



Ricerca di Sistema elettrico

Design sustainable interiors:  
lighting and wellbeing.  
Relazione Attività C: Innovazione  
Dell'Illuminazione Per Gli Anziani In  
Contesti Abitativi

Autori: M. Rossi, D. Casciani, F. Musante

## DESIGN SUSTAINABLE INTERIORS: LIGHTING AND WELLBEING. RELAZIONE ATTIVITÀ C: INNOVAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE PER GLI ANZIANI IN CONTESTI ABITATIVI

M. Rossi, D. Casciani, F. Musante (Politecnico di Milano, Dipartimento di Design, Laboratorio Luce)

14 Settembre 2016

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici"

Progetto: D.5 "Innovazione tecnologica, funzionale e gestionale nella illuminazione pubblica ed in ambienti confinati"

Obiettivo: C "Human Centric Lighting"

Responsabile del Progetto: : Nicoletta Gozo, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Design Sustainable Interiors: Lighting And Wellbeing*"

Responsabile scientifico ENEA: Simonetta Fumagalli

Responsabile scientifico Politecnico di Milano: Prof. Maurizio Rossi

## Indice

1	ATTIVITÀ C. INNOVAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE PER GLI ANZIANI IN CONTESTI ABITATIVI .....	5
1.1	PREMESSA: PROGETTO DEL SISTEMA DI ILLUMINAZIONE BIO-ADATTIVA .....	5
1.2	APPROFONDIMENTO DEI PRODOTTI ESISTENTI SUL MERCATO DOMESTICO: SORGENTI .....	6
1.3	APPROFONDIMENTO DEI PRODOTTI ESISTENTI SUL MERCATO DOMESTICO: APPARECCHI .....	10
1.4	REQUISITI DI PROGETTO .....	11
1.5	SELEZIONE DEI LED .....	12
1.6	CUSTOMIZZAZIONE DEL PCB .....	14
1.7	OTTICA .....	14
1.8	GESTIONE TERMICA .....	19
1.9	DESIGN .....	22
1.10	SIMULAZIONI ILLUMINOTECNICHE .....	27
2	LISTA DEGLI ALLEGATI .....	31
3	REFERENZE BIBLIOGRAFICHE .....	32



## 1 Attività C. Innovazione dell'illuminazione per gli anziani in contesti abitativi

L'attività si propone di approfondire e sviluppare una soluzione di illuminazione a LED per il benessere fisico, fisiologico e psicologico, che sfrutti la tecnologia di illuminazione SSL e sistemi di controllo al fine di ottenere performance di illuminazione ottimali sia da un punto di vista di risparmio energetico sia di comfort. Il progetto considererà anche aspetti che riguardano una luce circadiana, adattiva e durevole. Verrà progettato un dimostratore di un prodotto di illuminazione domestico tenendo in considerazione tutti gli aspetti relativi alla distribuzione spettrale, alla miscelazione tra le diverse sorgenti impiegate, la limitazione dell'abbagliamento e la necessità di avere una distribuzione fotometrica adeguata sui compiti visivi e sull'occhio dell'osservatore al fine di controllare la stimolazione del sistema circadiano.

### 1.1 Premessa: progetto del sistema di illuminazione bio-adattiva

Il sistema prodotto progettato è necessariamente focalizzato sulle funzionalità di un motore luminoso intelligente (adattivo), durevole (secondo le logiche dell'economia circolare) e che permetta la regolazione dell'illuminazione secondo le logiche del ritmo circadiano umano. In particolare, il motore luminoso sarà in grado di modificare la propria performance luminosa nel tempo sia in termini di flusso (dimming) sia in termini di modifiche spettrali: modifiche di temperatura correlata di colore (2500K – 10000K CCT) modifiche di CRI – CQS e saturazione cromatica in funzione di specifiche applicazioni e situazioni domestiche.



**Figura 1 Schema a blocchi di un sistema di illuminazione domestica "smart" per utenti anziani**

Il progetto si focalizzerà contemporaneamente su diversi aspetti quali la selezione dei LED con specifico riferimento alle lunghezze d'onda e al numero di canali necessari al fine di ottenere i requisiti spettrali ottimali per la salute e il benessere dell'individuo, la gestione ottica e fotometrica al fine di ottenere una luce confortevole e un colore uniforme sulle superfici, evitando abbagliamento, disuniformità cromatica del bianco e il fenomeno delle ombre multiple sulle superfici vicine, la gestione termica fondamentale per il corretto funzionamento dei LED al fine di controllare il comportamento dei LED e dunque ottenere stabilità cromatica ed efficienza. Molto importante inoltre è l'alimentazione e il controllo del sistema mediante l'inserimento di driver e micro-controllers in grado di inviare input e output al sistema di illuminazione per ottenere estrema flessibilità e controllabilità secondo informazioni interne ed esterne al sistema, ovvero anche relative all'ambiente e all'individuo. Al fine di non gravare eccessivamente sui costi della futura prototipazione del dimostratore, si è deciso di adottare un sistema di gestione dell'apparecchio commercialmente disponibile, capace di garantire solo in parte tutte le funzionalità che sono state descritte nei precedenti punti A e B.

Infine, nel dimostratore, saranno considerati aspetti specifici di un progetto di design per l'ambito domestico che deve tenere in considerazione la fattibilità economica del sistema, pur considerando che si tratta di un prodotto innovativo e con interessi di ricerca: la soluzione ottimale sarà un compromesso tra la fattibilità e producibilità tecnica con le limitazioni di costo derivanti da una produzione di un prototipo di studio o di una pre-serie. Per questo motivo, al fianco di uno studio di componenti e sistemi con un elevato grado di customizzazione, si è cercato di ottimizzare la soluzione per ottenere un prototipo con costi contenuti tramite tecniche di prototipazione rapida.

### *1.2 Approfondimento dei prodotti esistenti sul mercato domestico: sorgenti*

Come precedentemente definito nelle attività A e B, i prodotti a LED attualmente esistenti sul mercato e quindi di largo consumo da parte degli utenti per ottenere una regolazione del sistema circadiano si restringono principalmente alle sorgenti di illuminazione intelligenti prodotte dalle maggiori aziende del settore. Tali soluzioni presentano notevoli vantaggi che derivano dalla facilità di integrazione in apparecchi domestici già in uso e in possesso degli utenti dal momento che emulano per forma, dimensioni e caratteristiche di attacco le sorgenti di illuminazione tradizionali. Inoltre, spesso, si tratta di sistemi ad interazione semplificata, mediante l'utilizzo di smartphone o telecomandi e mediante l'installazione di un hub/gateway informativo che, tramite poche operazioni di attivazione e configurazione della rete, consente di ottenere scenari di illuminazione domestica circadiana a portata di mano. Diversamente, gli svantaggi di queste soluzioni derivano principalmente dal fatto che non si tratta di prodotti particolarmente economici, di cui l'utente percepisca effettivamente un valore aggiunto o impatto sul suo stile di vita tale e benessere tale da attivare la necessità all'acquisto e quindi all'uso. Inoltre ulteriori limitazioni riguardano il flusso ottenibile da questi prodotti che risulta molto più basso rispetto alle sorgenti tradizionalmente utilizzate e non funzionale all'ottenimento di comfort e prestazioni visive mediante illuminazione ambiente e generale. Inoltre, l'inserimento di queste sorgenti negli apparecchi ne riduce ulteriormente il flusso configurando una soluzione finale non particolarmente efficiente ed efficace da un punto di vista degli aspetti sia visivi sia non-visivi dell'illuminazione.

In particolare si distinguono tre macro-categorie di sorgenti di illuminazione domestica in grado di modificare la temperatura correlata di colore o il colore della luce:

- Dim to Warm: sorgenti nate per emulare il comportamento delle tradizionali sorgenti ad incandescenza nel momento del dimming;
- Warm – Cold: sorgenti nate per variare la temperatura correlata di colore in maniera continua al fine di regolare il sistema circadiano;
- Full Colour: sorgenti nate per generare una moltitudine di colori e creare delle atmosfere luminose colorate di intrattenimento.

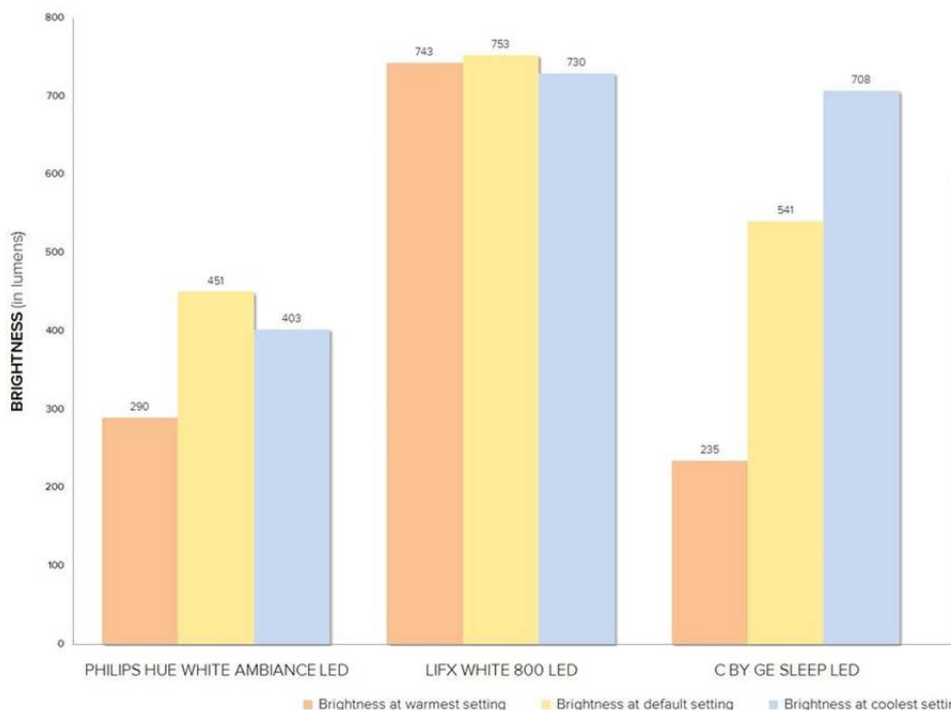
Per gli scopi di questa ricerca, analizzeremo le caratteristiche comparate dei prodotti (sorgenti di illuminazione) della categoria warm-cold e parzialmente le sorgenti full-colour.

**Tabella 1 Caratteristiche tecniche di alcune smart-lamp presenti sul mercato**

	<b>OSRAM Lightify Classic A60 tunable white</b>	<b>OSRAM Lightify Classic A60 RGBW</b>	<b>Philips Hue White Ambiance</b>	<b>LIFX WHITE 800 LED</b>	<b>LIFX White 900 BR30</b>	<b>CBYGE SLEEP LED</b>	<b>SLEEP COMPANION - HOLI</b>
Lumen (dichiarati)	810	810	806lm a 4000K 570lm a 2700K 340lm a 2000K 550lm a 6500K	890lm	950lm	730lm	700lm
Consumo (w)	9.5	10	10	11	12	11	-
Efficienza (lm/W)	85 lm/W	81 lm/W	80 lm/W a 4000K	80.9lm/ W	79.2 lm/W	77 lm/W	-
Temperatura di colore correlata warm – cold (dichiarata)	2700K – 6500K	2000K – 6500K	2000K – 6500K	2700K – 6500K	2700K – 6500K	2000K – 7000K	2500K – 6000K
Apertura di fascio	260°	260°	160° ±20°	139°	110°	-	-
Attacco	E27	E27	E27	E27	E26 (solo America)	-	E27
CRI (dichiarato)	>80	>85	>80 CRI tra 2000– 4000K	-	-	-	95 a 2700K 90 a 6500K
Range di dimmerabilità	5.4 – 100%	5.4 – 100%	5 – 100%	-	-	-	-
Durata di vita dichiarata (ore)	20000	20000	25000	25000	25000	-	40000
Prezzi	Circa 33€	Circa 34€	Circa 59.95€	Circa 29.99\$	Circa 39.99\$	Circa 70€ (4 sorgenti)	Circa 79€
Link	1	2	3	4	5	6_7	8

La tabella comparativa mostra chiaramente tre problemi fondamentali di queste sorgenti di illuminazione. Il primo è la variazione del flusso emesso in funzione della CCT: alcuni produttori ottengono performance luminose diverse (lumen), e di conseguenza valori di efficienza diversi, a seconda della temperatura correlata di colore utilizzata. In particolare, dai dati dichiarati da parte delle tre aziende Philips, Lifx, Ge per i prodotti considerati, risulta evidente una scelta di rapporto flusso/CCT molto diversa (Figura 2). Mentre la Philips Hue White Ambiance LED presenta un flusso massimo intorno ai 4000K (considerati come lo scenario di illuminazione di default), la CBYGE SLEEP LED presenta un flusso massimo alla temperatura correlata di colore più elevata. Diversamente la LIFX WHITE 800 LED presenta un flusso costante nelle tre temperature correlate di colore considerate. Questa differenza sostanziale nelle performance di

illuminazione delle tre sorgenti deriva a sua volta da una diversa selezione e miscela delle singole sorgenti LED e da un diverso rapporto numerico tra le stesse.



