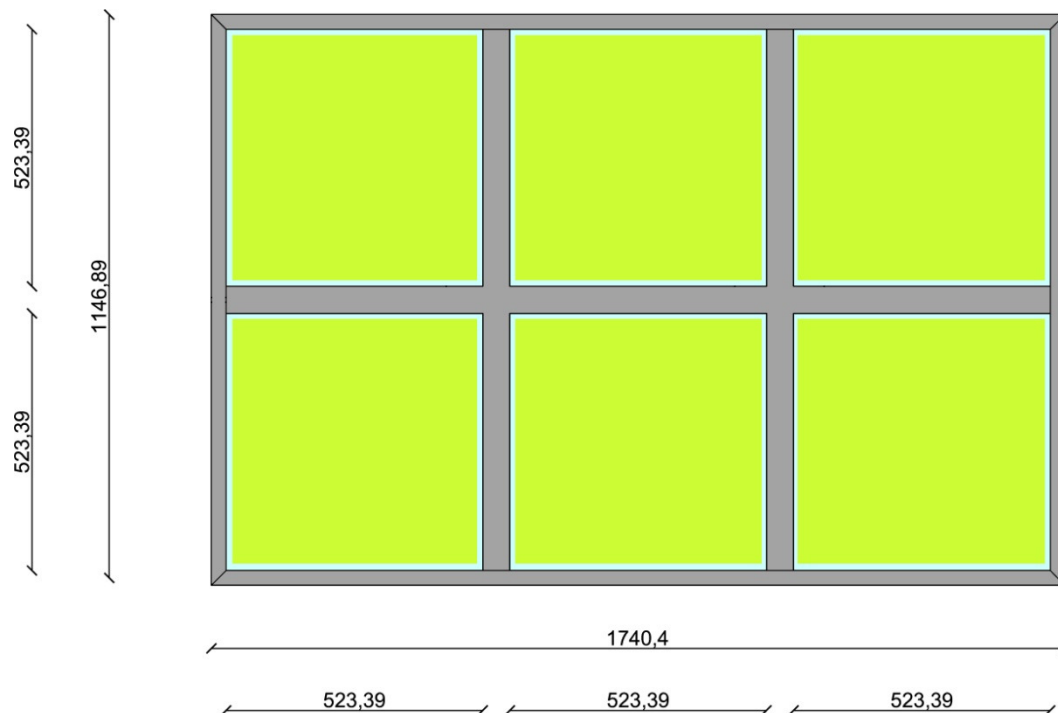


Figura 48 – Prospetto del nuovo modulo LSC con collegamenti elettrici dei tra i pannelli LSC

8.2.1 – Prestazione isolamento termico

Dopo aver individuato la soluzione tecnologica rispondete ai requisiti di maggior leggerezza, protezione dagli agenti atmosferici e produzione di energia elettrica, è stata calcolata la trasmittanza dell'intero pacchetto in modo da verificare i limiti imposti da normativa. I dati ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Elemento	Trasmittanza Totale (W/m ² K)
Finestra fotovoltaica LSC	1.064

Tabella 18 - Calcolo trasmittanza del nuovo componente

Dai calcoli effettuati emerge che il componente rientra pienamente negli standard richiesti in tutte le zone termiche identificate da normativa quindi installabile, con funzione di chiusura verticale trasparente, in tutte le zone climatiche italiane.

Zona climatica	strutture opache verticali	strutture opache orizzontali o inclinate		Chiusure apribili e assimilabili (**)
		Coperture	Pavimenti (*)	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

Tabella 19 - Valori di trasmittanza perle strutture opache e trasparenti da rispettare nelle diverse zone climatiche

8.2.2 – Caratteristiche di reazione al fuoco

Per quanto riguarda i problemi legati alla resistenza al fuoco, secondo la normativa UNI EN 13501-1:2009 - Reazione al fuoco dei materiali - allegato C), i materiali che sono rivestiti da uno o più elementi riportati "nell'elenco dei materiali da considerare come appartenenti alle classi A1 e A1fl di reazione al fuoco di cui alla decisione 2000/147/CE senza dover essere sottoposti a prove", saranno considerati in classi A1 e A1FL senza essere sottoposti a prove. Inoltre, secondo la norma "UNI EN 14351-1:2006 - Finestre e porte pedonali - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali", i componenti finestra posti nella porzione verticale dell'edificio, al fine di raggiungere i requisiti per ottenere il marchio "CE", non devono essere sottoposti a prove di "Prestazione al fuoco dall'esterno" e "Reazione al fuoco" ma soltanto alle prove che riguardano la permeabilità all'aria, la resistenza al carico di vento, la tenuta all'acqua, la trasmittanza termica e l'isolamento acustico.

Il manufatto oggetto di studio rispetta i requisiti imposti da normativa per quanto riguarda gli elementi "finestra" installata nelle porzioni verticali dell'edificio. Differentemente, per quanto riguarda l'installazione nelle parti orizzontali e/o inclinate dell'edificio, dovranno essere effettuate prove in laboratorio di reazione al fuoco in modo da ottenere il marchio "CE" rispettando le prestazioni richieste dalla normativa UNI EN 13501-1:2009.

8.2.3 – Prestazioni illuminotecniche

Al fine di studiare ed analizzare le proprietà ottico-illuminanti del pannello LSC e della stratificazione proposta per l'ottimizzazione della lastra, sono state condotte delle misurazioni in condizioni di cielo sereno con luce diretta. Le prove sono state effettuate presso lo studio Light engineering design Ferrara - Palladino e Associati. Per effettuare le misurazioni, è stato utilizzato uno spettrofotometro Konica Minolta CL-500A. Questo strumento è molto compatto, leggero e completamente autonomo per misurazioni accurate di un ampio range di sorgenti di luce. Con il suo range di lunghezza d'onda spettrale che va da 360 a 780 nm, il CL-500A può calcolare tutti i maggiori valori cromatici, temperatura di colore, indice di rendering colore (CRI) con accuratezza spettrale. La sua precisione e soprattutto la sua performance globale, fanno di questo strumento il primo spettrometro per la misura dell'illuminamento portatile completamente conforme alla norma DIN 5032 Parte 7, Classe B come pure JIS C1609 Classe AA.

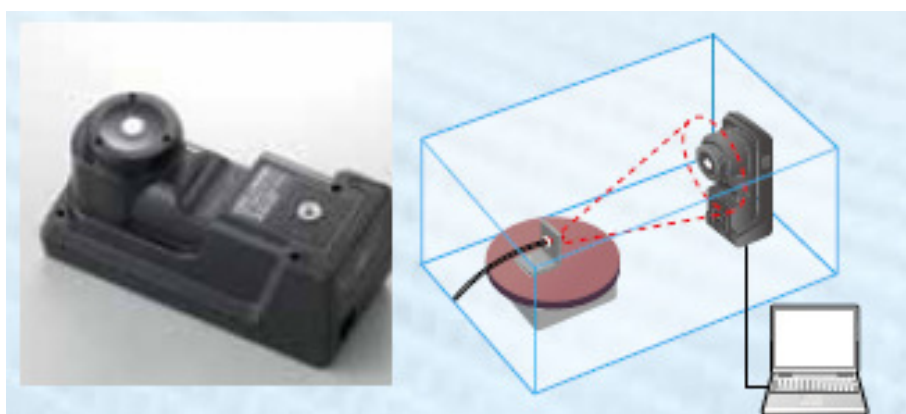


Figura 49 - Spettrometro CL-500A

Le principali specifiche e tolleranze dello strumento sono raccolte nella seguente tabella.

Specifiche tecniche Spettrometro CL-500A	
Modello	Spettrofotometro per misure di illuminamento CL-500A
Classe di appartenenza	Conforme ai requisiti per la classe AA di JIS C 1609-11:2006 "metri Illuminamento Parte 1: strumenti di misura generali" Conforme alla norma DIN 5032 parte 7 Classe B
Range Spettrale	Da 360 a 780 nm
Passo Lunghezza d'onda	1 nm
Larghezza di banda spettrale	Circa 10 nm
Lunghezza d'onda di precisione	±0.3 nm (lunghezza d'onda median di 435.8 nm, 546,1 nm e 585,3 nm, come specificato in JIS Z 8724)
Campo di misura	Da 0.1 a 100,000 lx (la cromaticità del display richiede 5 lx o più)
Precisione (illuminante standard A)	E _v (illuminamento): ±2%±1 digit del valore visualizzato xy: ±0.0015 (10 - 100,000 lx) xy: ±0.002 (5 - 10 lx)
Ripetibilità (2σ) (illuminante standard A)	E _v : 0.5%+1 digit xy: 0.0005 (500 - 100,000 lx) xy: 0.001 (100 - 500 lx) xy: 0.002 (30 - 100 lx) xy: 0.004 (5 - 30 lx)
Risposta spettrale relativa caratteristica (f1')	Entro l'1.5% dell'efficienza luminosa spettrale V (λ)
Risposta al Coseno (f2)	E _v : entro il 3%
Deriva termica (FT)	E _v : ±3% del valore visualizzato; xy: ±0.003
Drift Umidità (FH)	E _v : ±3% del valore visualizzato; xy: ±0.003
Temperatura di stoccaggio / umidità	Da -10 a 45°C, umidità relative dell'85% o meno (a 35°C) senza formazione di condensa
Dimensioni (LxPxA)	70x165x83 mm
Peso	350 g

Tabella 20 - Caratteristiche tecniche dello spettrometro CL-500A

Lo strumento è collegato direttamente ad un pc che, grazie al software fornito dalla casa produttrice, permette di trasferire facilmente i dati delle misurazioni in fogli di calcolo Excel. Con il suo ampio schermo a LCD e la batteria ricaricabile al litio, lo spettrometro CL-500A consente di effettuare misurazioni sul campo ma può essere anche collegato direttamente ad un computer per ottenere in modo immediato i dati delle misurazioni effettuate.

I parametri presi in esame sono:

- **Illuminamento (E)**

L'illuminamento di un punto in una superficie è il rapporto tra il flusso luminoso (dφ) incidente su un elemento infinitamente piccolo della superficie che contiene il punto e l'area (dA) di questo elemento.

-

$$(E) = \frac{d\phi}{dA}$$

Questa formula dà il valore esatto dell'illuminamento per tutti i punti interni all'area A di dimensioni finite se il flusso luminoso (φ) è distribuito sulla superficie, diversamente, il rapporto indica il valore medio per tutti i punti che ricadono

all'interno dell'area. I calcoli dell'illuminamento all'interno di un volume, si possono effettuare sia in condizione di cielo coperto che in condizioni di cielo sereno in modo da capire e verificare il comportamento degli elementi in entrambe le condizioni atmosferiche.

L'unità di misura dell'illuminamento è il lux (lm/m^2). L'illuminamento è uguale ad 1 lux se un flusso luminoso uniformemente distribuito di 1 lumen cade su un'area di 1 m^2 .

- Coordinate cromatiche

Nel 1931 viene introdotto il sistema colorimetrico CIE che permette di rappresentare su un grafico (Triangolo dei Colori o Diagramma colorimetrico) le proprietà cromatiche della luce. Il grafico è rappresentato da un'area delimitata da una curva a forma di campana. Il sistema colorimetrico CIE si basa sulla sintesi additiva dei seguenti tre colori primari: Rosso R ($\lambda_R = 700 \text{ nm}$), Verde G ($\lambda_G = 546,1 \text{ nm}$), Blu B ($\lambda_B = 435,8 \text{ nm}$). È stato verificato sperimentalmente che per somma di questi colori è possibile ottenere tutte le tonalità cromatiche.

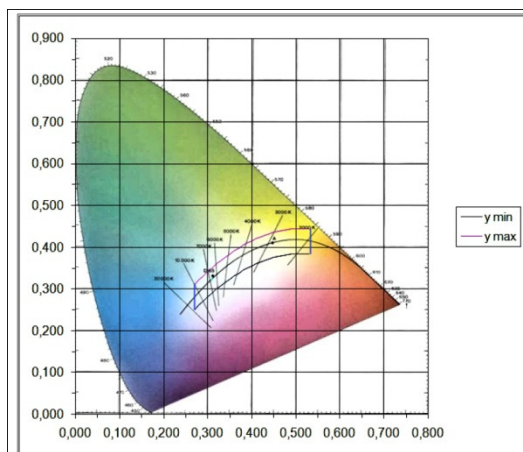


Figura 50 - Triangolo dei Colori CIE

I colori della luce e i colori degli oggetti sono rappresentati nel Triangolo dei Colori CIE. Sulla curva a campana trovano posto i colori puri mentre al suo interno tutti gli altri colori. Attraverso le coordinate cromatiche X e Y si possono individuare le diverse cromaticità della luce e degli oggetti.

- Temperatura di colore

La temperatura di colore è espressa in gradi Kelvin (K), caratterizza la tonalità della luce emessa da una sorgente luminosa in confronto con quella emessa da un corpo nero riscaldato a una temperatura compresa tra 2000 e 10000 K. La temperatura di colore è quindi la temperatura che dovrebbe avere un corpo nero per emettere una luce di colore simile a quello della sorgente desiderata.

- Temperatura inferiore a 3200 K: luce bianco – calda:
 - o Emissioni di luce con un colore che spazia dal rossiccio, al giallo-arancione al bianco a seconda che i gradi Kelvin siano rispettivamente più vicino allo 0 o ai 3300° K.
- Temperatura compresa tra i 3200 K e i 5300 K - luce bianco neutra;
 - o Emissione di luce con un colore tendente al bianco.
- Temperatura maggiore di 5300 K: luce bianco – fredda.
 - o Emissione di luce con un colore che tende al bluastro – bianco.

Per creare le migliori condizioni visive nei vari ambienti in cui l'uomo svolge le proprie funzioni, è necessario individuare l'adeguata temperatura di colore della luce in modo da non creare fastidio alla vista e un ambiente psico-fisico stimolante. Nella tabella seguente sono riportate le temperature di colore consigliate per i vari ambienti¹³.

Tonalità	Temperatura di colore	Applicazioni
Calda	< 3300° K	Residenziale
Neutra	3300° K – 5300° K	Lavorativo
Fredda	> 5300° K	Impieghi visivi molto elevati

Tabella 21 - livelli di tonalità della temperatura di colore

- **Distanza dal Corpo Nero (BL)**

Per definire l'indice di resa cromatica, si prende come riferimento la radiazione emessa da un corpo nero e data una sorgente luminosa che abbia una certa temperatura di colore, tale indice misura la differenza tra come, in generale, appaiono cromaticamente gli oggetti quando sono illuminati da essa e come appaiono quando sono illuminati da un corpo nero alla stessa temperatura, il quale rappresenterà la sorgente campione: minore è tale differenza, migliore è la resa cromatica della sorgente e, quindi, maggiore è il valore dell'indice.

- **Lunghezza d'onda dominante**

Tutti i colori, come spiegato precedentemente, si possono rappresentare all'interno del triangolo dei colori CIE. Il bianco, all'interno del triangolo, occupa la posizione centrale e se conduciamo una retta dal punto centrale del bianco al punto rappresentativo del colore prescelto e la prolunghiamo fino al bordo, si determina l'intersezione sul bordo del triangolo. Per qualsiasi colore, esclusi i colori porpora, si determina in questo modo una lunghezza d'onda, detta dominante, che è il valore di lunghezza d'onda corrispondente al punto di intersezione sulla curva.

¹³ UNI EN 12464-1 Illuminazione posti di lavoro

Le misure prese in esame per la caratterizzazione sia della lastra in PMMA che la soluzione stratificata sono: l'illuminamento [lux], la temperatura di colore (CCT) [K], la cromaticità (xy, u'v'), la distanza dal corpo nero (BL) Duv e la lunghezza d'onda dominante [nm]. I dati ricavati sono riportati e paragonati nelle tabelle seguenti.

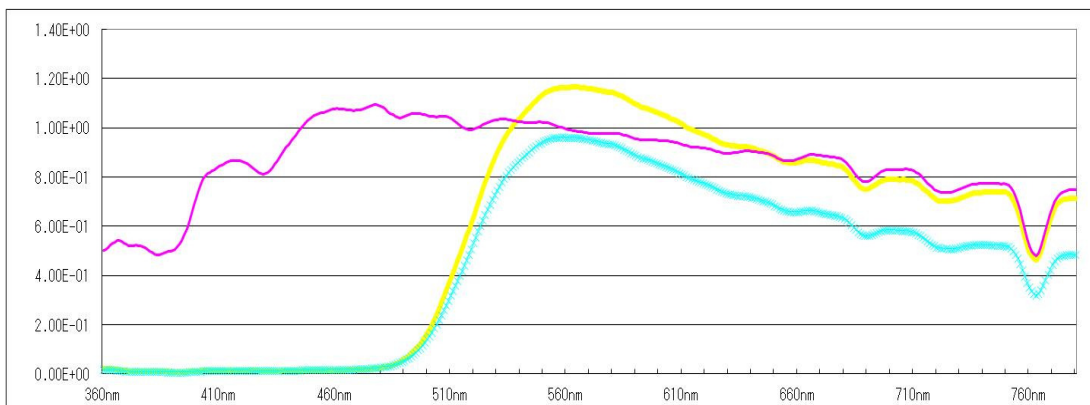


Tabella 22 - Valori di irradianza spettrale di una lastra in vetro, in PMMA gialla e del nuovo componente. Viola = Lastra in vetro; Giallo = PMMA giallo; Celeste = Nuovo componente LSC.

Parametri	Simbolo	Unità	Lastra in vetro	PMMA giallo	PMMA stratificato
Illuminamento	E_v	lux	72208	67364	55109
Coordinate cromatiche	x	-	0.3253	0.4746	0.4698
	y	-	0.3373	0.5042	0.5065
Temperatura di colore CCT	T_{cp}	K	5829	3135	3203
Distanza dal BL	D_{uv}	-	0.0013	0.030	0.031
Lunghezza d'onda dominante	DW	nm	478	564	559

Tabella 23 - Valori ricavati dalle misurazione tramite spettrometro delle lastre in vetro, in PMMA giallo e del nuovo componente

I dati delle misurazioni effettuate, in condizioni di cielo sereno, hanno fatto emergere che la lastra gialla in PMMA riduce i valori di illuminamento e della temperatura di colore, rispetto alla lastra in vetro, rispettivamente del 6,7% e del 46,2% mentre aumenta la lunghezza d'onda dominante del 15,1%. Paragonando le misurazioni effettuate sulla lastra in vetro e sul nuovo componente, si verificano le stesse condizioni, ovvero, i valori di illuminamento e temperatura di colore diminuiscono rispettivamente del 23,6% e del 45% mentre aumentano i valori della lunghezza d'onda dominante del 17%. Sia la lastra gialla in PMMA che la lastra in PMMA stratificata diminuiscono i livelli di illuminamento e temperatura di colore rispetto ad una lastra in vetro mentre riescono ad aumentare quelli della lunghezza d'onda dominante.

Un valore molto importante da valutare è la temperatura di colore poiché, nel caso della lastra in vetro, è di circa 5800° K, cioè una luce bianca fredda, idonea per impieghi visivi

molto elevati e non per gli ambienti lavorativi. Entrambe le lastre in PMMA riescono ad ridurre la temperatura di colore ma, differentemente dalla lastra in PMMA stratificata il cui valore (3200° K) si avvicina agli standard per ottenere una luce bianca neutra adatta agli ambienti lavorativi, la lastra gialla in PMMA la riduce eccessivamente (circa 3100° K) rientrando nella categoria di luce bianca calda idonea per le abitazioni residenziali¹⁴. Paragonando, quindi, le due lastre in PMMA si nota che la lastra stratificata riduce i valori d'illuminamento e la lunghezza d'onda dominante del 18,2% e dello 0,88% mentre riesce ad aumentare la temperatura di colore del 2,17%.

8.2.4 – Caratterizzazione del nuovo componente LSC

Il progetto di questo nuovo componente è stato analizzato dall'istituto di Ricerca ENI Donegani che ne ha avviato la produzione dei primi prototipi per verificare e testare sul campo le prestazioni al fine di operarne un'adeguata caratterizzazione. Al momento, il modulo è in fase di realizzazione e non è stato quindi possibile procedere alla campagna di misurazione delle prestazioni elettriche e di durabilità.

¹⁴ UNI EN 12464-1 - Illuminazione posti di lavoro.

CAPITOLO 9 – CARATTERIZZAZIONE DI UN AMBIENTE LAVORATIVO CHE INTEGRA LA TECNOLOGIA LSC

Nel capitolo precedente è stato ottimizzato e caratterizzato il componente LSC al fine di creare un adeguato componente in grado di sostituire gli elementi di chiusura trasparenti. Le misurazioni effettuate hanno dimostrato l'adeguatezza del componente per applicazioni in ambito di spazi per ufficio in quanto la temperatura di colore si aggira intorno ai 3200° K spostando il colore della luce nella gamma del bianco caldo comportando un miglior confort visivo per le utenze.

Poiché una finestra composta esclusivamente da pannelli LSC proietterebbe all'interno dell'ambiente macchie di colore giallo portando un elevato disturbo visivo alle utenze, il componente analizzato andrà a sostituire solo il sopra luce della finestra in modo da creare la giusta interazione e il giusto mix tra luce bianca e luce gialla. Per verificare questa interazione, è stato necessario creare un modello di studio sul quale effettuare delle misurazioni fotometriche.

9.1 - Caratterizzazione dell'ambiente lavorativo: UFFICIO

Il pannello LSC verrà posizionato, come spiegato precedentemente, come sopra luce di una finestra di un ambiente lavorativo.

La progettazione del modello di studio segue e rispetta le linee guida dettate dal “D. Lgs. Del 09/04/2008, n. 81 al titolo II e all'allegato IV”.

9.1.1 - D. Lgs. Del 09/04/2008, n. 81 al titolo II e all'allegato IV

Di seguito viene riportato un estratto del Decreto Legislativo precedentemente citato:

Parametri costruttivi generali:

- Altezza

L'altezza netta (misurata dal pavimento all'altezza media del soffitto) dei locali di lavoro non può essere inferiore a 3 m. La U.S.L. può, su richiesta motivata del datore di lavoro, consentire altezze inferiori ed, eventualmente, prescrivere adeguati mezzi di ventilazione.

- Cubatura

La cubatura non deve essere inferiore a 10 mc lordi per lavoratore; tuttavia è consigliabile computare il valore dei 10 mc al netto degli arredi, degli impianti, etc.

- Superficie

La superficie minima lorda che deve essere messa a disposizione di ogni lavoratore occupato in ciascun ambiente è di almeno 2 mq lordi; è consigliabile, comunque, che non sia inferiore a 1 mq netto.

- Illuminazione

E' necessario disporre di sufficiente illuminazione naturale; essa può essere integrata, ma non sostituita, da quella artificiale; l'illuminazione naturale può essere omessa nel caso che risulti dannosa per le lavorazioni svolte o in caso di locali sotterranei.

- Illuminazione naturale

Di norma, si considera sufficiente l'illuminazione naturale (compresa quella indiretta) proveniente da finestre poste ad un'altezza di 0.80 m dal pavimento e dimensionate in modo tale che la superficie delle stesse sia almeno 1/8 della superficie del locale; è equivalente disporre di una superficie illuminante a tetto pari a 1/10 della superficie. In ogni caso deve essere garantito, per ogni locale di lavoro, il rispetto del fattore medio di luce diurna del 2% (D.M. 05/07/75)

- Illuminazione artificiale

Gli impianti di illuminazione artificiali devono essere installati in caso di necessità di illuminazione maggiore per lo svolgimento di particolari attività. Gli attuali standard d'illuminamento dovuti all'illuminazione artificiale per gli ambienti di lavoro sono riportati nella norma UNI EN 12464-1.

9.1.2 - Dimensioni modello di studio

Il modello utilizzato per le simulazioni ha dimensioni adatte ad ospitare due persone con una SLP di 20 m² (5m x 4m) e l'altezza netta di 3 m. L'illuminazione naturale è garantita da una finestra posta ad un'altezza di 0,9 m dal pavimento per una superficie totale di 2,4 m² (2 m x 1,2 m). Il sopraluce è posizionato a 0,05 m dalla parte superiore della finestra con dimensioni di 2 m x 0,5 m.

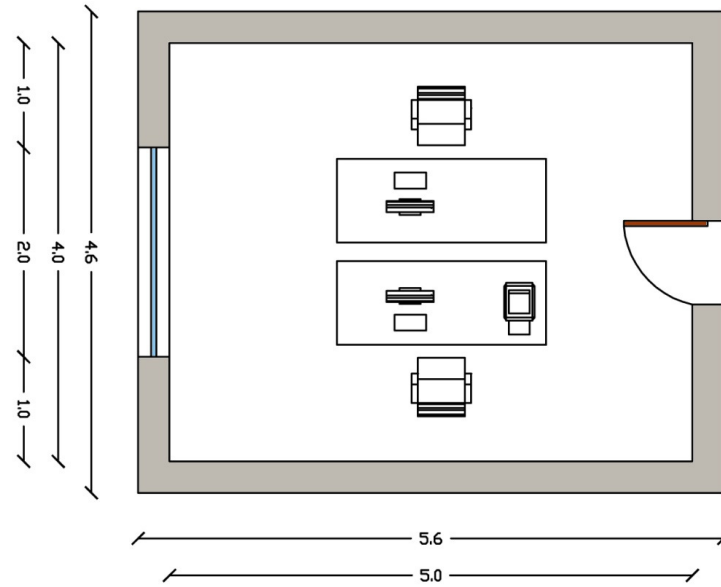


Figura 53 - Planimetria modello di studio

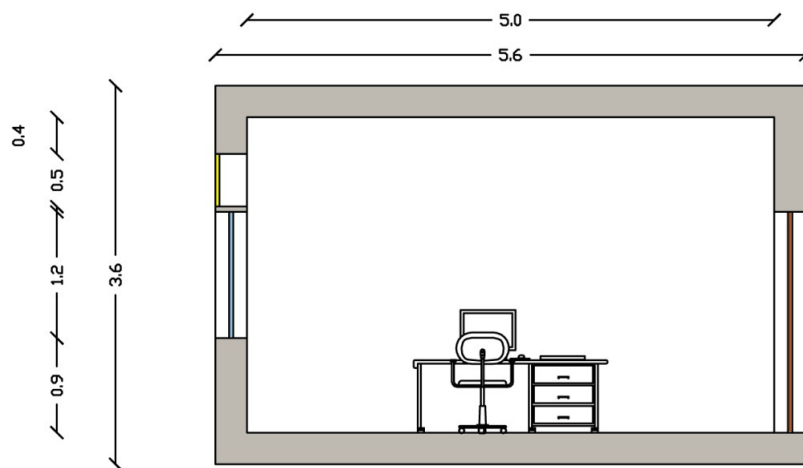


Figura 51 - Sezione longitudinale modello di studio

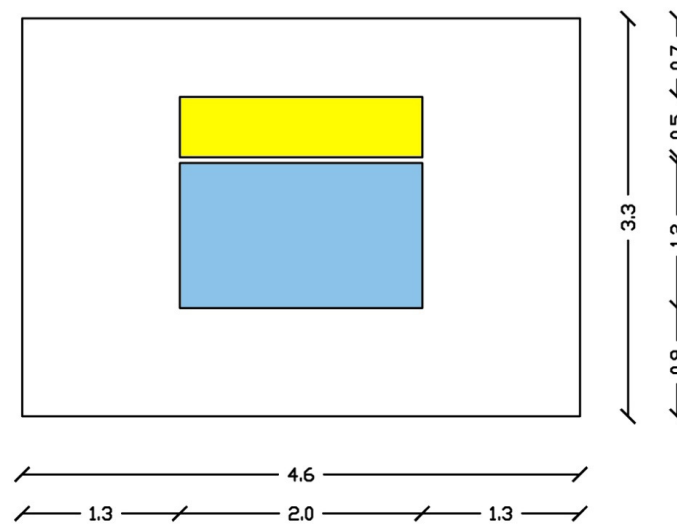


Figura 52 - Prospetto Sud (Facciata principale) modello di studio



Figura 54 - Vista interna modello di studio

9.2 – Analisi componenti opachi

Oltre alle dimensioni sono stati studiati anche i pacchetti murari, del soffitto e del pavimento al fine di effettuare, tramite software, le prestazioni energetiche del modello di studio. Nelle tabelle che seguono sono riportati i pacchetti utilizzati con i calcoli per verificare la loro trasmittanza.

9.2.3 - Elementi di chiusura verticali opachi – Muri perimetrali

- *Trasmittanza*

Materiale	Spessore (m)	Conducibilità (W/mK)	Resistenza (m ² K/W)	Trasmittanza (W/m ² K)
h_i	1	7.7	0.129	0.273
Intonaco	0.015	0.9	0.017	
Laterizio Alveolato	0.12	0.28	0.429	
Schiuma espansa	0.06	0.026	2.308	
Laterizio alveolato	0.2	0.28	0.714	
Intonaco	0.015	0.7	0.021	
h_e	1	25	0.040	

Tabella 24 - Trasmittanza superfici verticali opache

- *Massa superficiale*

Materiale	Spessore (m)	Densità (Kg/m ³)	Massa superficiale (Kg/m ²)	Massa superficiale totale (Kg/m ²)
Intonaco	0.015	1800	27.000	274.160
Laterizio Alveolato	0.12	700	84.000	
Schiuma espansa	0.06	36	2.160	
Laterizio alveolato	0.2	700	140.000	
Intonaco	0.015	1400	21.000	

Tabella 25 - Massa superficiale superfici verticali opache

- *Trasmittanza termica periodica*

Analisi dinamica dei parametri	Simboli	Unità	Risultati
Trasmittanza termica periodica	$ Y_{ie} $	[W/m ² K]	0.060
Fattore di diminuzione (attenuazione)	f	[-]	0.203
Intervallo di tempo della trasmittanza termica periodica	Δt_f	[h]	11.724

Tabella 26 - Analisi dinamica dei parametri di trasmittanza delle superfici verticali opache

9.2.2 - Elementi di chiusura orizzontale opachi - Pavimentazione- *Trasmittanza*

Materiale	Spessore (m)	Conducibilità (W/mK)	Resistenza (m ² K/W)	Trasmittanza Totale (W/m ² K)
h_i	1	7.7	0.129	0.230
Rivestimento in legno	0.03	0.27	0.111	
Massetto	0.04	0.93	0.043	
Schiuma espansa	0.06	0.026	2.308	
Sottofondo	0.1	0.083	1.205	
Intercapedine d'aria	0.1	0.252	0.397	
Sottofondo	0.1	0.84	0.119	
h_e	1	25	0.040	

Tabella 27 - Trasmittanza superfici orizzontali opache (Pavimento)

- *Massa superficiale*

Materiale	Spessore (m)	Densità (Kg/m ³)	Massa superficiale (Kg/m ²)	Massa superficiale totale (Kg/m ²)
Rivestimento in legno	0.03	710	21.300	295.580
Massetto	0.04	1800	72.000	
Schiuma espansa	0.06	36	2.160	
Sottofondo	0.1	600	60.000	
Intercapedine d'aria	0.1	1.2	0.120	
Sottofondo	0.1	1400	140.000	

Tabella 28 - Massa superficiale superfici orizzontali opache (Pavimento)

- *Trasmittanza termica periodica*

Analisi dinamica dei parametri	Simboli	Unità	Risultati
Trasmittanza termica periodica	$ Y_{ie} $	[W/m ² K]	0.007
Fattore di diminuzione (attenuazione)	f	[-]	0.045
Intervallo di tempo della trasmittanza termica periodica	Δt_f	[h]	5.896

Tabella 29 - Analisi dinamica dei parametri di trasmittanza delle superfici orizzontali opache (Pavimento)

9.2.3 - Elementi di chiusura orizzontale opachi – Soffitto

- *Trasmittanza*

Materiale	Spessore (m)	Conducibilità (W/mK)	Resistenza (m ² K/W)	Trasmittanza Totale (W/m ² K)
h_i	1	7.7	0.129	0.222
Rivestimento	0.03	0.035	0.857	
Massetto	0.04	0.93	0.043	
Schiuma espansa	0.06	0.026	2.308	
Solaio laterocemento	0.24	0.36	0.667	
Intercapedine d'aria	0.1	0.252	0.397	
Controsoffitto	0.012	0.21	0.057	
h_e	1	25	0.040	

Tabella 30 - Trasmittanza superfici orizzontali opache (Soffitto)

- *Massa superficiale*

Materiale	Spessore (m)	Densità (Kg/m ³)	Massa superficiale (Kg/m ²)	Massa superficiale totale (Kg/m ²)
Rivestimento	0.03	1200	36.000	553.080
Massetto	0.04	1800	72.000	
Schiuma espansa	0.06	36	2.160	
Solaio laterocemento	0.24	1800	432.000	
Intercapedine d'aria	0.1	1.2	0.120	
Controsoffitto	0.012	900	10.800	

Tabella 31 - Massa superficiale superfici orizzontali opache (Soffitto)

- *Trasmittanza termica periodica*

Analisi dinamica dei parametri	Simboli	Unità	Risultati
Trasmittanza termica periodica	$ Y_{ie} $	[W/m ² K]	0.007
Fattore di diminuzione (attenuazione)	f	[-]	0.027
Intervallo di tempo della trasmittanza termica periodica	Δt_f	[h]	6.863

Tabella 32 - Analisi dinamica dei parametri di trasmittanza superfici orizzontali opache (Soffitto)

Nella tabella seguente sono riportati i valori utilizzati e i valori dati da normativa al fine di valutare se tutti i parametri utilizzati sono rispettati.

	Elemento	Valore	Valore da normativa	Normativa di riferimento	
	Altezza netta	3 m	Non inferiore a 3 m	D. Lgs. Del 09/04/2008, n. 81 al titolo II e all'allegato IV	
	Cubatura per lavoratore	18 m ³	Minimo 10 m ³		
	Superficie minima per lavoratore	3 m ²	Minimo 2 m ²		
	Illuminazione naturale	1/8	1/8		
Trasmittanza (W/m ² K)	Serramenti	1.06	2.20	D.g.r. 22 dicembre 2008 – n 8/8745 – Determinazione in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici;	
	Pareti	0.273	0.34		
	Solaio	0.222	0.30		
	Pavimento	0.230	0.33		
Massa superficiale (kg/m ²)	Pareti	274.160	> 230		
	Solaio	553.080	> 230		
	Pavimento	295.580	> 230		
Trasmittanza termica periodica (W/m ² K)	Pareti	0.060	0.12		
	Solaio	0.007	0.20		
	Pavimento	0.007	0.20		
Sfasamento (h)	Pareti	11.724	Prestazioni Medie		D.P.R. 26 Agosto 1993, n. 412 - Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.
	Solaio	6.863	Prestazioni Sufficienti		
	Pavimento	5.896	Prestazioni Mediocri		
Attennuazione (-)	Pareti	0.203	Prestazioni Buone		
	Solaio	0.027	Prestazioni Ottime		
	Pavimento	0.045	Prestazioni Ottime		

Tabella 33 – Confronto dati di progetto con dati forniti da normativa

9.3 - Prima campagna di rilevamenti

9.3.1 – Il modello di Tregenza

Si noti che tutti i dati ricavati dalle simulazioni effettuate sul modello di studio sono dati indicativi in quanto, sebbene siano state effettuate nelle medesime condizioni atmosferiche e ad intervalli di tempo molto ravvicinati tra di loro, la radiazione luminosa varia di continuo le sue proprietà sfalsando leggermente i dati raccolti. Inoltre, le misurazioni sono state effettuate in un solo giorno e quindi non è stato possibile effettuare un confronto delle variazioni dei valori prese in esame per un lungo periodo in modo da ottenere un'adeguata caratterizzazione dell'ambiente. Al fine di ottenere dati per un periodo di tempo più vasto e con condizioni di luce diverse, è necessario effettuare delle misurazioni in laboratorio con un particolare strumento che simula le condizioni standard del cielo. Questo strumento, conosciuto come il modello di Tregenza, standardizzato dalla CIE nel 1990, permette di far

riferimento a condizioni standard, codificate come significative: è il modo migliore per poter confrontare fra loro soluzioni progettuali diverse.

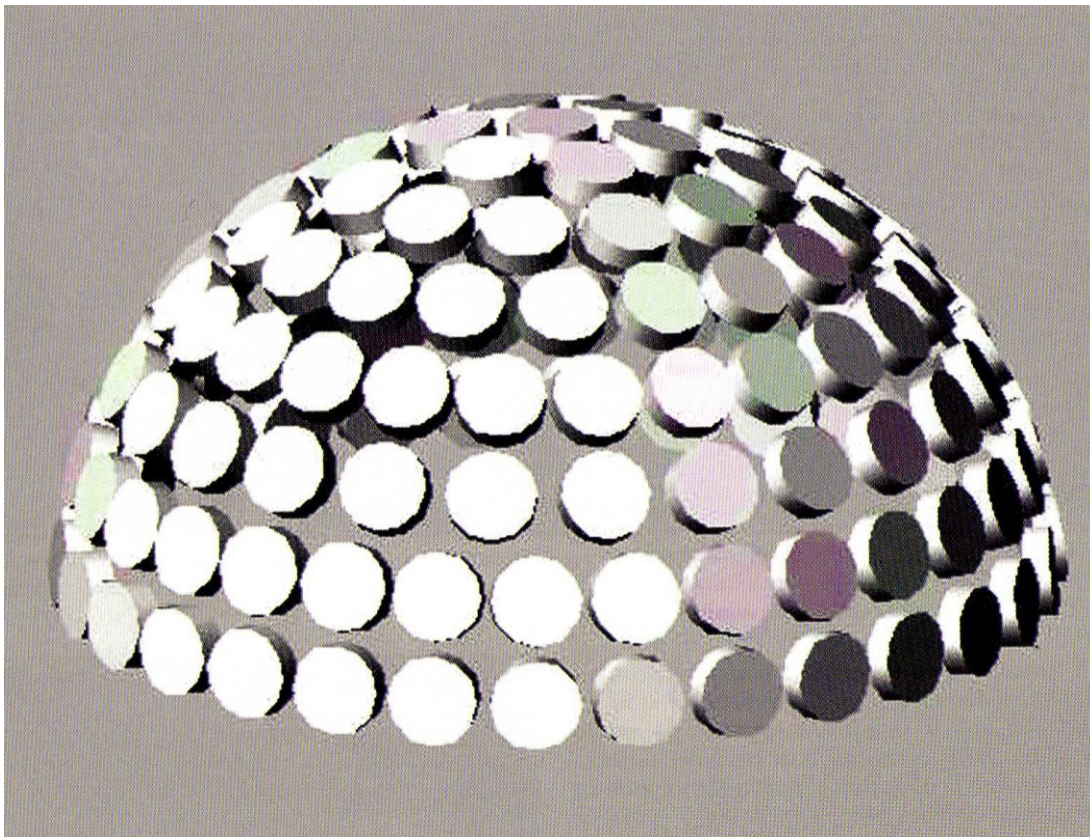


Figura 55 - Rappresentazione del modello di Tregenza standardizzato dalla CIE

Per realizzare questo modello, è stato standardizzato un protocollo comune in cui risultino definiti in maniera univoca quali grandezze rilevare, le caratteristiche degli strumenti di misura utilizzati nelle diverse sezioni di ricerca e le modalità con cui scansare la volta celeste. Il procedimento di misura è stato basato sul modello di discretizzazione della volta celeste proposto da Tregenza nel 1987, secondo il quale la volta non è una superficie continua, ma viene discretizzata in 145 aree circolari, ciascuna con un valore di luminanza uniforme sulla propria area, viste dalla terra entro un angolo piano di 11° . Il tasso di copertura realizzato con questo modello è pari al 68%. La luminanza di ogni disco può essere dimmerata al fine di ottenere le condizioni di cielo desiderate.

9.3.2 – Acquisizione dati prime simulazioni

Le prime misurazioni sono stati svolti sia in condizioni di cielo coperto (luce diffusa) che in condizioni di cielo sereno (luce diretta).

In presenza di luce diffusa, il componente disperde all'interno dell'ambiente il colore giallo di cui è composto andando a migliorare sia la percezione visiva che il benessere psico-fisico degli occupanti. In condizioni di luce diretta, emerge un problema che si conosceva ma che non è stato analizzato in pieno: il pannello LSC proietta, in determinate ore del giorno, una macchia di colore giallo all'interno che determina un fenomeno di abbagliamento e di disturbo visivo. Queste condizioni hanno fatto modificare, nella seconda fase di rilevamento, la facciata del modello spostando la ricerca verso uno studio più approfondito della penetrazione della luce all'interno dell'involucro edilizio.

Di seguito sono riportati i dati e i grafici ricavati da queste prime misurazioni.

