INDICE

- > Prefazione;
- ➤ 1.- TAF aspetti generali del sistema treno;
 - 1.1 Analisi dettagliata dei sottosistemi;
 - 1.2 Dati caratteristici del TAF;
- 2.- Analisi generale del sistema di illuminazione del TAF;
 - 2.1 Alimentazione elettrica;
 - 2.2 Distribuzione dell'impianto d'illuminazione;
 - 2.3 Descrizione dell' illuminazione delle motrici M, MH e della carrozza rimorchiata;
 - 2.4 Valori richiesti di illuminamento (tratti dalle fiche UIC 555);
- 3.- Introduzione ai nuovi LED di potenza ultraluminosi;
 - 3.1 Diodi LED: funzionamento;
 - 3.2 Struttura interna dei LED di potenza;
 - 3.3 Vantaggi delle lampade LED rispetto a quelle tradizionali;
- ➤ 4.- LED ultraluminosi in commercio: caratteristiche elettriche e fotometriche;
 - 4.1 Caratteristiche Golden Dragon LED;
 - 4.2 Caratteristiche Luxeon LED;
- > 5.- Considerazioni in materia di progettazione termica per LED di alta potenza;
 - 5.1 Simulazione termica:
 - 5.2 Resistenza termica delle sorgenti luminose a LED;
 - 5.3 Caratteristiche del dissipatore;
 - 5.4 Grafici per la definizione del dissipatore;
 - 5.5 Collegamento al dissipatore;
 - 5.6 Procedura di scelta di un dissipatore di dimensioni minime;
- ➢ 6.- Progettazione del MODULO di illuminazione Golden Dragon LED;
- > 7.- Progettazione del MODULO di illuminazione Luxeon LED;

- > 8.- Simulazione dell' impianto di illuminazione della carrozza ferroviaria del TAF;
 - 8.1 Illuminazione normale;
 - 8.2 Analisi dei risultati per l'illuminazione normale;
 - 8.3 Illuminazione di soccorso;
 - 8.4 Analisi dei risultati per l'illuminazione di soccorso;
- ▶ 9.- Misure illuminotecniche;
- > 10.- Conclusioni;
- ➤ Appendice: A) Richiami di illuminotecnica;
 - B) Datasheet LED (Luxeon Star e Golden Dragon);
 - C) Fiche UIC 555 OR;
- ➤ Bibliografia

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 possono dissiparlo. Quindi se non progettato correttamente un sistema a LED avrà durata molto breve.

In questa tesi sarà analizzato il sistema di illuminazione attuale a lampade fluorescenti delle carrozze ferroviarie del TAF (Treno-Alta-Frequentazione) e sarà valutata la possibilità di sostituirlo con un sistema a LED ad alta potenza che fornisca un adeguato livello di illuminamento come richiesto dalle specifiche tecniche. Il nuovo impianto dovrà utilizzare le stesse posizioni occupate dalle lampade attuali e stessa tensione di alimentazione, inoltre oltre ad assolvere la funzione di la illuminazione generale, il sistema dovrà essere in grado, in caso di guasti, di fornire un'illuminazione di soccorso per consentire ai viaggiatori di dirigersi verso le uscite. La prima fase sarà di ricerca dei dispositivi in commercio, selezionando quelli con caratteristiche elettriche e fotometriche più efficienti. Successivamente verranno confrontate le due tipologie di illuminazione e fatte valutazioni e considerazioni per l'applicabilità dei LED a bordo del veicolo nel vano passeggeri. Saranno eseguite delle simulazioni con un software di illuminotecnica per verificare il soddisfacimento delle specifiche e delle norme di riferimento. Per concludere sarà realizzato un prototipo per la verifica delle caratteristiche elettriche e fotometriche effettuando alcune misure in laboratorio.

1. TAF ASPETTI GENERALI DEL SISTEMA TRENO

I TAF, treni ad alta frequentazione (figura 1), sono convogli a due piani a composizione bloccata, progettati per il servizio pendolari sulle reti delle Ferrovie dello Stato e delle ferrovie Nord Milano.