**Figura 2 Comparazione tra sorgenti di illuminazione diverse con bianco variabile: rapporto tra flusso/CCT<sup>9</sup>**

Inoltre, come chiaramente visibile da questa analisi comparativa rispetto ai dati forniti dai costruttori, le temperature correlate di colore ottenibili per simulare la luce naturale dall'alba al tramonto sono molto diverse e variano da produttore a produttore da un minimo di 2000K ad un massimo di 7000K. Le differenti opzioni derivano dalla selezione e dalla miscela di diversi LED inseriti all'interno del prodotto che a sua volta è funzione dell'economicità e fattibilità della sorgente di illuminazione. Sebbene in molti casi non sia dichiarata quale sia la selezione dei LED inserita all'interno dei prodotti di illuminazione, in alcuni casi è possibile risalire allo spettro e alla lunghezza d'onda dei singoli LED e alla quantità utilizzata per avere un'idea di come siano stati efficacemente miscelati.

Un esempio di questo è la selezione LED effettuata all'interno della C by GE Sleep LED che, si può ipotizzare, comprenda indicativamente 8 LED a CCT calda (2700K) per il bianco durante il giorno, 4 LED Ambra (per ottenere una temperatura di colore di 2000K utile per simulare l'alba e il tramonto) e 12 LED Freddi (7000K) per la luce fredda del mattino (vedi Figura 3). Diversamente, un altro esempio di selezione e miscela di LED è osservabile nel prodotto Sleep Companion di Holi (Figura 4) in cui compaiono 8 LED a temperatura di colore fredda (indicativamente 6500K) 8 LED a temperatura di colore calda (indicativamente 2700K) e 4 LED RGB per ottenere l'elevata resa cromatica dichiarata (95 a 2700K - 90 a 6500K).





**Figura 3 – LED inseriti all'interno della sorgente di illuminazione CBYGE SLEEP**



**Figura 4 - LED inseriti all'interno della sorgente di illuminazione CBYGE SLEEP**

Infatti uno dei sub-problemi più evidenti in queste soluzioni di illuminazione smart per luce biodinamica domestica deriva dalla ridotta resa cromatica soprattutto in condizioni di illuminazione fredda (ad elevate temperature di colore). Nella maggior parte dei prodotti esaminati, i produttori dichiarano una CRI minore di 80/85 e questo dato vuol dire che in alcune condizioni (tipicamente a temperature di colore calde) si otterranno rese cromatiche migliori rispetto a temperature di colore più fredde. Inoltre, come ormai noto, non è detto che uno spettro, sebbene la sua resa cromatica CRI sia elevata, renda i colori dell'ambiente domestico in maniera ottimale (spesso limitata resa cromatica del colore rosso – campione R9) oppure preferita (utilizzo di altri sistemi di misura come il TM-30 o il CQS).

Infine, ma non da ultimo, la questione della distribuzione luminosa di queste sorgenti di illuminazione che, nella maggior parte dei casi non sono in grado di sostituire esattamente una sorgente tradizionale ad incandescenza (con emissione diretta ed indiretta) ma, nel migliore dei casi presentano una distribuzione di tipo cardioide o con apertura a circa 260° (Osram Lightify). Nel caso in cui il fascio di distribuzione sia minore, la distribuzione della luce sarà prevalentemente diretta verso il basso e questo comporterà una non corretta distribuzione sia nell'ambiente in generale ma anche all'interno dell'apparecchio di illuminazione.

Ulteriori questioni attengono poi alle diverse configurabilità (presenza/assenza di HUB-Gateway di connessione), alle diverse modalità di comunicazione dati (Bluetooth, Wi-fi o Zigbee) oppure alla capacità di configurarsi e interfacciarsi sia con altri dispositivi (sensori) sia tra produttori differenti.

### 1.3 Approfondimento dei prodotti esistenti sul mercato domestico: apparecchi

Per quanto concerne la nicchia degli apparecchi di illuminazione a LED smart per l'illuminazione circadiana, come illustrato nell'attività A, esistono produttori noti che agiscono da pionieri nel mercato presentando una famiglia di prodotti domestici con LED integrati (motori luminosi diversi dalla sorgente da inserire nell'apparecchio di illuminazione). Al loro fianco, ci sono start-up e crowd-funding prevalentemente americane per singoli prodotti di illuminazione con funzionalità simili.

**Tabella 2 Caratteristiche di alcuni apparecchi di mercato per applicazioni domestiche**

	<b>PHILIPS PHOENICS table light</b>	<b>PHILIPS PHOENICS applique</b>	<b>PHILIPS PHOENICS Plafoniera</b>	<b>PHILIPS PHOENICS Sospensione</b>	<b>FLUXO SMART LAMP- Sospensione</b>	<b>SUNNlight Plafoniera - appliques</b>	<b>ARIO</b>
Lumen (dichiarati)	905 lm @ 4000K 768 lm @ 3000K 506 lm @ 2200K 710 lm @ 6500K	905 lm @ 4000K 768 lm @ 3000K 506 lm @ 2200K 710 lm @ 6500K	3155 lm a 4000K 1536 lm a 3000K 1012 lm a 2200K 1420 lm a 6500K	1810lm a 4000K 1536 lm a 3000K 1012 lm a 2200K 1420 lm a 6500K	800lm indiretta 2000lm diretta	3300lm – 5500lm	2400lm
Consumo (W)	8.7	8.7	30.4	17.4	-	30W – 50W	30W
Efficienza (lm/W)	78.97 lm/W @2700K	78.97 lm/W @2700K	78.97 lm/W @2700K	78.97 lm/W @2700K	79.2 lm/W	100/110 lm/W	80lm/W
Temperatu ra di colore correlata warm – cold (dichiarata)	2200K – 6500K	2200K – 6500K	2200K – 6500K	2200K – 6500K	2700K – 4000K	2700K 6500K	1800K – 6500K
Distribuzio ne	Diretta /indiretta diffusa	Diretta diffusa	Diretta /indiretta diffusa	Diretta /indiretta diffusa	Diretta (bianca W) /indiretta (colorata RGBW) diffusa	Diretta diffusa	Diretta /indiretta diffusa
CRI (dichiarato)	80 CRI (2200-	80 CRI (2200-	80 CRI (2200-	80 CRI (2200-	90 CRI	85 CRI	-

	6500K)	6500K)	6500K)	6500K)			
Prezzi	Circa 179.99€	Circa 127.99€	Circa 344.99€	Circa 348.99€	Circa 299-399€	Circa 349\$	Circa 219\$-398\$
Link	10	11	12	13	14	15_16	17

Da questa comparazione, risulta evidente che i prodotti di illuminazione a LED con funzionalità biodinamica stiano emergendo, soprattutto sul suolo americano, con prezzi e prestazioni più elevate rispetto alle sorgenti di illuminazione con particolare riferimento a: resa cromatica CRI dichiarata sempre superiore a 80 in tutte le temperature correlate di colore, distribuzione della luce nello spazio che nella maggior parte dei casi (tranne per le plafoniere ed applique) risulta sia diretta ed indiretta nell'ambiente. La distribuzione inoltre risulta, nella maggior parte dei casi, diffusa, questo determinando, da un lato, uniformità spettrale sia sulla superficie delle lampade sia nell'ambiente, ombre soffuse e non multiple ma minore controllo della distribuzione spaziale e quindi minore fattore di utilizzazione.

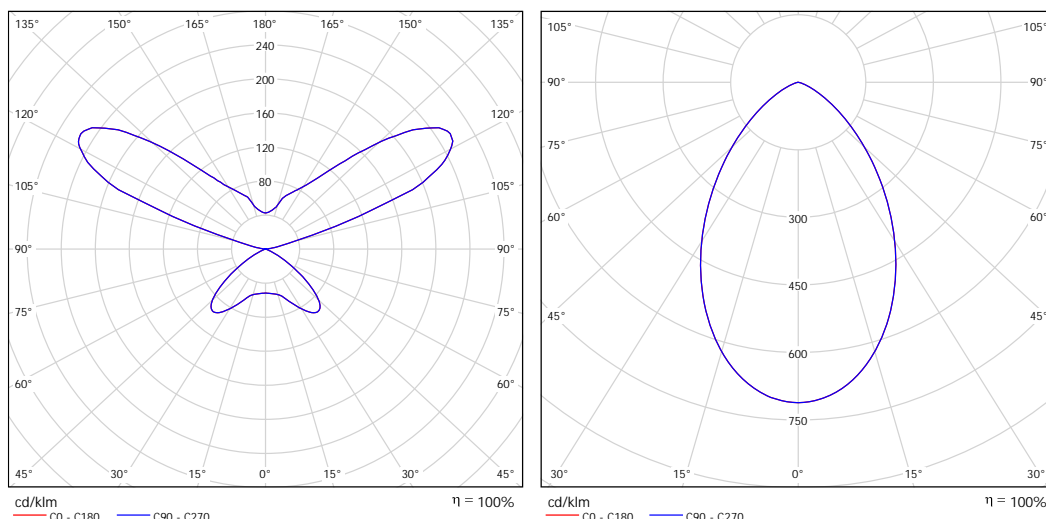
Anche nel caso di questi apparecchi di illuminazione, la variazione delle temperature correlate di colore (il cui range è sempre diverso in funzione dei brand) determina la variazione del flusso (quando dichiarato): nel caso di Philips Phoenix, ad esempio, il massimo del flusso è stato definito per una temperatura di colore di 4000K, sebbene non sia una CCT propriamente utilizzata in ambito domestico.

#### 1.4 Requisiti di progetto

Nel precedente punto B dell'attività di ricerca, è stata definita una famiglia/sistema di illuminazione a temperatura di colore variabile che possa essere estesa ai vari ambienti dell'abitazione e che sia utile alla performance visiva e al comfort visivo e agli effetti biodinamici non-visivi sugli anziani.

In particolare, sono state evidenziate due tipologie di apparecchi di illuminazione le cui fotometrie sono riportate di seguito:

- Apparecchio a sospensione con illuminazione diretta (1500lm) e indiretta (3000lm)
- Apparecchio task light con illuminazione focalizzata e localizzata (900lm)



**Figura 5 – A sinistra CDL dell'apparecchio di illuminazione a sospensione con emissione diretta ed indiretta; a destra CDL dell'apparecchio di illuminazione task**

Tali apparecchi di illuminazione, sono stati inseriti all'interno dell'abitazione del caso studio nelle varie stanze della casa (studio, soggiorno/cucina e camera da letto) e, mediante simulazione, sono stati già verificati i livelli di illuminamento sulle superfici di lavoro e le uniformità, i livelli di illuminamento

sull'occhio, nonché i livelli di abbagliamento e i livelli di luminanza sulle pareti rispetto agli oggetti luminosi per garantire comfort visivo.

Le caratteristiche più importanti da tenere in considerazione nel progetto di questi sistemi di illuminazione riguardano la qualità della luce ottenuta, sia in termini di miscelazione del bianco, sia di resa cromatica elevata e appropriata per un interno domestico. Per questo motivo la selezione dei LED da inserire nel motore luminoso risulta fondamentale al fine di garantire massima flessibilità al sistema di illuminazione, per ottenere un range di temperature di colore sufficientemente ampio (2500K- 10000K) e per poter modificare anche la Gamut Area dei bianchi al fine di ottenere colori più saturi.

Importante è anche il comfort visivo, la miscelazione dei LED e quindi una corretta uniformità spettrale e cromatica sulle superfici del soffitto e sulle superfici di lavoro con particolare attenzione alla trasformazione della distribuzione fotometrica al variare della temperatura di colore e, quindi, dell'accensione parzializzata dei singoli die.

### 1.5 Selezione dei LED

Per quanto concerne la selezione dei LED, si è optato per una customizzazione completa al fine di ottenere la massima adattabilità e configurabilità nei diversi sistemi di illuminazione (diretta, indiretta e task) precedentemente descritti. In particolare, si è quindi definito un sistema di illuminazione configurato sotto forma di matrice LED ripetibile in maniera modulare (con un gruppo di 4 LED ripetuto 6 volte sul MCPCB).

I 4 die che formano il modulo minimo del sistema di illuminazione sono stati selezionati per ottenere tutte le specifiche CCT da 2500K a 10000K con un buona resa cromatica (superiore a 80 CRI). I dettagli sono riportati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**<sup>1</sup>

**Tabella 3 Prestazioni dei LED selezionati riferiti a una corrente di alimentazione di 350 mA e temperatura di giunzione  $T_j=85^\circ$**

Tipologia	N.	Azienda	Prodotto	Codice	CCT	Ra	Efficienza (lm/W)	Flusso luminoso (lm) Flusso radiante (mW)
WARM WHITE (WW)	1	Lumileds	Luxeon C	L1C1-2780000000000	2700K	80	98	94
COLD WHITE (CW)	1	Lumileds	Luxeon C	L1C1-5790000000000	5700 K	90	94	93
ROYAL BLUE (RYL)	1	Lumileds	Luxeon C	L1C1-RYL1000000000	n.a.	n.a.	21	20.7 (533 mW)
PC-AMBER (PCA)	1	Lumileds	Luxeon C	L1C1-PCA1000000000	n.a.	n.a.	98	94

Le caratteristiche elettriche e termiche dei LED selezionati, per una temperatura di giunzione di 85°C e una corrente di alimentazione di 350mA, sono riportati alla Figura 6.

<sup>1</sup> <http://www.lumileds.com/uploads/571/DS144-pdf>

Table 3. Electrical and thermal characteristics for LUXEON C Colors at 350mA,  $T_j=85^\circ\text{C}$ .