- *Condizioni di cielo nuvoloso (luce diffusa)*

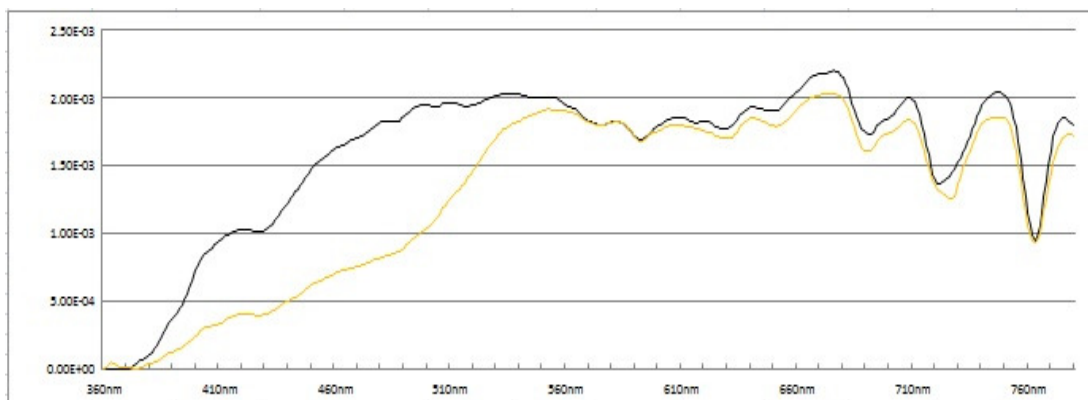


Grafico 12 - Valori di irradianza spettrale all'interno del modello in condizioni di cielo nuvoloso. Linea nera = modello con sopralluce con lastra in vetro; Linea gialla = modello con sopralluce con lastra in PMMA gialla

I dati ricavati sono i seguenti:

Parametri	Simbolo	Unità	Sopraluce con vetro	Sopraluce con PMMA
Illuminamento	E_v	lux	136	123
Coordinate cromatiche	x	-	0.3468	0.4062
	y	-	0.3701	0.4296
Temperatura di colore CCT	T_{cp}	K	5014	3765
Distanza dal BL	D_{uv}	-	0.0085	0.0161
Lunghezza d'onda dominante	DW	nm	676	123

Tabella 34 - Dati ricavati dalle simulazioni con cielo nuvoloso

- Condizioni di cielo sereno (luce diretta)

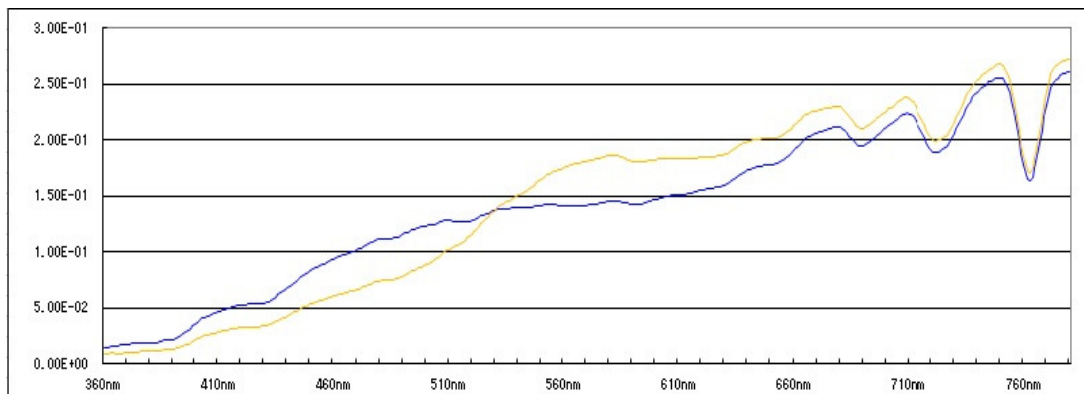


Grafico 13 - Valori di irradianza spettrale all'interno del modello in condizioni di cielo sereno. Linea blu = modello con sopra luce con lastra in vetro; Linea gialla = modello con sopra luce con lastra in PMMA gialla

Parametri	Simbolo	Unità	Sopraluce con vetro	Sopraluce con PMMA
Illuminamento	E_v	lux	10250	11499
Coordinate cromatiche	x	-	0.3824	0.4294
	y	-	0.3871	0.4228
Temperatura di colore CCT	T_{cp}	K	4022	3277
Distanza dal BL	D_{uv}	-	0.0042	0.0086
Lunghezza d'onda dominante	DW	nm	780	11499

Tabella 35 - Dati ricavati dalle simulazioni con cielo sereno

Paragonando i diversi dati ottenuti, si può notare che, in condizioni di luce diffusa, l'illuminazione dell'ambiente con la tecnologia LSC diminuisce del 9,5%, così come la temperatura di colore che diminuisce del 23% e la lunghezza d'onda dominante dello 0,30%. In condizioni di luce diretta si può osservare che l'illuminazione dell'ambiente con tecnologia LSC aumenta del 12,1% mentre la temperatura di colore diminuisce del 18,5%. La lunghezza d'onda dominante rimane invariata per entrambe le configurazioni.

In entrambe le condizioni atmosferiche la tecnologia LSC riduce la temperatura di colore portandola a valori che si aggirano intorno ai 3200 K – 3700 K rientrando nell'intervallo di luce neutra adatta agli ambienti lavorativo senza particolari impieghi. I pannelli LSC, quindi, riescono a spostare il colore bianco freddo della luce naturale nella gamma del bianco caldo portando un miglior confort visivo per le utenze. In presenza di cielo sereno e quindi di luce diretta, il pannello LSC riesce ad aumentare illuminazione all'interno dell'ambiente, ma questo fattore porta un notevole svantaggio in quanto, la proiezione di colore giallo della lastra, crea un abbagliamento che supera i livelli massimi consentiti dalla normativi provocando sensazioni di fastidio e problemi di lettura e svolgimento delle funzioni.

CAPITOLO 10 – CONTROLLO DELLA LUCE NATURALE

La presenza di luce naturale risulta essere estremamente importante per quegli ambienti che hanno un uso prevalentemente diurno come uffici, scuole, edifici commerciali etc. La luce naturale, infatti, viene riconosciuta come una luce stimolante e dinamica e attraverso il suo variare permette agli utenti di percepire il trascorrere delle giornate, l'alternarsi delle stagioni e i cambiamenti climatici. Inoltre, permette di mantenere un contatto visivo con l'ambiente esterno garantendo, da un punto di vista cromatico, la perfetta riconoscibilità dell'ambiente.

Negli ambienti lavorativi, la miglior qualità della luce naturale e la sua resa cromatica, comporta un aumento dell'efficienza lavorativa. La luce artificiale riesce a sollecitare l'attenzione nel breve periodo ma induce un affaticamento nel lungo periodo con conseguente calo del rendimento lavorativo.¹⁵

Negli ultimi anni, l'innovazione tecnologica ha portato sempre di più in architettura allo sviluppo di sistemi di controllo dell'illuminazione naturale che siano in grado di esercitare un controllo sia sull'ingresso di luce naturale, sia sul guadagno termico passivo. L'elemento "finestra" diventa così un elemento multifunzionale integrato, formato da un insieme di componenti preposti al controllo di funzioni distinte: areazione, schermatura, vista verso l'esterno, quantità e qualità della luce naturale trasmessa. I nuovi materiali che costituiscono i sistemi di controllo fruttano i principi fisici di riflessione, rifrazione e diffrazione della luce. Per definire le diverse tipologie di controllo della luce naturale è opportuno effettuare una classificazione delle funzioni che questi sistemi di controllo devono svolgere:

- Controllo della qualità di luce nell'ambiente;
- Controllo della radiazione solare diretta;
- Controllo della luminanza della superficie vetrata;
- Controllo del colore della luce naturale nell'ambiente.

L'espletto di queste funzioni è assicurato attraverso:

- Attenuazione della radiazione solare incidente (le schermature);
- Ridirezionamento della radiazione solare incidente che può avvenire per:
 - o Riflessione verso l'esterno/interno;
 - o Rifrazione (deviazione nella direzione di propagazione della luce che subisce quando passa da un mezzo ad un altro aventi densità differenti) ;
 - o Diffrazione (fenomeno fisico per cui la radiazione, una volta attraversato un ostacolo, non si propaga in linea retta ma secondo direzioni diverse).

¹⁵ "L'utilizzo della luce naturale" di Antonio Carbonari, professore di Tecnica del Controllo Ambientale, Corso di laurea specialistica in architettura per la sostenibilità, Università di Venezia.

Tale comportamento può essere assunto dalla radiazione luminosa sia in relazione alla trasmissione che alla riflessione, secondo quanto mostrato nella seguente tabella:

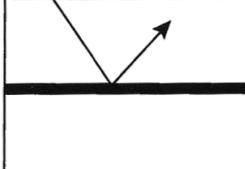
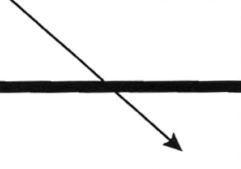
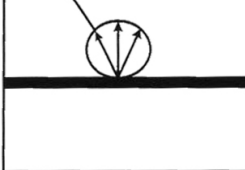


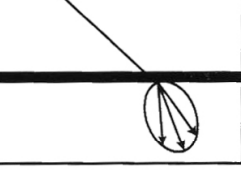


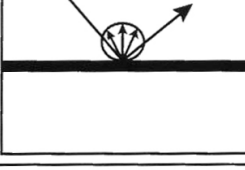
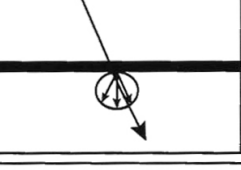
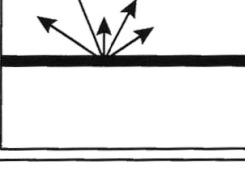
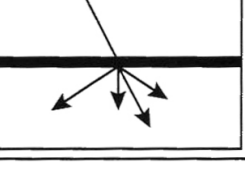
RIFLESSIONE		TRASMISSIONE
	SPECULARE $\delta = 0^\circ$	
	DIFFUSO $45^\circ < \delta < 60^\circ$	
	SEMI DIFFUSO A FASCIO LARGO $15^\circ < \delta < 45^\circ$	
	SEMI DIFFUSO A FASCIO STRETTO $0^\circ < \delta < 15^\circ$	
	DIFFUSO + SPECULARE	
	PRISMATICO COMPLESSO	

Figura 56 - Differenti modalità di trasmissione e riflessione della radiazione luminosa

10.1 - Sistemi di schermatura

I sistemi di schermatura si presentano come il completamento degli elementi vetrati poiché questi consentono il passaggio della luce naturale all'interno e le schermature operano il controllo della luce creando una protezione contro l'abbagliamento e riducendo i carichi termici. La classificazione degli elementi schermati si basa su diversi elementi:

- Posizione dell'elemento schermante rispetto al componente trasparente:
 - Sistemi interni (fissi o mobili);
 - Sistemi esterni (fissi o mobili);
 - Schermi esterni/interni (fissi o mobili);
 - Sistemi in intercapedini (fissi o mobili).

- Flessibilità di movimento:
 - Sistemi fissi;
 - Sistemi mobili.

- Configurazione geometrica dello schermo:
 - Sistemi continui;
 - Sistemi discontinui.

- Comportamento rispetto la radiazione incidente:
 - Sistemi speculari (materiali lucidi): si comportano come uno specchio;
 - Sistemi diffondenti (materiali opachi): riflettono la radiazione in maniera uniforme.

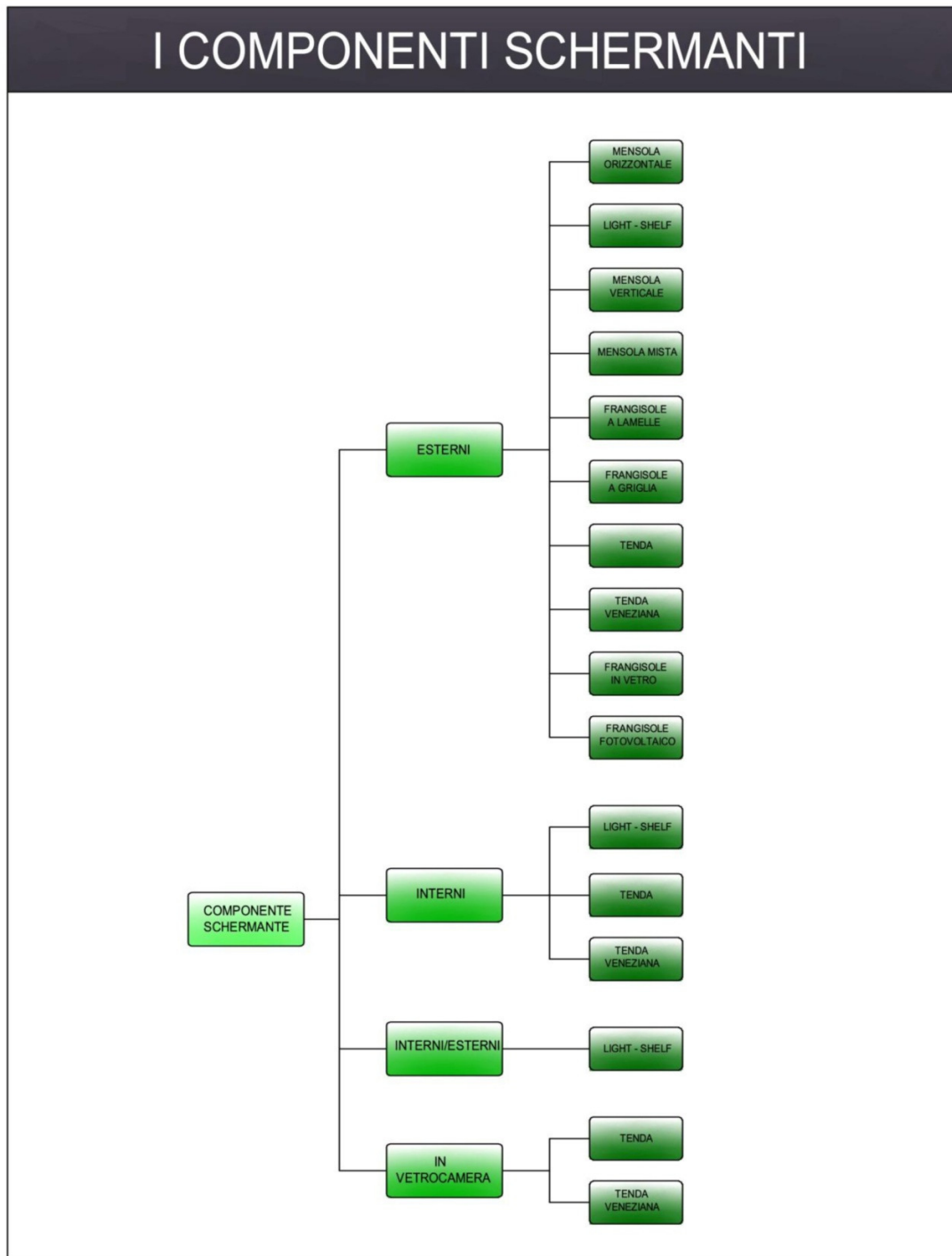


Figura 57 - Classificazione dei componenti schermanti

I sistemi di trasporto della luce si possono distinguere in tre diverse categorie:

- **Sistemi passivi (fissi):** sistemi che utilizzano elementi fissi che non sono in grado di seguire il percorso solare. Per ottimizzare questi sistemi è necessario individuare un momento preciso rispetto al quale posizionare ed inclinare l'elemento. La luce viene indirizzata non in un punto preciso ma diffusa all'interno dell'area. L'obiettivo di questi elementi è di considerare la possibilità di acquisire la maggior quantità di luce all'interno dell'ambiente e garantire adeguati livelli di illuminamento nel corso di tutto l'anno. La sua forma e le sue dimensioni derivano dal miglior compromesso tra l'ottimizzazione dell'ingresso della luce solare diretta e diffusa.

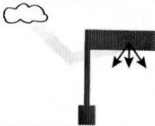
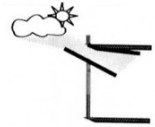
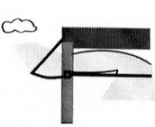
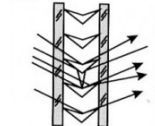
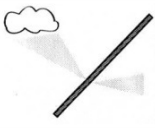
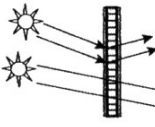
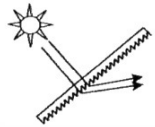
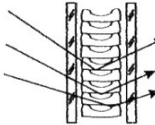
- **Sistemi attivi (mobili):** sistemi che utilizzano elementi di captazione mobili, in grado di seguire in ogni istante il percorso solare e gli elementi sono costituiti da elementi di automatizzazione. Una volta captata, la radiazione solare viene riflessa o deviata all'interno in una determinata direzione e in un'area ben precisa. L'obiettivo di questi elementi è di seguire la posizione del sole nel tempo e di conseguenza, la progettazione viene guidata dalla ricerca di una posizione ottimale rispetto alla direzione mutevole dei raggi solari. In questo caso, solitamente, la componente diffusa della radiazione non viene considerata nella progettazione.

- **Sistemi misti (mobili/fissi):** sistemi che utilizzano elementi di captazione mobili e fissi. gli elementi mobili sono regolabili da parte dell'utente e non sono automatizzati come i sistemi attivi. La radiazione solare viene riflessa o deviata all'interno a discrezione dell'utente che la può direzionare e quantificare a seconda delle proprie esigenze.

Sistemi di schermatura										
Categoria	Tipo/Nome	Schema	Clima	Disposizione	Criteri per la scelta degli elementi					
					Protezione abbagliamento	Vista verso l'esterno	Possibilità reindirizzamento luce	Illuminazione omogenea	Risparmio energetico (luce artificiale)	Esigenza di monitoraggio
Luce diffusa cielo	Pannelli prismatici		Tutti i climi	Finestre verticali, skylights	P	N	P	P	P	P
	Superfici a prismi e veneziane		Climi temperati	Finestre verticali	S	P	S	S	S	S
	Elementi riflettenti		Climi temperati	Skylights, tetti in vetro	P	N	N	S	N	N
	Componenti ottici di convogliamento luce solare		Climi temperati	Skylights	S	N	N	S	S	N
	Sistemi di schermatura con elementi ottici per concentrare la luce filtrata		Tutti i climi	Finestre verticali, skylights, tetti in vetro	P	S	N	P	S	S
	Sistema di schermatura trasparenti con elementi ottici totalmente riflettenti		Climi temperati	Finestre verticali, skylights, tetti in vetro	P	S	N	S	S	S
Luce diretta solare	Schermo guida luce		Climi caldi, cielo sereno	Finestre verticali sopra lo sguardo dell'osservatore	S	S	P	P	P	N
	Feritoie e persiane		Tutti i climi	Finestre verticali	S	P	S	S	S	S
	Light shelf per reindirizzamento luce		Tutti i climi	Finestre verticali	P	S	S	S	S	N
	Sistemi di chiusura vetrati		Climi temperati	Finestre verticali, skylights	P	P	P	P	P	N
	Sistema lamelle mobili		Climi temperati	Finestre verticali, skylights	S/P	P	P	P	P	S
	Anidolic solar blinds		Tutti i climi	Finestre verticali	S	P	S	S	P	N

S=Si, N=No, P=Possibile

Figura 58 - Sistemi di schermatura della luce naturale diffusa e diretta

Sistemi di utilizzo della luce diurna senza schermatura integrata										
Categoria	Tipo/Nome	Schema	Clima	Disposizione	Criteri per la scelta degli elementi					
					Protezione abbagliamento	Vista verso l'esterno	Possibilità reindirizzamento luce	Illuminazione omogenea	Risparmio energetico (luce artificiale)	Esigenza di monitoraggio
Luce diffusa: sistema guida	Light shelf		Clima temperati, cielo nuvoloso	Finestre verticali	P	S	P	P	P	N
	Anidolic Integrated Sistem		Climi temperati	Finestre verticali	N	S	S	S	S	N
	Anidolic ceiling		Clima temperati, cielo nuvoloso	Finestre verticale nascosta alla vista		S	S	S	S	N
	Fish System		Climi temperati	Finestre verticali	S	P	S	S	S	N
	Sistema guida zenitale con elementi HOEs		Clima temperati, cielo nuvoloso	Finestre verticali (specialmente in cortili), skylights		S	S	S	S	N
Luce diretta: sistema guida	Pannello laser cut		Tutti i climi	Finestre verticali, skylights	N	S	S	S	S	N
	Pannello prismatico		Tutti i climi	Finestre verticali, skylights	P	P	P	P	P	S/N
	Sun, direction glass		Tutti i climi	Finestre verticali, skylights	P	N	S	S	S	N

S=Si, N=No, P=Possibile

Figura 59 - Sistemi di utilizzo della luce diurna diffusa e diretta senza schermatura integrata

Tipologia di schermo	Prestazione di controllo						
	Solare		Luminoso				
	Riduzione guadagni solari in estate	Sfruttamento guadagni solari in inverno	Controllo abbagliamento	Quantità di luce naturale diffusa in ambiente	Redirezzionamento della luce naturale in profondità dell'ambiente	Vista verso l'esterno	Mantenimento del colore della luce naturale
Aggetto (continuo / a lamelle)	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	Non applicabile
Light shelf	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	Non applicabile
Bande verticali	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	Non applicabile
Mensola mista	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	Non applicabile
Tenda	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente
Tenda veneziana	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	Non applicabile
Frangisole in vetro	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	Non applicabile
Frangisole fotovoltaico	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	non soddisfacente soddisfacente	Non applicabile

Figura 60 - Matrice sinottica delle prestazioni di controllo solare e luminoso delle principali tipologie di componenti schermanti

10.2 - Sistema di schermatura della luce diurna Lightshelf

Al fine di risolvere i problemi legati all'abbagliamento riscontrati nella prima misurazione del componente LSC posizionato nel modello di studio, è stato deciso di posizionare un componente di schermatura fisso interno/esterno in modo da schermare e riflettere all'interno la luce che attraversa il componente LSC in modo da evitare l'effetto delle macchie di colore.

Il sistema di schermatura che verrà utilizzata prende il nome di lightshelf ed è un sistema per l'uso del daylighting progettato per schermare la luce che viene riflessa sulla sua parte superiore e diffusa all'interno. Il componente è una mensola orizzontale riflettente, posta tra la finestra e il suo sopraffine in modo da indirizzare la radiazione solare incidente verso il soffitto (chiaro) diffondendola all'interno dell'ambiente e riuscendo a portare la luce naturale nei punti più lontani dalla finestra.

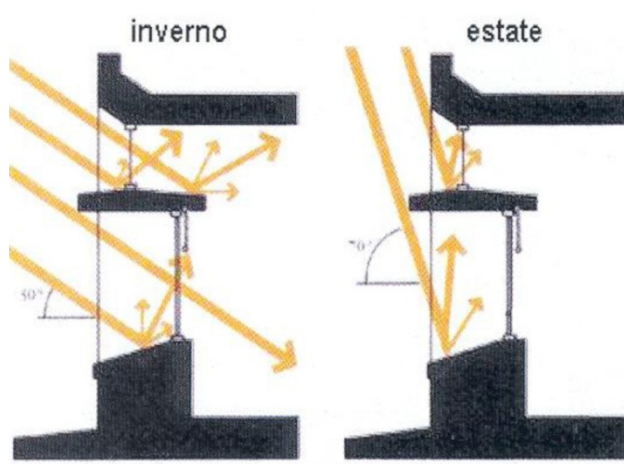


Figura 61 - Principio di funzionamenti di un lightshelf

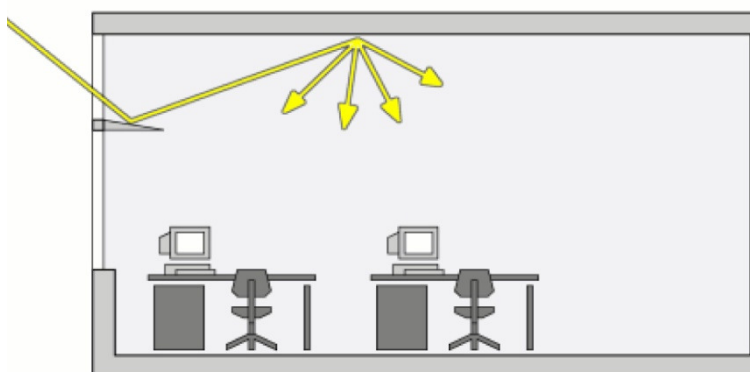


Figura 62 - Riflessione della luce da parte del lightshelf all'interno dell'edificio

I lightshelf sono prodotti che devono essere costruiti per adattarsi alla situazione architettonica in cui sono usati.

L'inserimento di un lightshelf interno riduce la quantità di luce nell'ambiente e questa soluzione deve essere presa in considerazione fin dall'inizio della fase progettuale in quanto richiede un soffitto relativamente alto poiché possa funzionare con una buona efficienza¹⁶.

Un lightshelf esterno può far incrementare la quantità di luce diurna in ingresso nell'ambiente e presenta un buon effetto sia schermante che di antiabbagliamento.

Questi elementi devono essere progettati in funzione dell'orientamento di ogni finestra, della configurazione della stanza e della latitudine. Ad esempio, in paesi con grande disponibilità di luce solare diretta nell'emisfero nord, il posizionamento ideale è a Sud mentre, se posizionato est-ovest o con condizioni di cielo prevalentemente nuvoloso, non risulta particolarmente conveniente. La tipologia, l'orientamento e il posizionamento sono il risultato di un compromesso tra requisiti di schermatura e di accessibilità della luce naturale. Le prestazioni migliori sono assicurate da un lightshelf interno/esterno come si può osservare dallo schema seguente.

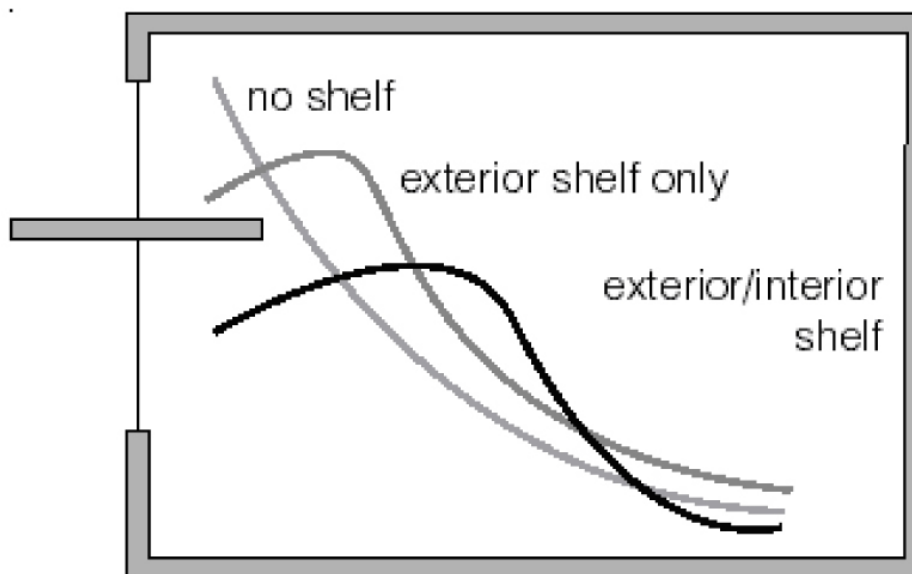


Figura 63 - Gradiente d'illuminamento in assenza e in presenza di un lightshelf

In termini di dimensione, la profondità della mensola interna dovrebbe essere almeno pari all'altezza della finestra superiore o del suo soprauce mentre l'aggetto esterno dovrebbe essere pari alla sua altezza rispetto al piano di lavoro.

Il soffitto deve essere adeguato al funzionamento del sistema lightshelf, in quanto la luce è riflessa dall'elemento verso il soffitto e successivamente verso la stanza. La penetrazione

¹⁶ "Integrazione luce naturale/artificiale in ambito terziario e abitativo", di Franco Gugliermetti, Fabio Bisegna, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA), Roma 2009.

della luce dipende quindi anche dai materiali e dal grado di riflessione della finitura del soffitto. La finitura del lightshelf ne influenza le prestazioni e il direzionamento della luce verso il soffitto: una finitura opaca produce una riflessione diffusa (non direzionale) mentre con una finitura altamente riflettente la radiazione viene riflessa con un angolo praticamente uguale a quello incidente (riflessione speculare). A volte si può utilizzare una finitura semi-speculare in modo da ottenere una giusta via di mezzo per ottenere una luce ne troppo direzionata ne troppo diffusa.

Le mensole lightshelf sono un elemento schermante che può essere esterno, interno, esterno/interno, fisso o mobile, continuo, speculare o diffondente, orizzontale o inclinato. Come detto in precedenza, l'orientamento ottimale è a sud e risulta efficace con elevata altezza solare e condizioni di cielo sereno.

Di seguito viene riportata una tabella che esplica i vantaggi e gli svantaggi della tecnologia lightshelf fisso interno/esterno utilizzato nel modello di studio.

VANTAGGI	SVANTAGGI
Riduzione carichi termici in estate	Possibili problemi di abbagliamento in inverno per le ore a bassa altezza solare: prestazioni insufficienti per facciate esposte ad est e ovest
Sfruttamento guadagni solari inverno	Malfunzionamento del sistema in condizioni di cielo coperto: disuniforme distribuzione e ridotta disponibilità di luce naturale
Protezione abbagliamento in estate e inverno	Tecnologia adatta solo per ambienti con una certa altezza
Distribuzione della luce diurna uniforme	Problemi di pulizie e manutenzione
Elevata disponibilità luce naturale	
Ridirezionamento della luce naturale in profondità verso le zone più lontane dalla finestra	
Vista verso l'esterno	
Aspetto estetico-architettonico	

Figura 64 - Vantaggi e svantaggi sull'utilizzo di un sistema schermante lightshelf

CAPITOLO 11 – ANALISI E RISULTATI DELLE PROVE EFFETTUATE SUL MODELLO FISICO

Dopo aver verificato le problematiche del primo modello di studio, analizzato diverse soluzioni per risolverlo e scelto di utilizzare una mensola lightshelf, è stata modificata la facciata del modello ed effettuato nuovamente le misurazioni tramite spettrometro al fine di confrontare gli effetti del confort visivo nell'ambiente lavorativo.

Anche in questo caso, le misure rilevate tramite il modello in scala, devono essere considerate indicative della specifica condizione di cielo in cui sono state effettuate.

11.1 – Modello fisico di ufficio con lightshelf

Dopo aver notato le problematiche legate all'abbagliamento e alla presenza di macchie di colore derivanti dalla configurazione della facciata del modello in scala, è stato inserito un lightshelf interno-esterno per ovviare a questo problema e permettere la maggior penetrazione della luce nelle zone più lontane dal fronte finestrato. La mensola interna ha dimensioni di 0,50 m di profondità e 2 m di larghezza. Queste dimensioni derivano dalla larghezza totale del sopraluce (2m) e dalla sua altezza (0,5m). Per il dimensionamento dell'oggetto esterno, è stata calcolata l'incidenza della radiazione solare alle 12 del 21 Giugno nel sito di Milano. L'angolo di incidenza (angolo di altezza solare massimo β_{MAX}) è di 68° e questo ha portato a calcolare un oggetto di 0,5 m.

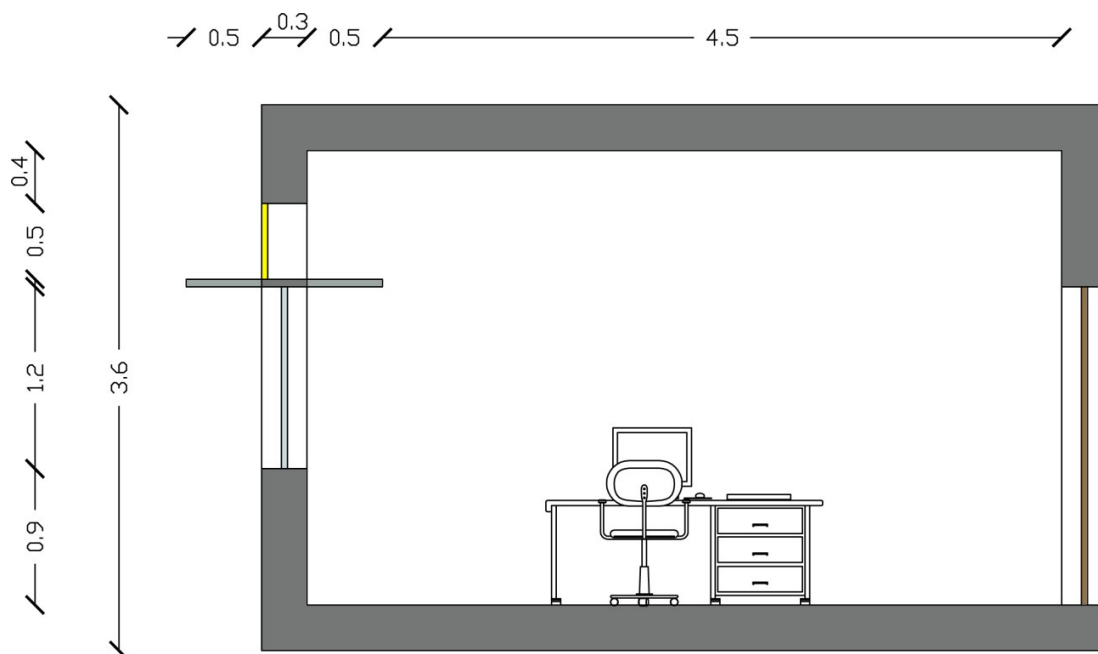


Figura 65 - Sezione del nuovo modello di studio con posizionato l'elemento schermante lightshelf

11.2 – Misurazioni dei parametri illuminotecnici sul modello fisico

Le misurazioni sono state condotte in condizioni di cielo sereno (luce diretta) in modo da verificare l'efficienza del lightshelf introdotto per risolvere il problema della penetrazione della luce gialla nell'ambiente. Come spiegato precedentemente, in condizioni di luce diffusa, il problema non sussiste mentre risulta rilevante quando la radiazione incide direttamente sulla finestra e sul pannello LSC andando a proiettare la luce colorata nello spazio interno.

Le prove effettuate, con le diverse configurazioni di facciata, sono:

- **Modello fisico senza l'elemento schermante lightshelf**
 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce vetrato;
 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce LSC.

- **Modello fisico con l'elemento schermante lightshelf**
 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce vetrato;
 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce LSC.

11.2.1 – Misurazione dei parametri sul modello fisico senza l'elemento schermante lightshelf

- *Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce vetrato*



Figura 66 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce vetrato senza lightshelf

- *Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce LSC*

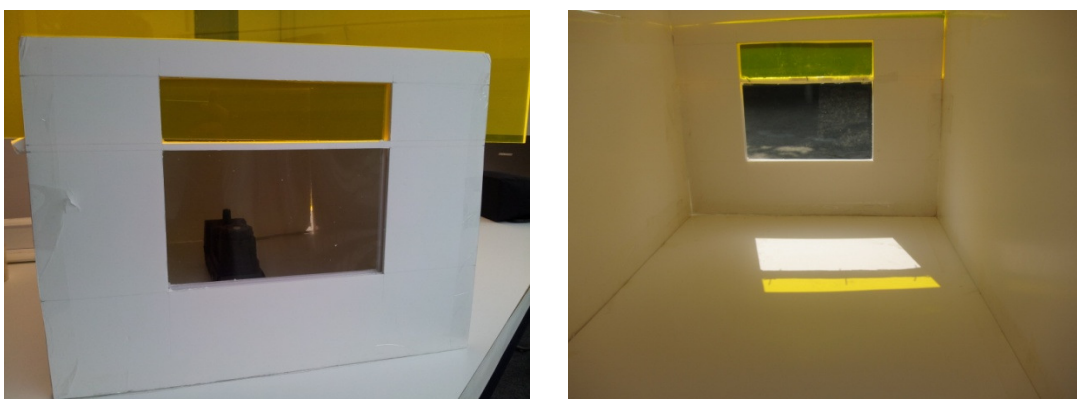


Figura 67 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce LSC senza lightshelf

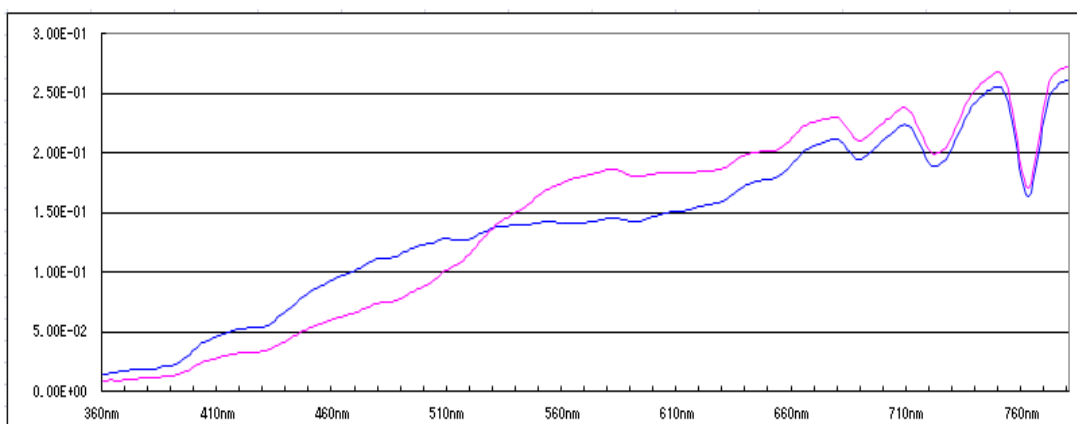


Grafico 14 - Valori di irradianza spettrale del modello fisico. Linea blu = No PMMA No lightshelf; Linea Magenta = Si PMMA No lightshelf

Parametri	Simboli	Unità	No PMMA, No lightshelf	Si PMMA, No lightshelf
Illuminamento	E_v	lux	10250	11499
Coordinate cromatiche	x	-	0.3824	0.4294
	y	-	0.3871	0.4228
Temperatura di colore CCT	T_{cp}	K	4022	3277
Distanza dal BL	D_{uv}	-	0.0042	0.0086
Lunghezza d'onda dominante	DW	nm	780	780

Tabella 36 - Dati ottenuti dalle simulazioni in condizioni di cielo sereno (luce diretta) senza lightshelf e senza/con PMMA giallo

Come si può notare in questo primo confronto, l'introduzione del pannello LSC nel sopra-luce aumenta l'illuminamento all'interno dell'ambiente di circa il 10,9%, ma allo stesso tempo riduce la temperatura di colore di circa il 18,5% passando dai 4000° K ai circa 3300° K. Questa riduzione può essere preoccupante poiché la temperatura di colore si avvicina al minimo al fine di ottenere una luce neutra adatta agli ambienti lavorativi. Le prove non sono state effettuate con la lastra gialla in PMMA. Dalle rilevazioni effettuate sul nuovo componente¹⁷, si è notato che la temperatura di colore aumentava di circa il 2,17% quindi, in questo caso, arriverebbe a circa 3350° K. Un elemento rilevante da notare che in condizioni di luce diretta la macchia gialla si forma all'interno dell'ambiente e comporta un disturbo visivo alle utenze che non risulta accettabile.

¹⁷ Le misurazioni sono illustrate nel "Capitolo 7 – Ottimizzazione del componente LSC", paragrafo "7.2.3 – Prestazioni illuminotecniche"

11.2.2 - Misurazione dei parametri sul modello fisico con l'elemento schermante lightshelf

- Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce vetrato



Figura 68 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce vetrato con lightshelf

- Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce LSC

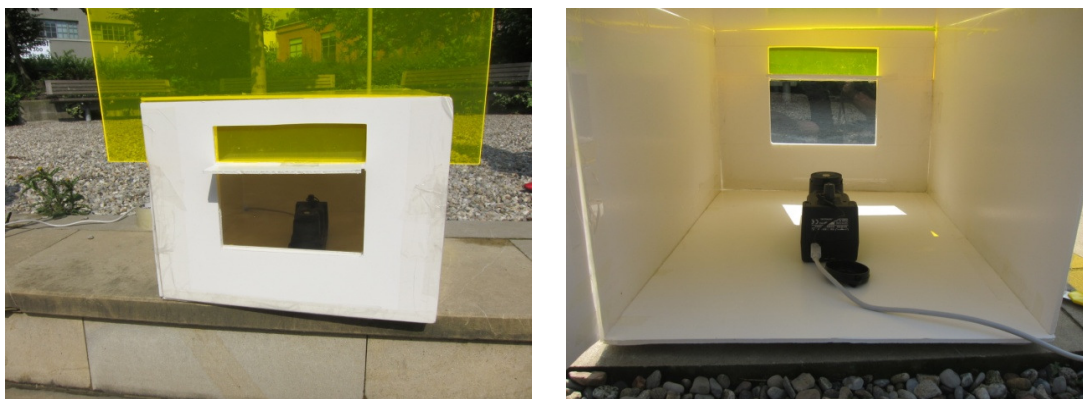


Figura 69 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce LSC con lightshelf

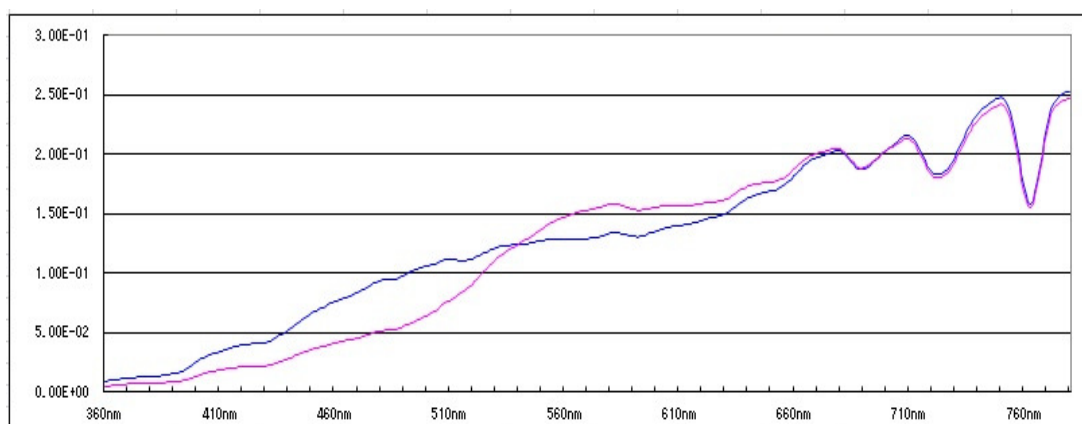


Grafico 15 - Valori di irradianza spettrale del modello fisico. Linea blu = No PMMA SI lightshelf; Linea Magenta = Si PMMA SI lightshelf

Parametri	Simboli	Unità	No PMMA, Si lightshelf	Si PMMA, Si lightshelf
Illuminamento	E_v	lux	9252	9573
Coordinate cromatiche	x	-	0.3940	0.4442
	y	-	0.3951	0.4316
Temperatura di colore CCT	T_{cp}	K	3792	3094
Distanza dal BL	D_{uv}	-	0.0046	0.0096
Lunghezza d'onda di picco	DW	nm	780	780

Tabella 37 - Dati ottenuti dalle simulazioni in condizioni di cielo sereno (luce diretta) con lightshelf e senza/con PMMA giallo

A differenza del primo caso, il sopraluce con la presenza dell'LSC giallo, riesce ad aumentare l'illuminamento all'interno dell'ambiente del 3,35% mentre riduce la temperatura di colore di circa il 20% portandola da un valore di 3792 K a 3034 K. In questo caso, la temperatura di colore si abbassa sotto il livello minimo per avere una tonalità bianca neutra adatta per gli ambienti lavorativi, entrando nella tonalità bianca calda adatta agli ambienti residenziali.

In questo caso, aumentando del 2,17% la temperatura di colore, si arriverebbe ad un valore di circa 3100° K, temperatura non idonea agli standard per ottenere una luce neutra.

