

Candidato: Giovanni Pistorelli
Matricola: 203542

POLITECNICO DI MILANO
Facoltà del Design
Corso di Laurea Specialistica in Disegno Industriale



SISTEMA LED MODULARE PER L'ILLUMINAZIONE URBANA

Relatore: Prof. Gianni Forcolini

Anno Accademico 2009-2010

*Ai miei genitori e a mio fratello.
A Silvia.
A Manu e Giorgio.*

*Ringraziamenti:
Prof. G. Forcolini,
Matteo Zamboni,
Albert Mezzetti,
Roberto Perotti,
Paolo Tamellini,
I miei colleghi.*

Indice	Pagina
Prefazione	pag. 2
CAPITOLO 1: Concept progettuale	pag. 4
CAPITOLO 2: Come scegliere un apparecchio di illuminazione	pag. 6
CAPITOLO 3: I LED	pag. 8
3.1 Tecnologia e caratteristiche base	pag. 8
3.1.1 Principi di funzionamento	pag. 8
3.1.2 Struttura e design della singola lampada LED	pag. 9
3.1.3 Alimentazione e regolazione	pag. 11
3.2 Caratteristiche della lampada LED	pag. 13
3.2.1 Durata	pag. 13
3.2.2 L'efficienza	pag. 15
3.2.3 Gestione del colore	pag. 16
3.2.4 Temperatura di colore e comfort visivo	pag. 17
3.2.5 LED bianco (Ra/CRI)	pag. 21
3.3 Moduli LED	pag. 23
3.4 Applicazioni	pag. 26
3.5 Normativa di riferimento per l'utilizzo delle sorgenti LED negli apparecchi	pag. 28
CAPITOLO 4: Considerazioni in materia di progettazione termica per LED di alta potenza	pag. 32
4.1 Simulazione termica	pag. 35
4.2 Resistenza termica delle sorgenti luminose a led	pag. 37
4.2.1 Temperature nominali in funzione dell'affidabilità	pag. 39
4.2.2 Determinazione delle condizioni termiche ambientali	pag. 39
4.2.3 Potenza dissipata	pag. 40
CAPITOLO 5: Il dissipatore	pag. 42
5.1 Relazione fra temperatura e potenza	pag. 42
5.2 La "curva di derating"	pag. 43
5.3 I dissipatori e i meccanismi di propagazione del calore	pag. 43
5.4 Aggiungere un dissipatore al modello	pag. 45
5.4.1 Caratteristiche del dissipatore	pag. 45
5.4.2 Grafici per la definizione del dissipatore	pag. 47
5.5 Collegamento al dissipatore	pag. 50
5.5.1 Collegamento meccanico	pag. 50
5.5.2 Collegamento con adesivo	pag. 50
5.6 Procedura di scelta di un dissipatore di dimensioni minime	pag. 51
CAPITOLO 6: Specifiche di progetto	pag. 54
6.1 Scelta del LED per il progetto	pag. 54
6.1.1 Efficienza luminosa	pag. 54
6.1.2 Caratteristiche ottiche	pag. 55
6.1.3 Caratteristiche elettriche	pag. 55
6.1.4 Caratteristiche riflusso da saldatura	pag. 57

Indice	Pagina
6.1.5 Dimensioni meccaniche	pag. 58
6.1.5.1 Configurazione Pad	pag. 59
6.1.5.2 Solder Pad Design	pag. 59
6.1.6 Distribuzione spettrale relativa VS. Caratteristiche della lunghezza d'onda	pag. 60
6.1.7 Caratteristiche tipiche di emissione rapportate alla temperatura	pag. 61
6.1.8 Caratteristiche tipiche in corrente diretta	pag. 61
6.1.9 Efficienza luminosa tipica	pag. 62
6.1.10 Efficienza luminosa tipica VS. Temperatura	pag. 63
6.1.11 Curve di derating	pag. 64
6.1.12 Schema della radiazione tipica	pag. 66
6.2 Dimensionamento del dissipatore per il progetto	pag. 67
6.2.1 Esempio di dimensionamento di un dissipatore "impostando" una TJ	pag. 68
6.2.2 Calcolo del dissipatore	pag. 69
6.3 Scelta delle ottiche per il progetto	pag. 74
6.4 Definizione della dimensione della scheda LED per il progetto	pag. 76
6.5 Definizione dell'alimentatore per il progetto	pag. 79
6.5.1 Massimo collegamento a catena dei moduli	pag. 81
6.6 Test e rilievi fotometrici del modulo LED	pag. 82
La città dei pedoni dal libro "LIGHTING" - Prof. G. Forcolini	pag. 94
Valori raccomandati degli illuminamenti dalla Norma EN 13201	pag. 95
CAPITOLO 7: Il concept	pag. 98
7.1 Design del dissipatore	pag. 99
7.2 Design modulo per palo arredo urbano	pag. 101
7.2.1 Componenti meccaniche e sistemi di supporto	pag. 101
7.2.1.1 Pali in acciaio	pag. 101
7.2.1.2 Protezione superficiale di pali in acciaio	pag. 101
7.2.1.3 Accessori	pag. 103
7.2.2 Design del palo e del gruppo ottico	pag. 104
7.2.2.1 Render e descrizione del palo	pag. 108
7.2.2.2 Render e descrizione del gruppo ottico	pag. 109
7.2.2.3 Corrispondenza alla norma	pag. 111
7.2.3 Ipotesi di ambientazione del palo per arredo urbano	pag. 113
7.3 Design modulo bollard	pag. 114
7.3.1 Render e descrizione del bollard	pag. 116
7.3.2 Ipotesi di ambientazione del bollard	pag. 117
7.4 Design modulo per applique a parete	pag. 118
7.4.1 Render e descrizione dell'applique	pag. 120
7.4.2 Ipotesi di ambientazione dell'applique	pag. 122
7.5 Design modulo incasso	pag. 123
7.5.2 Ipotesi di ambientazione dell'incasso al suolo/parete	pag. 125
7.6 Ipotesi di ambientazione su edifici storici dei vari moduli	pag. 126
CAPITOLO 8: Accenni sul riciclo e lo smaltimento dei materiali utilizzati	pag. 128
8.1 Alluminio	pag. 128
8.1.1 La dinamica del riciclo	pag. 129
8.1.2. I rottami	pag. 130

Indice	Pagina
8.2 Vetro	pag. 132
8.2.1 Raccolta e riciclo del vetro	pag. 133
8.3 Rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche	pag. 135
8.3.1 Definizione di RAEE	pag. 136
8.3.2 Il trattamento dei RAEE	pag. 136
8.3.3 Obiettivi di recupero	pag. 136
8.3.4 Raccolta differenziata dei RAEE	pag. 137
8.3.5 La responsabilità dei produttori	pag. 137
8.3.6 Le normative Comunitarie RoHS e WEEE	pag. 137
Appendice: Richiami di illuminotecnica	pag. 140

Indice delle figure

Pagina

Fig. 3.1 Sezione di un LED	pag. 8
Fig. 3.2 Schema di un LED con package Through-Hole Technology	pag. 9
Fig. 3.3 Schema di un LED con package SMT	pag. 10
Fig. 3.4 Schema compositivo dei più comuni LED in commercio (fonte Lumileds)	pag. 10
Fig. 3.5 Sistema di alimentazione e regolazione per LED RGB	pag. 11
Fig. 3.6 Grafico della variazione dell'ampiezza di pulsazione	pag. 12
Fig. 3.7 Mantenimento del flusso luminoso nel tempo. a) Lampada ad incandescenza; b) LED tradizionali; c) LED ad alta emissione.	pag. 14
Fig. 3.8 Evoluzione dell'efficienza dei LED (fonte Lumileds)	pag. 15
Fig. 3.9 Le due curve si Kruithof che racchiudono l'area di piacevolezza della luce nel rapporto tra temperatura di colore e livello di illuminamento.	pag. 19
Fig. 3.10 Metamorfosi Kit 4 di Artemide, sistema che può adattarsi a varie soluzioni per progettare spazi interni ed esterni (grado di protezione IP65).	pag. 20
Fig. 3.11 I tre metodi per ottenere luce bianca dai LED: impiego tre diodi RGB, diodo ad emissione ultravioletta e tre fosfori RGB, LED blu e fosforo giallo.	pag. 21
Fig. 3.12 Confronto d'emissione cromatica dei LED RGB e di quelli con fosforo sul diagramma CIE. (Lumileds)	pag. 22
Fig. 3.13 Alcuni moduli LED	pag. 24
Fig. 3.14 LED con grosse lenti per concentrare il fascio	pag. 24
Fig. 3.15 LED con dissipatori di calore in alluminio.	pag. 25
Fig 3.16 Inserimento dei LED in tipologie di sorgenti e sistemi d'illuminazione tradizionali	pag. 26
Fig. 3.17 Apparecchi a LED per esterni	pag. 27
Fig. 4.1 Anatomia di una scheda (MCPCB) ad alta conducibilità termica.	pag. 33
Fig. 4.2 Classificazione dei dielettrici disponibili.	pag. 34
Fig. 4.3 Modello a resistenze termiche.	pag. 36
Fig. 4.4 Modello resistenze termiche parallelo	pag. 37
Fig. 4.5 Grafico dell'emissione luminosa al variare della temperatura della giunzione (da datasheet).	pag. 39
Fig. 5.1 - Curva di derating di un elemento resistivo da 1 Watt.	pag. 43
Fig. 5.2 - Ecco i tre meccanismi di propagazione del calore nel caso di un dispositivo elettronico fissato ad un dissipatore	pag. 44
Fig. 5.3 Dissipatore in convezione naturale.	pag. 45
Fig. 5.4 Dissipatore in convezione forzata.	pag. 46
Fig. 5.5 Area di ingombro dissipatore.	pag. 47
Fig. 5.6 Grafico della resistenza termica in funzione dell'area d'ingombro.	pag. 48
Fig. 5.7 Nei grafici sono confrontati dei dissipatori ad alette con dei dissipatori piani.	pag. 49
Fig. 5.8 Esempi di adesivi ad alta conducibilità termica in commercio.	pag. 50
Fig. 6.1 Dimensioni del LED espresse in millimetri	pag. 58
Fig. 6.2 Configurazione Pad	pag. 59
Fig. 6.3 Solder Pad Design	pag. 59
Fig. 6.4 Rappresentazione della diffusione del calore	pag. 67
Fig. 6.5 Rappresentazione grafica delle direzioni di diffusione del calore di un dissipatore con ottiche annesse	pag. 68
Fig. 6.6 Struttura del dissipatore in relazione alla formula di funzionamento	pag. 69
Fig. 6.7 Area di ingombro (superficie esposta) del dissipatore	pag. 71
Fig. 6.8 Grafico della resistenza termica in funzione dell'area d'ingombro.	pag. 72

Indice delle figure

Pagina

Fig. 6.9 Nei grafici sono confrontati dei dissipatori ad alette con dei dissipatori piani	pag. 73
Fig. 6.10 QUADRA Lite 4xR” Lighting Module	pag. 74
Fig. 6.11 Vista in prospettiva della lente QuadraLite	pag. 75
Fig. 6.12 Vista in pianta della lente QuadraLite	pag. 75
Fig. 6.13 - Disegno della scheda da 12 LED	pag. 76
Fig. 6.14 Particolare della scheda LED	pag. 77
Fig. 6.15 Particolare della scheda LED con ottica NARROW BEAM da 12°	pag. 77
Fig. 6.16 Particolare della scheda LED con ottica MEDIUM BEAM da 25° accesa	pag. 78
Fig. 6.17 TALEX converter LED 0015 K350 15 VA 350 mA della TRIDONIC ATCO	pag. 79
Fig. 6.18 Ingombro massimo: TALEX converter LED 0015 K350 15 VA 350 mA della TRIDONIC ATCO	pag. 79
Fig. 6.19 Schema per il collegamento in serie degli alimentatori	pag. 81
Fig. 6.20 Posizionamento della scheda LED sul goniofotometro	pag. 82
Fig. 6.21 Lente NARROW BEAM 12° sul goniofotometro	pag. 83
Fig. 6.22 Lente MEDIUM BEAM 25° sul goniofotometro	pag. 85
Fig. 6.23 Lente WIDE BEAM 45° sul goniofotometro	pag. 87
Fig. 6.24 Lente OVAL BEAM 15°/45° sul goniofotometro	pag. 89
Fig. 6.25 Lente ASYMMETRICAL BEAM / WALL WASHER 15°/50° $\alpha = 6^\circ$ sul goniofotometro	pag. 91
Fig. 7.1 Dimensionamento del dissipatore per la piastra da 12 LED.	pag. 99
Fig. 7.2 Sezione trasversale dell'apparecchio su palo H 3m chiusa.	pag. 100
Fig. 7.3 Sezione trasversale dell'apparecchio su palo H 3m aperta con indicato l'alloggio per le viti di chiusura.	pag. 100
Fig. 7.4 Esempio di applicazione della piastra di appoggio	pag. 102
Fig. 7.5 Sede per gruppo elettronico.	pag. 103
Fig. 7.6 Viste prospettive della soluzione “Apparecchio su palo per arredo urbano”	pag. 104
Fig. 7.7 Sezione trasversale dell'apparecchio su palo H 3m chiusa.	pag. 105
Fig. 7.8 Sezione trasversale dell'apparecchio su palo H 3m aperta con indicato l'alloggio per le viti di chiusura.	pag. 105
Fig. 7.9 Vista in pianta del vano ottico a testa palo e della copertura con vetro integrato.	pag. 106
Fig. 7.10 Vista in prospettiva e in sezione del vano ottico a testa palo.	pag. 107
Fig. 7.11 Render del palo da arredo urbano H 3m	pag. 108
Fig. 7.12 Render del gruppo ottico a testa palo	pag. 109
Fig. 7.13 Esploso del gruppo ottico	pag. 109
Fig. 7.14 Esploso del gruppo ottico.	pag. 110
Fig. 7.15 Valori di illuminazione orizzontale	pag. 112
Fig. 7.16 Valori di illuminazione semicilindrica	pag. 112
Fig. 7.17 Possibili ambientazioni del palo per arredo urbano.	pag. 113
Fig. 7.18 Scheda da 4 LED.	pag. 114
Fig. 7.19 Vista in sezione longitudinale e in prospettiva della soluzione bollard	pag. 115
Fig. 7.20 Sezioni e particolari del gruppo ottico per la soluzione bollard	pag. 115
Fig. 7.21 Vista generale della soluzione bollard	pag. 116
Fig. 7.22 Esploso della soluzione bollard	pag. 116
Fig. 7.23 Possibili ambientazioni del bollard.	pag. 117
Fig. 7.24 Vista in pianta del modulo applique a parete	pag. 118
Fig. 7.25 Vista in sezione prospettica del modulo applique a parete	pag. 119
Fig. 7.26 Vista in sezione trasversale del modulo applique a parete	pag. 119
Fig. 7.27 Vista in sezione generale del modulo applique a parete	pag. 120
Fig. 7.28 Particolare del vetro del modulo applique a parete	pag. 120
Fig. 7.29 Esploso del modulo applique a parete	pag. 121

Indice delle figure	Pagina
Fig. 7.30 Possibili ambientazioni dell'appliche a parete.	pag. 122
Fig. 7.31 Viste e sezioni del modulo da incasso al suolo/parete	pag. 123
Fig. 7.32 Esempio dei differenti effetti luminosi della soluzione ad incasso. Da sinistra verso destra: Lente Ellittica, Lente Asimmetrica, Lente apertura 45° WIDE, lente apertura 25° MEDIUM, Lente apertura 12° NARROW, Senza lenti.	pag. 124
Fig. 7.33 Render incasso incassato al suolo.	pag. 124
Fig. 7.34 Possibili ambientazioni dell'incasso al suolo ottica NARROW 12°	pag. 125
Fig. 7.35 Facciata classica e vialetto di accesso illuminati con bollard, applique e incassi al suolo	pag. 126
Fig. 8.1 Produzione complessiva di alluminio grezzo primario e secondario in Europa Occidentale nel 1980 e nel 2003 in t x 1.000.	pag. 129
Fig. 8.2 La catena dell'alluminio di produzione secondaria dal rottame ai componenti ed ai prodotti finiti.	pag. 130
Fig. 8.3 Vetro in fase di riciclo	pag. 132
Fig. 8.4 Un monitor abbandonato	pag. 135
Fig. A Rappresentazione angolo solido.	pag. 143
Fig. B Superficie per il calcolo della luminanza.	pag. 144
Fig. C Angolo solido $d\Omega$.	pag. 144
Fig. D Curva fotometrica di apparecchi a luce diretta.	pag. 148
Fig. E Curva fotometrica di apparecchi a luce diretta-indiretta.	pag. 148

Indice delle tabelle	Pagina
Tab. 3.1 Principali materiali utilizzati nella costruzione dei LED	pag. 17
Tab. 3.2 Tonalità di colore - Temperature di colore correlate	pag. 18
Tabella 1 - Contrasto di soglia C_s delle luminanze in funzione della luminanza di adattamento L_a per un oggetto osservato sotto un angolo di mira di $4'$ in un intervallo di tempo di 0,2 secondi.	pag. 95 pag. 96
Tabella 2 - Classi relative ai raggruppamenti E1 ed E2 dalla Tabella 1	pag. 96
Tabella 3 - Valori minimi dell'illuminamento semicilindrico secondo la Norma EN 13201	pag. 96
Tabella 4 - Valori minimi dell'illuminamento verticale secondo la Norma EN 13201	pag. 96
Tabella 7.1 - Classi relative ai raggruppamenti E1 ed E2	pag. 111
Tabella 7.2 - Valori minimi dell'illuminamento semicilindrico secondo la Norma EN 13201	pag. 111
Tab. A Tabella riassuntiva grandezze fotometriche.	pag. 140

PREFAZIONE

Il mondo dell'illuminazione sta attraversando una profonda evoluzione. Le innovazioni tecnologiche dei LED ad alta potenza hanno spalancato le porte a nuovi concetti illuminotecnici all'insegna della miniaturizzazione, della durata di vita, dell'efficienza e della sostenibilità. L'illuminazione allo stato solido è diventata una delle attività più rappresentative d'oggi. Oltre al loro principale odierno mestiere di 'spie' luminose, i LED (dall'inglese Light Emitting Diode, cioè diodo ad emissione luminosa) stanno per diventare le lampadine del futuro. Questi dispositivi sono già ovunque e appaiono anche nei display d'informazione, dove formano le parole 'scorrevoli' e anche nelle automobili, dove hanno permesso di eliminare lampadine, lenti e riflettori parabolici nelle luci posteriori. Le future lampadine che potranno essere prodotte basandosi sulla tecnologia a LED, consumeranno meno energia di tutte le altre, perché saranno cinque volte più efficaci nel trasformare la corrente elettrica in luce e dureranno molto: 50.000 ore o anche 100 mila in condizioni ottimali d'impiego. Esse consentono di risparmiare molta energia elettrica a parità di luce emessa rispetto ad una normale lampada ad incandescenza e hanno una durata 10 volte superiore. La luce 'elettronica' punta nel medio termine al 50% del mercato dell'illuminazione generale di grandi ambienti. Queste ultime novità delle sorgenti luminose offrono livelli di rendimento sempre più elevati e un'estrema precisione nell'indirizzamento del flusso luminoso grazie ad una serie di collimatori sempre più sofisticati. Le soluzioni basate sui LED offrono la possibilità di variare l'intensità luminosa e gli effetti cromatici, fondamentali per un'illuminazione dinamica sia in interni che in esterni. Diversamente dalle sorgenti luminose tradizionali, i LED non si guastano mai in modo irrimediabile, vale a dire non si bruciano improvvisamente smettendo di funzionare, in molte applicazioni potranno garantire una durata di oltre 10 anni. Poiché questi prodotti durano molto di più di una sorgente luminosa tradizionale non occorre sostituirli; in questo modo si riducono, se non addirittura si azzerano, i costi di manutenzione e quelli legati alla periodica sostituzione delle lampadine. Questi dispositivi elettronici però generano calore e lo trattengono al loro interno quindi è necessario che i cavi o l'involucro possano dissiparlo. Quindi se non progettato correttamente un sistema a LED avrà durata molto breve.

CAPITOLO 1

Concept progettuale

Nonostante la mia esperienza come progettista illuminotecnico sia limitata agli ultimi due anni ho avuto la possibilità di trovarmi a confronto con le più disparate esigenze progettuali riguardo alle applicazioni, alle condizioni ambientali, ai gusti e alle esigenze estetiche ed economiche dei committenti e, non per forza di cose all'ultimo posto in ordine di importanza, alla mia sensibilità di designer.

Spesso mi sono ritrovato a desiderare un apparecchio che svolgesse una funzione diversa da quella originaria mantenendo però la sua forma, la sua adattabilità e la sua linearità. Molte volte avrei voluto che lo stesso oggetto potesse svolgere tutti i compiti che il progetto in corso richiedeva.

Da questi desideri nasce la mia ricerca e la mia volontà di creare un modulo luminoso a led che sappia trasformare i limiti normativi e termici dettati dalle leggi di una buona progettazione in vantaggi estetici e formali. Un modulo che sia elastico, facilmente componibile per poter creare diversi effetti di luce, nel quale la funzione non sia suggerita dalla forma dell'oggetto ma dall'accessorio che gli viene abbinato di volta in volta.

L'intento è pertanto quello di avere un apparecchio "universale" per quello che riguarda la progettazione illuminotecnica architettuale e urbana degli esterni e che possa quindi illuminare i più svariati ambienti proprio grazie alla sua capacità di saper mostrare diversi caratteri o effetti luminosi partendo però da un unico contenitore formale.

CAPITOLO 2

Come scegliere un apparecchio di illuminazione

La scelta delle caratteristiche delle apparecchi da usare dipende dal tipo di attività che si deve svolgere nei luoghi da illuminare.

Uno dei compiti di un apparecchio di illuminazione è di carattere ottico. In particolare, esso controlla la distribuzione nello spazio del flusso emesso dalla sorgente, in modo da adottare il solido fotometrico proprio della sorgente ad un preciso scopo illuminotecnico come schermare completamente o parzialmente la sorgente oppure modificare lo spettro della luce emessa per ottenere particolari effetti cromatici. In base alle caratteristiche del sistema ottico delle apparecchi di illuminazione, diamo un'altra suddivisione degli stessi:

- diffusori: sono costituiti da un involucro traslucido che racchiude la sorgente. Hanno lo scopo di impedire la visione diretta della lampada e di ridurre le irregolarità del suo solido fotometrico;
- riflettori: hanno lo scopo di modificare il solido fotometrico proprio della sorgente e di impedire la visione diretta di essa in alcune direzioni di osservazione. Sono costituiti da materiale opaco trattato diversamente a seconda che si vuole ottenere un rinvio diffuso, semidiffuso o speculare. Il materiale più utilizzato è l'alluminio;
- rifrattori: sfruttano il fenomeno della diffrazione e della diffusione per deviare o convogliare la luce in direzioni preferenziali. Con i riflettori si riesce a modificare la curva fotometrica della sorgente in modo da ridurre le perdite di flusso;
- proiettori: hanno lo scopo di concentrare la luce in una fascia contenuta in un piccolo angolo solido. Sono costituiti da lenti o da specchi

CAPITOLO 3

I LED

3.1 Tecnologia e caratteristiche base

3.1.1 Principi di funzionamento

Il termine "LED" è un acronimo che sta per "Light Emitting Diode", ovvero "diodo che emette luce". I LED sono costituiti da una giunzione P-N realizzata con arseniuro di gallio o con fosforo di gallio, entrambi materiali in grado di emettere radiazioni luminose quando siano attraversati da una corrente elettrica; il valore di tale corrente è generalmente compreso fra 10 e 30 mA.

I LED sono in pratica 'briciole' di semiconduttori (materiali usati comunemente per costruire i chip dei computer) che, quando vengono attraversati da corrente elettrica, emettono luce visibile. È sufficiente che due sottili strati di materiale vengano messi a contatto: uno di essi presenta un eccesso di elettroni, l'altro invece scarseggia di cariche negative, ma abbonda di cariche positive (dette buche).

Il dispositivo sfrutta le proprietà ottiche di alcuni materiali semiconduttori per produrre fotoni a partire dalla ricombinazione di coppie elettrone-vuoto. Gli elettroni e i vuoti vengono iniettati in una zona di ricombinazione attraverso due regioni del diodo drogate con impurità di tipo diverso, e cioè di tipo n per gli elettroni e p per i vuoti. Il colore della radiazione emessa è definito dalla distanza in energia tra i livelli energetici di elettroni e vuoti e corrisponde tipicamente al valore della banda proibita del semiconduttore in questione.

Questo implica che le coppie elettrone-vuoto passino a uno stato di maggiore stabilità, rilasciando un'energia dell'ordine di alcuni eV (elettroni volt) tramite emissione di un fotone: il rosso all'estremo dello spettro visibile, corrispondente a 700 nm, richiede, per l'emissione di un fotone, il rilascio di un quanto di energia pari a 1,77 eV; all'estremo opposto il violetto, avente lunghezza d'onda di 400 nm, richiede 3,1 eV.

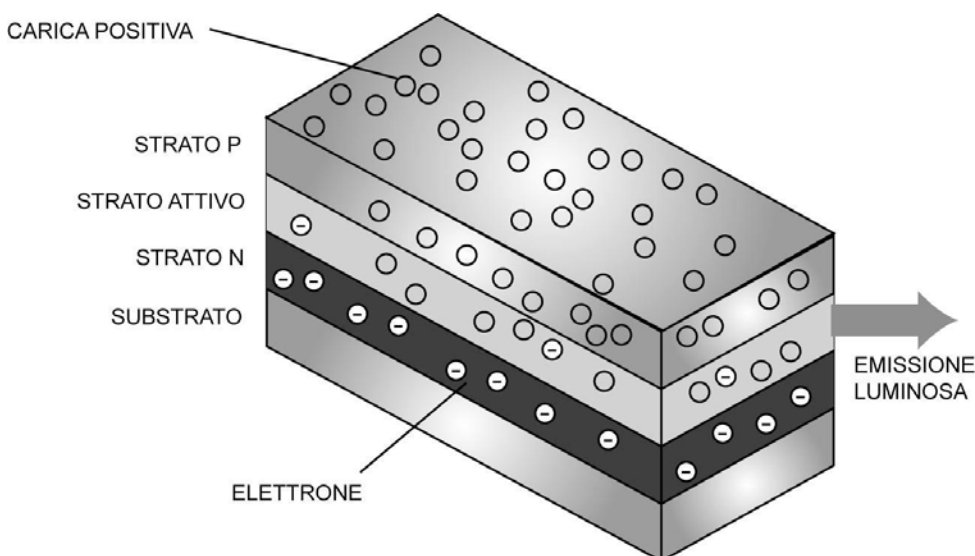


Fig. 3.1 Sezione di un LED

La caduta di tensione ai capi del LED e la lunghezza d'onda della radiazione emessa sono correlati all'esistenza di un intero intervallo di livelli energetici proibiti, meglio noto come "Energy gap" e indicato con E_g , nel quale l'elettrone o il vuoto non possono stare: i portatori vanno dunque ad occupare solo i livelli di energia permessi, i quali formano le cosiddette "bande energetiche". La "bandgap energy", o E_g , viene definita in base alla relazione: $E_g = hc/\lambda = 1240 \text{ eV} / \lambda$ / essendo h la costante di Plank (pari a $4,13 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$), c la velocità della luce ($2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$) e λ la lunghezza d'onda in nm.

3.1.2 Struttura e design della singola lampada LED

La dimensione tipica dell'area attiva di un LED inorganico è di poche centinaia di micron (un micron è pari a un millesimo di mm). Il semiconduttore è montato in un package che ne consente il collegamento elettrico e protegge il chip dall'ambiente circostante.

Fondamentalmente esistono due tipi di package:

- THT (Through-Hole Technology): questo genere di package è saldato al circuito stampato attraverso dei fori passanti. Il formato più comune è radiale da 5mm. Il chip è appoggiato su un riflettore, a sua volta collegato al catodo. Il contatto elettrico con l'anodo è invece ottenuto per "bond wiring". La luce viene emessa attraverso una lente integrata nel package e i diversi angoli di emissione luminosa vengono ottenuti variando la distanza tra lente e semiconduttore o cambiando la forma della lente stessa.

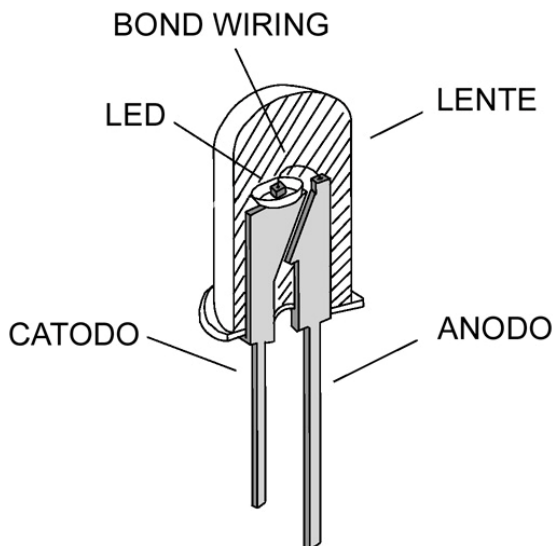


Fig. 3.2 Schema di un LED con package Through-Hole Technology

- SMT (Surface Mount Technology) è realizzato in materiale plastico che funziona anche da riflettore. Il chip è posato in una cavità riempita con resine epossidiche per proteggerlo dall'ambiente esterno e per migliorare l'accoppiamento della luce. I componenti SMT possono essere assemblati più rapidamente e con qualità superiore rispetto ai componenti THT

Il materiale attorno alla guarnizione deve essere trasparente in modo che la luce possa fuoriuscire.

Inoltre esistono sul mercato diverse varianti di package SMT che si distinguono, non tanto per struttura, quanto per tipologia di distribuzione della luce. Si possono così avere package ad emissione laterale rispetto alla normale d'installazione, LED ad emissione verso l'alto e sistemi ottici ausiliari con elevate intensità sull'asse.

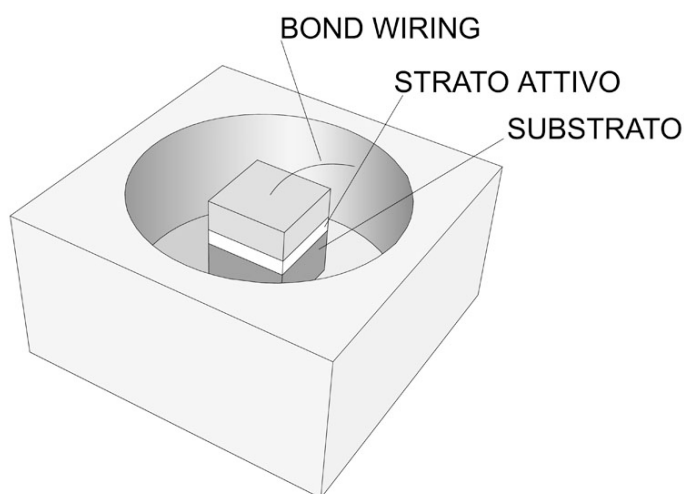


Fig. 3.3 Schema di un LED con package SMT

Negli ultimi tempi il design strutturale dei LED ha visto notevoli variazioni che incidono direttamente sulle prestazioni della sorgente. La comparsa sul mercato dei LED ad "alta potenza" ha portato alla costruzione di collegamenti in grado di resistere meglio alle alte temperature e nel contempo recuperare parte del flusso emesso tramite superfici riflettenti.

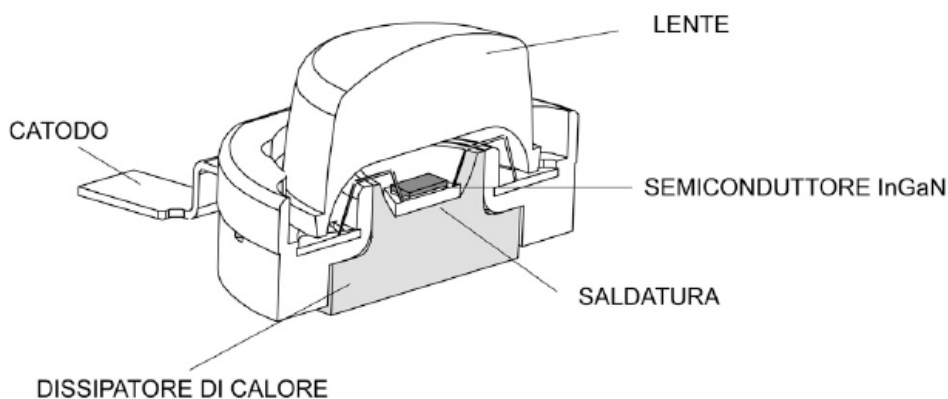


Fig. 3.4 Schema compositivo dei più comuni LED in commercio (fonte Lumileds)

3.1.3 Alimentazione e regolazione

Diversamente dalle comuni lampadine, il cui filamento funziona a temperature elevatissime ed è caratterizzato da notevole inerzia termica, i LED inizialmente emettevano luce fredda, e possono lampeggiare a frequenze molto alte, superiori al Mhz; se si considera anche che la luce emessa è direttamente proporzionale alla corrente che li attraversa, i LED risultano particolarmente adatti alla trasmissione di segnali tramite modulazione dell'intensità luminosa.

La massima luminosità di un LED si ottiene con alimentazione a corrente continua.

La tensione diretta necessaria dipende dal colore della luce emessa e va da 2 a 4 V con una corrente diretta che può arrivare a 80mA. L'emissione luminosa si riduce con l'aumentare della temperatura, con una diversa entità in relazione al tipo di LED. Se l'aumento di temperatura non si è mantenuto troppo a lungo questo effetto è reversibile e non ha effetto sulla durata del dispositivo.

Ad esempio in un led CREE la vita stimata in funzione della temperatura sulla saldatura è di 50000 ore a 70° e si dimezza ogni 10° (quindi 80°:25000 ore, 90°:12500 ore, ecc.)

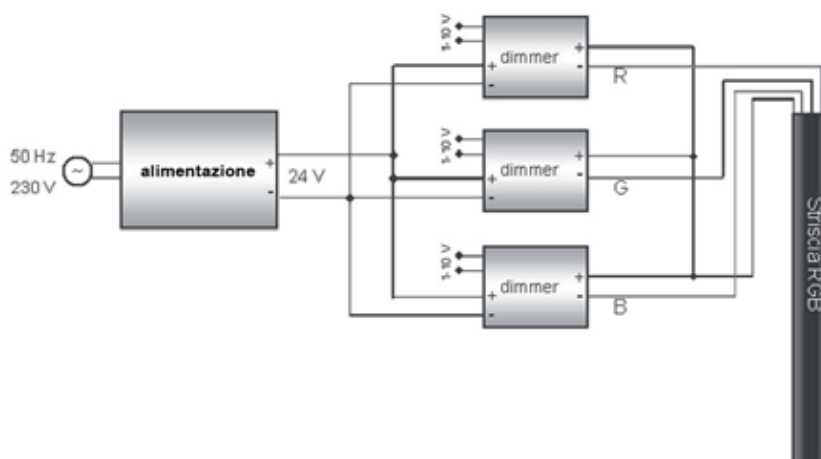


Fig. 3.5 Sistema di alimentazione e regolazione per LED RGB

Nelle applicazioni più semplici si può controllare la luminosità variando sia la corrente sia la tensione dei LED. Questo metodo può essere valido per piccole variazioni del campo di regolazione.

Se si vuole una regolazione completa bisogna usare la tecnologia PWM (pulse width modulation) modulazione in funzione dell'ampiezza di pulsazione. Questa funziona nel seguente modo: la corrente deve avere un valore costante (I) e si varia solo il duty cycle $D = \frac{vT}{T}$ che è espresso dal rapporto tra la durata dell'impulso e il periodo del segnale. La frequenza deve essere superiore a 100 Hz in modo che l'occhio non percepisca i singoli impulsi. In questo modo essendo la corrente nei LED sempre uguale non si hanno variazioni del colore, come invece poteva succedere nel caso precedente variando solo la corrente.

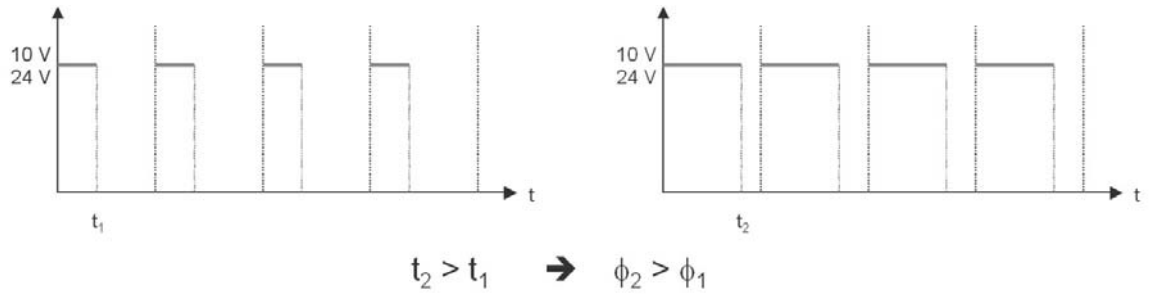


Fig. 3.6 Grafico della variazione dell'ampiezza di pulsazione

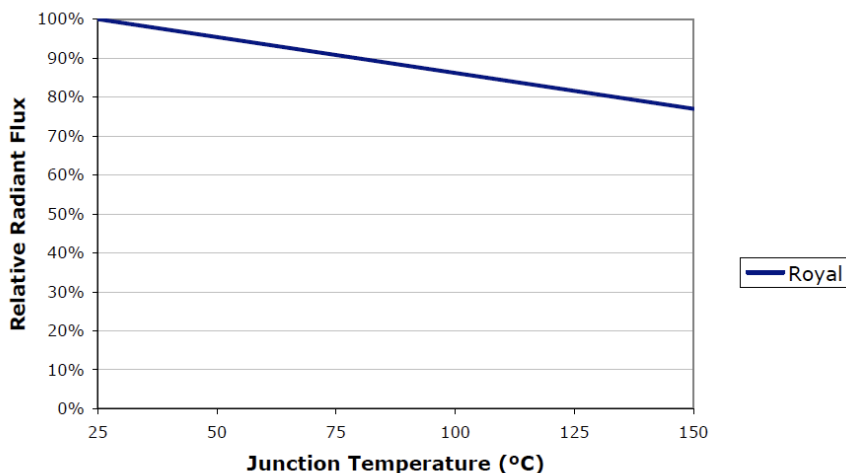
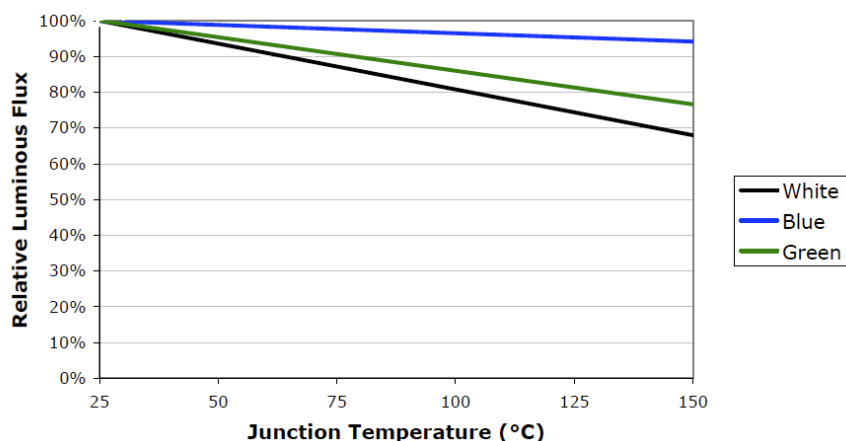
3.2 Caratteristiche della lampada LED

3.2.1 Durata

Tra le caratteristiche specifiche dei LED è molto apprezzata l'enorme durata della sorgente in termini di ore di funzionamento, che, a seconda delle dichiarazioni dei produttori, può variare dalle 8.000 alle 100.000. Ma visto che si trattano di valori molto alti è difficile capire se questi dati siano il frutto di sperimentazioni empiriche o approssimazioni di calcolo. Inoltre è necessario valutare la perdita d'emissione nel tempo e la corretta esposizione termica della sorgente, dato fondamentale per il mantenimento del flusso.

Il panorama è molto vario e dipende anche dalle potenze in atto. I costruttori di LED ad alta potenza (1-3-5W) ad esempio assicurano un flusso relativamente più costante rispetto ai tradizionali LED GaAS.

La massima temperatura di funzionamento della giunzione dei LED è normalmente di 100°C e non deve essere superata. In particolare per i led di potenza il mantenimento della temperatura di giunzione entro i valori indicati è necessario per conservare il valore del flusso emesso dal LED in prossimità del 100% del flusso emesso in condizioni ideali.



Come per ogni altra sorgente luminosa, nei LED si verifica nel tempo un graduale decadimento del flusso luminoso. Quando un LED emette il 50% dell'intensità iniziale, per definizione esso ha raggiunto la fine della sua vita utile.

Un altro fattore che concorre ad allungare la vita del diodo è la sua elevata resistenza meccanica. L'assenza di filamento, ad esempio, elimina tutte quelle problematiche legate alla prematura mortalità delle sorgenti.

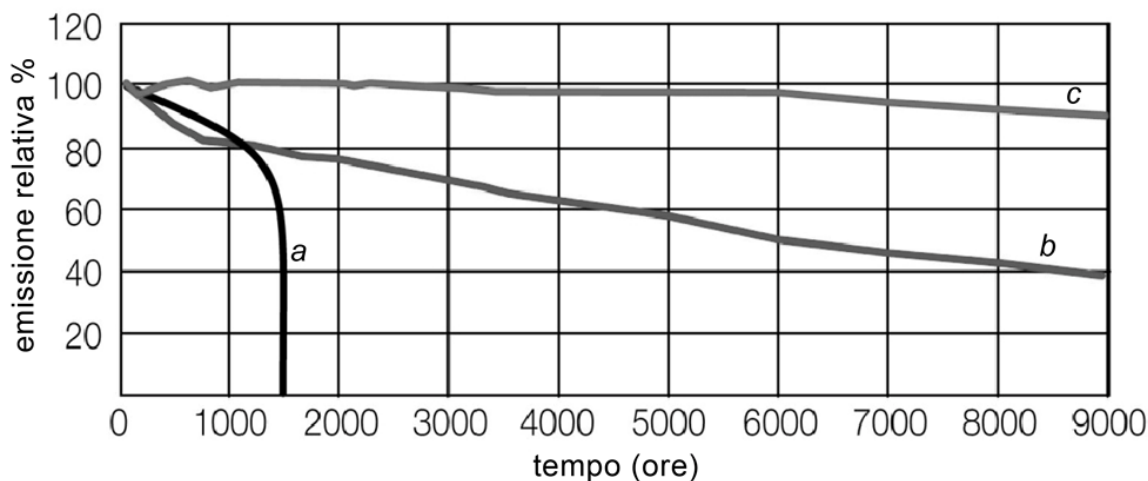


Fig. 3.7 Mantenimento del flusso luminoso nel tempo. a) Lampada ad incandescenza; b) LED tradizionali; c) LED ad alta emissione.

Dal punto di vista applicativo queste caratteristiche dei LED li rendono particolarmente adatti ad installazioni dove gli interventi di manutenzione sono rari o inesistenti. Bisogna però fare attenzione al fatto che anche l'alimentazione e il cablaggio devono garantire una durata altrettanto lunga per non vanificare il vantaggio manutentivo della sorgente.

3.2.2 L'efficienza

Se la durata dei LED è tra i fattori più interessanti di tale tecnologia c'è un altro aspetto che lascia intravedere meglio le grandi potenzialità dei semiconduttori come sorgente adatta all'illuminazione degli ambienti: l'efficienza luminosa. I LED hanno efficienze in continuo aumento, al momento superiori alle lampade ad incandescenza e a gran parte delle alogene.

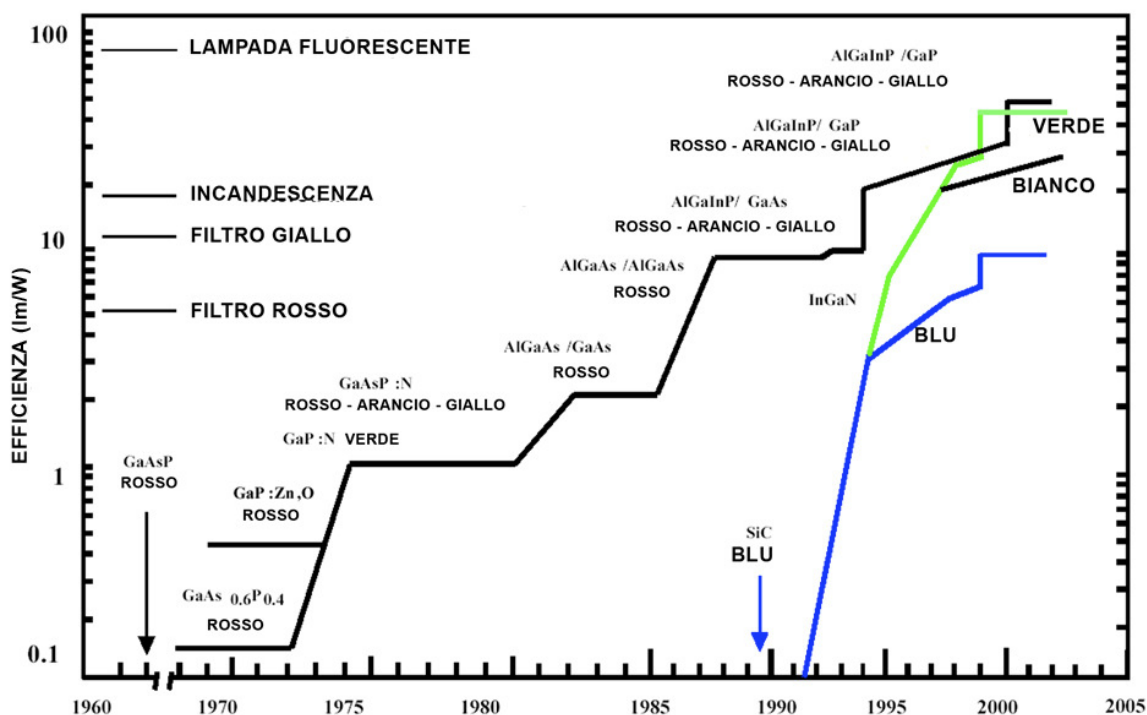


Fig. 3.8 Evoluzione dell'efficienza dei LED (fonte Lumileds)

Di contro l'illuminazione richiesta ad una sorgente per illuminare una scrivania, uno schermo, o una stanza non richiede solamente un'alta efficienza luminosa o una durata elevata, ma soprattutto un flusso emesso considerevole unitamente ad un basso costo unitario. Un singolo bulbo ad incandescenza da 60 W oggi-giorno emette luce bianca nell'ordine del klumen con un indice di resa cromatica vicino prossimo a 100, il che è circa 300 volte la quantità emessa da un LED bianco con conversione al fosforo. La sfida è accorciare questa distanza facendo leva sulle caratteristiche di risparmio energetico dei diodi.

La strada è stata aperta da alcuni produttori americani che nel 1998 hanno presentato LED da 1, 3 e 5 W, ovvero 20 volte superiori a i tradizionali da 5mm. L'efficienza di tali diodi è progressivamente aumentata e nel caso dei 5 W anche l'intensità si è avvicinata fortemente a quella delle sorgenti tradizionali. Dal punto di vista merceologico è quindi difficile trovare apparecchi che montano sorgenti singole, si attuano invece logiche di accorpamento in prodotti multilampada.

Di contro è da evidenziare una maggiore produzione di calore e il prezzo unitario ancora inaccessibile per impieghi quali l'illuminazione tradizionale in cui non siano in atto politiche di risparmio energetico massivo. In effetti l'indice economico di riferimento dovrebbe essere il costo dell'energia in termini globali e non il prezzo della sorgente. Da questo punto di vista i LED

si propongono ancora una volta come sorgenti dalle enormi potenzialità applicative.

3.2.3 Gestione del colore

Diversamente da quanto accade per le lampade ad incandescenza che irradiano uno spettro continuo (dagli infrarossi agli ultravioletti), un LED emette luce quasi monocromatica e il colore della luce dipende dal materiale utilizzato.

L'applicazione dell'elettroluminescenza, ovvero l'emissione di luce generata da un campo elettrico attraverso un semiconduttore (vedi capitolo sulla Generazione), risale al 1962, ma a quel tempo era vista come una rara curiosità di laboratorio commercialmente improponibile per gli elevati costi di fabbricazione. I primi LED erano composti da arseniuro di gallio (GaAs) e furono la prima fonte di luce fredda allo stato solido al mondo. Strutturalmente erano identici ai convenzionali diodi al silicio o al germanio, ma alimentati all'inverso erano in grado di emettere una luce sufficiente per le lampade di segnalazione all'interno di spie.

Di qui l'evoluzione tecnologica del LED è una successione di conquiste cromatiche. Attorno agli anni settanta vennero commercializzati i primi LED rossi utilizzati per display luminosi come orologi a cifra composita. Sempre in questo periodo comparvero i LED verdi e gialli.

L'immissione di tali semiconduttori sul mercato è stato sempre accompagnato da una pari componentistica ottica. È questo il caso dei LED con una lunga lente focale in grado di produrre un raggio molto stretto e per questo simulare il fascio laser.

Attorno al 1984 si fece un importante passo nella direzione dell'intensità emessa.

Se fino ad allora il tetto massimo era di circa 68 mcd, l'introduzione del composto Alluminio Gallio Arsenico Fosforo (AlGaAsP) raggiunse le 300 mcd. I picchi di emissione erano di un rosso puro, su lunghezze d'onda di 640 nm e l'espedito di usare un substrato trasparente aveva raddoppiato l'efficienza portandola sopra quella dei filamenti ad incandescenza.

Se abbiamo parlato di LED come sorgenti monocromatiche da miscelare ci accorgiamo che fino ad questo momento non fu possibile coprire l'intera scala cromatica per l'assenza del blu. Bisognerà attendere ancora molto (attorno agli anni novanta) per vedere la comparsa di un LED al SiC, ma le emissioni non erano certo paragonabili con quelle degli altri colori.

Comunque l'importanza di questo ulteriore avanzamento cromatico va ricercata nella possibilità di miscelare l'emissione dei LED ad ottenere luce bianca. Il primo LED RGB uscito sul mercato in quegli anni era composto da un circuito verde GaP, un rosso AlGaP e due blu SiC riuniti in un'unica capsula di dimensioni standard con un cappuccio opalino che favoriva la fusione dei colori.

L'inconveniente di tale sistema è da ricercare nella disparità d'emissione dei tre colori che costringeva il blu ad una sovralimentazione e i restanti ad una prestazione minore, per ottenere poi un bianco di sole 10 mcd.

Questo principio di miscelazione per ottenere il bianco è valido ancora oggi e ha subito continue implementazioni di prestazioni.

In questo stesso periodo si è assistito allo sviluppo di una nuova miscela contenente l'indio. AllnGaP emerse nella fabbricazione dei materiali ad alta luminosità tra il giallo e il rosso.