PART NUMBER	FORWARD VOLTAGE <sup>(1)</sup> ( $V_f$ )			TYPICAL TEMPERATURE COEFFICIENT OF FORWARD VOLTAGE <sup>(2)</sup> (mV/ $^\circ\text{C}$ )	TYPICAL THERMAL RESISTANCE—JUNCTION TO SOLDER PAD ( $^\circ\text{C/W}$ )
	MINIMUM	TYPICAL	MAXIMUM		
L1C1-FRD1000000000	1.50	1.73	2.30	-1.7	2.8
L1C1-DRD1000000000	1.50	1.95	2.30	-1.7	2.8
L1C1-RED1000000000	1.75	2.00	2.50	-1.6	2.8
L1C1-RNG1000000000	1.75	2.05	2.50	-1.6	2.8
L1C1-AMB1000000000	1.75	2.05	2.50	-2.0	2.8
L1C1-PCA1000000000	2.50	2.75	3.50	-1.7	3.0
L1C1-MNT1000000000	2.50	2.75	3.50	-2.7	2.8
L1C1-LME1000000000	2.50	2.75	3.50	-2.7	2.8
L1C1-GRN1000000000	2.50	2.55	3.50	-2.4	3.5
L1C1-CYN1000000000	2.50	2.60	3.50	-2.4	3.5
L1C1-BLU1000000000	2.50	2.90	3.50	-2.6	3.5
L1C1-RYL1000000000	2.50	2.75	3.50	-1.7	2.8
L1C1-xxx000000000	2.50	2.75	3.50	-1.7	2.8

Notes for Table 3:

1. Lumileds maintains a tolerance of  $\pm 0.06\text{V}$  on forward voltage measurements.
2. Measured between  $25^\circ\text{C}$  and  $85^\circ\text{C}$ .

**Figura 6 Caratteristiche elettriche e termiche dei LED Lumileds Luxeon C, riferiti alla corrente di 350 mA e temperatura di giunzione di  $85^\circ\text{C}$ <sup>2</sup>**

Si è ipotizzato che durante il funzionamento solo una coppia di LED funzioni contemporaneamente:

- WW+CW per realizzare miscele a temperatura di colore compresa tra 2700K e 5700K
- CW+RYL per realizzare miscele a temperatura di colore tra 5700 K e 10000K
- WW+PCA per realizzare miscele a temperature di colore comprese tra 2500K e 2700K
- La combinazione WW+PCA consente di raggiungere anche temperature di colore inferiori a 2500K, ma con livelli di illuminamento inferiori a quelli ottenibili dalle combinazioni precedenti (questa funzionalità potrebbe essere utile solo in camera da letto per realizzare l'alba artificiale al risveglio o per ridurre la stimolazione del sistema circadiano nelle ore serali, prima dell'addormentamento)

Nelle situazioni in cui è richiesto l'utilizzo dei LED RYL, la loro attivazione risulta alquanto modesta, pari a 2.529lm per ottenere la massima temperatura di colore (10000K) in corrispondenza di una emissione di 100lm per i LED CW, mentre per il LED PCA, il valore minimo della temperatura di colore (2500K) del sistema è ottenuto con una emissione di 27.40 lm, in corrispondenza di una emissione pari a 100lm per il LED WW.

Il flusso emesso dall'apparecchio dipende essenzialmente dal flusso emesso dai LED WW e risulta pari a 94lm per ciascun LED per una temperatura di giunzione di  $85^\circ\text{C}$  e una corrente di alimentazione di 350mA, mentre il flusso sale a 164.5lm quando il componente è alimentato alla corrente di 700mA a parità di temperatura di giunzione.

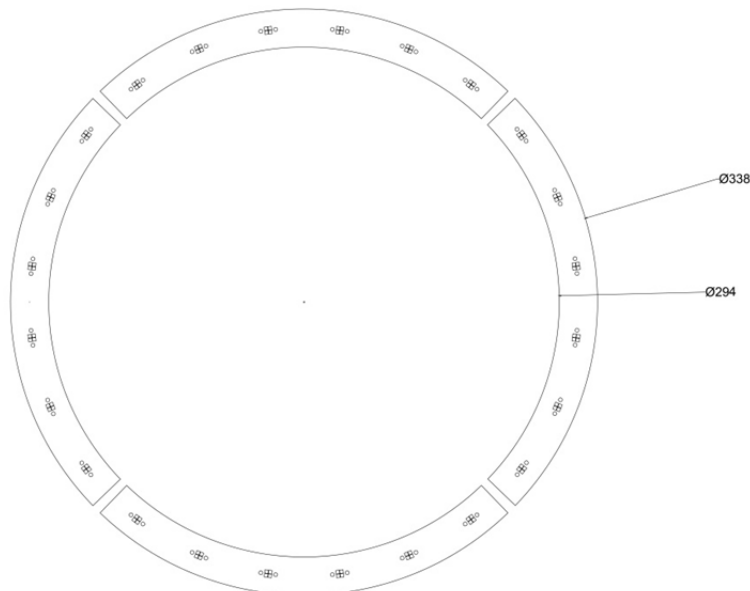
Per quanto riguarda l'emissione diretta, sono stati previsti 24 moduli da 4 LED ciascuno (WW+CW+PCA+RYL) per un totale di 2256lm, quando l'apparecchio è alimentato alla corrente di 350mA e per una temperatura di giunzione pari a  $85^\circ\text{C}$ . La potenza assorbita dai LED (WW) per la massima emissione diretta risulta pari a  $0.350\text{A} \cdot 2.75\text{V} \cdot 24 = 23.1\text{W}$ .

L'apparecchio che realizza l'emissione indiretta prevede l'impiego di 24 moduli da 4 LED ciascuno (WW+CW+PCA+RYL), per un totale di 3948lm, quando l'apparecchio è alimentato alla corrente di 700mA e per una temperatura di giunzione pari a  $85^\circ\text{C}$ . La potenza assorbita dai LED (WW) per la massima emissione diretta risulta pari a  $0.700\text{A} \cdot 2.75\text{V} \cdot 24 = 46.2\text{W}$ .

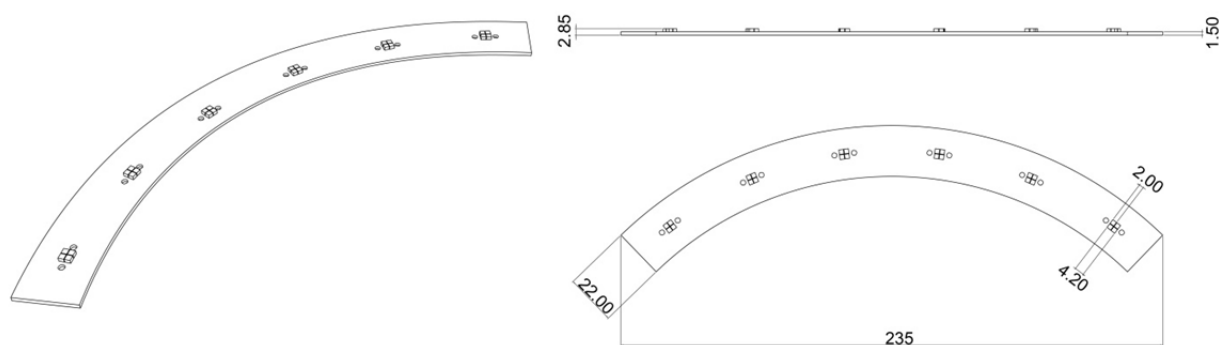
<sup>2</sup> <http://www.lumileds.com/uploads/571/DS144-pdf>

### 1.6 Customizzazione del PCB

Il dimostratore prevede la realizzazione di un MCPCB a forma di arco (lo stesso sia per l'emissione diretta, sia per quella indiretta), su cui sono montati 6 gruppi di LED (WW+CW+PCA+RYL): i 24 gruppi di LED per ciascuna emissione sono montati su 4 MCPCB su di un anello di alluminio che funge da dissipatore. L'interfaccia termica tra MCPCB e dissipatore è realizzata mediante bi-adesivo termico che garantisce anche il fissaggio meccanico.



**Figura 7 – Disposizione circolare dei singoli moduli del MDPCB utilizzati sia per l'emissione diretta sia per l'emissione indiretta. Misure in mm**



**Figura 8 – Dimensionamento del singolo modulo di MCPCB con visualizzazione della disposizione dei 6 gruppi da 4 LED.**

Le ottiche sono fissate al MCPCB mediante bi-adesivo mentre il corretto allineamento rispetto al gruppo di LED viene realizzato mediante due perni in plastica predisposti sulla lente e i corrispondenti fori sul MCPCB.

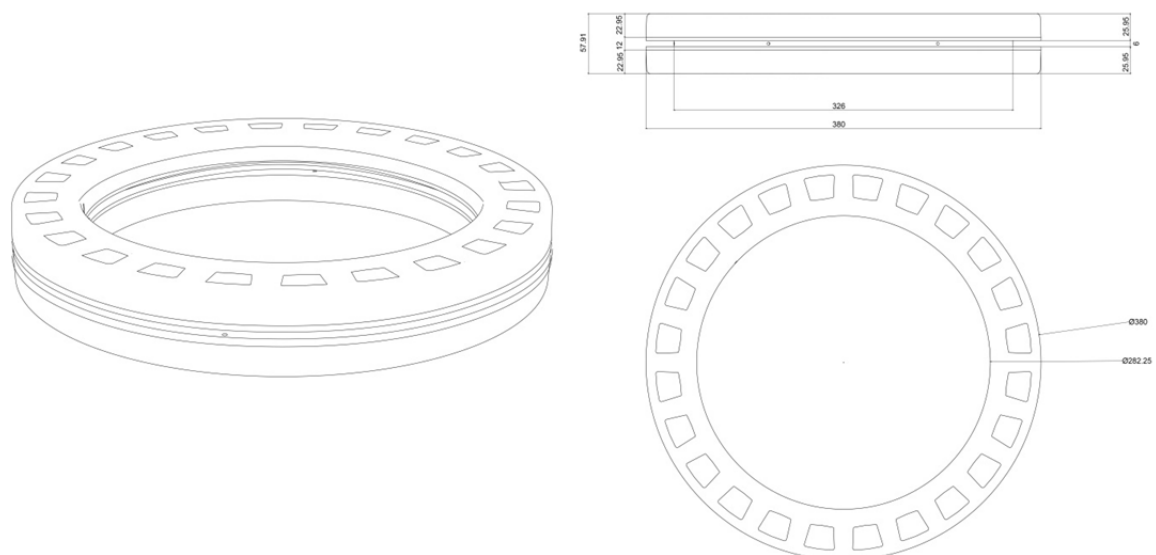
### 1.7 Ottica

Il sistema ottico è costituito da due moduli: uno per l'emissione indiretta verso il plafone e uno per l'emissione diretta verso le superfici di lavoro orizzontali. Più nel dettaglio il sistema di illuminazione diretta utilizza 24 riflettori di tipo LEDIL CN14338 RITA WAS RZ disposti sui 24 gruppi di LED posizionati sul MCPCB mentre il sistema di illuminazione indiretta utilizza 24 riflettori di tipo LEDIL CN 14332 RITA A RZ. (Figura 10)

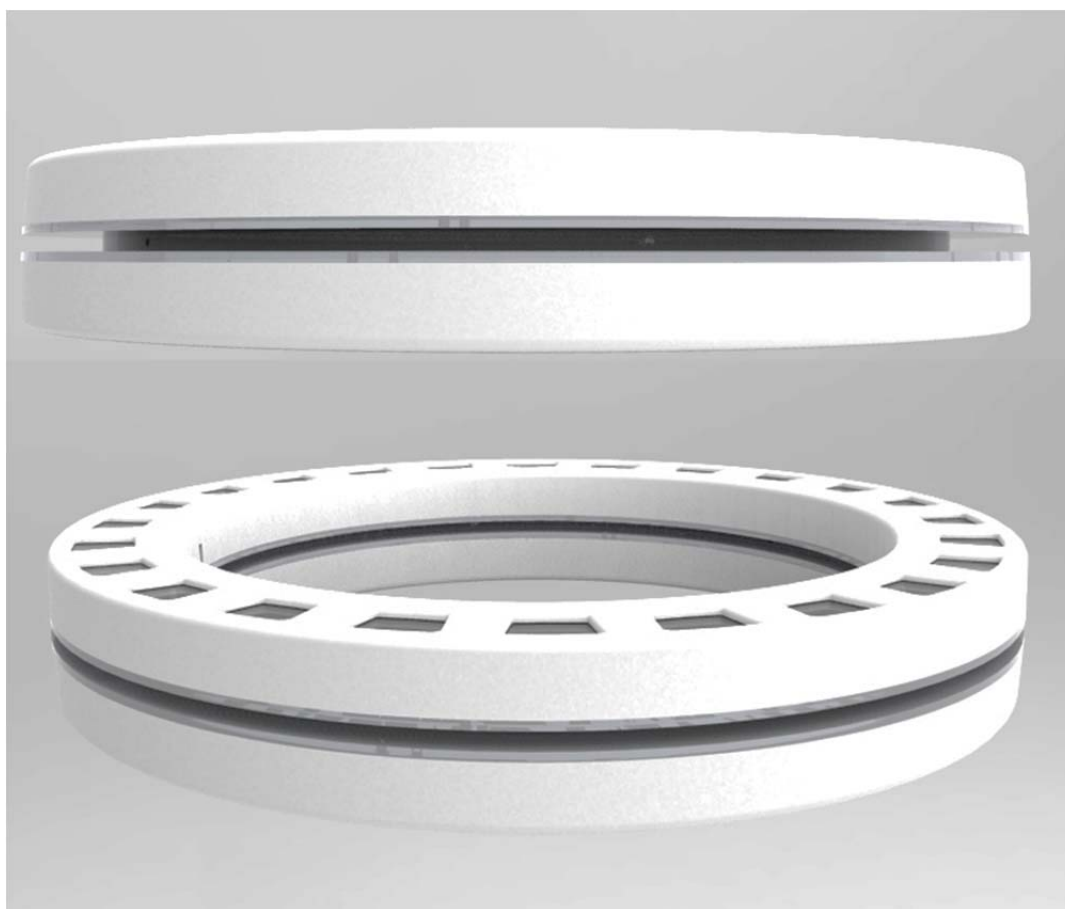




**Figura 9 – Modulo di illuminazione diretta con 24 ottiche LEDIL CN 14332 RITA A RZ**



**Figura 10 - Dimensionamento dei sistemi ottici di illuminazione diretta e indiretta**



**Figura 11 - Sistemi ottici di illuminazione diretta e indiretta**

L'anello superiore (emissione indiretta) è costituito da 24 riflettori uniformemente distribuiti su una circonferenza di diametro 330mm, mentre la parte del sistema ottico responsabile dell'emissione diretta, risulta composta da 24 ottiche disposte in maniera radiale su di una circonferenza del diametro esterno di 380mm. I due riflettori considerati realizzano un'emissione asimmetrica, motivo per il quale non è stato necessario inclinare ciascuna ottica, con una conseguente semplificazione della geometria dell'intero apparecchio.