11.2.3 - Confronto dei parametri misurati sul modello con sopra luce LSC con e senza lightshelf

- *Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce LSC senza lightshelf*



Figura 70 - Modello fisico con LSC giallo e senza lightshelf

- *Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopra luce LSC con lightshelf*

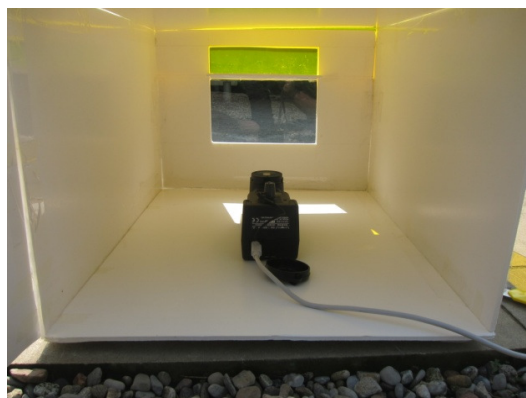


Figura 71 - Modello fisico con LSC giallo e con lightshelf

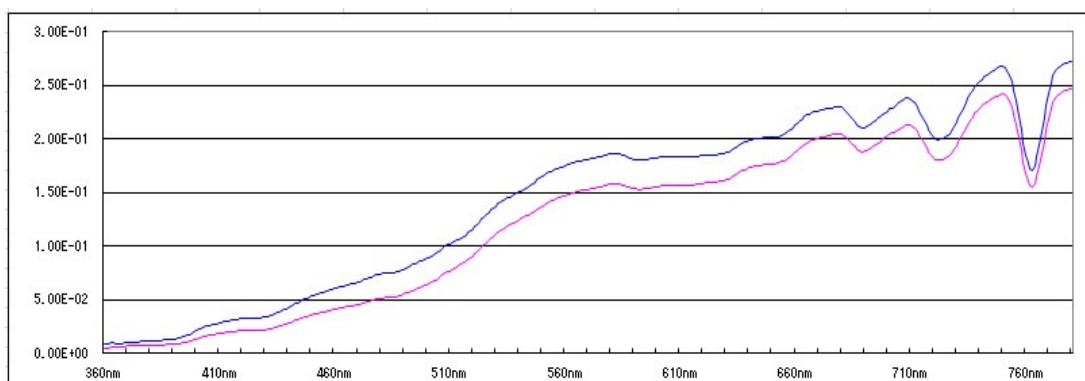


Grafico 16 - Grafico 18 - Valori di irradianza spettrale modello fisico. Linea blu = No PMMA SI lightshelf; Linea Magenta = SI PMMA SI lightshelf

Parametri	Simboli	Unità	No Lightshelf, Si LSC	Si Lightshelf, Si LSC
Illuminazione	E_v	lux	11499	9573
Coordinate cromatiche	x	-	0.4294	0.4442
	y	-	0.4228	0.4316
Temperatura di colore CCT	T_{cp}	K	3277	3094
Distanza dal BL	D_{uv}	-	0.0086	0.0096
Lunghezza d'onda dominante	DW	nm	780	780

Tabella 39 – Confronto dei dati ottenuti dalle simulazioni in condizioni di cielo sereno (luce diretta) sul modello fisico con sopra luce LSC giallo e senza/con lightshelf

Confrontando i dati ricavati dalle rilevazioni, si nota che la configurazione di facciata con il componente lightshelf, sia l'illuminazione che la temperatura di colore calano rispettivamente del 16,7% e del 5,6%. Anche in questo caso, la temperatura di colore scende sotto il livello per avere una temperatura neutra adatta agli ambienti lavorativi ed entra nel range delle temperatura calde adatte per gli edifici residenziali. In questo caso, anche se aumentiamo la temperatura di colore del 2,17%, arriveremo ad una temperatura di circa 3160° K, non sufficiente per avere una temperatura di colore neutra. Anche se non è possibile raggiungere la temperatura di colore richiesta, installando il lightshelf in facciata si evita il problema della macchia di colore prodotta dal pannello LSC. Nonostante tutto, bisognerà condurre delle rilevazioni più approfondite per verificare se questa configurazione non permette di raggiungere la temperatura di colore richiesta o se questo si verifica solo in alcuni particolari momenti della giornata.

CAPITOLO 12 – RILEVAZIONI DELLE PRESTAZIONI TECNICHE ED ILLUMINOTECNICHE

Le prove e i dati raccolti fino a questo momento riguardano esclusivamente le proprietà ottiche del componente LSC e la sua interazione con l'ambiente preso in esame. I risultati ottenuti, come puntualizzato precedentemente, possono essere considerati come dati indicativi. L'installazione del componente LSC e del lightshelf non influenzano solamente l'illuminamento all'interno dell'ambiente, la temperatura di colore e la percezione visiva ma, allo stesso tempo, anche l'energia necessaria per il raffrescamento o il riscaldamento dell'ambiente, la potenza assorbita dall'impianto di illuminazione per garantire l'illuminamento necessario per svolgere le funzioni e l'abbagliamento percettibile che può comportare gravi disturbi visivi.

Per analizzare queste prestazioni in modo specifico, è stato necessario utilizzare dei software per calcolare le diverse prestazioni tecniche ed illuminotecniche che caratterizzano l'ambiente considerato.

Sono stati utilizzati 6 diversi software che forniscono risultati confrontabili e attendibili per una corretta verifica e/o progettazione dei diversi componenti, sia che essi siano opachi, trasparenti o elementi di schermatura.

I software che sono stati utilizzati in questa fase di verifica e acquisizione di nuovi dati sono:

- DIALux 4.10 e DIALux Light 4.10;
- BESTenergy Versione 1.0.8;
- Windows 6;
- Ecotect Analysis 2011;
- Desktop Radiance 1.02
- Evalglare 1.0.

- **DIALux 4.10 e DIALux Light 4.10**

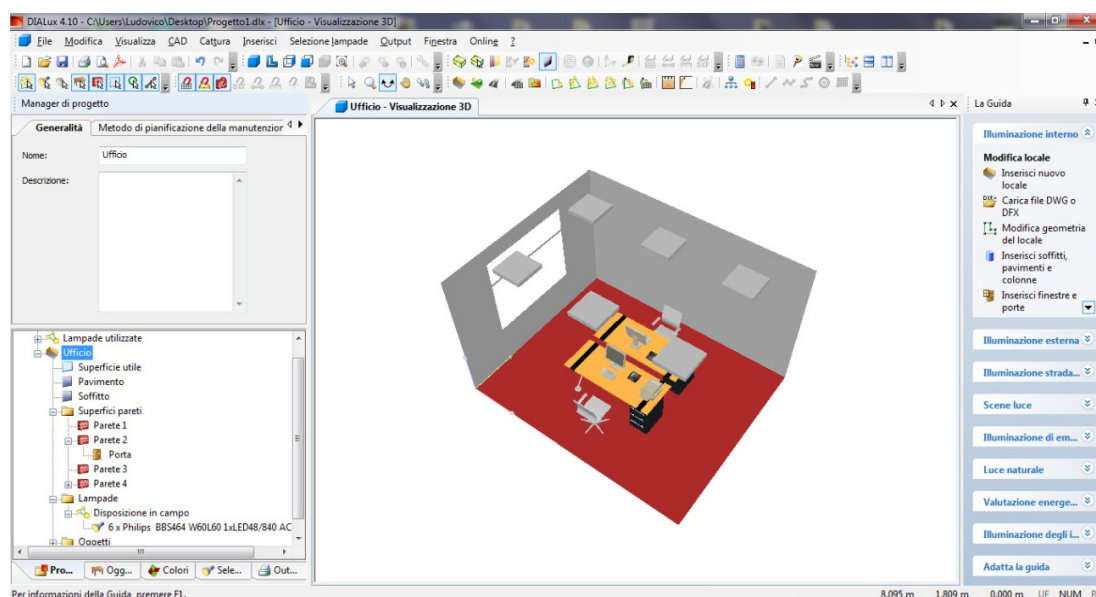


Figura 72 - Interfaccia grafica del software DIALux 4.10

DIALux è il più importante programma di progettazione illuminotecnica, utilizzato in tutto il mondo da architetti, light designer ed esperti di illuminazione. Il software, completamente gratuito, è aperto ai corpi illuminanti di tutti i produttori di impianti. Permette di simulare l'illuminazione dentro e fuori dagli ambienti, di calcolare e verificare tutti i parametri per impianti d'illuminazione per interni ed esterni, strade e gallerie, fornendo risultati chiari e precisi in conformità con normative di settore.

DIALux calcola il fabbisogno energetico della soluzione di illuminazione artificiale individuata e aiuta a rispettare le direttive nazionali e internazionali vigenti. Il software viene continuamente aggiornato da un team di più di 20 esperti nel settore illuminotecnico.

I vantaggi che questo programma offre possono essere riassunti come riportato di seguito:

- Creare con semplicità progetti di illuminazione artificiale;
- Utilizzare profili aggiornati dei corpi illuminanti dei maggiori produttori mondiali;
- Disponibilità di un software gratuita sempre aggiornato e tecnicamente all'avanguardia;
- Effettuare la valutazione energetica;
- Realizzare scene luminose colorate con LED- o altri corpi luminosi che cambiano colore.

- **BESTenergy Versione 1.0.8**

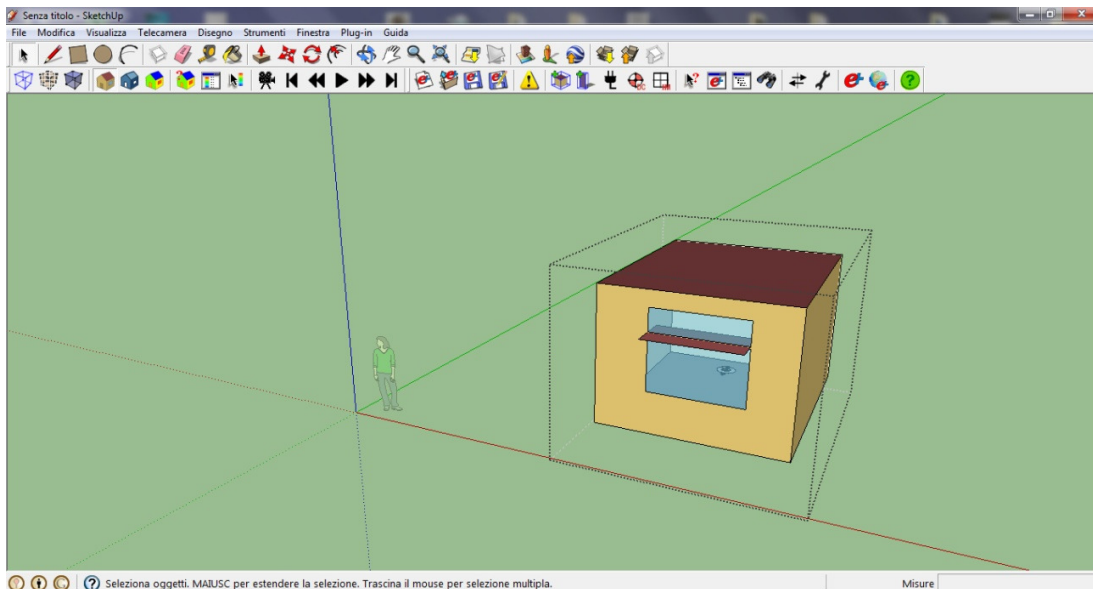


Figura 73 - Interfaccia grafica del software BESTenergy versione 1.0.8

Questo software è stato sviluppato dal Politecnico di Milano – Dipartimento ABC. Il software BESTenergy è un plugin per Google SketchUp 8 che utilizza il motore di calcolo Energyplus 7.1 al fine di effettuare simulazioni energetiche in regime dinamico su modelli di edifici. Esso coniuga, pertanto, la facilità ed intuitività della modellazione di SketchUp, con la potenza di calcolo e la precisione di Energyplus. Quest'ultimo, infatti, pur essendo uno strumento molto all'avanguardia sulla simulazione energetica in regime dinamico, presenta il limite di essere caratterizzato da una notevole complessità nel suo utilizzo, essendo sostanzialmente sprovvisto di un'interfaccia grafica, se si esclude un semplice editor per la scrittura del file di input. L'unione di questi due strumenti permette l'accesso da parte della maggior parte dei progettisti alla sofisticata simulazione dinamica, rendendo maggiormente intuitiva la creazione dei modelli di calcolo da processare, per stimare i fabbisogni di energia ed i consumi degli edifici.

- Windows 6

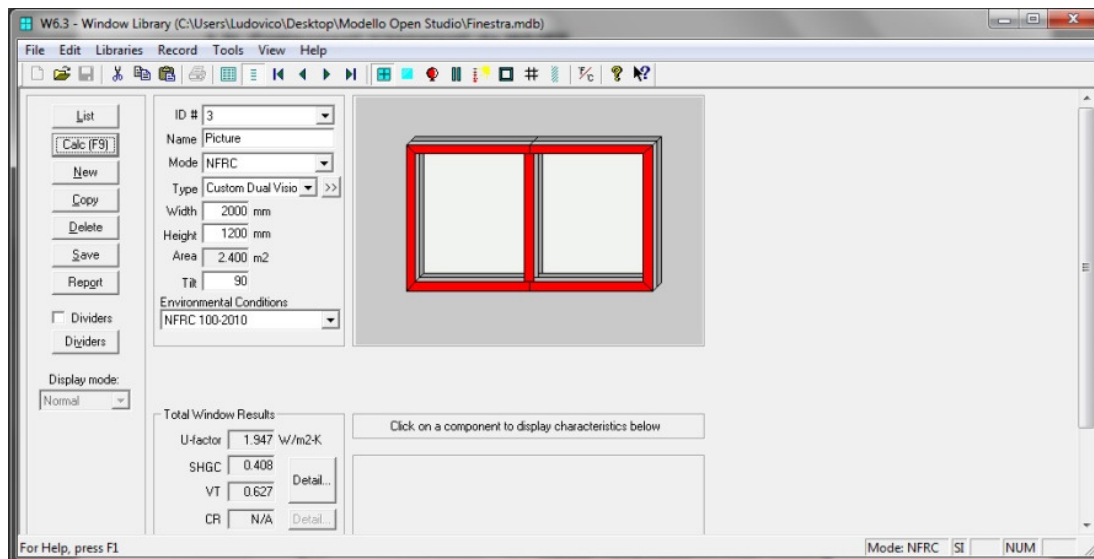


Figura 74 - Interfaccia grafica del software Windows 6

Determinare e fornire le prestazioni termiche e ottiche di sistemi di vetrati è fondamentale per sviluppare prodotti migliori e garantire adeguate prestazioni termiche. Il software Windows 6, sviluppato dai Lawrence Berkeley National Laboratory, è un software liberamente studiato per il calcolo delle prestazioni termiche dei componenti trasparenti. Inoltre, prevede la modellazione dell'intero serramento fornendo una libreria di vetri molto vasta, derivata dai prodotti disponibili in commercio dalle diverse aziende produttrici, dei quali sono disponibili tutti i dati ottici e termici necessari per un'analisi dettagliata della trasmissione della radiazione solare attraverso di essi. Al termine della modellazione, è possibile esportare un file .dat contenente tutti i dati relativi al serramento, mediante il quale creare automaticamente il componente all'interno del plugin BESTEnergy, semplicemente inserendo il riferimento al file stesso.

- **Ecotect Analysis 2011**

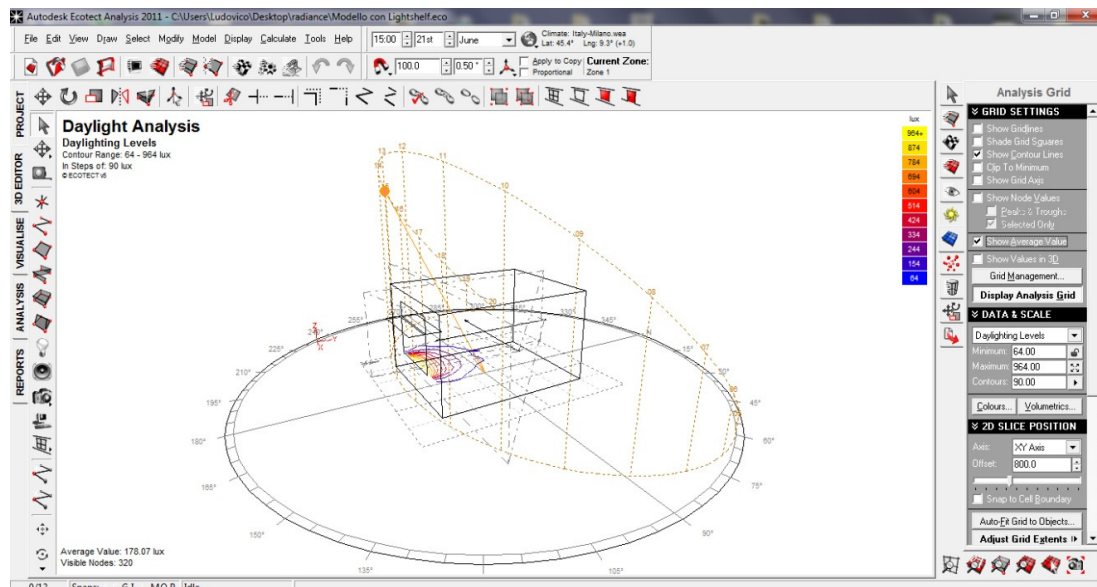


Figura 75 - Interfaccia grafica del software Ecotect Analysis 2011

Ecotect Analysis è uno strumento completo di analisi per la progettazione sostenibile, dalla fase concettuale alla definizione dei dettagli. Ecotect Analysis è in grado di fornire un'ampia gamma di funzionalità per la simulazione e l'analisi finalizzata al miglioramento delle prestazioni energetiche di edifici esistenti e di nuove costruzioni. Integra strumenti per l'analisi energetica, idrica e delle emissioni di CO₂ e consente di visualizzare e simulare le prestazioni degli edifici nel loro contesto ambientale.

Questo software non è solo uno strumento di verifica finale del manufatto architettonico, ma un supporto del quale il progettista può avvalersi fin dalle prime fasi della progettazione perché dispone di tutti i mezzi necessari per la creazione geometrica dei modelli, per la contestualizzazione geografica e per la caratterizzazione tecnologica dell'edificio. grazie a modelli matematici, il programma simula i processi fisici che interessano un edificio ed offre al progettista la possibilità di ampliare la gamma di verifiche che può fare sulle proprie proposte architettoniche. Ecotect unisce un programma di grafica ad uno di analisi prestazionale.

Gli strumenti che il programma integra sono :

- Analisi energetica dell'intero edificio;
- Prestazioni termiche;
- Valutazione dell'impiego idrico e relativi costi;
- Irraggiamento solare;
- Illuminazione con luce diurna;
- Ombre e riflessioni;
- Esportazione dei file all'interno del programma Radiance.

- Desktop Radiance 1.02

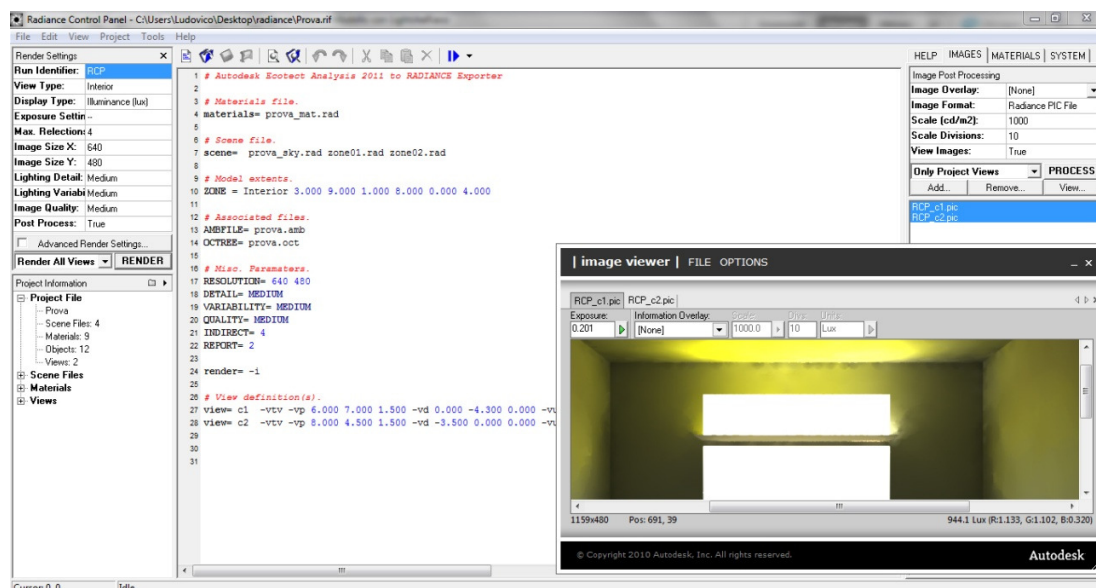


Figura 76 - Interfaccia grafica del software Desktop Radiance 1.02

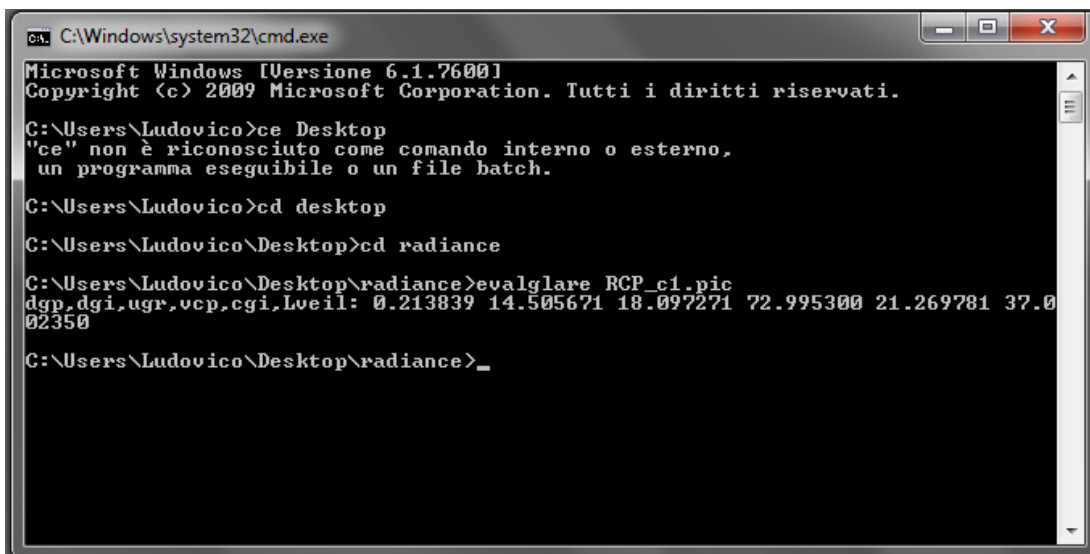
Il software Radiance Desktop è sviluppato dal Building Technologies Department della divisione Environmental Technologies Energy al Berkeley Laboratory, con il supporto di Pacific Gas & Electric Company (PG & E) attraverso il California Institute for Energy Efficiency (CIEE). Desktop Radiance è un software di ricerca per studiare la distribuzione della radiazione visibile all'interno degli spazi illuminati. L'obiettivo di questo programma è quello di fornire uno strumento di progettazione che si integra con i pacchetti CAD più utilizzati per facilitare lo studio dell'illuminazione, del risparmio energetico e analizzare le strategie di illuminazione naturale da adottare nel design degli edifici. Include librerie di materiali, vetrate, apparecchi di illuminazione e arredi in modo da poter creare rapidamente modelli di illuminazione realistici.

È uno degli strumenti di analisi d'illuminazione naturale ed elettrica più sofisticati poiché in grado di gestire virtualmente qualsiasi geometria dello spazio, così come le riflessioni non diffuse. Con questo strumento è possibile calcolare l'illuminamento orizzontale attraverso una precisa griglia di punti orientata, oppure è possibile generare l'immagine di uno spazio che può essere analizzato rispetto ai parametri di illuminamento e luminanza di una superficie con un'immagine renderizzata di una stanza.

La simulazione luminosa effettuata dal software si serve di un approccio "ibrido" e il calcolo può essere diviso in tre parti:

- La componente diretta;
- La componente indiretta speculare;
- La componente diffusa.

- **Evalglare 1.0**



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versione 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Tutti i diritti riservati.

C:\Users\Ludovico>cd Desktop
"cd" non è riconosciuto come comando interno o esterno,
un programma eseguibile o un file batch.

C:\Users\Ludovico>cd desktop

C:\Users\Ludovico\Desktop>cd radiance

C:\Users\Ludovico\Desktop\radiance>evalglare RCP_c1.pic
dgp,dgi,ugr,vcp,cgi,Lveil: 0.213839 14.505671 18.097271 72.995300 21.269781 37.0
02350