Figura 1: TAF.

I criteri generali ispiratori del progetto privilegiano il comfort dei passeggeri e l'adattabilità alle esigenze del trasporto locale che, sviluppandosi prevalentemente in aree densamente abitate e con fermate ravvicinate, richiede particolari caratteristiche di accelerazione e di velocità di punta. Ogni treno lungo circa 104 m, è formato da quattro casse (due motrici e due rimorchiate intermedie) realizzate in lega leggera con prevalente impiego di grandi estrusi, allo scopo di poter contenere il carico assiale entro le 20 tonnellate e di incrementare le prestazioni generali. Questa composizione base è in grado di trasportare complessivamente 841 passeggeri, 469 dei quali seduti e 372 in piedi, ad una velocità massima di 140 Km/h.

I vestiboli di salita (figura 2) sono anch'essi di considerevole ampiezza e consentono una grande rapidità di incarrozzamento ed un ottimale distribuzione dei passeggeri lungo il treno.



Figura 2: Vestiboli.

Particolarmente curati sono gli interni dei vani passeggeri, dotati di aria condizionata e di impianti a display e audio per informazioni al pubblico; i sedili sono disposti "via a via" con file di "2+2" posti; l' ampia circolabilità interna è ottenuta con larghi corridoi nelle zone d'intercomunicazione fra i veicoli (700 mm) e fra i sedili (550 mm). Ciascuna motrice è attrezzata con una toilette; quella presente nella motrice MH è accessibile anche ai passeggeri con ridotta capacità motoria.

L'accesso al piano superiore è garantito da due scale a chiocciola (figura 3) poste nella zona vestiboli.



Figura 3: Scale per l'accesso al piano superiore.

L'equipaggiamento elettrico di potenza di tipo statico, è caratterizzato da inverter a tensione impressa a GTO che alimentano i motori di trazione (due per ciascun carrello motore). Il sistema d'alimentazione dei servizi ausiliari, per la sua architettura e per la potenza di ogni singolo convertitore garantisce l'alimentazione di tutti i carichi del convoglio su linee 1500 Vcc. I circuiti di comando e controllo di bassa tensione sono alimentati a 24V: una linea treno a bassa tensione realizza ridondanza tra i carica batterie delle motrici. Il sistema di controllo e diagnostica si basa su una rete di trasmissione dati a microprocessore completamente ridondante per quanto attiene le funzioni comuni di veicolo e di logica di treno. Il sistema utilizza due bus standard di comunicazione: il bus di treno per la trasmissione dei dati tra i singoli elementi del treno e il bus di veicolo per la trasmissione dei dati all'interno del veicolo stesso.

1.1 ANALISI DETTAGLIATA DEI SOTTOSISTEMI

> COMPOSIZIONE E DATI CARATTERISTICI DEL SISTEMA TRENO

Il treno TAF è composto da due motrici tipo Ale 506 FS/EB 760 FNME (M) e Ale 426 FS/EB 761 FNME (MH) poste all'estremità del convoglio e da due rimorchiate le 736 FS/EB 990 FNME (R).

> ACCOPPIABILITA' TRA GLI ELEMENTI

I convogli sono accoppiabili in multiplo fino ad un massimo di due unità, e a questo fine presentano, sulle testate d'estremità, accoppiatori automatici integrali. E' garantita l'accoppiabilità con i recenti treni dotando gli stessi di un apposito dispositivo d'interfaccia elettrica.