Il rendimento dell'ottica LEDIL CN14338 RITA WAS RZ, risulta pari a 79%, mentre quello relativo all'altro riflettore risulta di poco superiore e pari a 81%: questi valori rappresentano un buon compromesso, tra efficienza, dimensione del componente, capacità di miscelazione e distribuzione del flusso luminoso funzionale a garantire un'adeguata percezione del compito visivo per soggetti anziani.

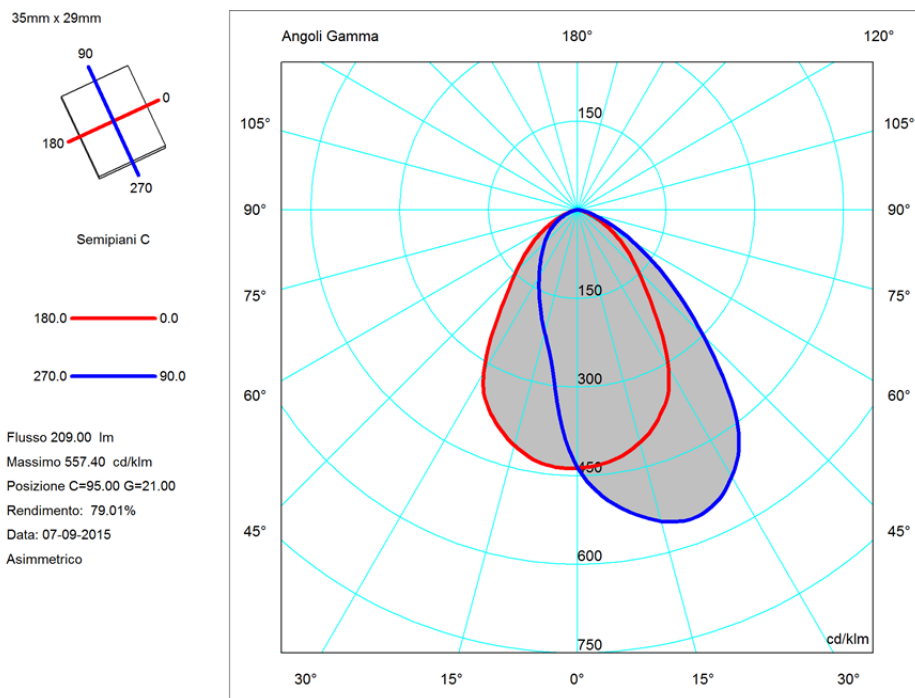
Il flusso emesso dall'apparecchio, in condizioni di massima intensità, risulta quindi pari a  $2256\text{lm} \cdot 0.79 = 1782.24\text{lm}$  per il modulo diretto e pari a  $3948\text{lm} \cdot 0.81 = 3197.88\text{lm}$  per quello indiretto.

La scelta dei riflettori, ha preso in considerazione sia la limitazione dell'abbagliamento, valutata tramite l'indice UGR, sia la necessità di produrre sull'occhio dell'osservatore un illuminamento sufficiente all'attivazione del sistema circadiano in funzione delle diverse temperature di colore che si possono riscontrare nell'ambiente domestico nelle varie ore della giornata. Per i dettagli sui livelli di attivazione, timing e selezione della temperatura di colore, si rimanda alle relazioni delle precedenti attività A e B.

La valutazione dell'abbagliamento dell'apparecchio è stata effettuata considerando accese sia l'emissione diretta, sia quella indiretta, supponendo ciascun modulo regolato alla massima emissione.

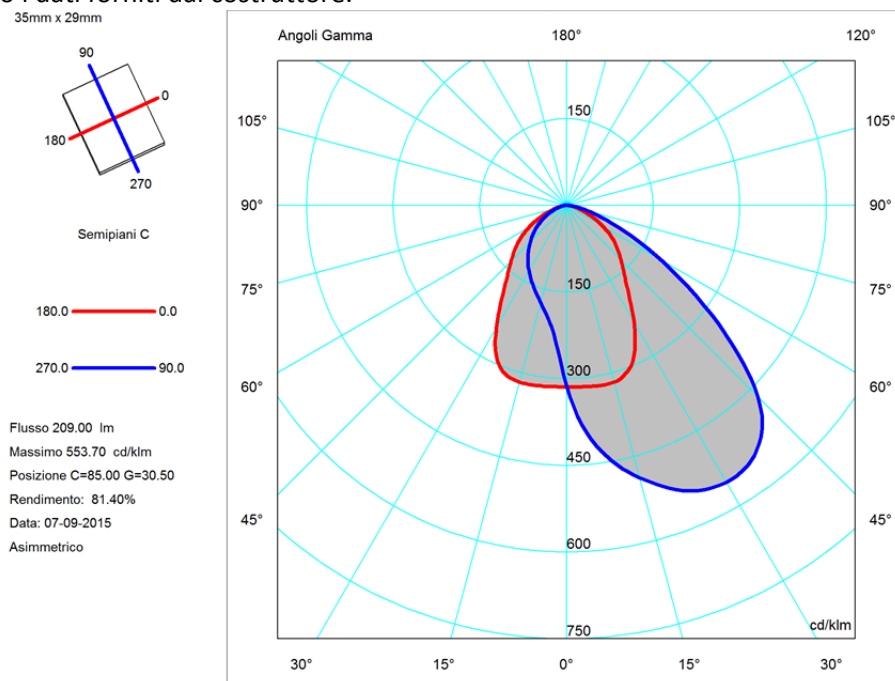
La distribuzione fotometrica del riflettore CN14338, nei piani  $C0^\circ\text{-}180^\circ$  e  $C90^\circ\text{-}270^\circ$  è riportata alla Figura 12, considerando i dati forniti dal costruttore.





**Figura 12 Distribuzione del riflettore CN 14338 RITA WAS RZ (dati: LEDIL) nei piani C0°-180° e C90°-270°**

La distribuzione fotometrica del riflettore CN14332, nei piani C0°-180° e C90°-270° è riportata alla Figura 13, considerando i dati forniti dal costruttore.



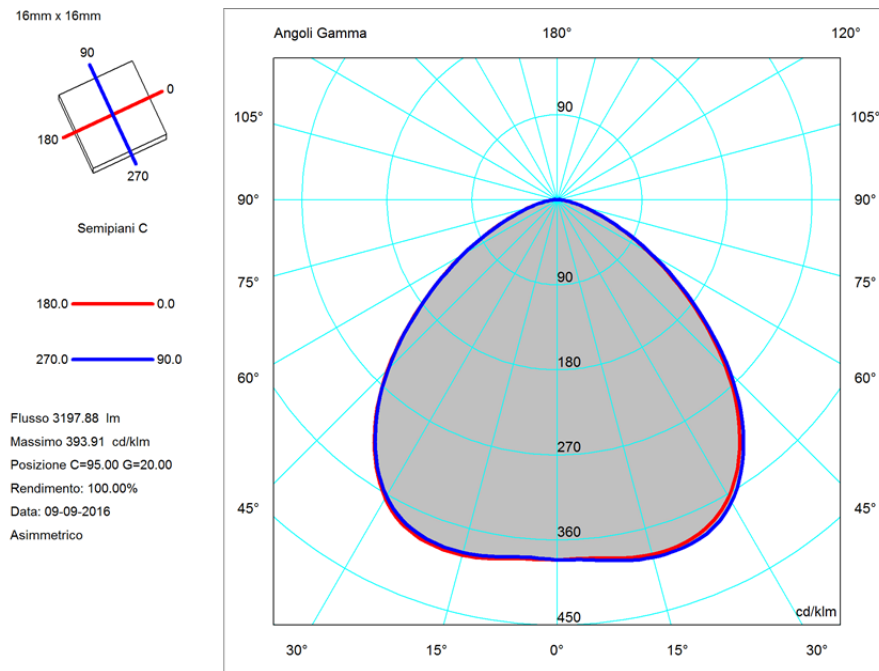
**Figura 13 Distribuzione del riflettore CN 14332 RITA A RZ (dati: LEDIL) nei piani C0°-180° e C90°-270°**

La combinazione delle singole fotometrie<sup>3</sup>, sia per la componente diretta, sia per quella indiretta, producono le distribuzioni fotometriche riportate alla Figura 15 e alla Figura 14.

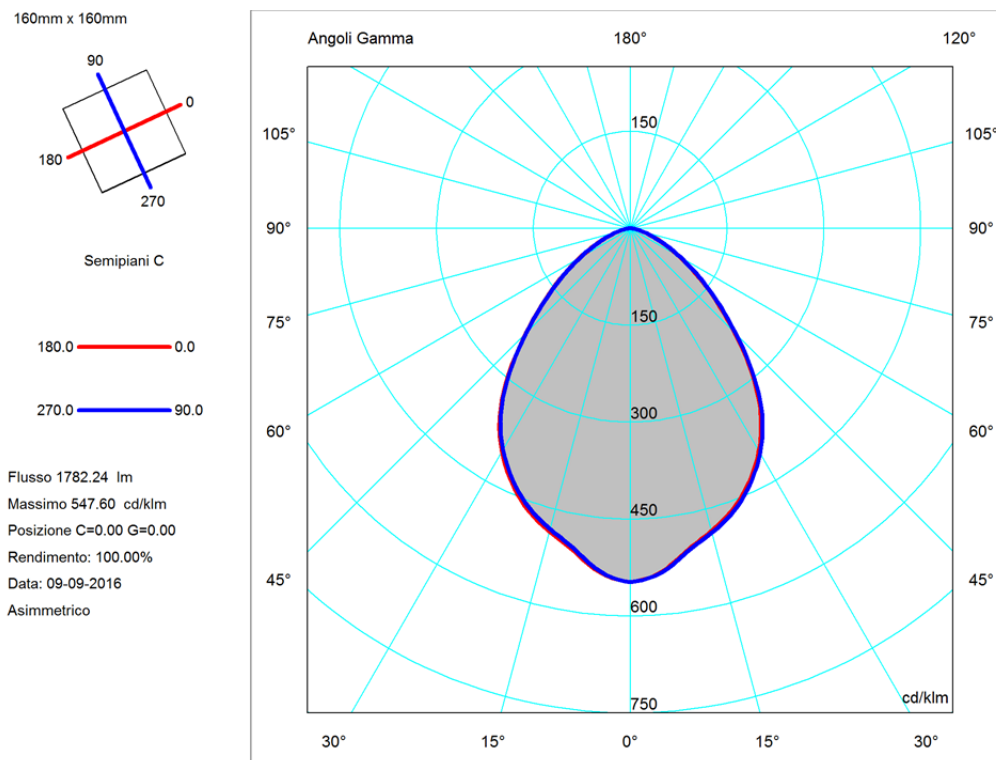
<sup>3</sup>Per le elaborazioni sono stati considerati i dati fotometrici forniti dal costruttore, rilevati alla corrente di 210mA con l'accensione contemporanea dei 4 LED (il costruttore riporta i dati relativi a una configurazione RGBW con Luxeon C)

Le distribuzioni fotometriche riportate, tengono in considerazione i rendimenti delle ottiche e il flusso emesso in ciascun emisfero tiene conto delle due differenti correnti di alimentazione ed è riferito a una temperatura di giunzione di  $T_j=85^\circ\text{C}$ .

La disposizione lungo una circonferenza delle singole ottiche (emissione diretta e indiretta) e il materiale con cui sono realizzate, dovrebbero garantire una buona simmetria di rotazione del solido risultante anche quando i LED di ciascun dispositivo risultano parzialmente attivi.



**Figura 14** Indicatrici di emissione nei piani C0°-180° e C90°-270° dell'emissione indiretta, risultante dalla composizione delle emissioni delle singole ottiche.



**Figura 15** Indicatrici di emissione nei piani C0°-180° e C90°-270° dell'emissione diretta, risultante dalla composizione delle emissioni delle singole ottiche.