C:\Users\Ludovico\Desktop\radiance>_
```

Figura 77 - Interfaccia grafica del software Evalglare 1.0

Evalglare è uno strumento che utilizza l'output di Radiance per valutarne l'abbagliamento prodotto dalla luce naturale. Il programma riconosce automaticamente le fonti di abbagliamento in una scena a "fisheye" (180°). Il programma utilizza tre diversi metodi per individuare l'abbagliamento:

- Valore fisso di luminanza;
- Un moltiplicatore della luminanza media;
- Un moltiplicatore della luminanza media dell'area assegnata.

I pixel prossimi a superare la soglia sono combinati in una zona di abbagliamento e il raggio in esame può essere impostato nelle opzioni del calcolo. Il programma offre un estratto dei valori di picco di una fonte di abbagliamento e dalle immagini elaborate, possono essere visualizzate cromaticamente le fonti di abbagliamento.

Di seguito è riportato uno schema per descrivere l'interazione e i parametri calcolati tramite i programmi utilizzati nel lavoro di tesi:

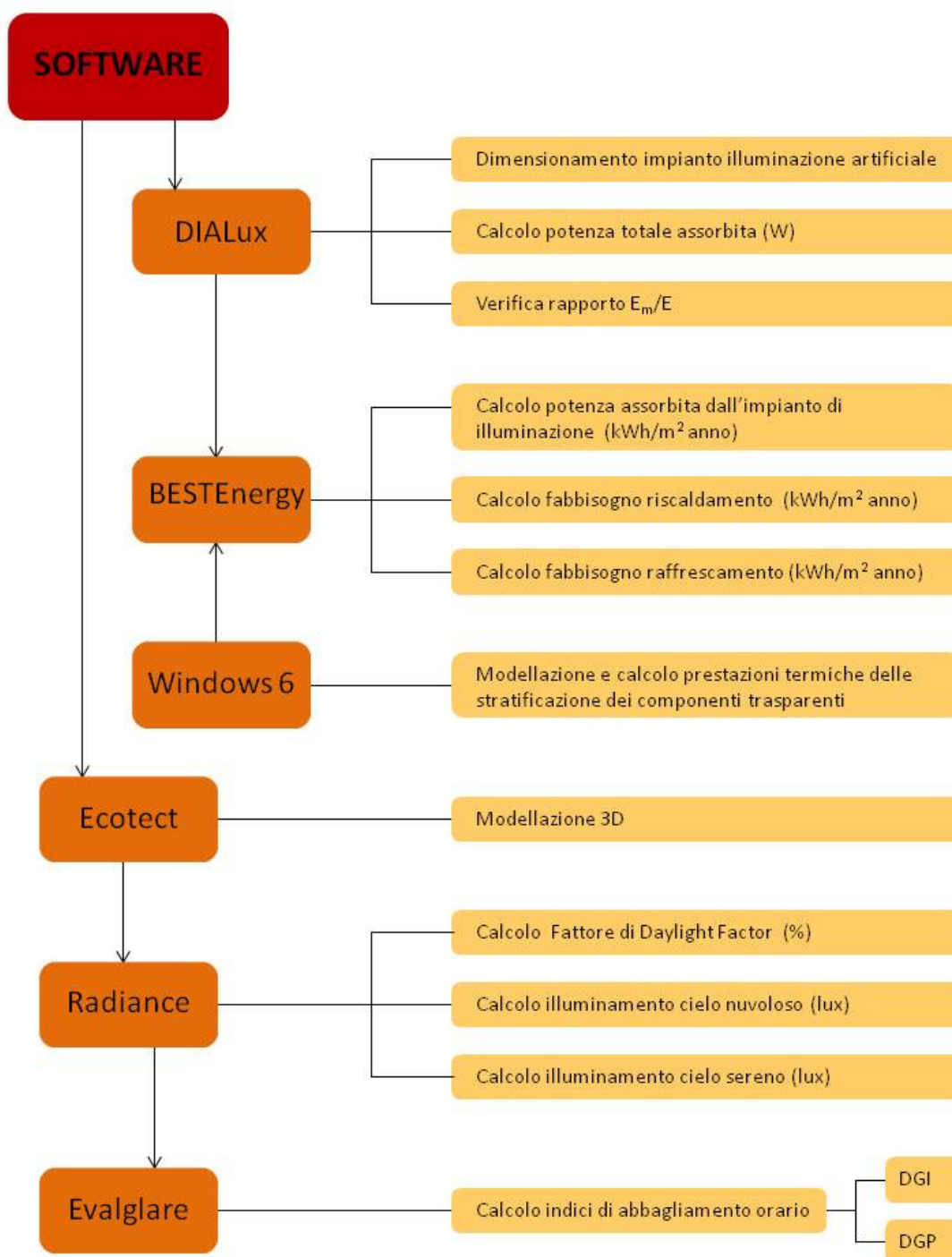


Figura 78 – Schema dell'interazione dei software utilizzati e parametri calcolati sull'ambiente test

12.1 - Dimensionamento impianto illuminante tramite il software DIALux

Tramite il software DIALux è stato dimensionato l'impianto d'illuminazione artificiale al fine di ricavarne la potenza totale assorbita e creare un ambiente idoneo per l'attività svolta. Prima di passare alla progettazione dell'impianto, è stato necessario prendere in esame alcune informazioni e considerazioni sulla corretta progettazione illuminotecnica degli ambienti lavorativi.

Illuminare un ambiente in cui viene svolta un'attività lavorativa non significa soltanto fornire un adeguato flusso luminoso, ma anche creare le condizioni di luce affinché tale attività possa svolgersi nel modo più efficiente possibile. A seconda delle particolari situazioni e attività, gli ambienti richiedono differenti requisiti: in alcuni casi è bene prediligere il confort visivo, in altri è necessario il raggiungimento di una buona prestazione visiva o, ancora, la creazione di un ambiente suggestivo. In ambienti con videotermini, ad esempio, sarà necessario raggiungere un'elevata prestazione visiva, al contrario, in ambienti dove la lettura e la scrittura è privilegiata, sarà necessario il conseguimento di un determinato grado di confort visivo¹⁸.

Uno dei parametri principali cui fare riferimento è l'illuminamento medio (lux) sul piano di riferimento in un ufficio, ad esempio, il piano della scrivania. Generalmente, negli ambienti lavorativi, il piano di lavoro viene considerato ad un'altezza di 85 cm dalla quota di pavimento. I fattori che influenzano la scelta del livello d'illuminamento più appropriato dipendono da un'insieme di condizioni e caratteristiche relative ad ogni specifico campo visivo. Tali fattori possono essere riassunti in questo modo:

- Dimensione minima dei dettagli da riconoscere;
- Contrasto di luminanza o di colore tra dettaglio e sfondo;
- Colore prevalente del campo visivo;
- Rapidità richiesta nel riconoscimento dei dettagli;
- Continuità nell'espletamento del campo visivo;
- Età degli osservatori.

Il fenomeno dell'abbagliamento si manifesta in generale come una sensazione di fastidio in quanto la struttura oculare viene sollecitata da valori di luminosità che superano quelli limite. L'abbagliamento compromette la buona funzionalità dell'occhio e con essa anche le condizioni psico-fisiche del soggetto. Si possono distinguere due tipi di abbagliamento:

- *Abbagliamento diretto*: è prodotto da sorgenti luminose presenti nel campo visivo;
- *Abbagliamento indiretto*: è causato dalla riflessione speculare di uno o più oggetti che ricevono luce da sorgenti primarie o secondarie.

¹⁸ "La luce in architettura, guida alla progettazione" di Pietro Palladino e Cesare Coppedè, MAGGIOLI editore, Milano 2012.

Le norme costituiscono un importante riferimento poiché forniscono i parametri specifici da considerare e i valori a cui attenersi. Seguendo la normativa UNI EN 12464-01, si ricavano i seguenti valori da seguire al fine di una corretta progettazione dell'impianto illuminante:

Tipo di interno compito o attività	Illuminazione media E_m (lux)	Indice di abbagliamento UGR	Resa del colore Ra	Temperatura di colore TK (°K)
Archiviazione, copiatura	300	19	80	> 3000 K
Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	19	80	3300 < Tk < 5300
Disegno tecnico	750	16	90	3300 < Tk < 5300
Postazioni CAD	500	19	80	3300 < Tk < 5300
Sale conferenze e riunioni	500	19	80	3300 < Tk < 5300
Ricezione (reception)	300	22	80	> 3000 K
Archivi	200	25	80	> 3000 K

Tabella 40 – Parametri a cui attestarsi per un corretto dimensionamento degli ambienti ufficio

Fattore riflessione calcolo luminanze	
Elemento	Indice assorbimento
Soffitto	da 0.6 a 0.9
Pareti	da 0.3 a 0.8
Piano di lavoro	da 0.2 a 0.6
Pavimento	da 0.1 a 0.5

Tabella 41 – Intervalli dei valori degli indici di assorbimento della radiazione solare visibile per il calcolo delle riflessioni

Oltre a tutti questi fattori, un elemento molto importante da analizzare è la scelta delle lampade da utilizzare. La sorgente luminosa stabilisce il colore della luce e quindi l'atmosfera, la percezione ma anche la modellazione degli oggetti. Le sorgenti compatte sono da preferirsi per la creazione di ombre marcate e fattori d'accento elevati, ovvero, per evidenziare maggiormente le forme ed i dettagli; al contrario, quelle estese consentono di diffondere la luce, di riempire pieni e vuoti e creare atmosfere rilassanti. La scelta delle sorgenti luminose, quindi, dipende dalle qualità della luce ritenute necessarie al progetto e delle tipologie di illuminazione che si vogliono utilizzare.

Il programma di simulazione DIALux mette a disposizione i cataloghi di molte aziende produttrici di apparecchi illuminanti. Grazie a questi cataloghi si possono scegliere e provare gli apparecchi illuminanti più idonei per il progetto al fine di ottenere l'illuminazione desiderata.

Nel caso preso in esame, sono stati utilizzati apparecchi per illuminazione a incasso Philips SmartForm con tecnologia LED integrata, progettata per adattarsi a un'ampia varietà di controsoffitti. Questa linea di apparecchi per illuminazione modulari e semi-modulari altamente versatili è in grado di soddisfare la maggior parte delle esigenze progettuali in quasi tutte le applicazioni. SmartForm LED offre un'efficienza superiore degli apparecchi per illuminazione rispetto alle soluzioni tradizionali MLO (ottica micro-lenticolare), rendendo possibili significativi risparmi energetici. Di seguito viene riportata la scheda tecnica dell'impianto utilizzato:



Smartform LED BBS460

BBS464 LED48/840 W60L60 AC-MLO ACL W AIR

BBS464 - LED Module 4800 lm - Ottica microlenticolare acrilico AC-MLO - ActiLume - Suitable for air-handling

Dati del prodotto

- **Informazioni generali**

Codice famiglia di prodotto	BBS464 [BBS464]		
Codice famiglia lampade	LED48 [LED Module 4800 lm]	Durata funzionam. (70% flusso)	50000 hr
Codice colore lampada	840 [840 cool white]	Lifetime to 90% luminous flux	30000 hr
Lamp color temperature	4000 [4000 K]	Failure rate at 5000 hrs	1 %
Light source replaceable	false [No]		
Trasform./unità alimentazione	PSD [Power supply unit with DALI interface]		
Driver included	true [Yes]		
Optical cover	AC-MLO [Ottica microlenticolare acrilico AC-MLO]		
illuminazione di emergenza	No [-]		
Lighting control unit	ACL [ActiLume]		
Dimmable	true [Yes]		
Connessione	W [Connettore plug-in 3 poli W]		
Classe di isolamento	CL1 [Classe 1]		
Grado IP	IP40 [Wire-protected]		
IK code	IK07 [2] reinforced]		
Temperatura ambiente	+10 to +40°C [+10 to +40 °C]		
Ricircolo aria	AIR [Suitable for air-handling]		
Colore	WH [Bianco WH]		
Test filo incandescente	650/5 [Temperature 650 °C, duration 5 s]		
Marchi di sicurezza	F [For mounting on normally flammable surfaces]		
Dispositivo di sicurezza	No [-]		
European Community mark	CE [CE mark]		
ENEC mark	ENEC [ENEC mark]		
- **Dati illuminotecnici**

Color rendering index	≥80 [≥80]		
Total luminous flux	3700 Lm		
- **Corrente**

System power	58 W [58 W]		
Tensione di alimentazione	220-240 V [220 to 240 V]		
Frequenza di alimentazione	50-60 Hz [50 to 60 Hz]		
Control signal voltage	0-16 V [0-16 V DC DALI]		
- **Meccanica**

Geometry	W60L60 [Width 0.60 m, length 0.60 m]		
Housing material	STL [Steel]		
Reflector material	ALU [Aluminum]		
- **Dati prodotto**

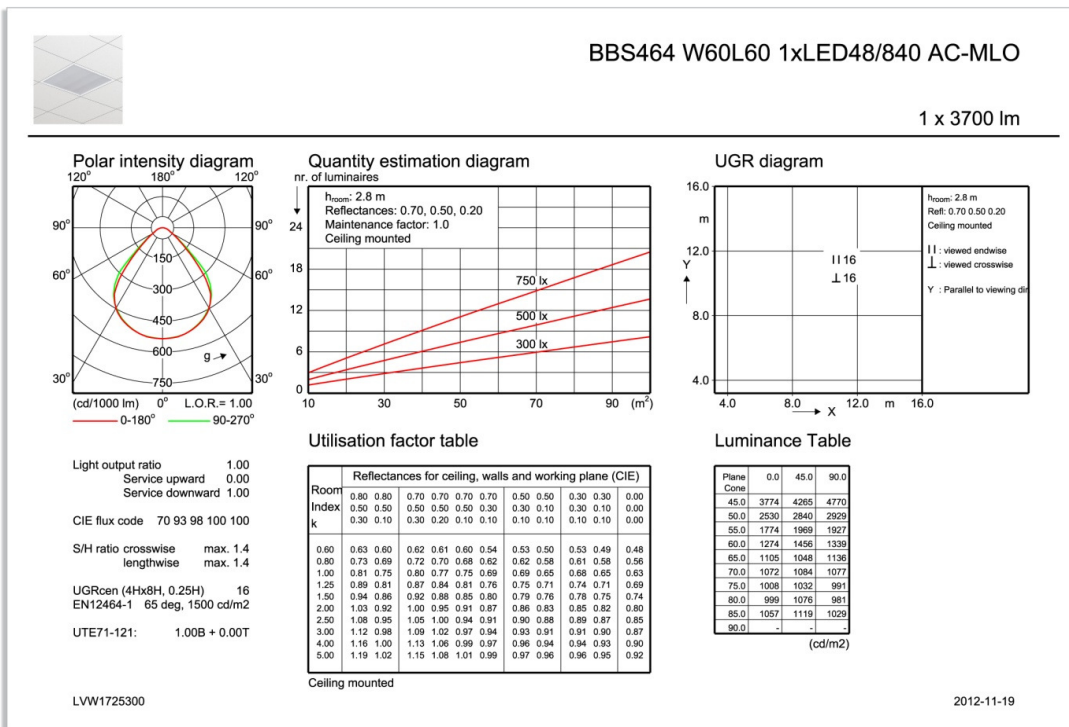
Codice ordine	913831 00		
Codice prodotto	871794391383100		
Nome prodotto	BBS464 LED48/840 W60L60 AC-MLO ACL W AIR		




Figura 79 - Dati del prodotto dell'impianto di illuminazione utilizzato nel programma DIALux

Smartform LED BBS460

Fotometrie



BBS464 W60L60 1xLED48/840 AC-MLO



© 2013 Koninklijke Philips Electronics N.V.
Tutti i diritti riservati.

Le specifiche sono soggette a modifica senza previa notifica. Trademarks are the property of Koninklijke Philips Electronics N.V. or their respective owners.

www.philips.com/lighting

2013, Maggio 4
Dati soggetti a modifiche

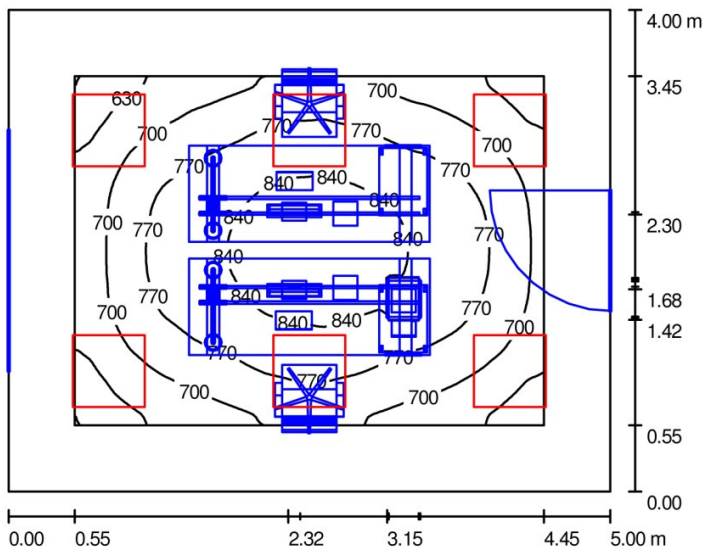
Figura 80 - dell'impianto di illuminazione utilizzato nel programma DIALux

Una volta individuati i corpi illuminanti, si sono definiti i parametri di progetto seguendo i dati forniti da normativa:

Elemento	Parametro
Illuminazione media E_m	500 lux
Superficie utile	85 cm dal pavimento con 55 cm di distanza dalle pareti perimetrali
Fattore di diminuzione	0,80
Indice assorbimento radiazione solare soffitto	0,7
Indice assorbimento radiazione solare pareti	0,5
Indice assorbimento radiazione solare pavimento	0,3

Tabella 42 - Parametri per il progetto dell'impianto illuminante

Dalla simulazione effettuata sono emersi i seguenti risultati:



Altezza locale: 3.000 m, Altezza di montaggio: 3.071 m, Fattore di manutenzione: 0.80

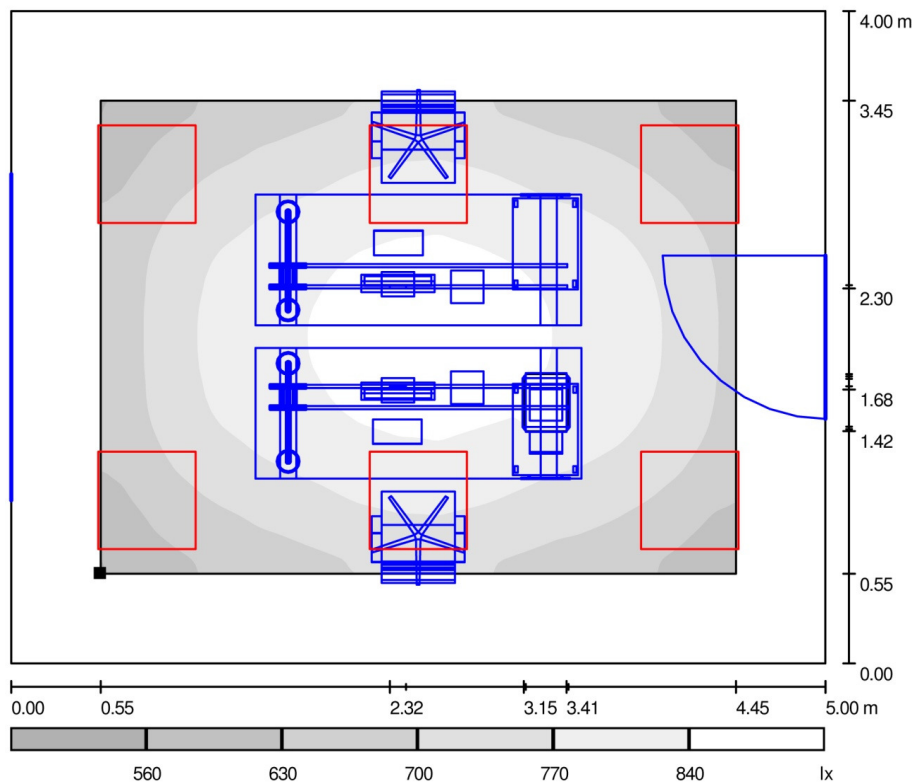
Valori in Lux, Scala 1:52

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Superficie utile	/	749	558	870	0.746
Pavimento	15	547	314	717	0.575
Soffitto	70	95	21	122	0.225
Pareti (4)	47	258	84	502	/

Superficie utile:

Altezza: 0.850 m
 Reticolo: 128 x 128 Punti
 Zona margine: 0.550 m

Figura 81 - Report del progetto dell'impianto illuminante ottenuto dal software DIALux



Flusso luminoso sferico: 22200 lm
 Potenza totale: 282.0 W
 Fattore di manutenzione: 0.80
 Zona margine: 0.550 m

Superficie	Illuminamenti medi [lx]			Coefficiente di riflessione [%]	Luminanza medio [cd/m ²]
	diretto	indiretto	totale		
Superficie utile	654	95	749	/	/
Pavimento	443	104	547	15	26
Soffitto	0.00	95	95	70	21
Parete 1	161	98	259	47	39
Parete 2	164	96	260	47	39
Parete 3	161	98	259	47	39
Parete 4	151	99	250	47	37

Regolarità sulla superficie utile
 E_{min} / E_m : 0.746 (1:1)
 E_{min} / E_{max} : 0.642 (1:2)

Distinta lampade

No.	Pezzo	Denominazione (Fattore di correzione)	Φ (Lampada) [lm]	Φ (Lampadine) [lm]	P [W]
1	6	Philips BBS464 W60L60 1xLED48/840 AC-MLO (1.000)	3700	3700	47.0
Totale:			22200	Totale: 22200	282.0

Figura 82 – Risultati illuminotecnici estratti dal software DIALux

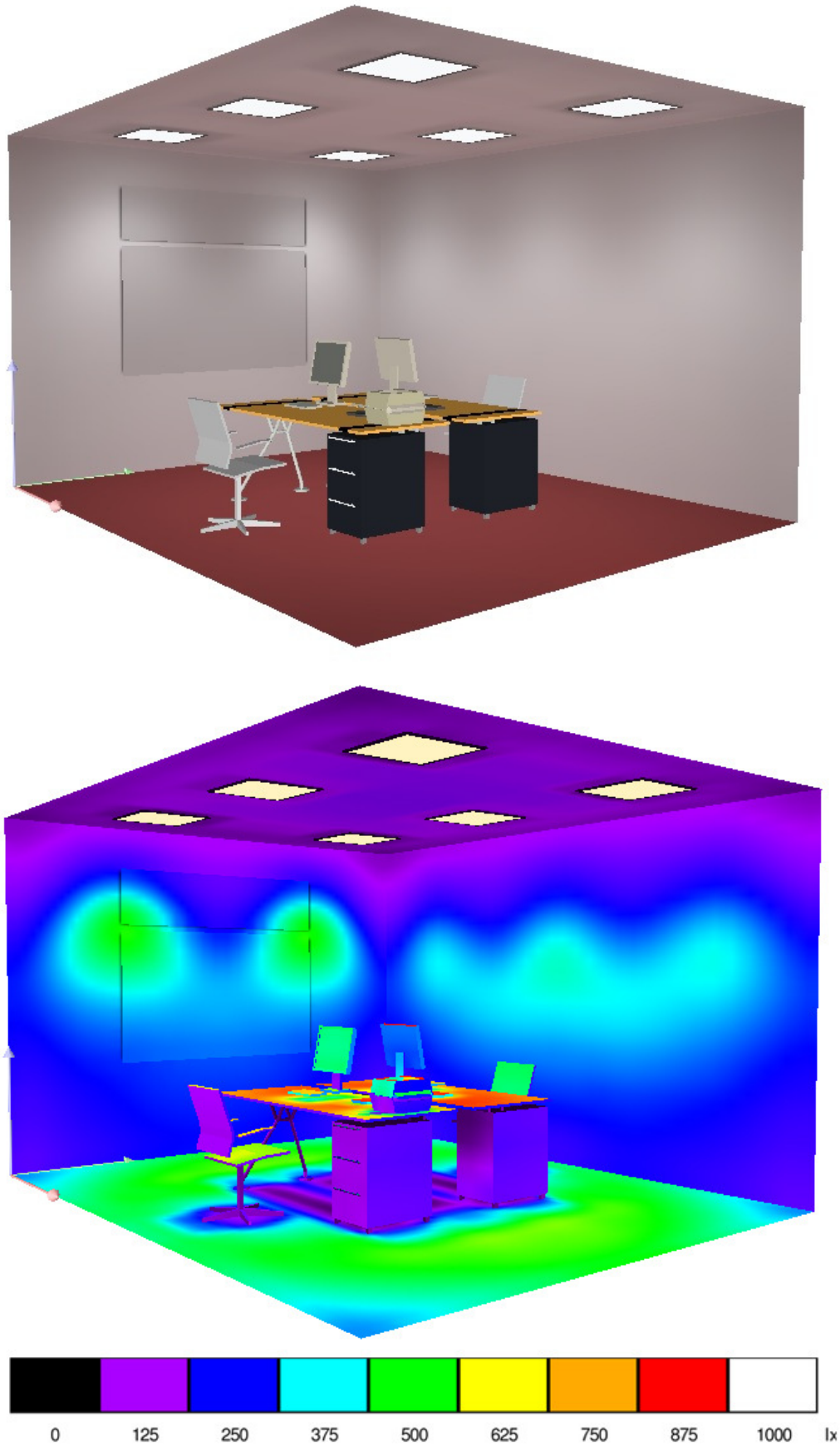


Figura 83 – Render dell'ambiente illuminato

Gli impianti illuminanti utilizzati sono disposti su due file ognuna delle quali contiene tre impianti. Questa disposizione garantisce un illuminamento medio di 749 lux per un totale di potenza assorbita di 282 W. Il rapporto tra l'illuminamento minimo e l'illuminamento medio (E_{\min}/E_m), il quale indica l'uniformità dell'illuminazione sulla superficie utile, è pari allo 0,746, in linea con il limite imposto da normativa per quanto riguarda gli ambienti ufficio, che impongono un valore $E_{\min}/E_m = 0,7$.

L'illuminazione media (E_m) risulta maggiore rispetto a quella richiesta (749 lux rispetto ai 500 lux richiesti) poiché, con un numero minore di apparecchi illuminanti, non si sarebbe raggiunto il valore minimo di E_{\min}/E_m . Oltre a questo fattore, garantire un illuminamento medio maggiore con un impianto di dimmerazione, garantisce flessibilità all'ambiente così che questo sia in grado di soddisfare diverse esigenze di illuminamento. Per questo motivo, gli impianti scelti, possono essere gestiti da un impianto DALI (Digital Addressable Lighting Interface). DALI è di fatto un protocollo standard internazionale per il controllo del funzionamento degli alimentatori elettrici digitali. Questo protocollo consente, attraverso una serie di comandi codificati, la comunicazione fra i componenti dell'impianto, con la possibilità di creare gruppi e scenari specifici di programmazione e funzionamento. Inoltre, si può effettuare anche una regolazione di luce manuale in modo che l'utente possa gestire in modo autonomo il livello di illuminazione desiderato.

12.2 – Calcolo fabbisogni energetici tramite il software BESTEnergy

Tramite questo software è stata calcolata la potenza assorbita dall'impianto illuminante e il riscaldamento e il raffrescamento necessari per garantire livelli di confort adeguati nell'ambiente lavorativo. Le simulazioni sono state effettuate su un modello 3D realizzato con Google SketchUp 8, con e senza lightshelf, al fine di paragonare i risultati ottenuti e analizzare i vantaggi o gli svantaggi derivanti l'installazione di questo elemento, in ogni caso necessario per evitare disturbo visivo alle utenze.

Per utilizzare il software di calcolo, è necessario impostare diversi valori e localizzare dei sensori di luce come di seguito specificato.

I principali parametri da impostare per il modello di simulazione sono:

- Posizione geografica;
- Orientamento;
- Stratigrafia dei componenti opachi e trasparenti;
- localizzazione di un sensore di luce naturale;
- Setpoint zona termica:
 - o Apparecchiature elettriche;
 - o Illuminazione;
 - o Condizioni interne;
- Definizione dei dati in uscita.

- **Posizione geografica**

Le caratteristiche relative alla località vengono specificate immettendo una descrizione del sito, ed i relativi dati geografici di latitudine, longitudine, altitudine e fuso orario. Tuttavia, se questi dati dovessero discostarsi da quelli riportati nel file climatico utilizzato per effettuare la simulazione, essi verrebbero ignorati e presi in considerazione solo quelli del file climatico.

Il modello di studio è stato posizionato nella città di Milano, latitudine 45,5° e longitudine 9,3°.

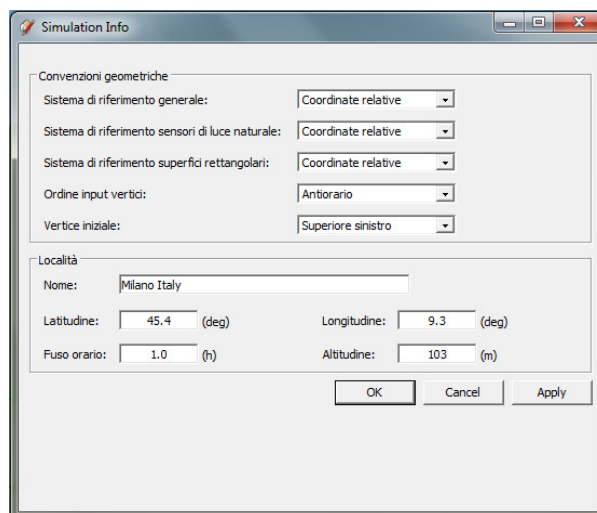


Figura 84 - Interfaccia grafica per impostare la località

- **Orientamento geografico**

Il modello di studio è stato posizionato con la facciata principale rivolta verso Sud in modo che riceva la luce durante tutto l'arco dell'anno in ogni ora di sole disponibile.

- **Stratificazione componente opachi**

Gli elementi opachi che compongono il modello di studio, sono già stati elencati e analizzati nel capitolo 8 “Caratterizzazione di un ambiente lavorativo che integra la tecnologia LSC” ma, per maggior chiarezza vengono riportati con uno schema esemplificativo della stratificazione dei singoli elementi. All'interno del software sono stati specificati i dati di spessore (m), conduttività (W/m^2), densità (kg/m^3), calore specifico (J/kgK) e assorbimento termico, solare e della radiazione visibile.

COMPONENTE OPACA ORIZZONTALE - TETTO			
Materiale	Spessore (m)	Trasmittanza (W/m ² K)	Schema – Sezione verticale
1 – Rivestimento bituminoso	0.03	0.222	
2 - Massetto	0.05		
3- Schiuma espansa	0.06		
4 – Solaio in laterocemento	0.24		
5 – Intercapedine d'aria	0.1		
6 – Controsoffitto cartongesso	0.01		

Tabella 43 - Stratificazione componente opaco orizzontale (Tetto)

COMPONENTE OPACA VERTICALE - MURO			
Materiale	Spessore (m)	Trasmittanza (W/m ² K)	Schema – Sezione orizzontale
1 - Intonaco	0.015	0.273	
2 - Laterizio Alveolato	0.12		
3 - Schiuma espansa	0.06		
4 - Laterizio alveolato	0.2		
5 - Intonaco	0.015		

Tabella 44 - Stratificazione componente opaco verticale (Muro)

COMPONENTE OPACA ORIZZONTALE - PAVIMENTO			
Materiale	Spessore (m)	Trasmittanza (W/m ² K)	Schema – Sezione verticale
1 – Rivestimento in legno	0.03	0.230	
2 - Massetto	0.04		
3 – Schiuma espansa	0.06		
4 – Sottofondo areato	0.25		
6 – Sottofondo d'allettamento	0.1		

Tabella 45 - Stratificazione componente opaco orizzontale (Pavimento)

- *Stratificazione componenti trasparenti*

Per creare le superfici trasparenti del modello, è stata utilizzata la modalità dettagliata di modellazione mediante l'utilizzo di Windows 6. Per finestra è stata utilizzata una stratificazione vetro-aria-vetro con serramenti a taglio termico in PVC. Per il sopra-
 luce è stato necessario caratterizzare la lastra in PMMA settando la componente colore dell'elemento (R=255,G=251,B=0) e le sue proprietà termiche ed ottiche¹⁹.

Di seguito sono riportate le tabelle che contengono i valori di trasmittanza delle componenti trasparenti finestra e sopra-
 luce.

Elemento	Trasmittanza Totale (W/m ² K)
Componente trasparente: Finestra	1.671

Tabella 46 – Trasmittanza componente trasparente finestra

Elemento	Trasmittanza Totale (W/m ² K)
Componente trasparente: Finestra fotovoltaica LSC	1.064

Tabella 47 – Trasmittanza componente trasparente finestra fotovoltaica LSC

¹⁹ "Tabella 1 - Confronto PMMA – Vetro" del "Capitolo 2 – Il concentratore solare luminescente di ENI"

- ***Introduzione di un sensore di luce naturale***

La valutazione dell'illuminazione naturale può essere effettuato introducendo un sensore all'interno dell'ambiente. Tale sensore consente anche di gestire, in funzione di dati inseriti in un'opportuna schedule, il funzionamento dell'impianto d'illuminazione e l'operabilità dei sistemi di schermatura. In questo modo, si può integrare la luce artificiale con la luce naturale in modo da avere i livelli d'illuminazione desiderata e proteggere dai problemi di abbagliamento l'ambiente.

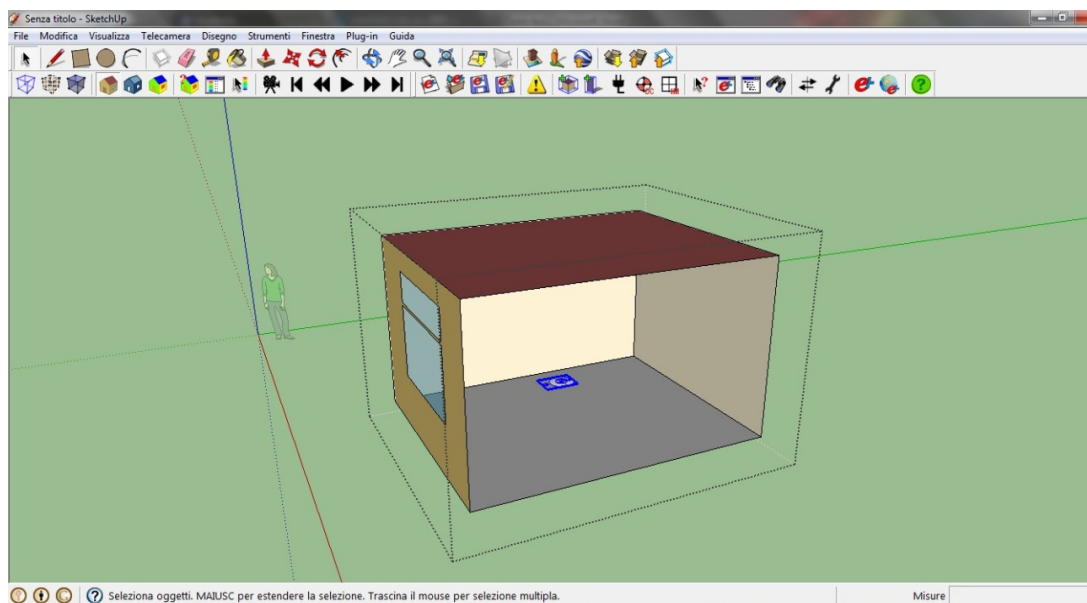


Figura 85 - Interfaccia grafica per il posizionamento di un sensore di luce

Prima di impostare i parametri del sensore, questo deve essere posizionato all'interno dell'ambiente. Nel modello di simulazione il sensore è stato posizionato nel centro dell'ambiente ad un'altezza di 85 cm in modo da verificare i valori di illuminamento sul piano di lavoro.

I principali parametri da settare per il corretto funzionamento del sensore sono:

- *Tipologia di regolazione di luce naturale*: questo comando supporta tre diverse funzioni: continua, per livelli, continua/spento. Nel caso preso in esame la tipologia impostata è "Continua" poiché consente di parzializzare continuamente in maniera lineare l'assorbimento elettrico (e, di conseguenza il corrispondente flusso luminoso) in funzione del livello di illuminamento non coperto dalla luce naturale;
- *Angolo di vista dell'utente*: indica la direzione verso la quale è rivolto l'utente;
- *Massimo indice di abbagliamento ammesso*: Valore massimo ammesso dell'indice di abbagliamento misurato in corrispondenza del sensore. Se il valore immesso viene superato nel corso della simulazione e, nelle finestre della zona sono previste delle schermature solari, queste vengano attivate in caso di superamento del valore di soglia di

abbagliamento. È stato utilizzato un indice di abbagliamento, come riportato dalla normativa UNI EN 12464-1 "Illuminazione dei Luoghi di Lavoro", pari a 19.

- *Setpoint livello di illuminamento (lux)*: Valore del livello di illuminamento di progetto richiesto nel punto dove è collocato il sensore (ovvero sul piano di lavoro rappresentato dal sensore), espresso in lux. Rappresenta l'illuminamento prodotto dal sistema di illuminazione sul corrispondente sensore, quando questo funziona alla massima potenza. Inoltre, se il sensore gestisce il funzionamento dei corpi illuminanti, questi verranno accesi solamente se l'illuminamento prodotto dalla luce naturale in quel punto non garantisce tale valore. In tal caso, il sistema di illuminazione verrà azionato alla potenza necessaria a coprire la quota di illuminamento mancante, compatibilmente con la tipologia di regolazione impostata nella finestra di dialogo.
Seguendo i parametri riportati dalla normativa precedentemente analizzata, il setpoint del livello di illuminamento è impostato a 500 lux.

- *Setpoint della zona termica*

I parametri delle apparecchiature elettriche, dell'illuminazione e delle condizioni interne della zona termica, sono di seguito specificate:

- *Apparecchiature elettriche*

L'assorbimento di energia elettrica da parte di apparecchiature presenti nella zona si manifesta anche sottoforma di apporto di calore, che viene trasmesso all'aria interna durante il funzionamento. Pertanto, nel bilancio termico della zona, è necessario tenere conto di questa quantità. Il motore di calcolo suddivide tale apporto in quattro frazioni, tre delle quali possono essere specificate dall'utente (latente, radiante e persa), mentre la quarta (quella trasmessa all'aria per convezione) viene ricavata per differenza dall'apporto globale. Ovviamente, la somma della quattro frazioni dovrà essere pari all'unità. In questo caso, il valore massimo di potenza assorbito calcolato, risulta di 2 W/m^2

- *Illuminazione*

L'oggetto "Illuminazione" permette di distinguere gli apporti termici nella zona derivanti dall'accensione dei corpi illuminanti. Inoltre, risulta di particolare importanza definire tale oggetto nelle analisi di illuminamento naturale ed artificiale. In particolare, se tale oggetto nella zona è definito congiuntamente con dei sensori di luce naturale, è possibile determinare l'esatto consumo elettrico del sistema di illuminazione, derivante dal suo reale periodo di accensione, in funzione dei livelli di illuminamento naturale rilevati da tali sensori. In particolare, l'assorbimento elettrico dei corpi illuminanti, nei periodi di funzionamento definiti nella corrispondente schedule, verrà parzializzato in modo da coprire esattamente, in ciascun istante, la quota di illuminamento non garantita dalla luce naturale entrante dalle finestre, secondo le impostazioni definite nei corrispondenti sensori di luce naturale.

In questo campo è stato impostato il “Valore massimo di potenza elettrica assorbita”, pari a 282 W, ricavata precedentemente dalle analisi effettuate con il programma DIALux. Inoltre, è stato creato un profilo di utilizzo, o “schedule”, in modo da regolare le ore di accensione dell’impianto elettrico. In questo caso, trattandosi di un ambiente lavorativo, è stato impostato un orario di funzionamento solo nei giorni feriali dalle ore 8:00 alle ore 20:00.

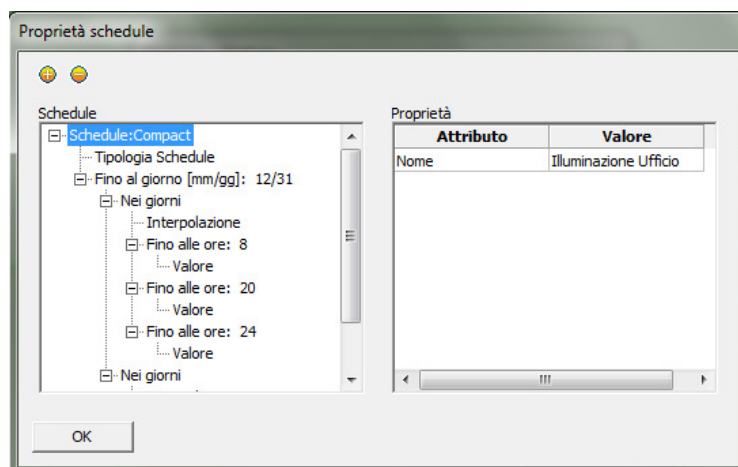


Figura 86 - Interfaccia grafica settaggio parametri per la creazione di una schedule

- **Condizioni interne - Setpoint riscaldamento e raffrescamento**

Mediante tale oggetto, è possibile impostare per ciascuna zona termica le temperature di setpoint di riscaldamento ed di raffrescamento. Il controllo sulla temperatura viene effettuato sulla temperatura media dell’aria interna alla zona. Sia il riscaldamento che il raffrescamento sono gestiti da una schedule che ne indica i tempi di accensione e le temperature da mantenere.

I due impianti sono gestiti da due schedule differenti in modo da regolare nel miglior modo i tempi e periodi di accensione.

- **Schedule_Riscaldamento:** il periodo di accensione del riscaldamento va novembre a marzo. L’impianto è acceso tutti i giorni in modo tale che, anche quando nell’ambiente non sono presenti gli utenti, la temperatura non scenda in modo eccessivo richiedendo maggior energia per riscaldare l’ambiente con la presenza degli utenti.
- **Schedule_Raffrescamento:** il periodo di accensione del condizionatore va da aprile ad ottobre. L’impianto verrà acceso solo nei giorni lavorativi in un intervallo di orario che va dalle 8:00 alle 20:00. Questa scelta è stata effettuata considerando l’ambiente provvisto di un impianto di raffrescamento (ad esempio a pompa di calore) in grado di raggiungere in breve tempo la

temperatura richiesta. In questo modo si riesce a regolare gli sprechi di energia che verrebbe utilizzata in assenza di utenze durante le ore di non lavoro e i giorni festivi.

- ***Definizione dati in uscita***

Le variabili in uscita sono le grandezze ed i parametri che si richiede calcolare e fornire al motore di calcolo. Nel modello di studio, le variabili analizzate sono state:

- Calcolo dei consumi derivanti dal riscaldamento;
- Calcolo dei consumi derivanti dal raffrescamento;
- Calcolo dei consumi potenza elettrica;

La frequenza con cui queste variabili possono essere calcolate sono: annuale, mensile, settimanale, giornaliero e orario. In questo caso i risultati analizzati sono orari in modo da poter verificare, ora per ora durante un anno solare, gli effettivi consumi termici e quelli derivanti dalla potenza elettrica assorbita dall'impianto d'illuminazione.