Dopo la commercializzazione di questo LED alcuni ricercatori Giapponesi sperimentarono il sistema con AlInGaN (nitruro) che ha una banda cromatica più larga del AlInGaP e permette di accedere all'energia più alta del verde, del blu e del UV.

In definitiva ad oggi esistono due principali tecnologie per costituire LED, AlInGaP e AlInGaN, la prima utilizzata per creare luci rosse, arancioni e ambra, l'altra usata per verdi, blu, bianche ed ultravioletti.

Materiale	Formula	Energy Gap	Lunghezza d'onda
Fosforo di Gallio	GaP	2.24 eV	550 nm
Arseniuro di Alluminio	AlAs	2.09 eV	590 nm
Arseniuro di Gallio	GaAs	1.42 eV	870 nm
Fosforo di Indio	InP	1.33 eV	930 nm
Arseniuro di Alluminio-Gallio	AlGaAs	1.42-1.61 eV	770-870 nm
Fosforo-Arseniuro di Indio-Gallio	InGaAsP	0.74-1.13 eV	1100-1670 nm

Tab. 3.1 Principali materiali utilizzati nella costruzione dei LED

3.2.4 Temperatura di colore e comfort visivo

L'uso del colore e del movimento nell'ambito dell'illuminazione generale è la risultante di una serie di necessità che hanno iniziato a manifestarsi in modo non del tutto palese sin dalla prima diffusione delle lampade fluorescenti sul mercato.

La cromaticità, o apparenza dei colori, o ancora tonalità della luce, è uno degli elementi che concorrono a definire la qualità dell'illuminazione.

Per la valutazione della tonalità dell'emissione luminosa si ricorre ad una grandezza termica, una temperatura assoluta, espressa in kelvin (K). La temperatura di colore di una sorgente rappresenta il livello termico che deve raggiungere un corpo nero per generare luce della stessa tonalità di quella prodotta dalla sorgente in esame. Un ambiente è illuminato con luce a temperatura di colore pari a 3000 K se la tonalità corrisponde a quella del corpo nero portato alla temperatura assoluta di riferimento di 3000 K.

Vari esperimenti hanno dimostrato che l'apparato visivo dell'uomo percepisce una tonalità bianca quando la luce ha una temperatura di colore di circa 5500 K, valore medio corrispondente alla luce del Sole in pieno giorno. Al di sopra e sotto questo valore, la tonalità è giudicata rispettivamente fredda e calda.

La tabella X riporta la classificazione CIE delle tonalità in tre gruppi. Nel primo gruppo rientrano le tonalità indicate per ambienti di tipo residenziale, nel secondo quelle adatte per ambienti di lavoro, nel terzo quelle per ambienti ove si richiedano impegni visivi molto elevati. Nei luoghi in cui la luce è strumento di comunicazione visiva si usa l'intera gamma delle temperature.

TONALITÀ DI COLORE	TEMPERATURE DI COLORE CORRELATE (K)
Calda	<3300
Intermedia	3300-5300
Fredda	>5300

Tab. 3.2 Tonalità di colore - Temperature di colore correlate

Il gradimento della tonalità può dipendere dal regime climatico della regione geografica del luogo in cui è ubicato l'ambiente da illuminare. Gli attributi caldo e freddo servono in tal caso a esprimere l'attitudine della luce a compensare la dominante termica dell'ambiente esterno. Si tratta di una compensazione che l'osservatore avverte come effetto di carattere sia fisiologico che psicologico. Nelle regioni con climi rigidi, inverni lunghi ed estati brevi, può essere preferibile adottare le tonalità calde; in regioni con condizioni climatiche opposte (forti soleggiamenti, estati torride e lunghe, periodi invernali brevi), la preferenza si rivolgerà alle tonalità fredde. Esiste inoltre una correlazione tra le temperature di colore e i livelli di illuminamento, proposta nel 1941 dall'ingegnere danese Aries Andries Kruithof, un ricercatore che collaborava con Philips, dopo accurate sperimentazioni basate su tesi che, peraltro, non trovano pienamente concordi gli studiosi di scienza della visione. A prescindere dall'evidente divario tra i mezzi di cui disponeva Kruithof allora e le moderne sorgenti di illuminazione, questo studio fu il primo a mettere in evidenza l'importanza dell'aspetto cromatico della luce, della percezione della luce da parte di osservatori che ne valutavano la gradevolezza mettendo in relazione temperatura di colore e illuminamento. Secondo Kruithof, determinati accoppiamenti tra le due grandezze raccolgono dagli osservatori consensi e giudizi di soddisfazione. In generale si può dire che si sia evidenziata una corrispondenza diretta: alle basse temperature di colore conviene associare bassi livelli di illuminamento; viceversa, alte temperature richiedono elevati illuminamenti.

La spiegazione del maggior gradimento è da ricercare nel fatto che l'armonica funzionalità del nostro apparato visivo si realizza in condizioni di luce naturale. L'occhio è anatomicamente e fisiologicamente strutturato per la visione diurna; pertanto ognuno di noi è spinto spontaneamente a ricercare condizioni di visione in qualche modo analoghe a quelle che si verificano con la luce del Sole e del cielo. Al crepuscolo, l'illuminamento può varare nell'intervallo compreso tra 500 e 100 lx, mentre la temperatura di colore del Sole ammonta a circa 2000 K. In pieno giorno, i livelli di illuminamento possono arrivare a 100000 lx e le temperature di colore variare da 5000 K fino a 7500 K.

Negli ambienti interni gli illuminamenti si riducono, ma il campo di variazione della temperatura di colore da correlare non cambia.

Nel diagramma è mostrato il campo in cui gli accoppiamenti risultano più confortevoli alle aspettative dei fruitori. Si noti come l'incremento della temperatura di colore in funzione dei lux assuma un andamento pressochè lineare fino a circa 3000 K.

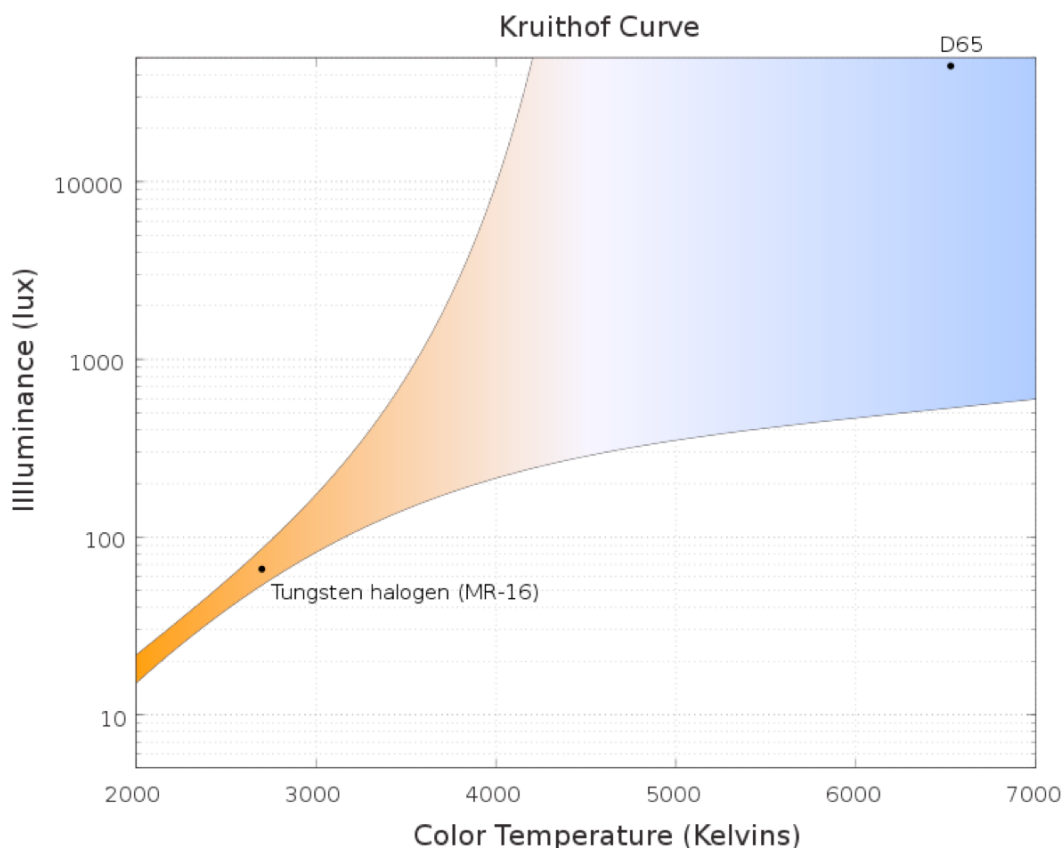


Fig. 3.9 Le due curve si Kruithof che racchiudono l'area di piacevolezza della luce nel rapporto tra temperatura di colore e livello di illuminamento.

Successivamente a questi studi il colore ha preso sempre più piede nel panorama della progettazione della luce, passando dall'aver semplici valenze estetiche, fino ad elevarsi ad elemento chiave per la ricerca del benessere nell'illuminazione.

Le differenti caratteristiche cromatiche delle varie sorgenti luminose sono probabilmente state il primo territorio di confronto per i progettisti di illuminazione almeno fino a quando non si è iniziato a prendere in considerazione l'idea di utilizzare il colore (e non solo differenti temperature di colore correlate) nell'illuminazione di interni.

Nasceva così il sistema "Metamorfosi" che si poneva come una nuova modalità di vivere e di fruire la luce artificiale. Grazie ai colori e alla loro attività simbolica e benefica, si puntava ad assecondare le differenti attività e stati d'animo degli esseri umani.

L'utilizzo del colore nella linea "Metamorfosi" (linea di prodotti che copre un arco temporale e un numero di apparecchi molto ampio) attiene alla sfera di influenza sull'individuo dal punto di vista psicologico, campo non proprio convenzionale per la progettazione della luce, che tuttavia ricopre un'importanza sempre crescente.



Fig. 3.10 *Metamorfosi Kit 4* di Artemide, sistema che può adattarsi a varie soluzioni per progettare spazi interni ed esterni (grado di protezione IP65).

Se la prima analisi che può essere portata avanti studiando la luce è quella della visione, altre aree importanti sono quella fisiologica e la già citata area psicologica.

L'area di influenza della luce sulla visione è quella storicamente più rappresentata nella letteratura del settore, con parametri di valutazione come quello del contenimento degli abbagliamenti, la resa dei contrasti, le intensità luminose in gioco, la resa dei colori e altri parametri.

L'area fisiologica è invece, relativamente recente; fino a pochi anni fa, non era consuetudine progettare consapevoli del fatto che la luce, oltre che "consentire la visione", ha influenza su alcuni aspetti fisiologici (come ad esempio la regolazione dell'ormone Melatonina) dell'essere umano, che possono notevolmente influenzare fattori come la vigilanza e l'attenzione degli individui, le prestazioni nei lavoratori (ad esempio i turnisti), aiutare nella cura di alcuni tipi di depressione (ad esempio la Seasonal Affective Disorder) o di disturbo del sonno.

L'area psicologica invece è quella più complessa in quanto meno parametrizzabile, più trasversale e complessa, dal momento che i progettisti difficilmente sono anche psicologi e gli psicologi, difficilmente hanno necessità di indagini che coincidono con quelle dei progettisti.

Tuttavia, nonostante l'ampiezza del quadro generale sono stati fatti numerosi studi su più versanti e ormai ci sono le premesse per dire che il Design della luce sia pronto per una svolta epocale in termini di prodotti e impianti, occupandosi non solo della visione ma anche del benessere psicofisico umano nei luoghi di lavoro e residenziali.

Negli ultimi anni numerosi prodotti si sono affacciati al mercato presentati come apparecchi per il benessere e comfort degli utenti.

Molti di questi però si rivelano essere semplicemente delle macchine cambia colore, senza un reale studio scientifico che avalli quanto sostenuto dalle brochure pubblicitarie.

Fortunatamente altri apparecchi invece, sono il diretto risultato di studi e ricerche spesso condotte in collaborazione con prestigiose università e centri di ricerca.

3.2.5 LED bianco (Ra/CRI)

L'obiettivo di ottenere l'emissione della luce bianca è sempre stato centrale nella ricerca tecnologica sui LED, poiché è in base a questo parametro, e all'efficienza, che si attua l'effettivo paragone con le sorgenti tradizionali.

Attualmente sono tre i metodi per ottenere luce bianca e ognuno ha i propri potenziali vantaggi e caratteristiche tecniche specifiche, variano i valori di resa cromatica (Ra) e temperatura di colore.

Il primo metodo, detto RGB, miscela direttamente l'emissione di tre LED monocromatici rosso, verde e blu a costituire una reazione di sintesi additiva che il nostro occhio percepisce come bianca. I tre LED sono incapsulati sullo stesso supporto e consentono, qualora fosse richiesto, la gestione separata dei tre circuiti a comporre l'intera gamma dei colori visibili.

La seconda tecnica usa come base emettente un LED blu integrato con un filtro di fosfori che convertono parte della radiazione nella porzione di spettro del verde e del rosso.

Il terzo metodo e più recente fa uso della composizione AlInGaN per produrre un'emissione di luce ultravioletta che intercetta una combinazione dei fosfori tricromatici in modo da convertire tutta la radiazione nella banda del visibile.

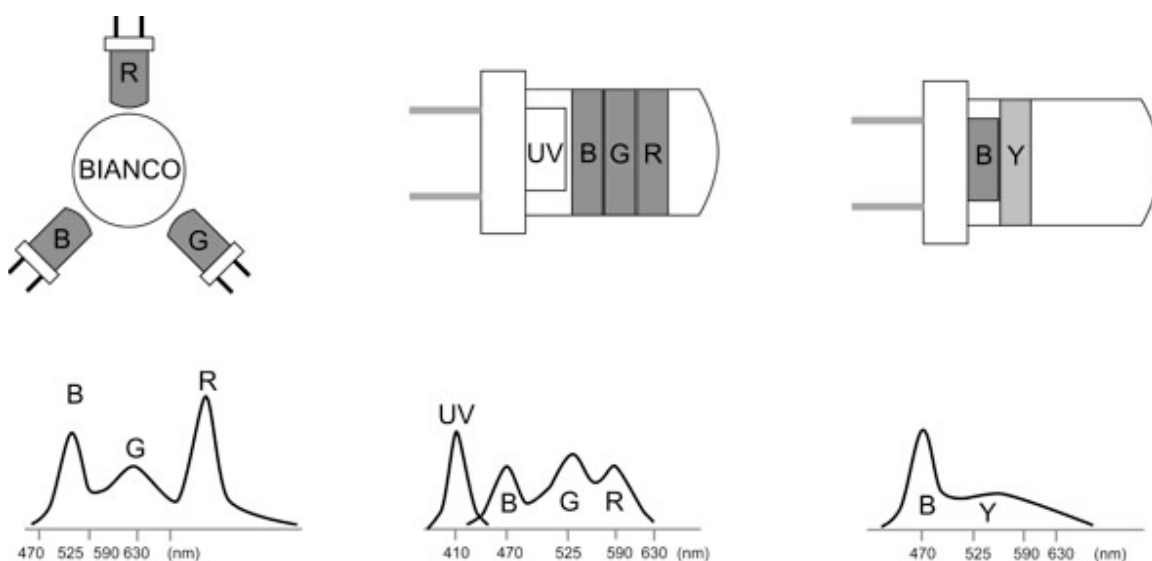


Fig. 3.11 I tre metodi per ottenere luce bianca dai LED: impiego tre diodi RGB, diodo ad emissione ultravioletta e tre fosfori RGB, LED blu e fosforo giallo.

Il metodo più semplice è sicuramente il primo. Facendo riferimento al diagramma dei colori CIE, un LED RGB sarà percepito come un colore con la triangolazione dipendente dall'equilibrio delle luminanze relative di ogni sorgente. Giustamente bilanciato, l'insieme può rispecchiare tutti i punti del triangolo e in particolare lungo la curva del corpo nero Planckiano. Nei modelli più sofisticati un circuito elettronico permette di cambiare la temperatura di colore a piacimento o mantenerla identica per tutta la durata del diodo, mentre la resa cromatica di un oggetto illuminato può essere eccellente (>95) soprattutto per LED a luce calda. L'intensità e la sfumatura di bianco ottenuta dipendono dalla quantità di fosforo usata nel rivestimento. La luce bianca "fredda" è generata diminuendo la quantità di fosfori, mentre l'effetto "incandescente" è raggiunto aumentandola.

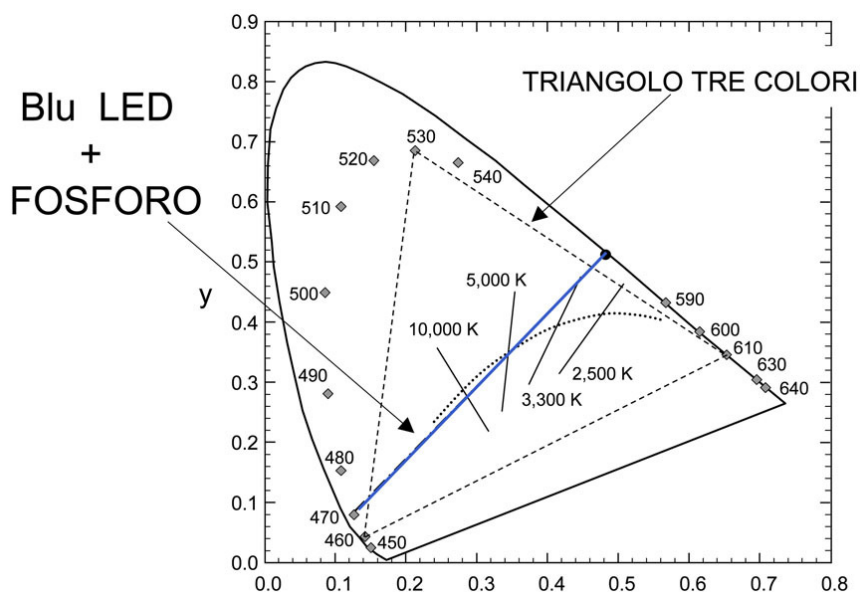


Fig. 3.12 Confronto d'emissione cromatica dei LED RGB e di quelli con fosforo sul diagramma CIE. (Lumileds)

Tutt'altro principio sottende il secondo metodo che può essere considerato costruttivamente più semplice, ma offre meno minori prestazioni in termini di flessibilità ed efficienza potenziale. Inoltre, soprattutto in una fase di produzione iniziale, garantisce meno stabilità cromatica tra lotti produttivi. Questo perché la qualità del bianco dipende dalle caratteristiche del fosforo in grado di convertire parte della radiazione blu nel suo complementare giallo. Il rapporto blu/giallo dipende quindi da una serie di fattori quali la densità, lo spessore, la dimensione delle particelle e la distribuzione del fosforo sul chip blu emittente. Anche le più piccole variazioni di uno di questi parametri portavano sostanziali differenze di colore e temperatura di colore tra i LED adiacenti e per diversi angoli d'emissione della stessa lampada LED. La prima generazione di questi LED veniva prodotta depositando una miscela di fosfori e resina epossidica (difficilmente misurabile per le dimensioni ridotte) su un riflettore a coppa. La variazione di temperatura di colore tra una lampada e l'altra poteva superare gli 800 k di differenza. Attualmente il processo di micro-deposito è notevolmente migliorato rendendo decisamente più omogenea la temperatura di colore tra LED e LED (variazione di circa 80k).

Il Ra per il LED a fosforo singolo è molto bassa per l'assenza nello spettro della componente rossa.

Per quanto riguarda la terza categoria di LED bianchi è forse prematuro fare delle considerazioni assolute in quanto si appoggia ad una tecnologia giovane che probabilmente ha ancora molto da dare prima di giungere a maturazione. In prima analisi è da evidenziare che la qualità di bianco emessa da questa sorgente è migliore di quella trattata in precedenza. Di contro evidenziamo la bassa efficienza dovuta all'assorbimento del package, che varia in dipendenza del colore del fosforo. Se quindi per il blu, che ha lunghezza d'onda vicino agli UV, possiamo parlare di efficienze comparabili alle tipologie precedenti per il rosso i valori sono molto bassi.

La previsione su quale di queste tecnologie prenderà il sopravvento è molto difficile considerando l'enorme quantità di variabili che i tre sistemi mettono in gioco.

3.3 Moduli LED

Dal punto di vista merceologico i LED hanno dato il via ad una moltitudine di soluzioni formali molto estesa che privilegia il criterio di accorpamento delle lampade in manufatti pensati per la sostituzione delle sorgenti tradizionali. Attualmente il mercato è costituito da un vastissimo gruppo di assemblatori di singole lampade in moduli che fanno riferimento a un nucleo di pochissimi produttori di diodi operanti a scala mondiale.

Ad un altro livello ancora troviamo i produttori d'apparecchi che utilizzano i moduli LED disponibili sul mercato o richiedono particolari soluzioni d'assemblaggio. A questo proposito sono da segnalare due atteggiamenti di base: i produttori che cercano di adattare la nuova sorgente ad apparecchi pensati per sorgenti tradizionali e quelli che intendono sfruttare a pieno le caratteristiche peculiari dei LED in prodotti di nuova concezione. I confini tra le ultime due categorie è spesso inesistente in logiche di integrazione del servizio.

Ritornando alla diffusione dei moduli, le motivazioni di tale atteggiamento sono da ricercarsi in primo luogo nella bassa emissione della singola lampada e quindi alla necessità di accorparla ad altre sorgenti analoghe. Inoltre così facendo si possono attuare strategie d'alimentazione multipla altrimenti inaccettabile per la singola sorgente.

Il fenomeno è così esteso che molti produttori-assemblatori preferiscono utilizzare una grande quantità di LED dalle potenze/dimensioni ridotte piuttosto che quelli ad alta emissione.

Questo evidenzia inoltre la grande flessibilità applicativa di tali sorgenti che si prestano a configurazioni spot, lineari e superficiali. Il terreno di confronto di tali soggetti commerciali, esclusi dalla ricerca scientifica sul diodo, è quindi design compositivo dei moduli e di tutti quegli accessori ottici ed elettrici di supporto ai LED lampada.

I Sistemi di Moduli LED sono costituiti da blocchi luminosi che si possono combinare per formare flessibili serie di moduli come una sorta di "domino", realizzando così sistemi di illuminazione creativi con l'impiego di apparecchi di illuminazione o montati direttamente su controsoffitti, a parete o a pavimento. Tra le aree di applicazione figurano l'illuminazione di orientamento per interni ed esterni e l'illuminazione di dettagli architettonici.

I Sistemi di Moduli LED sono sistemi versatili che consentono di combinare moduli LED e unità di alimentazione / controllo. I moduli LED contengono ottiche, reattori elettronici per LED, funzioni di controllo e un dissipatore termico integrato, per garantire un funzionamento affidabile e ad alto rendimento. L'unità di alimentazione / controllo trasforma l'alimentazione di rete in una stabile alimentazione a 12/24 Vcc per il funzionamento dei moduli LED. I moduli sono disponibili in varie forme, in vari colori (rosso, blu, verde, ambra, bianco freddo o bianco caldo - versioni bianche Ra 80+), in varie gamme di potenza e diversi modelli di ottiche (con fascio stretto, medio, largo e asimmetrico).

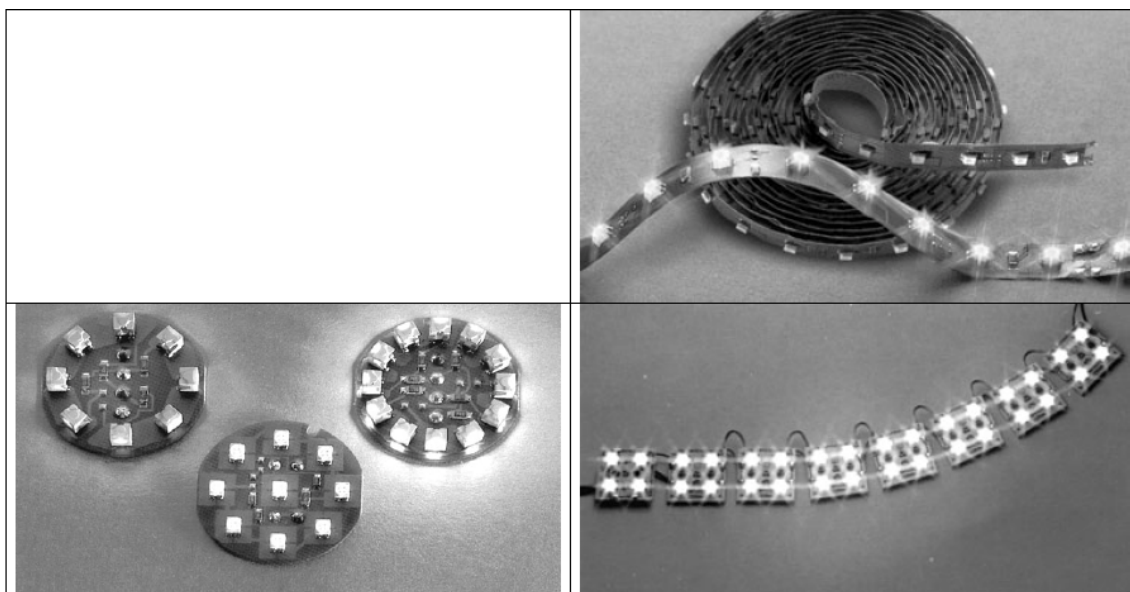


Fig. 3.13 Alcuni moduli LED

Il primo passo nello sviluppo di una nuova lampada o sistema che utilizzi i LED è quello di definire con precisione l'effetto da creare. La luce del diodo deve essere controllata e attualmente ci sono produttori che hanno sviluppato famiglie di lenti specificamente progettate per LED. I calcoli per la determinazione del fascio uscente dalla lente sono semplificati della natura della sorgente che si avvicina al puntiforme. Inoltre la possibilità di realizzarli in materiale plastico stampabile ad iniezione permette di ottenere facilmente forme piuttosto complesse. Queste caratteristiche di gestione del fascio sono particolarmente apprezzate nell'illuminazione d'accento e d'interni.

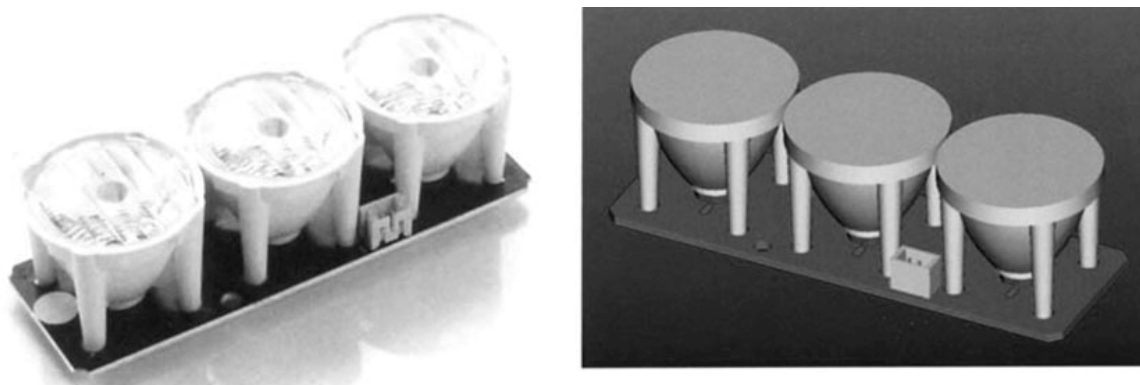


Fig. 3.14 LED con grosse lenti per concentrare il fascio

D'altro canto, creare un sistema d'illuminazione per LED richiede di valutare la quantità di luce necessaria e la relativa potenza d'alimentazione tramite di regolatori di corrente o driver. Alcuni produttori hanno sviluppato sistemi in grado di fornire un controllo separato dei singoli colori nel sistema d'illuminazione. Quasi tutti i modelli sono indirizzabili DALI o DMX per effetti di illuminazione dinamica di tipo cromatico o a livello di flusso luminoso.

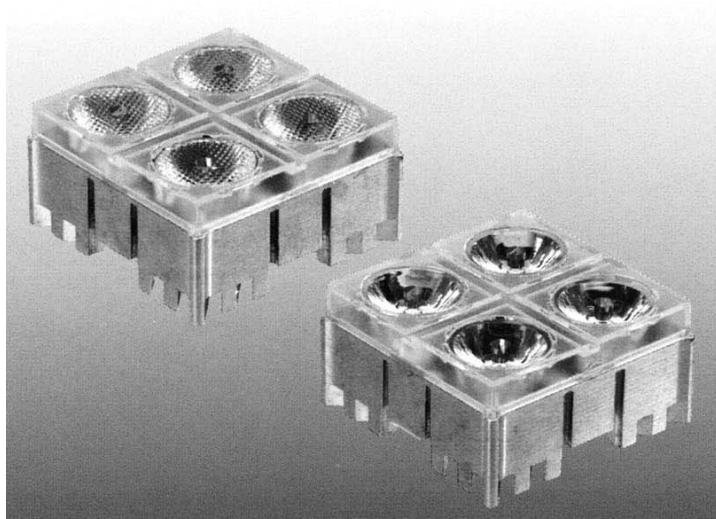


Fig. 3.15 LED con dissipatori di calore in alluminio.

Nel caso invece si sia optato per LED ad “alta” potenza si devono prendere in considerazione i risvolti termici del tale prodotto. Non bisogna mai scordare che un LED è un componente elettronico, i parametri elettrici di utilizzo, la corretta dispersione del calore prodotto influenzano in modo considerevole la vita del componente stesso. Diversamente dalle sorgenti convenzionali, che dissipano il calore grazie all’irraggiamento, alla convezione e alla conduzione, tutto il calore generato nei LED deve essere asportato dalla lampada per conduzione tramite zoccoli che poi disperdono l’accumulo termico nell’atmosfera circostante.

3.4 Applicazioni

Queste caratteristiche rendono la sorgente LED appetibile anche a settori impensabili fino a qualche tempo, come ad esempio il mondo dello *spettacolo*. Le possibilità di controllo DMX utilizzate in combinazione con i LED consentono di ottenere tempi di risposta brevissimi per effetti luminosi, effetti speciali e variazione dell'intensità luminosa, offrendo nel contempo una vasta gamma cromatica nell'intero spettro dei colori. Permettono inoltre di realizzare effetti di evanescenza e strobo, fino ad abbandonarsi a tecniche d'illuminazione di grande ispirazione artistica.

Tra gli altri vantaggi si annoverano inoltre l'elevata durata di vita e la robustezza dei LED, nonché le dimensioni più compatte e il peso ridotto rispetto ad altre sorgenti luminose, tutti elementi che hanno consentito di sviluppare faretto di dimensioni e lunghezza più ridotte e di semplice utilizzo.

Il fascio luminoso freddo dei diodi permette di mantenere sul palco una temperatura più bassa, consentendo così di utilizzare i faretto in punti sinora impensabili, ad esempio su tessuti o elementi ornamentali, applicazioni precedentemente inutilizzabili per motivi di sicurezza. Un altro elemento a favore del fattore sicurezza è la bassa tensione impiegata dai LED, tanto che i faretto non utilizzano la tensione di rete.

Negli *interni* i LED sono impiegati in tutti i locali dell'appartamento, compresi bagno, soggiorno e cucina: i prodotti per illuminazione architettonica, infatti, sfruttano le caratteristiche di compattezza, rendimento energetico ed elevata durata di vita dei LED per consentire l'integrazione nelle strutture e negli arredi dell'appartamento.

La soluzione LED offre una serie di vantaggi rispetto alle soluzioni con illuminazione a incandescenza. L'elevata durata di vita dei LED garantisce la possibilità di integrazione delle sorgenti luminose negli arredi dell'appartamento, senza necessità di adottare particolari accorgimenti per la sostituzione delle lampade e riducendo nel contempo i costi di manutenzione. I moderni ambienti di lavoro, le case, i luoghi di lettura, gli uffici, necessitano di fonti luminose differenti. La principale esigenza è quella di avere la giusta temperatura di colore.

Fino ad oggi sono state utilizzate differenti fonti luminose, come tubi fluorescenti con gradazione di bianco diverso, denominati a luce calda o fredda o ancora a luce diurna. In un modulo LED sono stati incorporati tre LED di colore bianco freddo, caldo, e ambra. La combinazione della luce viene miscelata da una sola lente integrata realizzando così uno spot a temperatura di colore variabile.

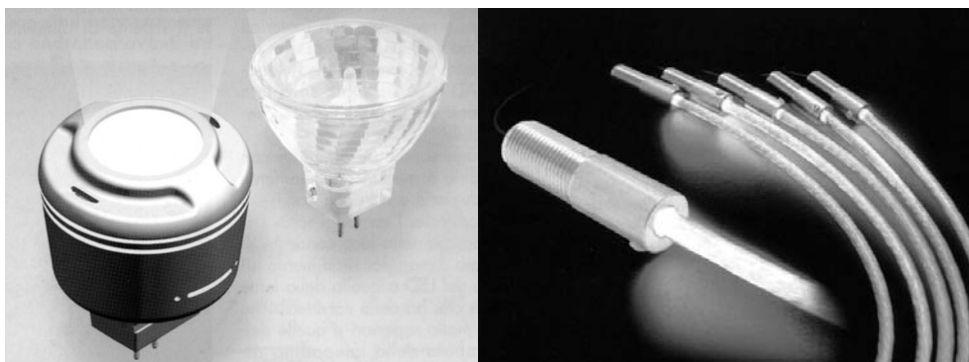


Fig 3.16 Inserimento dei LED in tipologie di sorgenti e sistemi d'illuminazione tradizionali

Come abbiamo visto i sistemi a LED offrono significativi vantaggi in termini di durata di vita e diventano particolarmente interessanti in *esterni* dove la manutenzione è difficoltosa. Inoltre la compattezza degli apparecchi che montano LED è particolarmente apprezzata in quelle applicazioni dove si voglia ridurre al minimo l'impatto visivo del corpo illuminante. I moduli LED lineari, che alloggiavano lampade di colore rosso, blu, verde, ambra o bianco, danno origine a cortine di luce di grandi lunghezze. L'apparecchio, generalmente stagno, può essere nascosto nell'opera architettonica grazie al suo profilo estremamente ridotto e, rispetto alle alternative lineari fluorescenti o allo xeno, presenta inoltre numerosi vantaggi in termini di saturazione cromatica, durata di vita, funzionamento a bassa tensione e rendimento energetico. Grazie a tutti questi vantaggi, i moduli LED lineari si rivelano ideali per impreziosire i monumenti architettonici nelle ore notturne.



Fig. 3.17 Apparecchi a LED per esterni

Anche il settore della mobilità è recentemente stato affascinato delle prospettive di tali sorgenti. Le caratteristiche di resistenza meccanica e direzionalità del flusso li hanno resi da tempo impiegabili nelle luci di segnalazione, mentre sono in atto sperimentazioni per l'uso dei LED in fanali di testa.

Data il continuo sviluppo della tecnologia LED è impensabile fare un quadro completo dei possibili utilizzi, ci è bastato quindi esemplificarne alcuni per dare un'idea dell'enorme flessibilità applicativa di tali sorgenti.

3.5 Normativa di riferimento per l'utilizzo delle sorgenti LED negli apparecchi

I moduli LED possono equipaggiare apparecchi di illuminazione per vari settori quali ad esempio:

- Segnalazioni generali e di percorsi
- Illuminazione d'accento
- Demarcazione di contorni d'edifici
- Insegne luminose
- Illuminazione d'interni
- Fari e segnalatori per la mobilità

Per quanto riguarda l'immissione sul mercato degli apparecchi di illuminazione equipaggiati con LED le normative di riferimento comunitarie non differiscono da quelle per apparecchi tradizionali e sono:

73/23/CEE Bassa Tensione (requisiti di sicurezza per le apparecchiature elettriche)

89/336/CEE Compatibilità elettromagnetica

Il rispetto delle prescrizioni della Normativa tecnica armonizzata permette ai Produttori di apparecchi di illuminazione con Moduli LED di ottenere il rilascio della Certificazione di Parte Terza, IMQ o equivalente.

Occorre inoltre considerare che il Prodotto ricade, per tutta la sua "vita", nel campo d'applicazione della seguente legislazione:

- Direttiva 85/374/CEE: "Ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri in materia di responsabilità per danno da prodotti difettosi";
- Direttiva 2001/95/CE: "Sicurezza generale dei prodotti";

Legge 10 Aprile 1991, n. 126: "Norme per l'informazione del consumatore".

È da notare che la Direttiva relativa alla Sicurezza Generale dei Prodotti (genericamente chiamata GPSD) non pregiudica e non interferisce con l'applicazione della Direttiva 85/374/CEE. Al contrario, se si volesse stabilire un parallelo tra le due Direttive, si può asserire che le stesse sono fra loro complementari.

Il termine "LED" è generico ed è utilizzato nel linguaggio comune per indicare un vasto insieme di componenti opto-elettronici, a partire da quelli con funzioni assimilabili alle sorgenti luminose sino ad arrivare, estremizzando, ai dispositivi con emissione luminosa coerente tipo "laser"; già dal 1993 i LED ricadono nel campo d'applicazione della IEC 60825-1, riguardante in generale la sicurezza dei prodotti laser. Detta Norma ne prescrive una classificazione allo scopo di fornire una serie d'indicazioni per preservare l'utilizzatore o l'osservatore da potenziali danni fotochimici e fotobiologici.

Questa particolare problematica è regolamentata dalla norma CEI EN 62471 che fornisce, per l'appunto, una guida per la valutazione della sicurezza fotobiologica delle lampade e dei sistemi di lampada, inclusi gli apparecchi di illuminazione. In particolare essa specifica i limiti di esposizione, la tecnica di misura di riferimento e lo schema di classificazione per la valutazione e il controllo dei rischi fotobiologici derivanti da tutte le sorgenti di radiazione ottica ad ampio spettro incoerente, compresi i LED, nel campo di lunghezze d'onda compreso tra 200 e 300 nm. In seguito, la Pubblicazione IEC è stata ratificata in ambito CENELEC, diventando Norma Europea EN 60825-1.

Significative modifiche a detta Norma EN sono allo studio per meglio focalizzare i dispositivi per l'illuminazione, sulla base di proposte in discussione nei Comitati pertinenti.

Il Progetto di Norma IEC 60825-6 dovrebbe apportare un importante contributo in materia.

Qualora il LED, che convenzionalmente s'intende il diodo "nudo" e dove la radiazione emessa è quasi sempre ortogonale alla superficie emittente del dispositivo, dovesse equipaggiare un apparecchio di illuminazione dotato di dispositivi con lenti concentranti la relativa classificazione risulterebbe ovviamente modificata.

Negli apparecchi di illuminazione possono essere impiegati unicamente Moduli LED, regolamentati dalla Norma EN/IEC 62031 che specifica le prescrizioni generali e di sicurezza per i moduli a diodi ad emissione luminosa (LED) dei seguenti tipi:

- moduli a LED senza unità di alimentazione integrata, per il funzionamento in condizioni di tensione, corrente o potenza costanti;
- moduli a LED con un'unità di alimentazione incorporata, previsti per l'uso con alimentazione in corrente continua sino a 250 V o in corrente alternata sino a 1 000 V a 50 Hz o 60 Hz.

I moduli LED vengono classificati come:

- Classe 1: dispositivi intrinsecamente e sempre sicuri nelle ragionevoli condizioni d'utilizzo previste;

oppure

- Classe 1M: dispositivi sicuri, nelle ragionevoli condizioni d'utilizzo previste, purché osservati ad occhio nudo senza alcuna amplificazione (es. occhiali da vista).

Tra le varie grandezze fisiche importanti per detta classificazione, figurano:

- il limite d'emissione accessibile (AEL - Accessible Emission Limit) che è stabilito per classe (o tipo);

- le dimensioni apparenti della sorgente, cioè l'angolo sotteso all'occhio dell'osservatore;

- l'esposizione massima permessa (MPE - Maximum Permissible Exposure),

valore di riferimento per evitare danni alla pelle o alla retina. Di solito è pari a 100 secondi, prendendo in considerazione la visione intenzionale della radiazione emessa ma non prolungata nel tempo;

- la distanza nominale per il rischio oculare (NOHD - Nominai Ocular Hazard Distance), che è la distanza minima dalla quale si può osservare la radiazione emessa senza incorrere in danni alla retina.

Se i valori d'emissione nelle condizioni di prova sono mantenuti entro i limiti "AEL" della Classe 1, i Moduli LED saranno sempre sicuri e ciò consente un utilizzo continuo, senza alcuna limitazione.

Nell'ipotesi che le radiazioni emesse siano maggiori, si applicano i valori massimi della nuova Classe 1M il che implica, di conseguenza, un'avvertenza da inserire nel manuale d'istruzioni con la distanza minima per il rischio oculare e l'etichettatura del prodotto. I principi di sicurezza della classe 1M si basano principalmente sulla reazione autoprotettiva dell'occhio (contrazione delle pupille e battito delle ciglia).

Ricade sul costruttore di apparecchi di illuminazione la responsabilità di accertare la classe d'appartenenza dei moduli LED impiegati e fornire le istruzioni per il corretto e sicuro impiego. Considerando che egli solitamente non provvede anche alla fabbricazione dei moduli, e quindi potrebbe non essere adeguatamente attrezzato per le verifiche del caso, è indispensabile il contributo informativo da parte dei costruttori dei moduli stessi. La Dichiarazione inerente alla classe d'appartenenza del LED, fornita dal produttore, diviene parte integrante del "File tecnico", requisito fondamentale per la Dichiarazione di Conformità alla Direttiva Bassa Tensione.

Per quanto riguarda gli alimentatori, invece, si farà riferimento alla Norma CEI EN 61437 che specifica le prescrizioni particolari di sicurezza per le unità di alimentazione elettroniche previste per funzionare con alimentazioni in corrente continua fino a 250 V e in corrente alternata fino a 100 V, a 50 Hz o 60 Hz e con una frequenza di uscita che può essere diversa dalla frequenza dell'alimentazione, associate ai moduli LED.

Le unità di alimentazione per i moduli LED specificate nella presente Norma sono progettate in modo da fornire una tensione o una corrente costante SELV, equivalenti a SELV o tensioni superiori. Alimentatori con funzionamento diverso rispetto a generatori di tensione e corrente puri non sono esclusi dell'applicazione della presente Norma.

CAPITOLO 4

Considerazioni in materia di progettazione termica per LED di alta potenza

Le sorgenti luminose a LED offrono la massima emissione luminosa in un ingombro davvero ridotto. Questa prerogativa è in parte dovuta agli innovativi sistemi di progettazione termica applicati a questi prodotti. La prima soluzione adottata nei LED ultraluminosi è la separazione del percorso termico da quello elettrico, e quindi dissipando più calore dal nucleo emettitore si riduce nettamente la resistenza termica. Si possono così gestire potenze notevolmente superiori.

Questi emettitori grandi e luminosi, con straordinarie capacità di potenza, sono in grado di offrire enormi quantità di luce in un involucro piccolo e robusto, che a sua volta offre ai designer l'opportunità unica di sviluppare nuove idee di progetto e di studiare nuovi prodotti che possano aumentare la qualità, l'efficienza energetica, la sicurezza e la longevità d'articoli esistenti.

I designer che lavorano con queste sorgenti luminose, devono prendere in considerazione alcuni fattori potenzialmente ignoti, come ad esempio l'impatto dell'incremento termico sulla resa ottica. La corretta gestione termica è fondamentale al fine di mantenere la giunzione del LED sotto la temperatura massima ammissibile.

Prima di finalizzare il progetto si deve pertanto dedicare il giusto tempo allo sviluppo di una simulazione termica dell'applicazione prevista. Dopo aver stabilito la temperatura target, la simulazione termica permette di considerare l'impatto di fattori quali la dimensione, il tipo di dissipatore e la corrente d'aria.

Tutti i prodotti montati su una scheda a circuito stampato con anima metallica MCPCB (Metal-Core-Printed-Circuit-Board) si possono usare anche senza protezione esterna; tuttavia non è consigliabile accendere questi dispositivi senza dissipatore aggiuntivo, se non per pochi secondi in quanto avrebbero temperature troppo elevate.

Di norma le applicazioni che impiegano le sorgenti luminose a LED richiedono l'uso di un dissipatore per una corretta gestione termica in qualsiasi condizione operativa: in base all'applicazione il dissipatore può anche essere una semplice piastra d'alluminio.

La scheda funge da connessione elettrica, ma anche da interfaccia per la dissipazione termica. Sebbene è raccomandato l'uso di un dissipatore aggiuntivo, fino a 25°C questi prodotti si possono azionare anche senza dissipatore.

In questi casi però la MCPCB può raggiungere temperature molto elevate (~70 °C) e quindi si deve adottare le opportune precauzioni. Le schede stampate ad alta conducibilità termica, sono costituite da uno strato di rame per la realizzazione delle piste, da uno strato di materiale dielettrico per l'isolamento elettrico tra i due metalli e da uno strato di materiale detto di base (spesso in alluminio). I substrati termici MCPCB (figura 4.1) minimizzano l'impedenza termica e conducono il calore più efficacemente ed efficientemente che le schede stampate standard e sono meccanicamente più robusti.

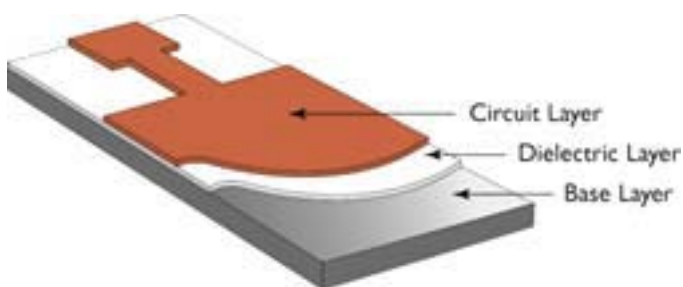


Fig. 4.1 Anatomia di una scheda (MCPCB) ad alta conducibilità termica.

Tradizionalmente, raffreddare un circuito stampato standard (es. tipo FR-4) richiedeva l'uso di gran materiale e spazi occupati dal dissipatore di calore e dai vari fissaggi (staffe, viti, o morsetti). Raffreddando con una scheda ad alta conducibilità termica quindi si riduce le dimensioni dei dissipatori di calore, e si migliorano le prestazioni: vita più lunga, la temperatura di funzionamento più bassa e quindi migliori emissioni luminose.

I benefici delle schede ad alta conducibilità includono quindi:

- Temperatura di funzionamento più bassa;
- Riduce il formato della scheda del circuito stampato;
- Aumenta la potenza dissipabile;
- Riduce il numero di connessioni;
- Migliora le prestazioni termiche e meccaniche del prodotto;
- Combina alimentazione e controlli;
- Migliora la durata del prodotto;
- Riduce i dissipatori di calore ed altri fissaggi di montaggio compreso il materiale termico dell'interfaccia;

Le piste del circuito stampato sono in rame ed hanno uno spessore che varia tra 35 e i 50 μ m nei casi più comuni. Il dielettrico offre l'isolamento elettrico con resistenza termica minima ed è l'elemento chiave della scheda termica che lega il metallo dello strato di base ed il metallo delle piste.

Il dielettrico è una miscela di polimeri e materiali ceramici con proprietà elettriche eccellenti. Il polimero è scelto per le relative proprietà elettriche d'isolamento e capacità di resistere all'invecchiamento termico mentre la parte di ceramica aumenta la conducibilità termica e fa l'alta resistenza dielettrica.

Il risultato è uno strato di isolamento che può avere ottime proprietà anche con 75 μ m di spessore. I dielettrici per schede termiche esistono in quattro tipi (figura 4.2) in base alla loro conducibilità termica e agli spessori:

- LTI: Bassa impedenza termica;
- HT: Alta temperatura;
- MP: Multi purpose;
- CML: Circuiti materiale laminato.

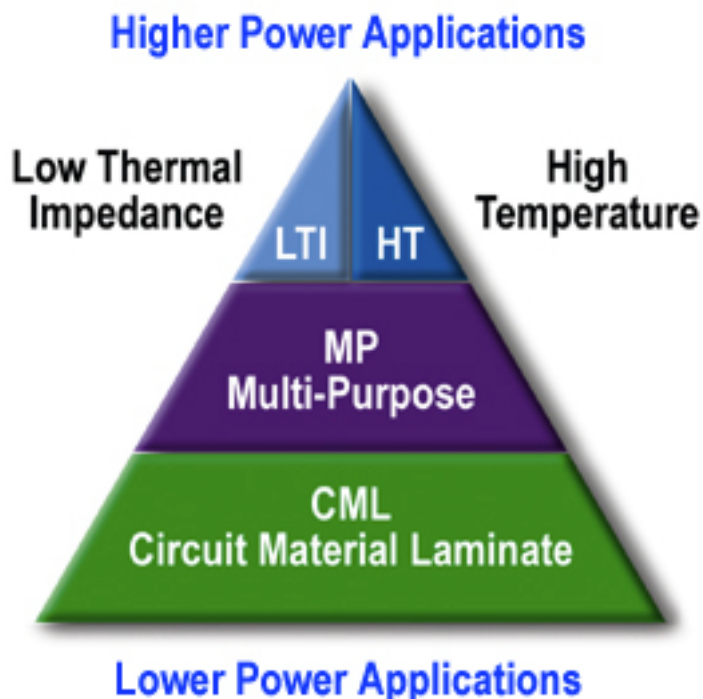


Fig. 4.2 Classificazione dei dielettrici disponibili.

I dielettrici sono disponibili con spessori da $75\mu\text{m}$ a $150\mu\text{m}$, secondo le diverse necessità d'isolamento elettrico. L'impedenza termica è l'unica misura che permette di determinare la densità di watt dell'applicazione, perché è responsabile del passaggio del flusso termico. Più bassa è la resistenza termica e più la temperatura della giunzione del LED è mantenuta bassa poiché il calore viaggia più efficientemente dai componenti.

L'alta conduttività termica è rilevante se lo spessore del materiale dielettrico è preso in considerazione. Lo strato di base è spesso di alluminio (di solito 1.6 mm di spessore), ma possono essere impiegati altri metalli come il rame, questi sono i più diffusi perché rappresentano i campioni d'industria. Il rame è più costoso dell'alluminio a parità di spessore. Com'è esempio, tipicamente il costo di 1 mm di rame equivale al costo di 3.2mm d'alluminio. In alcune applicazioni, lo strato di base non è necessario. La preoccupazione principale nei cicli termici è lo sforzo che il giunto della saldatura deve sopportare: essi non sono meccanicamente rigidi e lo sforzo indotto dal riscaldando e dal raffreddamento causa al giunto affaticamento. I grandi dispositivi, la grande differenza di temperatura, i materiali mal attaccati o uno spessore minimo andrà ad incidere sulla vita della saldatura. L'affaticamento delle saldature può essere minimizzato selezionando lo strato di base corretto.