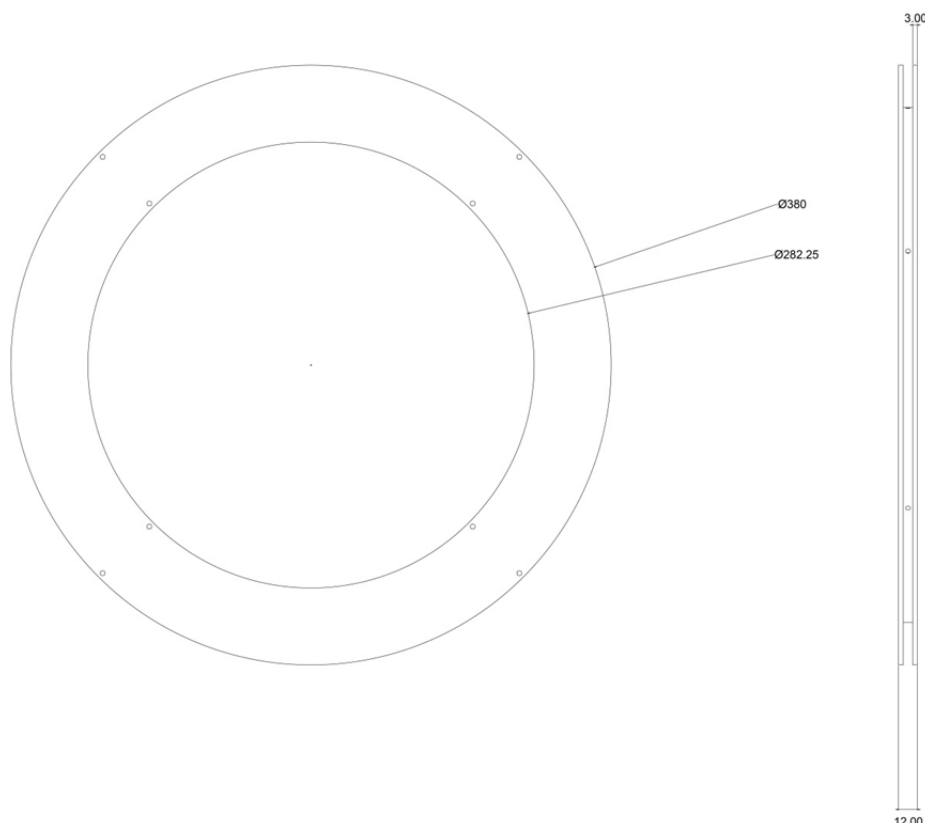
Le due fotometrie proposte realizzano una semplificazione delle distribuzioni fotometriche inizialmente ipotizzate (Figura 5) e sono il risultato della combinazione di diversi aspetti:

- Miscelazione dell'emissione dei diversi LED
- Rendimento del singolo componente ottico in relazione alla sua capacità di miscelare i colori e di non "deformare" la propria emissione quando le sorgenti LED risultano solo parzialmente accese (accensione di 1 o 2 LED su quattro)
- Area luminosa della superficie emittente, al fine di garantire il contenimento dell'abbagliamento
- Montaggio delle componenti ottiche senza inclinazioni, in modo da semplificare al massimo la geometria dell'apparecchio al fine di contenere le dimensioni del sistema e i costi di prototipazione del dimostratore
- Ricerca delle componenti commerciali più performanti e adatte alle specifiche prima di considerare la progettazione di un componente ad-hoc, con i conseguenti costi aggiuntivi di prototipazione.

Le due fotometrie proposte sacrificano in parte l'uniformità sui compiti visivi (che in ogni modo rimane più che sufficiente) rispetto alle fotometrie di riferimento, ma allo stesso tempo, consentono di soddisfare in modo soddisfacente i requisiti precedentemente elencati.

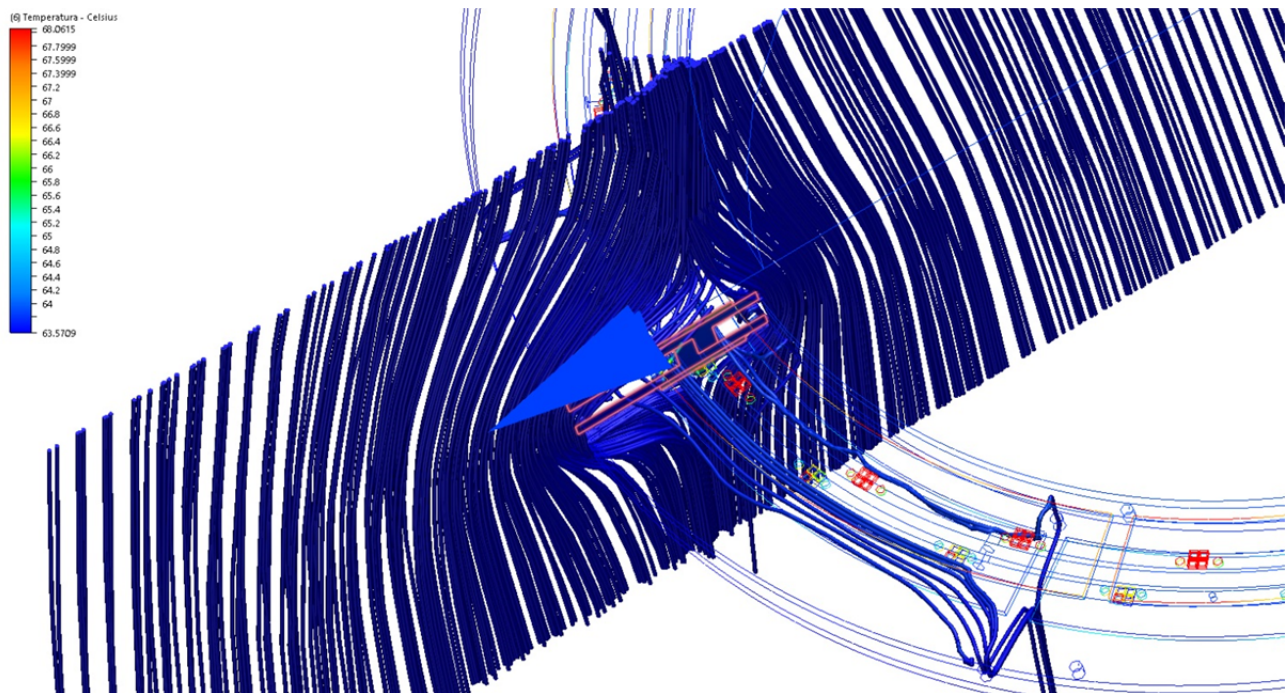
### 1.8 Gestione termica

Il dissipatore è costituito da due anelli di alluminio di diametro esterno di circa 380mm sovrapposti l'uno sull'altro mediante un'aletta di giunzione utile all'aumento dello scambio termico con l'aria, all'aumento della superficie dissipante e all'unione meccanica delle due parti (modulo di illuminazione diretta e modulo di illuminazione indiretta) che, eventualmente, potrebbero anche utilizzare singolarmente (o in altre configurazioni/applicazioni).



**Figura 16 - Dimensionamento e caratteristiche del dissipatore per la gestione termica del dimostratore**

Il disegno del dissipatore è stato concepito al fine di limitare al massimo le dimensioni e la quantità di materiale, al fine di ottenere un sistema abbastanza compatto e leggero che, al tempo stesso, garantisca una migliorata estrazione del calore dalla parte centrale del sistema in cui sono posizionati i LED. La Figura 17 rappresenta il movimento simulato dell'aria e quindi dell'estrazione del calore dal LED verso l'esterno. La rappresentazione di una sezione del dissipatore dimostra che l'aria, oltre a lambire le superfici laterali del sistema di dissipazione tende ad entrare nell'incavo formato dalle due superfici generando dei moti di estrazione del calore dalla parte centrale. Questo favorisce una migliorata dissipazione dei LED, sia per la parte di emissione diretta, sia per la parte di emissione indiretta.



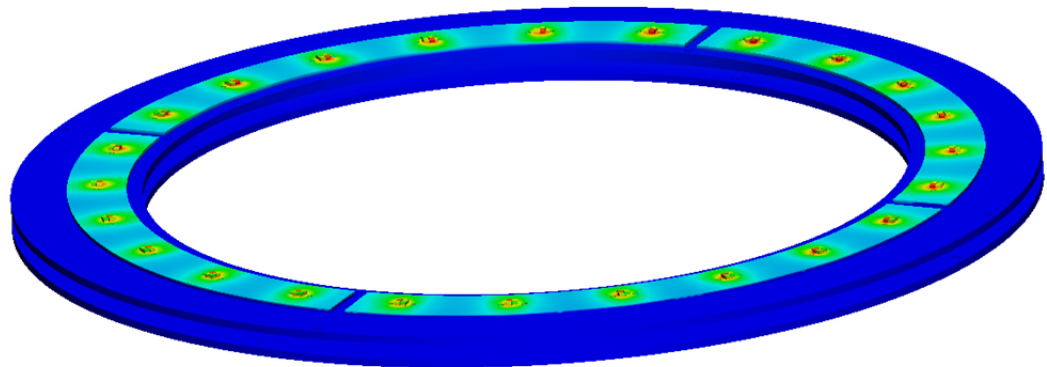
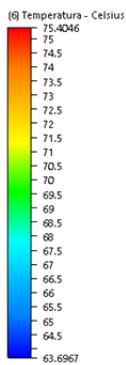
**Figura 17 – Movimento simulato dell'aria e quindi del calore in una sezione del dissipatore. L'aria tende ad entrare tra le superfici in cui sono posizionati i MCPCB e ad estrarre il calore muovendosi lungo il canale interno per poi uscirne.**

Tale sistema di dissipazione è in grado di garantire una temperatura di giunzione dei LED inferiore a 85°C, quando un solo LED di ciascun gruppo è alimentato alla corrente nominale di 350mA per l'emissione diretta e di 700mA per quella indiretta. Il dimensionamento del componente è stato effettuato considerando accese contemporaneamente la componente diretta e quella indiretta.

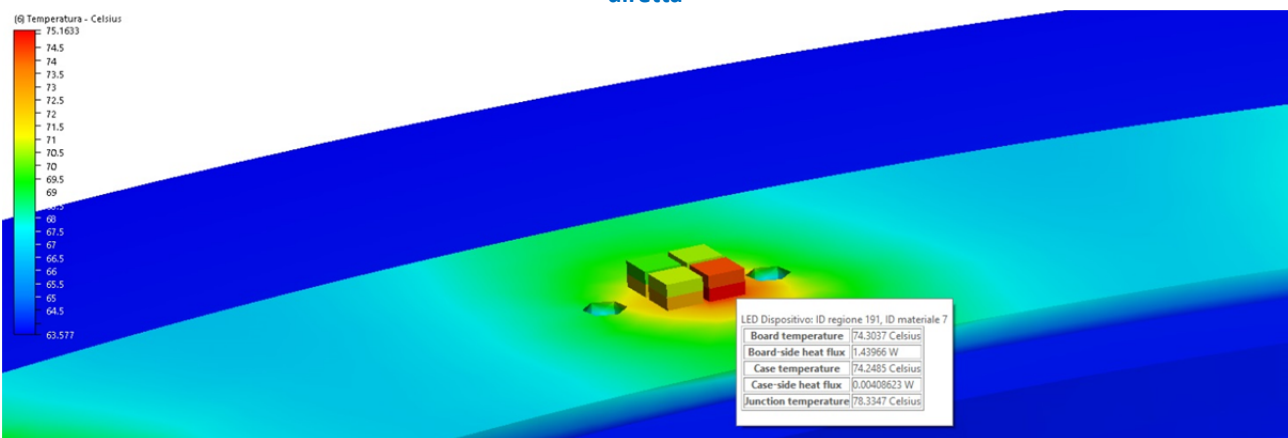
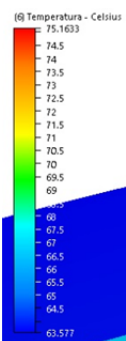
La situazione descritta è quella in cui effettivamente funziona il dispositivo:

- Nella modalità di bianco dinamico si hanno sempre accesi solo due LED (WW o CW), oppure WW e PCA o un CW e un RYL, ma non alla massima potenza .
- Nella modalità di funzionamento per la realizzazione dell'alba artificiale o per la luce notturna solo il PCA funziona alla massima corrente di 350mA o 700mA a seconda che si consideri l'emissione inferiore o quella superiore dell'apparecchio.

Il valore di temperatura di giunzione assicura il soddisfacimento delle performance luminose in termini di flusso luminoso emesso, durata e mantenimento di tali prestazioni nel tempo.