12.2.1 - Riassunto dei parametri inseriti nel software

Di seguito sono riportati i valori impostati all'interno del software:

PRINCIPALI PARAMETRI INTRODOTTI NEL BESTENERGY	
Posizione	
<i>Geografica</i>	Milano
<i>Orientamento facciata</i>	Sud
Sensore di luce	
<i>Tipologia regolazione di luce naturale</i>	Continua
<i>Angolo di vista dell'utente</i>	180° (rivolto verso la finestra)
<i>Massimo indice di abbagliamento ammesso</i>	19
<i>Setpoint livello di illuminamento</i>	500 lux
Apparecchiature elettriche	
<i>Valore massimo di potenza assorbito</i>	2 W/m ²
Parametri per l'illuminazione	
<i>Valore massimo di potenza elettrica assorbita</i>	282 W (ricavato da DIALux)
<i>Ore di accensione impianto elettrico</i>	Giorni lavorativi 8:00 - 20:00
Condizioni interne	
<i>Flusso massimo di aria esterna</i>	
- <i>Ricambi d'aria orari</i>	6
<i>Valore massimo di affollamento della zona</i>	
- <i>Occupanti per m²</i>	0.1
<i>Riscaldamento</i>	
- <i>Periodo</i>	Novembre - Marzo
- <i>Giorni</i>	Tutti i giorni
- <i>Gradi impostati</i>	20° C
- <i>Orario</i>	Sempre
<i>Raffrescamento</i>	
- <i>Periodo</i>	Aprile - Ottobre
- <i>Giorni</i>	Solo lavorativi
- <i>Gradi impostati</i>	26°C
- <i>Orario</i>	8:00 - 20:00
Definizione variabili in uscita	
<i>Calcolo consumi riscaldamento</i>	Frequenza oraria
<i>Calcolo consumi raffrescamento</i>	Frequenza oraria
<i>Calcolo consumi potenza elettrica</i>	Frequenza oraria

Tabella 48 – Riassunto dei parametri principali inseriti nel software BESTEnergy

12.2.2 - Analisi dei dati ottenuti

Dopo aver inserito tutti i parametri riportati, è stato possibile effettuare le simulazioni con entrambe le configurazioni di facciata.

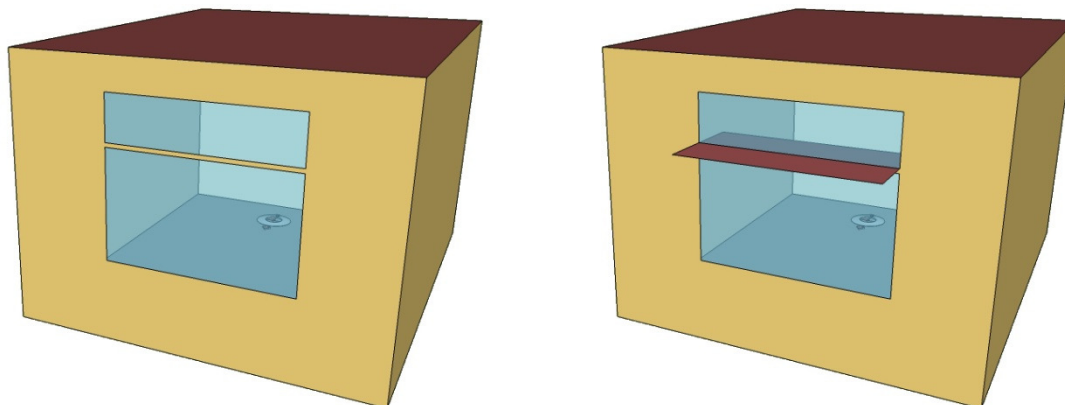


Figura 87 - Modello creato in BESTEnergy senza e con lightshelf

I risultati ottenuti mostrano come ai vantaggi a livello illuminotecnico il lightshelf associ delle conseguenze a livello di consumi termici ed elettrici. La configurazione con il lightshelf, infatti, ha l'effetto peggiorativo dei consumi di raffrescamento e illuminamento mentre migliora quelli del riscaldamento.

Mese	Illuminazione (kWh/anno)		Riscaldamento (kWh/anno)		Raffrescamento (kWh/anno)	
	No lightshelf	Si lightshelf	No lightshelf	Si lightshelf	No lightshelf	Si lightshelf
Gennaio	35.0943	39.0459	44.9855	32.3356	0	0
Febbraio	22.2930	24.5443	28.8745	22.2700	0	0
Marzo	17.2576	19.2451	0.0663	0	0	0
Aprile	12.3389	14.1860	0	0	8.7009	12.9227
Maggio	10.5240	12.3853	0	0	56.7020	61.7816
Giugno	7.7761	9.8460	0	0	101.8503	102.8079
Luglio	7.5739	9.3841	0	0	150.0341	153.4921
Agosto	11.0146	12.5708	0	0	154.0404	162.4245
Settembre	14.9686	16.5098	0	0	97.6868	111.4785
Ottobre	24.5369	27.3697	0	0	11.7569	18.8702
Novembre	31.6205	34.9563	2.0170	0.8436	0	0
Dicembre	35.0837	38.3528	37.6954	26.5871	0	0
TOTALE	230.0819	258.3961	113.6388	82.0363	580.7714	623.7776
TOTALE (kWh/m²anno)	11.5041	12.9198	5.6819	4.1018	29.0386	31.1889

Tabella 49 - Valori di illuminazioni, riscaldamento e raffrescamento suddivisi per mese ottenuti dalle simulazioni con il software BESTEnergy in entrambe le configurazioni di facciata

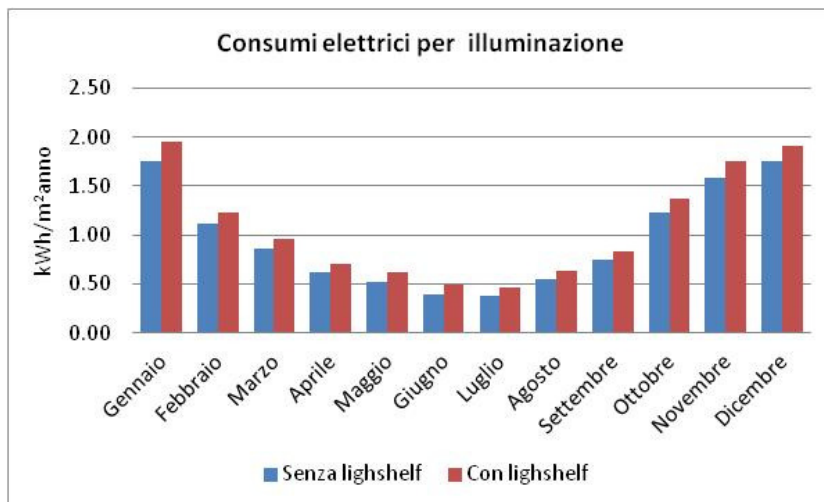


Tabella 50 - Confronto consumi illuminotecnici suddivisi per mese

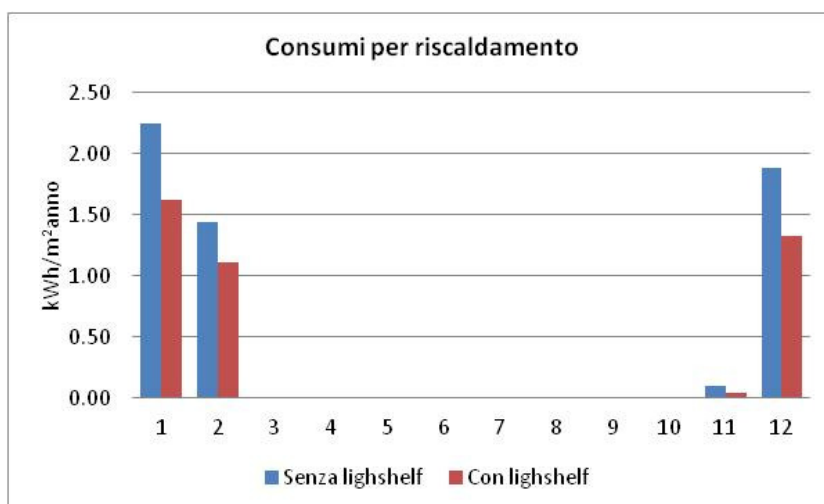


Tabella 51 – Confronto consumi di riscaldamento suddivisi per mese

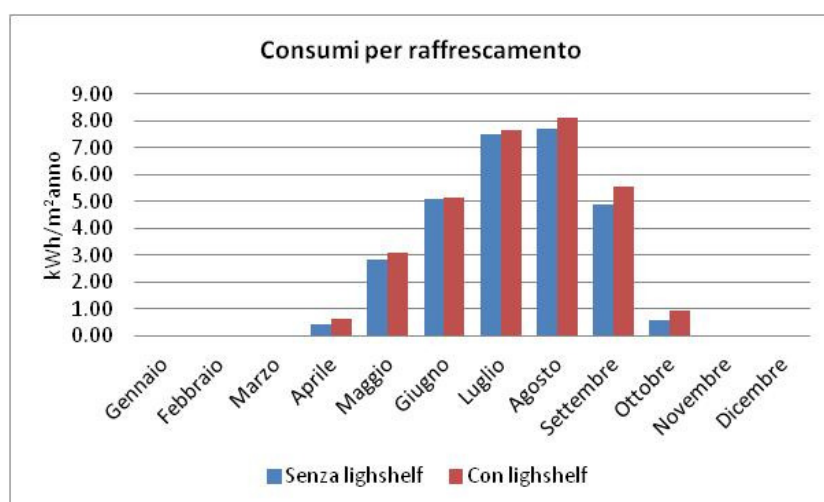


Tabella 52 – Confronto consumi raffrescamento suddivisi per mese

Consumi calcolati	Facciata senza lightshelf (kWh/m ² anno)	Facciata con lightshelf (kWh/m ² anno)	Miglioramento - peggioramento
Illuminazione	11.50	12.92	+ 11%
Riscaldamento	5.68	4.10	- 39%
Raffrescamento	29.04	31.19	+ 7%

Tabella 53 - Percentuale di miglioramento o peggioramento dei consumi

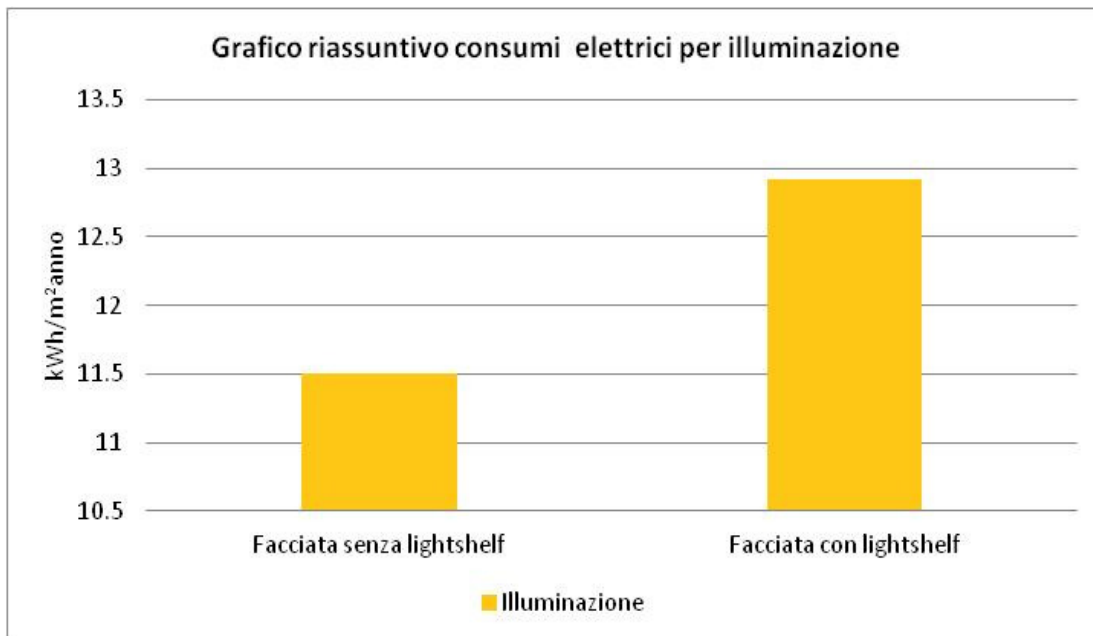


Grafico 17 – Totale consumi elettrici per l'illuminazione del modello di studio con e senza lightshelf

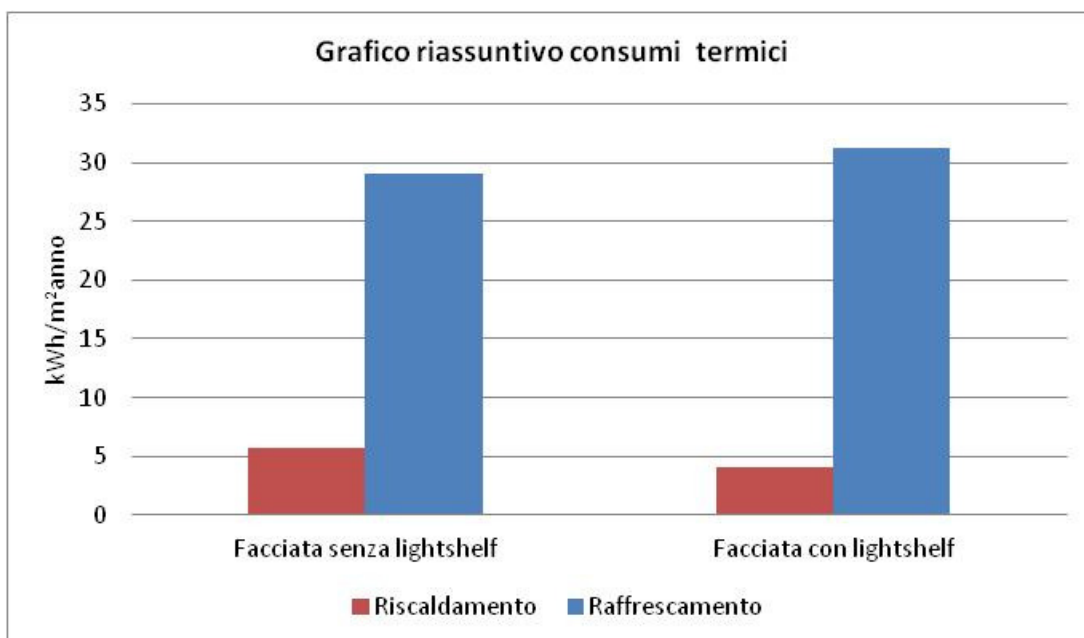


Grafico 18 – Totale consumi termici del modello di studi con e senza lightshelf

Confrontando i consumi annui dell'illuminazione, riscaldamento e raffrescamento, di entrambi i modelli di studio, si nota un aumento dei consumi elettrici (+11%) e dei consumi termici di raffrescamento (+7%) mentre è presente una diminuzione per quanto riguarda i consumi termici di riscaldamento (-39%). L'aumento e la diminuzione di questi valori è facilmente comprensibili se si prendono in considerazione due fattori:

- La radiazione solare;
- Calore dissipato dall'impianto d'illuminazione.

- Intensità radiazione solare

L'intensità della radiazione solare dipende dall'angolo d'incidenza ed è massima quando incide perpendicolarmente su una superficie. L'angolo d'incidenza varia durante il giorno e durante le stagioni e dipende dall'orientamento e dall'inclinazione delle superfici captanti. La quantità di apporti solari che una superficie può ricevere dipende pertanto, oltre che dalla posizione del sole, dall'esposizione e dall'inclinazione della stessa.

Una superficie orizzontale riceve la maggiore quantità di energia in estate, quando la posizione del sole è alta e i giorni sono più lunghi, mentre una superficie verticale esposta a Sud riceve più apporti in inverno.

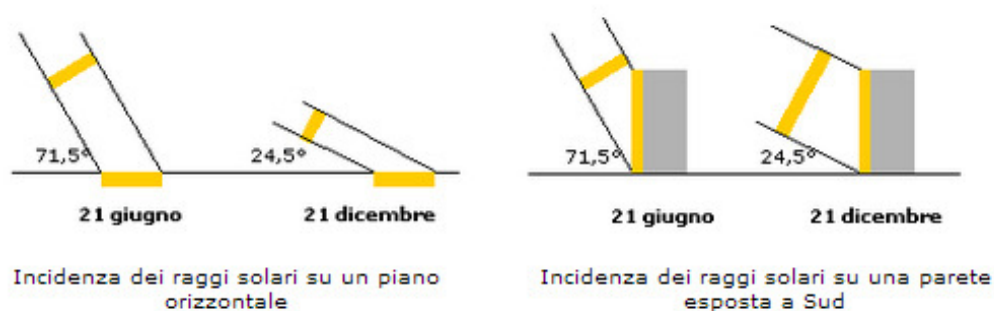


Figura 88 - Incidenza raggi solari su un piano orizzontale ed uno verticale esposto a Sud

- Calore dissipato dall'impianto d'illuminazione

Gli impianti di illuminazione, durante le ore di attività, possono essere considerati come una fonte di calore poiché, oltre al flusso luminoso che emettono, disperdono calore. Occorre precisare che ciò che viene assorbito dalle lampade in termini di potenza elettrica non si traduce interamente in carico termico. Ad esempio, nelle lampade incandescenti una parte della potenza assorbita (10% circa) è trasformata in energia luminosa, mentre la rimanente porzione la ritroviamo sottoforma di calore dissipato nell'ambiente per radiazione (80%), convezione e conduzione (10%). Le lampade fluorescenti, invece, trasformano in energia luminosa circa il 25% di ciò che assorbono, un altro 25% lo scambiano per irraggiamento ed il rimanente 50% per convezione e conduzione. Tale energia assorbita contribuisce, dunque, alla definizione del carico di raffreddamento anche dopo lo spegnimento delle luci, andando a contribuire alla quota di calore che viene accumulato dalle strutture.

Per i motivi sopra elencati, la facciata con il lightshelf schermo buona parte della radiazione solare diretta comportando un aumento sia dei tempi di accensione che della potenza elettrica erogata, al fine di ottenere il livello di illuminamento desiderato (500 lux) sul piano di lavoro. La potenza necessaria per l'illuminazione, nei mesi estivi (aprile – ottobre) aumenta per un minimo del 15% e un massimo del 21 % mentre nei mesi invernali (novembre – marzo) aumenta per un minimo dell'8% e un massimo del 10%. Questo aumento nei mesi estivi deriva dal fatto che pur disponendo di una maggiore quantità di radiazione solare, la presenza della schermatura riduce l'ingresso della luce all'interno dell'ambiente. Prolungando i tempi di accensione, gli impianti di illuminazione dissiperanno una quantità maggiore di calore riducendo i valori di riscaldamento (di circa il 39%) ma aumentano quelli per il raffrescamento (di circa il 7%).

12.2.3 – Calcolo dell'energia primaria

Il Dlgs 192/05 definisce come unico indicatore prestazionale energetico il "Fabbisogno di Energia Primaria", che consente di sommare più flussi e/o vettori energetici. Infatti l'energia primaria è definibile come il potenziale energetico presentato dai vettori e fonti energetiche non rinnovabili nella loro forma naturale (quando non hanno ancora subito alcuna conversione o processo di trasformazione).

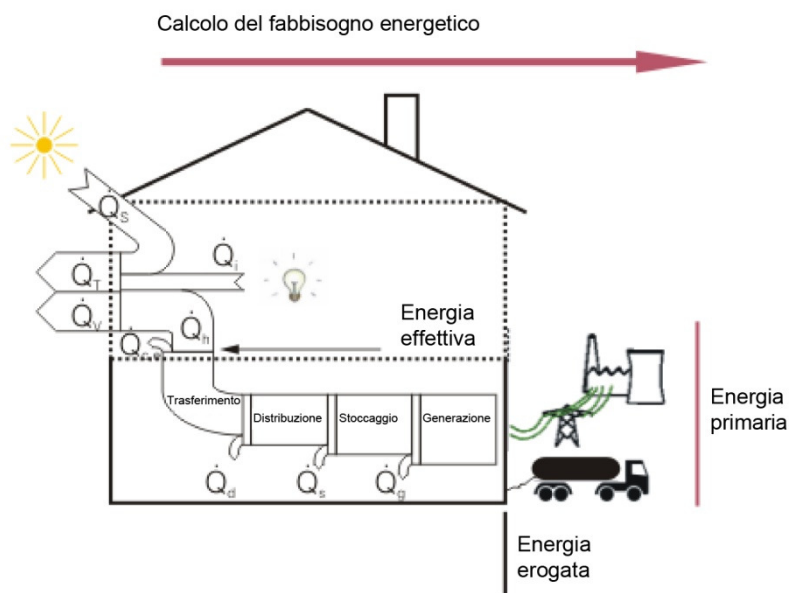


Figura 89 – Schema del calcolo dell'energia primaria

Altro aspetto di fondamentale importanza è il tipo di combustibile adottato e la provenienza dell'energia elettrica impiegata (ad esempio da un impianto termoelettrico o idroelettrico o autoproduzione). L'energia primaria, quindi, dipende, da un lato, dal fabbisogno di energia e dall'altro, dal tipo di combustibile o vettore utilizzato per produrre energia e dall'efficienza di produzione. Questo indicatore, secondo il progetto di norma europeo prEN 15603, è calcolato con la seguente equazione:

$$EP = \sum_i Q_i \cdot fEP_i$$

Dove:

- Q_i è la sommatoria dei consumi di ogni vettore energetico (per riscaldamento, raffrescamento, illuminamento, acqua calda sanitaria, ventilazione ed energia elettrica) tenendo conto dei rispettivi rendimenti;
- fEP_i è il fattore di energia primaria dell'i-esimo vettore energetico, come riportato nella seguente tabella, per alcuni tipi di vettore energetico.

Vettore Energetico	Fattore di energia primaria fEP
Carbone	1,20
Petrolio	1,10
Gas Naturale	1,10
Biomasse	1,10
Rifiuti solidi urbani	1,00
Fonti rinnovabili	1,00
Mix elettrico nazionale	2,16

Tabella 54 – Fattori di energia primaria fEP

Questi fattori, riportati nel UNI EN 15603 - “Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica”, si possono utilizzare in mancanza di valori più accurati. Attualmente in Italia esiste solamente la Circolare del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato del 2 Marzo 1992, n° 219/F che riporta al punto 21 indicazioni relativamente alla valutazioni dei consumi in termini di energia primaria espressa in tonnellate equivalenti di petrolio (tep²⁰), in particolare distinguendo tra:

- Energia dei prodotti combustibili;
- Energia elettrica;
- Energia dei fluidi termo vettori;
- Energia derivante da fonti rinnovabili.

²⁰ La tonnellata equivalente di petrolio (tep, in lingua inglese tonne of oil equivalent, TOE) è un'unità di misura di energia. Il TOE rappresenta la quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio grezzo e vale circa 42 GJ. Il valore è fissato convenzionalmente, dato che diverse varietà di petrolio posseggono diversi poteri calorifici e le convenzioni attualmente in uso sono più di una.

Il fattore di energia primaria risulta sempre maggiore dell'unità, che rappresenta il combustibile consumato e misurato ai contatori, mentre la parte rimanente definisce l'energia consumata nelle diverse fasi di vita del combustibile (estrazione, trasformazione, trasporto, etc.). Nel caso dell'energia elettrica, questo fattore è pari all'inverso del rendimento elettrico e varia a seconda che si consideri la griglia elettrica nazionale, il solo parco idroelettrico, piuttosto che quello termoelettrico o eolico/fotovoltaico e via seguendo un livello di dettaglio che contestualizza l'edificio e fornisce indicazioni sempre più reali dei consumi a monte.

Il calcolo del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento ed il raffrescamento, è stato effettuato per verificare i consumi globali del modello con e senza lightshelf al fine di capire se l'introduzione dell'elemento schermante porti un aumento dei consumi totali.

L'impianto ipotizzato è una pompa di calore acqua-acqua, un sistema unico in grado di garantire il comfort tutto l'anno sia per riscaldare d'inverno che per climatizzare d'estate.

I parametri di calcolo utilizzati sono i seguenti:

Parametri di calcolo	Valori
Sottosistema di emissione η_e (W/m ³)	0.98
Sottosistema di regolazione η_c (W/m ³)	0.98
Sottosistema di distribuzione η_d (W/m ³)	0.98
Sottosistema di generazione - COP medio	4.5
Sottosistema di generazione - EER medio	4
Potenza totale degli ausiliari elettrici (W)	50
Giorni di durata del periodo di riscaldamento	180
Giorni di durata del periodo di raffrescamento	120

Tabella 55 – Parametri utilizzati per il calcolo del fabbisogno globale netto di energia primaria

Nel calcolo eseguito per ricavare il fabbisogno globale netto di energia primaria, non sono stati inseriti i valori di produttività elettrica derivanti dalla finestra fotovoltaica LSC poiché il nuovo componente è in fase di prototipazione e quindi non è stato possibile effettuare una stima basata su dati sperimentali.

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

	Fabbisogno annuale di energia elettrica (kWh/anno)		Fattore di conversione (fp,el)	Fabbisogno globale di energia primaria (kWh/anno)	Fabbisogno globale netto di energia primaria (kWh/anno)
Modello senza lightshelf	Riscaldamento	243	2.16	524.88	1665.36
	Raffrescamento	298		643.68	
	Illuminazione artificiale	230		496.8	
	Totale	771		/	
Modello con lightshelf	Riscaldamento	235	2.16	507.6	1734.48
	Raffrescamento	310		669.6	
	Illuminazione artificiale	258		557.28	
	Totale	803		/	

Tabella 56 – Calcolo del fabbisogno globale netto di energia primaria del modello senza/con lightshelf

Come analizzato precedentemente, l'introduzione del sistema schermante lightshelf comporta una riduzione dei consumi termici per il riscaldamento del 39% e un aumento dei consumi termici per il raffrescamento e dei consumi elettrici per l'illuminazione rispettivamente del 7% e dell'11%. Sebbene i consumi per il riscaldamento vengono ridotti notevolmente, questo non porta ad una riduzione del fabbisogno globale netto di energia primaria, infatti, come si può notare dai risultati ottenuti, il fabbisogno di energia primaria globale nel modello con il sistema schermante lightshelf aumenta di circa il 4%.

Sebbene questo componente comporti un aumento dei fabbisogni globali di energia primaria, risulta un elemento necessario al fine di risolvere i problemi derivanti dalla penetrazione della luce attraverso il componente LSC che comporta la proiezione di macchie gialle, in determinate ore dell'anno, all'interno dell'ambiente.

12.3 – Modellazione con il software Ecotect

Il software Ecotect rappresenta la base per poter utilizzare gli altri programmi (Radiance ed Evalglare) di analisi illuminotecnica dettagliata. Infatti, tramite questo software, è possibile creare il modello in 3D e posizionare le telecamere e il momento (data e ora) in cui procedere con l'analisi con Radiance ed Evalglare.

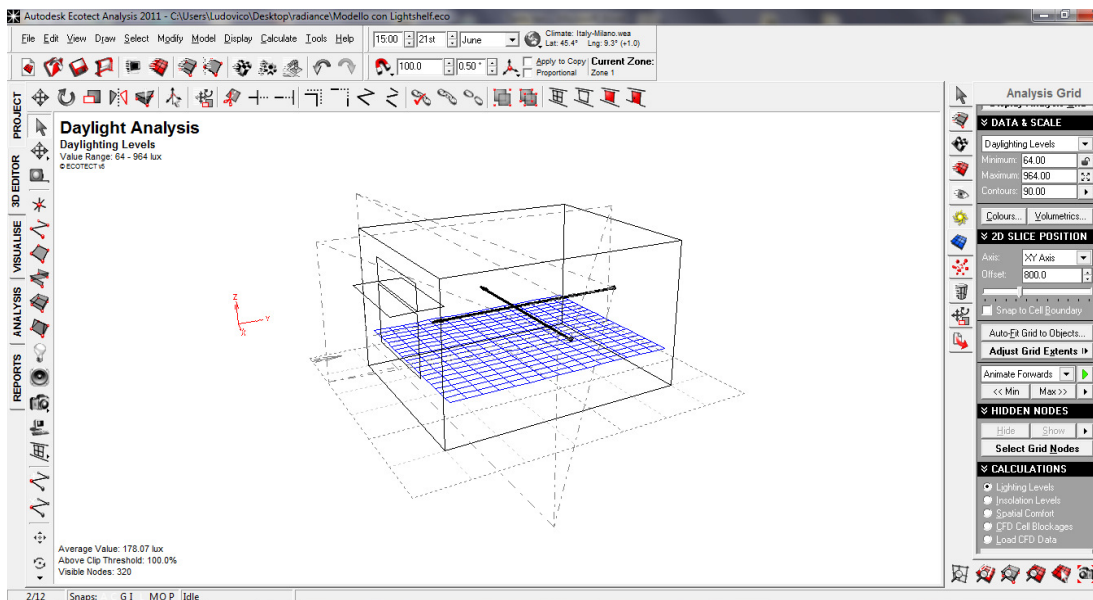


Figura 90 - Interfaccia grafica per la creazione del modello 3D tramite il programma Ecotect. Le frecce nere rappresentano la visuale delle telecamere posizionate

Una volta creato il modello, sono stati assegnati i materiali alle singoli superfici riportati nella seguente tabella:

Superficie	Finitura	Coefficiente di riflessione (%)
Soffitto	Cartongesso	70
Pareti verticali	Intonaco	47
Pavimento	Legno	15
Finestra	Vetro	6
Sopraluce	PMMA	6
Lightshef	Alluminio	80

Tabella 57 - Coefficiente di riflessione dei materiali inseriti in Ecotect

Infine, sono state inserite due telecamere interne (una laterale e una frontale alla finestra) grazie alle quali sarà possibile ottenere le immagini con i software utilizzati in seguito.

12.4 – Valutazione della distribuzione d’illuminamento e del Daylight Factor con il software Radiance

Radiance permette di visualizzare, attraverso le telecamere precedentemente impostate in Ecotect, la distribuzione dell’illuminamento e del daylight factor. I risultati sono visualizzati come immagini in cui vengono tracciate le isolux per l’illuminamento e le isolinee per il daylight factor.

Le simulazioni sono state effettuate con le due tipologie di facciata (con e senza lightshelf), nei giorni 21 Marzo, 21 Giugno, 21 Dicembre, alle ore 10:00, 12:00 e 15:00.

Le simulazioni effettuate:

- *Daylight factor*: cielo coperto
- *Distribuzione d’illuminamento*: cielo coperto e cielo sereno

- Il Daylight Factor

Il coefficiente Daylight Factor (DF) è il parametro ormai universalmente accettato per l’impostazione degli studi volti a garantire un’illuminazione diurna ottimale.

Il fattore di luce diurna (Daylight Factor) è definito come il rapporto fra l’illuminamento misurato nel punto esaminato dell’ambiente e l’illuminamento misurato all’esterno su una superficie orizzontale che vede l’intera volta celeste senza ostruzioni. Per effettuare questo calcolo, non viene utilizzata la luce solare diretta, ma si utilizza una luce uniforme derivante da un cielo coperto. Il fattore di luce diurna, solitamente, si esprime in percentuale ed è un indicatore della luminosità in un ambiente. Il valore di illuminamento esterno che si prende come riferimento è 5000 lux, che deriva dalle valutazioni eseguite per i paesi nord-europei, mentre per i paesi mediterranei, il valore che si utilizza corrisponde a 5500 lux.

Per effettuare una prima valutazione del fattore di luce diurna in un ambiente illuminato da delle finestre, il calcolo si può effettuare seguendo tre passaggi:

- Stima della componente di cielo (D_s): è la componente di luce diurna dovuta dalla luce che arriva direttamente dal cielo;
- Stima della componente esterna riflessa (D_e): è la componente di luce diurna che arriva dopo che è stata riflessa da un oggetto;
- Calcolo del fattore di luce diurna (D_i): si ottiene sommando le due componenti (leggermente corrette a causa delle perdite che si hanno dovute, ad esempio, dai vetri) e i guadagni dovuti alle riflessioni interne.

Se la somma di queste tre componenti uguaglia o supera il valore ottimale del 4%, l'ambiente in esame gode di un'ottima illuminazione naturale; in ogni caso dovranno essere rispettati i valori indicati nella seguente tabella²¹:

Ambiente	DF ≥ (%)	Raccomandazioni
Cucine	2	Su almeno il 50% dell'area del pavimento (minimo 4.5 m ²)
Soggiorni	1	Su almeno il 50% dell'area del pavimento (minimo 7.0 m ²)
Stanze da letto	0.5	Su almeno il 50% dell'area del pavimento (minimo 5.5 m ²)
Scuole	2	In tutte le aule e nelle cucine
Ospedali	1	Nelle camere di decenza
Sale da disegno	6	Sui tavoli da disegno
	2	Sul resto dell'area
Officine	3 - 6	Secondo se prevale l'illuminazione laterale o dall'alto
Industrie	5	
Edifici Pubblici	1	Con illuminazione laterale a 3.6 m dalla finestra
Uffici	2	

Tabella 58 - Valori del fattore di luce diurna per le diverse destinazioni d'uso

Di seguito sono riportate le immagini delle simulazioni che mostrano il Daylight Factor e l'illuminamento effettuate con il software Radiance per l'ambiente ufficio con e senza lightshelf.

²¹ Fonte report ENEA (RdS/2010/): "Linee guida per l'utilizzazione della luce naturale" di F. Gugliemetti, F. Bisegna, L. Monti.

12.4.1 - Calcolo del Daylight Factor

MODELLO SENZA LIGHTSHELF

- **Data simulazione: 21 Marzo**

- Ore 10:00

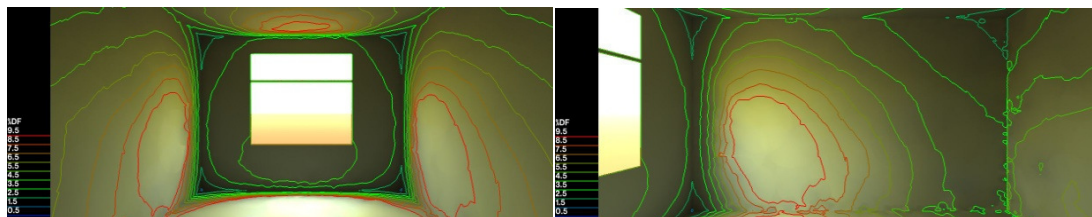


Figura 91 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 10:00-21 marzo. Vista frontale e laterale

- Ore 12:00

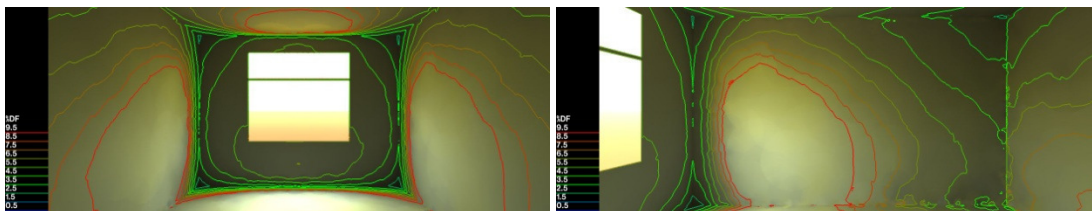


Figura 92 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 12:00-21 marzo. Vista frontale e laterale

- Ore 15:00

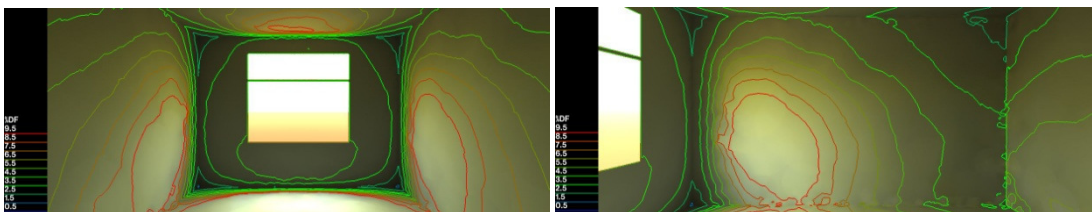


Figura 93 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 15:00-21 marzo. Vista frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 giugno**

- Ore 10:00

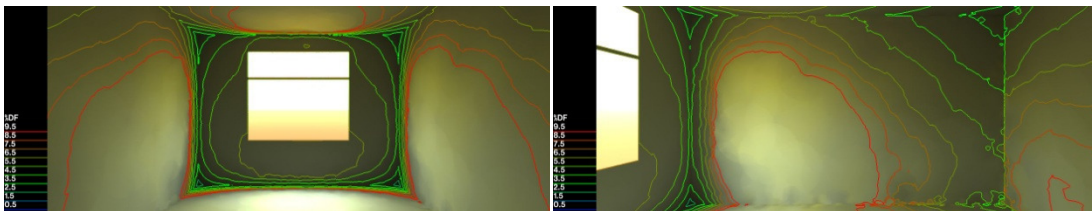


Figura 94 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 10:00- 21 giugno . Vista frontale e laterale

- Ore 12:00

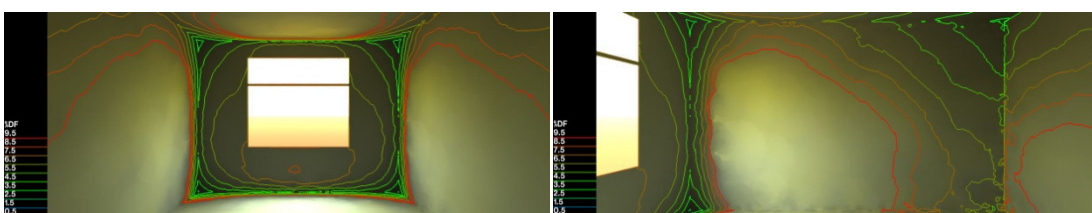


Figura 95 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 12:00-21 giugno. Vista frontale e laterale

- Ore 15:00

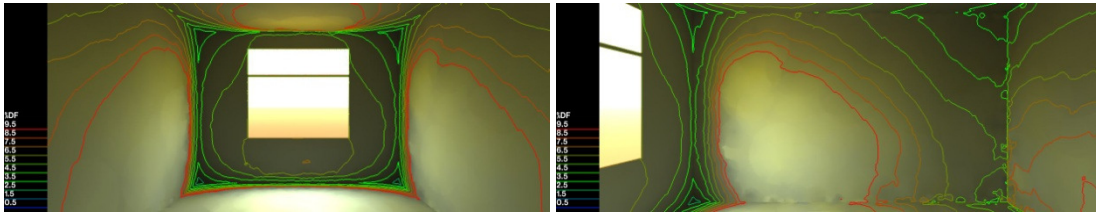


Figura 96 - Daylight factor modello senza lightshelf re 15:00-21 giugno. Vista frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Dicembre**

- Ore 10:00

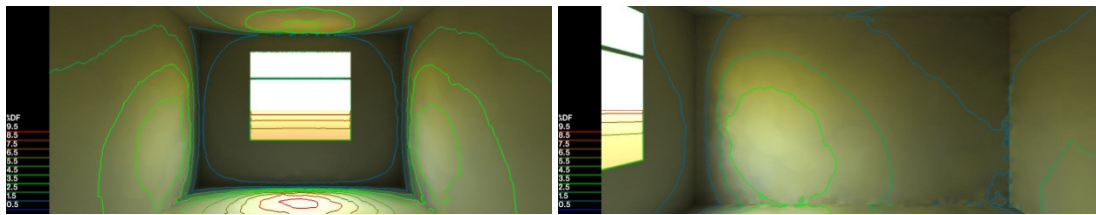


Figura 97 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale

- Ore 12:00

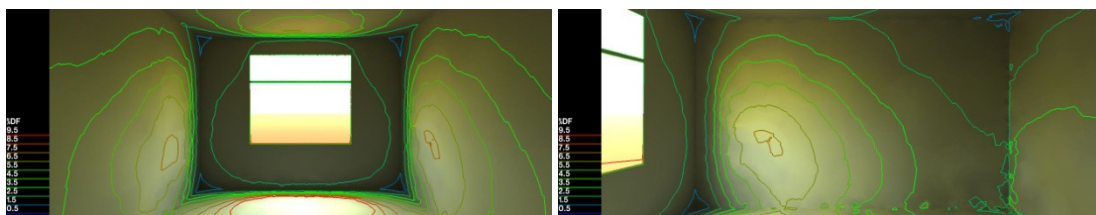


Figura 98 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale

- Ore 15:00

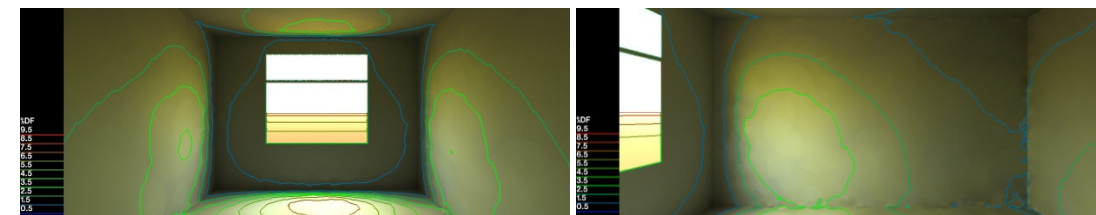


Figura 99 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale

MODELLO CON LIGHTSHELF

- **Data simulazione: 21 Marzo**

- Ore 10:00

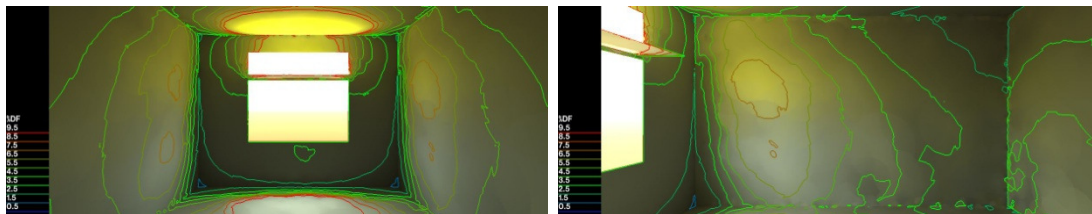


Figura 100 - Daylight factor modello con lightshelf ore 10:00-21 marzo. Vista frontale e laterale

- Ore 12:00

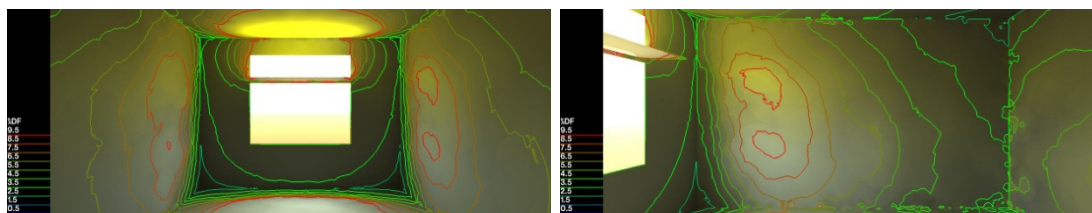


Figura 101 - Daylight factor modello con lightshelf ore 12:00-21 marzo. Vista frontale e laterale

- Ore 15:00

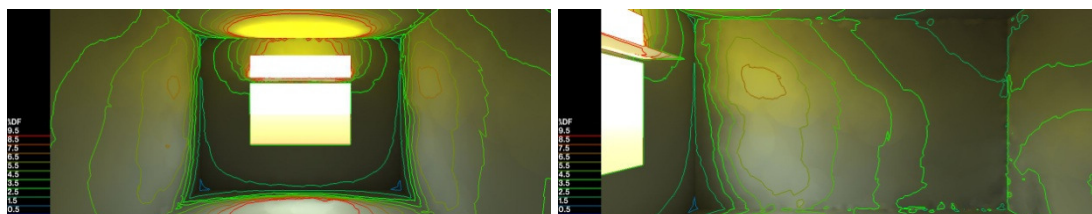


Figura 102 - Daylight factor modello con lightshelf ore 15:00-21 marzo. Vista frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Giugno**

- Ore 10:00

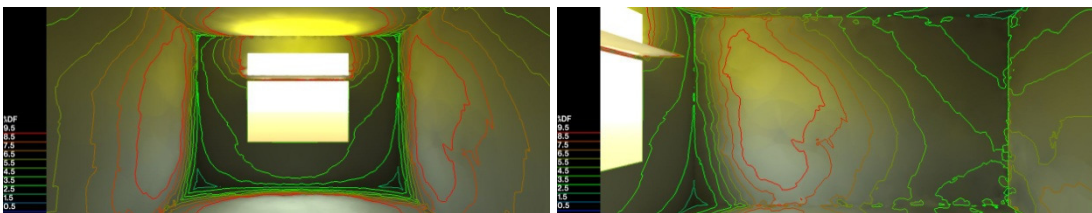


Figura 103 - Daylight factor modello con lightshelf ore 10:00-21 giugno. Vista frontale e laterale

- Ore 12:00

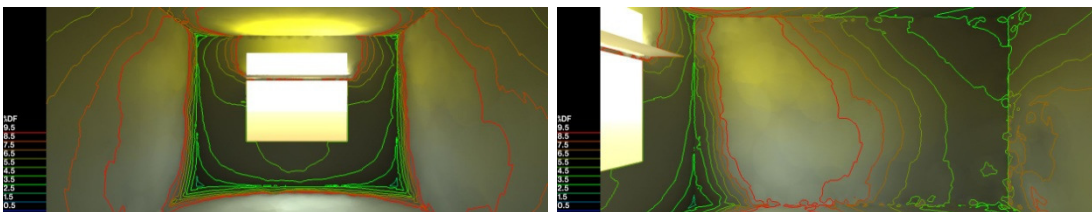


Figura 104 - Daylight factor modello con lightshelf ore 12:00-21 giugno. Vista frontale e laterale

- Ore 15:00

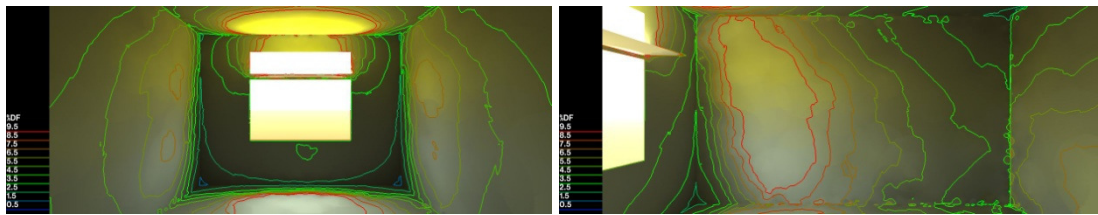


Figura 105 - Daylight factor modello con lightshelf ore 15:00-21 giugno. Vista frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Dicembre**

- Ore 10:00

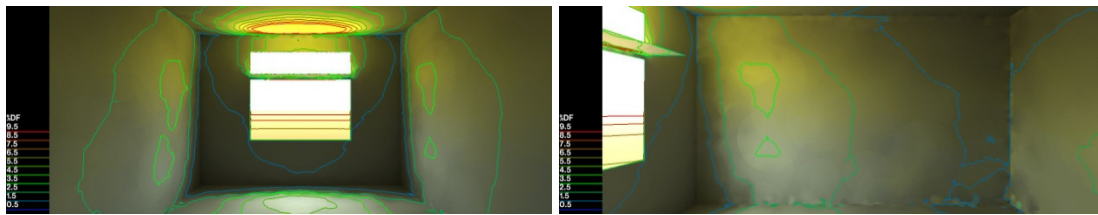


Figura 106 - Daylight factor modello con lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale

- Ore 12:00

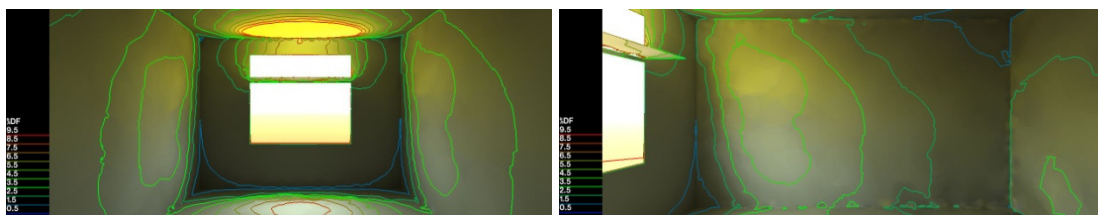


Figura 107 - Daylight factor modello con lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale

- Ore 15:00

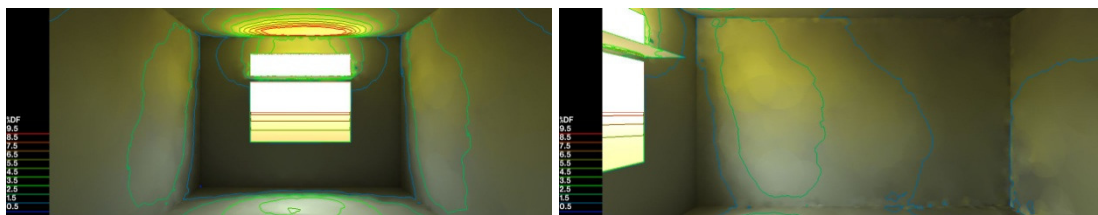


Figura 108 - Daylight factor modello con lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale

12.4.2 – Calcolo dell’illuminamento in condizioni di cielo coperto MODELLO SENZA LIGHTSHELF

- **Data simulazione: 21 Marzo**

- Ore 10:00

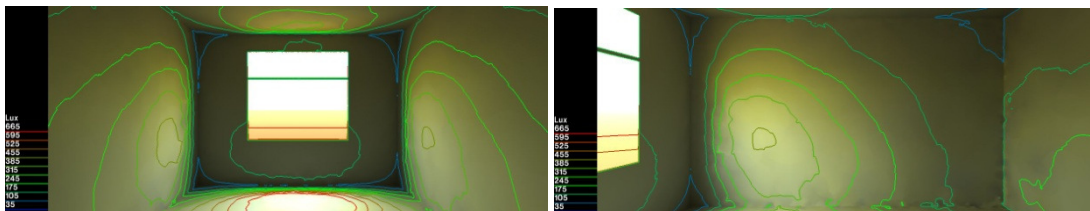


Figura 109 – Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 10:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

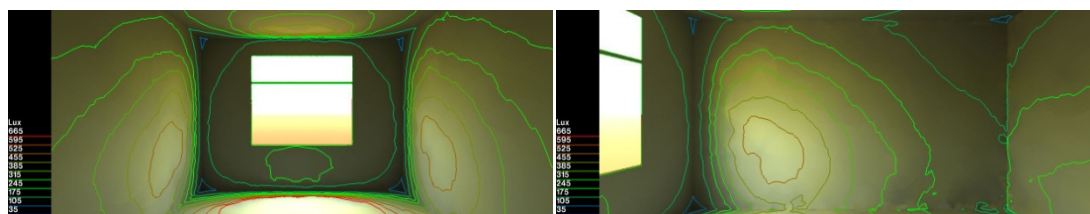


Figura 110 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 12:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

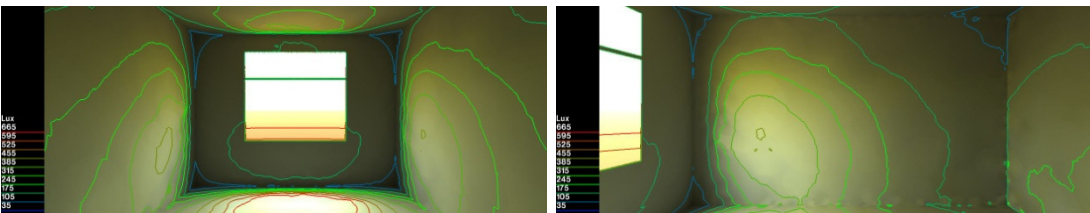


Figura 111 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 15:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Giugno**

- Ore 10:00

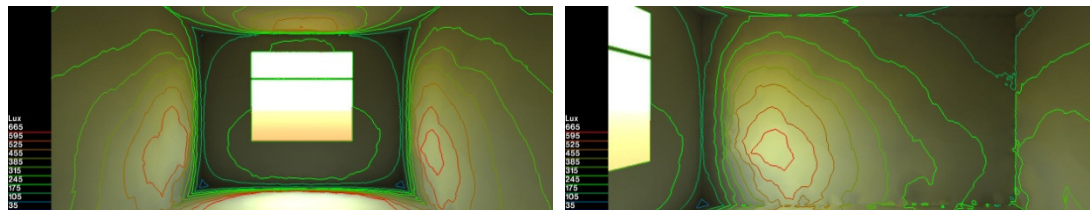


Figura 112 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 10:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

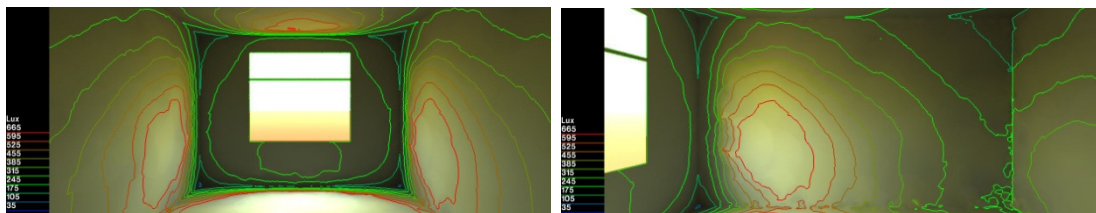


Figura 113 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 12:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

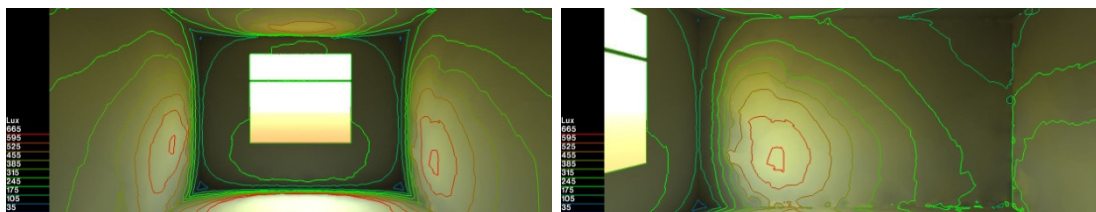


Figura 114 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 15:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Dicembre**

- Ore 10:00

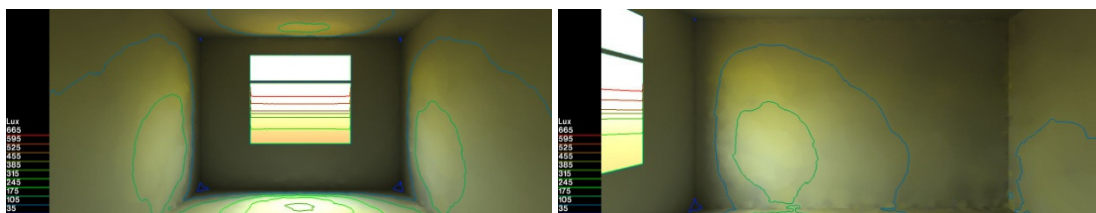


Figura 115 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

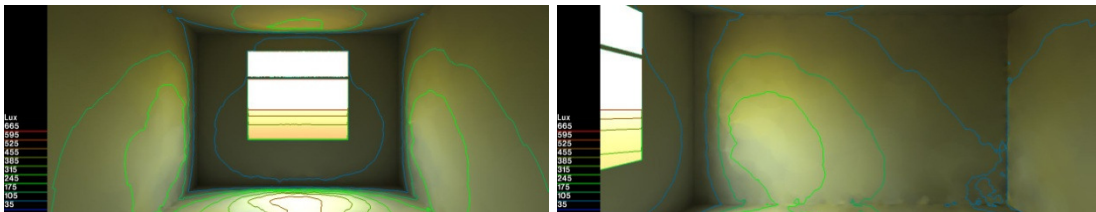


Figura 116 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

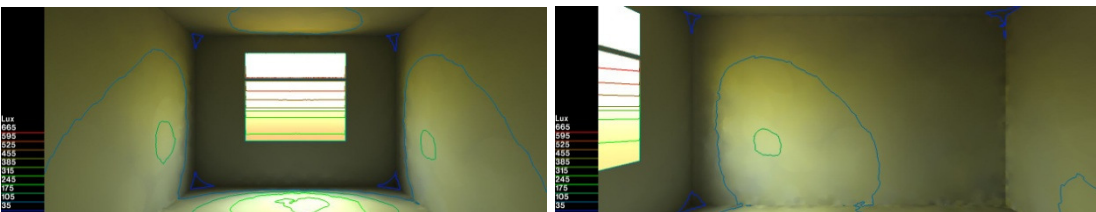


Figura 117 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

MODELLO CON LIGHTSHELF

- **Data simulazione: 21 Marzo**

- Ore 10:00

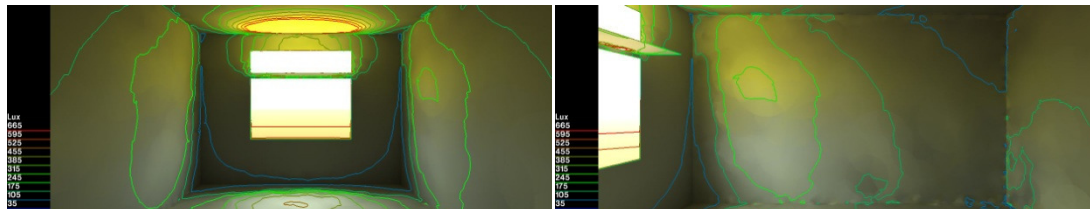


Figura 118 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 10:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

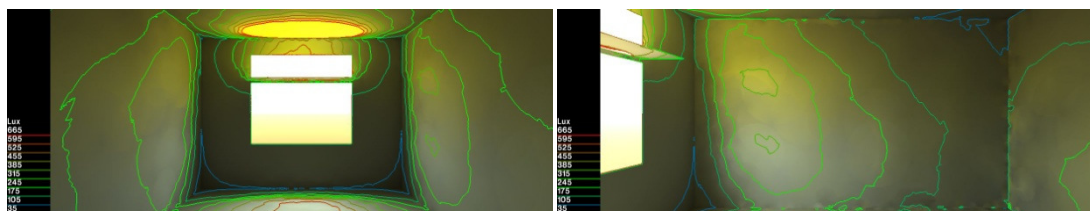


Figura 119 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 12:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

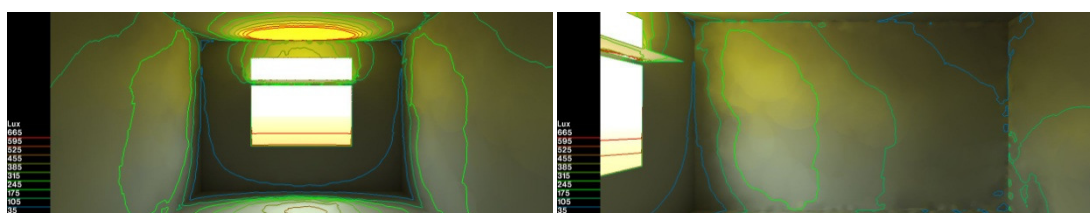


Figura 120 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 15:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Giugno**

- Ore 10:00

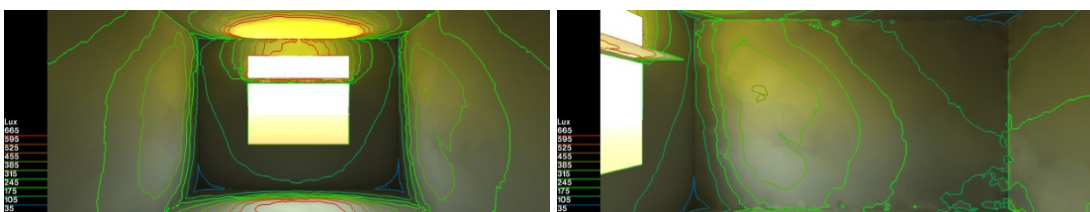


Figura 121 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 10:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

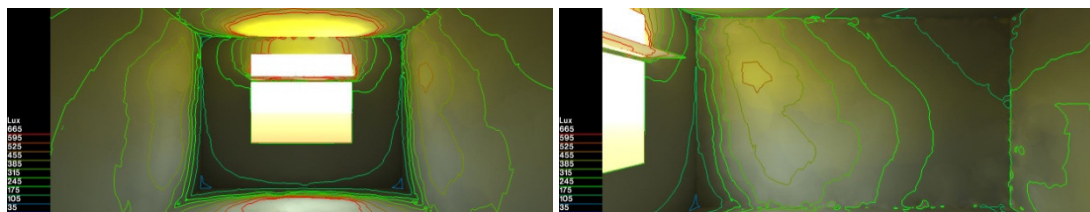


Figura 122 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 12:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

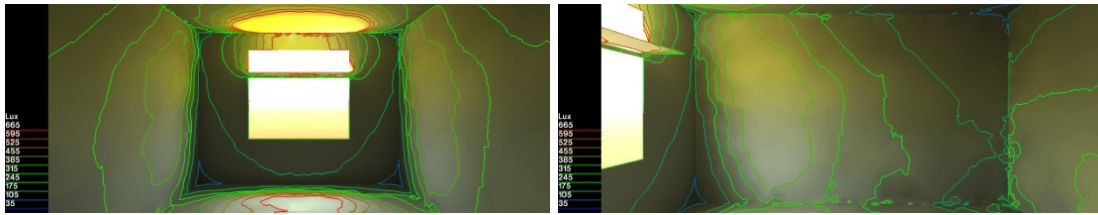


Figura 123 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 15:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Dicembre**

- Ore 10:00

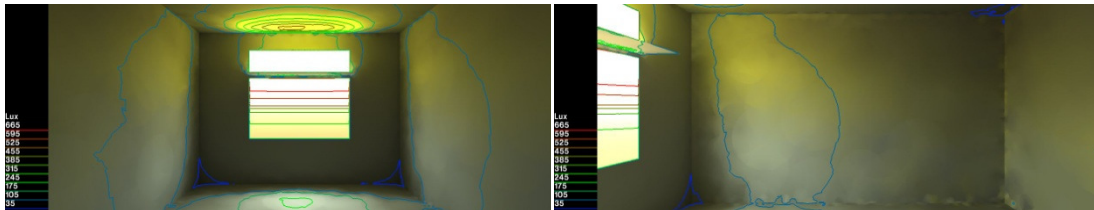


Figura 124 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

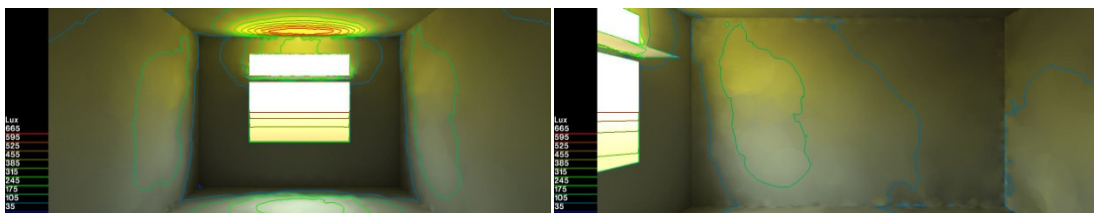


Figura 125 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

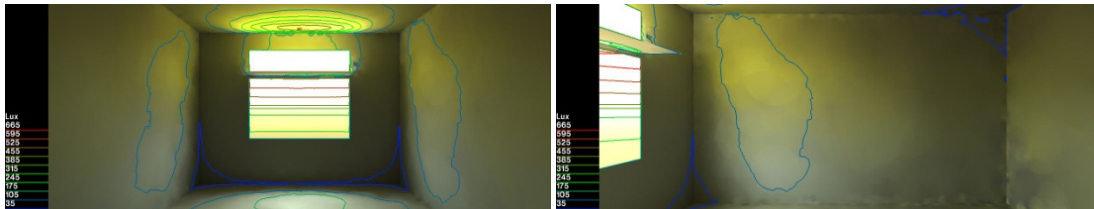


Figura 126 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

12.4.3 – Calcolo dell’illuminamento in condizioni di cielo sereno

MODELLO SENZA LIGHTSHELF

- **Data Simulazione: 21 Marzo**

- Ore 10:00

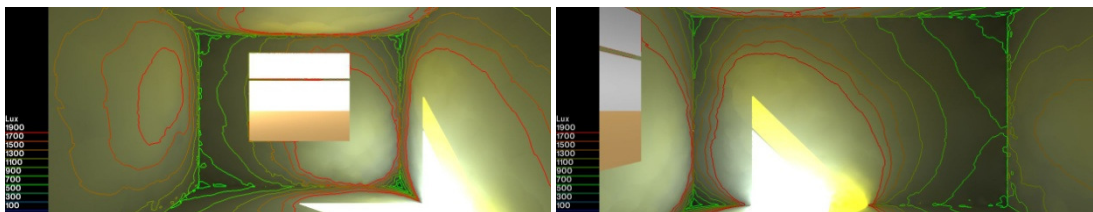


Figura 127 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 10:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