4.1 Simulazione termica

I dispositivi montati su una scheda a circuito stampato con anima metallica (MCPCB) si possono usare anche senza protezione esterna, ma si possono raggiungere temperature molto elevate (~70 °C). Di norma le applicazioni che impiegano queste sorgenti luminose richiedono l'uso di un dissipatore per una corretta gestione termica in qualsiasi condizione operativa. In base all'applicazione il dissipatore può anche essere una semplice piastra d'alluminio. A ciascun emettitore corrisponde in genere 1 pollice quadrato di MCPCB. La scheda funge da connessione elettrica, ma anche da interfaccia per la dissipazione termica. La simulazione termica ha lo scopo di individuare la temperatura della giunzione (T_J). Il termine "giunzione" si riferisce alla giunzione PN nel circuito integrato del semiconduttore, è questa la zona del chip dove avvengono la generazione e l'emissione dei fotoni. Le schede tecniche dei LED forniscono i massimi valori raccomandati. E' opportuno determinare la temperatura della giunzione per una data applicazione facendo uso di un modello termico. Una delle principali grandezze matematiche usate nella progettazione della gestione termica è la resistenza termica ($R\theta$), che si definisce come il rapporto tra la differenza di temperatura e la dissipazione d'energia corrispondente.

La $R\theta_{J-A}$ di una sorgente luminosa con dissipatore è definita nell'equazione (5.1.1):

$$R\theta_{J-A} = \frac{\Delta T_{J-A}}{P_d} \quad (5.1.1)$$

Con:

$$\Delta T = T_J - T_A \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (5.1.2)$$

$$P_d = I_F * V_F \quad (5.1.3)$$

Dove:

P_d = Potenza dissipata (W)

T_J = Temperatura della giunzione

T_A = Temperatura ambiente

V_I = Tensione e corrente nominale

Un'analogia elettrica è definita dalla legge di Ohm.

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

dove:

I = corrente elettrica che percorre la resistenza

ΔV = caduta di tensione

R = resistenza

Il calore generato sulla giunzione si sposta dal circuito integrato seguendo il percorso termico semplificato indicato di seguito: giunzione_nucleo magnetico,

nucleo magnetico_scheda, scheda_aria ambiente. Per i sistemi che prevedono la conduzione termica tra più superfici e materiali il modello semplificato del percorso termico è rappresentato da un circuito di resistenze termiche in serie (figura 4.3). La resistenza termica totale ($R\theta_{J-A}$) di un'applicazione si può esprimere come la somma delle singole resistenze del percorso termico giunzione_ambiente.

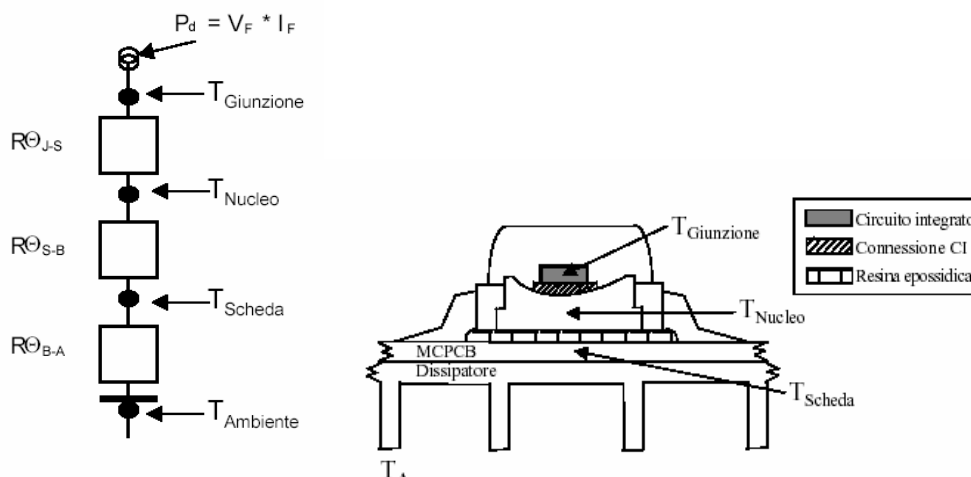


Fig. 4.3 Modello a resistenze termiche.

La figura 4.3 mostra i componenti della resistenza termica. Gli elementi di ciascuna resistenza sono collocati tra i rispettivi nodi di temperatura e riportati nella seguente formula:

$$R\theta_{J-A} = R\theta_{J-S} + R\theta_{S-B} + R\theta_{B-A} = R\theta_{J-B} + R\theta_{B-A}$$

Dove:

$R\theta_{G-N (J-S)}$ = $R\theta$ della connessione al circuito combinata con il materiale del circuito e del nucleo a contatto con la connessione al circuito.

$R\theta_{N-S (S-B)}$ = $R\theta$ della resina epossidica combinata con i materiali del nucleo e della scheda a contatto con la resina.

$R\theta_{S-A (B-A)}$ = la $R\theta$ combinata della superficie di contatto o dell'adesivo tra il dissipatore e la scheda e del dissipatore e l'aria ambiente.

Si può calcolare quindi la temperatura della giunzione del dispositivo:

$$T_J = T_a + P_d \cdot R\theta_{J-A}$$

Dove:

T_a = Temperatura ambiente;

$R\theta_{J-A}$ = Resistenza termica giunzione-ambiente.

4.2 Resistenza termica delle sorgenti luminose a led

Per ridurre al minimo la resistenza termica si è ottimizzato il percorso termico giunzione_scheda nelle sorgenti luminose a LED.

La resistenza termica totale per sistemi ad emettitori multipli, si può determinare con il modello a resistenze termiche parallele illustrato in figura 4.4. In questo modello ciascun emettitore è rappresentato da singole resistenze termiche parallele.

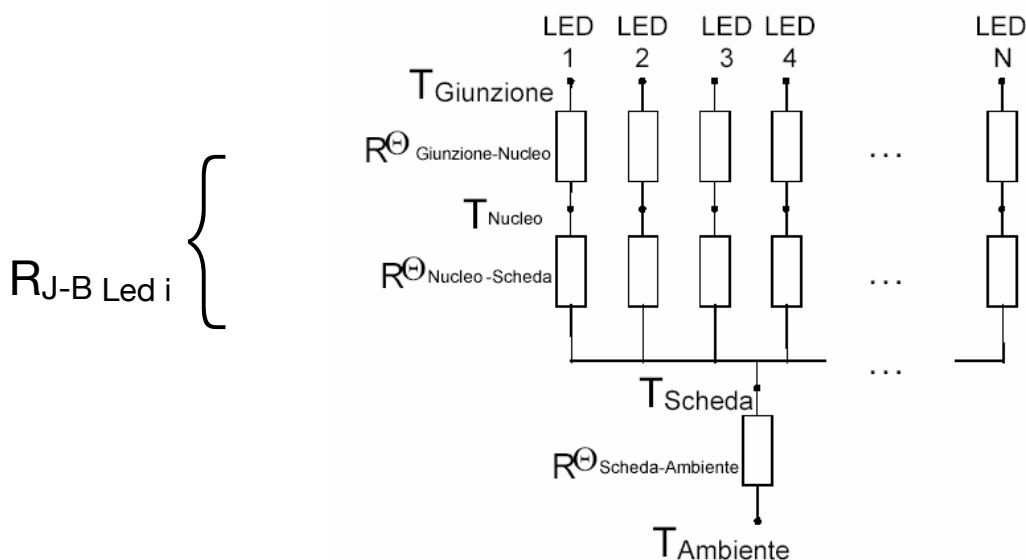


Fig. 4.4 Modello resistenze termiche parallelo

La resistenza termica tra giunzione e scheda dell'array di emettitori multipli ($R_{\theta_{J-B}}$) si ottiene con l'equazione della resistenza parallela:

$$\frac{1}{R_{\theta_{J-B}} \text{Totale_Arrey}} = \frac{1}{R_{\theta_{J-B}} \text{LED}(1)} + \dots + \frac{1}{R_{\theta_{J-B}} \text{LED}(N)}$$

Dal momento che tutte le resistenze parallele si possono ritenere equivalenti, l'equazione diventa:

$$\frac{1}{R_{\theta_{J-B}} \text{Totale_Arrey}} = \frac{N}{R_{\theta_{J-B}} \text{LED}}$$

oppure:

$$R\theta_{J-B} \text{ Totale_Array} = \frac{R\theta_{J-B} \text{ LED}}{N}$$

Dove:

$$R\theta_{J-B} \text{ emettitore LED} = R\theta_{J-S} + R\theta_{S-B} \quad (5.2.4)$$

N= numero di emettitori

La potenza totale dissipata dell'array si deve usare in qualsiasi calcolo per la simulazione della resistenza termica totale. Essa corrisponde alla somma di $V_F * I_F$ per tutti gli emettitori, in altre parole il prodotto tra tensione e corrente d'alimentazione. La simulazione termica si può usare per prevedere la temperatura della giunzione (T_J) per una determinata applicazione.

$$T_J = T_a + Pd * R\theta_{J-A}$$

Le variabili si possono usare nella simulazione termica come fattori di controllo in fase di progettazione.

Una buona progettazione termica comprende limiti T_J basati su diversi fattori tra cui:

- Emissione luminosa all'aumento della temperatura T_J

Se la temperatura T_J aumenta, i LED subiscono una perdita d'emissione luminosa quindi quanto più basso è il valore di T_J tanto migliore sarà l'efficienza luminosa del prodotto (e quindi l'emissione luminosa). I dispositivi sui quali i LED sono semplicemente montati, in un secondo tempo, possono non dissipare adeguatamente il calore. Ad es. quando la temperatura aumenta durante la giornata gli emettitori possono perdere di luminosità. Il problema si risolve in parte modificando la struttura esterna del dispositivo in modo da consentire all'aria di circolare per raffreddare gli elementi.

Il tasso di degrado dell'emissione luminosa, se l'azionamento avviene ad una corrente DC fissa, tende anche ad aumentare con temperature più elevate (figura 4.5).

Con l'aumento di T_J il colore degli emettitori può distorcere leggermente verso lunghezze d'onda più elevate. Gli emettitori rosso, arancio e ambra sono i più sensibili a quest'effetto, anche se l'occhio umano è più sensibile alle variazioni cromatiche nello spettro dell'ambra. Il peso di quest'effetto dipende dalla gamma di colori richiesta per l'applicazione. Se la gamma cromatica è molto ristretta occorrerà tener conto della distorsione per impostare la T_J massima.

4.2.1 Temperature nominali in funzione dell'affidabilità

Per garantire l'affidabilità operativa dei dispositivi a LED occorre rispettare i valori termici nominali assoluti massimi indicati nelle specifiche. La T_J massima si basa sulla sollecitazione termica tollerata dalla capsula in silicone che avvolge il circuito integrato.

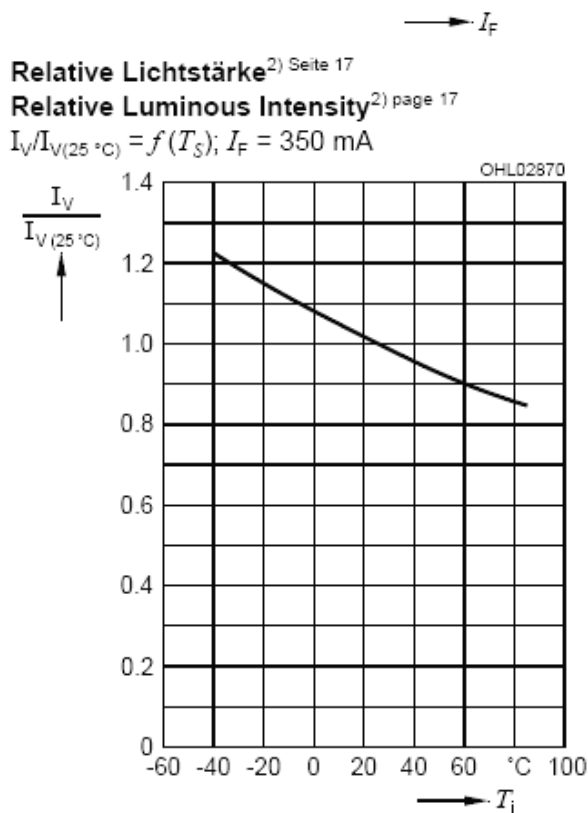


Fig. 4.5 Grafico dell'emissione luminosa al variare della temperatura della giunzione (da datasheet).

4.2.2 Determinazione delle condizioni termiche ambientali

Il progettista deve considerare la massima temperatura ambiente (T_A) a cui la sorgente luminosa sarà sottoposta durante l'uso. Nella maggior parte dei casi gli standard dei prodotti consentono di determinare la T_A del caso più sfavorevole. Diversamente si deve utilizzare valori tipici per T_A . Si ricorda che le temperature ambiente devono tener conto d'altre fonti di calore, quali componenti elettronici o riscaldamento dovuto alla luce solare.

4.2.3 Potenza dissipata

La potenza dissipata (P_d) si può calcolare come la tensione diretta (V_f) dell'emettitore moltiplicata per la corrente diretta (I_f). La parte di potenza emessa sotto forma di luce visibile (circa il 10%) non influisce sulla progettazione termica.

CAPITOLO 5

IL DISSIPATORE

5.1 Relazione fra temperatura e potenza

Nei componenti passivi (resistori) e a semiconduttore (sia discreti che integrati) il passaggio della corrente elettrica provoca - per effetto Joule - un innalzamento della temperatura dei dispositivi, che può essere calcolato attraverso la seguente relazione:

$$(1) T_w - T_a = P_d \cdot R_{th}$$

dove T_w è la temperatura raggiunta dal dispositivo a causa della dissipazione della potenza applicata P_d , T_a è la temperatura dell'ambiente circostante ed R_{th} è una costante che viene chiamata "resistenza termica", che rappresenta la difficoltà di smaltimento del calore verso l'ambiente circostante ed è l'inverso della "conduttanza termica" dei materiali e dei fluidi che smaltiscono il calore prodotto. Dalla (1) si ricava che l'unità di misura della resistenza termica è il grado/Watt ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$).

Poiché il costruttore del dispositivo indica nel foglio tecnico una temperatura massima di funzionamento T_{max} , è possibile calcolare la massima potenza P_{max} dissipabile dal dispositivo stesso ad una temperatura ambiente T_{amax} sfruttando la relazione (1), e riscrivendola nel modo seguente:

$$(2) T_{max} - T_{amax} = P_{max} \cdot R_{th}$$

La relazione ora vista ci spiega inoltre perché, una volta raggiunta la massima temperatura specificata, un'ulteriore incremento della potenza applicata porterebbe ad un ulteriore aumento della temperatura, con conseguente possibile danneggiamento del dispositivo. Dovrebbe essere chiaro, quindi, che i limiti di potenza specificati per un certo dispositivo dipendono strettamente dai limiti di temperatura dello stesso.

5.2 La “curva di derating”

Nel foglio tecnico di un resistore viene riportato un grafico detto “curva di derating”, mostrato in Figura 5.1:

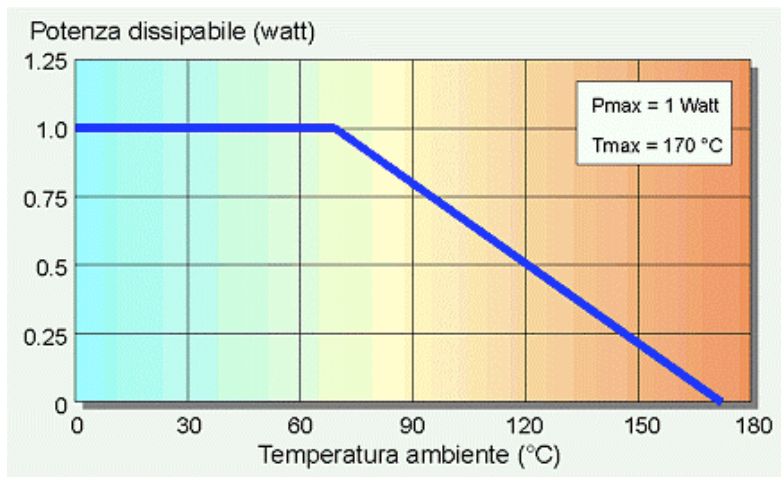


Fig. 5.1 - Curva di derating di un elemento resistivo da 1 Watt.

Come si vede dalla curva di derating, è possibile dissipare la potenza nominale fino ad una temperatura ambiente di 70 °C, superata la quale è necessario ridurre progressivamente la potenza dissipata fino a che - raggiunta la temperatura massima di lavoro di 170 °C - la potenza dissipabile diviene nulla come già osservato a proposito della relazione (2).

Vi è da notare però che la rappresentazione grafica della relazione (2) in un piano di coordinate P_d/T_a è quella di una retta di coefficiente angolare $-1/R_{th}$, e non quello di una spezzata come quella riportata in Figura 1. Perché mai?

La risposta è che il costruttore, per problemi legati alle caratteristiche dei materiali utilizzati nella costruzione del dispositivo, indica una potenza massima dissipabile “di sicurezza” fino ad una determinata temperatura ambiente, che nella figura riportata è ad esempio di 70 °C. Secondo la relazione (2) avremmo invece che a temperature inferiori allo zero potremmo in teoria dissipare potenze progressivamente crescenti, ciò che il costruttore ci sconsiglia di fare.

5.3 I dissipatori e i meccanismi di propagazione del calore

Visti i limiti di temperatura - e quindi di potenza - imposti dal costruttore (e utili alla corretta “sopravvivenza” del dispositivo) come è possibile smaltire adeguatamente il calore prodotto o addirittura estendere i limiti indicati dalla curva di derating?

Per i dispositivi di potenza la risposta è semplice: l’impiego del “dissipatore di calore”, ovvero di un elemento che sia un buon conduttore di calore (tipicamente un metallo o un materiale ceramico) che, posto a contatto con il nostro dispositivo (incollato o fissato a vite), permetta un migliore smaltimento del calore.

Come opera un dissipatore? In pratica esso “estende” le dimensioni fisiche del dispositivo, permettendo quindi un miglior smaltimento del calore, in quanto

“sottrae” il calore prodotto per effetto Joule e lo trasferisce all’ambiente circostante, e impedisce il superamento della temperatura limite.

Che cosa cambia nella formula (2)? Semplice: poiché la presenza del dissipatore serve per aumentare la conduttanza termica fra il nostro dispositivo e l’ambiente, si può affermare che la presenza del dissipatore porta ad una riduzione della resistenza termica, che è appunto l’inverso della conduttanza termica. La riduzione della R_{th} nella formula (2) permette quindi di diminuire la temperatura raggiunta dal dispositivo oppure - volendo sfruttare comunque la massima temperatura di lavoro - disporre di una potenza dissipabile più elevata.

Per meglio comprendere non solo il meccanismo di smaltimento del calore ma anche come ottimizzare i vantaggi derivabili dall’impiego di un dissipatore, analizziamo brevemente le tre modalità di propagazione del calore.

- *Conduzione*: è quella che avviene all’interno di un corpo o fra due corpi in contatto fra di loro a causa dell’agitazione termica degli atomi, ed è il meccanismo più efficiente di trasmissione del calore. Per tale motivo il dispositivo che produce calore va fissato saldamente a contatto con il dissipatore, che deve essere costituito da un materiale con una elevata conducibilità termica; il materiale più utilizzato grazie al costo contenuto e alla facilità di produrre profilati ottenuti per estrusione è l’alluminio.

- *Convezione*: la convezione è il moto all’interno di un fluido, per cui si sfrutta questo fenomeno ad esempio per asportare il calore del dissipatore (o del componente stesso) attraverso il movimento dell’aria, che può essere naturale (dovuto al fenomeno di espansione termica) oppure forzato (tramite ventole). Per le elevate potenze, il fluido refrigerante può essere anche un liquido, che scorre in un condotto all’interno del dissipatore e viene poi raffreddato o per sostituzione (acqua corrente) o tramite un opportuno radiatore.

- *Irraggiamento*: il dissipatore e lo stesso componente irradiano calore nell’ambiente circostante per mezzo della radiazione infrarossa, ed anche questo fenomeno contribuisce allo smaltimento del calore, anche se alle basse temperature rappresenta una frazione trascurabile del totale.

Una esemplificazione visiva dei tre meccanismi è mostrata in Figura 5.2.

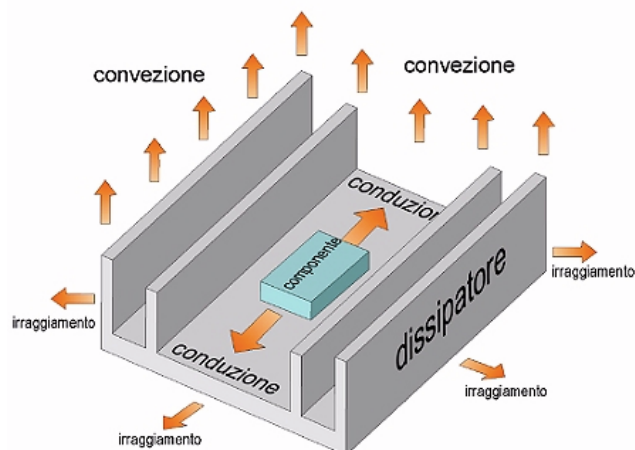


Fig. 5.2 - Ecco i tre meccanismi di propagazione del calore nel caso di un dispositivo elettronico fissato ad un dissipatore

Va inoltre precisato che l'efficienza di un dissipatore dipende da parametri quali ad esempio il materiale utilizzato (conducibilità termica), le sue dimensioni (valore della resistenza termica), la forma (efficacia della convezione dell'aria), il colore (effetto "corpo nero" e quindi efficienza nell'irraggiamento), la finitura superficiale (resistenza di contatto con il componente elettronico e valore dell'irraggiamento), le condizioni di ventilazione (anche se interno o esterno all'apparecchiatura), la posizione di montaggio (verticale ad alette verticali per una migliore convezione dell'aria) e infine la posizione di montaggio del carico sul dissipatore stesso (centrale oppure verso il bordo).

Detto ciò, il parametro che caratterizza l'efficienza di un dissipatore e che riassume gli altri parametri ora visti è la sua resistenza termica $R_{th(d-a)}$, ovvero fra dissipatore e ambiente, che viene specificata dal costruttore sul relativo foglio tecnico, e che viene definita come l'incremento di temperatura subito a causa dell'applicazione di una potenza elettrica (attiva) di 1 Watt, concordemente con quanto si può dedurre dalla relazione (1).

5.4 Aggiungere un dissipatore al modello

Il componente $R_{\theta_{B-A}}$ di $R_{\theta_{J-A}}$ rappresenta il dissipatore e l'interfaccia di collegamento. La scelta della resistenza termica per la dissipazione del calore $R_{\theta_{B-A}}$ è affidata al progettista che dovrà utilizzare il prodotto. Il progettista deve determinare il dissipatore più adatto ad ogni specifica applicazione.

5.4.1 Caratteristiche del dissipatore

Sono stati testati dalle case produttrici alcuni dissipatori di calore con configurazione classica, con alette e piani. I test sono stati condotti nelle seguenti condizioni: convezione libera (o naturale) senza ventola (figura 4.6) e convezione forzata in una piccola galleria del vento (figura 4.7).

I LED sottoposti alla prova non montavano ottiche. In base all'orientamento s'influisce sulla corrente di convezione che agisce sul dissipatore connesso.

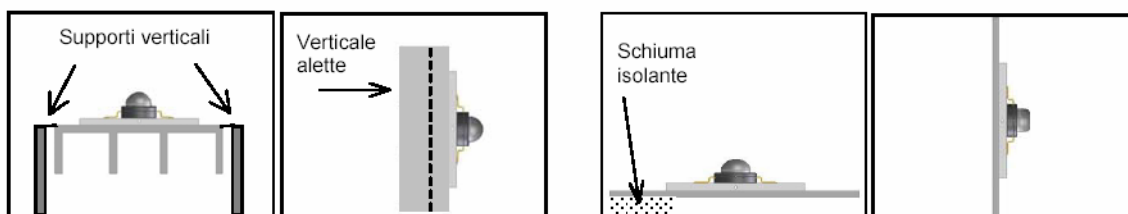


Fig. 5.3 Dissipatore in convezione naturale.

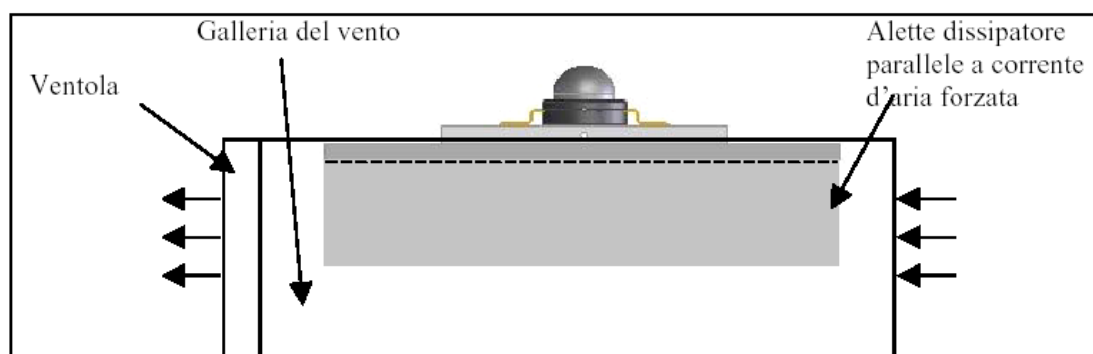


Fig. 5.4 Dissipatore in convezione forzata.

Sono stati testati due tipi di dissipatore, ad alette e piani. Tutti i dissipatori sono in alluminio, che rappresenta la scelta d'elezione con la sua eccellente conduttività termica, la facile reperibilità e il costo ridotto.

Alcuni campioni sono stati esaminati in convezione libera, con orientamento sia orizzontale che verticale, come indicato nella figura 4.6.

I dissipatori ad alette sono stati testati in una piccola galleria del vento in contenitore chiuso controllato: la figura 4.7 illustra l'impostazione della ventilazione forzata. Per definire le caratteristiche dei dissipatori ad alette in convezione libera è stata utilizzata la stessa impostazione spegnendo la ventola. Il dissipatore ad alette è stato sospeso in alto in modo da consentire all'aria di circolare. Le schede sono state montate con dispositivi di fissaggio meccanici perché la superficie di montaggio del dissipatore era liscia e leggermente lucida. Non è stata usata pasta conduttrice. Tutte le prove si sono svolte in un contenitore chiuso per controllare la convezione libera e migliorare la ripetibilità. Le misurazioni sono state fatte in regime stazionario. Le condizioni ambientali di partenza prevedevano una temperatura nominale di 25°C, aumentata nel momento in cui i LED hanno raggiunto le temperature di regime stazionario. I grafici possono indirizzare il progettista nella scelta del dissipatore di tipo e dimensione adatti all'applicazione prevista. I grafici per gli emettitori disposti ad una distanza di 25mm indicano la $R\theta_{B-A}$ sull'asse y e la superficie di dissipazione richiesta per ogni emettitore sull'asse x. I grafici a seguire indicano le dimensioni del dissipatore in due modi: l'espressione "superficie esposta" rimanda alla somma totale di tutte le superfici del dissipatore esposte alla convezione; l'espressione "area d'ingombro" quantifica la superficie occupata dal dissipatore (figura 5.6).

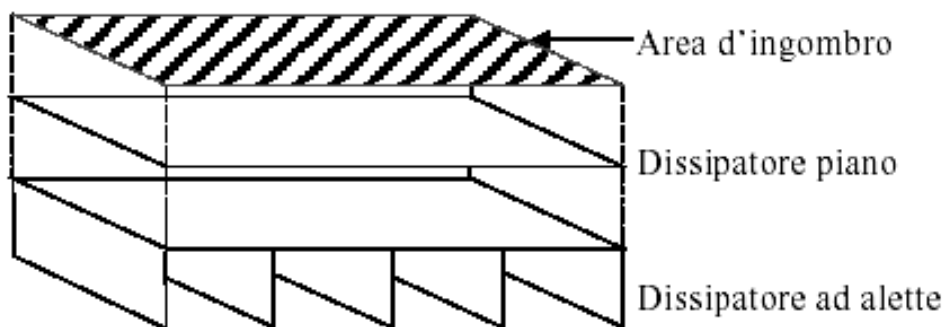


Fig. 5.5 Area di ingombro dissipatore.

A parità d'area d'ingombro un dissipatore ad alette ha una superficie esposta maggiore rispetto ad un dissipatore piano.

5.4.2 Grafici per la definizione del dissipatore

Quando gli emettitori sono disposti ad una distanza di 25mm uno dall'altro ognuno di essi agisce come sorgente di calore discreta. I grafici aiutano a calcolare le dimensioni del dissipatore e indicano la $R\theta_{B-A}$ in rapporto alla superficie di dissipazione richiesta per ogni emettitore in una specifica applicazione. Nel caso di dissipatore piano orizzontale in convezione libera (naturale) si vede che aumentando la superficie esposta, diminuisce la resistenza termica. Con la disposizione orizzontale una sola superficie del dissipatore, orientata verso l'alto, è esposta alla convezione. La superficie inferiore è a contatto con la schiuma isolante. Per la convezione quest'orientamento è poco efficiente ed origina la massima resistenza termica prevista. Nel caso d'orientamento verticale in convezione libera la superficie esposta raddoppia, perché entrambi i lati sono esposti alla corrente d'aria. In questo modo si ottiene una dissipazione più efficiente con la stessa area d'ingombro. La figura 5.6 illustra quest'effetto in relazione all'area d'ingombro nel caso di dissipatore piano di spessore 2.3mm.

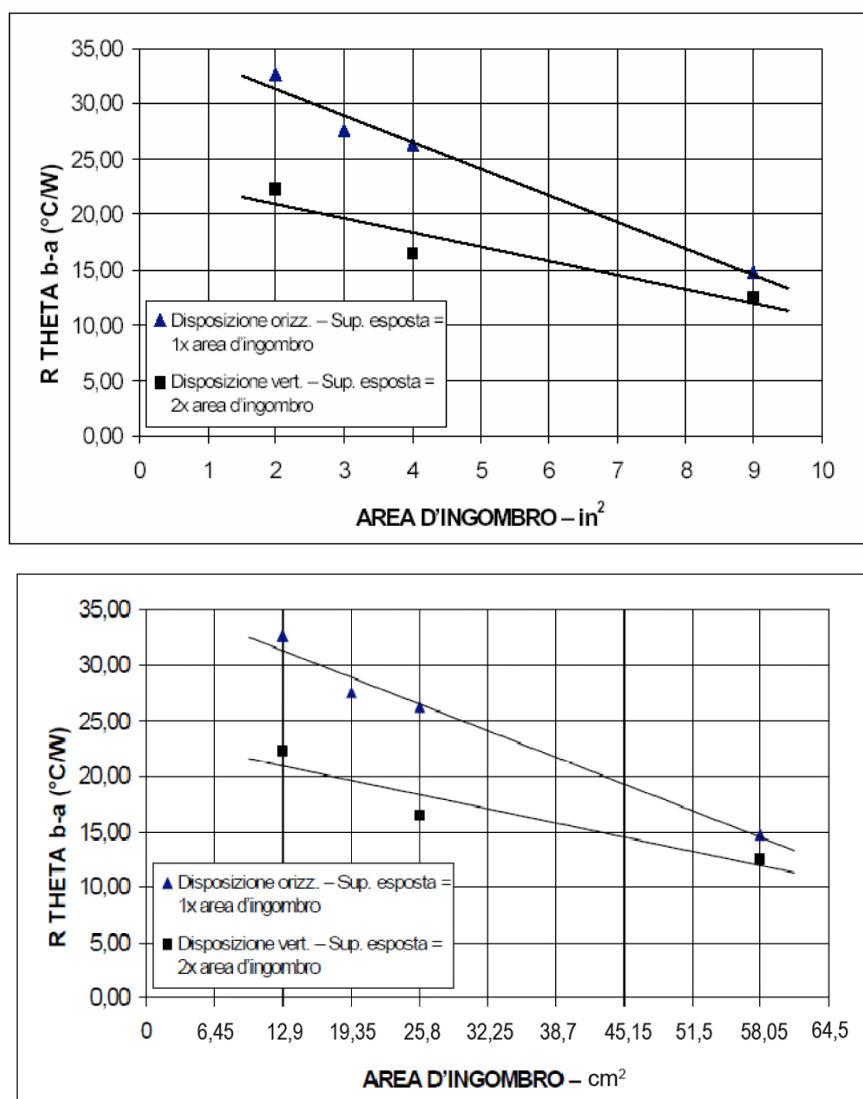


Fig. 5.6 Grafico della resistenza termica in funzione dell'area d'ingombro.

Con orientamento verticale la resistenza termica si riduce considerevolmente perché la superficie esposta raddoppia.

La superficie totale del dissipatore orizzontale corrisponde all'area d'ingombro. Per il dissipatore verticale la superficie esposta totale è doppia rispetto all'area d'ingombro ed è più efficiente anche per le caratteristiche della convezione libera. L'aria calda in movimento lungo una superficie verticale è più efficiente dell'aria che si allontana da una superficie orizzontale muovendosi in verticale. Quando le aree d'ingombro si approssimano a 9 in^2 ($58,05 \text{ cm}^2$) la $R_{\theta_{B-A}}$ nelle due disposizioni inizia a convergere. Questo dimostra che se l'area d'ingombro è prossima a 9 in^2 ($58,05 \text{ cm}^2$) per emettitore, l'orientamento del dissipatore non è fondamentale.

Le due condizioni illustrate rappresentano rispettivamente la configurazione più efficiente (verticale, 2 superfici di convezione) e quella meno efficiente (orizzontale su schiuma isolante a bassa conduzione) di un dissipatore piano. La maggior parte delle applicazioni probabilmente si trova in una condizione intermedia.

Per scegliere il dissipatore adatto ad un'applicazione occorre determinare le condizioni teoriche più simili alla realtà e confrontare l'impiego di dissipatori alettati rispetto a quelli piani (figura 5.7). Occorre inoltre individuare altri fattori che potrebbero rendere la $R\theta_{B_A}$ maggiore o minore dei limiti indicati.

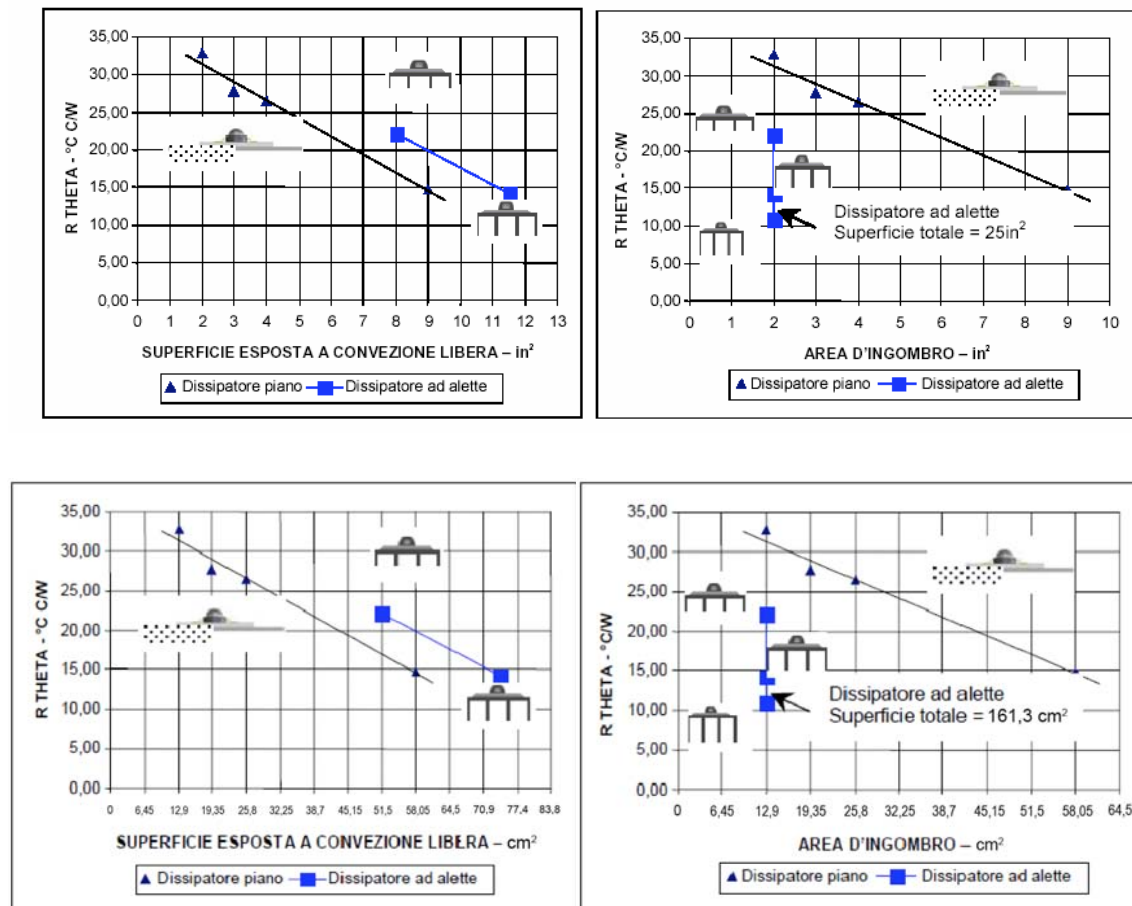


Fig. 5.7 Nei grafici sono confrontati dei dissipatori ad alette con dei dissipatori piani.

5.5 Collegamento al dissipatore

5.5.1 Collegamento meccanico

Per prestazioni ottimali è opportuno montare le sorgenti luminose a LED direttamente su un dissipatore con dispositivi di fissaggio meccanici. I dispositivi di fissaggio si possono usare alla presenza di superfici metalliche estruse o lisce lavorate di macchina. L'aggiunta di pasta conduttrice può ridurre gli interstizi e migliorare il contatto termico in presenza di superfici irregolari.

5.5.2 Collegamento con adesivo

Nastri e adesivi possono migliorare il contatto termico con superfici irregolari. La figura 4.11 indica le resistenze termiche tipiche di collanti e nastri reperibili in commercio. In generale la prestazione termica dei collanti, pur essendo superiore a quella dei nastri, è piuttosto costante tra le varie tipologie. Se le temperature ambiente di lavoro sono elevate è consigliabile usare un prodotto con resistenza termica il più possibile bassa.

Alcuni esempi di prodotti in commercio:

	MONTAGGIO LIVELLO 1 NUCLEO - SCHEDA		MONTAGGIO LIVELLO 2 SCHEDA - DISSIPATORE		DATI PRODUTTORE
	ADESIVI	R_{θ} NUCLEO-SCHEDA AGGIUNTA PER EMETTITORE $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ AREA NUCLEO 0,0441IN ² (28mm ²)	R_{θ} SCHEDA-SOMMITÀ DISSIPATORE AGGIUNTA PER EMETTITORE $^{\circ}\text{C}/\text{W}$	AREA SCHEDA 1IN ² (625mm ²)	
COLLANTI SPESSORE 0,010" CIRCA	AMICON E3503-1	4,8	*		EMERSON & CUMING-BELGIUM PH: 0032/ 14 57 56 11
	EPOTEK T7109	2,3	*		EPOXY TECHNOLOGY 1 508 667 3805 WWW.EPOTEK.COM
NASTRI	BOND PLY 105 (SPESSORE 0,005")	14	3 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$		THE BERGQUIST COMPANY WWW.BERGQUISTCOMPANY.COM
	KAPTON	9,5			

Fig. 5.8 Esempi di adesivi ad alta conducibilità termica in commercio.

Prima di scegliere un adesivo o un materiale d'interfaccia è necessario accertarne l'idoneità e la compatibilità con i prodotti, i processi produttivi e l'applicazione prevista.

5.6 Procedura di scelta di un dissipatore di dimensioni minime

Fase 1: Determinare la $R\theta_{J-A}$ ammessa. Considerando che T_J sia la variabile vincolante è possibile applicare l'equazione (5.2.5):

$$T_J = T_a + P_d * R\theta_{J-A}$$

Inserire nell'equazione la T_J massima assoluta e la T_A delle condizioni operative più sfavorevoli. Per ottenere le prestazioni ottiche necessarie all'applicazione può essere necessario specificare un valore T_J massimo inferiore a 120°C. La potenza dissipata P_d si determina con la (5.1.3):

$$P_d = V_F * I_F$$

Risolvere per $R\theta_{J-A}$ usando la (5.1.1):

$$R\theta_{J-A} = \frac{\Delta T_{J-A}}{P_d}$$

Fase 2: Sottrarre la $R\theta_{J-B}$ dell'emettitore dalla $R\theta_{J-A}$ per ottenere la $R\theta_{B-A}$ target.

Fase 3: Utilizzando la $R\theta_{B-A}$ cercare la superficie del dissipatore che corrisponde alla $R\theta_{B-A}$ target per determinare la dimensione del dissipatore in funzione dell'applicazione. Utilizzando un dissipatore ad alette è possibile ridurre l'area d'ingombro.

Se i vincoli dimensionali del dissipatore in funzione dell'applicazione sono noti, è possibile determinare subito una $R\theta_{B-A}$ target per il dissipatore stesso. In fase di valutazione del progetto è possibile modificare ripetutamente le variabili d'immissione della fase 1 utilizzando la dimensione del dissipatore come parametro vincolante. Ad esempio, un'applicazione può funzionare con una corrente d'azionamento IF inferiore pur continuando a rispettare i requisiti relativi all'emissione luminosa.

Questo riduce la potenza dissipata P e aumenta la $R\theta_{B-A}$ target, che si potrebbe ottenere con un dissipatore più piccolo.

Se sono disponibili prototipi dell'applicazione è importante monitorare la temperatura del PCB con anima metallica degli emettitori e confrontarla con i risultati della simulazione termica. Si deve controllare le temperature sul punto più caldo della scheda, in genere vicino al centro dell'array d'emettitori e il più vicino possibile alla base di un emettitore.

E' importante valutare il progetto in funzione della temperatura ambiente prevista, della corrente d'aria ambiente e senza dimenticare eventuali altri carichi termici. Per controllare le temperature è possibile avvalersi di un rilevatore con sonda di superficie, per quanto questo strumento non sia pratico in presenza di

strutture chiuse. In genere le termocoppie costituiscono la soluzione più pratica per questo tipo di controllo oppure videocamere a rivelazione termica.

CAPITOLO 6

SPECIFICHE DI PROGETTO**6.1 Scelta del LED per il progetto**

La scelta della sorgente luminosa è quanto mai centrale nel mio percorso progettuale. Pertanto ho deciso di partire dal “cuore” del prodotto anziché dall’aspetto estetico esteriore e questo, come vedremo più avanti, avrà delle ripercussioni positive anche sulle dimensioni e sulla forma finale dell’oggetto.

Le caratteristiche principali del LED dovevano quindi essere quelle di avere un’alta efficienza luminosa e quindi un ottimo rapporto lumen/watt, di utilizzare la minor quantità possibile di energia garantendo comunque un buon flusso luminoso ed infine, ma non meno importante, di produrre luce “di buona qualità” e cioè che potesse fornire un alto comfort visivo all’utente.

Fatte queste premesse e una volta districatomi nel ricchissimo mondo di proposte in materia la mia scelta è caduta sul LUXEON Rebel ES della PHILIPS LUMILEDS.

Qui di seguito verrà riportato il datasheet del prodotto con dei commenti alle parti più significative ai fini del progetto.

Nomenclatura del prodotto

LUXEON Rebel ES viene testato e alimentato a 350 mA, con impulso di corrente della durata di 20 ms. Tutti i grafici sulle caratteristiche nei quali il pad termococonduttivo è mantenuto a temperatura costante (25°C) sono misurate con impulso di corrente della durata di 20 ms.

6.1.1 Efficienza luminosa

Caratteristiche dell’efficienza luminosa per LUXEON Rebel ES

Temperatura del pad termococonduttivo = 25° C

Table 1.
Performance at Test Current

Color	Part Number	Minimum Luminous Efficacy (lm/W) ^{[1][2]}	Test Current (mA)
Cool-White	LXLW-PWCI-0100	100	350
Neutral-White	LXLW-PWNI-0100	100	350

6.1.2 Caratteristiche ottiche

LUXEON Rebel ES - Test di corrente
 Temperatura del pad termoconduttivo = 25° C

Table 2.

Color	Color Temperature ^[2] CCT			Typical Total Included Angle ^[4] (degrees) $\theta_{0.90V}$	Typical Viewing Angle ^[5] (degrees) 2 θ 1/2
	Min.	Typ.	Max.		
Cool-White	5000 K	5650 K	6300 K	160	120
Neutral-White	3800 K	4100 K	4500 K	160	120

6.1.3 Caratteristiche elettriche

Caratteristiche elettriche a 350mA per LUXEON Rebel ES
 Temperatura del pad termoconduttivo = 25° C

Table 3.

Color	Forward Voltage V_f ^[1] (V)			Typical Temperature Coefficient of Forward Voltage ^[2] (mV/°C) $\Delta V_f / \Delta T_j$	Typical Thermal Resistance Junction to Thermal Pad (°C/W) $R\theta_{j-c}$
	Min.	Typ.	Max.		
Cool-White	2.79	3.00	3.27	-2.0 to -4.0	10
Neutral-White	2.79	3.00	3.27	-2.0 to -4.0	10

Caratteristiche elettriche a 700mA per LUXEON Rebel ES
 Temperatura del pad termoconduttivo = 25° C

Table 4.

Color	Typical Forward Voltage V_f (V)
Cool-White	3.20
Neutral-White	3.20

Livelli massimi assoluti

Table 5.

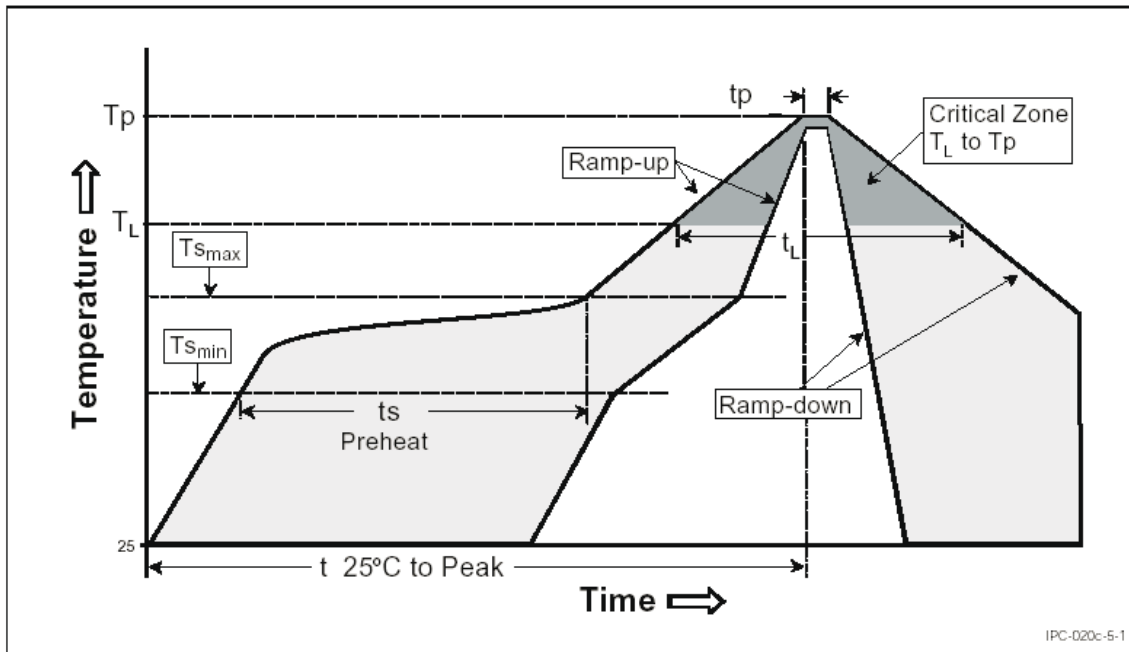
Parameter	Cool-White / Neutral-White
DC Forward Current (mA)	1000
Peak Pulsed Forward Current (mA)	1000
Average Forward Current (mA)	1000
ESD Sensitivity	< 8000V Human Body Model (HBM) Class 3A JESD22-A114-E < 400V Machine Model (MM) Class B JESD22-A115-B
LED Junction Temperature ⁽¹⁾	150°C
Operating Case Temperature at 350 mA	-40°C - 135°C
Storage Temperature	-40°C - 135°C
Soldering Temperature	JEDEC 020c 260°C
Allowable Reflow Cycles	3
Autoclave Conditions	121°C at 2 ATM 100% Relative Humidity for 96 Hours Maximum
Reverse Voltage (Vr)	See Note 2

JEDEC sensibilità all'umidità

Table 6.

Level	Floor Life		Soak Requirements	
			Standard	
	Time	Conditions	Time	Conditions
I	unlimited	≤ 30°C / 85% RH	168h + 5 / -0	85°C / 85% RH

6.1.4 Caratteristiche riflusso da saldatura



IPC-020c-5-1

Table 7.