> AZIONAMENTO

I convogli sono equipaggiati con due carrelli motori posti in corrispondenza delle cabine di guida, e da sei carrelli portanti. L'equipaggiamento elettrico di potenza, di tipo statico, è caratterizzato da inverter a tensione impressa a GTO che alimentano i motori di trazione (due per ciascun carrello). Per il raffreddamento dei semiconduttori degli azionamenti di trazione è stata adottata la tecnologia basata sull'impiego d'acqua come fluido intermedio, con il vantaggio della più elevata efficienza di scambio termico, fra quelle oggi disponibili, e della massima compatibilità ambientale del fluido impiegato. Il sistema di controllo è basato sull'impiego di un sistema di microprocessori con la completa ridondanza per quanto attiene le funzioni comuni di veicolo e supporta anche le funzioni di diagnostica residente. Il sistema d'alimentazione dei servizi ausiliari, per la sua architettura e per la potenza d'ogni singolo convertitore, garantisce l'alimentazione di tutti i carichi del convoglio anche con alimentazione da linea a 1500 Vcc. I circuiti di comando e controllo di bassa tensione sono alimentati alla tensione nominale di batteria di 24 V ed inoltre una linea treno a bassa tensione realizza la ridondanza fra i carica batteria delle motrici.

> RETE INFORMATICA DI BORDO

La rete di comunicazione TAF attraverso la quale vengono trasmessi tra i veicoli del treno e all'interno di ciascun veicolo i dati di telecomando, controllo ed informativi (diagnostica, informazioni ai passeggeri ecc.) si compone principalmente delle seguenti parti:

- ♦ BUS DI TRENO per la trasmissione dei dati tra veicoli;
- ♦ BUS DI VEICOLO per la trasmissione dei dati all'interno di ciascun veicolo;
- ♦ GATEWAY O NODO DI VEICOLO che collega i due tipi di bus.

Il bus di treno è composto da due linee bifilari in ridondanza, che portano le stesse informazioni; ad entrambe le linee sono collegati i NODI della rete, usualmente chiamati GATEWAY, dal nome della funzione che svolgono.

Sulle motrici è attuata una piena ridondanza del nodo, mentre le rimorchiate sono dotate di un unico nodo, con ridondanza dei circuiti d'interfaccia verso le linee. Nell'ambito di quanto previsto dalla normativa, il bus di treno è in grado di mantenere inalterata la propria operatività senza alcun intervento manuale anche quando cambia il numero di veicoli in composizione ed il loro orientamento, come ad esempio nel caso d'accoppiamento o separazione di due convogli M-R-R-M.

La connessione elettrica del bus di treno tra due convogli avviene attraverso l'accoppiatore automatico.

Analogamente al bus di treno, il bus di veicolo è composto da due linee bifilari in ridondanza, anche se le caratteristiche di trasmissione ed il tipo d'informazioni sono diversi. Inoltre, a differenza del bus di treno, il bus di veicolo ha una configurazione fissa e, di conseguenza, non richiede una fase d'inaugurazione tutte le volte che entra in funzione. Il bus di veicolo connette i diversi apparati presenti sul veicolo.

> SISTEMA DI FRENATURA

Il sistema frenante prevede:

- il freno elettrodinamico di tipo reostatico ed a recupero;
- il freno elettropneumatico di tipo automatico;
- ♦ il freno diretto comandato da un apposito rubinetto autoregolatore agente direttamente sulle unità frenanti.

Gli elementi del freno elettropneumatico automatico sono:

- ♦ il rubinetto di comando tipo FV3E a trasmissione elettrica del segnale installato nella cabina di guida;
- ♦ il pannello delle apparecchiature pneumatiche, il freno equipaggiato con gruppo elettrovalvolare per la frenatura/frenatura, il distributore, le valvole relè ed accessori;
- il gruppo freno sui carrelli, costituito da unità frenanti, leve e relativi portaceppi.

L'impiego del freno elettropneumatico è destinato a migliorare le prestazioni di frenatura di un treno velocizzando la propagazione del comando lungo il treno stesso. Il rubinetto di comando tipo FV3E, già da qualche tempo in esercizio sulla rete ferroviaria italiana, utilizza la stessa pneumatica del tipo FV3B con l'aggiunta di una parte elettrica composta da 5 micro-switch comandati da altrettante camme opportunamente profilate in funzione dell'utilizzo.