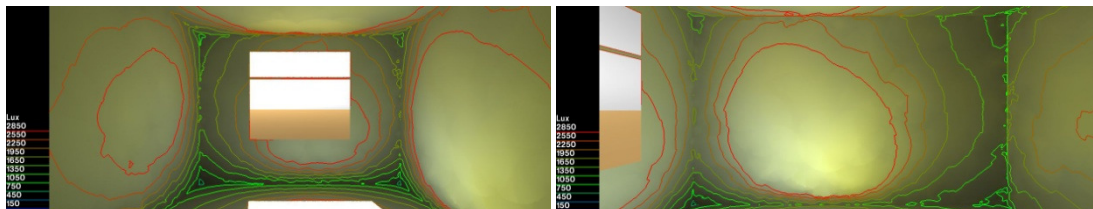


Figura 128 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 12:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

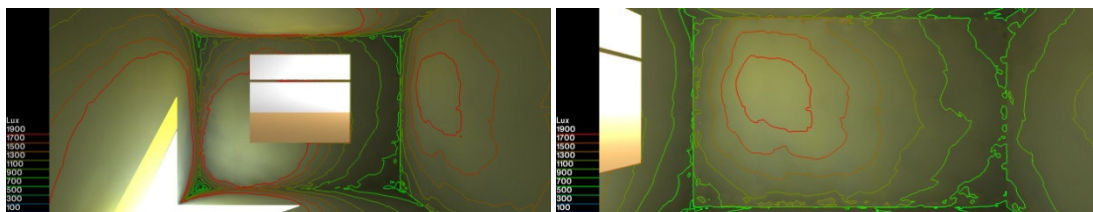


Figura 129 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 15:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Giugno**

- Ore 10:00

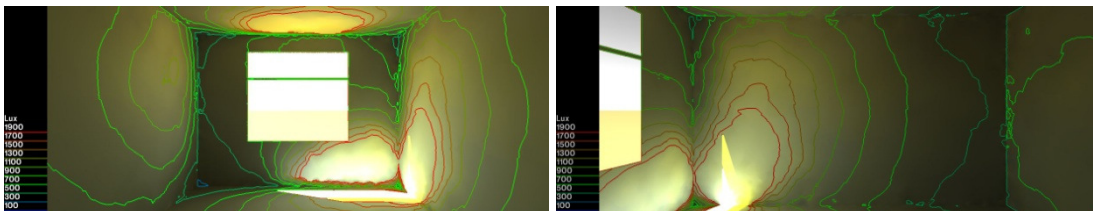


Figura 130 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 10:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

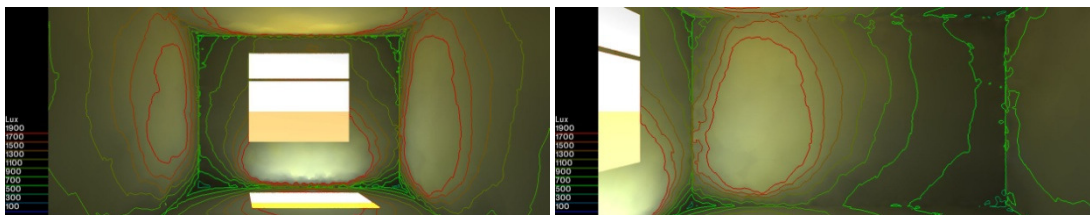


Figura 131 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 12:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

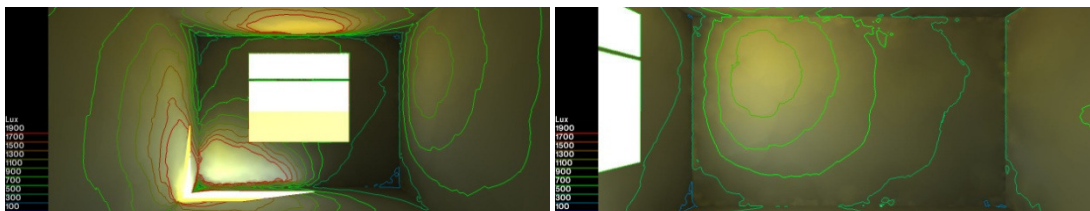


Figura 132 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 15:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Dicembre**

- Ore 10:00

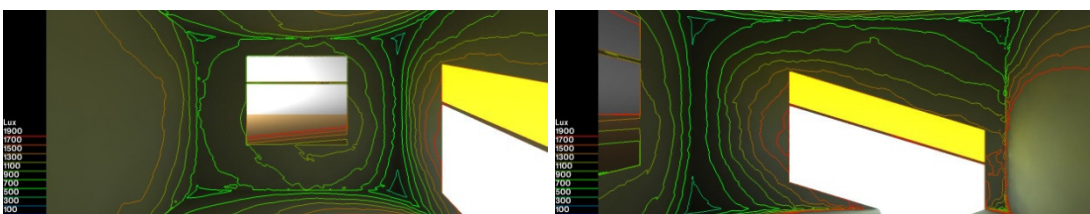


Figura 133 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

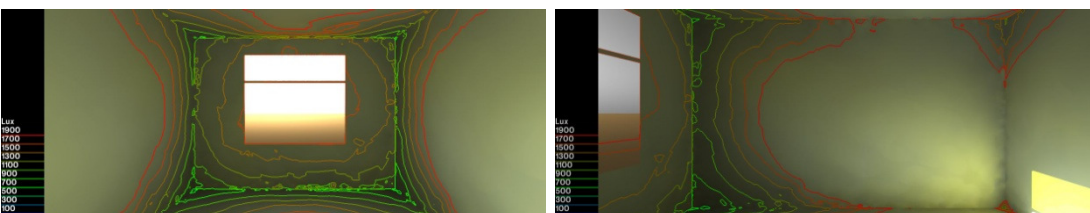


Figura 134 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

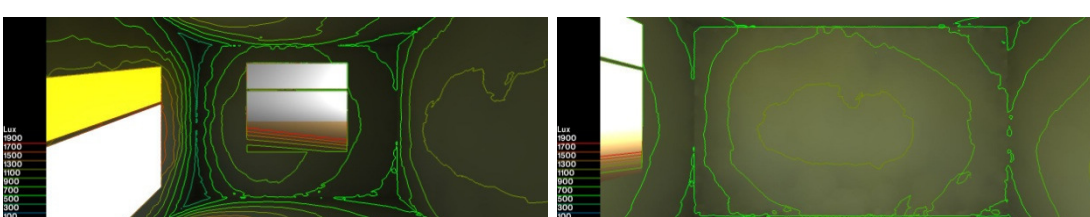


Figura 135 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

MODELLO CON LIGHTSHELF

- **Data simulazione: 21 Marzo**

- Ore 10:00

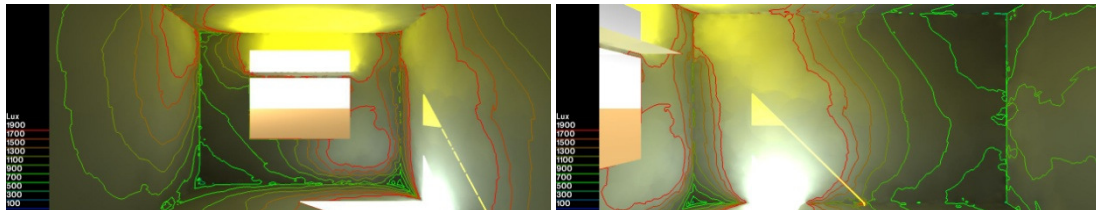


Figura 136 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 10:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

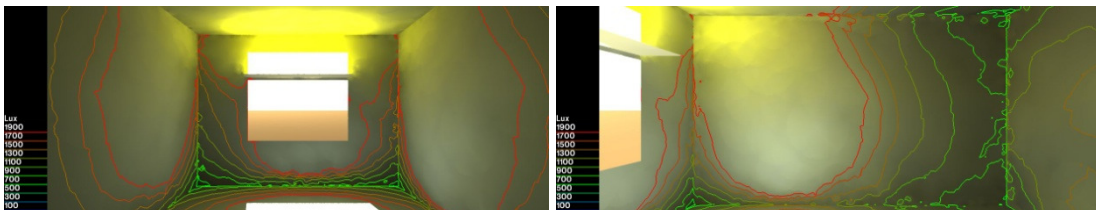


Figura 137 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 12:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

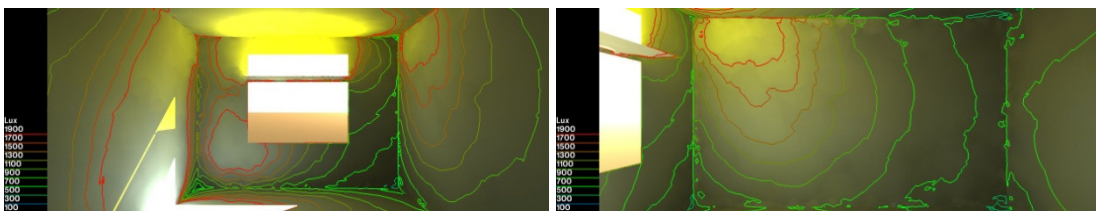


Figura 138 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 15:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Giugno**

- Ora 10:00

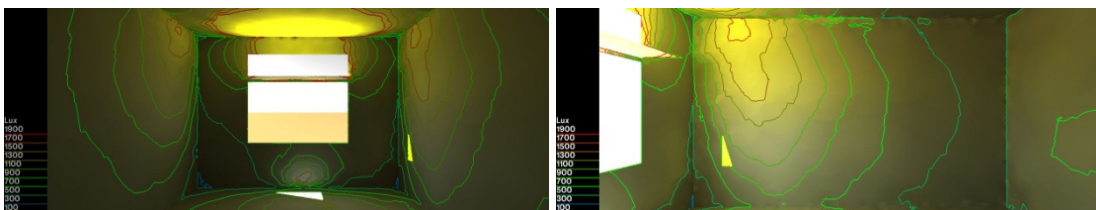


Figura 139 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 10:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

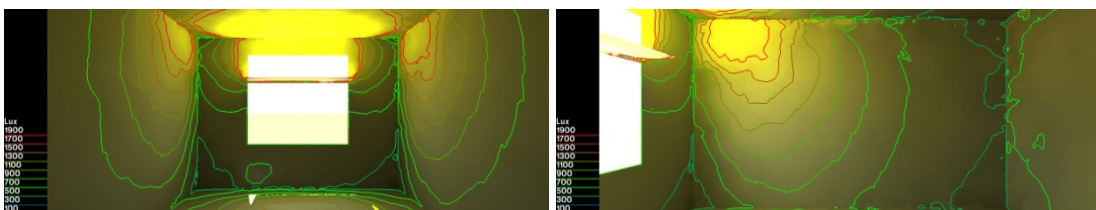


Figura 140 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 12:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

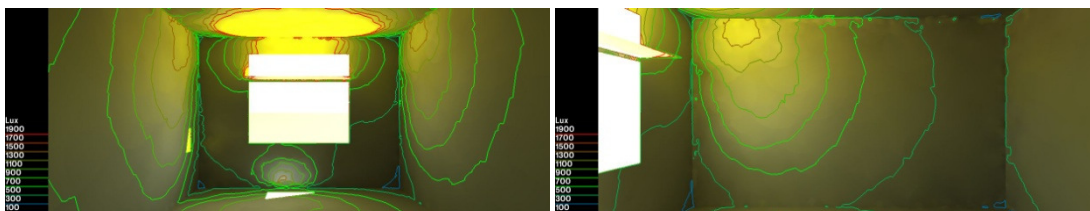


Figura 141 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 15:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale

- **Data simulazione: 21 Dicembre**

- Ore 10:00

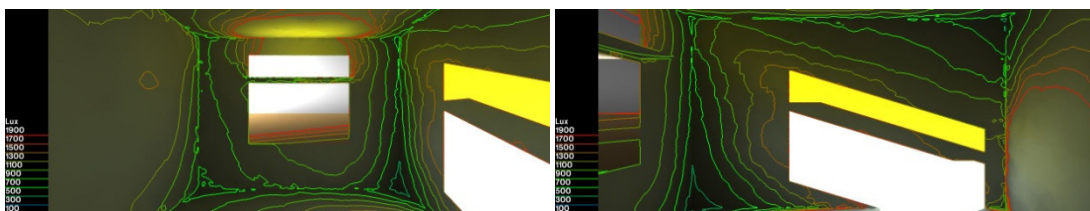


Figura 142 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

- Ore 12:00

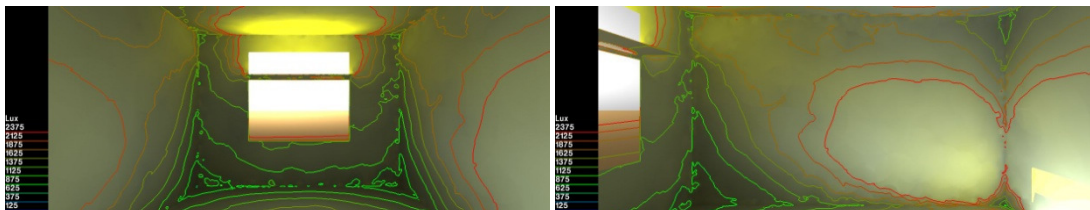


Figura 143 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

- Ore 15:00

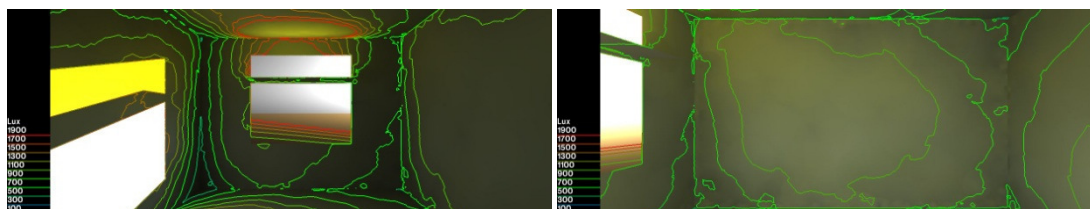


Figura 144 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale

12.4.4 - Considerazioni

- **Il Daylight Factor**

Dalle simulazioni effettuate si può notare come il sistema di schermatura lightshelf incida sulla penetrazione della luce. Nei giorni del 21 Marzo e il 21 Giugno, nelle configurazione senza lightshelf, i valori in prossimità della finestra sulle superfici laterali, e sul soffitto, raggiungano percentuali che si aggirano nell'intervallo 9,5% - 7,5%. Per quanto riguarda il la superficie di calpestio, i valori superano il valore minimo del 2% da rispettare arrivando ad un valore distribuito uniformemente del 9,5% . Differentemente, nelle simulazione del 21 Dicembre, i valori sulle superfici laterali e sul soffitto, alle ore 10:00 e 15:00, si aggirano nell'intervallo dal 3,5% al 4,5% e dal 4,5% al 7,5% alle ore 12:00. I valori della superficie orizzontale di calpestio, si aggirano nell'intervallo compreso tra il 6,5% e il 9,5% in una superficie localizzata di fronte alla finestra.

Nelle simulazioni effettuate con il lightshelf, i valori sulle pareti laterali si abbassano notevolmente passando dall'intervallo del 7,5%-9,5% a valori che variano dal 3,5% al 5,5% tranne nelle simulazioni effettuate alle ore 12:00 del 21 Marzo e del 21 Giugno dove troviamo un'area che va dal 9,5% al 7,5%. Sulla superficie di calpestio, si nota una distribuzioni delle percentuali DF in un'area in prossimità della finestra, con valori compresi tra il 7,5% al 9,5% durante i giorni del 21 Marzo e del 21 Giugno, mentre il 21 Dicembre, l'intervallo scende dal 2,5% al 4,5%.

In tutte queste simulazioni, si nota come il lightshelf schermi la luce che penetra dalla finestra e rifletta quella del sopraluce proiettando sul soffitto, da cui è diffusa, una macchia gialla con valori DF del 9,5% che si riducono leggermente nella giornata del 21 Dicembre. I valori DF, in entrambe le configurazioni di facciata, non scendono mai sotto il livello minimo del 2% garantendo livelli di illuminazione adeguati.

- **Illuminamento**

o **Cielo coperto**

Nella configurazione di facciata senza lightshelf si misurano, per le simulazioni del 21 Marzo e del 21 Giugno, i valori più alti di illuminamento sul pavimento in prossimità della finestra con valori che variano dai 700 ai 500 lux a differenza del 21 Dicembre dove i valori rimangono bassi intorno ai 250 300 lux. Per quanto riguarda le pareti, troviamo valori costanti di circa 350 lux tranne per il mese di giugno dove arrivano a 700 lux raggiungendo il massimo nella simulazione delle ore 12:00.

Introducendo il lightshelf tutti i valori si abbassano raggiungendo circa i 500 lux sul pavimento e 250 lux sulle pareti. Come si può notare, la radiazione solare viene riflessa, in tutte le simulazioni, dal lightshelf sul soffitto creando aree di circa 700 lux nei mesi di Marzo e Giugno raggiungendo valori minori, circa 600 lux, nel mese di Dicembre.

○ **Cielo sereno**

Molto diverse appaiono le simulazioni effettuate con cielo sereno poiché, a causa della luce diretta e quindi di una penetrazione maggiore della luce all'interno dell'ambiente, si vengono a creare delle macchie di luce in entrambe le configurazioni di facciata.

Nella configurazione di facciata senza lightshelf, i valori più alti di illuminamento (da 1700 lux a 1900 lux) si registrano in corrispondenza di queste macchie di luce e nelle rispettive proiezioni, dovute alla riflessione della luce, sui muri e sul soffitto mantenendo, al centro della stanza, sempre valori superiori ai 500 lux.

Introducendo il lightshelf, si riduce l'area delle macchie di luce e scompare la macchia gialla, provocata dal componente LSC, sul pavimento. I valori maggiori di illuminamento, oltre a corrispondere alle macchie di luce e alle loro proiezioni, si registrano in prossimità del lightshelf rispettivamente sul soffitto e sul lightshelf stesso con valori che variano dai 1700 lux ai 1900 lux. Anche in questo caso, in tutte le simulazioni, i valori di illuminamento al centro della stanza superano i 500 lux.

- **Considerazioni finali**

Dalle simulazioni effettuate si nota come l'introduzione del componente schermante lightshelf riesce a modificare la penetrazione della luce portando dei miglioramenti all'ambiente interno. In condizioni di cielo nuvoloso e quindi con luce diffusa, il lightshelf riesce a schermare la luce in esubero che penetra dalla finestra. I livelli di illuminamento sono accettabili per l'occhio umano e per il corretto svolgimento delle attività. Il lightshelf ridireziona, nella parte superiore dell'ambiente confinato la luce che penetra dal componente LSC mischiando la componente gialla alla componente bianca della luce.

Raggiunge, però, la massima prestazione in condizioni di cielo sereno, con luce diretta, riuscendo a schermare la macchia di colore giallo proveniente dal componente LSC e riducendo la macchia di colore bianco che proviene dalla finestra. Inoltre, riduce le aree dove sono presenti i valori massimi di lux che comportano disturbo all'occhio umano (circa 1900 lux) concentrando le aree di illuminamento massimo sul soffitto.

12.4 – Valutazione degli indice di abbagliamento con il software Evalglare

Con l'utilizzo di questo software si è cercato di capire se il sistema schermante lightshelf riesca, durante le ore lavorative, a schermare sufficientemente la radiazione solare e contenere gli indici di abbagliamento a livelli accettabili per l'attività svolta.

Per utilizzare questo programma, è necessario impostare nel software Ecotect le telecamere ad "fisheye" (180°), importare il file in Radiance e salvare le viste in formato .hdi (oppure

.pic). Una volta effettuata questa procedura, tramite il sistema DOS del computer, si effettua la simulazione. A differenza di Radiance, il quale non riesce ad estrarre dati ma solamente immagini, da questo software si possono ricavare solamente i dati numerici degli indici di abbagliamento. È da specificare che il programma posiziona il sensore in direzione frontale alla finestra.

L'analisi oraria svolta, nelle due diverse configurazioni di facciata, per i giorni 21 Marzo, 21 Giugno e 21 Dicembre in un intervallo che va dalle 8:00 alle 20:00, si concentra sugli indici di abbagliamento quali:

- Probabilità di abbagliamento da luce diurna (DGP);
- Indice di abbagliamento da luce diurna (DGI).

- **Probabilità di abbagliamento da luce diurna / Daylight Glare Probability (DGP)**

La probabilità di abbagliamento da luce diurna è un indicatore che è basato sulla probabilità che il soggetto provi la sensazione di fastidio da abbagliamento. Questa probabilità è strettamente legata all'illuminamento verticale in corrispondenza dell'occhio dell'osservatore.

Il calcolo di questo parametro è espresso dalle seguente formula:

$$DGP = 5,87 \cdot 10^{-5} E_v + 9,18 \cdot 10^{-5} \cdot \log_{10} \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{L_{si}^2 \omega_{si}}{E_v^{1,87} P_i^2} \right)$$

Dove:

n è il numero di finestre;

E_v è l'illuminamento sulla verticale;

L_{si} è la luminanza della sorgente abbagliante (cd/m^2);

ω_{si} è l'angolo solido rispetto l'occhio dell'osservatore;

P_i è l'indice di posizione dell' i -esima parte della fonte di abbagliamento.

- **Indice di abbagliamento da luce diurna / Daylight Glare Index (DGI)**

L'indice di abbagliamento da luce diurna è il primo indice che considera fonti di abbagliamento ampie come, ad esempio, il cielo visto attraverso la finestra. Questo indice non è facile da calcolare a causa dei parametri che prende in considerazione come l'angolo solido, l'indice di posizione e i valori di luminanza percepiti dall'osservatore.

Il calcolo di questo indice è espresso dalla seguente formula:

$$DGI = 10 \cdot \log_{10} 0,48 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_{si}^{1,6} \Omega_{pos.si}^{0,8}}{L_b + (0,07 \omega_{si}^{0,5} L_w)}$$

Dove:

n è il numero di finestre;

L_{si} è la luminanza della sorgente abbagliante (cd/m^2);

L_b è la luminanza media delle superfici interne dell'ambiente che rientrano nel campo di vista dell'osservatore (cd/m^2);

L_w è la luminanza media dell'intera finestra, ponderata rispetto alla aree relative di cielo, ostruzione e terreno (cd/m^2);

ω_{si} è l'angolo solido rispetto l'occhio dell'osservatore;

$\Omega_{pos.si}$ è l'angolo solido modificato in funzione dell'asse di vista dell'osservatore, al varire dell'Indice di Posizione "P":

$$\Omega = \int \frac{d\omega_{si}}{P^2}$$

Di seguito sono riportati nella tabella gli effetti e i valori degli indici di abbagliamento dei parametri sopraelencati.

Parametri	Abbagliamento impercettibile	Abbagliamento percettibile	Abbagliamento disturbante	Abbagliamento intollerabile
DGP	< 0.35	0.35 – 0.40	0.4 – 0.45	> 0.45
DGI	< 18	18 – 24	24 – 31	> 31

Tabella 59 - Intervalli di tolleranza degli indici di abbagliamento

Le analisi sono state svolte ora per ora e sono riportate in appendice. Qui vengono riportate, a livello esplicativo, delle immagini a "fisheye" utilizzate per il calcolo degli indici di abbagliamento.

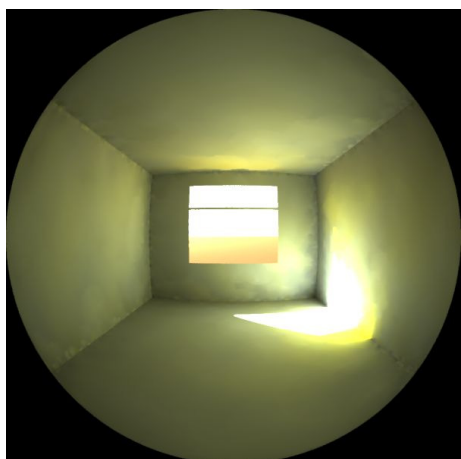


Figura 146 – Immagine ad fisheye modello senza lightshelf 21 Marzo ore 10:00

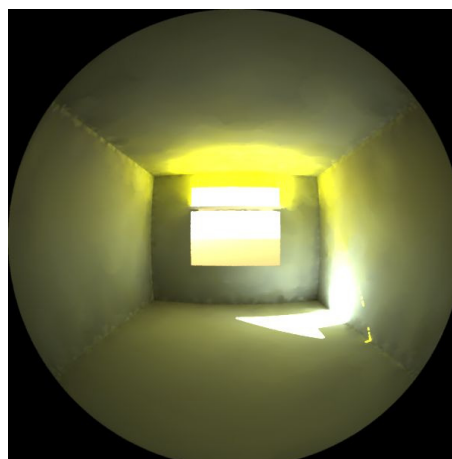


Figura 145 - Immagine ad occhio di pesce modello con lightshelf 21 Marzo ore 10:00

I risultati estratti dalle simulazioni sono riportati nelle seguenti tabelle:

Modello senza lightshelf

21 MARZO		
	DGP	DGI
08:00	0.303109	20.797684
09:00	0.401306	21.717506
10:00	0.49146	21.870422
11:00	0.564091	22.440279
12:00	0.596482	22.76255
13:00	0.599165	22.58136
14:00	0.563944	22.395216
15:00	0.490437	21.793621
16:00	0.400494	21.723665
17:00	0.300709	20.789938
18:00	0.219832	16.589006
19:00	0.069041	13.61901
20:00	0.002953	/

Tabella 60 – Valori orari d’abbigliamento modello senza lightshelf-21 Marzo

21 GIUGNO		
	DGP	DGI
08:00	0.27944	17.801302
09:00	0.309532	18.592825
10:00	0.34485	19.744429
11:00	0.366732	19.892467
12:00	0.373078	19.390757
13:00	0.373022	19.445866
14:00	0.361779	20.07266
15:00	0.33711	19.605333
16:00	0.301547	18.351837
17:00	0.272502	17.803411
18:00	0.248628	18.104053
19:00	0.229138	17.388832
20:00	0.208883	16.364389

Tabella 63 – Valori orari d’abbigliamento modello senza lightshelf-21 Giugno

Modello con lightshelf

21 MARZO		
	DGP	DGI
08:00	0.32128	21.63496
09:00	0.46369	23.094702
10:00	0.612624	24.034641
11:00	0.75934	24.420198
12:00	0.861465	24.999781
13:00	0.860719	24.989998
14:00	0.75645	24.391815
15:00	0.6099004	24.012493
16:00	0.462405	23.01236
17:00	0.319306	21.550776
18:00	0.220135	16.387033
19:00	0.089507	13.195619
20:00	0.002949	/

Tabella 61 – Valori orari d’abbigliamento modello con lightshelf-21 Marzo

21 GIUGNO		
	DGP	DGI
08:00	0.276475	18.121141
09:00	0.313197	19.803778
10:00	0.381372	20.998783
11:00	0.447173	21.598557
12:00	0.490854	22.453899
13:00	0.484528	22.383266
14:00	0.435705	21.232067
15:00	0.364794	20.663242
16:00	0.301028	19.138203
17:00	0.272418	18.011897
18:00	0.251217	17.753942
19:00	0.228374	16.866781
20:00	0.211379	15.994012

Tabella 62 – Valori orari d’abbigliamento modello con lightshelf-21 Giugno

21 DICEMBRE		
	DGP	DGI
08:00	0.219112	16.409531
09:00	0.360009	20.335936
10:00	0.64339	21.322586
11:00	0.752525	22.413114
12:00	0.915139	22.9834
13:00	0.85469	21.4385
14:00	0.71396	21.365274
15:00	0.550204	21.260838
16:00	0.335859	20.17621
17:00	0.198646	15.197034
18:00	0.002953	/
19:00	/	/
20:00	/	/

Tabella 65 – Valori orari d’abbagliamento modello senza lightshelf-21 Dicembre

21 DICEMBRE		
	DGP	DGI
08:00	0.218699	16.031719
09:00	0.371794	20.314396
10:00	0.707064	21.66963
11:00	0.818844	21.9538
12:00	0.976191	22.6685
13:00	0.909799	22.3485
14:00	0.779167	21.9834
15:00	0.591166	21.575438
16:00	0.349006	20.995247
17:00	0.202902	14.952929
18:00	0.002949	/
19:00	/	/
20:00	/	/

Tabella 64 – Valori orari d’abbagliamento modello con lightshelf-21 Dicembre

- Grafici indice DGP

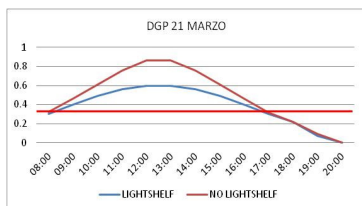


Grafico 21 –Valori orari DGP 21 Marzo

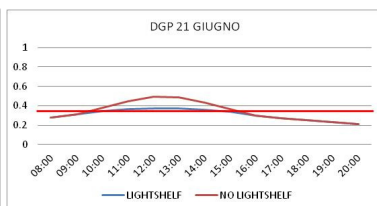


Grafico 20 – Valori orari DGP 21 Giugno

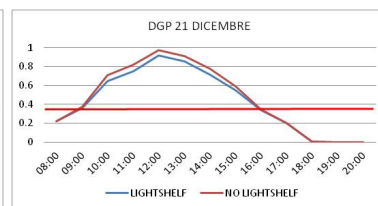


Grafico 19 – Valori orari DGP 21 Dicembre

- Grafici indice DGI

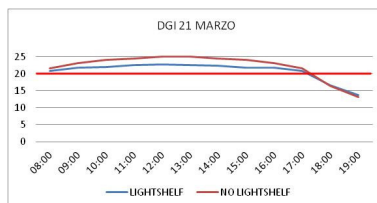


Grafico 24 – Valori orari DGI 21 Marzo

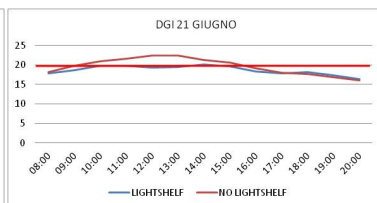


Grafico 23 – Valori orari DGI 21 Giugno

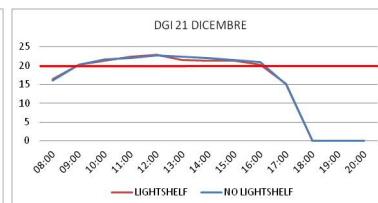


Grafico 22 – Valori orari DGI 21 Dicembre

Come si può osservare dai grafici ricavati dai dati estratti dal software Evalglare, con l'introduzione del sistema schermante lightshelf si riescono ad abbassare, nelle ore con maggior radiazione solare (10:00 – 16:00), gli indici di abbagliamento nei giorni 21 Marzo e 21 Giugno, al contrario, il 21 Dicembre i valori sono pressoché uguali in entrambe le

configurazioni di facciata a causa del ridotto angolo di altezza solare. Nonostante la riduzione delle curve di abbagliamento, non è possibile rientrare nei valori indicati da normativa²² per non creare disturbi visivi agli occupanti, questo accade poiché il lightshelf riesce a schermare la luce che penetra dal sopra-ruce, ma solo parzialmente quelle che penetra dalla finestra nelle varie ore della giornata essendo dimensionato per schermare completamente la finestra sottostante in corrispondenza della massima altezza solare.

12.5 – Considerazioni dei risultati ottenuti dalle simulazioni

Dalle simulazioni effettuate è emerso che con l'introduzione del sistema schermante lightshelf, le condizioni interne all'ambiente cambiano portando l'aumento o la diminuzione di alcuni valori.

Le analisi per stimare l'energia necessaria per ottenere il giusto livello di illuminamento sul piano di lavoro durante le ore lavorative e quella necessaria per riscaldare e raffrescare l'ambiente, hanno fatto emergere che, con l'introduzione del lightshelf, i livelli di illuminazione e raffrescamento aumentano rispettivamente dell'11% e del 7% mentre quelli di riscaldamento scendono del 39%. Questo accade poiché il lightshelf scherma una maggior quantità di radiazione solare portando ad un aumento dei tempi di accensione dell'impianto di illuminazione e, quindi, ad una maggior quantità di calore dissipata dall'impianto. A causa di questo aumento e della maggior incidenza dei raggi solari sulla facciata nei mesi invernali, si verifica l'aumento di energia necessaria per raffrescare l'ambiente e diminuisce quella per il riscaldamento.

Analizzando i valori e le immagini ricavate dalle simulazioni illuminotecniche, emerge che l'introduzione del lightshelf riesce a schermare parzialmente la luce che penetra dalla finestra principale e totalmente quella proveniente dal sopra-ruce. In questo modo si riesce ad eliminare il problema della macchia di colore giallo, causata dalla radiazione solare che attraversa il componente LSC, che riduceva il benessere visivo all'interno dell'ambiente. Oltre a ridurre la penetrazione della luce, il lightshelf riduce i livelli di illuminamento e di abbagliamento. Differentemente dai valori di illuminamento che, pur abbassandosi mantengono livelli idonei per il giusto svolgimento delle funzioni, i valori di abbagliamento superano sempre la soglia massima.

L'introduzione del lightshelf si traduce con vantaggi e svantaggi ma risulta un elemento necessario al fine di ridurre i livelli di luminosità, abbagliamento e soprattutto eliminare totalmente la macchia gialla che si viene a creare con la penetrazione della luce del componente LSC. Inoltre il lightshelf, riflette la luce gialla sul soffitto mischiandola alla

²² UNI-EN 12464-1 - "Illuminazione nei Luoghi di Lavoro"

componente bianca della luce proveniente dalla finestra principale riuscendo ad ottenere livelli idonei di luminosità e temperatura di colore.

12.5.1 – Introduzione di una schermatura solare mobile

Dalle analisi svolte e dai dati analizzati, soprattutto per quanto riguarda i valori di abbagliamento, è risultato evidente la necessità di introdurre un ulteriore sistema di schermatura mobile per la finestra principale in modo da regolare automaticamente, tramite un sensore di luce posto all'interno dell'ambiente, i livelli di illuminazione e abbagliamento per il benessere visivo e il corretto svolgimento delle funzioni delle utenze.

La schermatura che verrà utilizzata è un sistema frangisole a lamelle orizzontali impacchettabili in alluminio poste all'esterno della finestra con sistema di scorrimento su due guide laterali.



Figura 147 – Esempio di frangisole orientabile da utilizzare

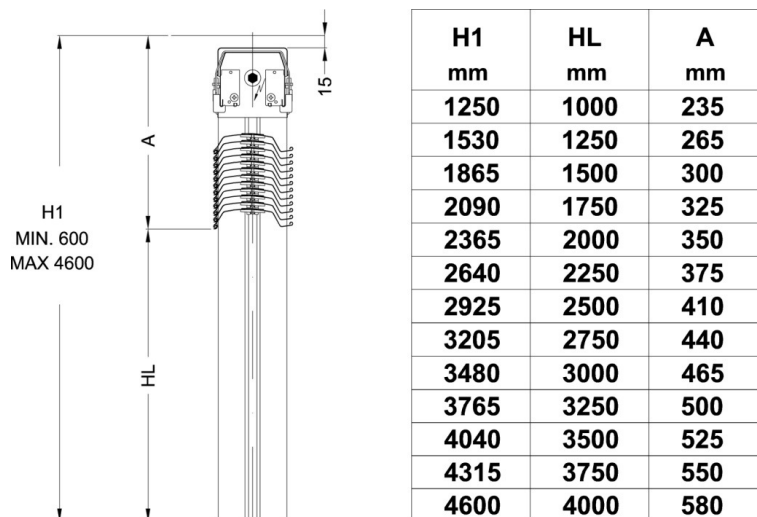


Figura 148 - Dati tecnici frangisole a lamelle orizzontali mobili

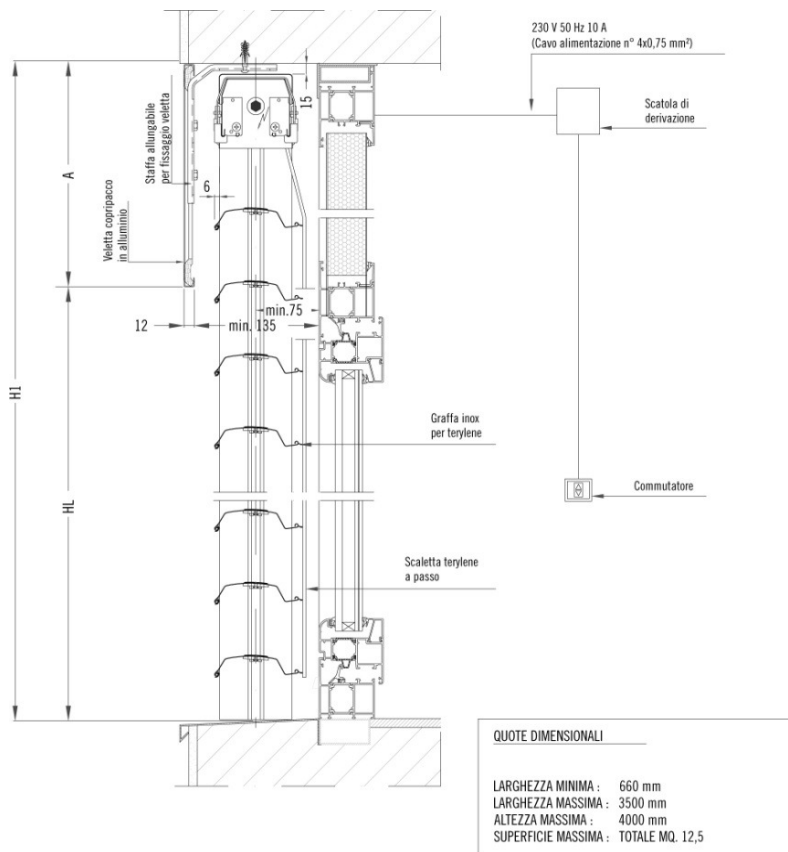


Figura 149 – Disegno tecnico posizione frangisole a lamelle orizzontali a motore

CAPITOLO 13 – IL PROGETTO DELLA FINESTRA INTELLIGENTE, LA SMART WINDOW

Al fine di creare un componente trasparente in grado di adattarsi alle condizioni atmosferiche esterne e modificare le condizioni di illuminamento interne, è stato deciso di introdurre un secondo elemento schermante a lamelle mobili come descritto precedentemente.

Introducendo questo sistema si potrà ottenere un completo controllo della penetrazione della radiazione solare, tuttavia, porterà un aumento dei consumi elettrici in quanto verrà ridotta la quantità di luce entrante e, di conseguenza, si verificheranno dei contenuti aumenti dei consumi di raffrescamento.

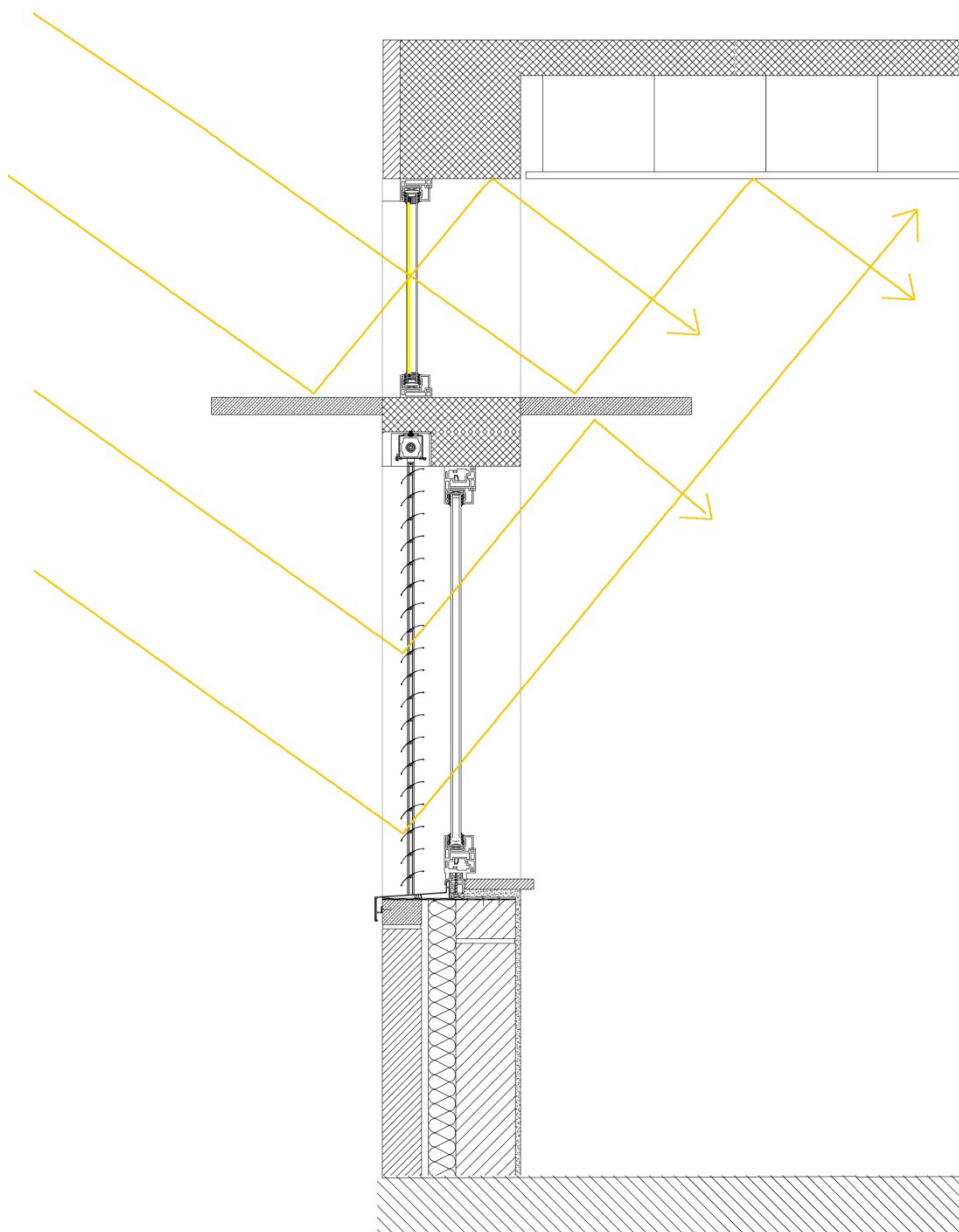


Figura 150 – riflessione della radiazione solare sugli elementi schermanti

La “Smart Window” è composta da diversi elementi pensati in modo da ottenere la massima efficienza energetica ed un totale controllo della radiazione solare. Gli elementi che la compongono sono:

- 1) Componente LSC;
- 2) Schermatura fissa interna/esterna lightshelf;
- 3) Finestra;
- 4) Schermatura mobile a lamelle orizzontali orientabili;
- 5) Sensore di luce interno.

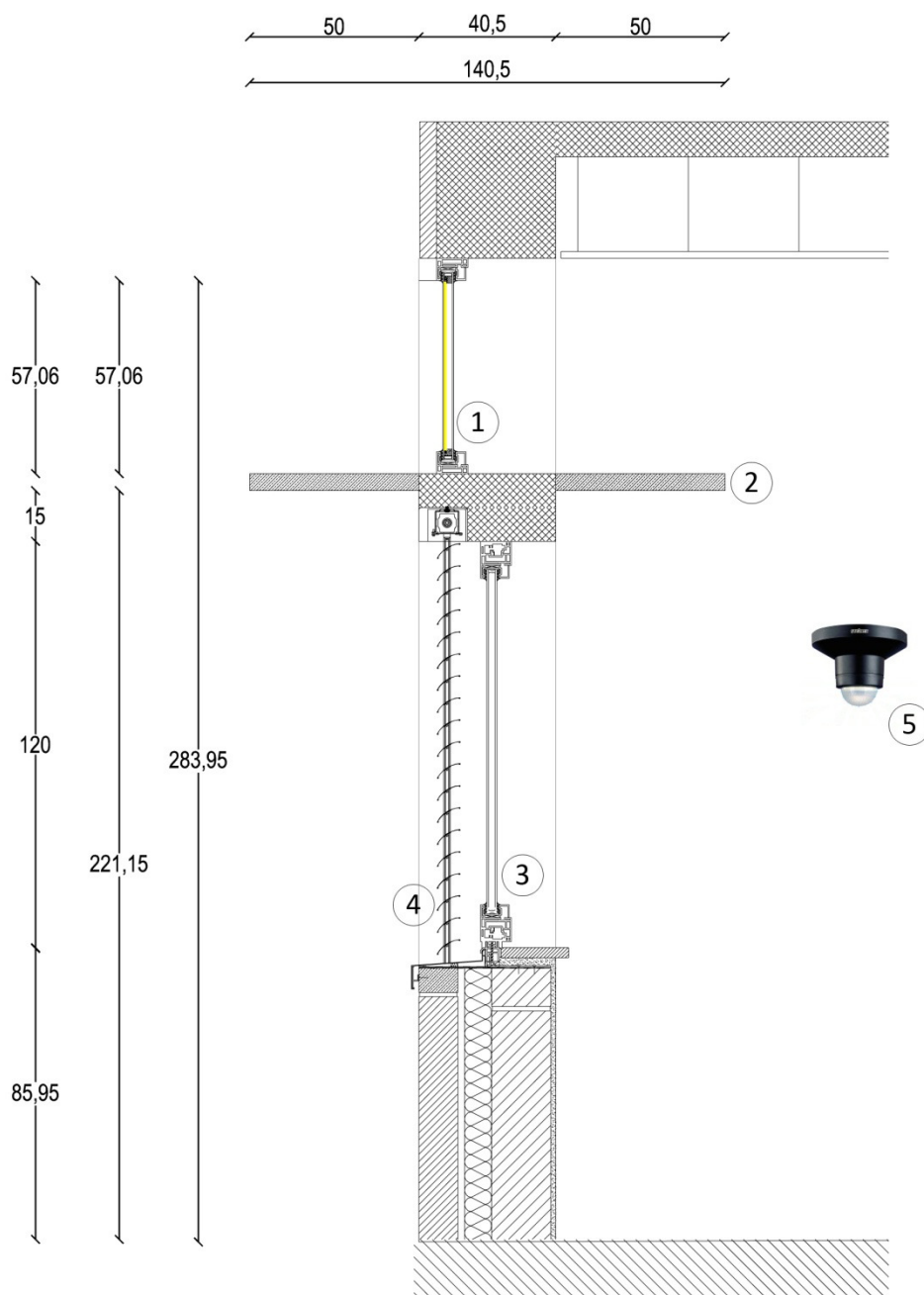


Figura 151 – Sezione verticale nuova configurazione di facciata con lightshelf e frangisole mobile

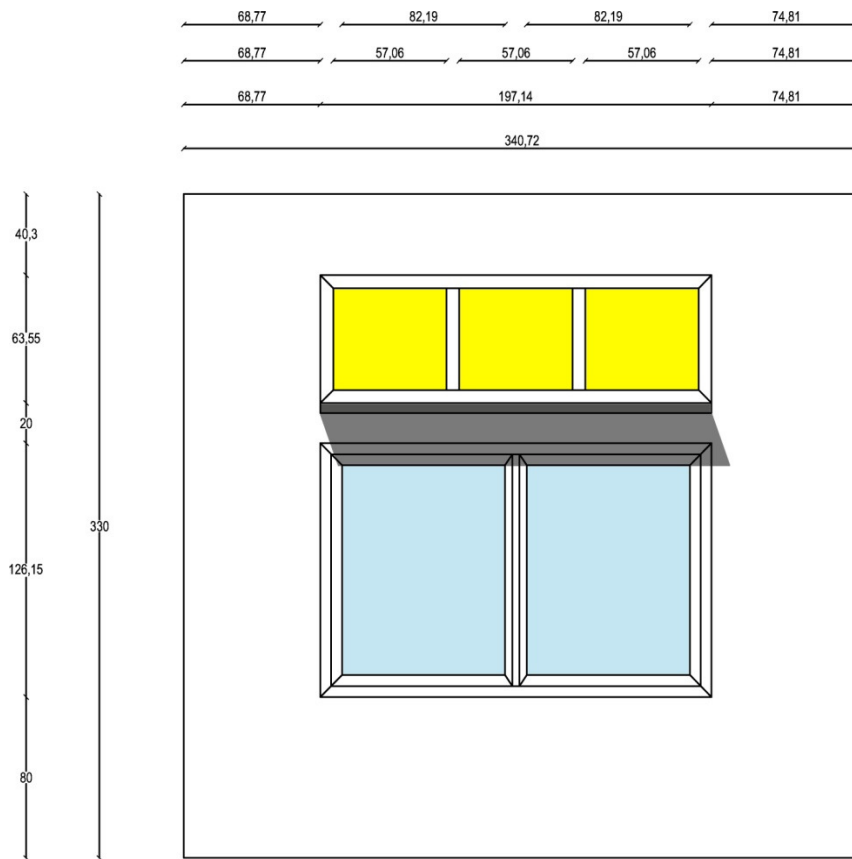


Figura 152 Prospetto frontale finestra intelligente quotata

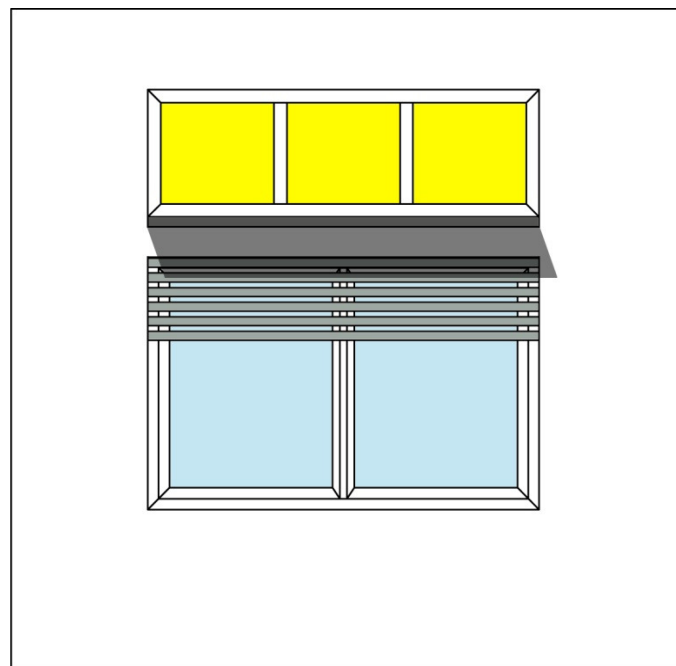


Figura 153 – Prospetto frontale finestra intelligente con schermatura mobile

Questo sistema riesce a svolgere contemporaneamente diverse funzioni al fine di garantire idonee prestazioni visive alle utenze.

Il componente LSC, oltre a produrre energia elettrica utile per soddisfare, in parte, i fabbisogni energetici dell'ambiente, modifica l'illuminamento e la temperatura di colore interni portandoli a livelli idonei per le attività lavorative svolte dalle utenze.

Il sensore di luce, inserito all'interno dell'ambiente, regola il funzionamento dell'impianto di illuminazione e la posizione dell'elemento schermante mobile in modo da garantire, in ogni momento della giornata, i giusti livelli di illuminamento e abbagliamento.

Infine troviamo il secondo sistema schermante lightshelf che, oltre a schermare parzialmente la radiazione solare che penetra attraverso la finestra e totalmente quelle del sopralucente, eliminando il problema della macchia di colore giallo, svolge un altro importante ruolo: aumenta la produttività del componente LSC grazie alla riflessione esterna che ridireziona la radiazione solare verso il componente stesso.

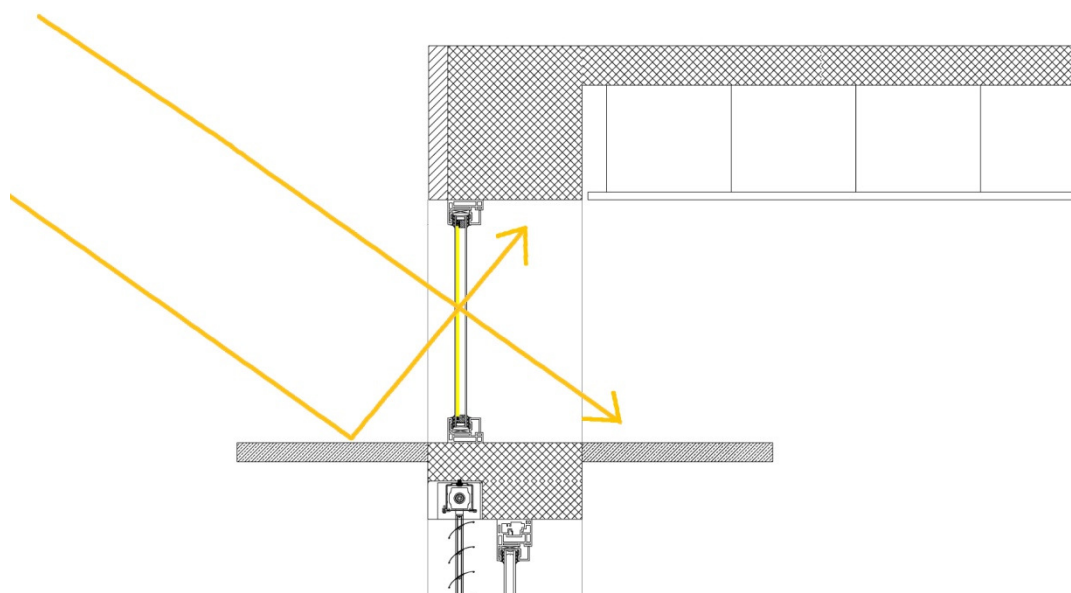


Figura 154 – Riflessione dell'elemento schermante lightshelf

I vantaggi che si possono ottenere con questo sistema sono molteplici:

- Produzione di energia elettrica;
- Risparmio energetico;
- Efficiente gestione del clima e dell'illuminazione interno che porta ad un notevole miglioramento del comfort dell'ambiente interno;
- Controllo automatico delle ottimali condizioni illuminotecniche dell'ambiente.



Figura 155 – Vista interna dei componenti del sistema verticale trasparente



Figura 156 – Vista esterna dei componenti del sistema verticale trasparente

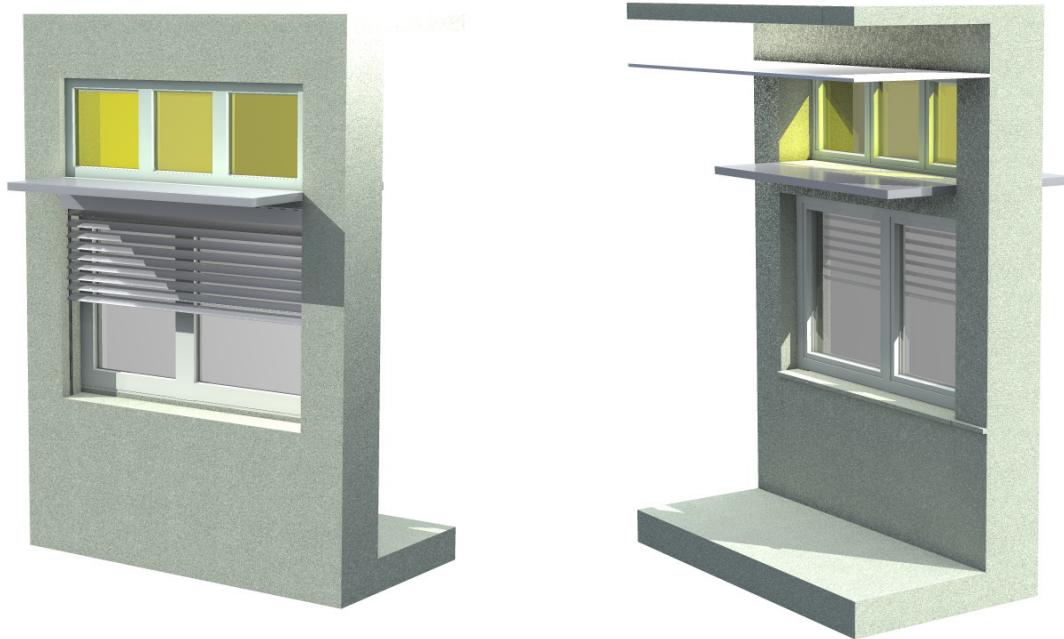


Figura 157 – Viste assometriche del nuovo componente finestra

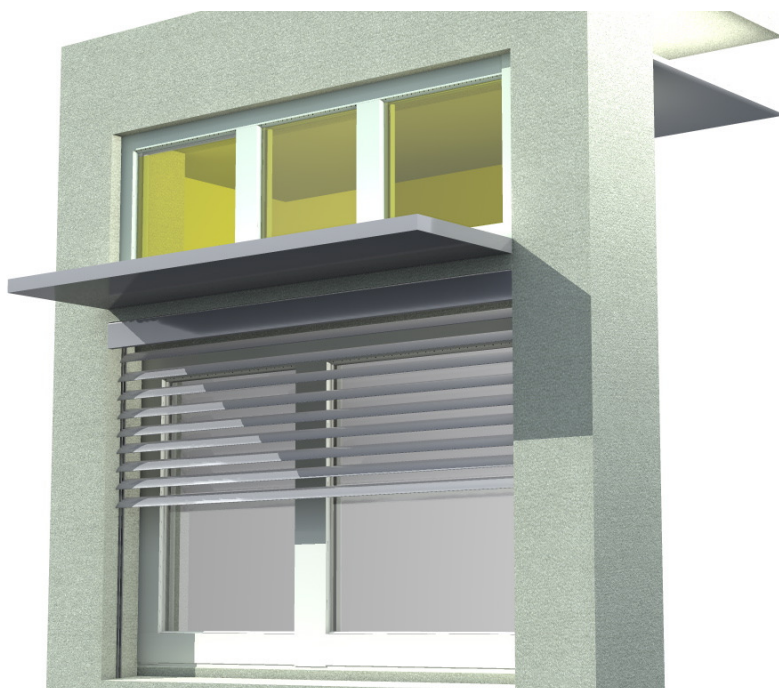


Figura 158 - Particolare del nuovo componente finestra

CONCLUSIONI

Fino ad oggi, l'unico modo per produrre energia elettrica sfruttando la radiazione solare era rappresentato dai pannelli fotovoltaici. Questa tecnologia, per raggiungere la massima efficienza, necessita di un'elevata radiazione solare diretta e un angolo di inclinazione di circa 30° (angolo che varia a seconda della posizione geografica), risultando poco efficienti con radiazione solare diffusa e in posizione verticale. Inoltre, il modulo opaco, non consente il passaggio della luce all'interno degli ambienti e quindi non può essere utilizzato per sostituire componenti vetrati.

In questo panorama si inserisce il componente LSC sviluppato dall'Istituto di Ricerca ENI Donegani che, grazie alle sue caratteristiche di trasparenza e di miglior efficienza in posizioni verticali e in condizioni di radiazione diffusa, riesce ad occupare dei campi d'applicazione fin'ora poco sfruttati dai componenti fotovoltaici tradizionali.

Il lavoro di tesi svolto si focalizza sull'ottimizzazione del componente LSC sviluppato da ENI in modo da fornire le prime indicazioni per una corretta integrazione architettonica e i primi risultati dell'interazione tra componente LSC e ambiente interno.

Il componente LSC di colore giallo che è stato analizzato, può essere ampiamente utilizzato per l'integrazione architettonica trovando il suo massimo utilizzo negli ambienti lavorativi poiché riesce ad abbassare la temperatura di colore, che si avrebbe con una normale finestra, dai circa 5300° K ai circa 3200° K spostando il colore della luce nella gamma del bianco caldo comportando un comfort visivo maggiore alle utenze. Quindi, oltre a consentire la penetrazione della luce naturale all'interno dell'involucro edilizio e riuscendo a modificare i livelli di illuminazione e temperatura di colore, fornisce un'identità cromatica agli edifici.