Profile Feature	Lead Free Assembly
Average Ramp-Up Rate (T_{smax} to T_p)	3°C / second max
Preheat Temperature Min (T_{smin})	150°C
Preheat Temperature Max (T_{smax})	200°C
Preheat Time (t_{smin} to t_{smax})	60 - 180 seconds
Time Maintained Above Temperature (T_L)	217°C
Time Maintained Above Time (t_t)	60 - 150 seconds
Peak / Classification Temperature (T_p)	260°C
Time Within 5°C of Actual Peak Temperature (t_p)	20 - 40 seconds
Ramp - Down Rate	6°C / second max
Time 25°C to Peak Temperature	8 minutes max

6.1.5 Dimensioni meccaniche

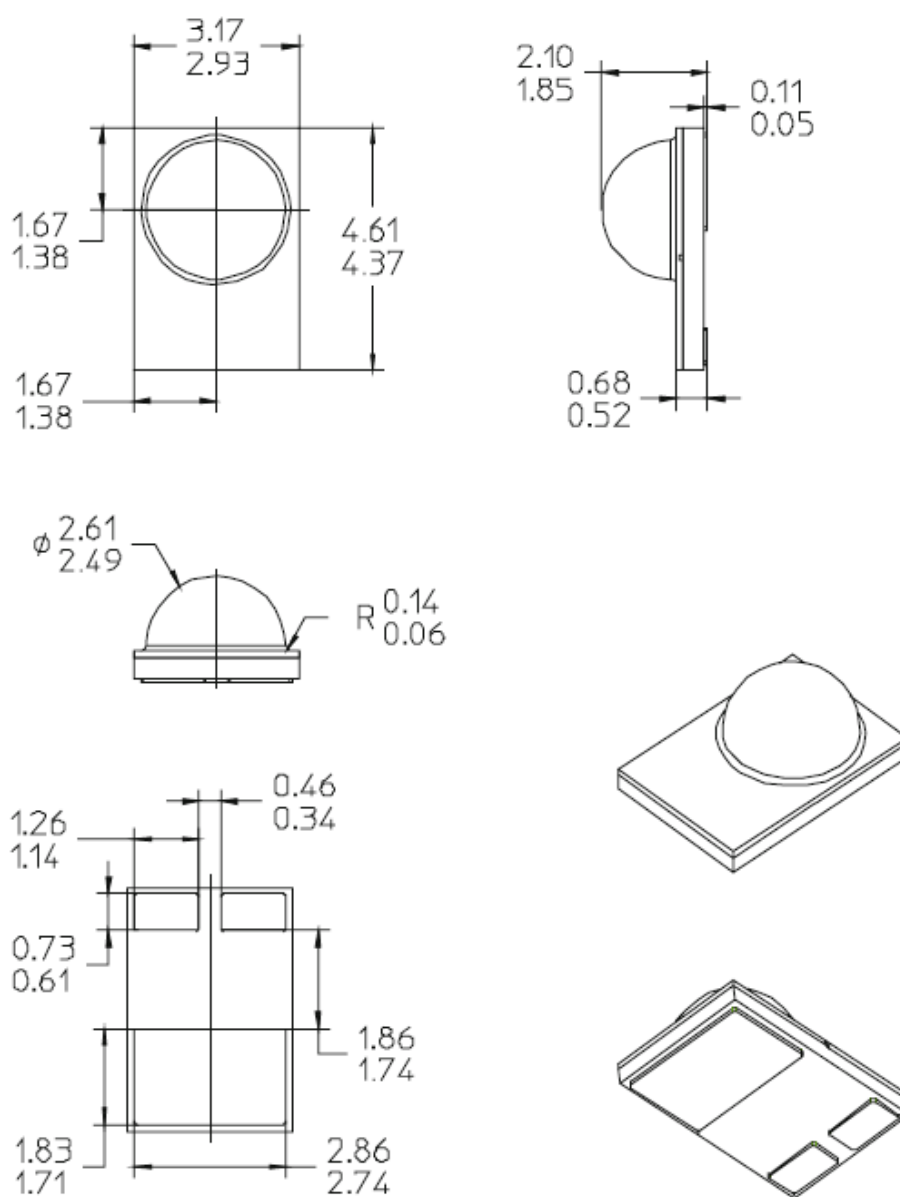
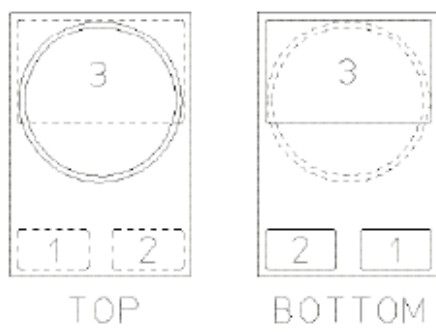


Fig. 6.1 Dimensioni del LED espresse in millimetri

6.1.5.1 Configurazione Pad



PAD	FUNCTION
1	CATHODE
2	ANODE
3	THERMAL

Fig. 6.2 Configurazione Pad

6.1.5.2 Solder Pad Design

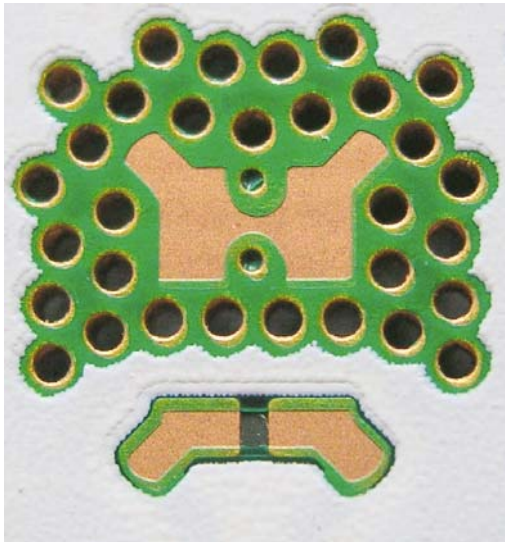
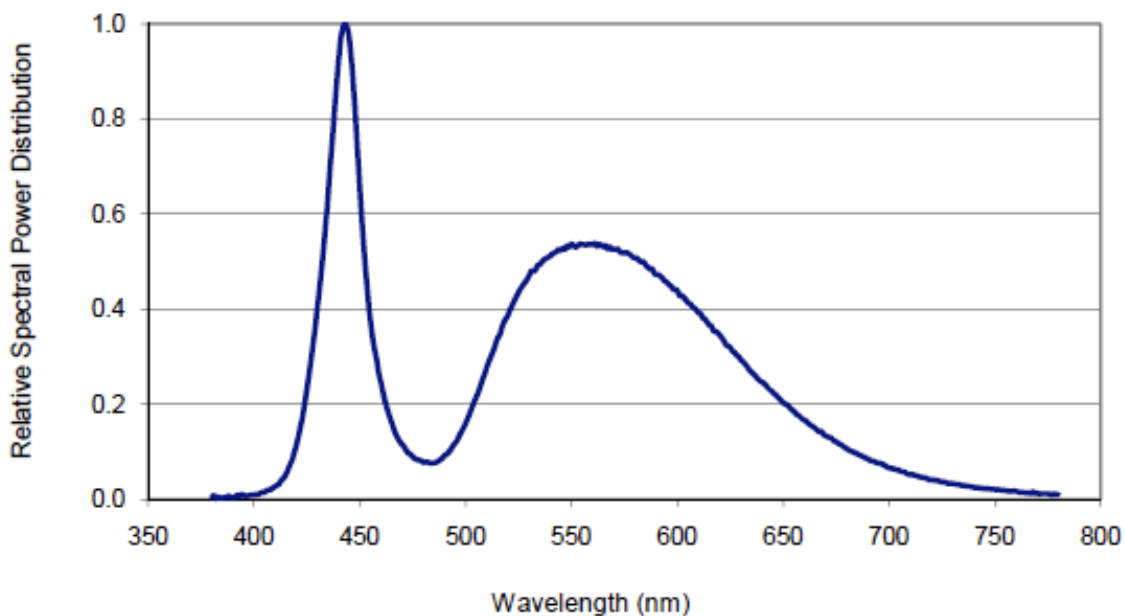


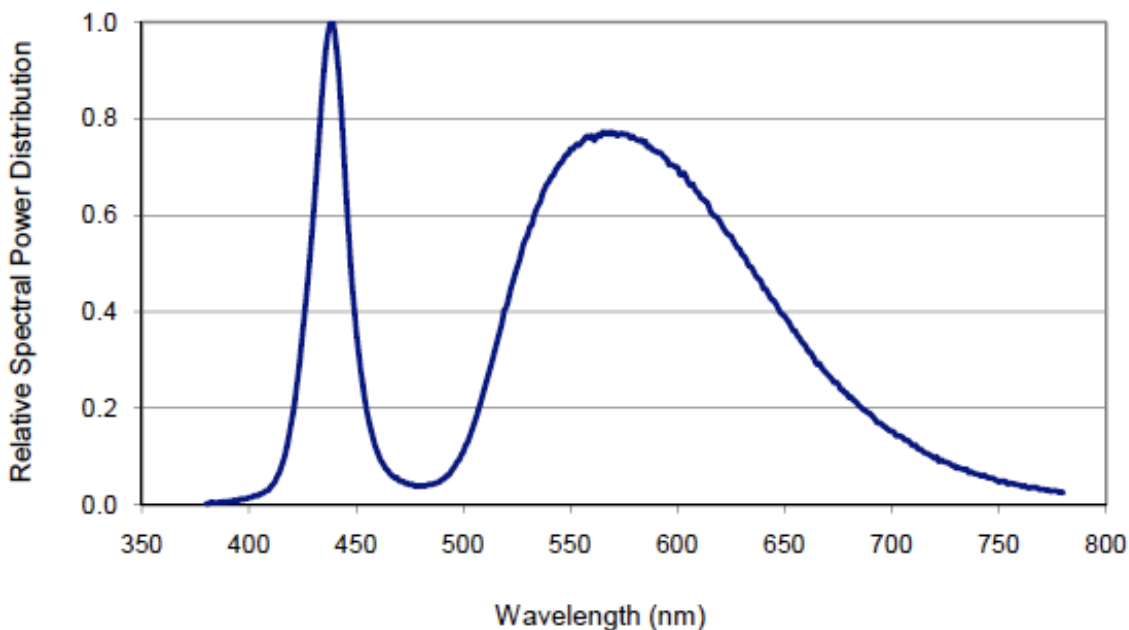
Fig. 6.3 Solder Pad Design

6.1.6 Distribuzione spettrale relativa VS. Caratteristiche della lunghezza d'onda

Cool-White at Test Current, Temperatura del pad termococonduttivo = 25° C

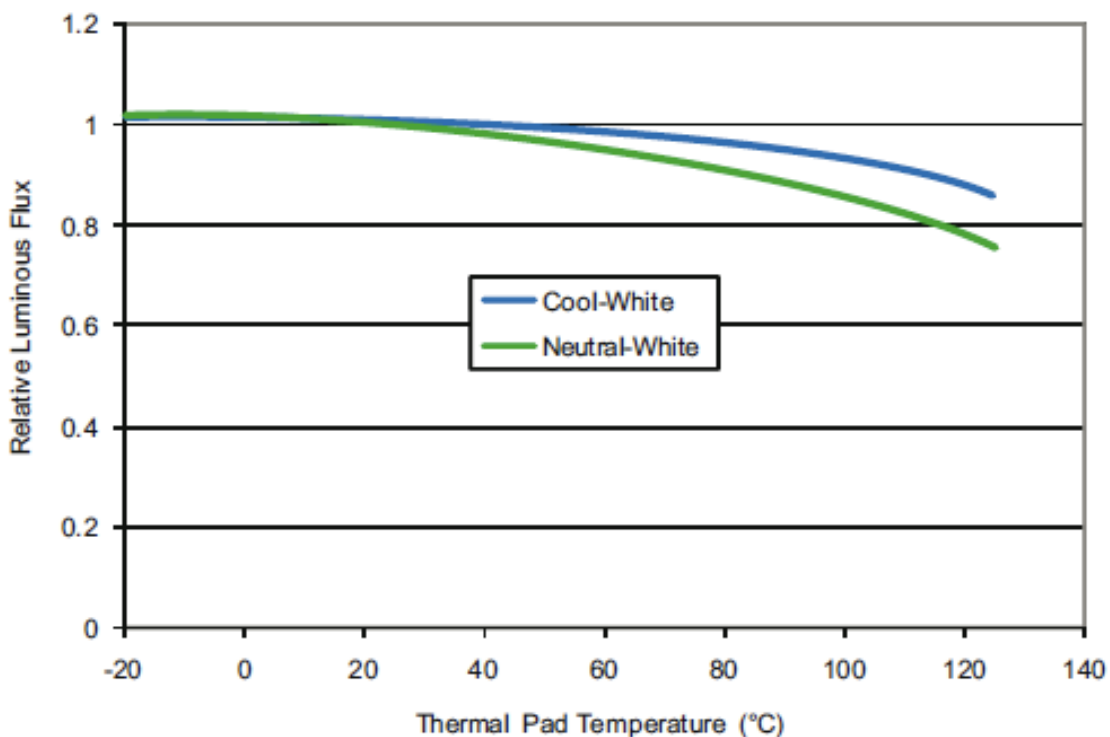


Neutral-White at Test Current, Temperatura del pad termococonduttivo = 25° C



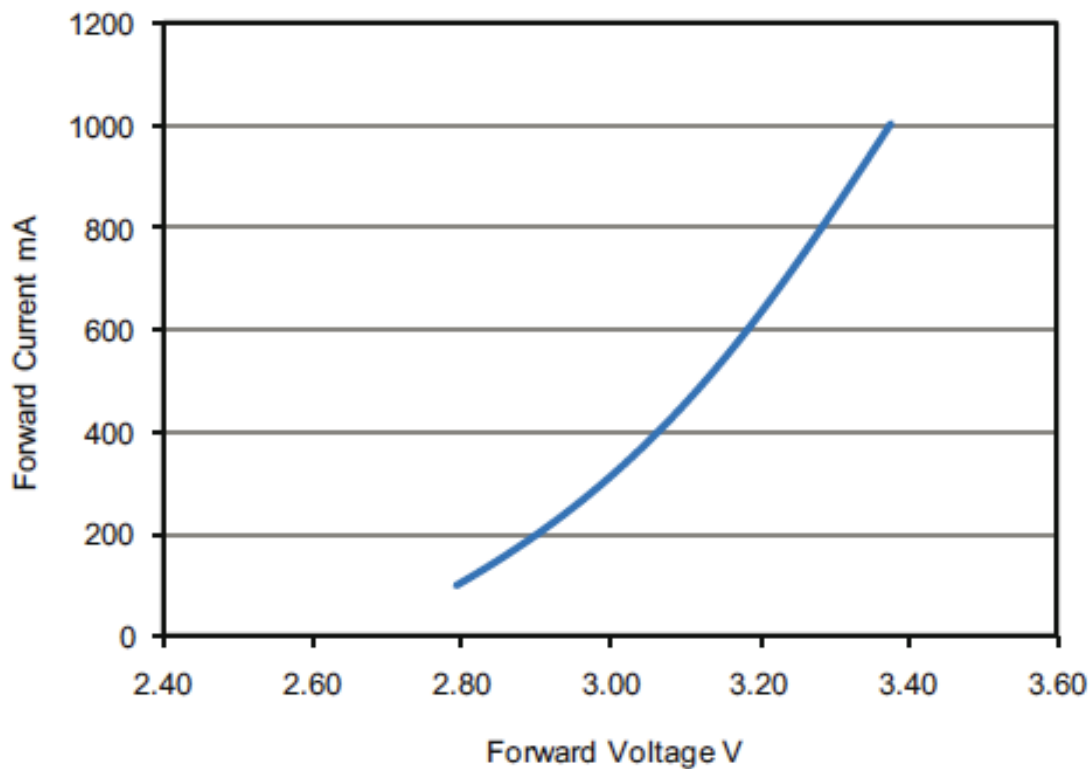
6.1.7 Caratteristiche tipiche di emissione rapportate alla temperatura

Cool-White and Neutral-White at Test Current



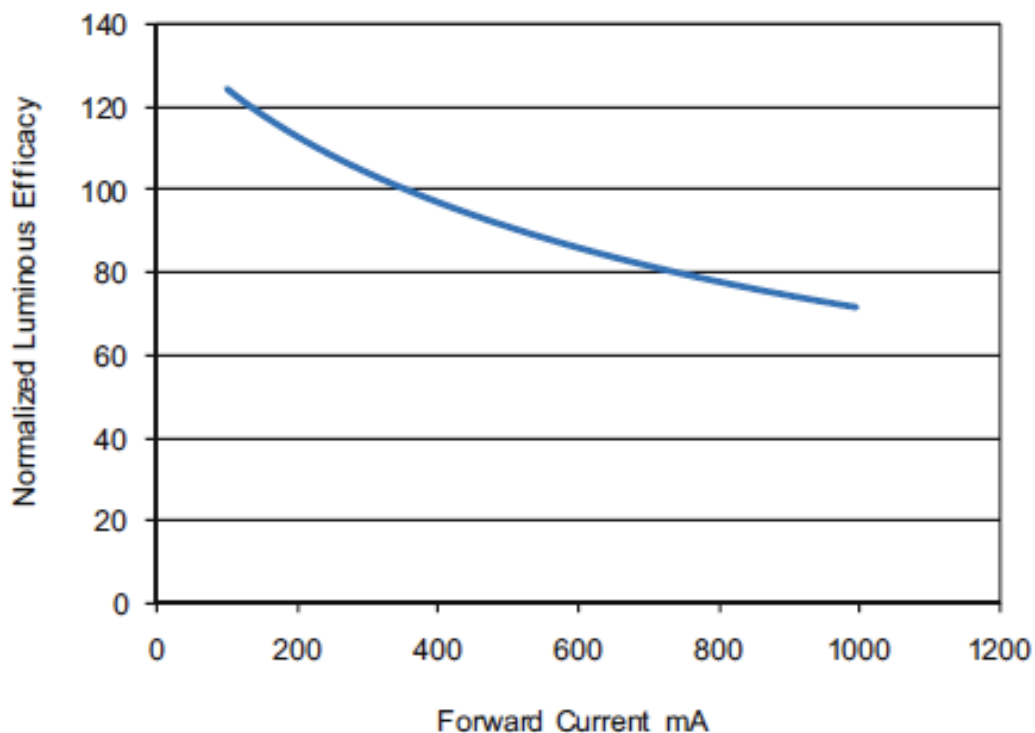
6.1.8 Caratteristiche tipiche in corrente diretta

Cool white and Neutral-White

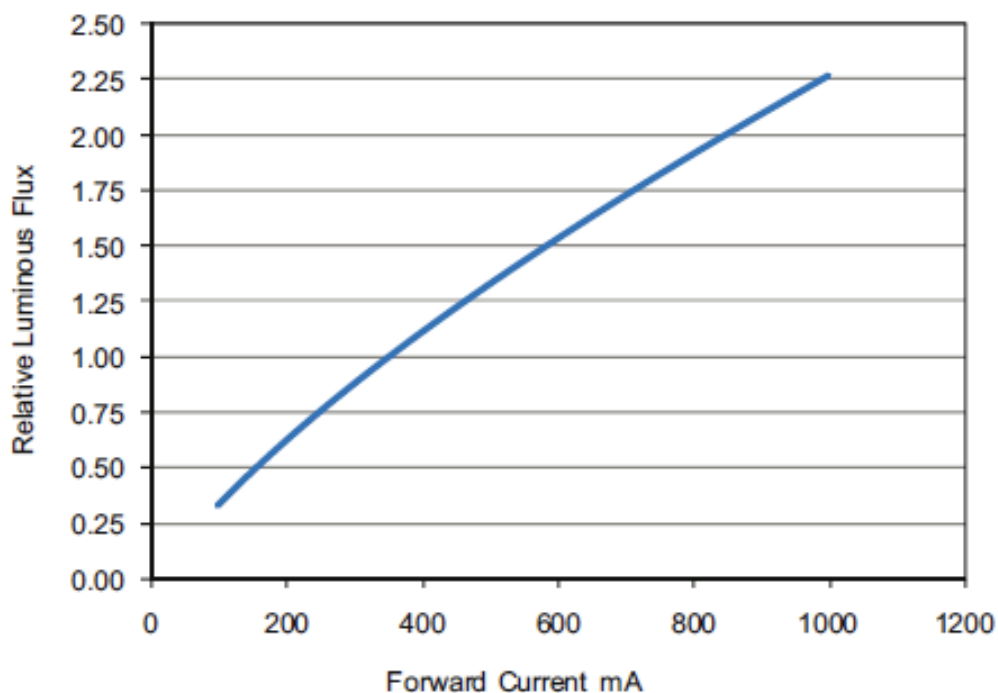


6.1.9 Efficienza luminosa tipica

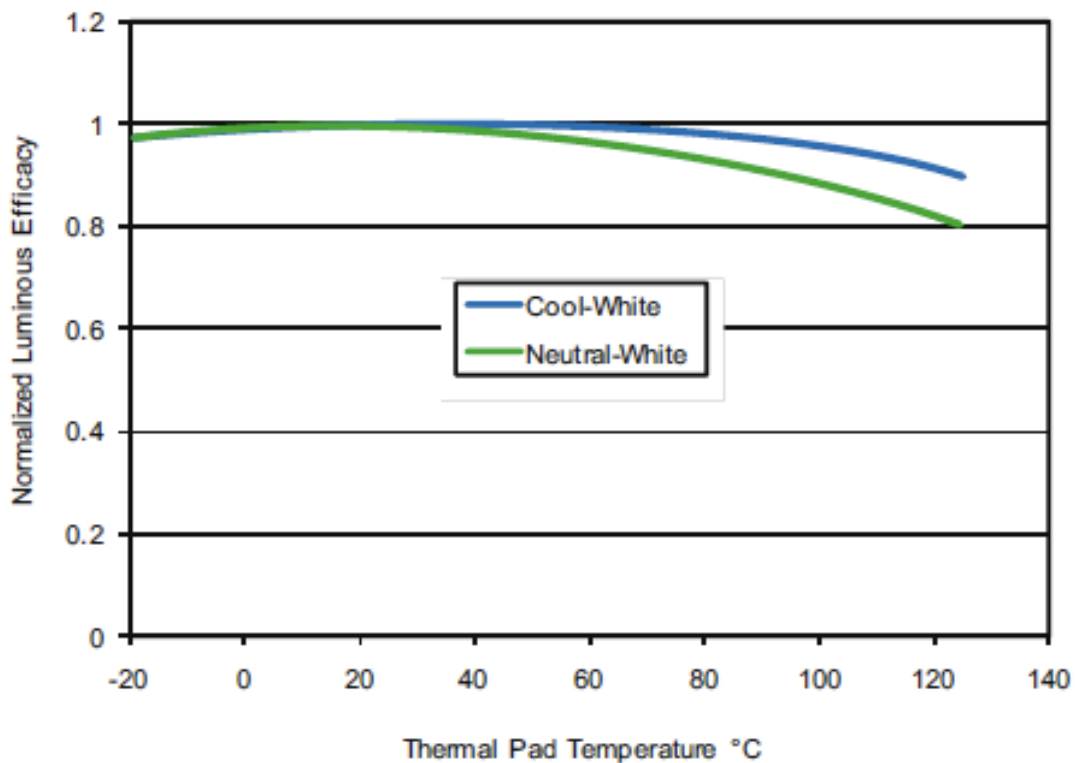
Tipica efficienza luminosa VS. Corrente diretta
Cool- White e Neutral-White



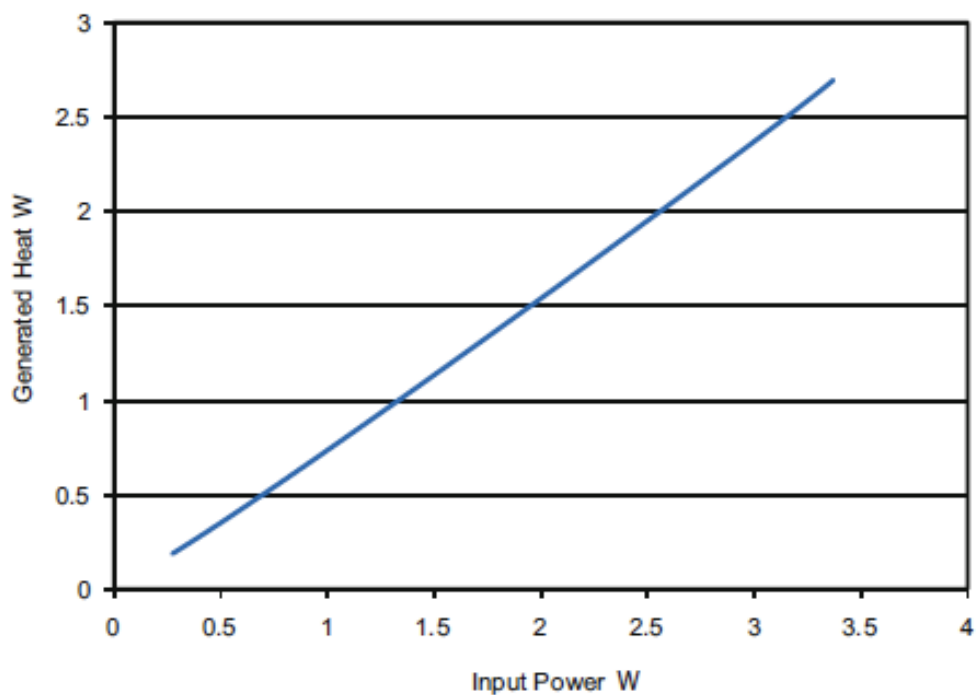
Flusso luminoso relativo tipico VS. Corrente diretta per Cool-White e Neutral-White con Temperatura del pad termoconduttivo = 25° C



6.1.10 Efficienza luminosa tipica VS. Temperatura

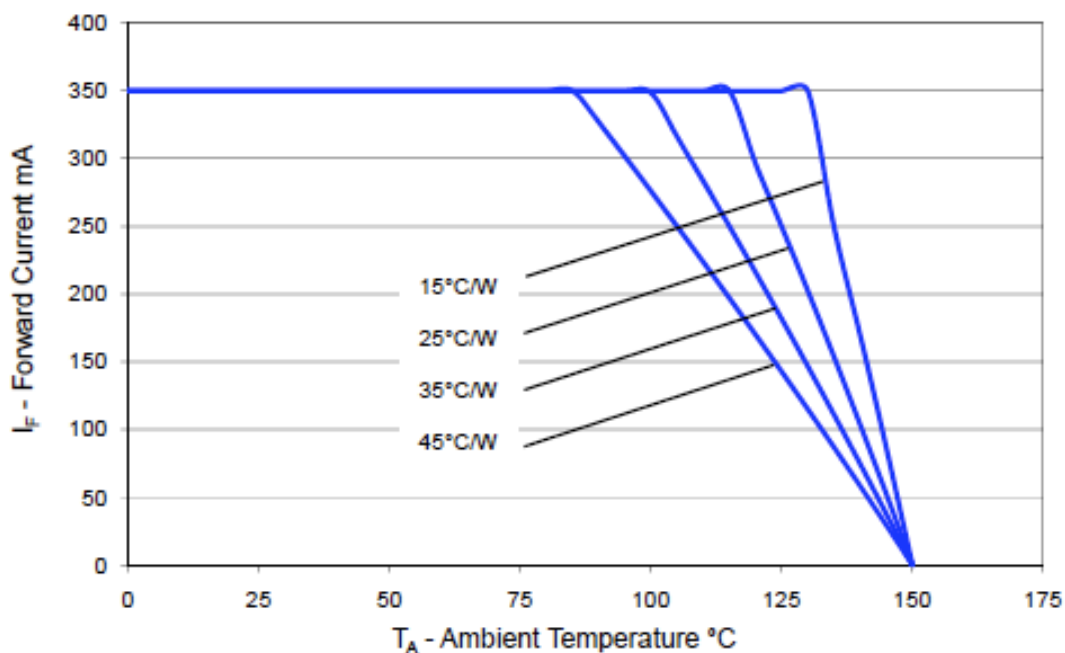


Generazione di calore tipica VS. Potenza immessa con Temperatura del pad termococonduttivo = 25° C

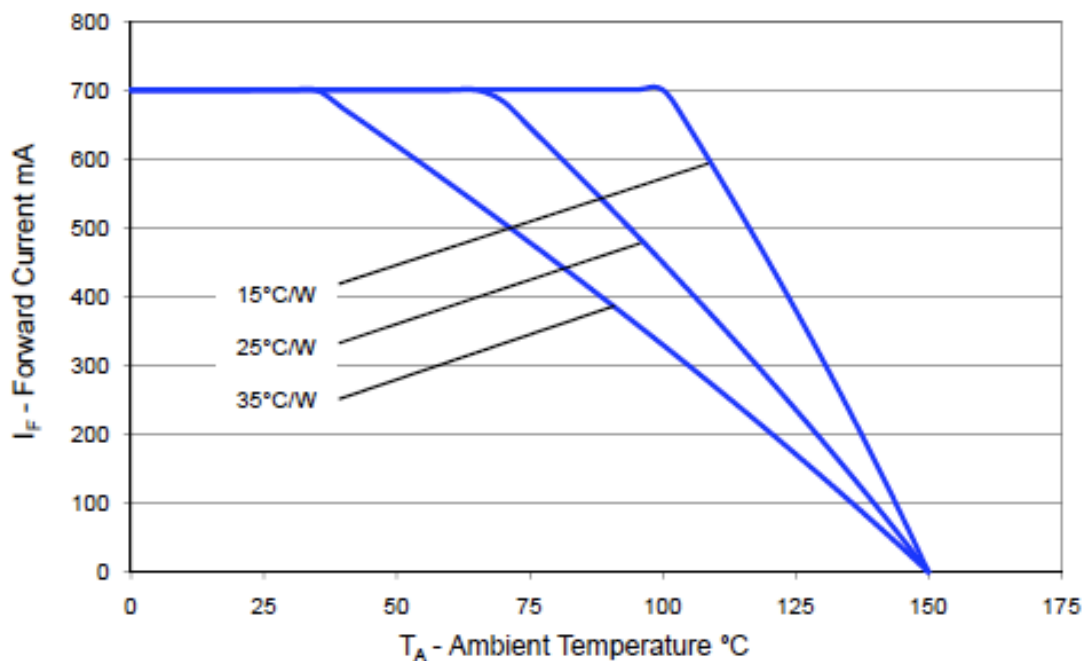


6.1.11 Curve di derating

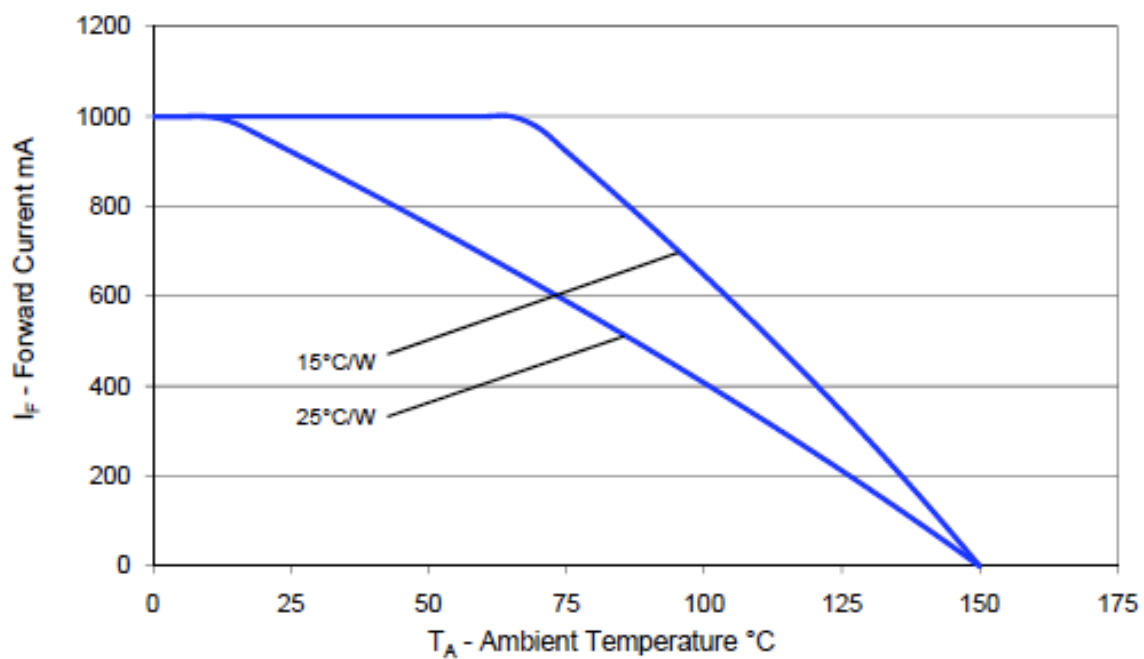
Curve di derating con alimentazione a 350 mA
Cool-White e Neutral-White



Curve di derating con alimentazione a 700 mA
Cool-White e Neutral-White

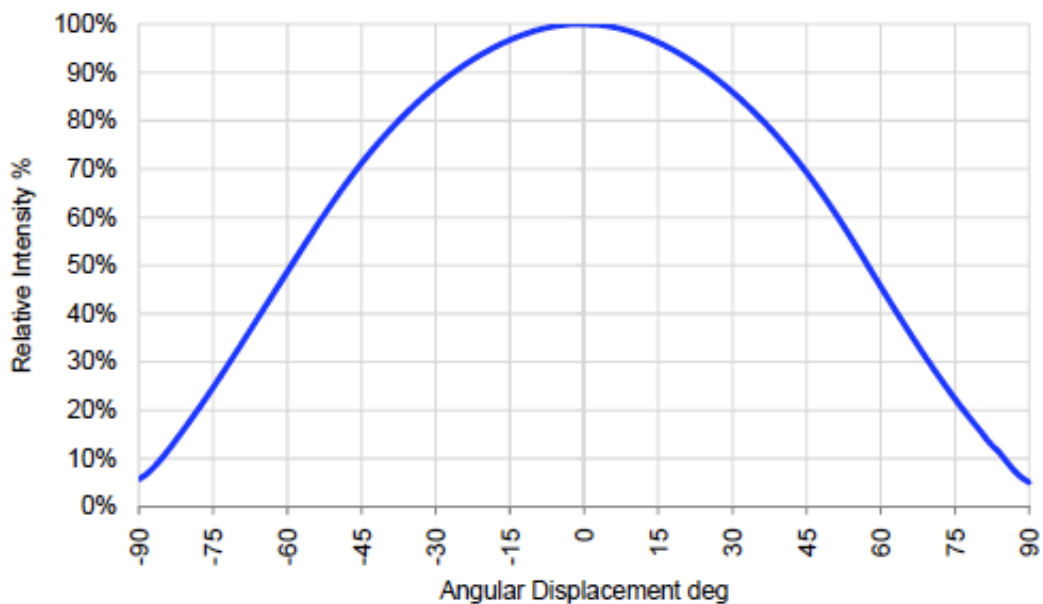


Curve di derating con alimentazione a 1000 mA
Cool-White e Neutral-White

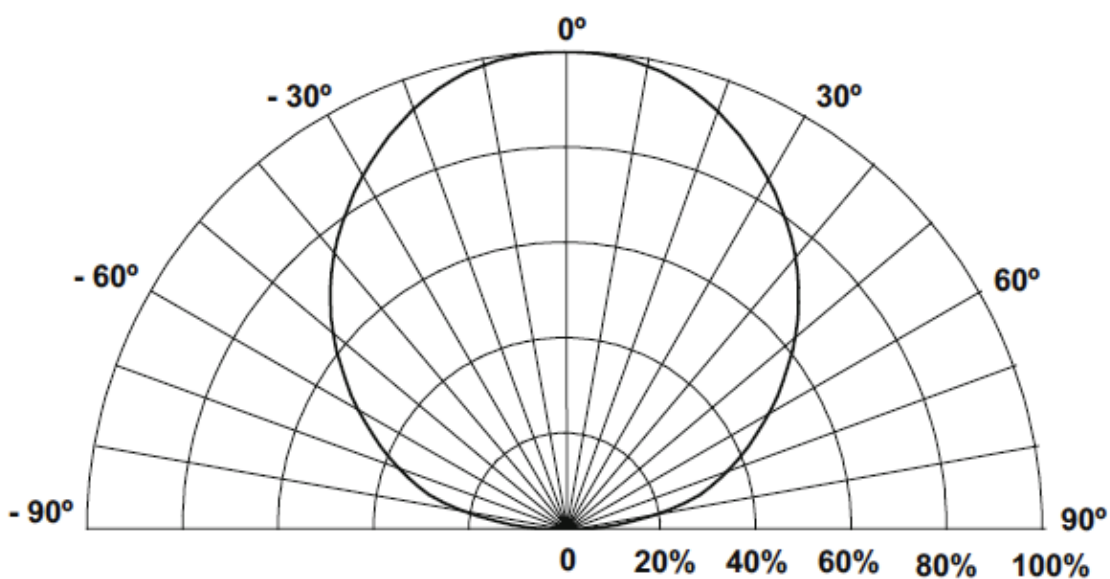


6.1.12 Schema della radiazione tipica

Schema della radiazione spaziale tipica per Cool-White e Neutral-White lambertiane.



Schema della radiazione polare tipica per Cool-White e Neutral-White lambertiane.



6.2 Dimensionamento del dissipatore per il progetto

Ci si trova di fronte ad un continuo aggiornamento dei chip LED che ciclicamente ed in modo molto repentino si evolvono sia come potenza che come corrente di funzionamento.

Le elevate prestazioni dei materiali richiedono una congrua progettazione dell'elemento dissipante in modo da poter garantire le caratteristiche del LED.

Prendiamo quindi in esame il LED che ho deciso di utilizzare per il mio progetto: LUXEON REBEL della PHILIPS LUMILEDS (Datasheet).

Come primo step nella progettazione del dissipatore metallico si deve avere chiaro perché è necessario dissipare. I LED attualmente in commercio lavorano con delle correnti che raggiungono fino 1 A di intensità.

Durante la generazione della radiazione luminosa si ha che fino all'80% dell'energia viene impiegata nella giunzione p-n con conversione dell'energia elettrica in calore e con un solo 20% di energia destinata alla luce.

Questo calore riduce sia la quantità di luce emessa che la vita del LED stesso. Se viene generato in continuazione tutta questa temperatura in eccesso si ha un deterioramento della giunzione che comporta un danno irreparabile alla giunzione p-n del semiconduttore.

Durante le operazioni il chip raggiunge e anche supera i 100°C quindi per mantenere le proprietà del LED dichiarate dal costruttore si deve dissipare il calore e questo si fa creando un percorso preferenziale dal chip al corpo.

Più fredda sarà la giunzione p-n e più la sorgente luminosa avrà una vita duratura ed efficace da un punto di vista luminoso.

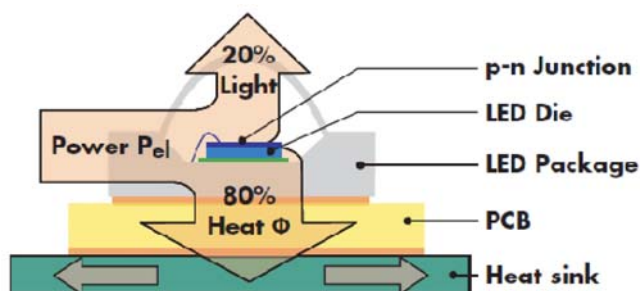


Fig. 6.4 Rappresentazione della diffusione del calore

Come precedentemente accennato il calore si può solo smaltire da una temperatura più calda ad una più fredda. Lo smaltimento avviene in 3 modi: conduzione, convezione ed irraggiamento.

Il trasferimento di calore avviene più efficacemente attraverso la conduzione termica e questa dipende strettamente dai materiali usati e dalla geometria dell'apparecchio di illuminazione. E' preferibile pertanto che il materiale abbia un basso calore specifico (es. rame, alluminio).

Riassumendo i criteri da applicare sono:

1. L'aria è un povero conduttore di calore quindi si devono evitare i gap.
2. Si deve utilizzare un'ampia superficie di scambio e di circolazione in aria libera

3. Le superfici lucide dissipano poco calore mentre quelle verniciate di più.
4. La porosità aumenta la superficie.
5. Tutti i materiali che sono lesivi ai fini della dissipazione devono essere mantenuti il più fini possibili

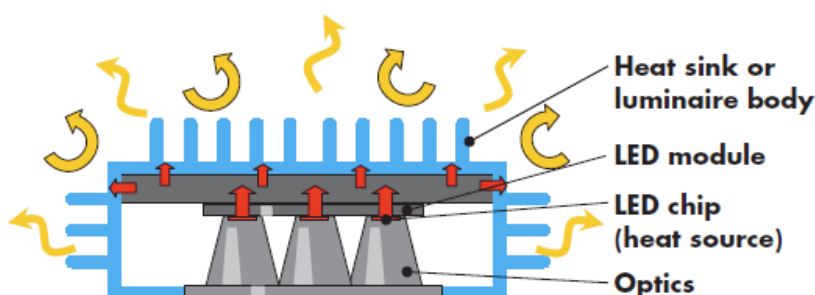


Fig. 6.5 Rappresentazione grafica delle direzioni di diffusione del calore di un dissipatore con ottiche annesse

6.2.1 Esempio di dimensionamento di un dissipatore “impostando” una T_j

Se si vuole dimensionare un dissipatore da un led già selezionato come nel nostro caso si deve ipotizzare il worstcase di $T_{ambiente}$ presente nel vano led ed impostare una T_j che si vuole avere nella giunzione del chip led. Fatto questo si deve lavorare sulla dimensione geometrica dell'area metallica a contatto con il chip led per garantirne il corretto smaltimento del calore.

1. Scegliere tipo led
2. Scegliere la corrente I_f a cui viene alimentato per avere la P_d corretta (nota: $P_d = V_f \cdot I_f$)
3. Calcolare la $R_{th\ j-a}$ con la formula

$$R_{th\ j-a} = R_{th\ j-sp} + R_{th\ sp-h} + R_{th\ h-a} = \frac{T_j - T_a}{P_d}$$

4. Dai datasheet dei dissipatori termici ricavare la corretta superficie
5. Scegliere poi come alettarla per ridurre la dimensione pur mantenendo il resto.

6.2.2 Calcolo del dissipatore

Il funzionamento ottimale di un led di potenza è dato da un binomio: una corrente costante stabilizzata (I_F) e una tensione di giunzione (V_F) diretta.

La $R\theta$ è la resistenza termica che è data per definizione dal rapporto tra la differenza di temperatura e la dissipazione di energia corrispondente ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

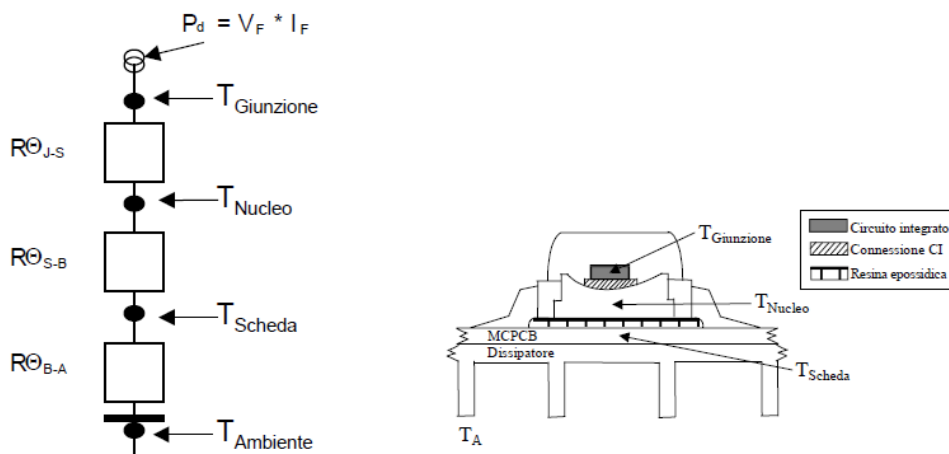


Fig. 6.6 Struttura del dissipatore in relazione alla formula di funzionamento

$$R\theta_{giunzione-ambiente} = \frac{T_{giunzione-ambiente}}{P_d}$$

Nel caso in cui si parli di un chip led montato, come nel nostro caso, in un MCPCB (Metal Core PCB) si ha:

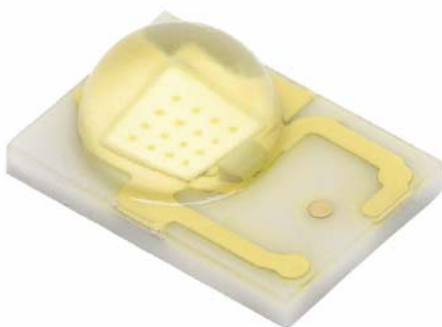
$$R\theta_{giunzione-ambiente} = R\theta_{giunzione-nucleo} + R\theta_{nucleo-scheda} + R\theta_{scheda-ambiente}$$

Come dalla formula:

$$T_j = T_a + P_d(R\theta_{giunzione-ambiente})$$

Nel nostro caso abbiamo i chip led montati su di un MCPCB.

Vista la $P_d = V_F \cdot I_F$



LUXEON® Rebel ES
Energy Saving

Dal datasheet si ha che:

Electrical Characteristics at 350 mA for LUXEON Rebel ES Thermal Pad Temperature = 25°C

Table 3.

Color	Forward Voltage V_f [1]			Typical Temperature Coefficient of Forward Voltage [2] $\Delta V_f / \Delta T_j$	Typical Thermal Resistance Junction to Thermal Pad ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) $R\theta_{j-c}$
	Min.	Typ.	Max.		
Cool-White	2.79	3.00	3.27	-2.0 to -4.0	10
Neutral-White	2.79	3.00	3.27	-2.0 to -4.0	10

Quindi:

$$P_d = V_F \cdot I_F = 3.4 \cdot 0.35 = 1.19$$

E la

$$R\theta_{giunzione-ambiente} = \frac{T_{giunzione-ambiente}}{P_d} = \frac{120 - 60}{1.19} = 50.42 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Scelta una scheda di 20 led si ha:

$$R\theta_{scheda-ambiente} = R\theta_{giunzione-ambiente} - R\theta_{giunzione-scheda} = 50.42 - 17.3 = 33.12 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Dove

$$R\theta_{giunzione-scheda} = 10 + 7.3 = 17.3 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Dove il 7.3 rappresenta il coefficiente di thermal resistance relativo al MPCB con adesivo termoconduttivo.

Dal grafico:

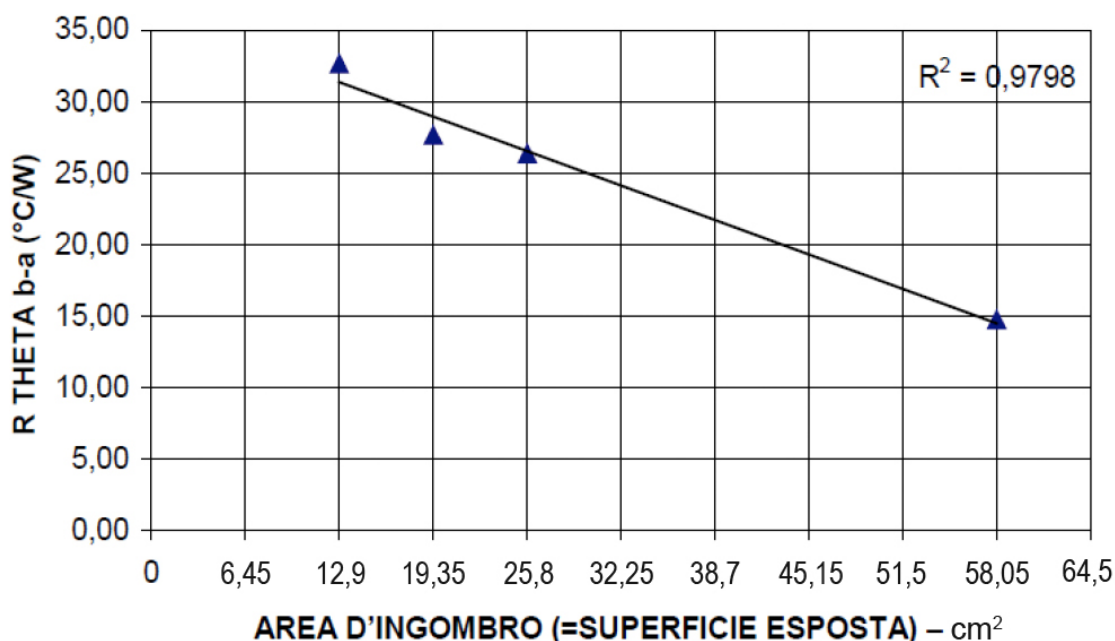
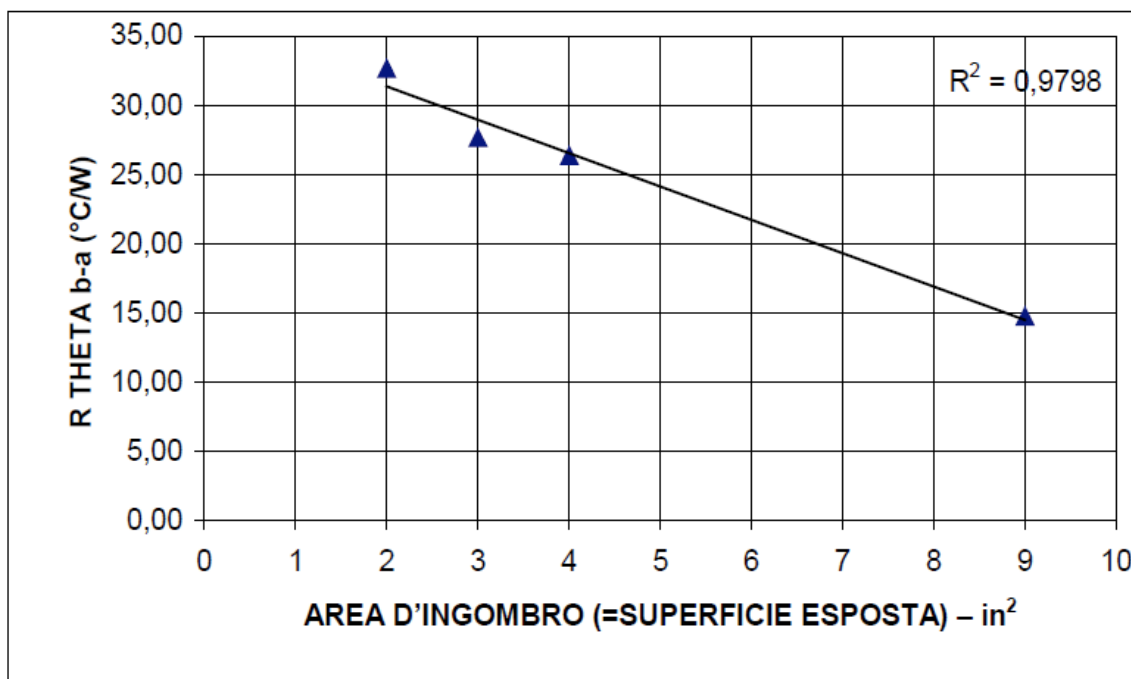


Fig. 6.7 Area di ingombro (superficie esposta) del dissipatore

Si ha che per quel valore di $R\theta_{scheda-ambiente}$ otteniamo un valore di area di ingombro esposta di 1 in² che corrispondono a 6.45 cm² se si sceglie un dissipatore piano.

Nel caso si scelga un dissipatore alettato ci si deve riferire ad un altro grafico poiché a rigor di logica l'aumento di superficie viene permette di deviare anche sulle alette il calore quindi la base del dissipatore si riduce di dimensione.

Mettiamo quindi di avere 12 led si ha che l'area della superficie del dissipatore risulta $6.45 \times 20 = 77,4$ cm².

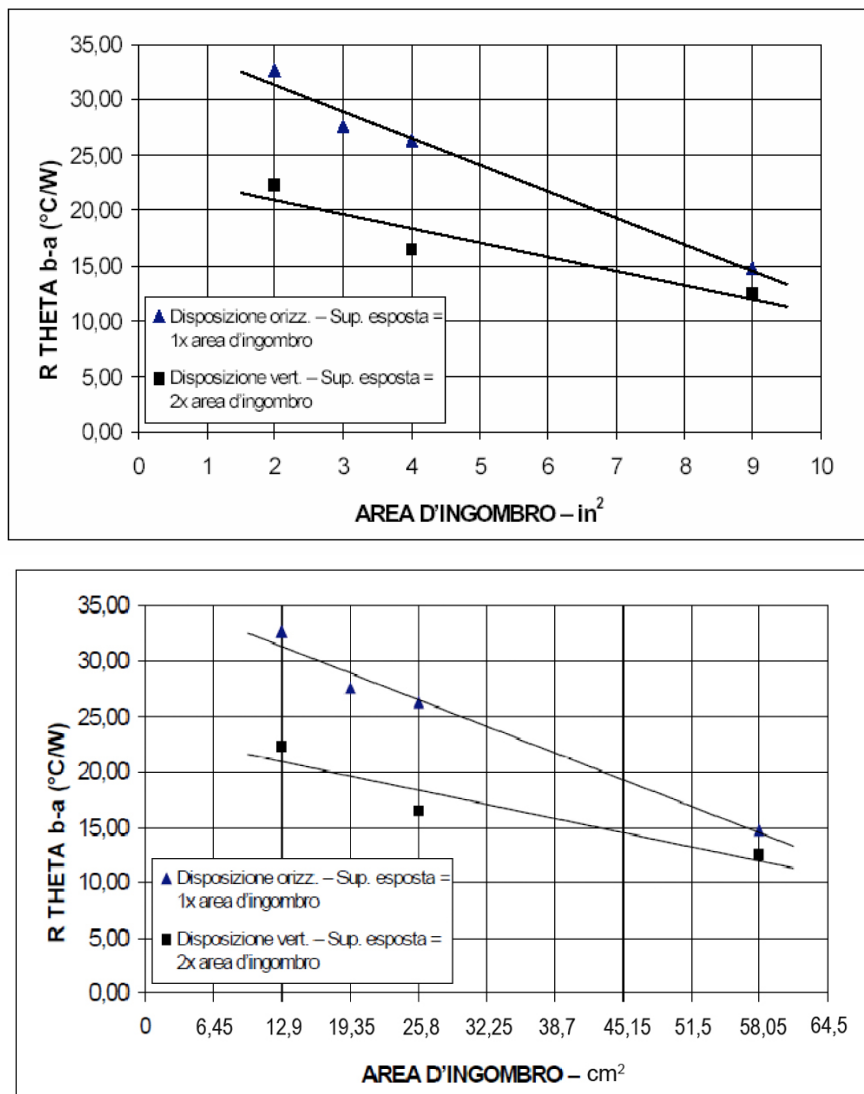


Fig. 6.8 Grafico della resistenza termica in funzione dell'area d'ingombro.