La parte elettrica del suddetto rubinetto è normalmente utilizzata per comandare la frenatura elettrodinamica del veicolo.

1.2 DATI CARATTERISTICI DEL TAF

Le principali caratteristiche tecniche del treno TAF (figura 4) sono le seguenti:



Figura 4: TAF.

- Composizione base 1 motrice (M) 2 rimorchiate (T) 1 motrice(MH)
- Lunghezza totale agli accoppiatori: 103970 mm
- Distanza massima tra le porte d'estremità (2 convogli accoppiati): 192300 mm
- ➤ Lunghezza della motrice: 25895 mm
- Lunghezza della rimorchiata: 26090 mm
- ➤ Larghezza della cassa: 2828 mm
- Altezza massima dei veicoli: 4300 mm
- Raggio minimo di iscrizione in curva: 120 m
- Altezza libera al piano inferiore: 1915 mm
- > Altezza libera al piano superiore: 1910 mm
- Numero di porte per lato 8
- Altezza del filo del pavimento dei vestiboli dal p.d.f: 650 mm
- Passo dei carrelli motori: 2700 mm
- Passo dei carrelli portanti: 2550 mm
- ➤ N°. passeggeri totale: 841
- N°. passeggeri seduti: 469
- ➤ N°. passeggeri in piedi: 372
- > Postazione per gli handicappati: 1
- > Tensione nominale di linea: 3000 Vcc
- Campo di tensione di funzionamento: 2000-4000 Vcc
- Potenza continuativa alle ruote: 2509kW
- Campo di velocità a potenza massima: 58.2-100km/h
- Potenza massima alle ruote: 3640kW
- > Sforzo di trazione allo spunto: 214kN
- Sforzo di trazione continuativo: 147kN
- Sforzo di trazione alla velocità massima: 66.8kN
- Velocità massima di esercizio: 140km/h
- Sforzo continuativo di frenatura elettrica: 100kN
- Potenza continuativa alle ruote in frenatura elettrica: 1150kW
- Potenza massima alle ruote in frenatura elettrica: 3397kW
- Velocità minima di funzionamento della frenatura elettrica: 10-35km/h
- Peso totale a pieno carico: 273t
- Peso totale a tara: 210t

La motrice è munita inoltre di un impianto toilette a circuito chiuso posto al piano inferiore nella zona del comparto viaggiatori. La motrice è dotata di un solo pantografo.

TIPO M e TIPO MH

- > Posti a sedere 98, 81 1 non deambulante;
- > Posti in piedi 80, 78;
- Lunghezza 25895 mm, 25895 mm;
- > Altezza 4800 mm, 4300 mm;
- Larghezza 2828 mm, 2828 mm;
- Massa a tara 62000 Kg, 62000 Kg;
- Massa a pieno carico 75350 Kg, 74075 Kg;
- Passo carrello motore 2700 mm, 2700 mm;
- > Passo carrello portante 2550 mm, 2550 mm;
- > Carico massimo per asse carrello motore 20000 Kg, 20000 Kg;
- ➤ Carico massimo per asse carrello portante 17675 Kg, 17040 Kg;
- ➤ Peso carrello motore 12000 Kg, 12000 Kg;
- ➤ Peso carrello portante 7000 Kg,7000 Kg;

RIMORCHIATA

- > Posti a sedere 144;
- > Posti in piedi 107;
- Lunghezza 26090 mm;
- ➤ Altezza 4300 mm;
- Larghezza 2828 mm;
- Massa a tara 43000 Kg;
- Massa a pieno carico 61825 Kg;
- Passo carrello portante 2550 mm;
- > Carico massimo per asse carrello portante 15500 Kg;
- ➤ Peso carrello portante 7000 Kg;

2.-ANALISI GENERALE DEL SISTEMA DI ILLUMINAZIONE DEL TAF

L'illuminazione naturale della carrozza è garantita dalla presenza di finestrini posti nel comparto viaggiatori, uno per fiancata per ogni modulo sedili (figura 5).