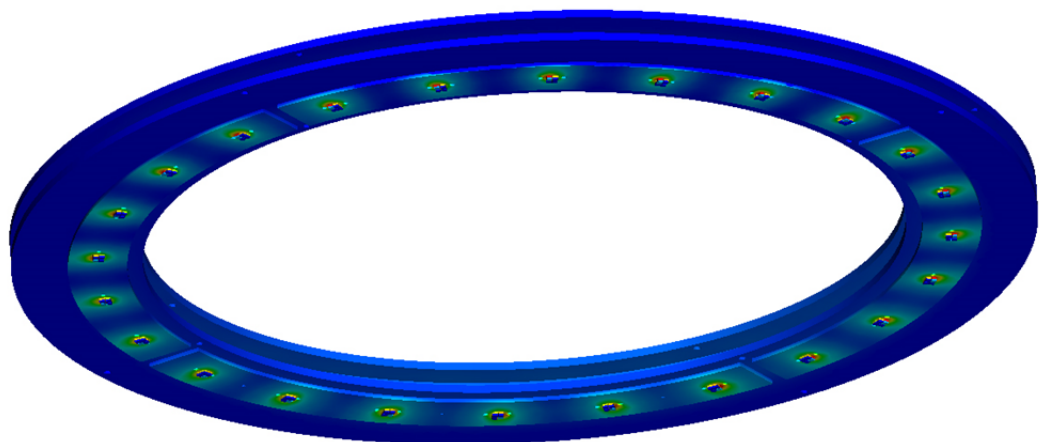
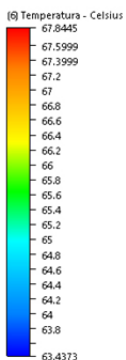
**Figura 18 - Simulazione termica (CFD Design) che rappresenta la temperatura del MCPCB per l'emissione diretta**



**Figura 19 - Simulazione termica del sistema di illuminazione diretta con evidenziate la temperatura del MCPCB nelle immediate vicinanze al LED e la temperatura di giunzione del LED**

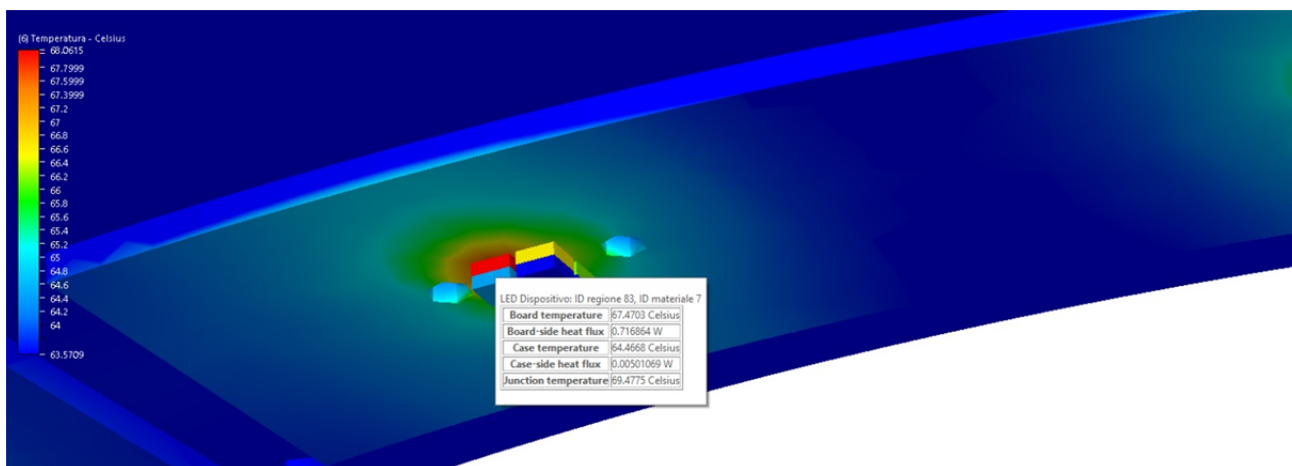
La massima temperatura raggiunta sul PCB per l'emissione indiretta, in corrispondenza del gruppo di LED, risulta pari a 74.3°C, valore ampiamente compatibile con il materiale delle ottiche. Il valore di temperatura di giunzione sul LED acceso è pari a 78.3°C. (Figura 18- Figura 19)

La massima temperatura raggiunta sul PCB per l'emissione indiretta, in corrispondenza del gruppo di LED, risulta pari a 67.5°C, valore ampiamente compatibile con il materiale delle ottiche. Il valore di temperatura di giunzione sul LED acceso è pari a 69.5°C.



**Figura 20 - Simulazione termica (CFD Design) che rappresenta la temperatura del MCPCB per l'emissione indiretta**



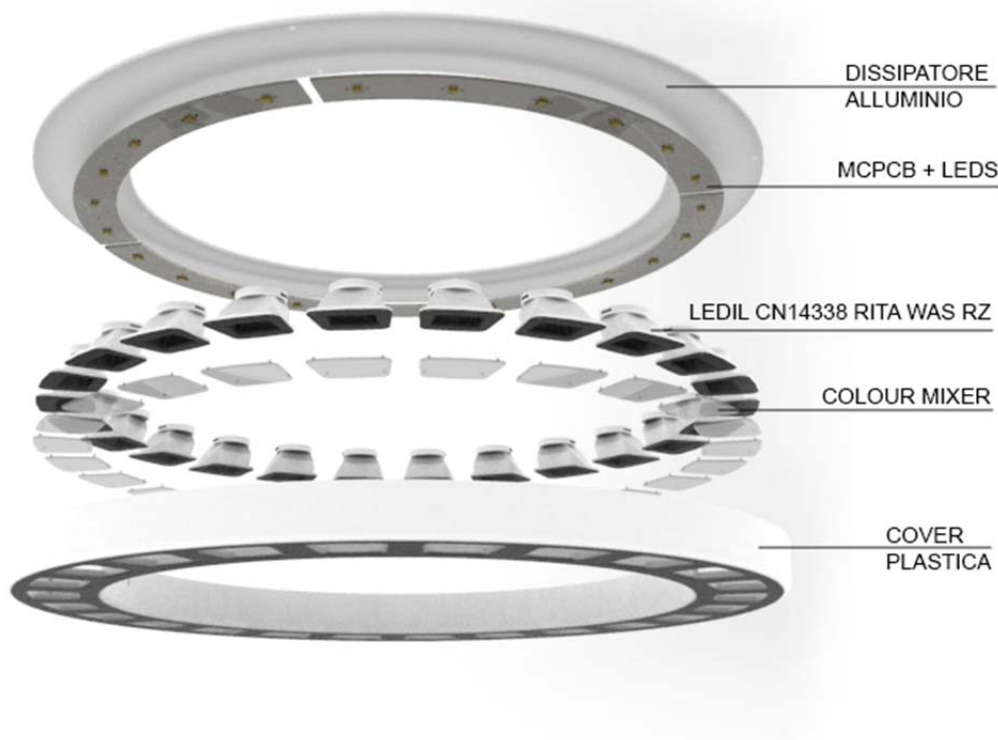


**Figura 21 - Simulazione termica del sistema di illuminazione indiretta on evidenziate la temperatura del MCPCB nelle immediate vicinanze al LED e la temperatura di giunzione del LED**

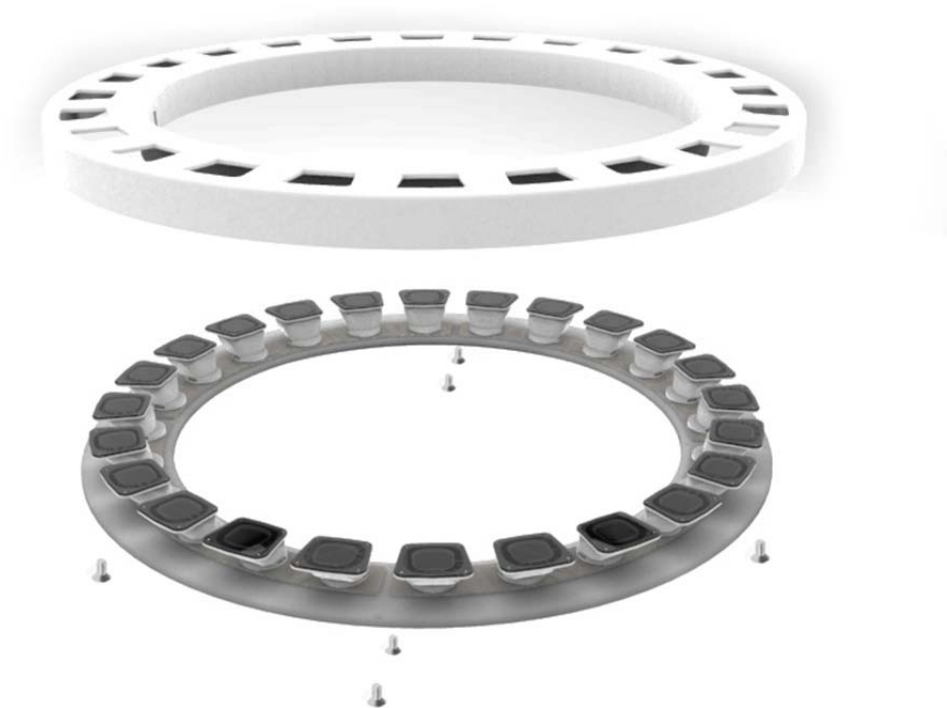
### 1.9 Design

Il dimostratore è stato disegnato con l'intento di ottenere un prototipo funzionale e funzionante cercando di limitare i costi per la costruzione dello stesso. La forma complessiva è stata studiata in modo da limitare le dimensioni e la pesantezza sia materica che visiva del sistema di illuminazione. Inoltre si è studiato un sistema di customizzazione che permette di "vestire" i motori luminosi in base alle preferenze ed esigenze dei singoli individui.

Come precedentemente descritto, il dimostratore è costituito da due elementi di illuminazione sovrapposti che hanno una conformazione simile e simili componenti: un modulo di illuminazione diretta e un modulo di illuminazione indiretta. In Figura 22 è riassunta e visualizzata la lista dei componenti principali del modulo di illuminazione diretta; in Figura 23 viene riportato l'assieme del dissipatore equipaggiato da LED ed ottica con la cover.



**Figura 22 - Esploso del modulo di illuminazione indiretta**

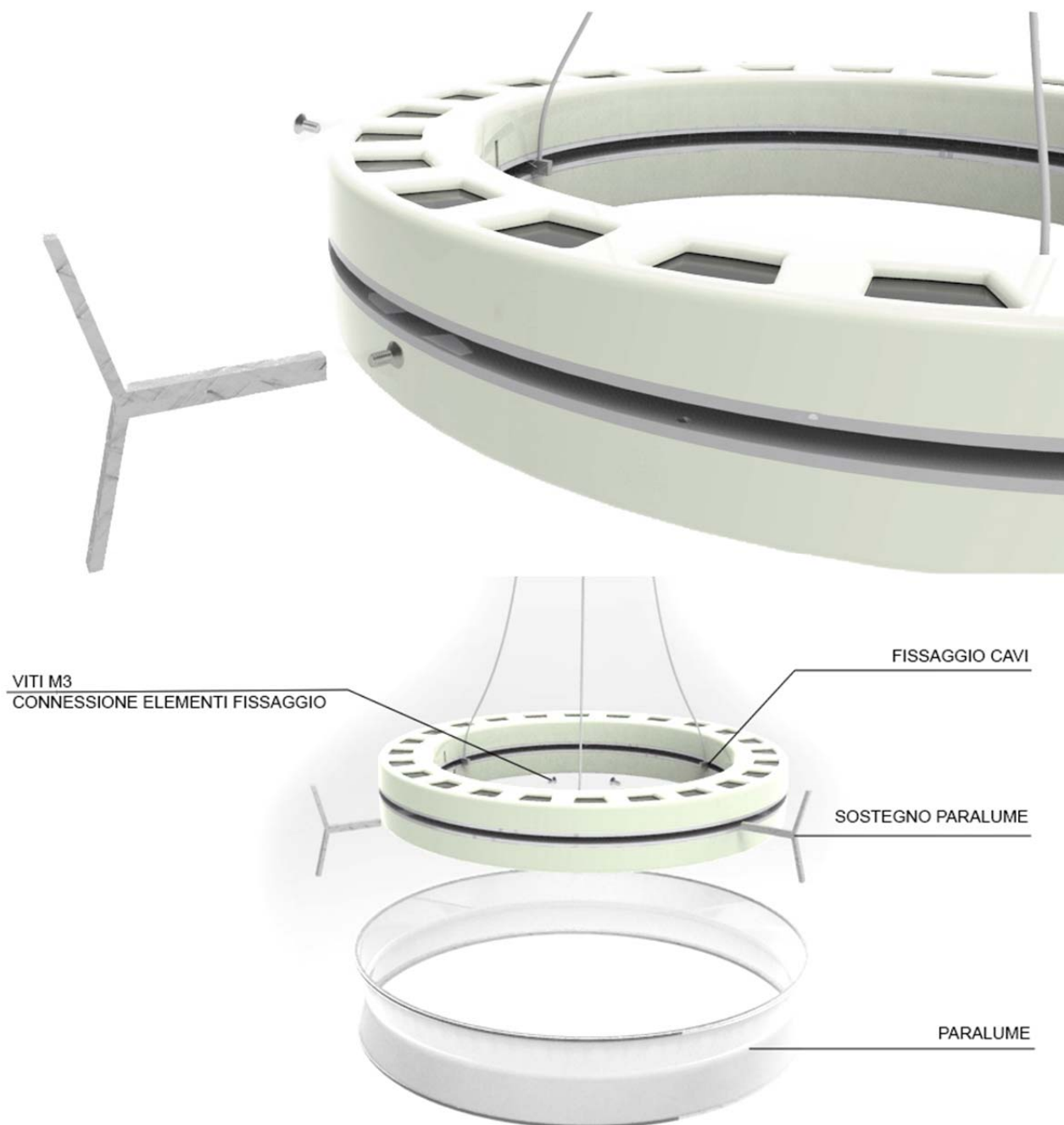


**Figura 23 - Visualizzazione dell'assembling del sistema di illuminazione indiretta**

I due sistemi di illuminazione diretta ed indiretta sono equipaggiati dalle seguenti componenti:

- Dissipatore di alluminio inferiore (simile a quello superiore) che funge anche da elemento strutturale su cui vengono fissati i MCPCB e le ottiche;
- 4 circuiti MCPCB per la parte superiore e 4 circuiti MCPCB per la parte inferiore esattamente identici ma ruotati di  $7.5^\circ$  l'uno rispetto all'altro per migliorare la dissipazione termica. Il MCPCB è stato dotato di specifici fori per il centraggio delle ottiche e di un connettore agli estremi per semplificare il cablaggio del dimostratore. In una versione successiva, tali MCPCB potrebbero anche ospitare il LED driver a corrente costante al fine di ridurre gli ingombri del vano ausiliari elettrici.
- Ottiche asimmetriche in materiale plastico complete di schermo per color mixing;
- Cover di copertura inferiore in materiale plastico (simile a quello superiore) per cui è prevista una doppia funzione: meccanica di fissaggio delle ottiche e di protezione da polvere e da contatti indesiderati delle parti elettriche, ed estetica, dal momento che potrebbe essere utilizzato senza ulteriori elementi accessori (es. paralume).