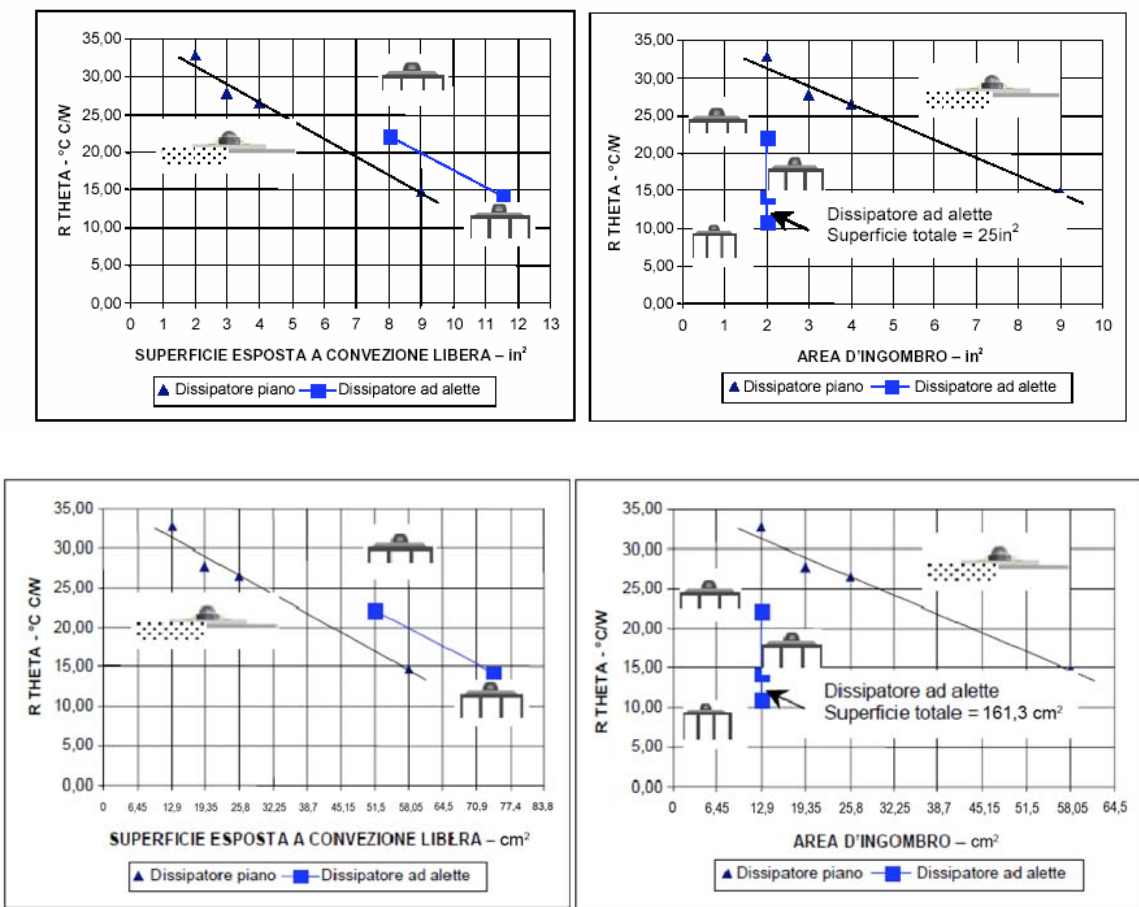


Fig. 6.9 Nei grafici sono confrontati dei dissipatori ad alette con dei dissipatori piani

6.3 Scelta delle ottiche per il progetto

La scelta delle ottiche per questo tipo di progetto è cruciale almeno quanto la scelta della sorgente luminosa in quanto inizialmente mi sono posto l'obiettivo di realizzare un apparecchio che fosse molto flessibile e mutevole da un punto di vista illuminotecnico in modo da poter sfruttare al massimo l'idea di modularità dello stesso.

La necessità era quindi quella di avere il maggior numero di "effetti luminosi" a disposizione senza dover cambiare minimamente l'ingombro della tecnologia interna dell'apparecchio con la diretta conseguenza di una modifica formale del prodotto.

QUADRA Lite 4xR" Lighting Module dell'azienda OPTICS LITE è un prodotto che si addice perfettamente alle mie esigenze essendo peraltro stato pensato appositamente per la serie LUXEON Rebel selezionata precedentemente come sorgente luminosa.

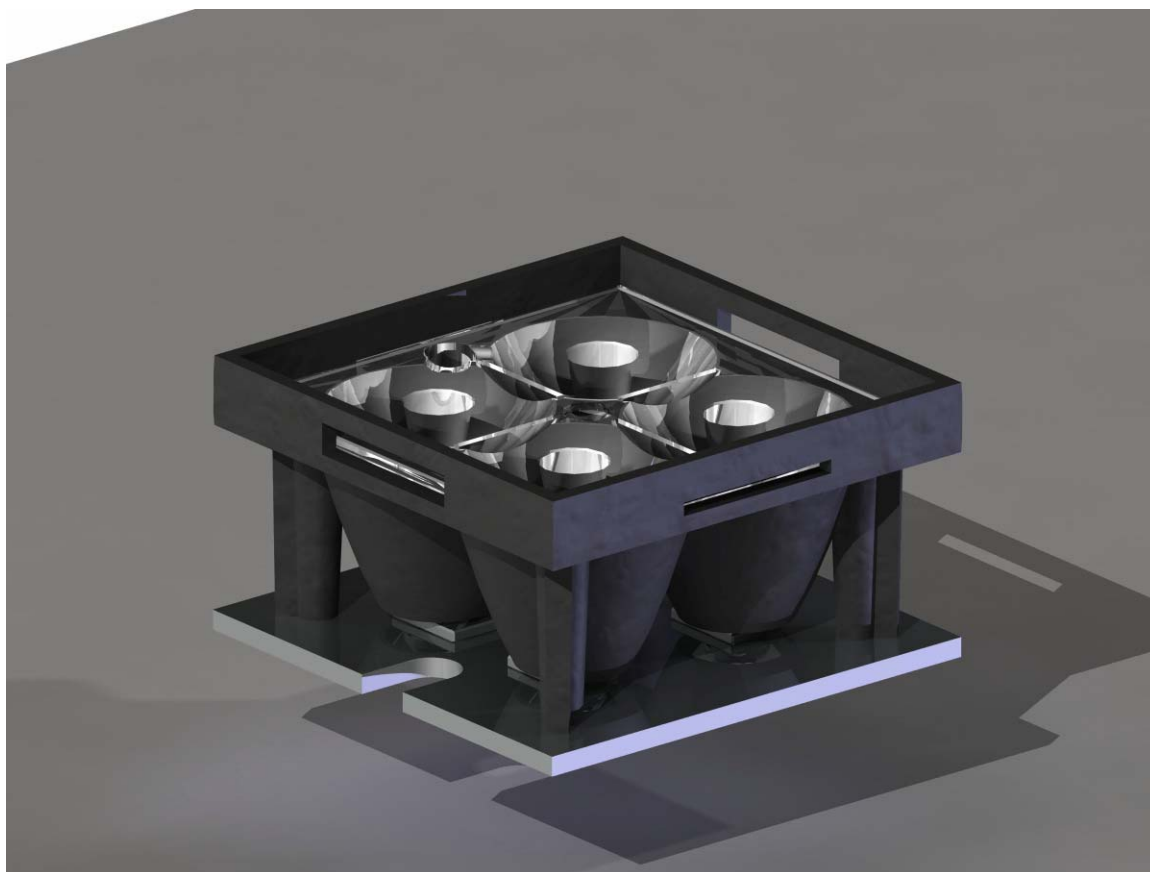


Fig. 6.10 QUADRA Lite 4xR" Lighting Module

Con l'ausilio di queste lenti il LED sviluppa più di 400 lumen se alimentato a 350 mA come previsto da progetto ed inoltre hanno la possibilità di mescolare colori RGB-A, RGB-W e AWB.

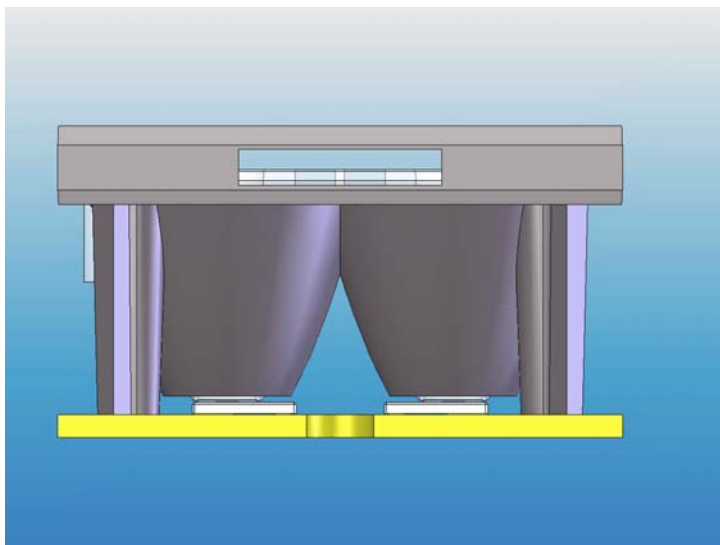


Fig. 6.11 Vista in prospettiva della lente QuadraLite

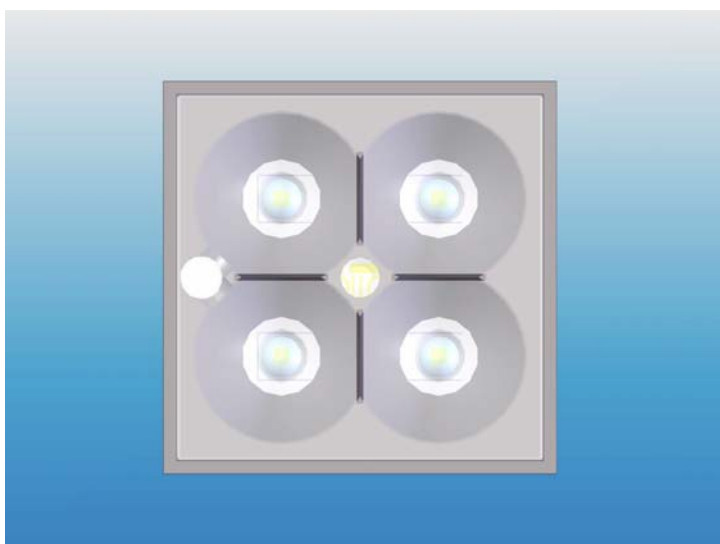


Fig. 6.12 Vista in pianta della lente QuadraLite

Con un ingombro minimo (25x25mm e 13mm di altezza) e un'efficienza dell'80-87% a seconda del tipo di apertura di fascio posso quindi disporre di:

- un'apertura di fascio intensiva di 12° di apertura
- di una media da 25°
- di una diffusiva da 45°
- di una ellittica da 15°/45°
- di un'asimmetrica da 15°/50° $\alpha = 6^\circ$

Questo mi permette di poter coprire tutte le situazioni progettuali che mi si presenteranno con l'utilizzo di un solo apparecchio che sia esso composto da uno o più moduli a seconda dell'intensità luminosa richiesta dall'ambiente che andremo ad affrontare.

6.4 Definizione della dimensione della scheda LED per il progetto

Il modulo di base del progetto dovrà avere una buona efficienza luminosa ed avere dimensioni quanto più ridotte possibili in modo da poter mantenere quella elasticità che sta alla base del percorso progettuale che sto intraprendendo.

Ho individuato come buon compromesso la quantità di 12 LED per modulo in modo da poter sviluppare 14,4w alimentando l'apparecchio a 350 mA e di conseguenza avendo un flusso pari a circa 1440 lm per modulo.

La scheda che ospiterà i LED avrà la seguente struttura e sarà realizzata in grafite, un materiale che favorisce un'alta dispersione del calore prodotto dalle sorgenti luminose.

Sulla superficie saranno inoltre presenti dei fori che serviranno da alloggio per le viti di fissaggio della scheda al corpo strutturale dell'apparecchio che fungerà quindi anch'esso da dissipatore del calore prodotto dai LED.

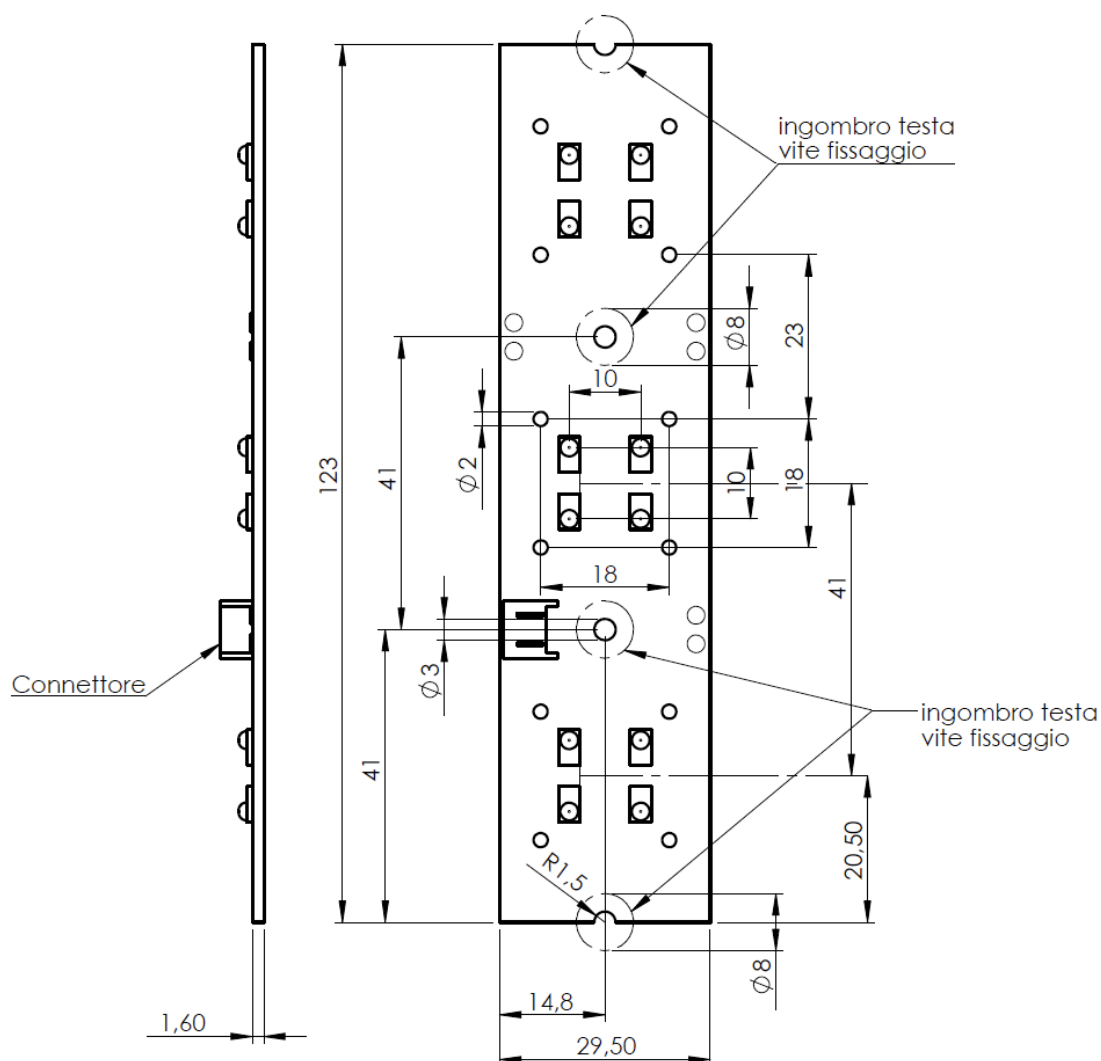


Fig. 6.13 - Disegno della scheda da 12 LED

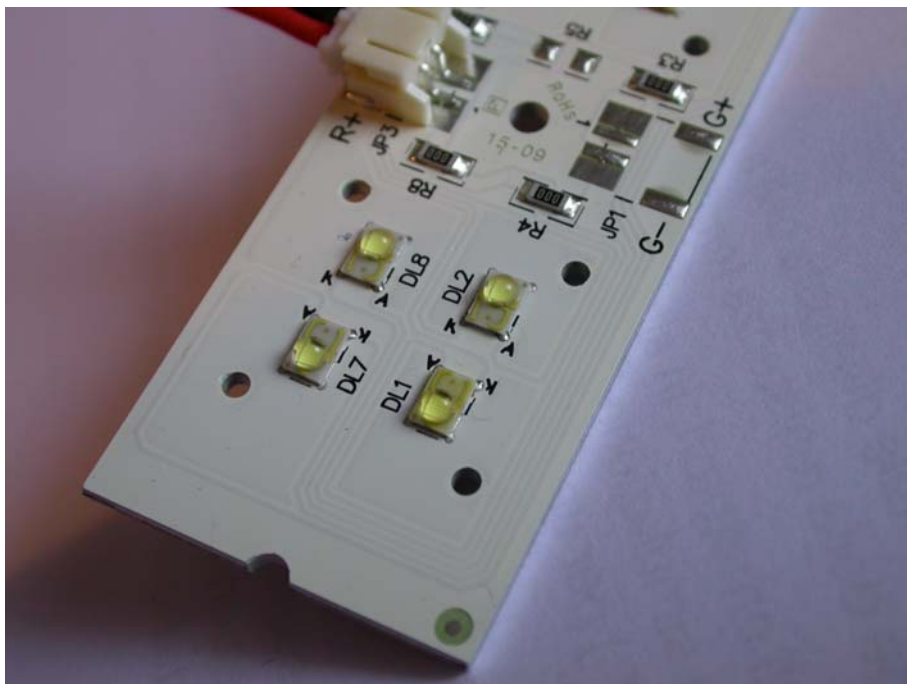


Fig. 6.14 Particolare della scheda LED

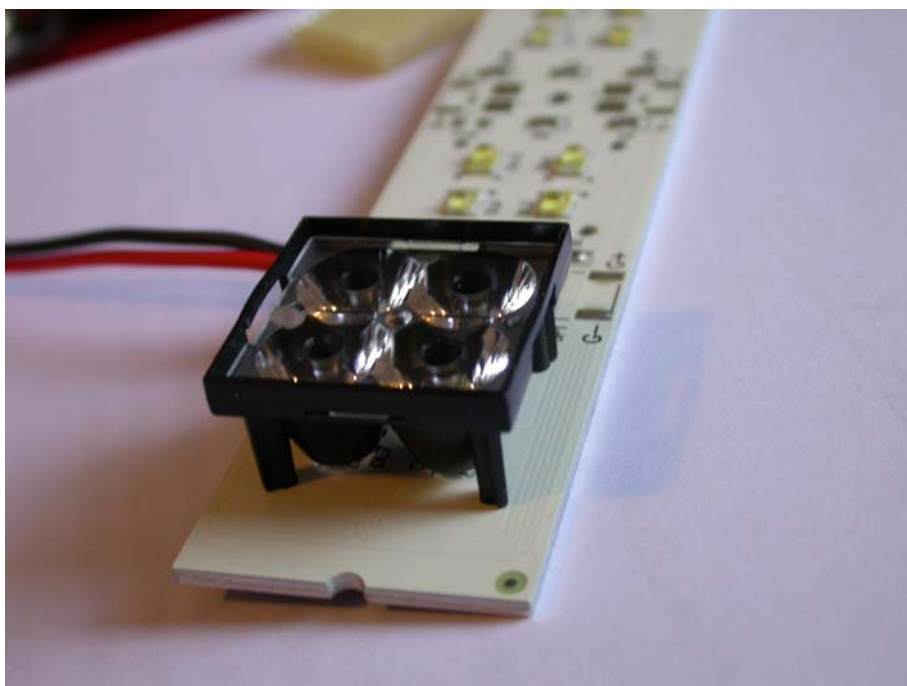


Fig. 6.15 Particolare della scheda LED con ottica NARROW BEAM da 12°



Fig. 6.16 Particolare della scheda LED con ottica MEDIUM BEAM da 25° accesa

6.5 Definizione dell'alimentatore per il progetto

L'alimentatore che ho scelto per il progetto è il TALEX converter LED 0015 K350 15 VA 350 mA della TRIDONIC ATCO.

La scelta è ricaduta su questo tipo di prodotto in quanto offre svariati vantaggi specificatamente alle problematiche che andremo ad incontrare nella realizzazione del concept.

Nello specifico stiamo parlando di un alimentatore da 15w e 350mA a corrente costante il che ci permette di non essere influenzati dalla lunghezza del cavo che può arrivare fino a 40 m per sezione da 1 mm², fino a 60 m con sezione di 1,5 mm² e fino a 100 m con sezione da 2,5 mm² consentendo così di installare l'alimentazione in remoto.



Fig. 6.17 TALEX converter LED 0015 K350 15 VA 350 mA della TRIDONIC ATCO

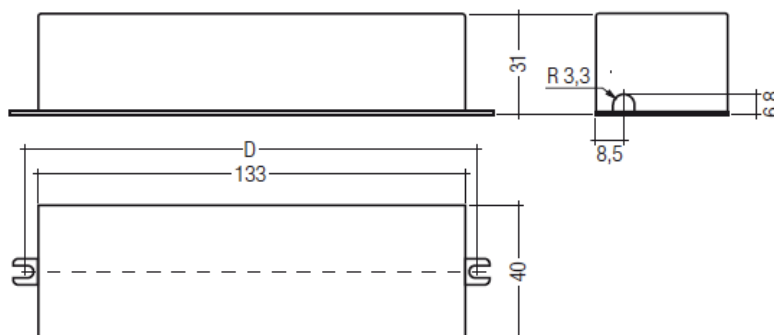


Fig. 6.18 Ingombro massimo: TALEX converter LED 0015 K350 15 VA 350 mA della TRIDONIC ATCO

La resistenza del cavo, al contrario, può rappresentare un problema in quanto può causare una caduta di tensione di alimentazione che può provocare un calo del flusso luminoso del modulo collegato. I dati relativi al flusso luminoso riportati nella scheda tecnica si riferiscono in ogni caso alla tensione nominale specificata (8 V/12 V/24 V). Nel caso la tensione del modulo cada al di sotto di questo valore, vi sarà una riduzione del flusso luminoso.

Per compensare la caduta di tensione sulla linea di alimentazione la tensione in uscita dei convertitori di TridonicAtco è di circa 0,7 V superiore alla tensione nominale di funzionamento. La tensione può quindi scendere di 0,7 V lungo la linea di alimentazione senza ridurre il flusso luminoso dei moduli.

Le lunghezze del cavo indicate nella tabella (dal convertitore LED al primo modulo LED) rappresentano una caduta di tensione di 0,7 V e garantiscono quindi il raggiungimento del flusso luminoso specificato nella scheda tecnica.

Sezione del cavo		0,5 mm ²	0,75 mm ²	1 mm ²	1,5 mm ²	2,5 mm ²
10 W convertitore	8 V	3,0 m	4,5 m	6,0 m	9,0 m	15,0 m
	12 V	8,0 m	12,0 m	16,0 m	24,0 m	40,0 m
	24 V	25,0 m	37,5 m	50,0 m	75,0 m	125,0 m
25 W convertitore	8 V	1,5 m	2,25 m	3,0 m	4,5 m	7,5 m
	12 V	3,5 m	5,25 m	7,0 m	10,5 m	17,5 m
	24 V	11,0 m	16,5 m	22,0 m	33,0 m	55,0 m
100 W convertitore	8 V	0,4 m	0,5 m	0,7 m	1,1 m	1,8 m
	12 V	0,7 m	1,1 m	1,4 m	2,1 m	3,5 m
	24 V	2,5 m	3,7 m	4,9 m	7,4 m	12,3 m

Nel caso siano richiesti cavi più lunghi in una particolare applicazione, la sezione del cavo può essere aumentata o si possono distribuire i moduli collegati su più linee di alimentazione.

6.5.1 Massimo collegamento a catena dei moduli

Collegamento in corrente dei moduli

I moduli nella tecnologia a corrente costante (350 mA o 700 mA) in generale possono essere collegati in serie. Si noti che il numero di moduli che possono essere collegati in serie è definito dalla tensione sul modulo e dalla tensione di alimentazione. La tensione del modulo è riportata nella scheda tecnica.

La somma delle tensioni nei singoli moduli non deve superare la massima tensione del convertitore.

Infine è importante specificare come questo tipo di moduli non possa mai essere collegato in parallelo.

Wiring diagram TALEXconverter LED 0015 K350 with TALEXeos modules

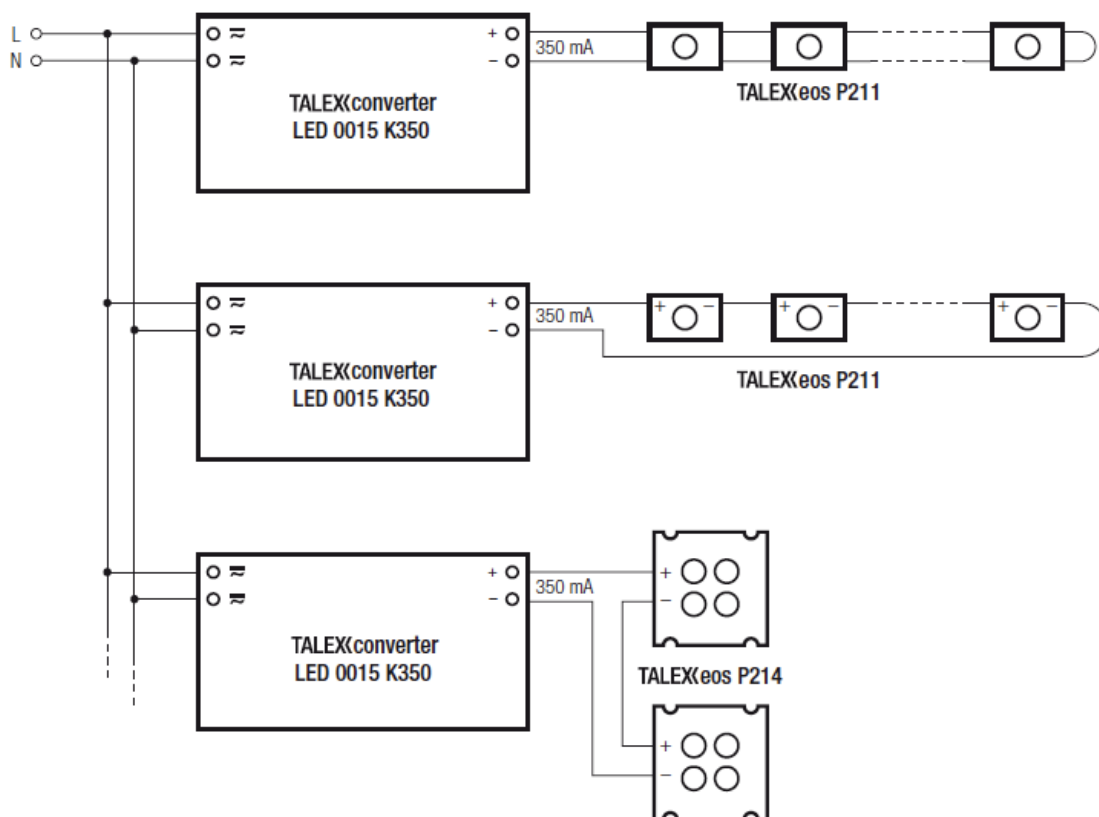


Fig. 6.19 Schema per il collegamento in serie degli alimentatori

6.6 Test e rilievi fotometrici del modulo LED

Grazie all'azienda dove attualmente lavoro ho avuto l'interessantissima opportunità di "sfruttare" la professionalità di alcuni colleghi e la presenza di avanzate tecnologie per poter verificare con dei test la bontà dei miei calcoli e delle mie ipotesi di progetto.

In particolare ho potuto appurare la veridicità dei dati e delle caratteristiche fornite dalle aziende produttrici di LED e ottiche che costituiscono il cuore pulsante del mio progetto.

Goniofotometro

I goniofotometri vengono utilizzati per stimare le intensità luminose emesse dai dispositivi d'illuminazione e per valutarne la distribuzione nello spazio. Lo scopo principale è quello di controllare le curve fotometriche degli apparati d'illuminazione. Questi strumenti oggi sono completamente automatici e gestiti da software per la misura, la visualizzazione dei valori fotometrici, la gestione degli angoli di rilievo e la velocità di rotazione. I dati fotometrici sono poi raccolti e rielaborati in forma grafica come tabella, grafico su coordinate cartesiane e diagramma polare. Vengono inoltre salvati in un file per poi utilizzarli in fase di progettazione dell'illuminazione, sia per interni sia per esterni. Da questo si intuisce quanto sia importante in un metodo di progettazione moderno che tali dati siano accurati e affidabili: da questi dati dipende la corrispondenza tra quanto progettato e quanto verrà misurato in fase di rilievo e collaudo dell'impianto d'illuminazione installato.

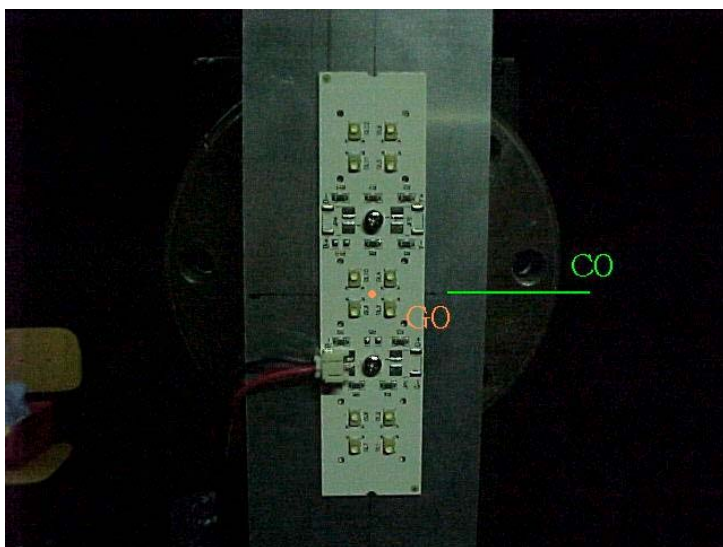


Fig. 6.20 Posizionamento della scheda LED sul goniofotometro

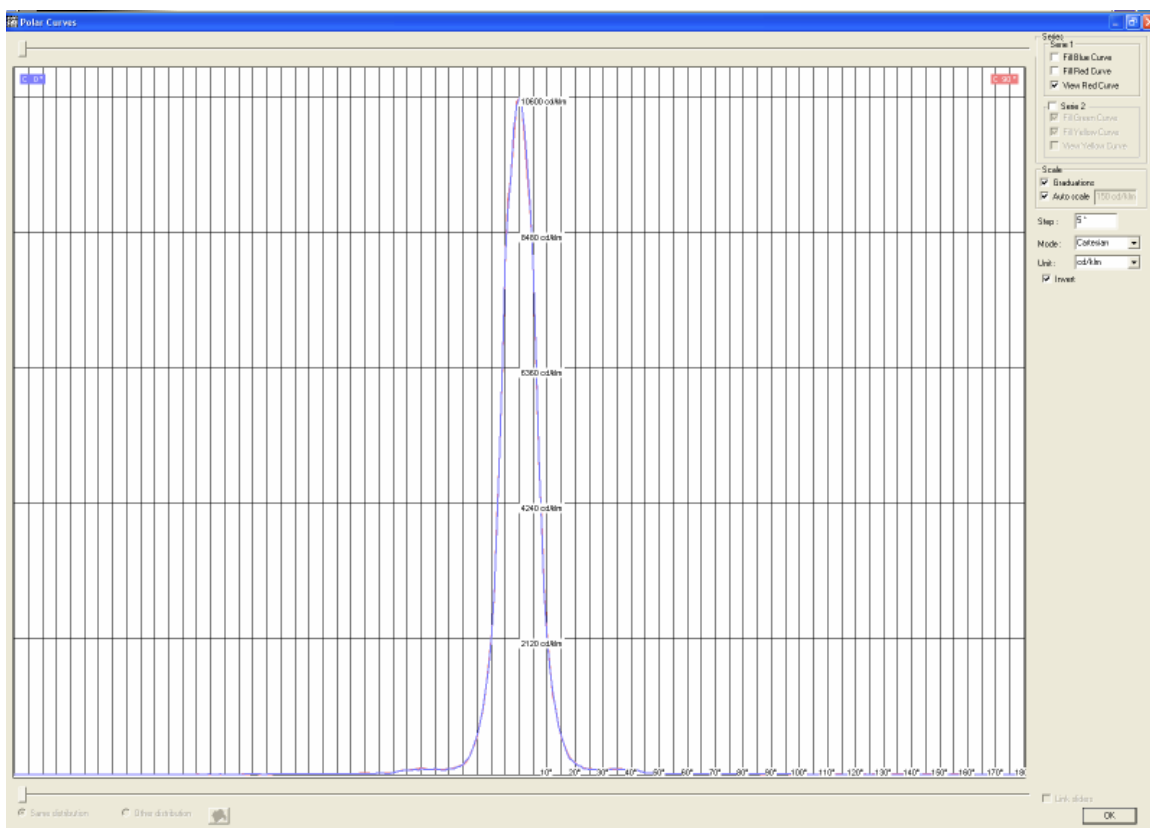
Qui di seguito andremo pertanto a constatare sia come per ogni tipo di ottica scelta le fotometrie corrispondano a quelle ipotizzate da datasheet sia che il flusso di 100 lm/W dichiarato sia un target raggiungibile se il LED è ben dissipato.

Ottica NARROW BEAM 12°



Fig. 6.21 Lente NARROW BEAM 12° sul goniofotometro

Fotometria da datasheet Quadra Lite

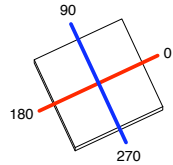


Fotometria NARROW BEAM 12° rilevata tramite goniofotometro.



Apparecchio		Rilievo		Lampada	
Codice	12° NARROW	Codice	LUXREB4X1,2W12°S	Codice	12° NARROW
Nome	LUXEON REBEL 4LEDX1,2W 350mA	Nome	LUXEON REBEL ES 350mA	Numero	1
Archivio	LUXEON REBEL ES 4X1,2W	Data	04-05-2010	Posizione	
Rendimento	100.00%	Sistema Coordinate	C-G	Flusso Totale	398.37 lm
Valore Massimo	10680.28 cd/klm	Posizione	C=0.00 G=0.00		Doppia Simmetria
Apparecchio Rettangolare	Lung. 30 mm	Larg. 30 mm	Alt. 1 mm		
Area Luminosa Rettangolare	Lung. 20 mm	Larg. 20 mm	Alt. 0 mm		
Area Luminosa Orizzontale	0.000400 m2	Area Luminosa Piano 180°	0.000000 m2		
Area Luminosa Piano 0°	0.000000 m2	Area Luminosa Piano 270°	0.000000 m2		
Area Luminosa Piano 90°	0.000000 m2	Area Luminosa a 76°	0.000097 m2		
Tipo di simmetria	Doppia Simmetria	Massimo Angolo Gamma	180		
Distanza di rilievo	9.60	Flusso di rilievo	398.37 lm		
Operatore	Paolo	Tensione di alimentazione	230.07 V		
Temperatura	50.00 °C	Corrente di alimentazione	0.03 A		
Umidità	25.00 %	Fotocellula	Czibula&Grundmann		
Note	12° Power 6.301000 Power factor 0.828900				
Lampade Apparecchio					
Archivio	LED LUXEON REBEL 4X1,2W	Codice	12° NARROW	Nome	LUXEON REBEL 4LEDX1,2W
				Flusso[lm]	Pot.[w]
				398.37	15.00
C.I.E.	93 98 98 100 100			D DIN 5040	A60
F UTE	1.00 A + 0.00 T			B NBN	BZ 1
				Q.ta	1

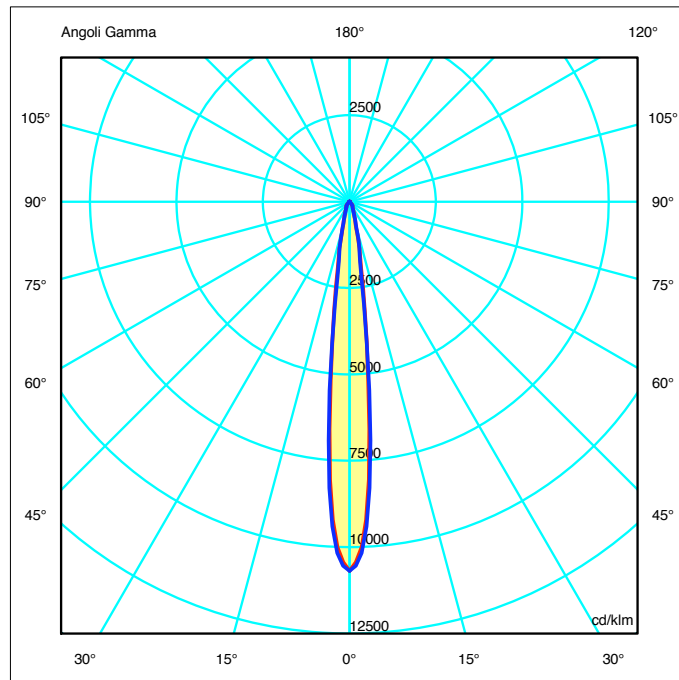
30mm x 30mm



Semipiani C

180.0 — 0.0
270.0 — 90.0

ULOR 0.37 %
DLOR 99.63 %
RN 0.37 %

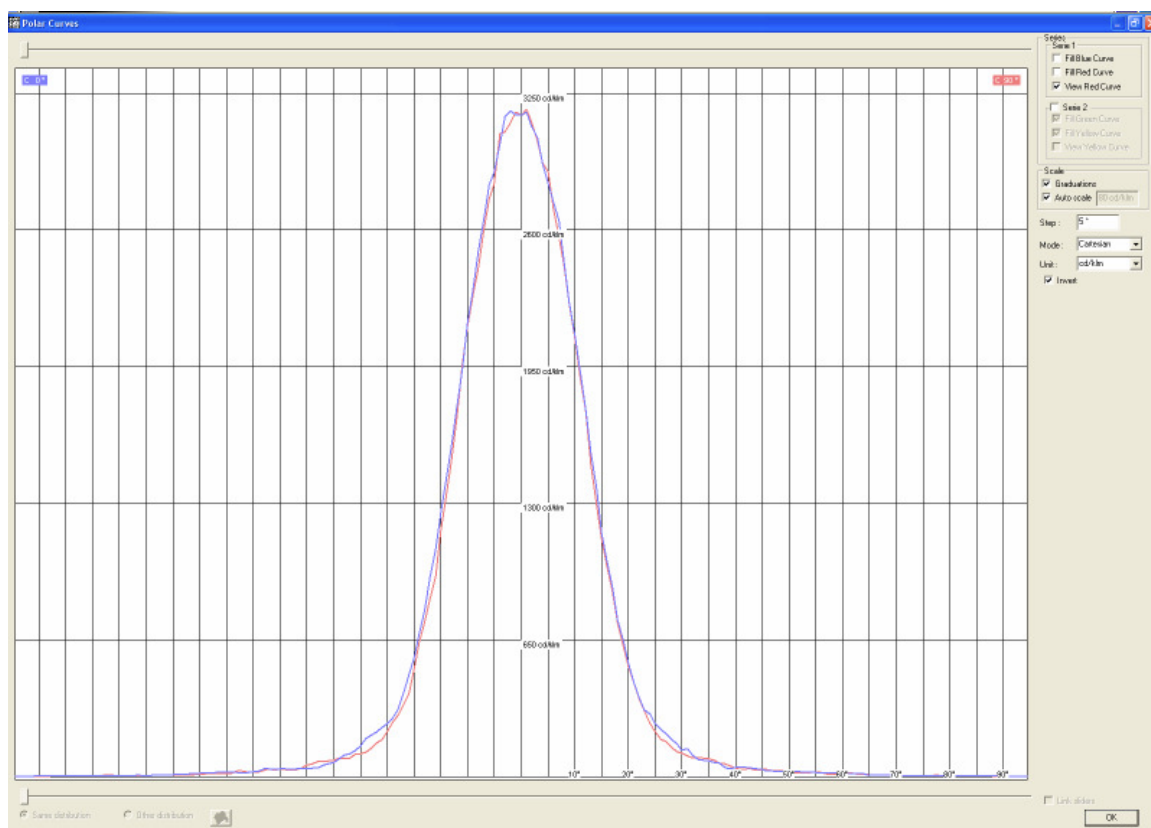


Ottica MEDIUM BEAM 25°



Fig. 6.22 Lente MEDIUM BEAM 25° sul goniometro

Fotometria MEDIUM BEAM 25° da datasheet Quadra Lite

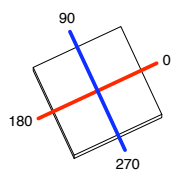


Fotometria MEDIUM BEAM 25° rilevata tramite goniometro.



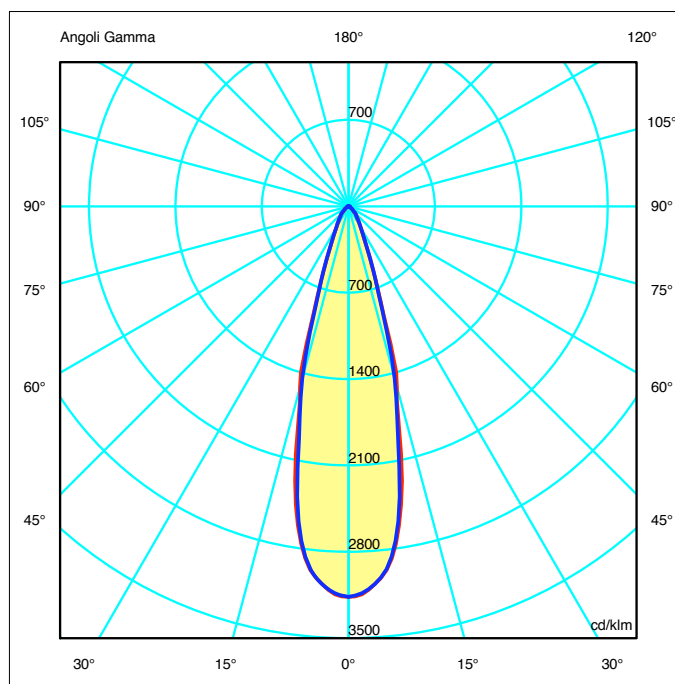
Apparecchio		Rilievo		Lampada	
Codice	25° MEDIUM	Codice	LUXREB4X1,2W25°S	Codice	25° MEDIUM
Nome	LUXEON REBEL 4LEDX1,2W 350mA	Nome	LUXEON REBEL ES 350mA	Numero	1
Archivio	LUXEON REBEL ES 4X1,2W	Data	06-05-2010	Posizione	
Rendimento	100.00%	Sistema Coordinate	C-G	Flusso Totale	380.13 lm
Valore Massimo	3163.81 cd/klm	Posizione	C=0.00 G=0.00	Doppia Simmetria	
Apparecchio Rettangolare	Lung.	30 mm	Larg.	30 mm	Alt.
Area Luminosa Rettangolare	Lung.	20 mm	Larg.	20 mm	Alt.
Area Luminosa Orizzontale	0.000400 m2	Area Luminosa Piano 180°	0.000000 m2	Area Luminosa Piano 270°	0.000000 m2
Area Luminosa Piano 0°	0.000000 m2	Area Luminosa a 76°	0.000097 m2		
Area Luminosa Piano 90°	0.000000 m2				
Tipo di simmetria	Doppia Simmetria	Massimo Angolo Gamma	180		
Distanza di rilievo	9.60	Flusso di rilievo	380.13 lm		
Operatore	Paolo	Tensione di alimentazione	230.17 V		
Temperatura	50.00 °C	Corrente di alimentazione	0.03 A		
Umidità	25.00 %	Fotocellula	Czibula&Grundmann		
Note	25° Power 6.311000 Power factor 0.829500				
Lampade Apparecchio					
Archivio	Codice	Nome	Flusso[lm]	Pot.[w]	Q.ta
LED LUXEON REBEL 4X1,2W	25° MEDIUM	LUXEON REBEL 4LEDX1,2W	380.13	15.00	1
C.I.E.	90 97 99 100 100	D DIN 5040	A60		
F UTE	1.00 A + 0.00 T	B NBN	BZ 1		

30mm x 30mm



Semipiani C
180.0 — 0.0
270.0 — 90.0

ULOR 0.28 %
DLOR 99.72 %
RN 0.28 %

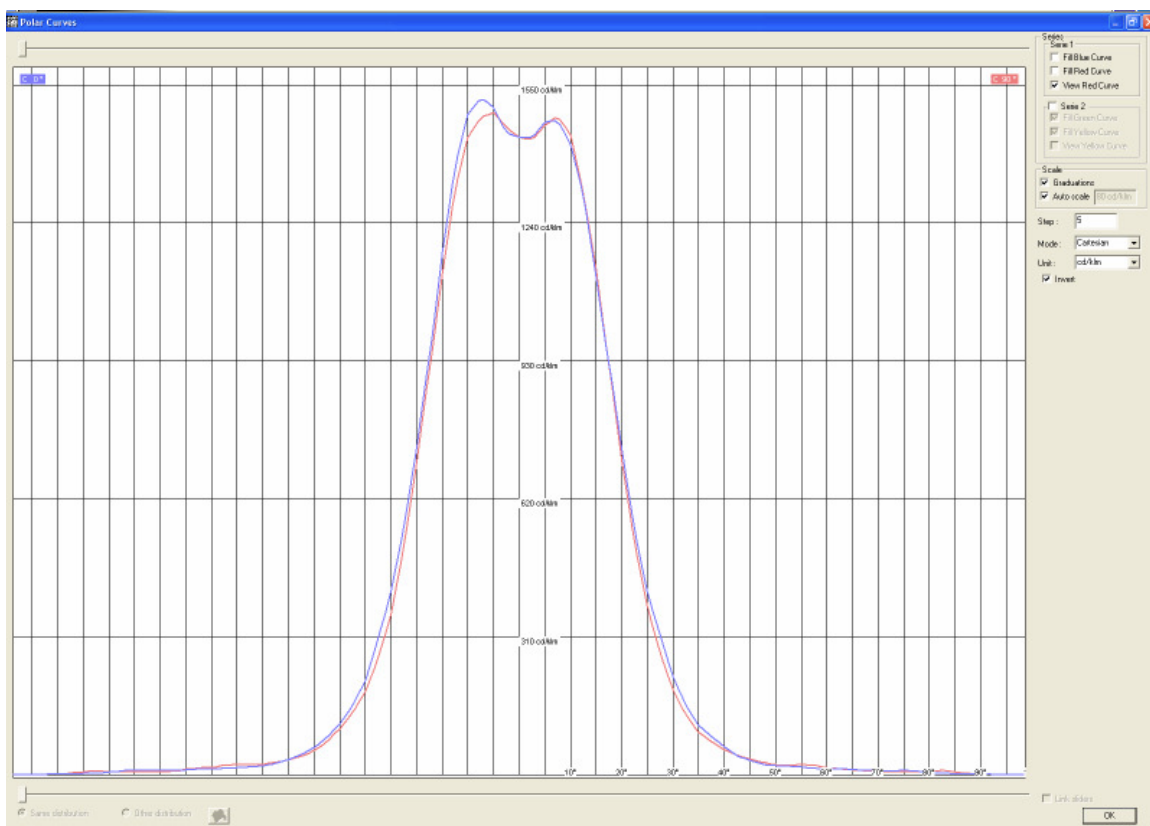


Ottica WIDE BEAM 45°



Fig. 6.23 Lente WIDE BEAM 45° sul goniofotometro

Fotometria WIDE BEAM 45° da datasheet Quadra Lite

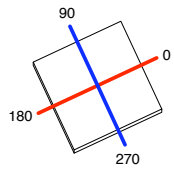


Fotometria WIDE BEAM 45° rilevata tramite goniofotometro.