La progettazione per una corretta integrazione architettonica del componente LSC, deve essere pensata e analizzata con estrema cura poiché, come può portare vantaggi visivi, allo stesso tempo può creare elevati disturbi quando non vengono analizzate tutte le condizioni e i parametri d'utilizzo. Infatti, proprio per il suo carattere di trasparenza e colore, può, in presenza di radiazione diretta, proiettare macchie di colore e, se installato in luoghi dove è richiesta un'elevata permanenza, causa alle utenze sensazioni di fastidio e disturbi visivi.

Nelle analisi e simulazioni svolte in questa tesi, questi elementi sono stati analizzati ed è stato proposto un componente trasparente in grado di soddisfare tutte le esigenze individuate per le utenze.

Anche se, con l'introduzione degli elementi schermanti, si notano dei lievi aumenti per il fabbisogno di energia per il raffrescamento, per l'illuminazione artificiale e del fabbisogno di energia primaria netta, questi sistemi risultano essenziali per un corretto controllo della penetrazione della radiazione solare risolvendo i problemi di disturbo visivo e di abbagliamento altrimenti non evitabili. Inoltre, portano notevoli vantaggi quali una maggior efficienza gestionale del clima e dell'illuminazione interna, grazie al sensore di luce che

autonomamente regola l'elemento schermante a lamelle e l'intensità dell'illuminazione artificiale e, di conseguenza, comporta un maggior risparmio energetico (paragonato a casi in cui non è presente un sensore di luce e una gestione manuale dell'impianto di illuminazione e degli elementi schermanti).

La "Smart Window" è la sintesi delle analisi svolte che hanno portato alla progettazione di questo elemento che riesce a ricoprire molteplici funzioni: grazie al componente LSC si riescono a portare i valori di illuminamento e la temperatura di colore a livelli idonei per lo svolgimento delle funzioni visive e ottenere dei guadagni di produzione elettrica per soddisfare in parte i fabbisogni energetici dell'edificio. Il sistema schermante lightshelf, oltre ad aumentare la produttività del componente LSC ridirezionando parte della radiazione solare sul componente stesso grazie alla parte esterna, scherma la macchia di colore giallo risolvendo il problema dell'abbagliamento causato dal componente e, inoltre, disperde la sua componente gialla nell'ambiente grazie alla riflessione sul soffitto. In ultimo, con l'inserimento di un sensore di luce, si riesce a controllare sia la radiazione luminosa naturale che artificiale regolando autonomamente sia l'intensità dell'impianto di illuminazione artificiale sia la disposizione e l'angolazione delle lamelle del secondo sistema schermante necessario nella porzione trasparente.

Grazie a questi sistemi che integrano molteplici elementi, ci si avvicina sempre di più ad edifici che non rimangono indifferenti alle condizioni ambientali esterne ma si modificano adattandosi e assecondandole per il benessere delle utenze ottenendo al contempo un risparmio dei fabbisogni energetici verso edifici ad energia "quasi zero".

ALLEGATI

Simulazioni 21 Marzo ore 8:00 – 19:00

FACCIATA SENZA LIGHTSHELF

FACCIATA CON LIGHTSHELF



Figura 160 – Fisheye modello senza lightshelf ore 8:00 – 21 Marzo



Figura 159 – Fisheye modello con lightshelf ore 8:00 – 21 Marzo



Figura 162 – Fisheye modello senza lightshelf ore 9:00 – 21 Marzo



Figura 161 – Fisheye modello con lightshelf ore 9:00 – 21 Marzo

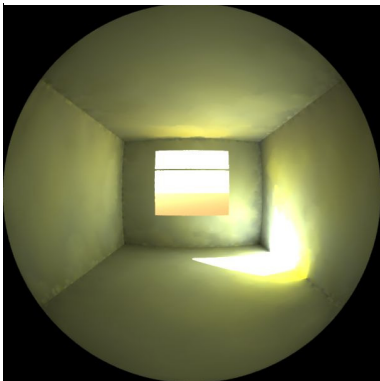


Figura 164 – Fisheye modello senza lightshelf ore 10:00 – 21 Marzo

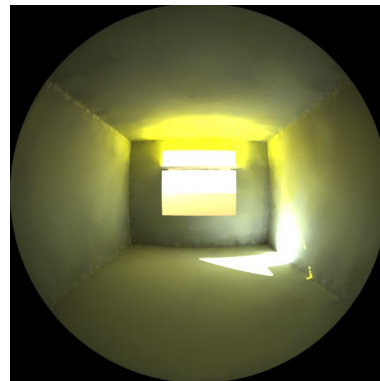


Figura 163 – Fisheye modello con lightshelf ore 10:00 – 21 Marzo



Figura 165 – Fisheye modello senza lightshelf ore 11:00

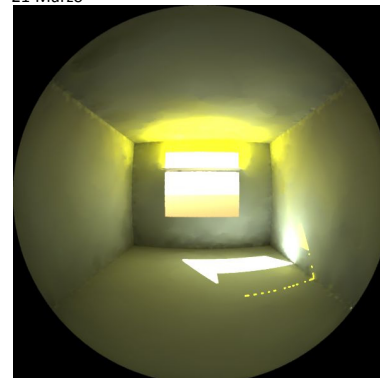


Figura 166 – Fisheye modello con lightshelf ore 11:00

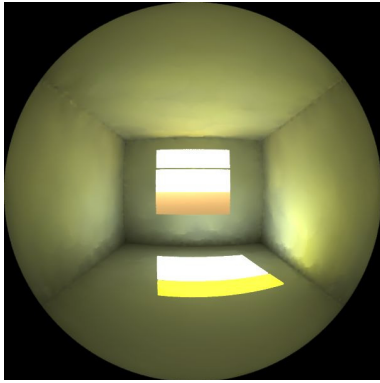


Figura 168 – Fisheye modello senza lightshelf ore 12:00 – 21 Marzo

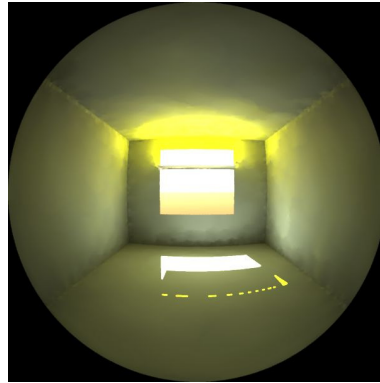


Figura 167 – Fisheye modello con lightshelf ore 12:00 – 21 Marzo

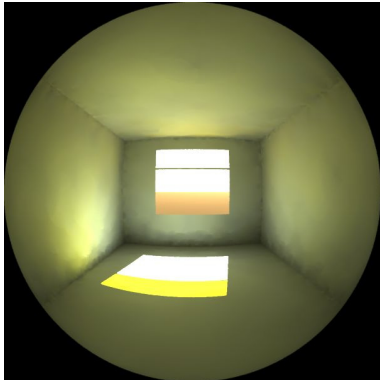


Figura 169 – Fisheye modello senza lightshelf ore 13:00 – 21 Marzo

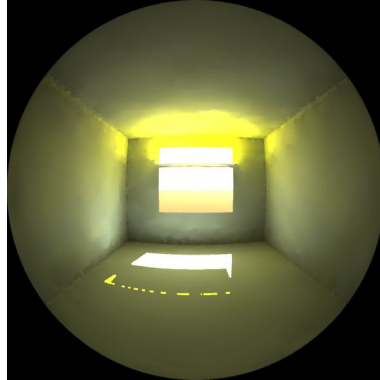


Figura 170 – Fisheye modello con lightshelf ore 13:00 – 21 Marzo

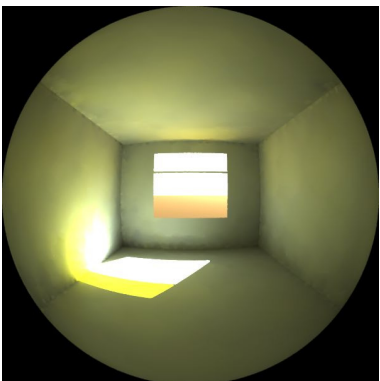


Figura 171 – Fisheye modello senza lightshelf ore 14:00 – 21 Marzo

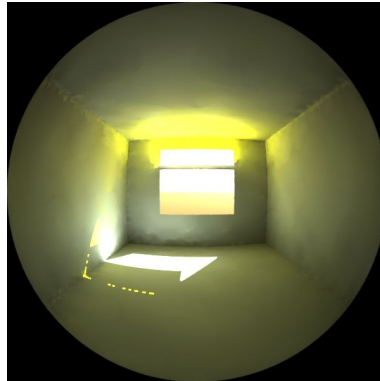


Figura 172 – Fisheye modello con lightshelf ore 14:00 – 21 Marzo

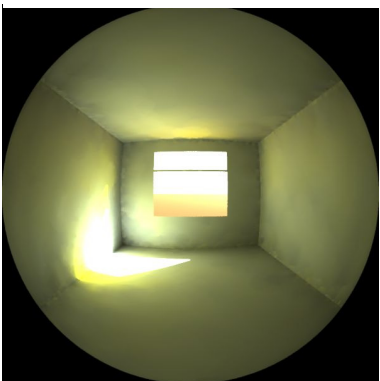


Figura 173 – Fisheye modello senza lightshelf ore 15:00 – 21 Marzo

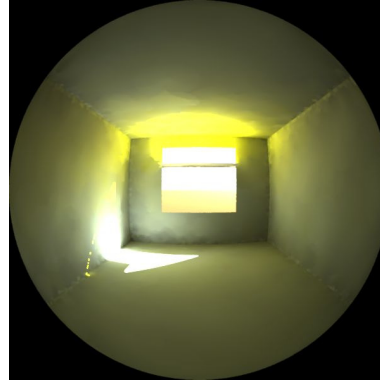


Figura 174 – Fisheye modello con lightshelf ore 15:00 – 21 Marzo



Figura 176 – Fisheye modello senza lightshelf ore 16:00 – 21 Marzo

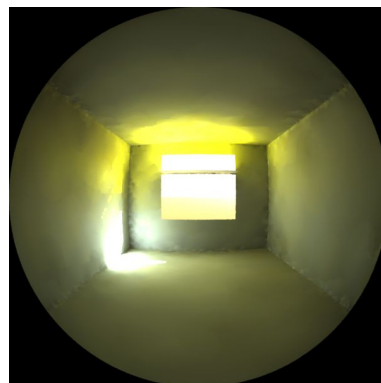


Figura 175 – Fisheye modello con lightshelf ore 16:00 – 21 Marzo



Figura 178 – Fisheye modello senza lightshelf ore 17:00 – 21 Marzo



Figura 177 – Fisheye modello con lightshelf ore 17:00 – 21 Marzo



Figura 179 – Fisheye modello senza lightshelf ore 18:00 – 21 Marzo



Figura 180 – Fisheye modello con lightshelf ore 18:00 – 21 Marzo



Figura 182 – Fisheye modello senza lightshelf ore 19:00 – 21 Marzo



Figura 181 – Fisheye modello con lightshelf ore 19:00 – 21 Marzo

Simulazioni 21 Giugno ore 8:00 – 19:00

FACCIATA SENZA LIGHTSHELF



Figura 184 – Fisheye modello senza lightshelf ore 8:00 – 21 Giugno



Figura 186 – Fisheye modello senza lightshelf ore 9:00 – 21 Giugno



Figura 188 – Fisheye modello senza lightshelf ore 10:00 – 21 Giugno



Figura 189 – Fisheye modello senza lightshelf ore 11:00

FACCIATA CON LIGHTSHELF



Figura 183 – Fisheye modello con lightshelf ore 8:00 – 21 Giugno



Figura 185 – Fisheye modello con lightshelf ore 9:00 – 21 Giugno



Figura 187 – Fisheye modello con lightshelf ore 10:00 – 21 Giugno

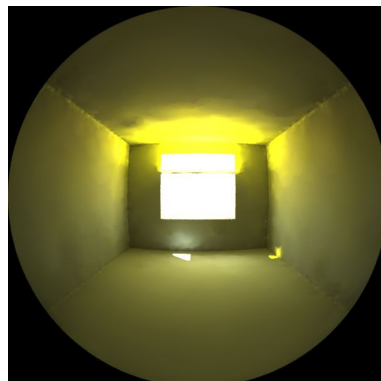


Figura 190 – Fisheye modello con lightshelf ore 11:00



Figura 192 – Fisheye modello senza lightshelf ore 12:00 – 21 Giugno



Figura 191 – Fisheye modello con lightshelf ore 12:00 – 21 Giugno



Figura 193 – Fisheye modello senza lightshelf ore 13:00 – 21 Giugno

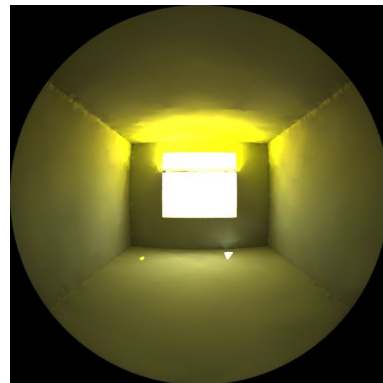


Figura 194 – Fisheye modello con lightshelf ore 13:00 – 21 Giugno



Figura 196 – Fisheye modello senza lightshelf ore 14:00 – 21 Giugno



Figura 195 – Fisheye modello con lightshelf ore 14:00 – 21 Giugno



Figura 198 – Fisheye modello senza lightshelf ore 15:00 – 21 Giugno



Figura 197 – Fisheye modello con lightshelf ore 15:00 – 21 Giugno



Figura 200 - Fisheye modello senza lightshelf ore 16:00 – 21 Giugno



Figura 199 - Fisheye modello con lightshelf ore 16:00 – 21 Giugno



Figura 202 - Fisheye modello senza lightshelf ore 17:00 – 21 Giugno



Figura 201 - Fisheye modello con lightshelf ore 17:00 – 21 Giugno



Figura 204 - Fisheye modello senza lightshelf ore 18:00 – 21 Giugno



Figura 203 - Fisheye modello con lightshelf ore 18:00 – 21 Giugno

Simulazioni 21 Dicembre ore 8:00 – 18:00

FACCIATA SENZA LIGHTSHELF

FACCIATA CON LIGHTSHELF



Figura 205 – Fisheye modello senza lightshelf ore 8:00 – 21 Dicembre



Figura 206 – Fisheye modello con lightshelf ore 8:00 – 21 Dicembre



Figura 207 – Fisheye modello senza lightshelf ore 9:00 – 21 Dicembre



Figura 208 – Fisheye modello con lightshelf ore 9:00 – 21 Dicembre

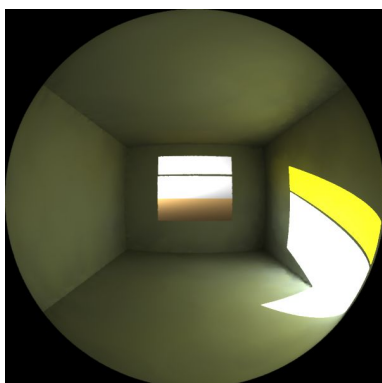


Figura 209 – Fisheye modello senza lightshelf ore 10:00 – 21 Dicembre

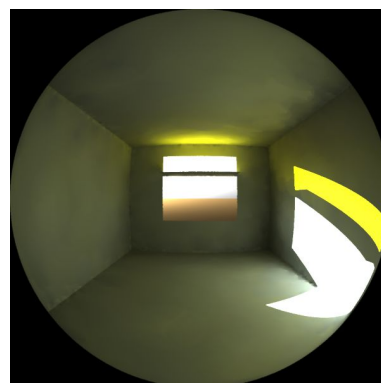


Figura 210 – Fisheye modello con lightshelf ore 10:00 – 21 Dicembre

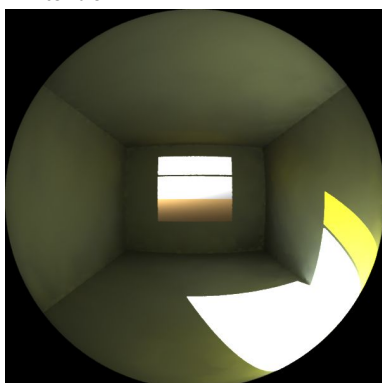


Figura 212 – Fisheye modello senza lightshelf ore 11:00 – 21 Dicembre

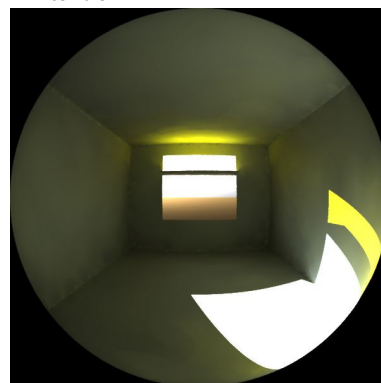


Figura 211 – Fisheye modello con lightshelf ore 11:00 – 21 Dicembre

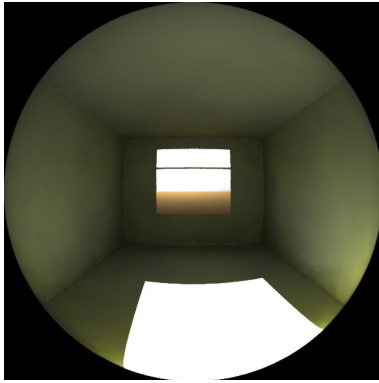


Figura 214 – Fisheye modello senza lightshelf ore 12:00 – 21 Dicembre

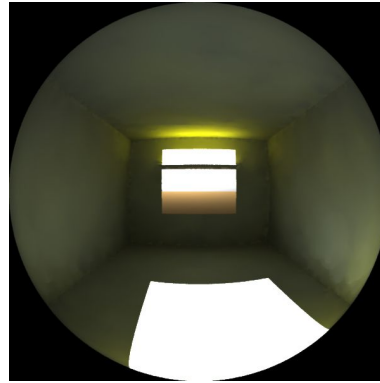


Figura 213 – Fisheye modello con lightshelf ore 12:00 – 21 Dicembre

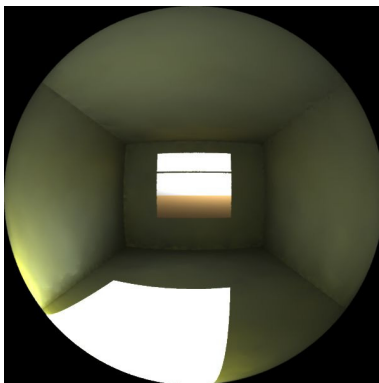


Figura 216 – Fisheye modello senza lightshelf ore 13:00 – 21 Dicembre

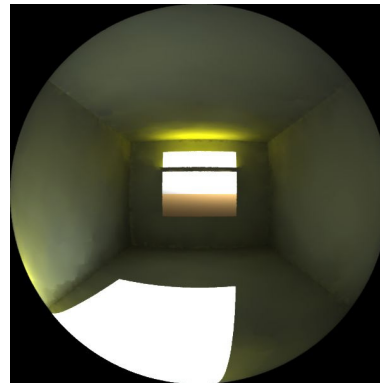


Figura 215 – Fisheye modello con lightshelf ore 13:00 – 21 Dicembre

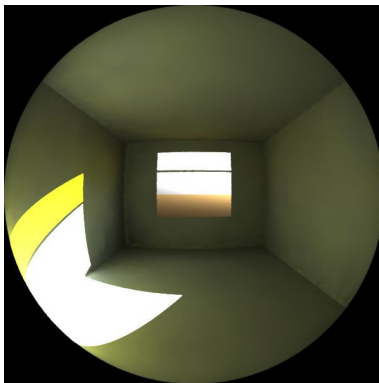


Figura 217 – Fisheye modello senza lightshelf ore 14:00 – 21 Dicembre

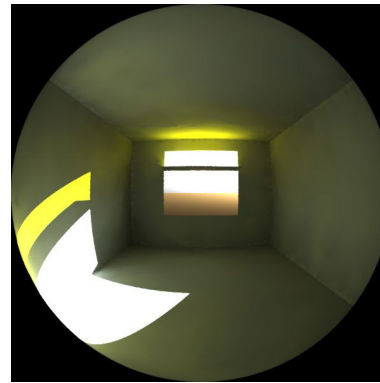


Figura 218 – Fisheye modello con lightshelf ore 14:00 – 21 Dicembre

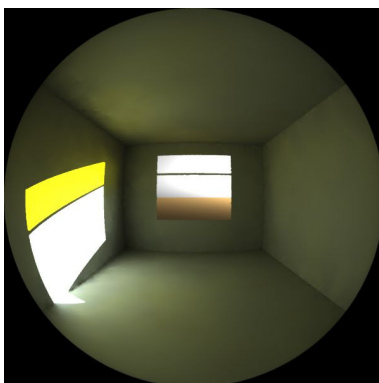


Figura 220 – Fisheye modello senza lightshelf ore 15:00 – 21 Dicembre

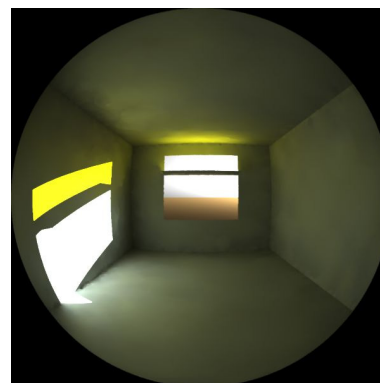


Figura 219 – Fisheye modello con lightshelf ore 15:00 – 21 Dicembre



Figura 221 – Fisheye modello senza lightshelf ore 16:00 – 21 Dicembre



Figura 222 – Fisheye modello con lightshelf ore 16:00 – 21 Dicembre



Figura 223 – Fisheye modello senza lightshelf ore 17:00 – 21 Dicembre



Figura 224 – Fisheye modello con lightshelf ore 17:00 – 21 Dicembre

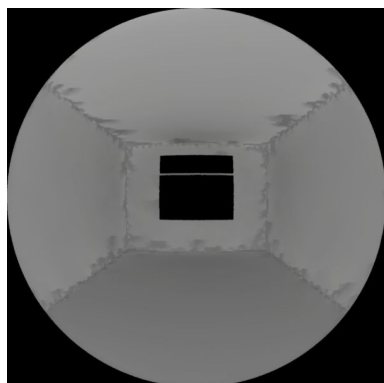


Figura 226 – Fisheye modello senza lightshelf ore 18:00 – 21 Dicembre

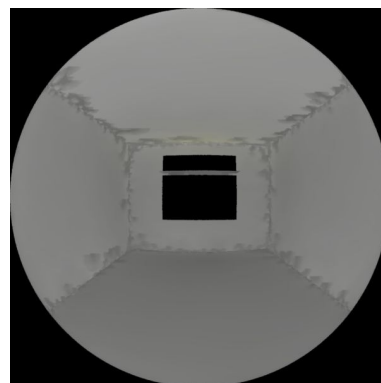


Figura 225 – Fisheye modello con lightshelf ore 18:00 – 21 Dicembre

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Riflessione Interna Totale osservabile in lastre in materia plastica.....	9
Figura 2 - Riflessione e rifrazione di raggi	10
Figura 3 - Esempi del fenomeno di riflessione e rifrazione per diversi raggi di incidenza provenienti da una sorgente S.	11
Figura 4 - Fenomeno della Riflessione Interna Totale interno ad una lastra in PMMA.....	11
Figura 5 - Diagramma dei fotoni incidenti e dei fotoni emessi da una molecola colorante all'interno dell' LSC.	12
Figura 6 – Lastre in PMMA con i due coloranti analizzati realizzate dall'istituto ENI Donegani	13
Figura 7 - Schema dei componenti del pannello LSC base	14
Figura 8 - Verifica elettrica delle celle assemblate.	16
Figura 9 – Posa del silicone sui bordi delle lastre in PMMA.....	17
Figura 10 - Posizionamento delle strisce di celle assemblate ai bus sui lati della lastra in PMMA.	17
Figura 11 - Fissaggio delle celle ai bordi della lastra.....	18
Figura 12 - Modulo LSC realizzato con la componentistica Secco Sistemi, prima versione.....	19
Figura 13 - Telaio del modulo LSC 3x2 pannelli, vista del lato corto (1084mm).	20
Figura 14 - Fronte posteriore del modulo, scatolato per il bloccaggio dei pannelli LSC.....	20
Figura 15 - Cornici con spessori interni per il posizionamento dei pannelli LSC.	21
Figura 16 – Pannello in posa per il fissaggio delle 4 parti che compongono la cornice.....	21
Figura 17 - Vista delle celle assemblate al bordo della lastra PMMA all'interno della cornice	22
Figura 18 - Foro per l'uscita dei cavi all'angolo del pannello.	22
Figura 19 – Foro per l'uscita dei cavi nella parte superiore del modulo.....	23
Figura 20 - Modulo fotovoltaico LSC realizzato con 6 pannelli LSC.	23
Figura 21 - Planimetria generale del Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura, copertura dell'edificio 14 (Nave).	24
Figura 22 - Moduli fotovoltaici in fase di test nel sito sperimentale.	25
Figura 23 - Dispositivo di rilevazione delle grandezze elettriche in uscita dal modulo, resistore, solarimetro complanare al piano di captazione del modulo.....	28
Figura 24 - Sito sperimentale per il monitoraggio del modulo LSC con i dispositivi di misura allestiti e collegati al modulo.....	28
Figura 25 - Prototipo LSC di ENI realizzato con 6 pannelli posizionate sui cavalletti della Test Facility.	29
Figura 26 – Vista frontale e assonometrica della struttura di un elemento della pensilina	38
Figura 27 - Vista frontale e assonometrica della struttura di un elemento della pensilina con i moduli LSC.....	38
Figura 28 - Sezione trasversale e dettaglio del piede d'appoggio.....	39
Figura 29 - Sezione longitudinale del piede e dettaglio fazzoletti ausiliari.....	39
Figura 30 - Sezione trasversale e dettagli dell'ala di copertura.	40

Figura 31 - Prospetti della pensilina.....	41
Figura 32 - Indicazione delle sezioni dell'impianto (A, B, C).....	42
Figura 33 - Schema impiantistico di massima.	43
Figura 34 - Prospetto pensilina lato motociclette	44
Figura 35 - Prospetto pensilina lato biciclette.....	44
Figura 36 - Vista prospettica pensilina lato biciclette.....	45
Figura 37 - Vista prospettica tetto pensilina	45
Figura 38 - Immagine e schema delle categorie e tipologie individuate	49
Figura 39 - Tipologie di radiazione luminosa.....	65
Figura 40 - Lunghezza d'onda elettromagnetica	66
Figura 41 - Scomposizione del flusso luminoso incidente su una superficie	66
Figura 42 - Schemi esplicativi del livello morfologico.....	71
Figura 43 - Schemi esplicativi del livello percettivo.....	77
Figura 44 - Schemi esplicativi delle tipologie di componenti edilizi	82
Figura 45 - Schemi esplicativi della possibilità d'uso per la composizione e distribuzione del colore	99
Figura 46 – Schemi esplicativi delle possibilità di interazione di diversi materiali con il componente LSC.....	105
Figura 47 - Esempi di possibili serramenti da utilizzare per il nuovo componente	119
Figura 48 – Prospetto del nuovo modulo LSC con collegamenti elettrici dei tra i pannelli LSC.....	120
Figura 49 - Spettrometro CL-500A	121
Figura 50 - Triangolo dei Colori CIE.....	123
Figura 51 - Sezione longitudinale modello di studio.....	129
Figura 52 - Prospetto Sud (Facciata principale) modello di studio	129
Figura 53 - Planimetria modello di studio	129
Figura 54 - Vista interna modello di studio	130
Figura 55 - Rappresentazione del modello di Tregenza standardizzato dalla CIE	134
Figura 56 - Differenti modalità di trasmissione e riflessione della radiazione luminosa	138
Figura 57 - Classificazione dei componenti schermanti.....	140
Figura 58 - Sistemi di schermatura della luce naturale diffusa e diretta	142
Figura 59 - Sistemi di utilizzo della luce diurna diffusa e diretta senza schermatura integrata.....	143
Figura 60 - Matrice sinottica delle prestazioni di controllo solare e luminoso delle principali tipologie di componenti schermanti.....	144
Figura 61 - Principio di funzionamenti di un lightshelf	145
Figura 62 - Riflessione della luce da parte del lightshelf all'interno dell'edificio	145
Figura 63 - Gradiente d'illuminamento in assenza e in presenza di un lightshelf.....	146
Figura 64 - Vantaggi e svantaggi sull'utilizzo di un sistema schermante lightshelf	147
Figura 65 - Sezione del nuovo modello di studio con posizionato l'elemento schermante lightshelf	148
Figura 66 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopraluce vetrato senza lightshelf.....	150
Figura 67 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopraluce LSC senza lightshelf.....	150
Figura 68 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopraluce vetrato con lightshelf.....	152
Figura 69 - Modello fisico con finestra totalmente vetrata e sopraluce LSC con lightshelf.....	152

Figura 70 - Modello fisico con LSC giallo e senza lightshelf	154
Figura 71 - Modello fisico con LSC giallo e con lightshelf	154
Figura 72 - Interfaccia grafica del software DIALux 4.10	157
Figura 73 - Interfaccia grafica del software BESTenergy versione 1.0.8.....	158
Figura 74 - Interfaccia grafica del software Windows 6	159
Figura 75 - Interfaccia grafica del software Ecotect Analysis 2011	160
Figura 76 - Interfaccia grafica del software Desktop Radiance 1.02	161
Figura 77 - Interfaccia grafica del software Evalglare 1.0	162
Figura 78 – Schema dell'interazione dei software utilizzati e parametri calcolati sull'ambiente test	163
Figura 79 - Dati del prodotto dell'impianto di illuminazione utilizzato nel programma DIALux.....	166
Figura 80 - dell'impianto di illuminazione utilizzato nel programma DIALux.....	167
Figura 81 - Report del progetto dell'impianto illuminante ottenuto dal software DIALux.....	168
Figura 82 – Risultati illuminotecnici estratti dal software DIALux.....	169
Figura 83 – Render dell'ambiente illuminato.....	170
Figura 84 - Interfaccia grafica per impostare la località.....	172
Figura 85 - Interfaccia grafica per il posizionamento di un sensore di luce	175
Figura 86 - Interfaccia grafica settaggio parametri per la creazione di una schedule.....	177
Figura 87 - Modello creato in BESTEnergy senza e con lightshelf	180
Figura 88 - Incidenza raggi solari su un piano orizzontale ed uno verticale esposto a Sud	183
Figura 89 – Schema del calcolo dell'energia primaria	184
Figura 90 - Interfaccia grafica per la creazione del modello 3D tramite il programma Ecotect. Le freccie nere rappresentano la visuale delle telecamere posizionate.....	188
Figura 91 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 12:00-21 marzo. Vista frontale e laterale	191
Figura 92 – Daylight factor modello senza lightshelf ore 10:00-21 marzo. Vista frontale e laterale	191
Figura 93 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 12:00-21 marzo. Vista frontale e laterale	191
Figura 94 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 10:00- 21 giugno . Vista frontale e laterale	191
Figura 95 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 12:00-21 giugno. Vista frontale e laterale	191
Figura 96 - Daylight factor modello senza lightshelf re 15:00-21 giugno. Vista frontale e laterale	192
Figura 97 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale.....	192
Figura 98 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale.....	192
Figura 99 - Daylight factor modello senza lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale.....	192
Figura 100 - Daylight factor modello con lightshelf ore 10:00-21 marzo. Vista frontale e laterale	193
Figura 101 - Daylight factor modello con lightshelf ore 12:00-21 marzo. Vista frontale e laterale	193
Figura 102 - Daylight factor modello con lightshelf ore 15:00-21 marzo. Vista frontale e laterale	193
Figura 103 - Daylight factor modello con lightshelf ore 10:00-21 giugno. Vista frontale e laterale	193
Figura 104 - Daylight factor modello con lightshelf ore 12:00-21 giugno. Vista frontale e laterale	193
Figura 105 - Daylight factor modello con lightshelf ore 15:00-21 giugno. Vista frontale e laterale	194
Figura 106 - Daylight factor modello con lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale	194

Figura 107 - Daylight factor modello con lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale	194
Figura 108 - Daylight factor modello con lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Vista frontale e laterale	194
Figura 109 – Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 10:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	195
Figura 110 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 12:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	195
Figura 111 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 15:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	195
Figura 112 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 10:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	195
Figura 113 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 12:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	196
Figura 114 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 15:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	196
Figura 115 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	196
Figura 116 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	196
Figura 117 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello senza lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	196
Figura 118 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 10:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	197
Figura 119 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 12:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	197
Figura 120 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 15:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	197
Figura 121 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 10:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	197
Figura 122 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 12:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	197
Figura 123 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 15:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	198
Figura 124 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	198
Figura 125 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	198
Figura 126 - Calcolo illuminazione cielo coperto modello con lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	198
Figura 127 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 10:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	199

Figura 128 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 12:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	199
Figura 129 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 15:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	199
Figura 130 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 10:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	199
Figura 131 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 12:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	200
Figura 132 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 15:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	200
Figura 133 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	200
Figura 134 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	200
Figura 135 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello senza lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	200
Figura 136 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 10:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	201
Figura 137 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 12:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	201
Figura 138 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 15:00-21 marzo. Visuale frontale e laterale	201
Figura 139 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 10:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	201
Figura 140 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 12:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	201
Figura 141 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 15:00-21 giugno. Visuale frontale e laterale	202
Figura 142 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 10:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	202
Figura 143 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 12:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	202
Figura 144 - Calcolo illuminazione cielo sereno modello con lightshelf ore 15:00-21 dicembre. Visuale frontale e laterale	202
Figura 145 - Immagine ad occhio di pesce modello con lightshelf 21 Marzo ore 10:00	206
Figura 146 - Immagine ad fisheye modello senza lightshelf 21 Marzo ore 10:00	206
Figura 147 - Esempio di frangisole orientabile da utilizzare.....	210
Figura 148 - Dati tecnici frangisole a lamelle orizzontali mobili.....	211
Figura 149 - Disegno tecnico posizione frangisole a lamelle orizzontali a motore.....	211
Figura 150 - riflessione della radiazione solare sugli elementi schermanti.....	212
Figura 151 - Sezione verticale nuova configurazione di facciata con lightshelf e frangisole mobile.....	213

Figura 152 Prospetto frontale finestra intelligente quotata	214
Figura 153 – Prospetto frontale finestra intelligente con schermatura mobile.....	214
Figura 154 – Riflessione dell’elemento schermante lightshelf.....	215
Figura 155 – Vista interna dei componenti del sistema verticale trasparente	216
Figura 156 – Vista esterna dei componenti del sistema verticale trasparente.....	216
Figura 157 – Viste assonometriche del nuovo componente finestra	217
Figura 158 - Particolare del nuovo componente finestra	217
Figura 159 – Fisheye modello con lightshelf ore 8:00 – 21 Marzo	221
Figura 160 – Fisheye modello senza lightshelf ore 8:00 – 21 Marzo	221
Figura 161 – Fisheye modello con lightshelf ore 9:00 – 21 Marzo	221
Figura 162 – Fisheye modello senza lightshelf ore 9:00 – 21 Marzo	221
Figura 163 – Fisheye modello con lightshelf ore 10:00 – 21 Marzo	221
Figura 164 – Fisheye modello senza lightshelf ore 10:00 – 21 Marzo	221
Figura 165 – Fisheye modello senza lightshelf ore 11:00	221
Figura 166 – Fisheye modello con lightshelf ore 11:00	221
Figura 167 – Fisheye modello con lightshelf ore 12:00 – 21 Marzo	222
Figura 168 – Fisheye modello senza lightshelf ore 12:00 – 21 Marzo	222
Figura 169 – Fisheye modello senza lightshelf ore 13:00 – 21 Marzo	222
Figura 170 – Fisheye modello con lightshelf ore 13:00 – 21 Marzo	222
Figura 171 – Fisheye modello senza lightshelf ore 14:00 – 21 Marzo	222