I due sistemi di illuminazione diretta e indiretta vengono completati e assemblati separatamente e successivamente avviene la connessione degli stessi tramite apposite viti di fissaggio da inserire nella parte centrale del dissipatore come giunzione meccanica. Tramite gli stessi fori è possibile aggiungere una struttura di connessione e fissaggio del paralume all'esterno dei moduli di illuminazione (opzionale) e un sistema di fissaggio dell'apparecchio nella parte interna dei moduli di illuminazione per la sospensione con cavi in acciaio (Figura 24).



**Figura 24 - Esploso degli elementi di sostegno e fissaggio cavi e paralume**

Il sistema di illuminazione può essere utilizzato senza paralume e quindi consiste dei soli sistemi di illuminazione diretta e indiretta (Figura 25). In questo caso le dimensioni di massima dell'intero apparecchio sono 58mm di altezza x 380mm di diametro.

Diversamente, inserendo il paralume personalizzabile (Figura 26) che consente di rendere unico ciascun apparecchio e di meglio adattarsi ai differenti ambienti della casa in cui verrà installato, le dimensioni di massima dell'intero apparecchio sono 83mm di altezza x 442mm di diametro (Figura 27).

Il paralume è stato dimensionato in modo da non incidere sulla fotometria del sistema ottico, tenendo in considerazione le ampiezze e gli orientamenti dei fasci di illuminazione delle ottiche del sistema di diretta e di indiretta (Figura 28). Senza incidere sul volume della fotometria delle ottiche, è possibile disegnare e



personalizzare colori, finiture e forme del paralume (la cui forma, dimensione, colore e finitura visualizzata nella presente relazione è solo a scopo di esempio).

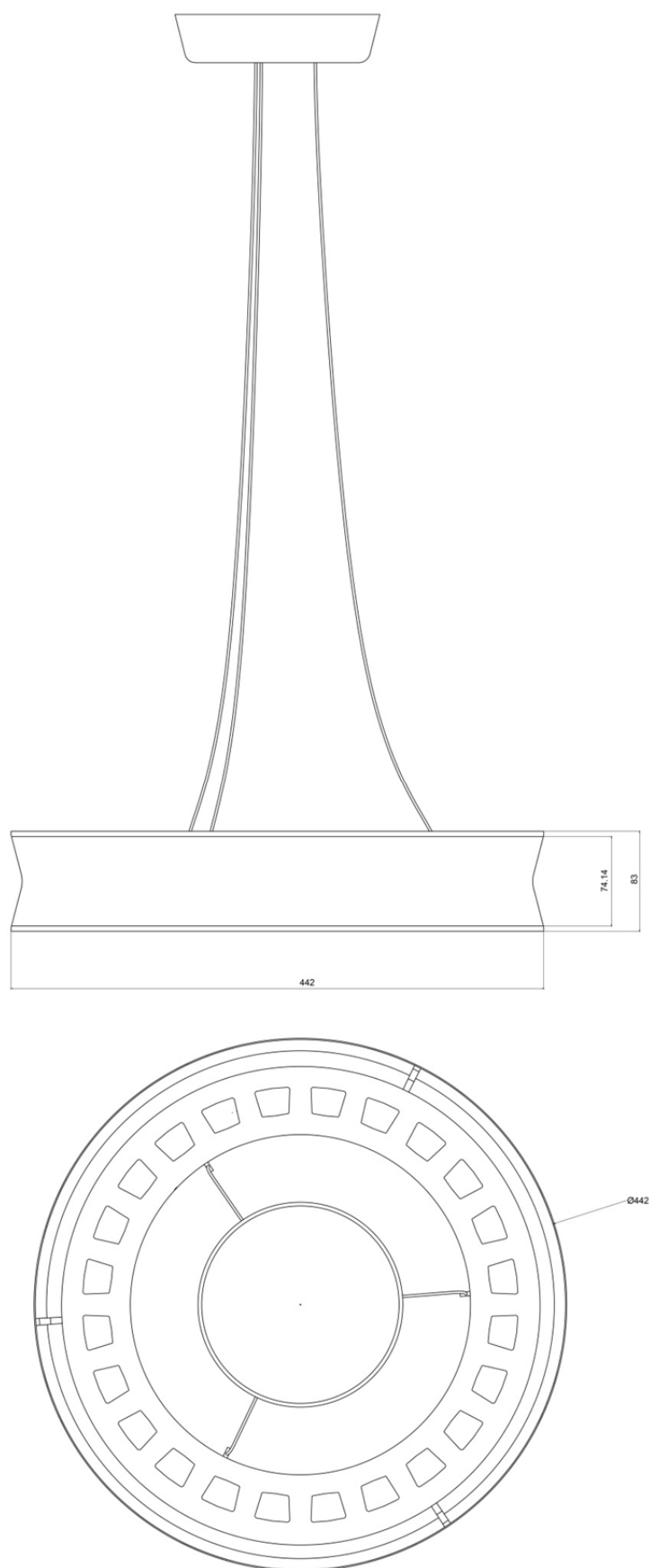


**Figura 25 – Visualizzazione dell'apparecchio costituito dal sistema di illuminazione diretta e indiretta**

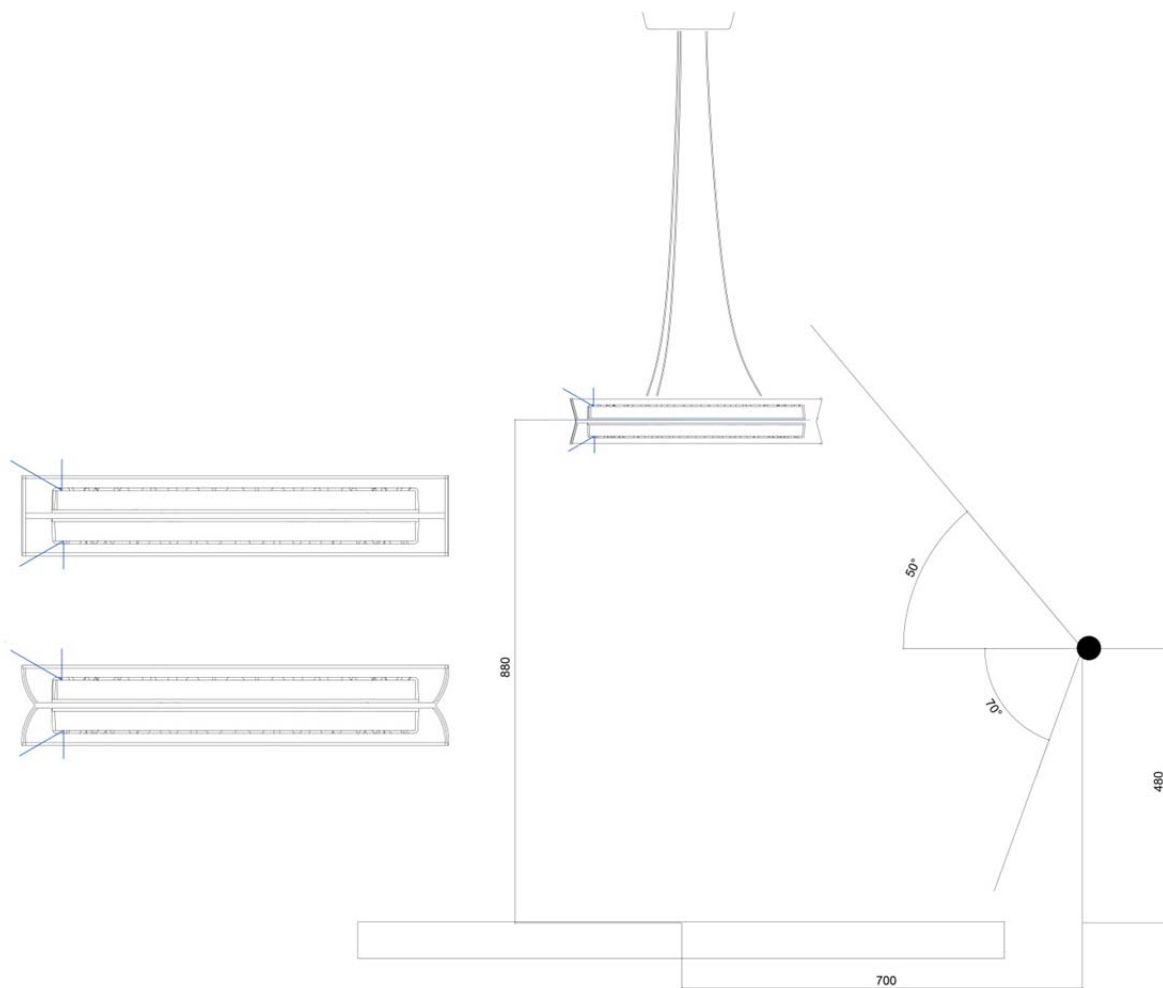


**Figura 26 – Visualizzazione dell'apparecchio costituito dal sistema di illuminazione diretta e indiretta e dal paralume**

Infine, il vano ausiliari elettrici è fissato al soffitto e ospita 3 LED driver a 4 canali ed eventualmente il modulo di controllo del sistema CASAMBI per la creazione dei diversi scenari luminosi. In questo modo è possibile una gestione separata di ciascuna metà dell'anello con regolazioni indipendenti sia per la parte di emissione diretta sia per quella indiretta.



**Figura 27 - Dimensionamento complessivo del dimostratore completo di paralume decorativo (opzionale)**



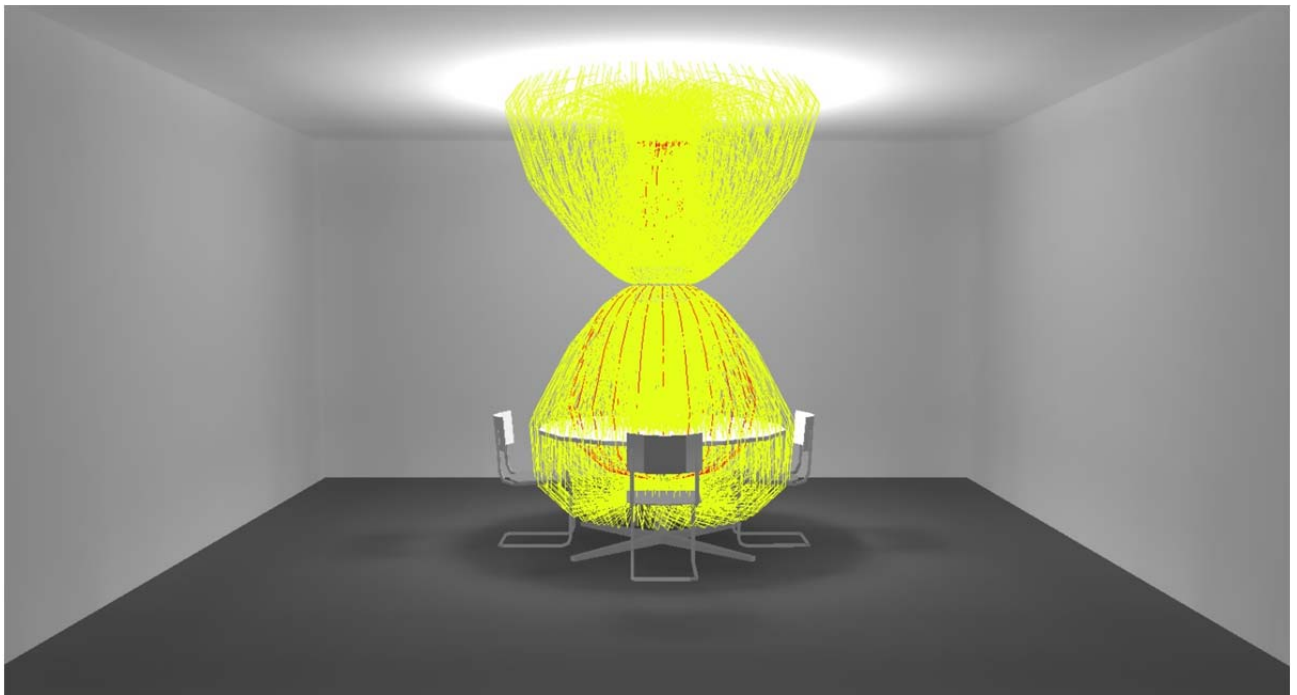
**Figura 28 - Dimensionamento del paralume e eventuali diverse morfologie dello stesso. Misure in mm**

### *1.10 Simulazioni illuminotecniche*

Le caratteristiche fotometriche dell'apparecchio progettato sono state inserite all'interno di un programma di simulazione illuminotecnica (Dialux), all'interno di una scena semplificata che rappresenta un ambiente domestico (stanza 5m x 5m con un tavolo e 4 sedie). I fattori di riflessione di arredi e pareti (influenzano la quantità di luce inter-riflessa e quindi la luminanza di background valutata nell'indice di abbagliamento) sono i seguenti:

- pareti 50%
- pavimento 20%
- soffitto 70%
- arredi 50%

L'apparecchio è stato inserito al centro della stanza, sospeso sul tavolo, ad un'altezza da terra di 1.6m e una distanza dalla superficie del tavolo di 0.88m.