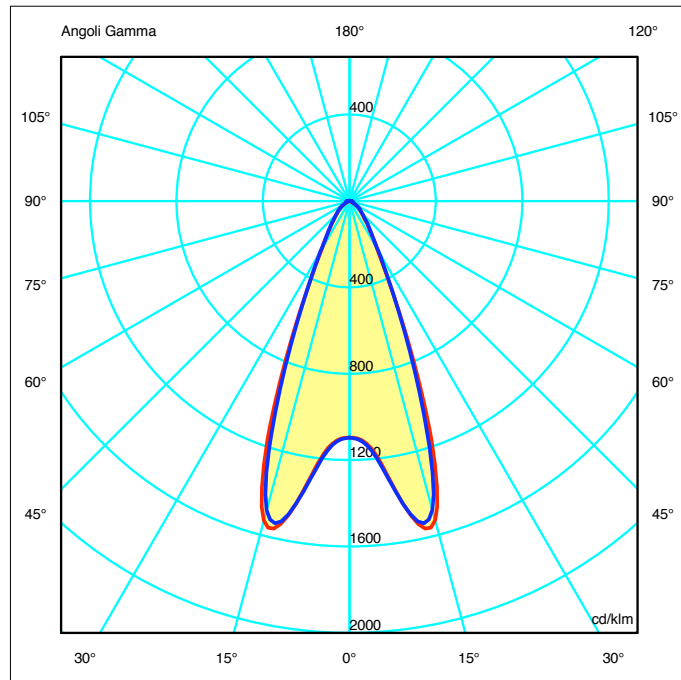
Apparecchio		Rilievo		Lampada	
Codice	45° WIDE	Codice	LUXREB4X1,2W45°S	Codice	45° WIDE
Nome	LUXEON REBEL 4LEDX1,2W 350mA	Nome	LUXEON REBEL ES 350mA	Numero	1
Archivio	LUXEON REBEL ES 4X1,2W	Data	06-05-2010	Posizione	
Rendimento	100.00%	Sistema Coordinate	C-G	Flusso Totale	356.71 lm
Valore Massimo	1565.56 cd/klm	Posizione	C=60.00 G=14.00	Doppia Simmetria	
Apparecchio Rettangolare	Lung. 30 mm	Larg. 30 mm	Alt. 1 mm		
Area Luminosa Rettangolare	Lung. 20 mm	Larg. 20 mm	Alt. 0 mm		
Area Luminosa Orizzontale	0.000400 m2	Area Luminosa Piano 180°	0.000000 m2		
Area Luminosa Piano 0°	0.000000 m2	Area Luminosa Piano 270°	0.000000 m2		
Area Luminosa Piano 90°	0.000000 m2	Area Luminosa a 76°	0.000097 m2		
Tipo di simmetria	Doppia Simmetria	Massimo Angolo Gamma	180		
Distanza di rilievo	9.60	Flusso di rilievo	356.71 lm		
Operatore	Paolo	Tensione di alimentazione	230.22 V		
Temperatura	50.00 °C	Corrente di alimentazione	0.03 A		
Umidità	25.00 %	Fotocellula	Czibula&Grundmann		
Note	45° Power 6.305000 Power factor 0.828200				
Lampade Apparecchio					
Archivio	LED LUXEON REBEL 4X1,2W	Codice	45° WIDE	Nome	LUXEON REBEL 4 LEDX1,2W
				Flusso[lm]	Pot.[w]
				356.71	15.00
				Q.ta	1
C.I.E.	86 95 98 100 100	D DIN 5040	A60		
F UTE	1.00 A + 0.00 T	B NBN	BZ 1		

30mm x 30mm



Semipiani C
 180.0 — 0.0
 270.0 — 90.0

ULOR 0.31 %
 DLOR 99.69 %
 RN 0.31 %

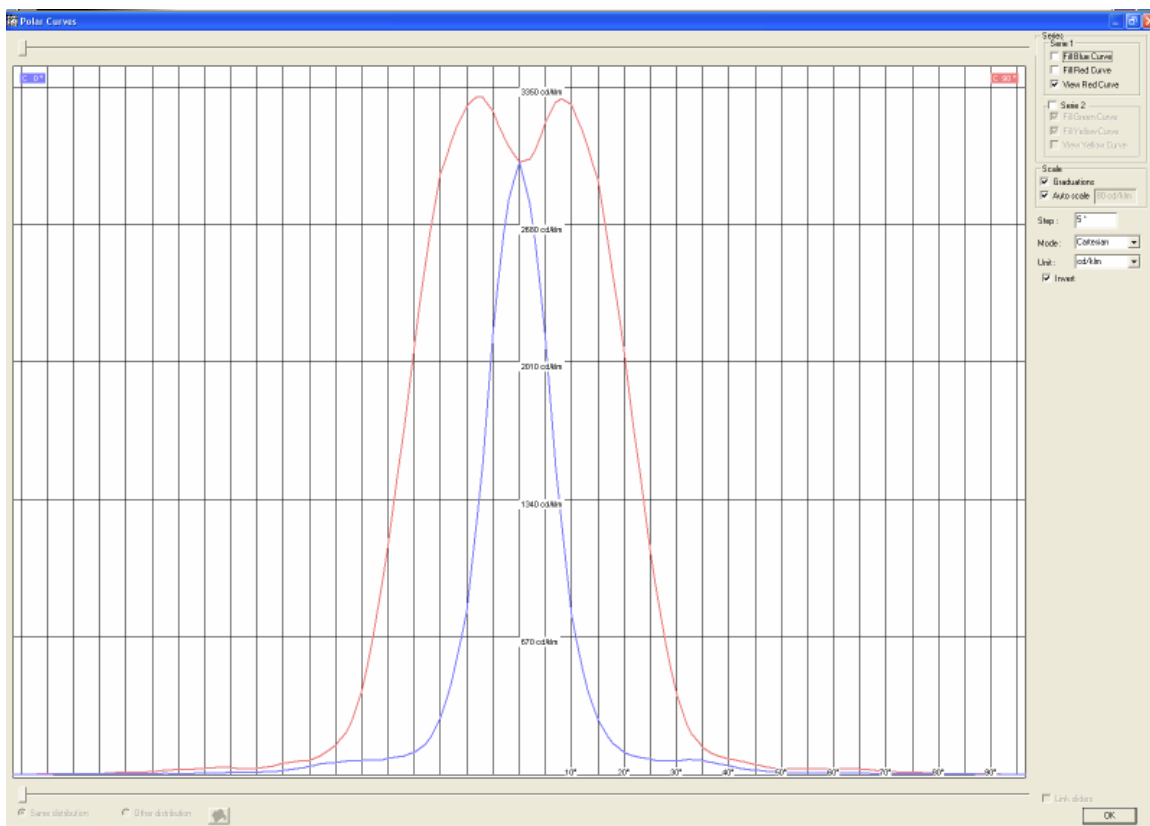


Ottica OVAL BEAM 15°/45°



Fig. 6.24 Lente OVAL BEAM 15°/45° sul goniofotometro

Fotometria OVAL BEAM 15°/45° da datasheet Quadra Lite

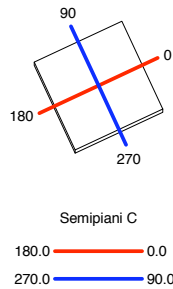


Fotometria OVAL BEAM 15°/45° rilevata tramite goniometro.

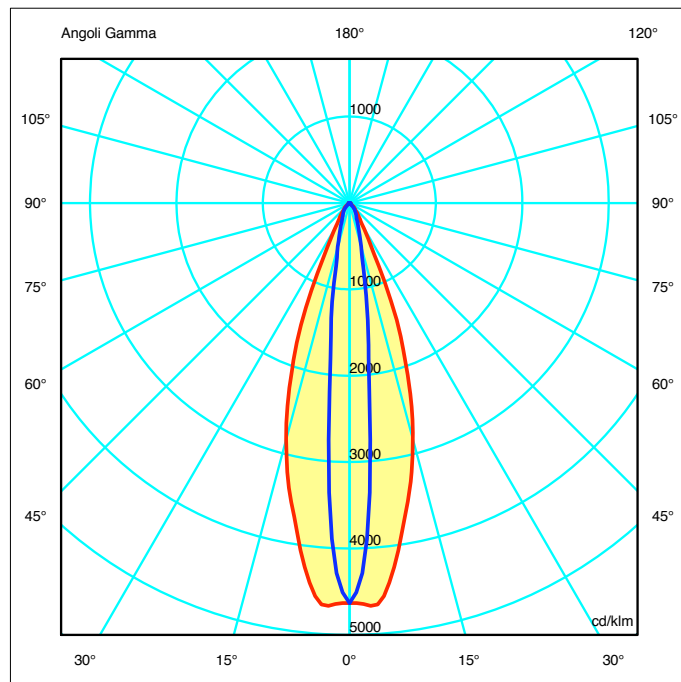


Apparecchio		Rilievo		Lampada	
Codice	15-45° ELLIPTICAL	Codice	LUXREB4X1,2W15-45°S	Codice	15-45° ELLIPTICAL
Nome	LUXEON REBEL 4LEDX1,2W 350mA	Nome	LUXEON REBEL ES 350mA	Numero	1
Archivio	LUXEON REBEL ES 4X1,2W	Data	06-05-2010	Posizione	
Rendimento	100.00%	Sistema Coordinate	C-G	Flusso Totale	374.72 lm
Valore Massimo	4659.41 cd/klm	Posizione	C=0.00 G=4.00	Doppia Simmetria	
Apparecchio Rettangolare	Lung. 30 mm	Larg. 30 mm	Alt. 1 mm		
Area Luminosa Rettangolare	Lung. 20 mm	Larg. 20 mm	Alt. 0 mm		
Area Luminosa Orizzontale	0.000400 m2	Area Luminosa Piano 180°	0.000000 m2		
Area Luminosa Piano 0°	0.000000 m2	Area Luminosa Piano 270°	0.000000 m2		
Area Luminosa Piano 90°	0.000000 m2	Area Luminosa a 76°	0.000097 m2		
Tipo di simmetria	Doppia Simmetria	Massimo Angolo Gamma	180		
Distanza di rilievo	9.60	Flusso di rilievo	374.72 lm		
Operatore	Paolo	Tensione di alimentazione	230.02 V		
Temperatura	50.00 °C	Corrente di alimentazione	0.03 A		
Umidità	25.00 %	Fotocellula	Czibula&Grundmann		
Note	15-45° Power 6.299000 Power factor 0.829400				
Lampade Apparecchio					
Archivio	LED LUXEON REBEL 4X1,2W	Codice	15-45° ELLIPTICAL	Nome	LUXEON REBEL 4LEDX1,2W
				Flusso[lm]	Pot.[w]
				374.72	15.00
				Q.ta	1
C.I.E.	91 97 99 100 100	D DIN 5040	A60		
F UTE	1.00 A + 0.00 T	B NBN	BZ 1		

30mm x 30mm



ULOR 0.27 %
DLOR 99.73 %
RN 0.27 %



Ottica ASYMMETRICAL BEAM / WALL WASHER 15°/50° $\alpha = 6^\circ$

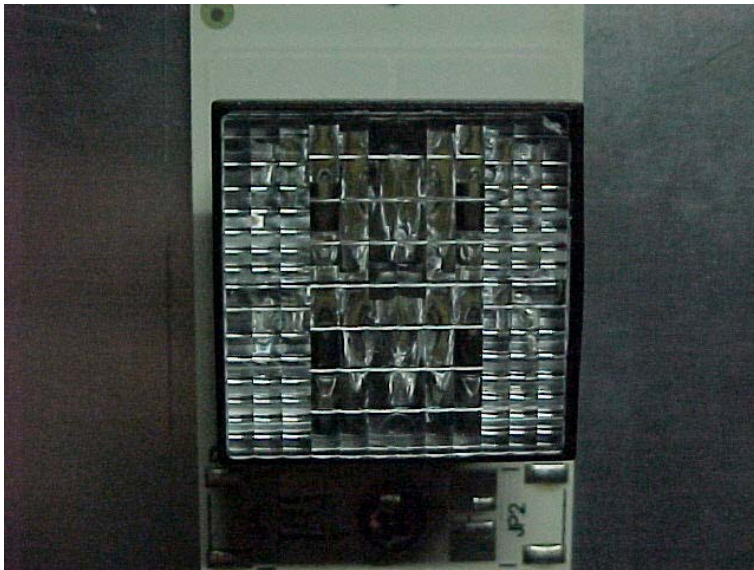
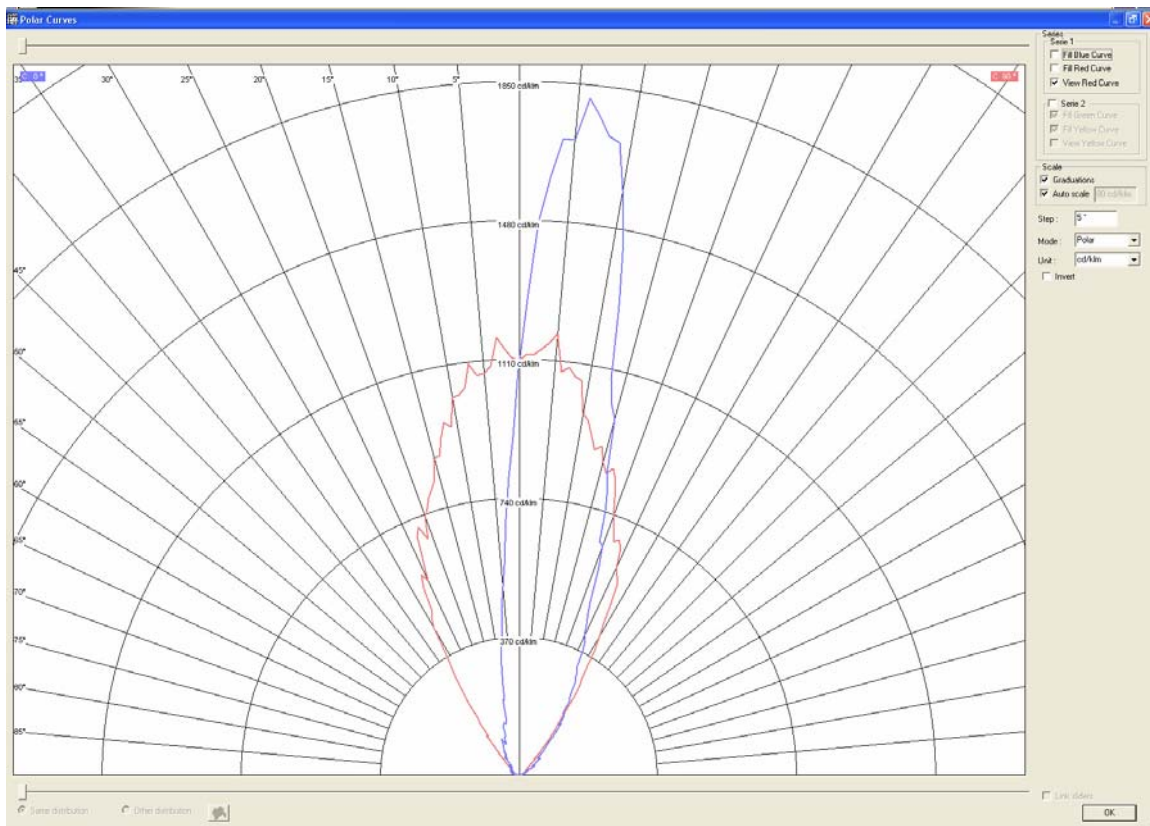


Fig. 6.25 Lente ASYMMETRICAL BEAM / WALL WASHER 15°/50° $\alpha = 6^\circ$ sul goniofotometro

Fotometria ASYMMETRICAL BEAM / WALL WASHER 15°/50° $\alpha = 6^\circ$ da datasheet Quadra Lite



dal libro "LIGHTING" - Prof. G. Forcolini

La città dei pedoni

Nelle parti della città riservate ai pedoni, all'interno di nuclei storici, in quartieri residenziali o in zone commerciali, l'illuminazione è al servizio del cittadino e dell'ambiente urbano, non del sistema dei trasporti su strada. Sarebbe riduttivo considerare la luce per la città dei pedoni come un'appendice ornamentale, oppure meramente funzionale dell'illuminazione stradale. Diversi sono gli obiettivi da perseguire e sussistono marcate differenze nel tipo di visione dei due soggetti a cui si deve fare riferimento: il conducente e il pedone.

Al di là della sicurezza esistono altre finalità, tipicamente urbane, che è necessario raggiungere. Il conducente del mezzo di trasporto a motore ha bisogno di vedere chiaramente in prima istanza la sede stradale con la sua segnaletica e secondariamente le aree circostanti (marciapiedi, alberi, facciate di edifici). ma questi elementi non devono essere causa di distrazione per la guida. Per orientarsi egli necessita di un rischiaramento, definibile "richiamo visivo", di alcuni fronti edificati o di altri elementi architettonici salienti nel panorama urbano visto dall'interno di un mezzo di trasporto. Ma seguendo questi criteri si finisce per avere marciapiedi debolmente illuminati in cui è difficile riconoscere cose e persone.

Una situazione del genere si verifica sovente nei quartieri periferici; questo provoca una sorta di reazione spontanea e incontrollata proveniente dalla sfera del privato: gli accessi alle abitazioni (cancelli, portoni, androni) hanno un'illuminazione propria, al pari di negozi, empori, supermercati, ingressi di uffici e di altri luoghi di lavoro da proteggere. I limiti e gli svantaggi di queste soluzioni lasciate all'iniziativa privata non sono certo trascurabili: alterazione caotica del panorama notturno urbano, con utilizzo di sorgenti luminose ad alto consumo e con disparate temperature di colore, uso di apparecchi con ottiche inadatte che producono disagio e disturbo visivo ai conducenti, ai pedoni, agli abitanti dei caseggiati. Si assiste, in taluni casi, a un'assurda e dispendiosa gara in concorrenza tra gestori di esercizi commerciali che porta a inondare di luce i marciapiedi per attirare più pubblico con un effetto a catena incontrollato.

Non si vuole certo negare la possibilità, o l'opportunità, di rischiarare localmente un edificio o una sua parte, ma quando tale intervento è volto a colmare una carenza dell'illuminazione pubblica sorge inevitabilmente un problema di coerenza e congruità delle installazioni. L'illuminazione della città non deve essere frutto dell'iniziativa privata, laddove questa dovrebbe provvedere a una semplice accentuazione localizzata della luminosità in funzione segnaletica e comunicazionale e non a garantire la visibilità al pubblico.

Alla ricerca di un giusto equilibrio tra illuminazione pubblica e privata occorre definire i termini, i parametri di valutazione e le metodologie di progetto per dotare della luce adatta agli spazi urbani intesi come ambito fisico riservato ai pedoni.

Valori raccomandati degli illuminamenti dalla Norma EN 13201

Le aree pedonali, insieme a quelle verdi (parchi e giardini), sono identificate nella Norma EN 13201 nei raggruppamenti E1 ed E2 (tabella 2), per i casi in cui, rispettivamente, sia totalmente escluso il traffico dei veicoli lenti e dei ciclisti, oppure sia accettato, pur restando prevalente la destinazione pedonale. Successivamente si ricerca la classe (sigle da S1 a S7, tabella 2) che soddisfa le condizioni definite dalle seguenti variabili:

- rischio di vandalismi e di azioni criminose;
- necessità del riconoscimento dei visi delle persone;
- entità del flusso di pedoni;
- entità della luminanza media dell'ambiente circostante.

In situazioni di normalità si selezionano le classi S3 e S4, mentre per prestazioni superiori, secondo le variabili indicate, si scende a S2 e S1, e per prestazioni inferiori si sale a S5 e S6. I valori in lux dell'illuminamento orizzontale medio e di quello minimo, entrambi mantenuti sono raccolti nella tabella 2.

La Norma EN, inoltre, raccomanda di considerare altre classi (sigle ES e EV, di cui rispettivamente ai parametri di illuminamento semicilindrico e verticale) con una corrispondenza diretta alle classi S. In termini di valori minimi, alle classi S1, S2, S3, S4, S5 e S6 si abbinano rispettivamente le classi ES4, ES5, ES6, ES7, ES8 e ES9 e alla classe S1 la EV5 (tabelle 3 e 4).

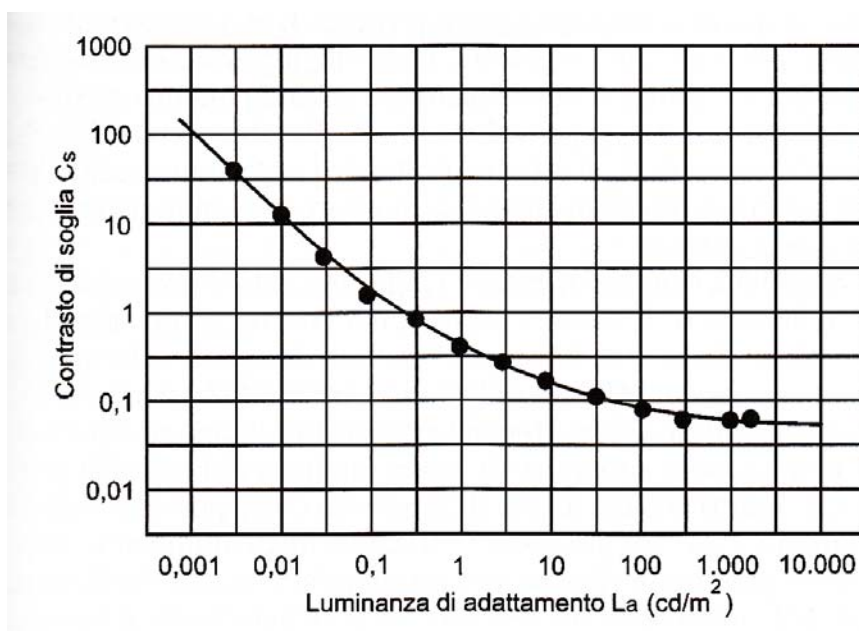


Tabella 1 - Contrasto di soglia C_s delle luminanze in funzione della luminanza di adattamento L_a per un oggetto osservato sotto un angolo di mira di $4'$ in un intervallo di tempo di 0,2 secondi.

Classe	Illuminazione orizzontale	
	E in lx ^a [minimo mantenuto]	E_{min} in lx [mantenuto]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	prestazione non determinata	prestazione non determinata

^a Per garantire uniformità, il valore effettivo dell'illuminazione E media fornita non deve superare di 1,5 volte il valore minimo E indicato per la classe.

Tabella 2 - Classi relative ai raggruppamenti E1 ed E2 dalla Tabella 1

Illuminazione semicilindrica	
Classe	$E_{sc, min}$ in lx ^a [mantenuto]
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,5

Tabella 3 - Valori minimi dell'illuminamento semicilindrico secondo la Norma EN 13201

Piano di illuminazione verticale	
Classe	$E_{v, min}$ in lx [mantenuto]
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7,5
EV5	5
EV6	0,5

Tabella 4 - Valori minimi dell'illuminamento verticale secondo la Norma EN 13201

CAPITOLO 7

IL CONCEPT

Arrivati a questo punto della ricerca abbiamo tutti gli elementi per poter determinare con cognizione di causa quali saranno i “vestiti” che il modulo LED andrà ad indossare.

Come precedentemente accennato l'intento è quello di creare una famiglia di prodotti per l'arredo urbano che possa fornire al progettista la possibilità di illuminare spazi diversi mantenendo una determinata linea di stile e disegno senza dimenticare l'importanza delle prestazioni illuminotecniche.

Secondo la mia modesta esperienza personale e successivamente ad un'analisi dei prodotti esistenti ho, pertanto, cercato di individuare quali fossero i prodotti fondamentali per soddisfare le necessità dettate dagli spazi urbani.

Per questo ho isolato 4 categorie di prodotto basilari: l'apparecchio su palo H massima 3,5m, il bollard, l'incasso al suolo/parete e l'applique da parete.

In ogni caso prima di affrontare nello specifico il design di questi elementi sarà bene definire la forma e di conseguenza l'ingombro del dissipatore.

7.1 Design del dissipatore

Come abbiamo precedentemente visto (cap. 6.2.1) la superficie necessaria per dissipare in maniera corretta ed efficiente la nostra scheda LED è di $77,4 \text{ cm}^2$ il che ci fornisce il punto di partenza per cominciare la progettazione del design del dissipatore.

Il tipo di LED scelto offre il vantaggio di non necessitare di aree per la dissipazione particolarmente estese in quanto pur avendo una resa luminosa eccellente non produce un'alta quantità di calore.

Per questo motivo ho deciso di mantenere il design dell'elemento dissipante il più semplice possibile senza quindi ricorrere ad espedienti quali l'alettatura della superficie in modo da poter ridurre al minimo l'area di ingombro per poter mantenere molto sottile il profilo degli apparecchi che andranno a contenere questa sorgente luminosa.

Nel caso della scheda da 12 LED sarà quindi più che sufficiente far aderire una piastra in alluminio di dimensioni $35 \times 135 \text{ mm}$ e di altezza 2 mm tramite l'uso di una pasta termoconduttiva così da ottenere una superficie dissipante di $101,3 \text{ cm}^2$ il che ci fornisce un buon margine di sicurezza rispetto ai $77,4 \text{ cm}^2$ minimi richiesti.

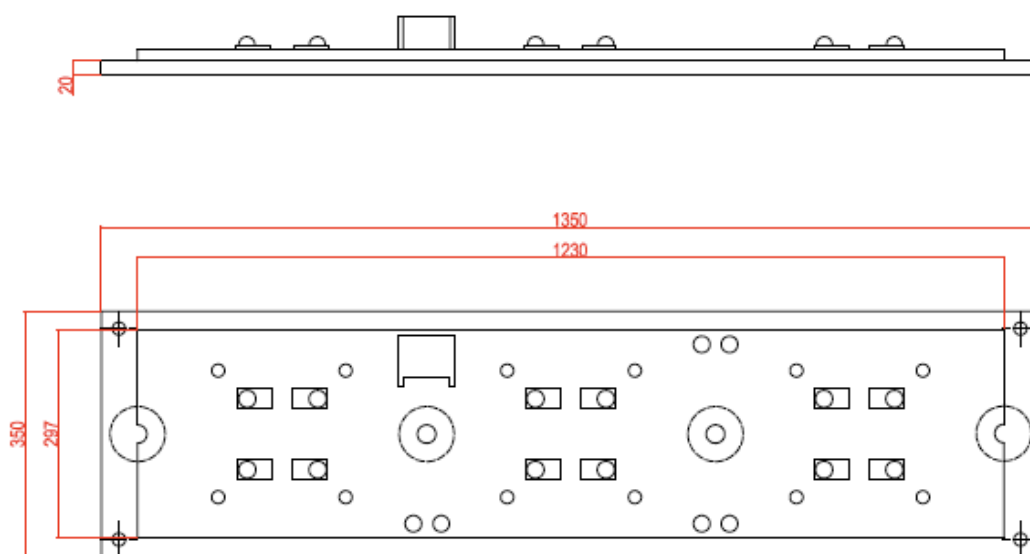


Fig. 7.1 Dimensionamento del dissipatore per la piastra da 12 LED.

Come accennato precedentemente la piastra sarà fissata al dissipatore e successivamente al corpo dei vari tipi di apparecchio tramite delle viti poste nei rispettivi alloggi presenti sulla superficie.

Qui di seguito propongo un esempio di come verrà annessa la scheda al modulo “apparecchio da palo”.

In questa sezione trasversale del corpo illuminante vediamo appunto come la scheda LED con il suo dissipatore e ottiche annesse sia solidale con la struttura in alluminio dell'apparecchio lasciando comunque uno spazio di areazione interno molto utile ai fini della dissipazione delle sorgenti luminose e del mantenimento della temperatura di giunzione entro i limiti prefissati.

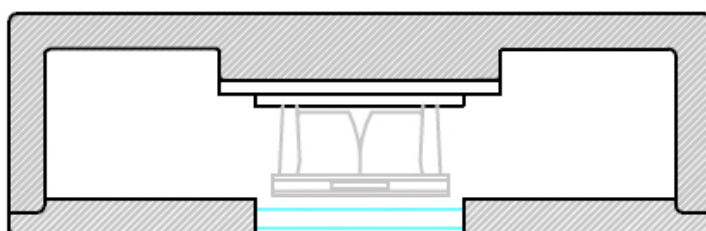


Fig. 7.2 Sezione trasversale dell'apparecchio su palo H 3m chiusa.

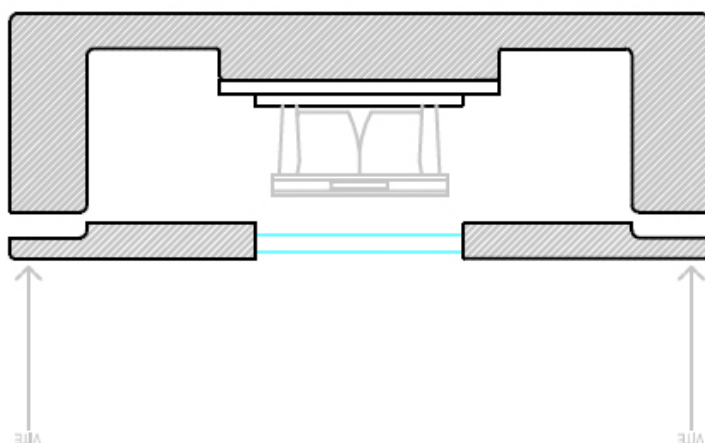


Fig. 7.3 Sezione trasversale dell'apparecchio su palo H 3m aperta con indicato l'alloggio per le viti di chiusura.

7.2 Design modulo per palo arredo urbano

Il palo per arredo urbano rappresenta sicuramente la sfida più gravosa da un punto di vista di prestazioni luminose all'interno della famiglia di apparecchi che andrò a progettare. Le prerogative tecniche, infatti, sia per quanto riguarda il tipo di fotometria, l'illuminamento medio al suolo e l'uniformità dello stesso rappresentano l'obiettivo più difficile da raggiungere nella progettazione di apparecchi con questo target di utilizzo.

I campi di applicazione saranno sicuramente le aree pedonali o ciclabili.

7.2.1 Componenti meccaniche e sistemi di supporto

7.2.1.1 Pali in acciaio

I pali in acciaio sono i sostegni più utilizzati in quanto offrono numerosi vantaggi quali l'elevata resistenza meccanica, il contenuto costo di acquisto e manutenzione e la versatilità di impiego nell'arredo urbano.

I materiali impiegati per i pali e torri faro sono principalmente tubi e lamiera d'acciaio Fe 360 o Fe 510 con caratteristiche meccaniche e composizione chimica conformi alle norme UNI EN 1025.

Nel caso di ancoraggio al terreno a mezzo di piastra di base, i tirafondi sono previsti in acciaio Fe 360 o Fe 510 a seconda delle esigenze progettuali.

La limitata resistenza dell'acciaio alla corrosione viene considerevolmente aumentata mediante trattamenti superficiali particolari (vedi 7.3.1.2)

7.2.1.2 Protezione superficiale di pali in acciaio

Zincatura a caldo

Nella generalità dei casi la protezione è realizzata mediante immersione in bagno di zinco fuso in conformità alle norme UNI EN 40 parte 4a e CEI 7-6 (1968) fascicolo n. 239, che prevedono gli spessori minimi del rivestimento.

Verniciatura

Quando sia richiesta la verniciatura si applicano, di norma, le seguenti procedure a seconda che l'applicazione avvenga su materiale base o su materiale zincato:

Verniciatura su materiale base:

- sabbiatura
- applicazione di 2 mani di pittura antiruggine con minio di piombo oleo-sintetico
- applicazione di 2 mani di pittura a finire a base di pigmenti e leganti con resine viniliche o epossidiche, il tutto per uno spessore di circa 120 µm.

Verniciatura su materiale zincato:

Al fine di ottimizzare l'impatto ambientale e la resistenza alla corrosione si può applicare un ciclo automatico con essiccatore e una verniciatura sopra la zincatura secondo le seguenti fasi:

- lavaggio con diluente di sgrassaggio
- applicazione di "primer" epossidico spessore 50 µm.

Fasciatura con guaina in polietilene (termorestringente)

Sono previsti spessori variabili tra 2-3 mm.

Esempio di applicazione della piastra di appoggio

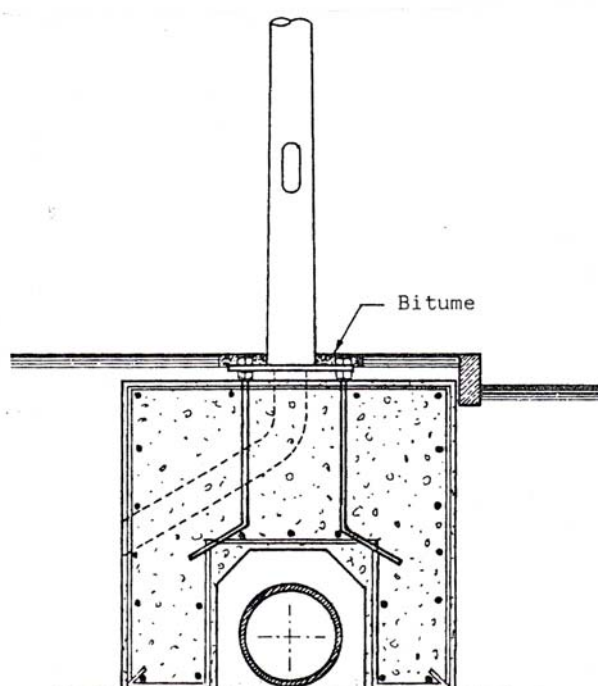


Fig. 7.4 Esempio di applicazione della piastra di appoggio

7.2.1.3 Accessori

Sedi per morsettiere

Le morsettiere di selezione della derivazione del cavo di alimentazione all'interno del palo possono essere posizionate esternamente ed internamente allo stesso.

In questo caso analizzeremo solamente l'ipotesi di una collocazione del gruppo elettrico interna al palo in modo da poter mantenere il più lineare e pulito possibile il design dello stesso.

Nei sostegni metallici possono essere praticate nella parte inferiore apposite aperture a forma ellissoidale per consentire l'alloggiamento interno delle morsettiere.

Il coperchio di chiusura pressofuso o stampato si blocca nell'apposita sede ottenuta nello spessore del palo fissandosi tramite fori filettati o leveraggi di blocco.

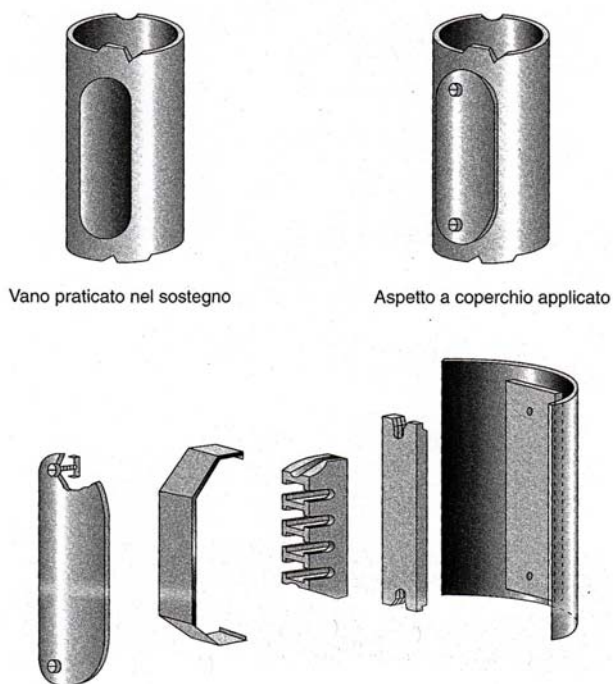


Fig. 7.5 Sede per gruppo elettronico.

7.2.2 Design del palo e del gruppo ottico

Il palo avrà un'altezza massima di 3m e uno sbraccio determinato dal suo disegno laterale ricurvo di 1,2m.

Tutta la struttura sarà realizzata da un profilo in alluminio curvato sul quale andrà ad integrarsi il blocco ottico dando continuità e pulizia alla forma assottigliata del supporto.

Alla base del palo sarà presente un vano nel quale troveranno alloggio i componenti elettrici, come ad esempio l'alimentatore, in modo da rendere più agevoli le operazioni di manutenzione dell'apparecchio.

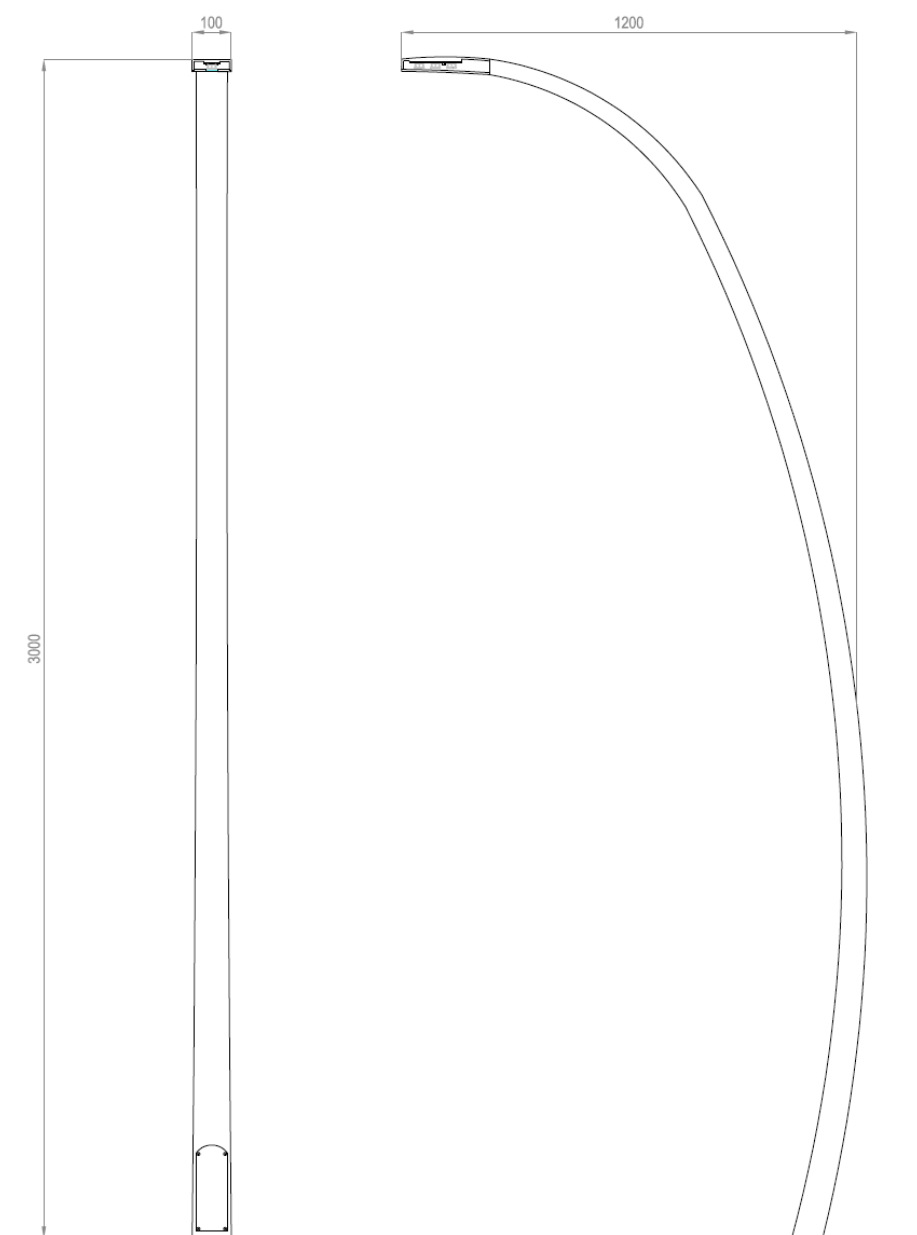


Fig. 7.6 Viste prospettive della soluzione "Apparecchio su palo per arredo urbano"

La sorgente luminosa che verrà utilizzata per questa soluzione sarà appunto una singola scheda da 12 LED per 14,4w situata nella testa del palo che costituisce appunto il gruppo ottico della soluzione in esame.

Qui di seguito possiamo vedere in sezione come la scheda LED verrà posizionata nel gruppo ottico.

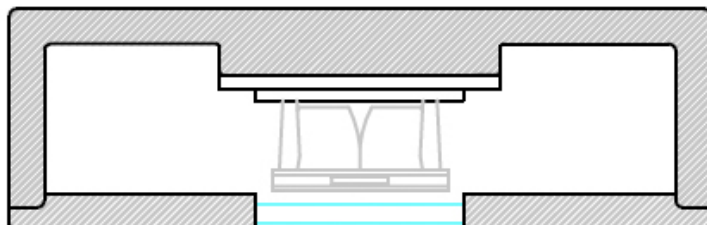


Fig. 7.7 Sezione trasversale dell'apparecchio su palo H 3m chiusa.

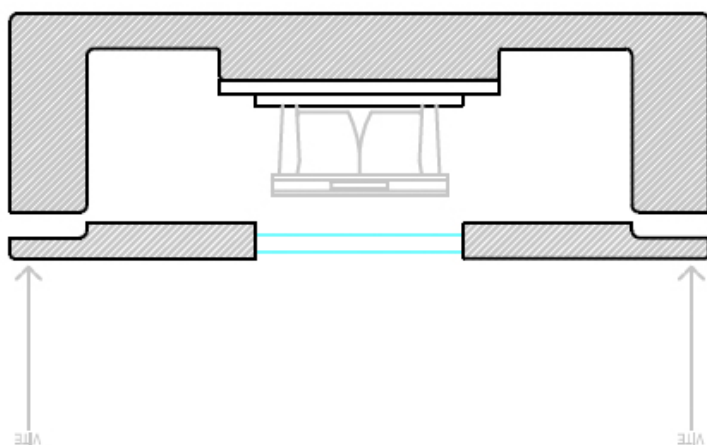


Fig. 7.8 Sezione trasversale dell'apparecchio su palo H 3m aperta con indicato l'alloggio per le viti di chiusura.

Nelle viste in pianta possiamo vedere le sedi filettate per le viti che andranno a fissare la piastra al corpo e quelle per fissare la copertura del vano ottico.

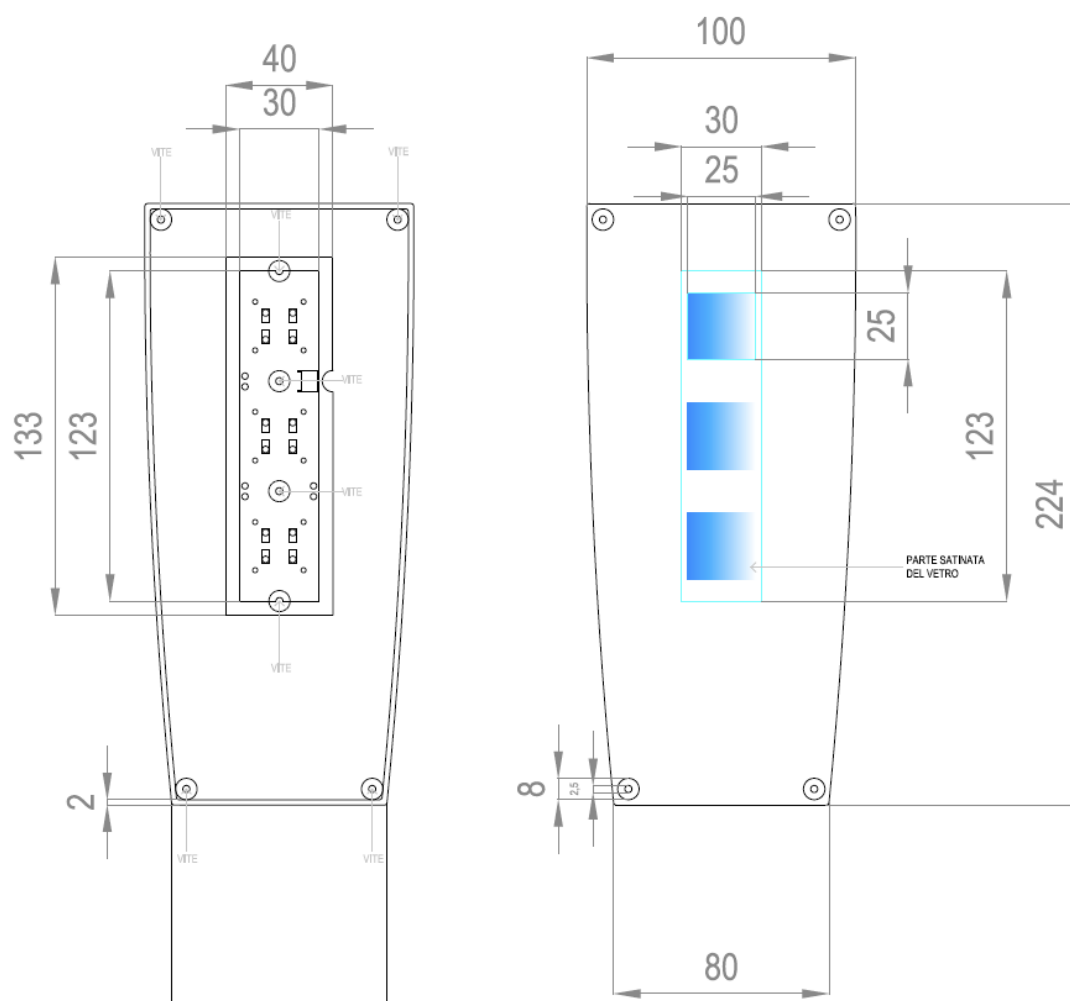


Fig. 7.9 Vista in pianta del vano ottico a testa palo e della copertura con vetro integrato.

Qui di seguito, infine, abbiamo una vista laterale in sezione e in prospettiva del corpo ottico su palo.

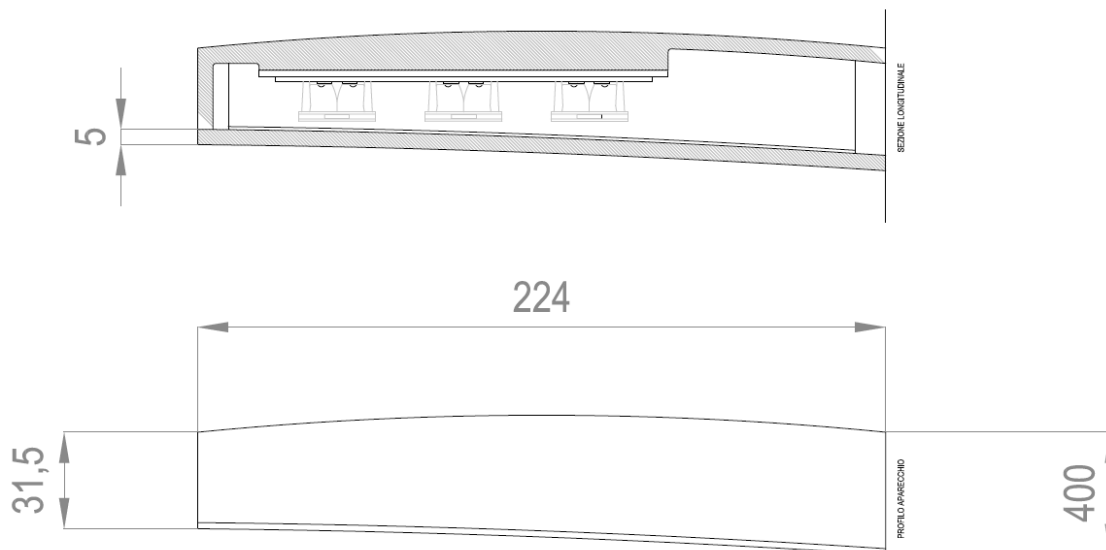


Fig. 7.10 Vista in prospettiva e in sezione del vano ottico a testa palo.

Come si può desumere dai disegni lo spazio interno è stato pensato sia per lasciare comunque uno spazio di areazione interno molto utile ai fini della dissipazione delle sorgenti luminose e del mantenimento della temperatura di giunzione entro i limiti prefissati sia per poter posizionare le ottiche che, soprattutto in questo caso, saranno fondamentali per la resa luminosa dell'apparecchio. Da un punto di vista illuminotecnico infatti per questa soluzione sarà possibile scegliere, a seconda delle esigenze progettuali specifiche, una scheda senza lenti per avere un fascio più diffusivo oppure una scheda con, nell'ordine partendo dall'attacco a palo, una lente ellittica per l'illuminazione trasversale del percorso sottostante e due lenti asimmetriche per poter raggiungere anche le aree più distanti dal punto di installazione del palo stesso. Naturalmente con l'ausilio delle lenti si avrà un fascio di luce più concentrato e con valori di illuminamento più alti rispetto alla soluzione senza lenti nella quale si avranno picchi massimi di illuminamento più bassi ma maggiore uniformità e diffusione della luce.

7.2.2.1 Render e descrizione del palo

Il palo da arredo urbano è stato pensato per valorizzare esteticamente l'ambiente in cui verrà installato senza però diventarne l'assoluto protagonista.

La tecnologia LED infatti ci permette di mantenere delle forme con profili molto più assottigliati e "leggeri" da un punto di vista visivo rispetto a quanto potevamo ottenere con le lampade tradizionali il tutto, però, senza che questo a scapito della resistenza meccanica e della robustezza del supporto.



Fig. 7.11 Render del palo da arredo urbano H 3m

7.2.2.2 Render e descrizione del gruppo ottico



Fig. 7.12 Render del gruppo ottico a testa palo.

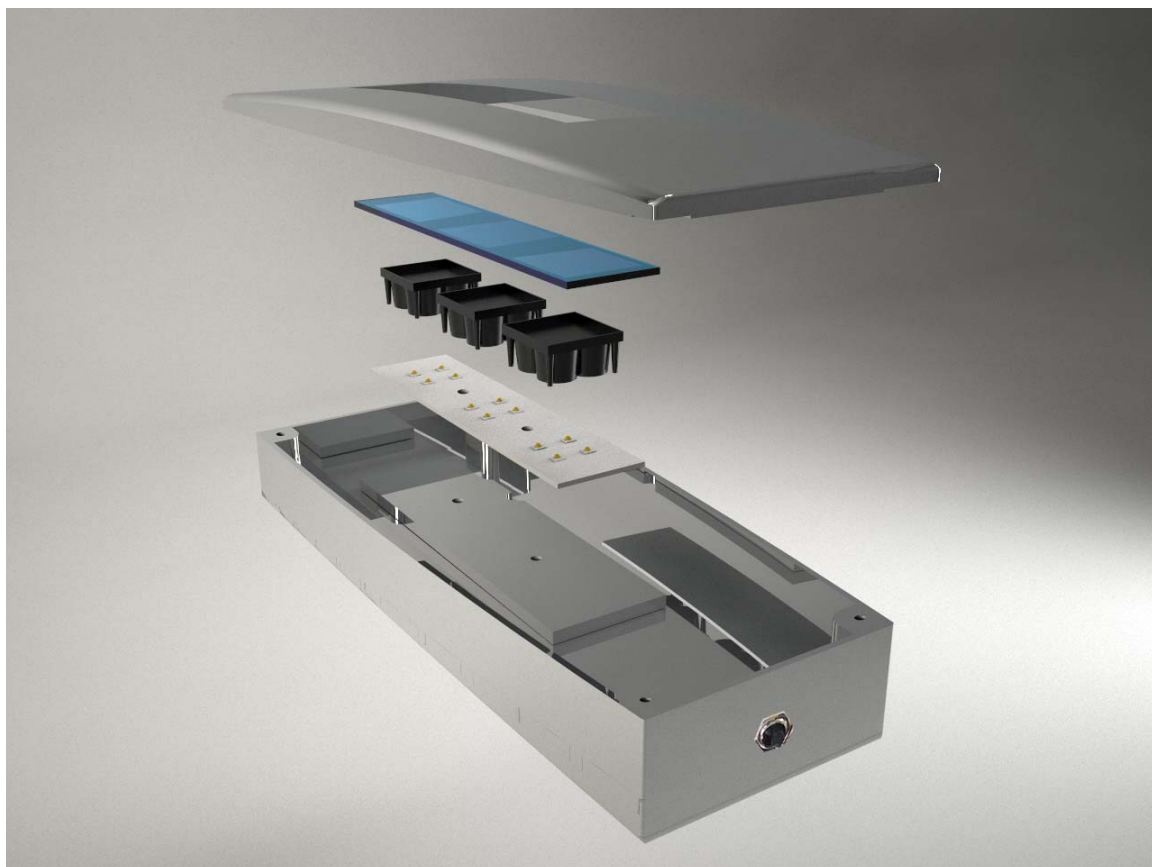


Fig. 7.13 Esploso del gruppo ottico.



Fig. 7.14 Esploso del gruppo ottico.

Come possiamo notare dal render in Fig. 7.13 il vetro di protezione del gruppo ottico verrà satinato in corrispondenza delle ottiche. In questo modo andremo a ridurre di molto il fastidioso fenomeno di abbagliamento diretto che si potrebbe verificare guardando direttamente la sorgente luminosa.