Figura 172 – Fisheye modello con lightshelf ore 14:00 – 21 Marzo	222
Figura 173 – Fisheye modello senza lightshelf ore 15:00 – 21 Marzo	222
Figura 174 – Fisheye modello con lightshelf ore 15:00 – 21 Marzo	222
Figura 175 – Fisheye modello con lightshelf ore 16:00 – 21 Marzo	223
Figura 176 – Fisheye modello senza lightshelf ore 16:00 – 21 Marzo	223
Figura 177 – Fisheye modello con lightshelf ore 17:00 – 21 Marzo	223
Figura 178 – Fisheye modello senza lightshelf ore 17:00 – 21 Marzo	223
Figura 179 – Fisheye modello senza lightshelf ore 18:00 – 21 Marzo	223
Figura 180 – Fisheye modello con lightshelf ore 18:00 – 21 Marzo	223
Figura 181 – Fisheye modello con lightshelf ore 19:00 – 21 Marzo	223
Figura 182 – Fisheye modello senza lightshelf ore 19:00 – 21 Marzo	223
Figura 183 – Fisheye modello con lightshelf ore 8:00 – 21 Giugno.....	224
Figura 184 – Fisheye modello senza lightshelf ore 8:00 – 21 Giugno.....	224
Figura 185 – Fisheye modello con lightshelf ore 9:00 – 21 Giugno.....	224
Figura 186 – Fisheye modello senza lightshelf ore 9:00 – 21 Giugno.....	224
Figura 187 – Fisheye modello con lightshelf ore 10:00 – 21 Giugno.....	224
Figura 188 – Fisheye modello senza lightshelf ore 10:00 – 21 Giugno.....	224
Figura 189 – Fisheye modello senza lightshelf ore 11:00	224
Figura 190 – Fisheye modello con lightshelf ore 11:00	224
Figura 191 – Fisheye modello con lightshelf ore 12:00 – 21 Giugno.....	225
Figura 192 – Fisheye modello senza lightshelf ore 12:00 – 21 Giugno.....	225

Figura 193 – Fisheye modello senza lightshelf ore 13:00 – 21 Giugno.....	225
Figura 194 – Fisheye modello con lightshelf ore 13:00 – 21 Giugno.....	225
Figura 195 – Fisheye modello con lightshelf ore 14:00 – 21 Giugno.....	225
Figura 196 – Fisheye modello senza lightshelf ore 14:00 – 21 Giugno.....	225
Figura 197 – Fisheye modello con lightshelf ore 15:00 – 21 Giugno.....	225
Figura 198 – Fisheye modello senza lightshelf ore 15:00 – 21 Giugno.....	225
Figura 199 – Fisheye modello con lightshelf ore 16:00 – 21 Giugno.....	226
Figura 200 - Fisheye modello senza lightshelf ore 16:00 – 21 Giugno	226
Figura 201 – Fisheye modello con lightshelf ore 17:00 – 21 Giugno.....	226
Figura 202 – Fisheye modello senza lightshelf ore 17:00 – 21 Giugno.....	226
Figura 203 – Fisheye modello con lightshelf ore 18:00 – 21 Giugno.....	226
Figura 204 – Fisheye modello senza lightshelf ore 18:00 – 21 Giugno.....	226
Figura 205 – Fisheye modello senza lightshelf ore 8:00 – 21 Dicembre.....	227
Figura 206 – Fisheye modello con lightshelf ore 8:00 – 21 Dicembre.....	227
Figura 207 – Fisheye modello senza lightshelf ore 9:00 – 21 Dicembre.....	227
Figura 208 – Fisheye modello con lightshelf ore 9:00 – 21 Dicembre.....	227
Figura 209 – Fisheye modello senza lightshelf ore 10:00 – 21 Dicembre.....	227
Figura 210 – Fisheye modello con lightshelf ore 10:00 – 21 Dicembre.....	227
Figura 211 – Fisheye modello con lightshelf ore 11:00 – 21 Dicembre.....	227
Figura 212 – Fisheye modello senza lightshelf ore 11:00 – 21 Dicembre.....	227
Figura 213 – Fisheye modello con lightshelf ore 12:00 – 21 Dicembre.....	228
Figura 214 – Fisheye modello senza lightshelf ore 12:00 – 21 Dicembre.....	228
Figura 215 – Fisheye modello con lightshelf ore 13:00 – 21 Dicembre.....	228
Figura 216 – Fisheye modello senza lightshelf ore 13:00 – 21 Dicembre.....	228
Figura 217 – Fisheye modello senza lightshelf ore 14:00 – 21 Dicembre.....	228
Figura 218 – Fisheye modello con lightshelf ore 14:00 – 21 Dicembre.....	228
Figura 219 – Fisheye modello con lightshelf ore 15:00 – 21 Dicembre.....	228
Figura 220 – Fisheye modello senza lightshelf ore 15:00 – 21 Dicembre.....	228
Figura 221 – Fisheye modello senza lightshelf ore 16:00 – 21 Dicembre.....	229
Figura 222 – Fisheye modello con lightshelf ore 16:00 – 21 Dicembre.....	229
Figura 223 – Fisheye modello senza lightshelf ore 17:00 – 21 Dicembre.....	229
Figura 224 – Fisheye modello con lightshelf ore 17:00 – 21 Dicembre.....	229
Figura 225 – Fisheye modello con lightshelf ore 18:00 – 21 Dicembre.....	229
Figura 226 – Fisheye modello senza lightshelf ore 18:00 – 21 Dicembre.....	229

INDICE DEI RIFERIMENTI

Riferimento 1 - “Arc en Ciel” - Arch. Bernard Buhler Architects - Bordeaux (Francia), 2010.....	50
Riferimento 2 - “Centro Sportivo Infantile” - Arch. KOZ Architects - Saint-Cloud (Francia), 2009	51
Riferimento 3 - “Machiachini Center, MAC 5-6-7 ” - Arch. Sauerbruch Hutton - Milano (Italia), 2009	52
Riferimento 4 - “Mediateca Sandro Penna” - Arch. Italo Rota - San Sisto (PG), (Italia), 2010	53
Riferimento 5 - “Novartis Campus, Forum 3” - Arch. R. Diener, H. Federle, G. Wiederin - Basilea (Svizzera), 2001.....	54
Riferimento 6 - “The Wit Hotel” - Arch. Jackie Koo - Chicago (U.S.A.), 2001	55
Riferimento 7 - “Parkhaus Auto Garage ” - Arch. Kny & Weber - Berlino (Germania), 2008	56
Riferimento 8 - “International Management Institute” - Arch. Abin Design Studio - Calcutta (India), 2010	57
Riferimento 9 - “The Reece School” - Arch. Platt Byard Dovell White Architects - New York (U.S.A.), 2007.....	58
Riferimento 10 - “Attici di via Doberdò” - Arch. ARKPABI - Milano (Italia), 2009.....	59
Riferimento 11 - “International Cruis Terminal” - Arch. John Curran - Shanghai (Cina), 2010	60
Riferimento 12 - “Pantone Hotel” - Arch. Michel Penneman + Oliver Hannaert - Bruxelles (Belgio), 2010	61
Riferimento 13 - “Centrale Mazzoni” - Arch. Gruppo FON Architetti - Venezia (Italia), 2010	62
Riferimento 14 - “ Die Dans Van Kleur ” - Arch. Salvatore Gentile - Manfredonia (Italia), 2011	63
Riferimento 15 – “WoZoCo” – Arch. MVRVD – Amsterdam (Olanda), 1997	64
Riferimento 16 - Nieto Sobejano Arquitectos, Joanneum Museum, Graz, Austria.	72
Riferimento 17 - Somas Arquitectos, Social Housing, Madrid, (facciata e finestra); Riccispani Architetti Associati, Eco office, Roma (vetrata a tutta altezza); Behnisch Architekten, Park Street Building, New Haven (facciata continua opaca e trasparente).	73
Riferimento 18 - Search, Row Housing Building, Amsterdam (ballatoi); Hawikins/Brown, New Biochemistry Building, Università di Oxford (schermatura multicolore).....	74
Riferimento 19 - Armani Hotel, Milano (volume in copertura); Mikou Design Studio, Bailly School Complex, Saint Denis (shed colorati); Pinear Panigua, ospedale, Alicante (shed trasparenti).	75
Riferimento 20 - Dominique Perrault, ponte Arganzuela, Madrid; Eric Owen Moss, Samitaur Tower, Culver City, USA. Infrastrutture nel territorio esteso.....	76
Riferimento 21 - Gaëtan Le Penhuel Architectes, Collège A. Schweitzer, Creteil; Ramòn Esteve, les Jaumei, Ontinyent. Trasparenza colorata.	78
Riferimento 22 - Ferrater Iambarri Sanabria, Artigues, aeroporto di El Prat, Barcellona; Dap Studio, Centro Culturale Roberto Gritti, Ranica. Luce diffusa mono o policromatica.....	79
Riferimento 23- Murat Tabanlıoğlu, Asmaçati Shopping, Izmir, Turchia; Marco Ortalli, Nuova Biblioteca, Erba (CO). Schermature interne con passo regolare o a texture decorative.....	80
Riferimento 24 - Mansilla + Tuñon Arquitectos, MUSAC, Leòn; IF Design, Centro Civico Noivoiloro, Erba (CO). Vetri retroverniciati colorati o vetri satinati: colore opaco.....	81
Riferimento 25 - De8 Architetti, Ecoforum, edificio terziario e commerciale, Clusone (BG).....	83

Riferimento 26 - Tetrac, boréal, Green Houses, Nantes, Francia.....	84
Riferimento 27 - Kadawittfeldarchitektur, Aachenmünchener headquarters, Achen, Germania.	85
Riferimento 28 - Applicazione anche come retrofit:doppia pelle applicata a edificio preesistente.	86
Riferimento 29 - Coll-Barreu Arquitectos, Edificio E8, Parco Tecnologico, Álava, Spagna.	87
Riferimento 30 - Basilio Tobías, Laboratori Canfranc, Huesca, Spagna.	88
Riferimento 31 - Ortner & ortner Baukunst, Photovoltaik-pavillon, Potsdam, Germania.....	89
Riferimento 32 - Peterson Architekten, F40 office Building, Berlino, Germania.....	90
Riferimento 33 - 5+1AA, Nuova struttura direzionale Fiera Milano, Rho (MI), Italia.	91
Riferimento 34 - Charles Correa Associates, Champalimaud Centre, Lisbona, Portogallo.	92
Riferimento 35 - Murat tabanlıoğlu, Asmaçati Shopping, Izmir, Turchia.....	93
Riferimento 36 - Artigues, Sanabria, Espuga, Consell General d'Andorra, Andorra.....	94
Riferimento 37 - Angelo Mangiarotti, Passante Ferroviario, Milano, Italia.	95
Riferimento 38 - Tamponamento traliccio elettrico, torri delle telecomunicazioni, acquedotti.	96
Riferimento 39 - Applicazione come sopraluce del serramento. Effetto cromatico: luce solida. (Adamo-Faiden, Edificio Arribeños, Buenos Aires).....	100
Riferimento 40 - Alternanza a passo irregolare colore/trasparenza. Effetto cromatico: luce filiforme.....	101
Riferimento 41 - Applicazione a texture. Effetto cromatico: luce puntiforme.	102
Riferimento 42 - Tomas Ghisellini, Scuola Primaria, Cenate Sotto (BG), Italia.	103
Riferimento 43 - Elementi verticali sottili e di differenti colori distanziati tra loro con passo regolare. (Ozeki, Ikuta, Forest Bath, Nagano, Giappone).	106
Riferimento 44 - Pannello semitrasparente su parte della superficie colorata. (Ozeki, Ikuta, Forest Bath, Nagano, Giappone).	107
Riferimento 45 - Sistema di illuminazione multidirezionale (sul perimetro del serramento). (Adamo-Faiden, Edificio Arribeños, Buenos Aires).....	108

INDICE DEI GRAFICI

Grafico 1 - Evoluzione della domanda di energia primaria e di negajoule.	5
Grafico 2 - Consumo lordo di energia nei paesi UE. (fonte Comunità Europea).....	6
Grafico 3 - consumi finali di energia nel settore residenziale. (fonte MSE-ENEA)	6
Grafico 4 - Consumi di energia elettrica nel settore non residenziale (fonte TERNA, elaborazione ENEA)	7
Grafico 5 - Usi finali di energia nel settore non residenziale (Elaborazione ENEA).....	7
Grafico 6 - Fattore di concentrazione del prototipo LSC.....	29
Grafico 7 - Efficienza quantica esterna delle celle Sc-Si (puntini quadrati) e lunghezza d'onda di assorbimento.....	31
Grafico 8 - Cielo sereno: Confronto densità di potenza dei diversi moduli e radiazione solare.	32
Grafico 9 - Giorno sereno: Confronto performance tra i diversi moduli.	32
Grafico 10 - Cielo nuvoloso: Confronto densità di potenza dei diversi moduli e radiazione solare.....	33
Grafico 11 - Giorno sereno: Confronto performance tra i diversi moduli.	33
Grafico 12 - Valori di irradianza spettrale all'interno del modello in condizioni di cielo nuvoloso. Linea nera = modello con sopraluce con lastra in vetro; Linea gialla = modello con sopraluce con lastra in PMMA gialla	135
Grafico 13 - Valori di irradianza spettrale all'interno del modello in condizioni di cielo sereno. Linea blu = modello con sopraluce con lastra in vetro; Linea gialla = modello con sopraluce con lastra in PMMA gialla	136
Grafico 14 - Valori di irradianza spettrale del modello fisico. Linea blu = No PMMA No lightshelf; Linea Magenta = Si PMMA No lightshelf.....	150
Grafico 15 - Valori di irradianza spettrale del modello fisico. Linea blu = No PMMA SI lightshelf; Linea Magenta = Si PMMA SI lightshelf	152
Grafico 16 - Grafico 18 - Valori di irradianza spettrale modello fisico. Linea blu = No PMMA SI lightshelf; Linea Magenta = Si PMMA SI lightshelf	154
Grafico 17 – Totale consumi elettrici per l'illuminazione del modello di studio con e senza lightshelf.....	182
Grafico 18 – Totale consumi termici del modello di studi con e senza lightshelf	182
Grafico 19 – Valori orari DGP 21 Dicembre.....	208
Grafico 20 – Valori orari DGP 21 Giugno.....	208
Grafico 21 – Valori orari DGP 21 Marzo.....	208
Grafico 22 – Valori orari DGI 21 Dicembre.....	208
Grafico 23 – Valori orari DGI 21 Giugno.....	208
Grafico 24 – Valori orari DGI 21 Marzo	208

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Confronto PMMA – Vetro	15
Tabella 2 - Milano, temperatura media mensile dell'aria (UNI 10349).	26
Tabella 3 - Valori di radiazione solare sul piano orizzontale per Milano secondo la norma UNI 10349.	27
Tabella 4 - Giorni e orari di monitoraggio.	29
Tabella 5 - Risultati di potenza media ed energia prodotta dal prototipo LSC nei giorni del monitoraggio.	30
Tabella 6 - Caratteristiche dei moduli tradizionali confrontati con l'LSC di ENI	30
Tabella 7 - Roma, temperatura media mensile dell'aria (UNI 10349).	36
Tabella 8 - Valori di radiazione solare sul piano orizzontale per Roma secondo la norma UNI 10349.	37
Tabella 9 - Caratteristiche delle diverse tipologie applicative.	41
Tabella 10 - Dati prestazionali relativi a ciascuna sezione impiantistica proposta	42
Tabella 11 - Rapporto spazio abitativo/colore della luce	97
Tabella 12 - Trasmittanza massima per le strutture opache e trasparenti imposti dal - <i>D.g.r. 22 dicembre 2008 – n. VIII/8745</i>	112
Tabella 13 – Qualità prestazionali dei valori di sfasamento e attenuazione.....	113
Tabella 14 - Suddivisione in zone climatiche del territorio Italiano secondo D.g.r. 22 dicembre 2008 - n. VIII/8745.....	114
Tabella 15 - Metodo di assegnazione classe reazione al fuoco.....	115
Tabella 16 . -Elenco dei materiali da considerare come appartenenti alle classi a1 e a1fl di reazione al fuoco di cui alla decisione 2000/147/ce senza dover essere sottoposti a prove	117
Tabella 17 - Caratteristiche prestazionali al fine di ottenere il marchi "CE"	118
Tabella 18 - Calcolo trasmittanza del nuovo componente	120
Tabella 19 - Valori di trasmittanza perle strutture opache e trasparenti da rispettare nelle diverse zone climatiche.....	120
Tabella 20 - Caratteristiche tecniche dello spettrometro CL-500	122
Tabella 21 - livelli di tonalità della temperatura di colore	124
Tabella 23 - Valori ricavati dalle misurazione tramite spettrometro delle lastre in vetro, in PMMA giallo e del nuovo componente	125
Tabella 22 - Valori di irradianza spettrale di una lastra in vetro, in PMMA gialla e del nuovo componente. Viola = Lastra in vetro; Giallo = PMMA giallo; Celeste = Nuovo componente LSC.	125
Tabella 24 - Trasmittanza superfici verticali opache	130
Tabella 25 - Massa superficiale superfici verticali opache.....	131
Tabella 26 - Analisi dinamica dei parametri di trasmittanza delle superfici verticali opache.....	131
Tabella 27 – Trasmittanza superfici orizzontali opache (Pavimento).....	131

Tabella 28 - Massa superficiale superfici orizzontali opache (Pavimento)	131
Tabella 29 - Analisi dinamica dei parametri di trasmittanza delle superfici orizzontali opache (Pavimento)	132
Tabella 30 - Trasmittanza superfici orizzontali opache (Soffitto)	132
Tabella 31 - Massa superficiale superfici orizzontali opache (Soffitto)	132
Tabella 32 - Analisi dinamica dei parametri di trasmittanza superfici orizzontali opache (Soffitto)	132
Tabella 33 – Confronto dati di progetto con dati forniti da normativa	133
Tabella 34 - Dati ricavati dalle simulazioni con cielo nuvoloso	135
Tabella 35 - Dati ricavati dalle simulazioni con cielo sereno.....	136
Tabella 36 - Dati ottenuti dalle simulazioni in condizioni di cielo sereno (luce diretta) senza lightshelf e senza/con PMMA giallo	151
Tabella 37 - Dati ottenuti dalle simulazioni in condizioni di cielo sereno (luce diretta) con lightshelf e senza/con PMMA giallo.....	153
Tabella 38 - Dati ottenuti dalle simulazioni in condizioni di cielo sereno (luce diretta) con/senza lightshelf e con PMMA giallo.....	154
Tabella 39 – Confronto dei dati ottenuti dalle simulazioni in condizioni di cielo sereno (luce diretta) sul modello fisico con sopraluce LSC giallo e senza/con lightshelf	155
Tabella 40 – Parametri a cui attestarsi per un corretto dimensionamento degli ambienti ufficio	165
Tabella 41 – Intervalli dei valori degli indici di assorbimento della radiazione solare visibile per il calcolo delle riflessioni	165
Tabella 42 - Parametri per il progetto dell'impianto illuminante.....	168
Tabella 43 - Stratificazione componente opaco orizzontale (Tetto)	173
Tabella 44 - Stratificazione componente opaco verticale (Muro)	173
Tabella 45 - Stratificazione componente opaco orizzontale (Pavimento)	173
Tabella 46 – Trasmittanza componente trasparente finestra.....	174
Tabella 47 – Trasmittanza componente trasparente finestra fotovoltaica LSC	174
Tabella 48 – Riassunto dei parametri principali inseriti nel software BESTEnergy	179
Tabella 49 - Valori di illuminazioni, riscaldamento e raffrescamento suddivisi per mese ottenuti dalle simulazioni con il software BESTEnergy in entrambe le configurazioni di facciata	180
Tabella 50 - Confronto consumi illuminotecnici suddivisi per mese	181
Tabella 51 – Confronto consumi di riscaldamento suddivisi per mese	181
Tabella 52 – Confronto consumi raffrescamento suddivisi per mese	181
Tabella 53 - Percentuale di miglioramento o peggioramento dei consumi	182
Tabella 54 – Fattori di energia primaria fEP.....	185
Tabella 55 – Parametri utilizzati per il calcolo del fabbisogno globale	186
Tabella 56 – Calcolo del fabbisogno globale netto di energia primaria del modello senza/con lightshelf.....	187
Tabella 57 - Coefficiente di riflessione dei materiali inseriti in Ecotect.....	188
Tabella 58 - Valori del fattore di luce diurna per le diverse destinazioni d'uso	190
Tabella 59 - Intervalli di tolleranza degli indici di abbagliamento	206
Tabella 60 – Valori orari d’abbagliamento modello senza lightshelf-21 Marzo.....	207

Tabella 61 – Valori orari d'abbagliamento modello con lightshelf-21 Marzo.....	207
Tabella 63 – Valori orari d'abbagliamento modello con lightshelf-21 Giugno.....	207
Tabella 62 – Valori orari d'abbagliamento modello senza lightshelf-21 Giugno.....	207
Tabella 64 – Valori orari d'abbagliamento modello con lightshelf-21 Dicembre.....	208
Tabella 65 – Valori orari d'abbagliamento modello senza lightshelf-21 Dicembre.....	208

BIBLIOGRAFIA

LIBRI

- “Il fotovoltaico in architettura. L’integrazione dei sistemi ad energia solare negli edifici” di Niccolò Aste, Sistemi editoriali editore, Milano 2012, 236 pagine;
- “Energie rinnovabili e domotica” di Michele Piano, Francoangeli editore, Milano 2012, 343 pagine;
- “Architettura e ambiente, manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici” di Federico Butera, ETASLIBRI editore, Milano 1995, 421 pagine;
- “La luce in architettura, guida alla progettazione” di Pietro Palladino e Cesare Coppedè, MAGGIOLI editore, Milano 2012, 335 pagine;
- “Manuale di progettazione illuminotecnica” Vol. 1 di Marco Frascarolo, MANCOSU editore, Roma 2010;
- “Manuale di illuminotecnica” a cura di Pietro Palladino, Tecniche Nuove editore, Milano 2005;
- “Lighting, lampade, apparecchi, impianti – Progettazione per ambienti interni ed esterni” di Gianni Forcolini, HOEPLI editore, Milano 2004, 542 pagine;
- “Guida tecnica per l’illuminazione degli interni” di Giuseppe Agoni, ENEA s.p.a. editore, 135 pagine;
- “Progettare con la luce” di Donatella Ravizza, Franco Angeli editore, Milano 2007, 237 pagine;
- “L’architettura della luce” di Francesco Bianchi, Edizione KAPPA, Roma 1991, 287 pagine;
- “Schermature solari” di Lucia Ceccherini Neri, Eugenio d’Audino, Antonella Trombadore, Alinea editrice, Firenze 2007;

ARTICOLI

- “Non-self-absorbing materials for Luminescent Solar Concentrators (LSC)” T. Saraidarov , V. Levchenko , A. Grabowska , P. Borowicz , R. Reisfeld;
- “Spectral converters and luminescent solar concentrators” Petra F.Scudo, Luigi Abbondanza,Roberto Fusco,Luciano Caccianotti;
- “Self absorption treatment for the luminescent solar concentrators” A.M. Taleb;
- “Luminescent solar concentrators e A low cost photovoltaics alternative” Wilfried G.J.H.M. van Sark;
- “Building integrated thin film luminescent solar concentrators: Detailed efficiency characterization and light transport modeling” J.W.E. Wiegman, E.van der Kolk;
- “New developments in luminescence for solar energy utilization” Renata Reisfeld;
- “Outdoor Testing of Luminescent Solar Concentrators in a Liquid Polymer and Bulk Plate of PMMA” A. F. Mansour;
- “Outdoor testing and solar simulation for oxazine 750 laser dye luminescent solar concentrator” A.I. Salem, A.F. Mansour, N.M. El-Sayed, A.H. Bassyouni;
- “Luminescent Solar Concentrators Employing Phycobilisomes” By Carlijn L. Mulder, Luke Theogarajan, Michael Currie, Jonathan K. Mapel, Marc A. Baldo,* Michael Vaughn, Paul Willard, Barry D. Bruce, Mark W. Moss, Clifford E. McLain, and John P. Morseman
- “Maximising the light output of a Luminescent Solar Concentrator” di A.A. Earp, G.B. Smith, P.D. Swift, J. Franklin, Department of Applied Physics, University of Technology, Sydney, Australia, accepted 4 February 2004, 13 pagine;
- “Energia solare – La ricerca ENI” Roberto Fusco;
- “Advanced Material Concepts for Luminescent Solar Concentrators” Brenda C. Rowan, Lindsay R. Wilson, and Bryce S. Richards, Member, IEEE;

- “Integrazione luce naturale/artificiale in ambito terziario e abitativo” di Franco Gugliermetti e Fabio Bisegna, Ente per le Nuove tecnologie, l’Energia e l’Ambiente (ENEA), Roma 2009, 186 pagine;
- “La rappresentazione dell’architettura contemporanea: l’ uso del colore nei concorsi di architettura” di Michela Scaglione, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Genova;
- “Luminescent solar concentrators and the reabsorption problem”, R. W. Olson, Roger F. Loring, and M. D. Fayer;
- “Impact of light on human beings”, Dr. Dieter Kunz, Department of Sleep Medicine, St. Hedwig’s Hospital, Berlin Institute of Physiology, Charité – Universitätsmedizin Berlin, CBF;
- “Daylighting metrics for residential buildings” Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N. and Christoffersen, J.;
- “The ‘adaptive zone’ – a concept for assessing glare throughout daylight spaces” j. alstan jakubiec and christoph reinhart (Harvard university, graduate school of Design, Department of Architecture);
- “Effects of Correlated Color Temperature on Spatial Brightness Perception” Jiaqi Ju, Dahua Chen, Yandan Lin;
- “The effects of color and light on indoor wayfinding and the evaluation of the perceived environment” M. Lutfi Hidayetoglu , Kemal Yildirim, Aysu Akalin;
- “Sensor-Response-Ratio Constancy Under Changes in Natural and Artificial Illuminants” Javier Romero, Daniel Partal, Juan L. Nieves, Javier Herna´ ndez-Andre´ s;
- “Color Temperature Estimation of Scene Illumination by the Sensor Correlation Method” Shoji Tominaga, Atsushi Ishida, and Brian A. Wandell;
- “L’utilizzo della luce naturale” di Antonio Carbonari, professore di Tecnica del Controllo Ambientale, Corso di laurea specialistica in architettura per la sostenibilità, Università di Venezia;
- “Colore energetico: possibilità di diffusione di concentratori solari luminescenti nell’architettura per la produzione fotovoltaica e la riqualificazione degli edifici (oral), di Gianni Scudo, Alessandro Rogora, Barbara Ferrari (PoliMI), Daniele Testa (ENI); IX CONFERENZA DEL COLORE – Firenze - 19 - 20 settembre 2013”;

- “L'energia primaria consumata da un edificio: fattori di conversione”, di Renzo Mario Del Duro;
- “Linee guida per l'utilizzazione della luce naturale”, di F. Gugliermetti, F. Bisegna, L. Monti; Report ENEA (Rds/2010)
- “Elementi di illuminotecnica”, di Antonino Nucara, Matilde Pietrafesa, Università degli Studi “Mediterranea” di Reggio Calabria, facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Informatica Matematica Elettronica e Trasporti;

In attesa di pubblicazione:

- “Sviluppo di componenti edilizi basati su concentratori solari luminescenti (LSC)”, Niccolò Aste, Gianni Scudo, Alessandro Rogora, Claudio Del Pero, Barbara Ferrari, Lavinia Chiara Tagliabue, Politecnico di Milano – Dipartimento ABC, Milano 2012;
- “Preliminary performance analysis of a luminescent solar concentrator”, Niccolò Aste, Lavinia Chiara Tagliabue, , Claudio Del Pero, Daniele Testa, R. Fusco, Politecnico di Milano – Dipartimento ABC, Milano 2012;

NORMATIVE E DECRETI

- DM 5 luglio 2012 – “Quinto Conto Energia”
- UNI-EN 12464-1 - "Illuminazione dei Luoghi di Lavoro”
- Decreto 26 gennaio 2010: Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici;
- Decreto del Ministero dell'Interno del 16 febbraio 2007 recante "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione";
- Decreto del Ministero dell'Interno del 16 febbraio 2007 recante "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione";
- Decreto Legislativo 9 Aprile 2008, n.81 al titolo II e all'allegato IV – “Gli ambienti di lavoro”;
- Norma UNI EN 13501-1:2009 – “Reazione al fuoco dei materiali: classificazione europea”;

- Norma UNI EN 14351-1:2006 – “Finestre e porte pedonali - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali”;
- UNI EN 15603 – “Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica”;
- Decreto Legislativo 19 Agosto 2005, n.192 – “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia”;
- Circolare del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato del 2 Marzo 1992, n° 219/F