**Figura 29- Modello di simulazione realizzato con Dialux: posizionamento centrale nella stanza dell'apparecchio di illuminazione, un tavolo e quattro postazioni**

Le performance del prodotto sono valutabili attraverso l'esame di una serie di parametri:

- Illuminamento medio e uniformità sul piano del tavolo, che si assume essere il compito visivo degli utenti seduti su ciascuna delle quattro sedie
- Illuminamento verticale all'altezza dell'occhio per 4 osservatori seduti: tale valore serve a verificare se i soggetti sono attivati o meno qualora fossero seduti attorno al tavolo. Il livello di attivazione dipende dalla particolare ora della giornata (contributo di luce naturale e temperatura di colore), dalle condizioni del cielo (coperto, sereno) e dal periodo dell'anno considerato. Per i dettagli, si veda quando descritto nell'attività di ricerca B.
- Valutazione del livello di abbagliamento per i quattro osservatori, utilizzando, come metrica di valutazione, l'indice UGR. Il valore limite fissato tra 22 e 26 ed è un compromesso tra la necessità di avere elevati valori di attivazione sull'occhio degli osservatori e contenimento dell'abbagliamento e del consumo energetico dell'apparecchio.
- Occorre infatti considerare che i livelli di illuminamento sull'occhio dell'osservatore dipendono sia dalla componente diretta (luce che dalla sorgente raggiunge l'occhio) sia da quella indiretta (la luce raggiunge l'occhio provenendo dalle superfici del locale). L'aumento della componente diretta, sebbene energeticamente efficiente<sup>4</sup>, comporta un aumento della luminanza dell'apparecchio (a parità di dimensione dell'area luminosa) e quindi un aumento dell'abbagliamento: il soggetto sarà certamente attivato dal punto di vista circadiano, ma anche fortemente disturbato dall'apparecchio di illuminazione, con possibile riduzione della capacità di svolgere il compito visivo (lavoro sul piano del tavolo). L'attivazione degli osservatori può anche essere raggiunta tramite un aumento della componente indiretta (nel progetto tale componente dipende essenzialmente dall'emissione dell'anello superiore) producendo 3 effetti principali:
  - Attivazione degli osservatori (anche se in maniera meno efficiente rispetto al caso precedente, occorre più potenza elettrica e quindi più flusso per aumentare il livello di illuminamento all'occhio). Dato il tipo

<sup>4</sup> Significa che è necessario un incremento di poca potenza elettrica per avere un aumento del livello di illuminamento sull'occhio.

di applicazione (domestica) non è realistico pensare che un singolo centro luminoso impegni una potenza superiore a 100 W, pur considerando che il suo compito non sarà solo quello di garantire un livello di illuminamento adeguato sul compito visivo, ma anche di attivare il sistema circadiano degli osservatori. Occorre comunque osservare che il prodotto proposto offre comunque un livello di efficienza del sistema ottico (di solito le plafoniere domestiche offrono rendimenti del 50%-60%) e di gestione termica superiori ai prodotti normalmente presenti nelle abitazioni.

- Miglioramento dell'uniformità sul piano del tavolo (anche se in generale occorre considerare che una componente indiretta troppo elevata all'interno di un ambiente tenderà ad attenuare i contrasti, rendendo più uniforme l'aspetto del locale)
- Diminuzione del livello di abbagliamento (la luminanza del background  $L_b$  compare nella formula dell'UGR al denominatore. Inoltre le ottiche dell'anello superiore non contribuiscono con la loro luminanza  $L$  alla sommatoria che dipenderà solo dalla componente diretta)

$$UGR = 8 \cdot \log \left( \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right)$$

- La scarsa efficienza energetica di questa soluzione appare chiara considerando che un aumento del 33% del valore di  $L_b$  comporta una riduzione dell'indice di abbagliamento di un sol punto.

Il controllo dell'abbagliamento può essere ottenuto anche agendo sulla componente diretta, aumentando l'area della superficie luminosa e parità di distribuzione fotometrica e di flusso emesso: tuttavia, data l'applicazione, le dimensioni dell'apparecchio non potranno essere molto maggiori di quella proposta, al fine di evitare che sembri troppo opprimente soprattutto in ambienti di piccole dimensioni. Si è infatti deciso di utilizzare, nei principali ambienti della casa, il medesimo set di prodotti (economia di produzione).

Sulla base dell'esame della Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33 possiamo concludere che l'apparecchio è in grado di garantire il superamento della soglia di attivazione circadiana in modo indipendente dalla temperatura correlata di colore e senza contributo di luce naturale per osservatori che sono seduti attorno al tavolo. Il sistema progettato è infatti in grado di garantire un illuminamento verticale di 300 lux agli occhi dell'osservatore. Il valore medio di illuminamento sul compito visivo risulta pari a 613 lux con una uniformità  $E_{min}/E_{med}=0.55$ , valori più che adeguati per compiti visivi impegnativi, svolti da soggetti anziani. Valori più levati, senza aumento di abbagliamento, possono essere ottenuti con l'impiego di una task light. Il livello di abbagliamento risulta pari a 26, nelle condizioni peggiori (posizione degli osservatori seduti intorno al tavolo, assenza di contributo di luce naturale) e considerando l'apparecchio regolato per il massimo valore di flusso luminoso emesso.



Figura 30 – Rappresentazione a falsi colori dell’illuminamento all’interno della stanza per la simulazione illuminotecnica

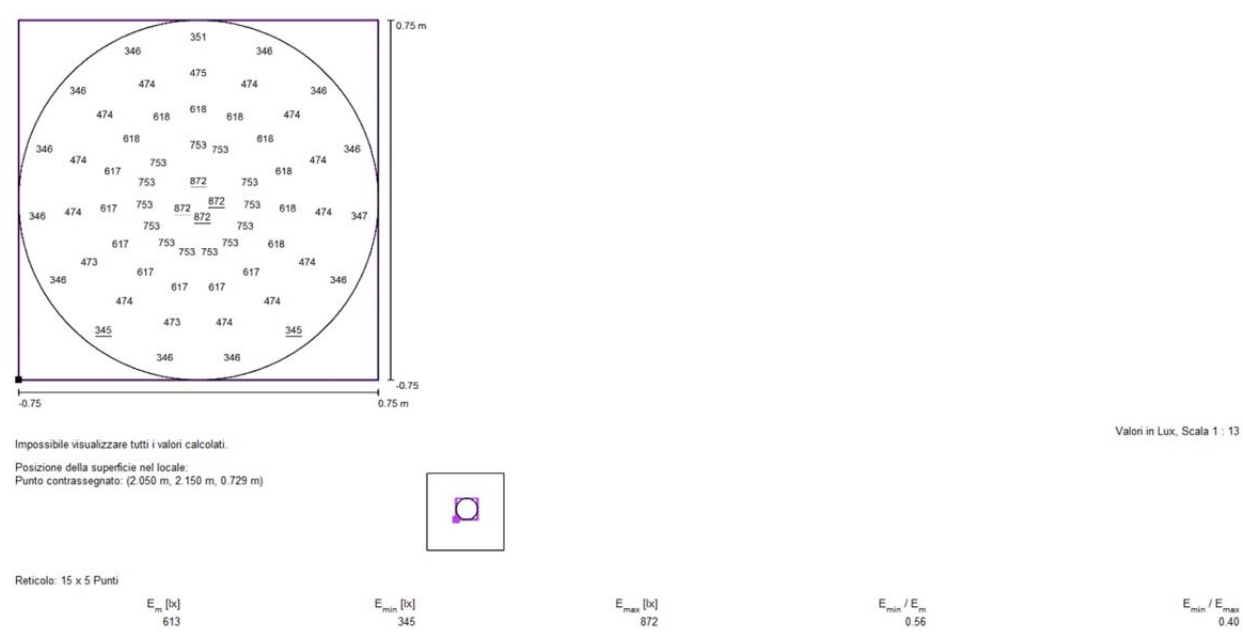
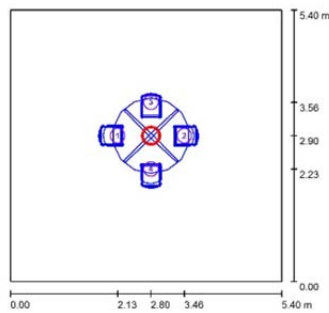


Figura 31 –Valori di illuminamento medio, minimo e massimo e uniformità ottenute sulla superficie del tavolo



Scala 1 : 62

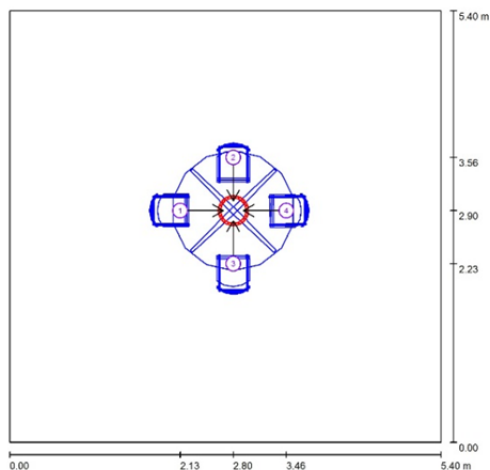
**Lista dei punti di calcolo**

No.	Denominazione	Tipo	Posizione [m]			Rotazione [°]			Valore [lx]
			X	Y	Z	X	Y	Z	
1	Punto di calcolo verticale 1	verticale, piano	2.135	2.900	1.200	0.0	0.0	-0.1	300
2	Punto di calcolo verticale 2	verticale, piano	3.465	2.900	1.200	0.0	0.0	180.0	299
3	Punto di calcolo verticale 3	verticale, piano	2.800	3.565	1.200	0.0	0.0	-90.0	299
4	Punto di calcolo verticale 4	verticale, piano	2.800	2.235	1.200	0.0	0.0	90.0	300

**Riepilogo dei risultati**

Tipi di punti di calcolo	Numero	Medio [lx]	Min [lx]	Max [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
Verticale, piano	4	300	299	300	1.00	1.00

**Figura 32 - Illuminazione misurata sull'occhio di quattro soggetti seduti intorno al tavolo.**



Scala 1 : 39

**Elenco punti di calcolo UGR**

No.	Denominazione	Posizione [m]			Linea di mira [°]	Valore
		X	Y	Z		
1	Punto di calcolo UGR 1	2.135	2.900	1.200	0.0	26
2	Punto di calcolo UGR 2	2.800	3.565	1.200	-90.0	26
3	Punto di calcolo UGR 3	2.800	2.235	1.200	90.0	26
4	Punto di calcolo UGR 4	3.465	2.900	1.200	180.0	26

**Figura 33 - Valore di abbagliamento UGR per quattro soggetti seduti intorno al tavolo nella stanza modello di simulazione**

## 2 Allegati

Alla presente relazione si allegano i seguenti documenti:

- Allegato C1.7z,  
cartella contenente Schizzi, disegni e rendering inerenti le proposte sviluppate nell'attività C in formato .pdf
- Allegato C2.7z,  
cartella contenente il modello 3D di assieme in formato di interscambio .step del progetto derivante dalla fase C
- Allegato C3.7z,  
cartella contenente i file fotometrici simulati al computer in formato di interscambio .ies relativi al progetto sviluppato in fase C

### 3 Referenze bibliografiche

- 
- <sup>1</sup> [http://o4osram.com.au/Content/datasheets/OSRAM\\_1157454\\_LIGHTIFY\\_CLA\\_60\\_TW\\_E27.pdf](http://o4osram.com.au/Content/datasheets/OSRAM_1157454_LIGHTIFY_CLA_60_TW_E27.pdf)
  - <sup>2</sup> [http://o4osram.com.au/Content/datasheets/OSRAM\\_1157455\\_LIGHTIFY\\_CLA\\_60\\_RGBW\\_E27.pdf](http://o4osram.com.au/Content/datasheets/OSRAM_1157455_LIGHTIFY_CLA_60_RGBW_E27.pdf)
  - <sup>3</sup> <http://www2.meethue.com/it-it/productdetail/philips-hue-white-and-color-ambiance-starter-kit-e27>
  - <sup>4</sup> <http://www.lifx.com/products/white-800?variant=933783339>
  - <sup>5</sup> <http://www.lifx.com/pages/white-900-br30-info-sheet>
  - <sup>6</sup> <https://www.cbyge.com/products/c-sleep>
  - <sup>7</sup> <https://www.cbyge.com/pages/faqs>
  - <sup>8</sup> <https://www.holimotion.com/SleepCompanion>
  - <sup>9</sup> <http://www.cnet.com/pictures/philips-hue-white-ambiance-led-bulbs-let-you-set-the-tone-pictures/6/>
  - <sup>10</sup> <http://www2.meethue.com/it-it/productdetail/philips-hue-phoenix>
  - <sup>11</sup> <http://www2.meethue.com/it-it/productdetail/philips-hue-phoenix>
  - <sup>12</sup> <http://www2.meethue.com/it-it/productdetail/philips-hue-phoenix>
  - <sup>13</sup> <http://www2.meethue.com/it-it/productdetail/philips-hue-phoenix>
  - <sup>14</sup> <https://www.kickstarter.com/projects/2128753402/fluxo-the-worlds-first-truly-smart-lamp/description>
  - <sup>15</sup> <http://sunnlight.com/>
  - <sup>16</sup> <https://www.kickstarter.com/projects/sunn/sunn-lights-sync-with-the-rhythm-of-the-sun/description>
  - <sup>17</sup> <https://www.kickstarter.com/projects/arioliving/ario-smart-lighting-better-health>