7.2.2.3 Corrispondenza alla norma

Come precedentemente accennato i valori raccomandati degli illuminamenti per le aree pedonali, insieme a quelle verdi (parchi e giardini), sono identificate nella Norma EN 13201 nei raggruppamenti E1 ed E2, per i casi in cui, rispettivamente, sia totalmente escluso il traffico dei veicoli lenti e dei ciclisti, oppure sia accettato, pur restando prevalente la destinazione pedonale.

Nel caso specifico del mio progetto ho deciso di rifarmi ad una classe S2 per quanto riguarda l'illuminazione orizzontale ed a una classe ES3 per quella semicilindrica il che equivale a richiedere prestazioni illuminotecniche superiori alla media per quanto riguarda un ambiente pedonale urbano.

Classe	Illuminazione orizzontale	
	E in lx ^a [minimo mantenuto]	E_{min} in lx [mantenuto]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	prestazione non determinata	prestazione non determinata

^a Per garantire uniformità, il valore effettivo dell'illuminazione E media fornita non deve superare di 1,5 volte il valore minimo E indicato per la classe.

Tabella 7.1 - Classi relative ai raggruppamenti E1 ed E2

Illuminazione semicilindrica	
Classe	$E_{sc, min}$ in lx ^a [mantenuto]
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,5

Tabella 7.2 - Valori minimi dell'illuminamento semicilindrico secondo la Norma EN 13201

Qui di seguito vediamo come i valori richiesti sono soddisfatti pienamente mantenendo un'interdistanza tra i pali di circa 11 metri che corrisponde a quella dettata dalla norma (interdistanza = altezza del palo 3m x 3,7).
 Le categorie sono rispettate per quanto riguarda la S2 come evidente dalla figura qui di seguito, dove abbiamo un illuminamento medio di 16 lux con un minimo di 3 lux.

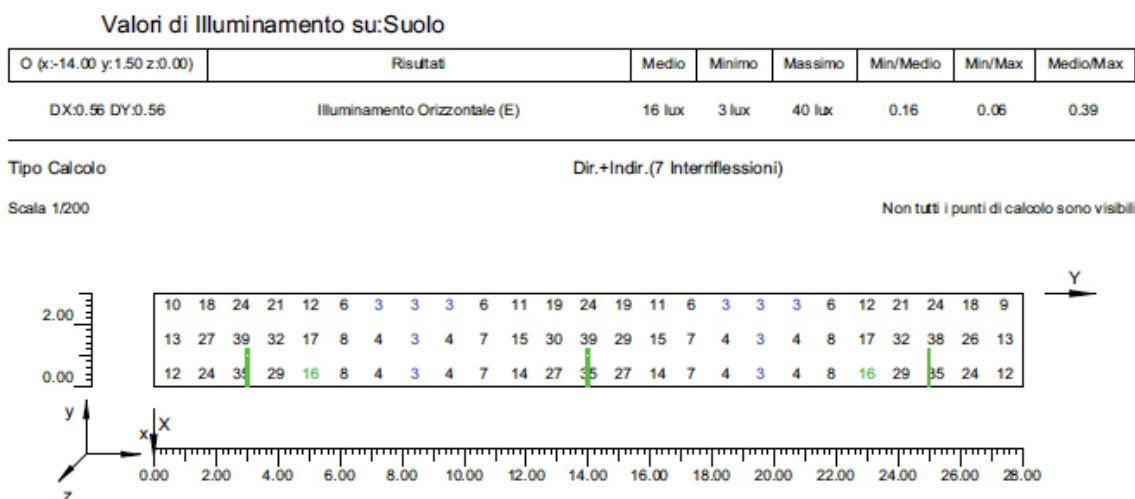


Fig. 7.15 Valori di illuminazione orizzontale

Anche per l'illuminamento semicilindrico rientriamo nella classe ES3 con un valore medio di 5 lux, il che ci consente di affermare che l'apparecchio offre delle ottime prestazioni per l'utilizzo a cui è destinato.

4.3 Valori Illuminamento SemiCilindrico su:Piano di Lavoro Cil.

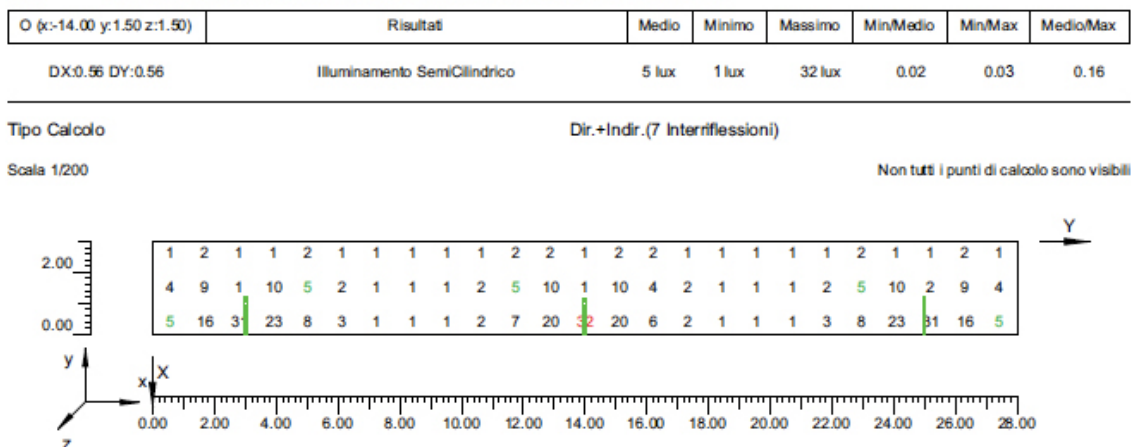


Fig. 7.16 Valori di illuminazione semicilindrica

7.2.3 Ipotesi di ambientazione del palo per arredo urbano

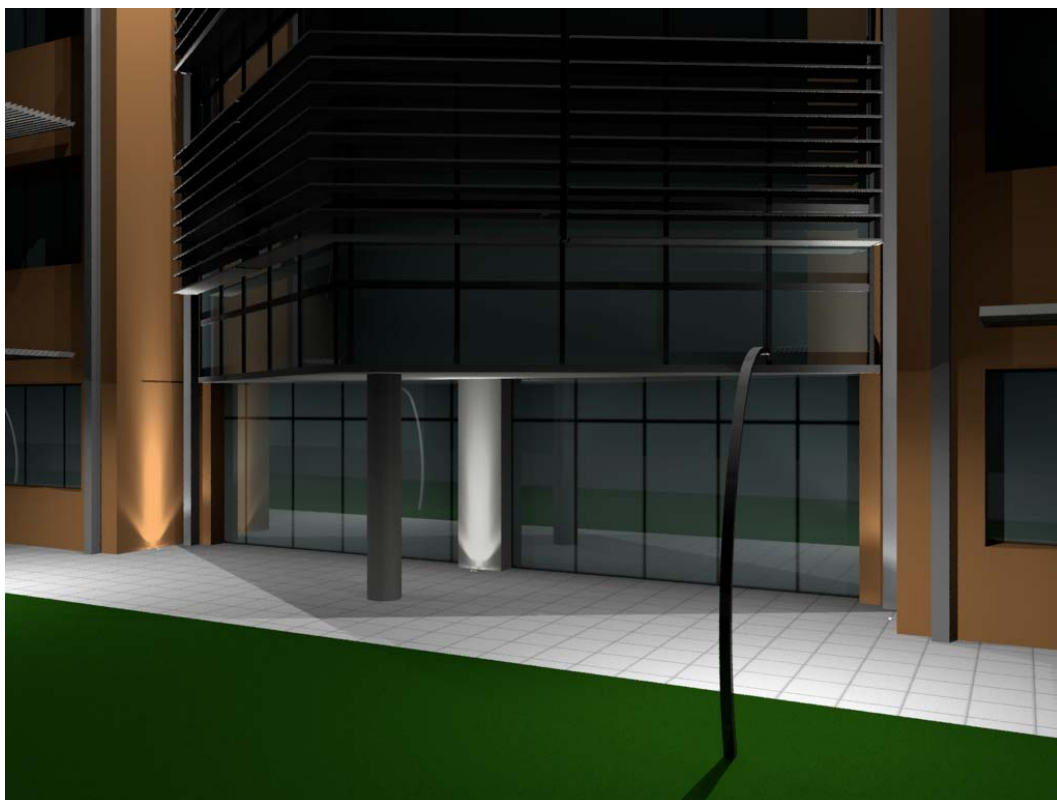
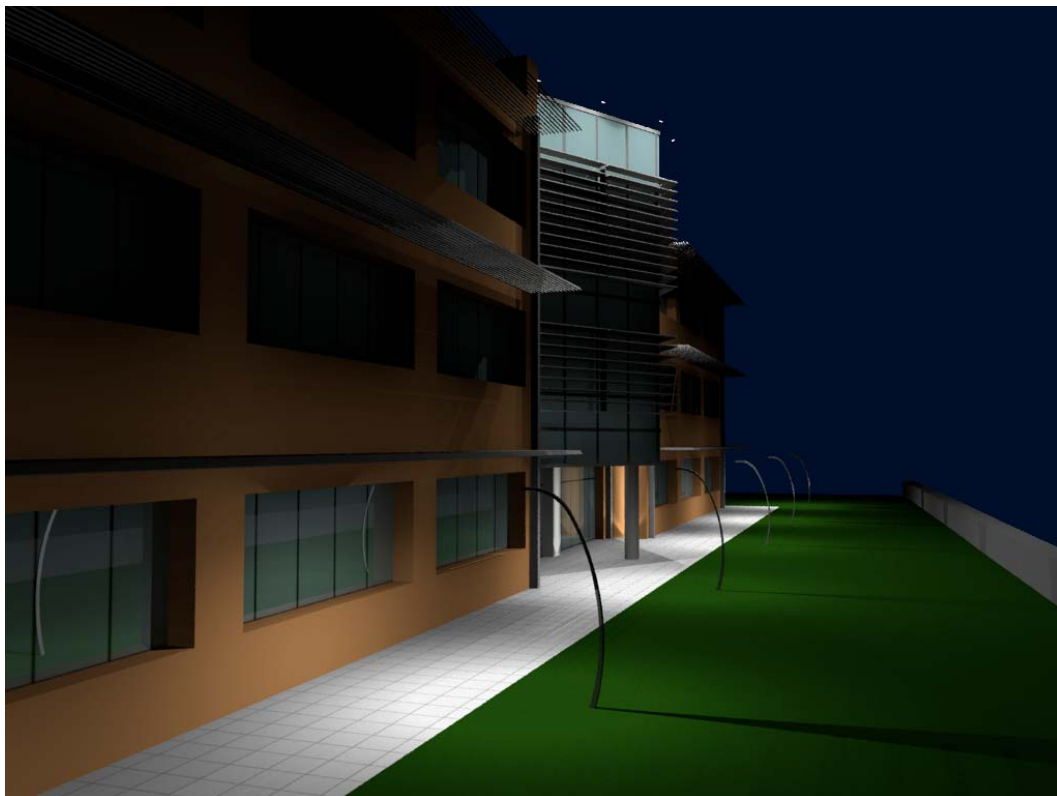


Fig. 7.17 Possibili ambientazioni del palo per arredo urbano.

7.3 Design modulo bollard

Per contesti installativi come vialetti prettamente pedonali all'interno di zone verdi o camminamenti di accesso ad edifici è di più pratico utilizzo la soluzione a bollard.

Questo tipo di apparecchio ricalca la funzione di quello su palo essendo però meno invasivo ed imponente da un punto di vista formale.

Il bollard, infatti, avrà un'altezza massima di 90 cm e come sorgente luminosa sfrutterà un modulo da 4 LED per una potenza totale impiegata di soli 4,8w.

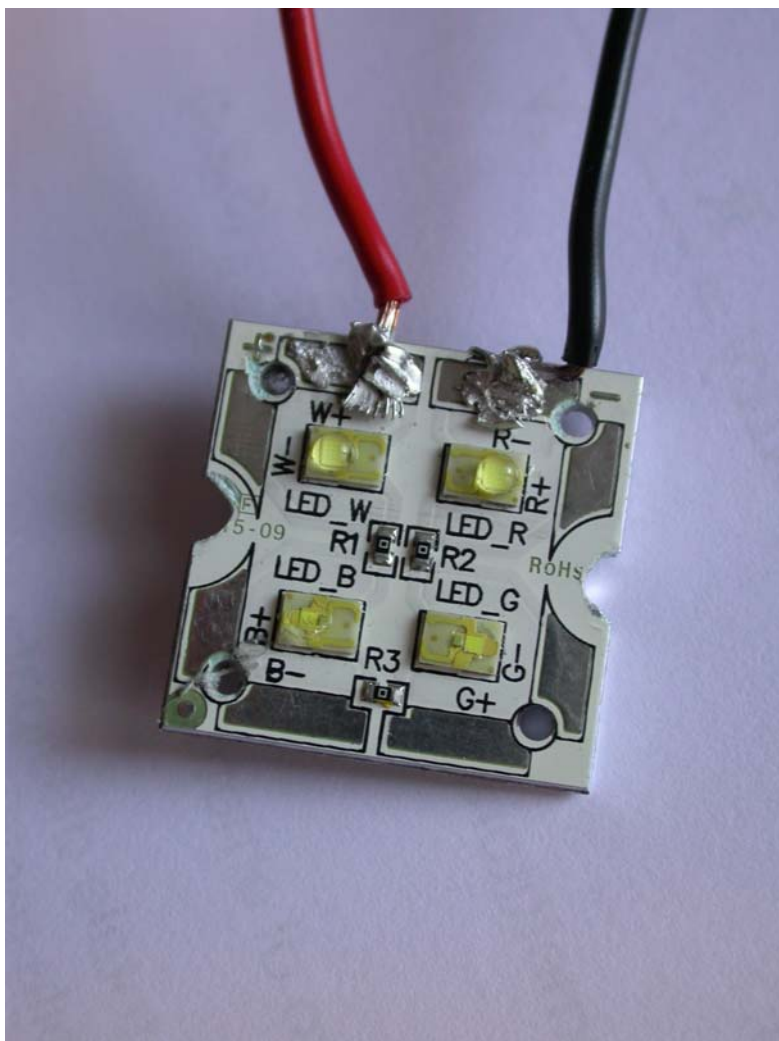


Fig. 7.18 Scheda da 4 LED.

Questo ci permetterà di ottenere una forma molto più proporzionata e lineare rispetto alle dimensioni totali dell'apparecchio riducendo al minimo l'ingombro del gruppo ottico, il tutto senza che le prestazioni illuminotecniche ne risentano minimamente.

Nel caso specifico avremo anche il vantaggio di poter alimentare in remoto 4 di questi apparecchi con lo stesso alimentatore scelto per la soluzione a palo o, in caso di installazioni con un numero considerevole di punti luce, si potrebbe considerare l'utilizzo di alimentatori con vattaggi superiori.

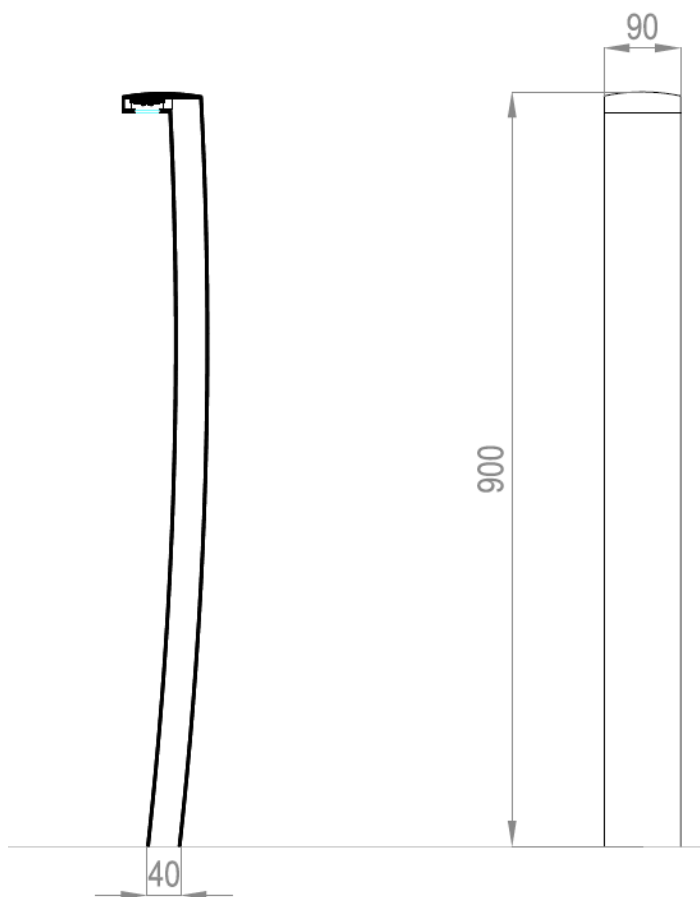


Fig. 7.19 Vista in sezione longitudinale e in prospettiva della soluzione bollard

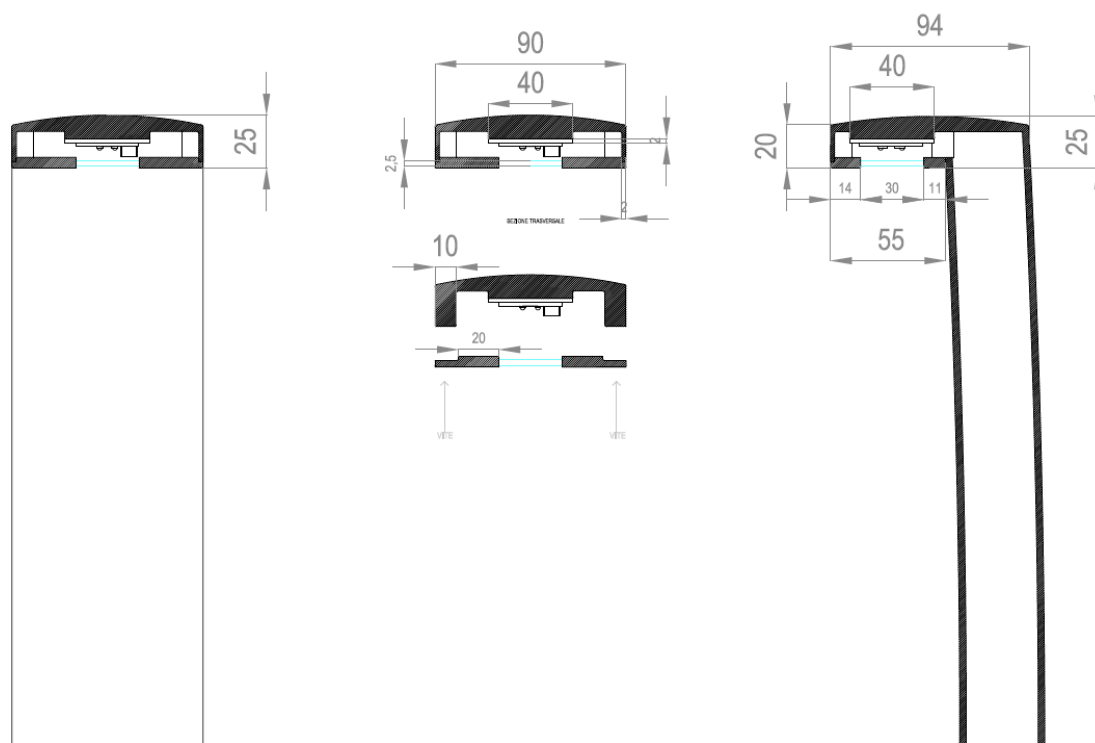


Fig. 7.20 Sezioni e particolari del gruppo ottico per la soluzione bollard

7.3.1 Render e descrizione del bollard

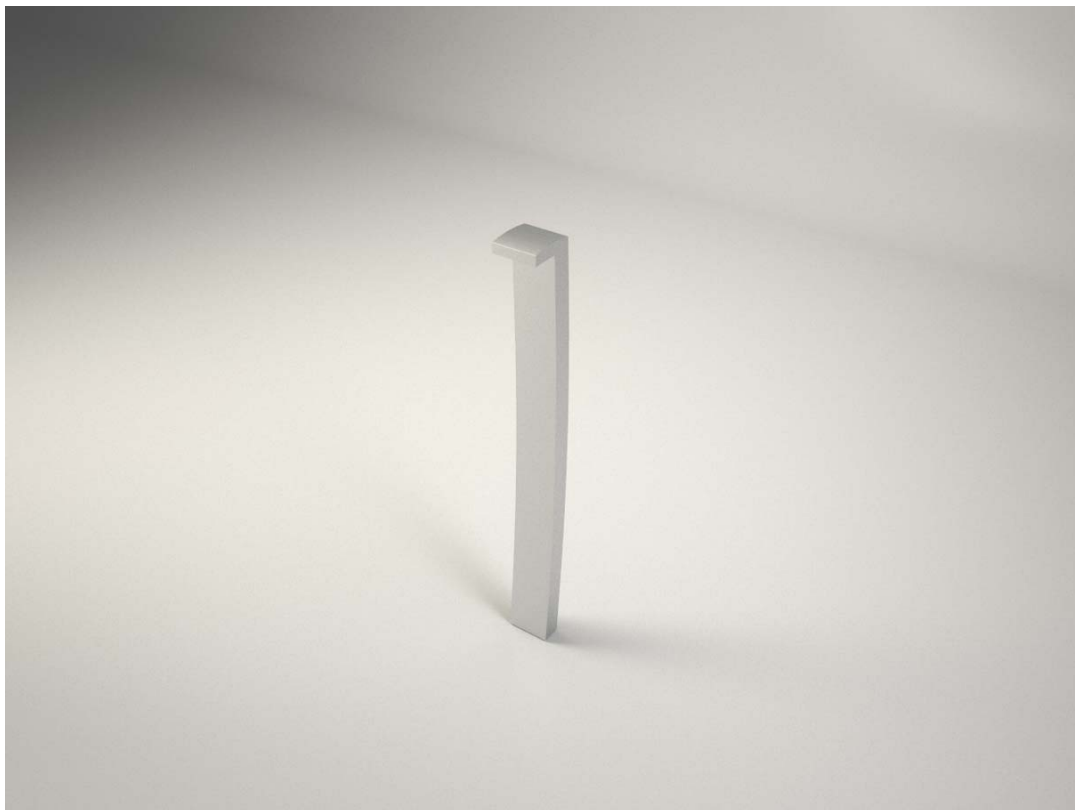


Fig. 7.21 Vista generale della soluzione bollard

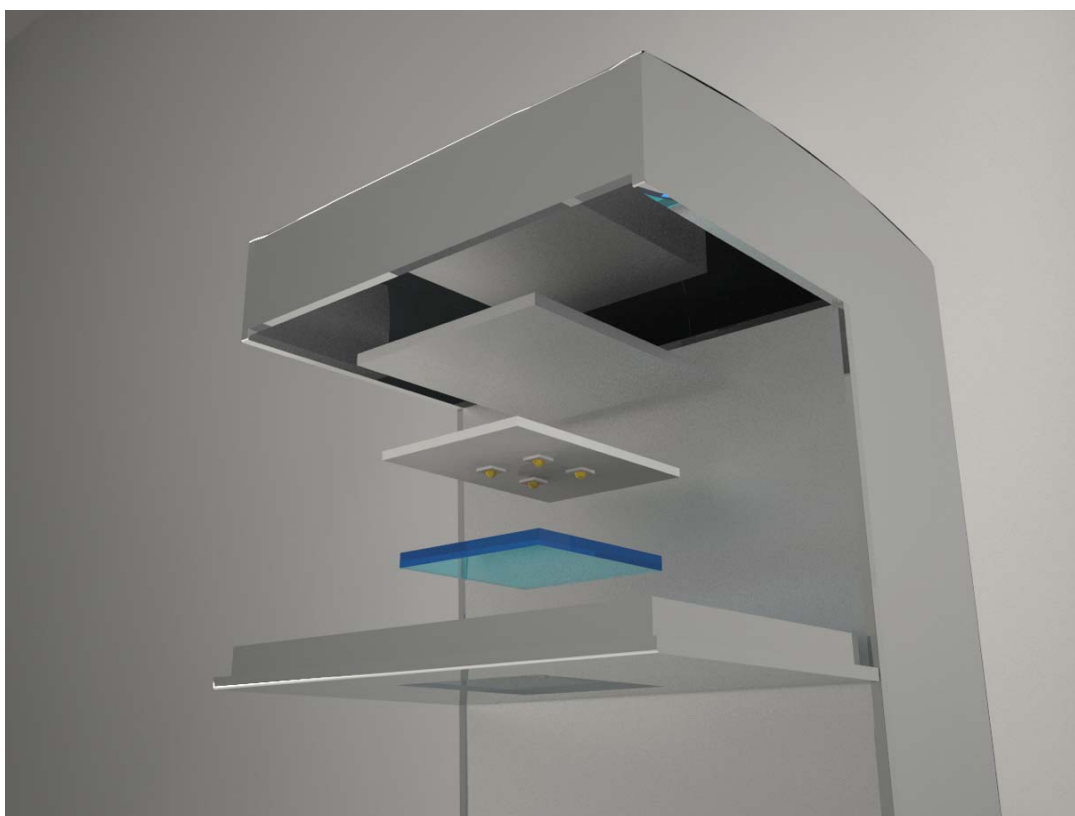


Fig. 7.22 Esploso della soluzione bollard

7.3.2 Ipotesi di ambientazione del bollard

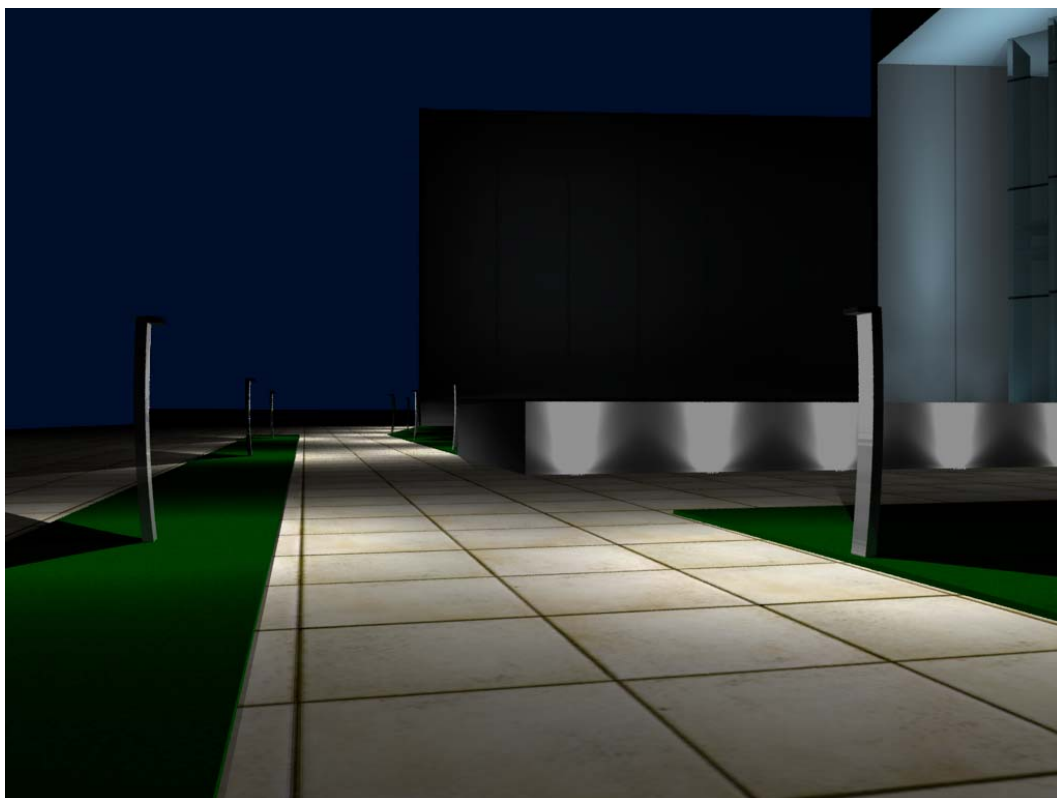
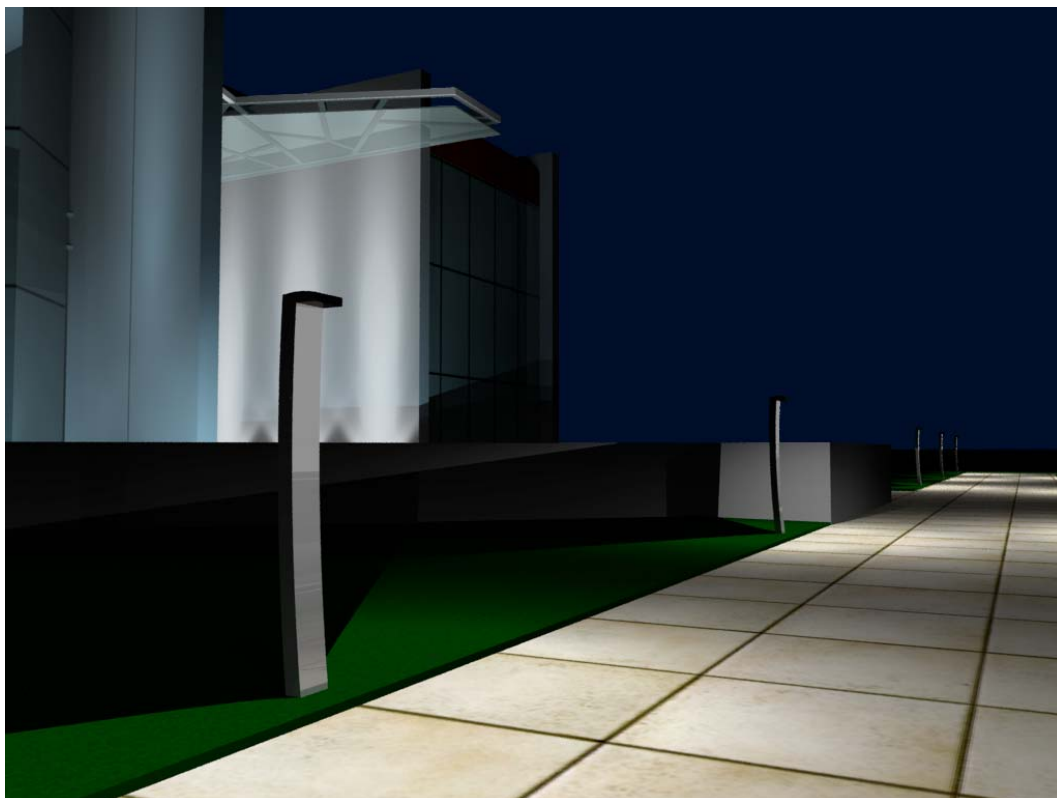


Fig. 7.23 Possibili ambientazioni del bollard.

7.4 Design modulo per applique a parete

Il terzo componente della famiglia di prodotti è rappresentato dall'applique a parete.

Questo tipo di prodotto avrà una funzione più decorativa e di segnalazione rispetto ai due precedenti in quanto in questo caso diventa più importante l'effetto luminoso di accento rispetto alle prestazioni tecniche.

Proprio per questo motivo ho scelto di non avvalermi dell'ausilio di ottiche concentranti in modo da poter sfruttare al massimo i ridotti ingombri della sorgente per poter conferire all'oggetto una forma più assottigliata ed elegante e di conseguenza il meno invasiva possibile una volta installata nel suo contesto.

L'apparecchio grazie alla sua forma ad L può essere installato sia perpendicolarmente che parallelamente alla linea del suolo e può esistere singolarmente oppure venire utilizzato in gruppi di due o più elementi per creare effetti luminosi suggestivi.

A differenza delle soluzioni su palo o a bollard l'illuminazione sarà di tipo indiretto e pertanto risulterà più morbida e meno intrusiva andando ad evitare il rischio di abbagliamento diretto da parte della sorgente.

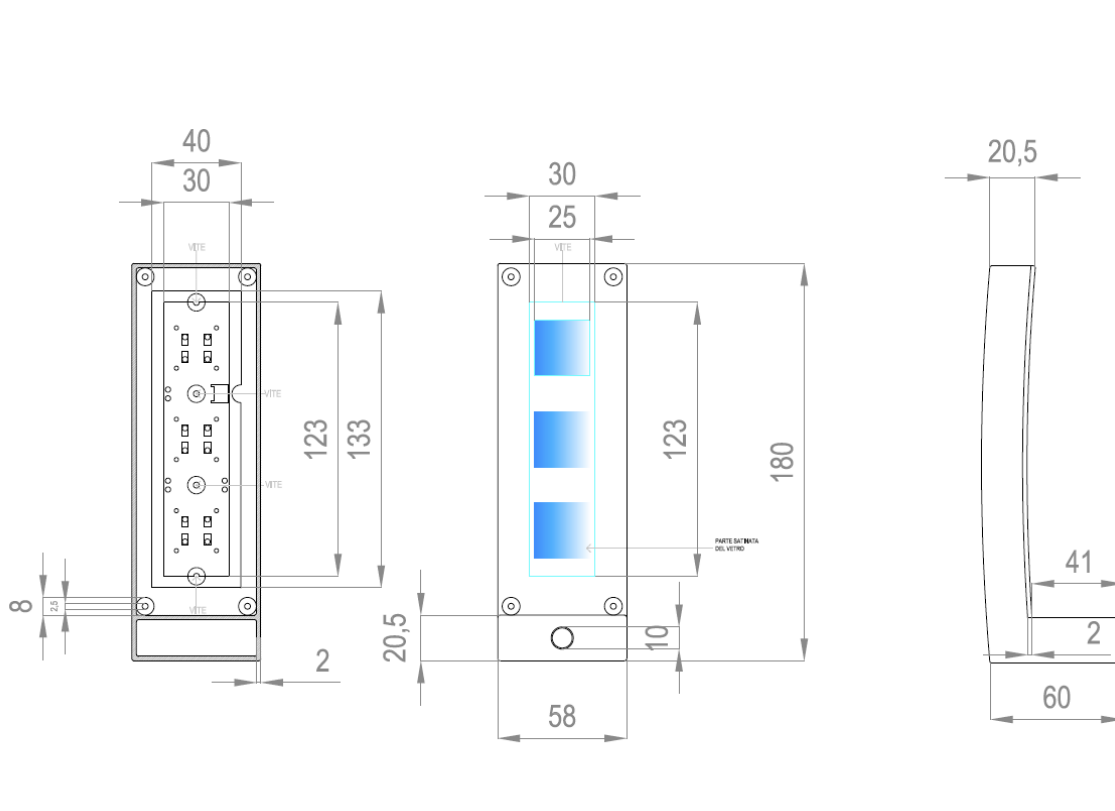


Fig. 7.24 Vista in pianta del modulo applique a parete

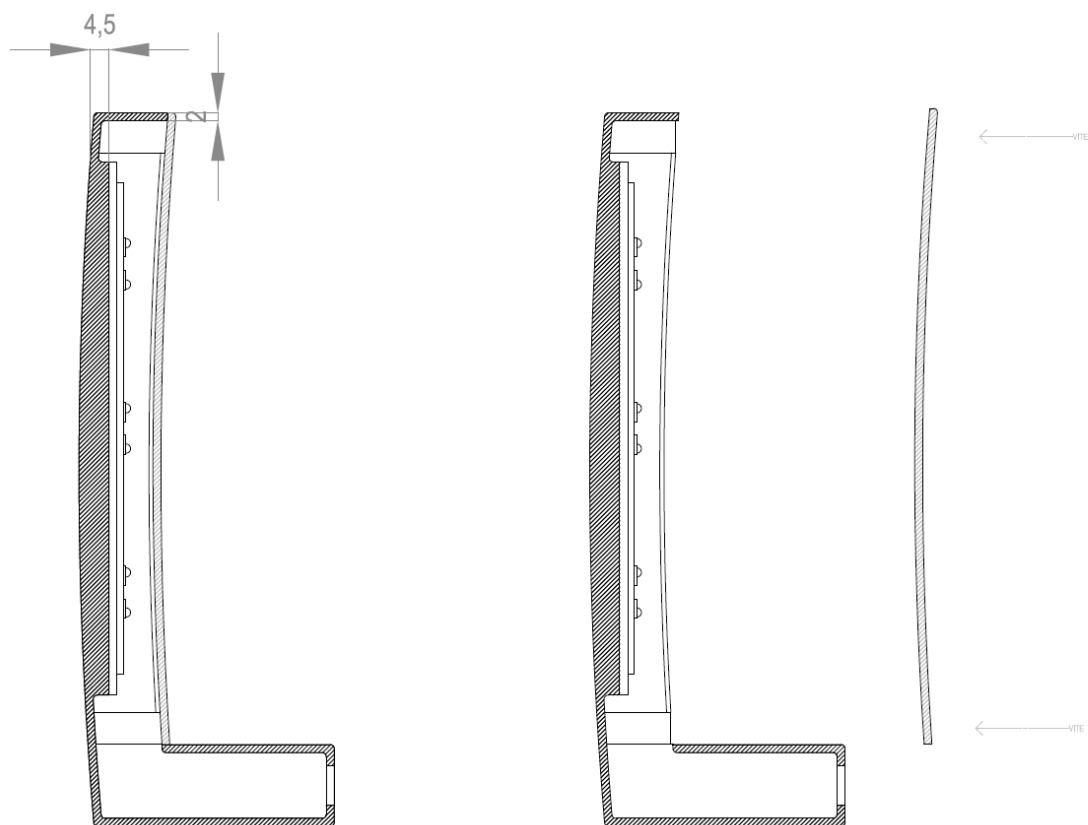


Fig. 7.25 Vista in sezione prospettica del modulo applique a parete

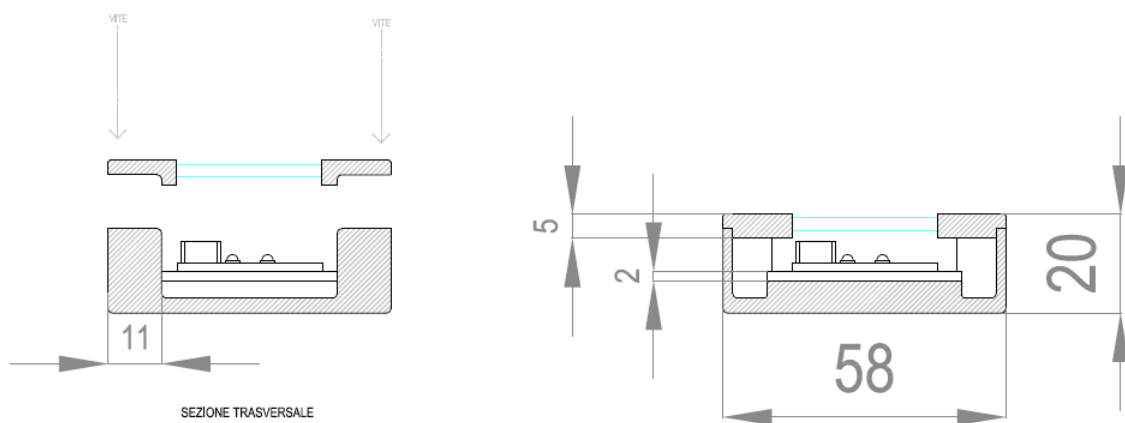


Fig. 7.26 Vista in sezione trasversale del modulo applique a parete

7.4.1 Render e descrizione dell'applique

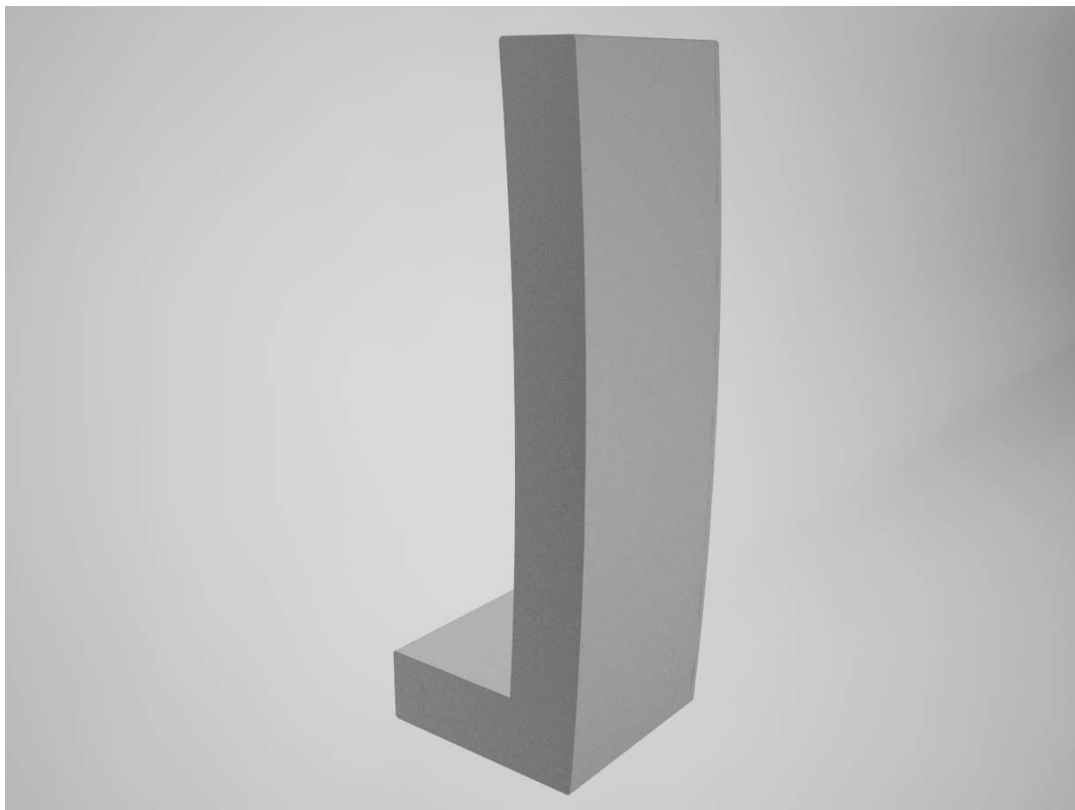


Fig. 7.27 Vista in sezione generale del modulo applique a parete



Fig. 7.28 Particolare del vetro del modulo applique a parete



Fig. 7.29 Esploso del modulo applique a parete

7.4.2 Ipotesi di ambientazione dell'appliche



Fig. 7.30 Possibili ambientazioni dell'appliche a parete.

7.5 Design modulo incasso

Ultimo ma non meno importante componente della famiglia di apparecchi da arredo urbano è l'incasso al suolo/parete.

Questo modulo trova il suo punto di forza in un ambito prettamente prestazionale e meno da un punto di vista estetico a differenza degli altri apparecchi progettati.

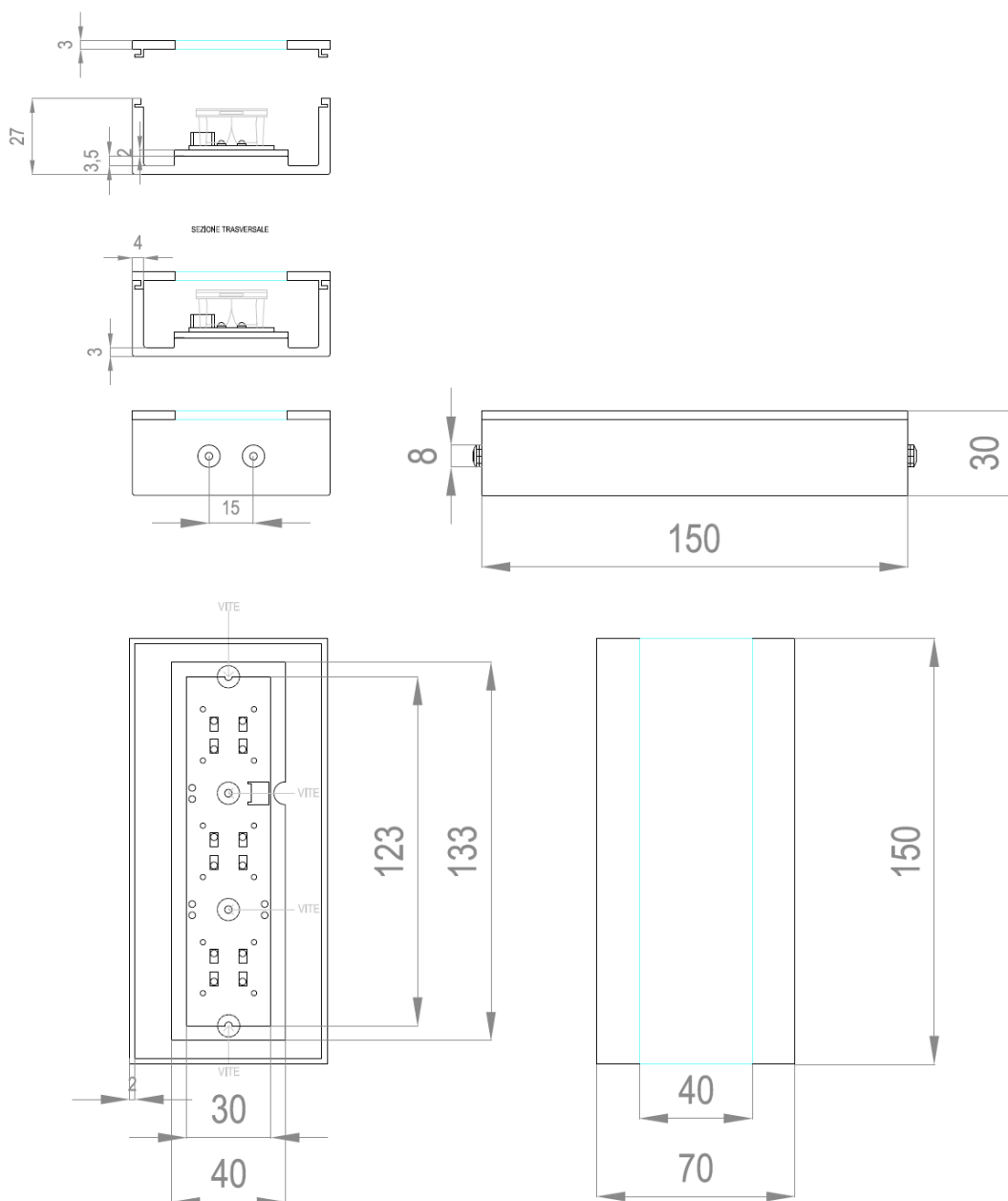


Fig. 7.31 Viste e sezioni del modulo da incasso al suolo/parete

A livello formale infatti abbiamo a che fare con un semplice involucro con alto grado di protezione IP che racchiude in se le tecnologie precedentemente presentate.

L'aspetto distintivo di questa soluzione risiede invece nella varietà di effetti di luce si possono ottenere semplicemente cambiando le ottiche interne. Il modulo ad incasso ricopre un'importanza fondamentale per quanto riguarda l'illuminazione delle architetture e in generale dei prospetti verticali e pertanto è importante che il progettista abbia l'opportunità di scegliere fasci con diversi angoli di apertura (12° , 25° , 45°), ottiche ellittiche per creare delle suggestive lame di luce o asimmetriche per installazioni in cui l'apparecchio deve essere posizionato lontano dal soggetto da illuminare. Anche questo apparecchio, similmente a quanto con la versione su palo, avrà una copertura in vetro satinato in modo da ridurre l'abbagliamento diretto.

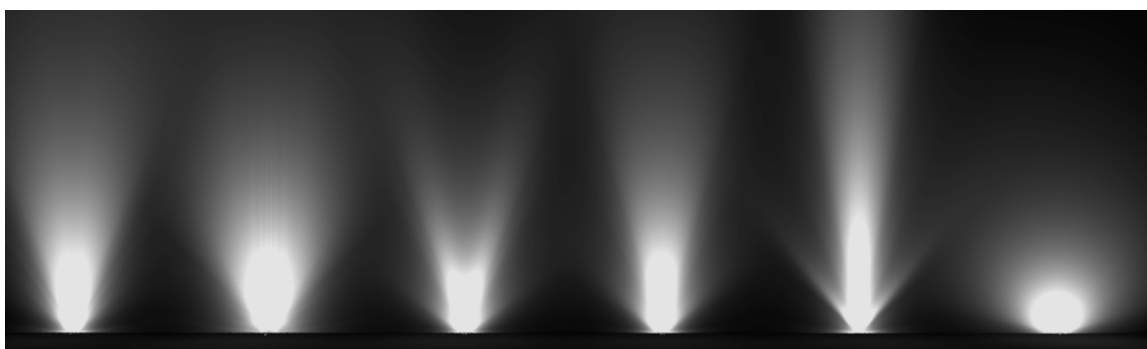


Fig. 7.32 Esempio dei differenti effetti luminosi della soluzione ad incasso. Da sinistra verso destra: Lente Ellittica, Lente Asimmetrica, Lente apertura 45° WIDE, lente apertura 25° MEDIUM, Lente apertura 12° NARROW, Senza lenti.

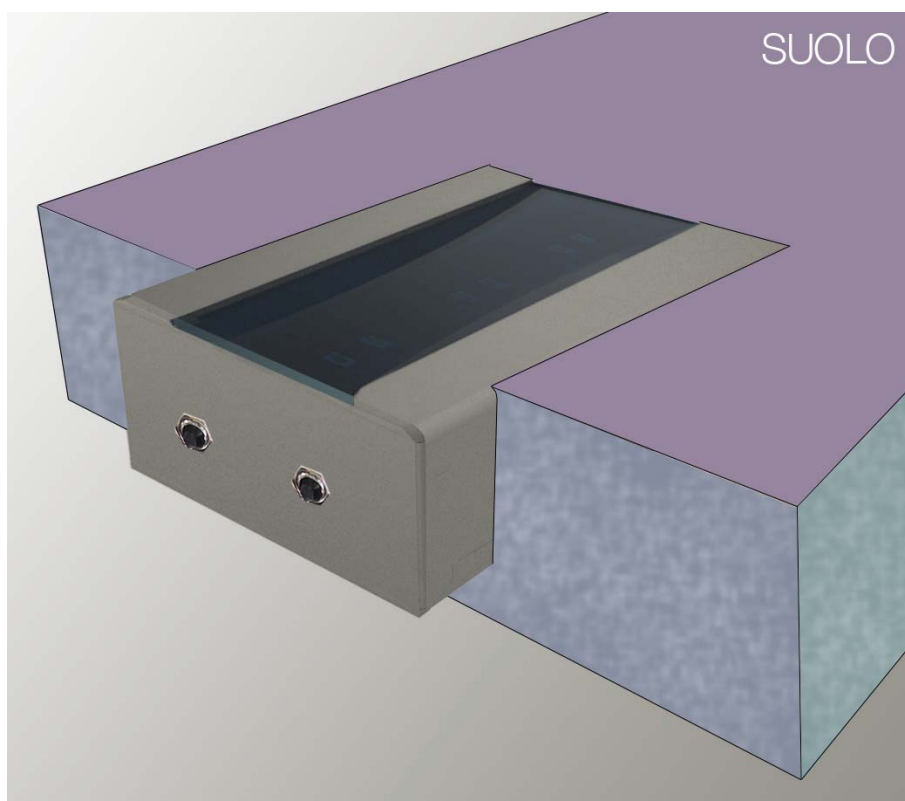


Fig. 7.33 Render incasso incassato al suolo.

7.5.2 Ipotesi di ambientazione dell'incasso al suolo/parete

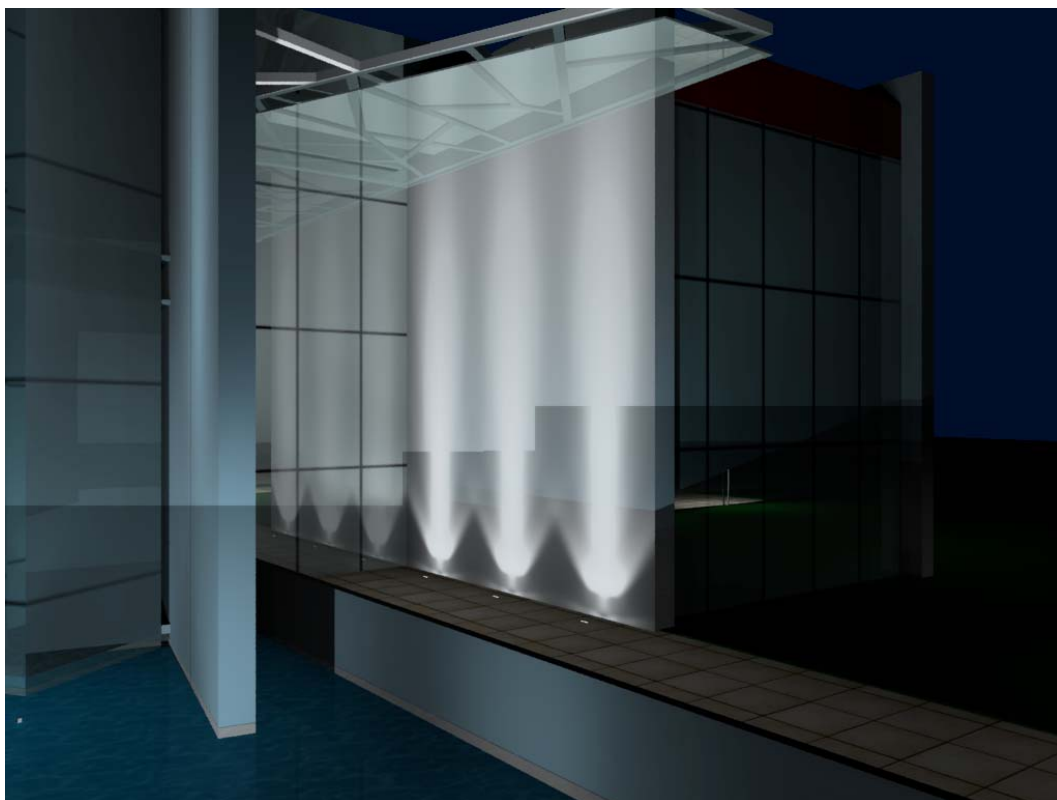
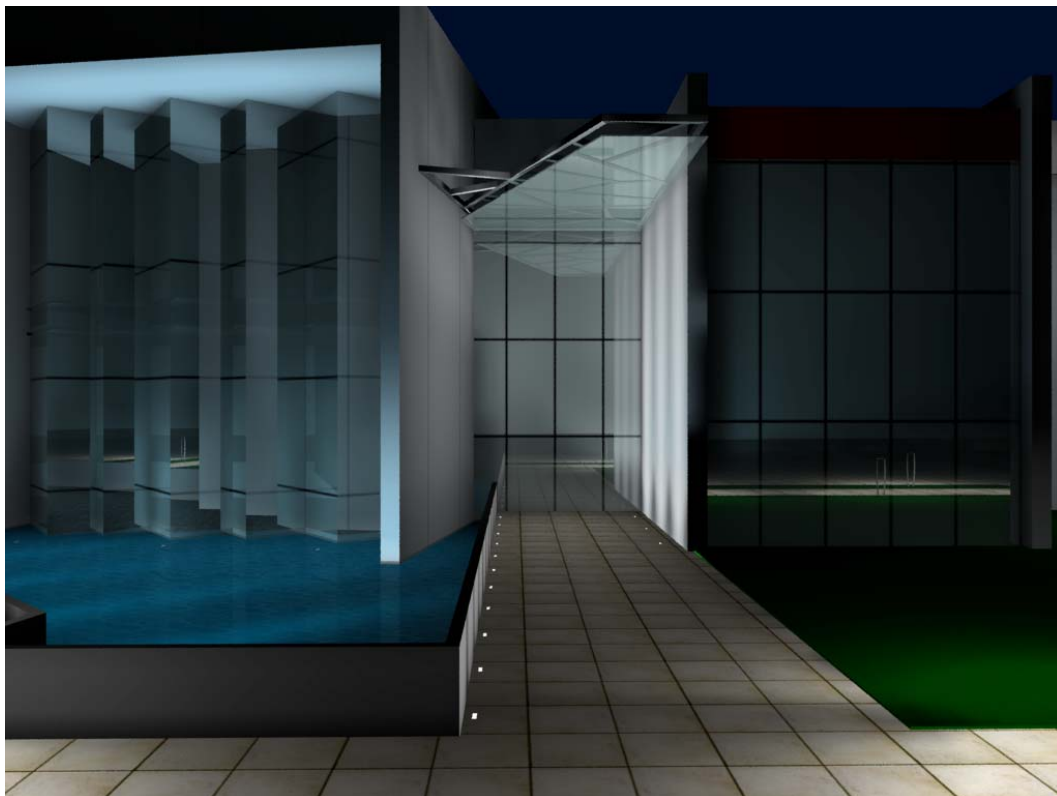


Fig. 7.34 Possibili ambientazioni dell'incasso al suolo ottica NARROW 12°

7.6 Ipotesi di ambientazione su edifici storici dei vari moduli



Fig. 7.35 Facciata classica e vialetto di accesso illuminati con bollard, applique e incassi al suolo

CAPITOLO 8

Accenni sul riciclo e lo smaltimento dei materiali utilizzati

I materiali protagonisti di tutte le soluzioni di progetto in esame sono principalmente due: l'alluminio e il vetro.

Questo perché oltre a garantire delle ottime prestazioni meccaniche sono materiali che possono essere smaltiti o riciclati in maniera efficace.

8.1 Alluminio

Si è più volte rilevato che una delle principali caratteristiche dell'alluminio è la versatilità, per cui il metallo e le sue diverse leghe trovano impiego in un'ampia gamma di settori di applicazione, dai trasporti alle costruzioni, dall'elettrotecnica all'imballaggio, dall'arredamento all'impiantistica.

Per tutte queste destinazioni finali l'alluminio viene utilizzato nella realizzazione di beni durevoli, eccettuato il caso degli imballi, considerati come classificazione generale a vita breve (anche se è opportuno sottolineare che quelli in alluminio garantiscono ai prodotti confezionati un significativo allungamento dei tempi di conservazione rispetto ad altri materiali).

Qualsiasi bene al termine del ciclo di vita viene dismesso ed avviato allo smaltimento, oppure in alternativa, ove possibile, al recupero ed al riciclo o riutilizzo; chiaramente, in un'economia di mercato la possibilità di recupero di un bene dismesso è direttamente legata al suo valore residuo, nel senso che tanto maggiore è quest'ultimo, tanto più forte sarà la leva per favorirne il ritorno in ciclo.

Sotto questo punto di vista l'alluminio e le sue leghe sono dei materiali straordinari, in quanto possono essere riciclati indefinitamente senza apprezzabili penalizzazioni qualitative. La quasi totalità dell'energia assorbita nelle fasi di produzione primaria del metallo, per l'esattezza il 95%, viene come conservata nel materiale e rimessa in gioco al momento della rifusione del rottame; la produzione di un kg di alluminio di riciclo ha quindi un fabbisogno energetico che equivale solo al 5% di quello di un kg di metallo elettrolitico; per questi motivi i rottami di alluminio hanno valorizzazioni di mercato di tutto rilievo e risulta economicamente conveniente il loro recupero e riciclo.

Con queste interessanti caratteristiche si definisce così il ciclo virtuoso del metallo leggero, che viene spesso indicato come una banca di energia, in quanto conserva quella che assorbe per essere prodotto, ne fa risparmiare in esercizio e ne restituisce quando viene riciclato; il risultato finale è che il suo impiego comporta non solamente un enorme risparmio di risorse, ma anche un corrispondente vantaggio ecologico, con abbattimento di emissioni rispetto alla produzione primaria e certezza di rientro nel ciclo degli usi al termine della vita del prodotto o del componente, quindi con nessun rischio di impatto ambientale.

Si può stimare che nel 2003 in Italia, con la produzione di quasi 600.000 t di alluminio da riciclo, si sono evitate emissioni serra pari a oltre 6,5 milioni tonnellate di CO₂ e si è risparmiata energia pari a oltre 2,3 milioni di tep (tonnellate equivalenti petrolio).

8.1.1 La dinamica del riciclo

È facile comprendere che l'attitudine al riciclaggio viene considerata oggi uno degli attributi di maggior rilievo dell'alluminio, con tutta una serie di stimolanti implicazioni di carattere economico, ambientale e sociale. Non è per caso quindi che, seguendo una progressione straordinaria negli ultimi decenni, nel 2003 oltre il 50% di tutto l'alluminio grezzo prodotto in Europa Occidentale derivi da materiale recuperato e riciclato (fig. 8.1) e che addirittura in Italia la percentuale arrivi al 75%, con andamento costantemente in crescita.

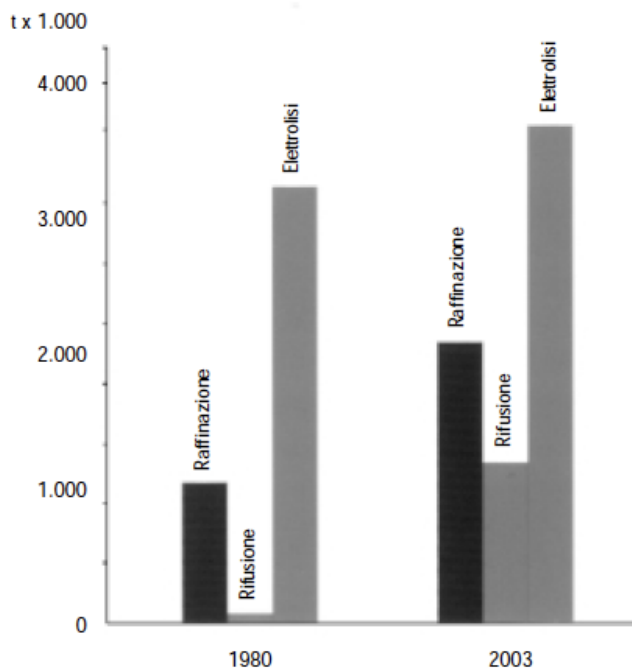


Fig. 8.1 Produzione complessiva di alluminio grezzo primario e secondario in Europa Occidentale nel 1980 e nel 2003 in t x 1.000.

I vantaggi derivanti da questa caratteristica attitudinale del metallo leggero sono di tutta evidenza, come sintetizzato di seguito:

- l'alluminio secondario è equivalente al metallo primario ottenuto dal minerale, anche dopo numerosi cicli di vita;

il riciclo consente:

- recupero di materiale prezioso senza decadimento di qualità;
- risparmi dell'energia necessaria alla produzione di primario;
- riduzione delle emissioni serra;
- riduzione delle attività estrattive;
- limitazione degli oneri di smaltimento.

8.1.2 I rottami

Le materie prime secondarie utilizzate per la produzione di leghe di alluminio di riciclo si ottengono da rottami preconsumo o rottami nuovi, cioè gli scarti di lavorazione delle diverse fasi di produzione e di trasformazione di alluminio, normalmente puliti e di lega omogenea (residui di colata, scarti di billette da estrusione, placche da laminazione, vergella, sbozzati, estrusi, lamiere e foglio, getti, ritagli e sfridi delle trasformazioni in genere, trucioli, etc.) e da rottami postconsumo o rottami vecchi, ovvero beni a fine del loro ciclo d'uso provenienti da raccolta differenziata, da operazioni di selezione e disassemblaggio, normalmente contenenti impurità e in leghe eterogenee (in relazione alla qualità secondo la legislazione italiana talvolta questi rottami sono classificati rifiuti). Sia i rottami vecchi che quelli nuovi vengono raccolti e recuperati dai commercianti di metalli o direttamente, come schematizzato nella fig. 8.2, dai refiners (raffinatori: in genere forniscono le fonderie con leghe per getti) e dai remelters (rifusori: forniscono in genere i laminatori e gli estrusori con placche e billette).

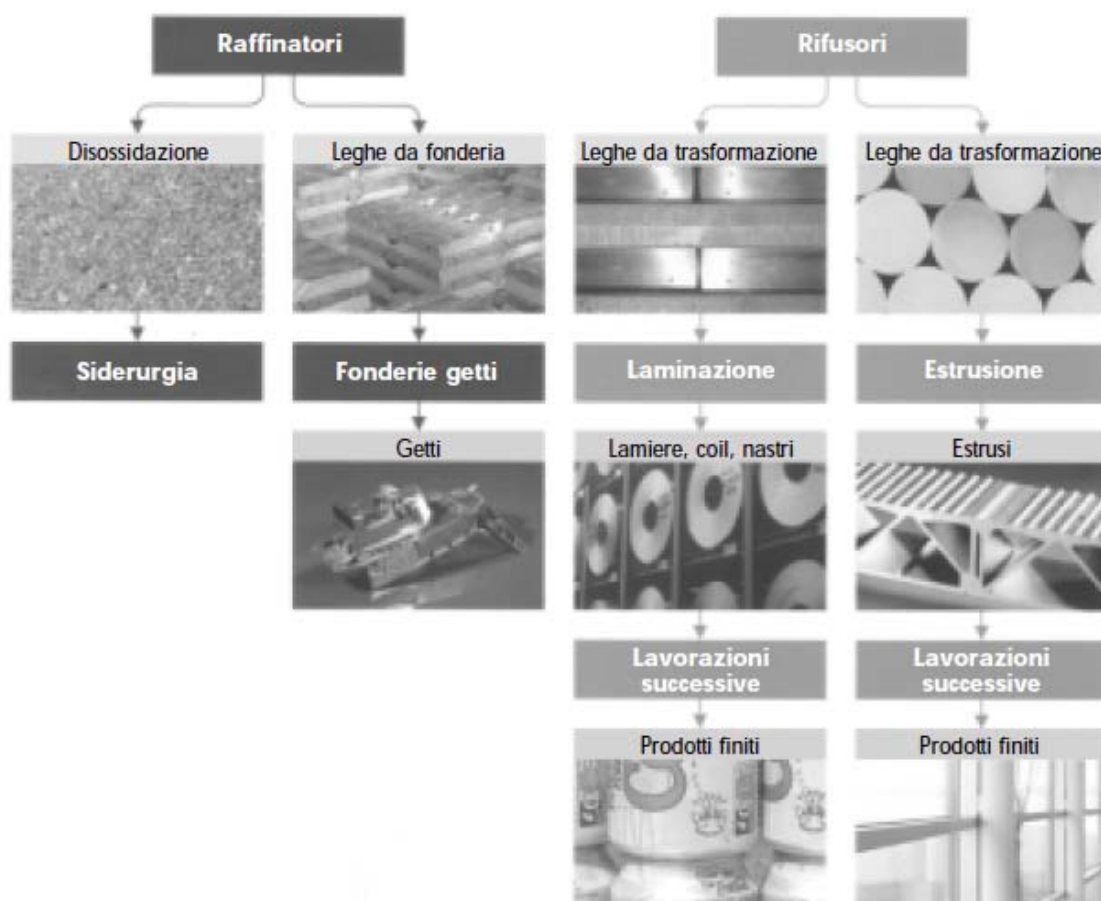


Fig. 8.2 La catena dell'alluminio di produzione secondaria dal rottame ai componenti ed ai prodotti finiti.

I rottami di alluminio normalmente commercializzati sono classificati in categorie:

- rottami non in lega;
- rottami di fili e cavi;
- rottami in una singola lega da lavorazione plastica;
- rottami in due o più leghe da lavorazione plastica della stessa serie di leghe;
- rottami in due o più leghe da lavorazione plastica;
- rottami in getti;
- rottami consistenti in materiali non ferrosi derivanti da processi di triturazione e destinati a processi di separazione dell'alluminio;
- rottami da processi di separazione dell'alluminio di materiale triturato non ferroso;
- lattine usate in alluminio;
- radiatori di alluminio/rame;
- torniture di una singola lega;
- torniture miste, di due o più leghe;
- imballaggi di alluminio usati;
- imballaggi di alluminio usati, privati del rivestimento;
- scorie e residui vari di fonderia.

8.2 Vetro

Il vetro è il materiale più adatto nella produzione di contenitori destinati all'uso alimentare. Esso è sicuramente un materiale igienico: non contiene sostanze tossiche ed è molto resistente al deterioramento.

Le piccole quantità di componenti di vetro che si sciolgono nella soluzione contenuta sono prodotti inerti ed atossici, come sodio, calcio e silice, elementi comunemente presenti anche nelle acque minerali.

Il contenitore in vetro può essere sterilizzato senza modificare la soluzione contenuta. Il vetro è un materiale adatto per conservare.



Fig. 8.3 Vetro in fase di riciclo

Fra le tante qualità del vetro vi è anche l'assenza di tossicità e la sua completa riciclabilità. Esso è un materiale inerte, cioè non contamina l'ambiente dal quale viene lentamente trasformato in silicati; non solo, ma esso è anche un materiale ideale per bloccare componenti pericolosi che possono essere fusi nel vetro e inertizzati nella sua struttura.

A differenza di altri materiali, può essere rifiuto infinite volte conservando le sue proprietà. Il riciclo del vetro è un processo ecologico in tutti i suoi aspetti. Esso riduce la quantità di rifiuti da trattare o gettare in discarica, consentendo, oltre a ridurre il danno ambientale, un risparmio sui costi di trasporto e smaltimento dei rifiuti.

La rifusione del rottame riduce, inoltre, la quantità di materie prime necessarie per la produzione, soprattutto di sabbie silicee e di carbonato di calcio, riducendo quindi i danni all'ambiente derivanti dallo sfruttamento delle cave, a tutto vantaggio del territorio.

Inoltre, riduce anche il consumo di energia; ogni tonnellata di rottame rifiuto permette di risparmiare 1,2 tonnellate di materie prime e circa 100 Kg di combustibile. L'utilizzo di rottame di vetro nella miscela vetrificabile, abbassa la temperatura necessaria alla fusione e di conseguenza occorrono minori quantità di combustibile per la fusione.

Ormai siamo abituati a separare il vetro dagli altri rifiuti domestici ed a deporlo nelle apposite campane. Da là il vetro viene trasportato in centri di trattamento, selezionato per colore, separato da altri materiali contaminanti (metalli, ceramica), pulito, macinato in una materia prima per la fusione, il rottame.

Oltre al risparmio energetico, il rottame riduce l'inquinamento dovuto ai fumi di combustione. Milioni di quintali di olio combustibile sono risparmiati ogni anno in Europa grazie al riciclo del vetro; alcuni forni, usati per la produzione di contenitori colorati, utilizzano oltre il 90% di rottame nella miscela vetrificabile. Inoltre è ridotta l'emissione di CO₂, il gas che provoca l'effetto serra, in quanto viene eliminato il contributo di anidride carbonica derivante dalla decomposizione dei carbonati presenti nelle materie prime.

Il vetro che non può essere completamente riciclato per fusione (ad esempio gli schermi TV, il vetro colorato dei finestrini delle auto ...) trova altri impieghi. Esso è utilizzato nella produzione di fritte ceramiche, di fibre di vetro per l'isolamento termico, come additivo nella produzione di asfalti, ecc.

La ricerca è oggi orientata a studi finalizzati al riciclo totale.

Nel prossimo futuro in Europa tutto il vetro prodotto sarà interamente riciclato.

8.2.1 Raccolta e riciclo del vetro

In Italia, il consumo da parte dell'industria vetraria di rottame di vetro proveniente dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (rottame ecologico), è di circa un milione di tonnellate all'anno. Questo rottame, opportunamente trattato, viene utilizzato prevalentemente per la produzione di vetro cavo mezzo bianco o colorato secondo proporzioni variabili che, in alcuni casi possono superare l'80% in peso sul totale della miscela vetrificabile.

La raccolta interessa soprattutto il vetro cavo e proviene, in parte, attraverso i contenitori dismessi nelle cosiddette campane in vetro-resina distribuite in numerose città e in parte, dalla raccolta differenziata effettuata presso centri particolari (industrie, comunità, esercizi pubblici ecc.).

Il vetro proveniente dalla raccolta differenziata non può essere riciclato tale e quale, ma deve essere sottoposto a diversi trattamenti per allontanare le quantità, anche rilevanti, di impurità che contiene (carta, plastica, materiali ceramici, materiali metallici ferrosi e non).

Ciò si può fare con sistemi diversi, in parte manuali, ma sempre più automatizzati. Nella prima fase vengono allontanati i corpi estranei di dimensioni relativamente grandi e separati i contenitori di diverso colore; successivamente un lavaggio con acqua provvede ad eliminare sostanze diverse (carta, sughero, plastica, terra ecc.).

Mediante dispositivi magnetici vengono allontanati parte dei materiali metallici; quelli non metallici si eliminano, almeno in parte, manualmente.

Il prodotto viene quindi macinato e sottoposto a vagliatura (per trattenere le parti estranee non sminuzzate), ad aspirazione con aria (per allontanare le impurità leggere), ad ulteriore deferizzazione (per trattenere su magneti i componenti ferrosi) e con metal detector (per separare quelli non magnetici).

Dopo questi trattamenti, che possono essere ripetuti più volte, nella frazione più minuta possono essere presenti ancora impurità (sassi, prodotti ceramici, metalli) in quantità inferiore all'1%.

E' molto importante conoscere le caratteristiche di qualità del rottame di vetro, tenuto conto del fatto che è presente, nelle miscele vetrificabili, in concentrazioni sempre più elevate.

I problemi, derivanti da un utilizzo così massiccio di rottame, possono essere:

- infusi nel vetro, originati dalla presenza nel rottame di materiali metallici ferrosi e non ferrosi (questi ultimi responsabili anche di fenomeni di corrosione di parti del forno), ceramici e refrattari;
- difficoltà nel controllo della fusione come conseguenza della presenza di inquinanti organici;
- presenza di inquinanti quali gli alogenuri e i metalli pesanti come piombo, cadmio, mercurio, cromo (derivanti dalle seconde lavorazioni e quindi completamente estranei al ciclo produttivo del vetro cavo industriale) che, oltre ad essere controindicati per la produzione di vetro per uso alimentare, tendono ad evaporare e a peggiorare la qualità delle emissioni in aria.

8.3 Rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche



Fig. 8.4 Un monitor abbandonato

I rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche o semplicemente rifiuti elettronici (talvolta citati anche semplicemente con l'acronimo RAEE, in inglese: Waste of electric and electronic equipment (WEEE) o e-waste), sono rifiuti di tipo particolare che consistono in qualunque apparecchiatura elettrica o elettronica di cui il possessore intenda disfarsi in quanto guasta, inutilizzata, o obsoleta e dunque destinata all'abbandono.

I principali problemi derivanti da questo tipo di rifiuti sono la presenza di sostanze considerate tossiche per l'ambiente e la non biodegradabilità di tali apparecchi. La crescente diffusione di apparecchi elettronici determina un sempre maggiore rischio di abbandono nell'ambiente o in discariche e termovalorizzatori (inceneritore) con conseguenze di inquinamento del suolo, dell'aria, dell'acqua con ripercussioni sulla salute umana. Questi prodotti vanno trattati correttamente e destinati al recupero differenziato dei materiali di cui sono composti, come il rame, ferro, acciaio, alluminio, vetro, argento, oro, piombo, mercurio, evitando così uno spreco di risorse che possono essere riutilizzate per costruire nuove apparecchiature oltre alla sostenibilità ambientale. Questo tipo di rifiuti sono comunemente definiti RAEE e sono regolamentati dalla Direttiva RAEE (o Direttiva WEEE, da "Waste of electric and electronic equipment"), recepita in Italia dal Decreto "RAEE".

8.3.1 Definizione di RAEE

I RAEE, acronimo di rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche, ovvero rifiuti di AEE. Le AEE sono apparecchiature che per un corretto funzionamento dipendono dall'energia elettrica, sia come utilizzatrici, sia come generatrici, progettate per funzionare a tensioni fino a 1000 V AC o 1500 V CC, e appartengono a una delle seguenti categorie:

- Grandi elettrodomestici;
- Piccoli elettrodomestici;
- Apparecchiature informatiche e per telecomunicazioni;
- Apparecchiature di consumo;
- Apparecchiature di illuminazione;
- Strumenti elettrici ed elettronici (ad eccezione degli utensili industriali fissi di grandi dimensioni);
- Giocattoli e apparecchiature per lo sport e per il tempo libero;
- Dispositivi medici (ad eccezione di tutti i prodotti impiantati ed infetti);
- Strumenti di monitoraggio e controllo;
- Distributori automatici.

8.3.2 Il trattamento dei RAEE

Il trattamento dei RAEE è svolto in centri adeguatamente attrezzati, autorizzati alla gestione dei rifiuti ed adeguati al "Decreto RAEE", sfruttando le migliori tecniche disponibili. Le attività di trattamento prevedono varie fasi, indicativamente:

- messa in sicurezza o bonifica, ovvero asportazione dei componenti pericolosi
- smontaggio dei sotto-assiemi e separazione preliminare dei materiali
- lavorazione meccanica per il recupero dei materiali.

L'attività di reimpiego delle apparecchiature dopo test di funzionamento è un'opzione prevista della normativa sui RAEE ma non esiste una normativa sulle apparecchiature reimmesse sul mercato.

8.3.3 Obiettivi di recupero

Sono stati stabiliti obiettivi di recupero e reimpiego o riciclaggio dei materiali dei rifiuti elettronici inviati al trattamento in funzione della categoria di appartenenza dei RAEE. Tali obiettivi saranno aggiornati dalla commissione Europea in funzione dello sviluppo dei sistemi e delle migliori tecniche di recupero.

8.3.4 Raccolta differenziata dei RAEE

Per garantire la protezione dell'ambiente e inviare i RAEE a centri di trattamento adeguati, è prevista la raccolta differenziata di tali apparecchiature. Attualmente i cittadini possono conferire i propri rifiuti alle isole ecologiche; dal 1° gennaio 2009 sarà possibile riconsegnare gratuitamente il rifiuto direttamente al rivenditore, all'atto dell'acquisto di un'apparecchiatura della medesima tipologia (1:1).

L'"obiettivo di raccolta" è di 4 kg per abitante all'anno entro il 31 dicembre 2008. Attualmente la raccolta è intorno a 1,6 kg/abitante l'anno.

8.3.5 La responsabilità dei produttori

La "Direttiva RAEE" è basata sul principio secondo il quale chi inquina paga. Per ottemperare questo principio, il finanziamento e l'organizzazione della raccolta e del trattamento dei RAEE sono posti in capo ai produttori di apparecchiature elettriche ed elettroniche, a partire dalla data di entrata in vigore in Italia del "Decreto RAEE", il 1° settembre 2007 (DM 185/2007 pubblicato in G.U. il 5/11/2007). Per sostenere questi nuovi costi, i produttori saranno liberi di far pagare un eco-contributo al momento dell'acquisto di un'apparecchiatura nuova (visible fee).

L'ecocontributo non dovrà superare i costi di trattamento.

I produttori ai sensi del D.Lgs. 151/2005 sono tutti coloro che fabbricano o importino un prodotto elettrico o elettronico, oppure lo commercializzano con proprio marchio indipendentemente dalla provenienza geografica del bene, ovvero tutti coloro che per primi immettono il prodotto sul mercato e dunque ne sono responsabili.

I distributori (ovvero i soggetti che vendono i prodotti nuovi agli utenti finali) sono tenuti all'obbligo del ritiro dell'apparecchio da buttare al momento dell'acquisto di un nuovo apparecchio equivalente.

8.3.6 Le normative Comunitarie RoHS e WEEE

Le Normative Comunitarie RoHS e WEEE, sono state emanate dall'Unione Europea e sono state adottate in ognuno degli Stati membri. Queste Normative hanno portato maggiore consapevolezza e coscienza sui problemi derivanti dall'uso di apparecchiature elettroniche – consapevolezza che sta portando alla creazione di leggi simili in altre parti del mondo. Il Giappone e la Cina, così come parecchi stati degli USA (ad esempio New York, Minnesota e California), si stanno impegnando alla creazione di leggi che rispecchino fedelmente le due Normative europee.

La Normativa Comunitaria RoHS è stata introdotta per eliminare sostanze nocive all'ambiente dalla produzione di apparecchiature elettroniche:

La Normativa Comunitaria RoHS, in vigore dal 1 luglio 2006, proibisce specificamente la vendita nei paesi dell'Unione Europea di apparecchiature elettriche ed elettroniche contenenti metalli pericolosi e nocivi (piombo, cadmio, mercurio,

cromo esavalente) o materiali ignifughi bromurati (Bifenili polibromurati (PBB) e Etere di difenile polibromurato (PBDE)). Questa Normativa si applica a tutti i dispositivi, componenti e sottocomponenti di sistema, inclusi circuiti stampati, chipset semiconduttori, cavi e connettori, saldatori e saldature, e schede o moduli aggiuntivi.

La Normativa Comunitaria WEEE implementa la RoHS introducendo controlli atti a limitare il flusso crescente di rifiuti generati da apparecchiature elettroniche, che attualmente finiscono in discariche e termovalorizzatori:

La Normativa Comunitaria WEEE assegna ai 'produttori' di apparecchiature elettriche ed elettroniche la responsabilità di riciclare e rottamare le apparecchiature elettroniche inutilizzabili in ottemperanza alle modalità previste dalle leggi locali degli Stati membri dell'Unione Europea. Questa Normativa dovrebbe incoraggiare i produttori a progettare apparecchiature elettriche ed elettroniche pensando maggiormente all'ambiente, tenendo in considerazione da subito il problema del riciclaggio e della rottamazione dei dispositivi.

Appendice

RICHIAMI DI ILLUMINOTECNICA

Introduzione

La luce è un particolare segnale elettromagnetico, o meglio una ristretta banda dello spettro elettromagnetico formata da lunghezze d'onda che vanno da 380nm a 780nm, lunghezze d'onda alle quali la retina umana è sensibile. Questo segnale si genera nei corpi come conseguenza delle oscillazioni delle cariche che lo costituiscono, le quali generano campi elettrici e magnetici.

La luce, essendo un'onda, è caratterizzata da:

- frequenza ν , è il numero d'oscillazioni compiute nell'unità di tempo;
- lunghezza d'onda λ , distanza tra due massimi;
- periodo T , tempo per percorrere un'oscillazione completa $T = 1/\nu$.

Individuando con $c = 299,79 \cdot 10^6$ m/s la velocità della luce nel vuoto si ha:

$$C = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$$

Ricordiamo che lo spettro d'emissione dei corpi condensati è continuo, mentre quello dei gas o corpi aeriformi è uno spettro discreto o discontinuo. Inoltre, l'energia radiante dipende dalla direzione d'emissione:

L'intensità della luce è caratterizzata in primo luogo dalla quantità d'energia trasportata dalla luce stessa. La branca dell'ottica che si occupa della misurazione dell'intensità luminosa e delle sorgenti della luce si chiama radiometria.

Si utilizzano due tipi d'unità di misura:

- radiometriche: tengono conto delle caratteristiche energetiche
- fotometriche: tengono conto solo della componente visibile

La CIE ha proposto la terminologia, le unità di misura ed i simboli per le grandezze e sia radiometriche che fotometriche:

grandezze		unità radiometriche	unità fotometriche
flusso luminoso	Φ	watt	lumen (lm)
illuminamento	E	watt/m ²	lux (lm/m ²)
radianza	I	watt/ m ²	lux s.b. (lm/m ²) *
intensità luminosa	I_a	watt/ sr	candela (cd)
luminanza	σ	watt/m ² sr	Cd/m ²

Tab. A Tabella riassuntiva grandezze fotometriche.

Lo steradiano (sr) è l'unità di misura dell'angolo solido.

Visibilità

La visibilità $V(\lambda)$ rappresenta le modalità secondo le quali si manifesta la risposta del sistema visivo umano quando la retina è investita dalle radiazioni delle diverse lunghezze d'onda dello spettro visibile.

Per stabilire come varia la sensibilità dell'occhio umano al variare della lunghezza d'onda, si ricorre ad indagini statistiche. Una volta stabilita per quale lunghezza d'onda si ha la massima risposta, si determina la massima visibilità $V_m = V(\lambda_{MAX})$.

Questa si ha in corrispondenza della lunghezza d'onda $\lambda = 555\text{nm}$.

Si definisce coefficiente di visibilità:

$$v(\lambda) = \frac{V(\lambda)}{V_m} \quad 0 \leq v(\lambda) \leq 1$$

Flusso luminoso

Il flusso luminoso Φ è la grandezza a cui reagisce l'occhio umano. Esso è il prodotto della visibilità dovuta ad una determinata lunghezza d'onda per la potenza trasportata dall'onda stessa. Quindi il fenomeno luminoso dipende dalla potenza d'emissione della lampada, e quindi dall'energia che le viene fornita, ma anche dalla visibilità, ossia dalle caratteristiche della lampada stessa.

Se $\varepsilon(\lambda)$ è la potenza fornita per unità di lunghezza d'onda, il flusso luminoso dovuto a tutte le lunghezze d'onda comprese in un certo intervallo è dato da:

$$\phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda = V_m \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda$$

Illuminamento

L'illuminamento è il rapporto tra il flusso incidente sulla superficie e l'area della superficie stessa.

$$E = \frac{d\phi_{inc}}{dS} \quad (\text{A},4)$$

Conoscendo il flusso totale incidente, possiamo calcolare l'illuminamento medio:

$$E_m = \frac{\phi_{inc}}{S}$$

Radianza

La radianza è il rapporto tra il flusso emesso dalla superficie e la sua area.

$$I = \frac{d\phi_{em}}{dS}$$

Come si può notare, radianza e illuminamento sono due grandezze fisicamente uguali. La prima, però, si usa per i corpi luminosi, mentre la seconda per i corpi illuminati. È più giusto dire che queste due grandezze sono collegate in quanto, come sappiamo, un corpo si comporta generalmente come ricevitore e come emettitore di flusso luminoso a seconda del proprio coefficiente di riflessione.

Per il principio di conservazione dell'energia si ha che $\phi_{em} = r \phi_{inc}$ quindi:

$$\frac{\Delta\phi_{em}}{\Delta S} = r \cdot \frac{d\phi_{inc}}{dS}$$

$$I = r \cdot E$$

Intensità luminosa

Si definisce intensità luminosa della sorgente s nella direzione individuata da OA , il rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla sorgente entro l'angolo solido infinitesimo $d\Omega$ che contiene la direzione OA , e l'ampiezza dell'angolo stesso.

Si definisce curva fotometrica il luogo geometrico delle posizioni occupate dalla punta del vettore I_α avente intensità $d\phi/d\Omega$ quando vi sono simmetrie nell'energia emessa dalla sorgente.

$$I_\alpha = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

Si definisce solido fotometrico il luogo geometrico delle posizioni occupate dalla punta di I_α quando la sorgente luminosa non possiede simmetria. L'unità fondamentale del sistema assoluto fotometrico è la candela.

Si definisce candela l'intensità luminosa di una sorgente campione avente una superficie di $1/600.000 \text{ m}^2$ che si comporta come un corpo nero alla temperatura di fusione del platino (2046 K) ed alla pressione di 1atm in direzione normale.

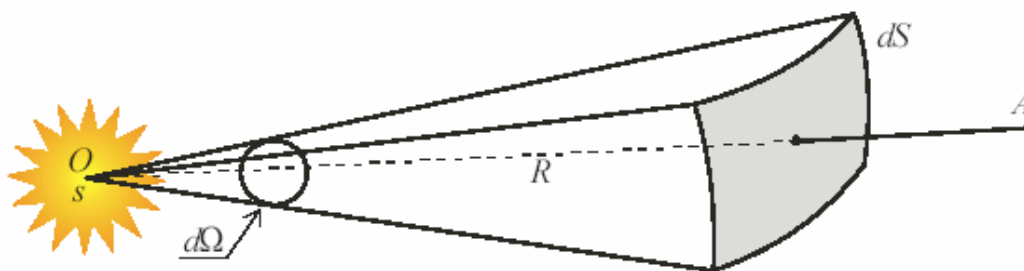


Fig. A Rappresentazione angolo solido.

Luminanza

La luminanza è il rapporto tra l'intensità della sorgente in una certa direzione e l'area apparente della sorgente, vista da un osservatore nella stessa direzione.

$$\sigma = \frac{I_\alpha}{S_{app}} \quad dS = dA \cdot \cos \alpha \Rightarrow \sigma = \frac{I_\alpha}{dA \cdot \cos \alpha} \quad (A,10)$$

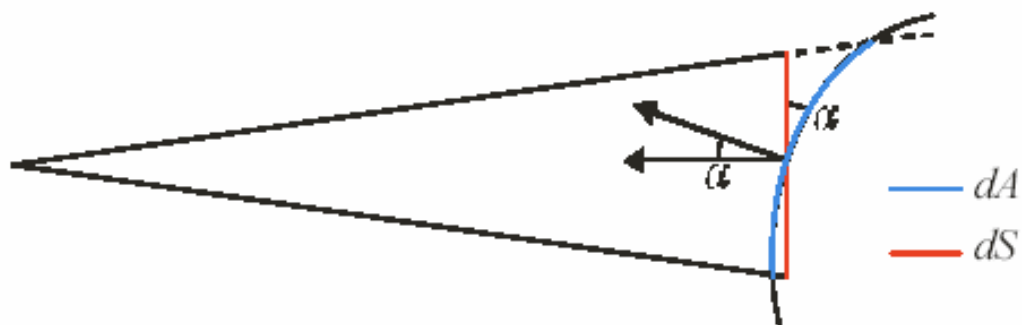


Fig. B Superficie per il calcolo della luminanza.

Relazioni tra grandezze fotometriche

- relazione tra l'illuminamento E e l'intensità luminosa I_α :

Consideriamo una sorgente puntiforme s ed una porzione di superficie dA, indichiamo con $dS = dA \cos \alpha$ la superficie apparente sotto cui si vede dA, e sia $d\Omega$ l'angolo solido sotteso da dA. L'illuminamento che la sorgente produce e l'intensità sono date dalle formule:

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad I_\alpha = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad E = \frac{I_\alpha \cdot d\Omega}{dA}$$

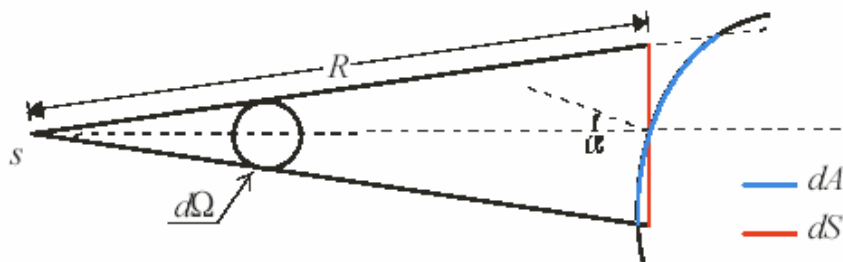


Fig. C Angolo solido $d\Omega$.

Essendo

$$d\Omega = \frac{dS}{R^2} \cong \frac{dA \cdot \cos \alpha}{R^2}$$

otteniamo:

$$E = \frac{I_\alpha \cdot dA \cdot \cos \alpha}{R^2 \cdot dA} \Rightarrow E = \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha}{R^2}$$

Si chiama sorgente luminosa un corpo che emette energia radiante caratterizzata da lunghezza d'onda compresa almeno in parte nell'intervallo 400-700nm, con intensità sufficiente ad impressionare l'occhio umano. Le sorgenti luminose artificiali si distinguono in diverse categorie, a seconda del loro principio di funzionamento:

- Le lampade ad incandescenza sono costituite da un bulbo di vetro all'interno del quale si trova un filamento opportunamente sistemato che viene scaldato in seguito al passaggio di corrente elettrica, emettendo quindi radiazioni luminose. Essendo il filamento un corpo condensato, l'aspetto di emissione è continuo, ossia la radiazione luminosa emessa ha lunghezza d'onda variabile con continuità. Il massimo dell'emissione si ha nell'infrarosso a $\lambda = 1000\text{nm}$.

Per il filamento delle lampade ad incandescenza è attualmente utilizzato il tungsteno, per il quale si ha emissione ad alta temperatura. Se la temperatura però aumenta troppo, la vita del filamento diminuisce in quanto, passando in fase vapore, si assottiglia velocemente rompendosi in breve tempo. Le temperature di funzionamento variano dai 2800°C per le lampade a riempimento di gas inerte, ai 3200 per quelle a ciclo di alogeni. Queste lampade hanno un indice di resa cromatica pari a 85.

- Le lampade a riempimento di gas inerte sono quelle in cui bulbo viene riempito da un gas inerte (neon, argon) con lo scopo di rallentare la volatilizzazione del tungsteno, aumentando quindi la vita del filamento e riducendo l'annerimento della lampada derivante dal deposito di tungsteno sul bulbo freddo. Queste lampade hanno un'efficienza luminosa bassa, tra i 10,5 e i 12,5 lm/W.
- Le lampade a ciclo di alogeni sono quelle in cui bulbo viene riempito da un alogeno (iodio, cloro, bromo) che alle alte temperature si trova in forma molecolare. Facendo lavorare il filamento alle alte temperature, si innescano una serie di reazioni chimiche tra l'alogeno e il tungsteno finalizzate al ripristino del filamento ed alla riduzione di depositi di tungsteno sul bulbo, con la conseguenza di aumentare la vita media della lampada come pure la sua efficienza luminosa (15-20lm/W). L'aumento della temperatura determina una migliore resa cromatica.

- Le lampade a scarica sono costituite da un bulbo protettivo al cui interno si trova un'ampolla di vetro o quarzo, chiamata tubo di scarico. Il bulbo è atto a resistere alle alte temperature raggiunte. Il gas utilizzato è in genere sodio o mercurio. Nell'ampolla, oltre al gas, sono posti due elettrodi. Tra questi due si instaura una differenza di potenziale che crea un campo elettrico che accelera gli elettroni e messi dal catodo riscaldato e quelli prodotti successivamente per urto. Questi elettroni accelerati urtano gli atomi di gas presente che vengono ionizzati ed eccitati con conseguente emissione di energia sotto forma di luce. Lo spettro di emissione sarà a bande. La caratteristica di queste lampade è una grande durata, una maggiore conversione di energia elettrica in energia luminosa e quindi una migliore efficienza luminosa. La presenza di uno spettro a bande, però, fa in modo che la resa cromatica sia inferiore di quella delle lampade ad incandescenza.
- Le lampade ai vapori di mercurio si dividono essenzialmente in lampade ad alta pressione e lampade a bassa pressione. Le lampade ad alta pressione sono caratterizzate dalla presenza di mercurio con pressione di 2- 10atm e casi in cui $P = 100\text{atm}$. L'aumento della pressione favorisce la collisione tra gli atomi, aumentando la probabilità di eccitazione con conseguente aumento dell'emissione nello spettro del visibile. Esse hanno un'elevata efficienza luminosa η , che raggiunge i 60-70 lm/W e una vita di 10.000 ore. Vengono utilizzate dove si vuole avere una buona illuminazione a basso costo, sui campi da tennis, giardini o serre, grazie ad una componente nell'ultravioletto. La loro resa cromatica viene aumentata aggiungendo al mercurio degli elementi delle terre rare. Le lampade a bassa pressione sono caratterizzate da una pressione di circa 0,665 Pascal, raggiungono efficienza luminosa di 80 lm/W e sono molto utilizzate negli impianti di illuminazione interna.
- Le lampade ai vapori di sodio si dividono anch'esse in lampade ad alta e bassa pressione. Le lampade a bassa pressione hanno pressioni di circa 0,4 Pascal ed efficienza luminosa molto elevata ($100 < \eta < 180$) dovuta all'emissione nel campo spettrale giallo. La resa di colore è molto scarsa, e per questo vengono utilizzate prevalentemente in strade, gallerie ecc. L'indice di resa cromatica è pari a 10.
- Le lampade fluorescenti sono praticamente delle lampade ai vapori di mercurio a bassa pressione, dove l'interno dell'ampollina è rivestito da particolari materiali fluorescenti come il tungstato di cadmio. Lo scopo è quello di aumentare l'efficienza luminosa, infatti $65 < \eta < 96$ lm/W. L'indice di resa cromatica va da 68 a 99.

Percezione del colore

Il colore è caratterizzato da un tono, una intensità ed una saturazione. Il tono è quello che viene percepito dai nostri sensi e dipende dalla lunghezza d'onda predominante. Esso ci dà l'aspetto qualitativo del colore. L'intensità è l'aspetto quantitativo. La saturazione ci dà invece l'importanza percentuale della predominanza di una lunghezza d'onda rispetto alle altre.

L'effetto cromatico prodotto sull'occhio umano da una sorgente può essere descritto:

- mediante l'indicazione da lunghezza d'onda dominante, o mediante l'indicazione del fattore di saturazione
- tramite la temperatura di colore questa non è altro che la temperatura a cui si dovrebbe portare un corpo nero affinché la luce emessa produca sull'occhio umano una sensazione cromatica equivalente a quella prodotta da sorgente stessa.

Questi metodi però sono inadatti ad esprimere un giudizio sulla qualità di una sorgente per quanto riguarda la resa cromatica. Questo è dovuto al fatto che il corpo nero emette un certo campo di lunghezza d'onda a qualunque temperatura, ed ancora al fatto che due sorgenti possono avere diverse caratteristiche pur avendo la stessa temperatura di colore. Inoltre bisogna tenere presente che due luci apparentemente equivalenti dal punto di vista cromatico possono essere emesse da sorgenti caratterizzate da composizioni spettrali diverse.

Definiamo resa cromatica l'attitudine che la sorgente ha a conservare una certa apparenza cromatica degli oggetti illuminati. Le qualità cromatiche di una sorgente vengono espresse mediante l'indice di resa cromatica, al quale, in condizioni standard di luce diurna, si dà il valore 100. L'indice delle varie sorgenti si misura per confronto tra la luce diurna e quella della sorgente stessa.

Stabilire il colore di un oggetto è un problema più complicato di quello della valutazione del colore di una radiazione. Infatti il colore di un corpo, ovvero la percezione cromatica prodotta da una superficie illuminata, dipende da diversi fattori. Possiamo affermare che l'aspetto cromatico di una superficie dipende dalle qualità cromatiche dell'energia incidente, ovvero dalla composizione spettrale della radiazione, ma anche dalle proprietà fisiche della superficie del corpo che determinano fenomeni di rinvio o di trasmissione.

Apparecchi di illuminazione

Agli apparecchi sono affidate funzioni di protezione e contenimento di carattere elettrico e soprattutto di carattere ottico. Essi vengono classificati in base al modo con cui la luce emessa si distribuisce nello spazio:

- apparecchi a luce diretta: il flusso luminoso viene emesso per il 90-100% nella direzione dell'oggetto che si vuole illuminare. La curva fotometrica è del tipo:

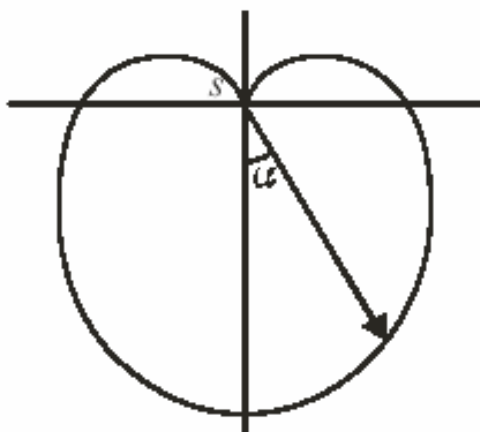


Fig. D Curva fotometrica di apparecchi a luce diretta.

- apparecchi a luce diretta-indiretta : l'emissione è uguale nelle due direzioni opposte. La curva fotometrica è del tipo:

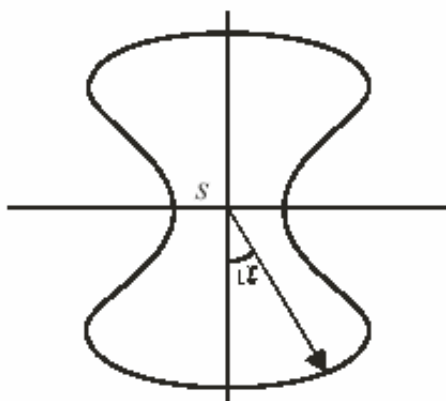


Fig. E Curva fotometrica di apparecchi a luce diretta-indiretta.

Bibliografia

- Gianni Forcolini, Lighting. Hoepli, Milano, 2008
- Gianni Forcolini, Illuminazione LED, Hoepli, Milano, 2008
- Maurizio Rossi, "Design della LUCE, fondamenti ed esperienze nel progetto della luce per gli esseri umani", Maggioli Editore, Giugno 2008
- Pietro Palladino, Lezioni di illuminotecnica, Tecniche Nuove, Milano, 2002
- Pietro Palladino, Manuale di illuminazione, Tecniche Nuove, 2005
- Apparecchi di illuminazione con luce colorata e loro misura, Dipartimento INDACO, Politecnico di Milano, Andrea Siniscalco, Fulvio, Musante, Maurizio Rossi
- Norma Italiana CEI EN 62031, Moduli LED per illuminazione generale - Specifiche di sicurezza, 2009
- Norma Italiana CEI EN 62471, Sicurezza fotobiologica delle lampade e dei sistemi di lampada, 2010
- Norma Italiana CEI EN 61347-2-13, Unità di alimentazione di lampada, Parte 2-13: Prescrizioni particolari per unità di alimentazione elettroniche alimentate in corrente continua o in corrente alternata per moduli LED, 2007
- Norma Italiana, CEI EN 60598-1, Apparecchi di illuminazione, Parte 1: Prescrizioni generali e prove, 2009
- Norma Italiana CEI EN 62384, Alimentatori elettronici alimentati in corrente continua o alternata per moduli LED - Prescrizioni di prestazione, 2007
- Norma Italiana CEI EN 60838, Portalampe eterogenee - Connettori per moduli LED, 2007
- Yunus A. Çengel, Termodinamica e trasmissione del calore, Mc Graw-Hill, 2009
- Alluminio - Manuale degli impieghi, Conserva Mario - Bonollo Franco - Donzelli Giancarlo, Edimet, 2005

Sitografia

- www.philipslumileds.com
- www.futurelightingsolutions.com
- www.opticslite.com
- www.tridonic.com
- www.seoulsemicon.com
- www.cree.com
- www.osram.com
- <http://cielobuio.org/>
- www.cial.it
- <http://it.wikipedia.org>
- www.glassway.org/vetro/