Figura 5: Finestrini piano superiore della rimorchiata.

L'impianto d'illuminazione artificiale (figura 6) degli ambienti destinati ai passeggeri deve essere conforme alle fiche 555 OR salvo precisazioni specifiche.



Figura 6: Illuminazione artificiale carrozza rimorchiata.

Per i veicoli di testa, l'impianto d'illuminazione della cabina di guida è indipendente da quello previsto per l'ambiente passeggeri, così come indipendenti sono i sistemi d'illuminazione previsti per i corridoi d'accesso alla cabina di guida e per i vani apparecchiature dislocati nelle varie parti dei rotabili.

Per tutte queste zone l'energia necessaria all'illuminazione deve essere prelevata dalle batterie e non deve essere previsto nessun degrado o limitazioni, in funzione dell'efficienza o meno dei dispositivi caricabatteria e dello stato di carica delle batterie.

Il sistema d'illuminazione per l'ambiente passeggeri deve essere composto da due sorgenti d'illuminazione, così articolate:

- ➤ Illuminazione diretta (250 lux), misurata secondo le fiche 555 OR;
- ➤ Illuminazione di soccorso, misurata secondo le fiche 555 OR.

Non sono presenti luci individuali o di lettura. Il sistema d'illuminazione deve essere concepito in modo da garantire un'autonomia complessiva a prestazione degradata con le modalità di seguito riportate, di almeno 5 ore. I valori d'illuminazione devono subire le seguenti sequenze temporali:

- ➤ Dopo la disalimentazione (per avaria o mancanza di alimentazione) di entrambi i caricabatteria installati sul convoglio, l'intensità luminosa (illuminazione diretta) deve essere dimezzata. Deve essere comunque mantenuta l'illuminazione dei punti critici quali: scale, toilette, vestiboli e porte di salita.
- ➤ Dopo 2 ore deve subentrare la luce di soccorso che deve funzionare per altre 3 ore garantendo i livelli d'illuminamento stabiliti dalle fiche 555 OR.

Le sequenze prospettate devono essere verificabili nelle condizioni nominali di funzionamento dell'impianto (es. batterie cariche). Resta inteso che le luci di soccorso devono attivarsi automaticamente anche in caso d'avaria del sistema d'alimentazione

convenzionale, in particolare è previsto un sistema di controllo della tensione di batteria al di sotto del quale s'inseriscono comunque le luci di soccorso. Le sorgenti d'illuminazione previste per tale illuminazione sono parte dell'impianto funzionante in condizioni nominali, purché siano rispettati i criteri di corretta alimentazione (doppia via d'alimentazione, cavi antifuoco, indipendenza degli organi d'inserzione e protezione, ecc.).

Sono previsti i consueti comandi d'accensione e spegnimento delle luci per gli ambienti passeggeri sia in "locale" (1/2 luci, luce piena, spegnimento) che in telecomando per l'intero convoglio (accensione luce piena e spegnimento).

2.1 ALIMENTAZIONE ELETTRICA

Tutte le utenze in bassa tensione devono funzionare correttamente con i seguenti valori della tensione d'alimentazione (tabella 1) presenti a bordo del veicolo ferroviario:

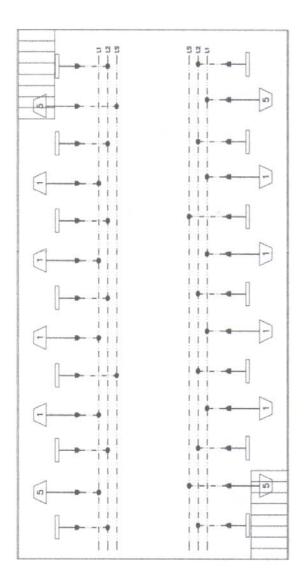
Tensione nominale di alimentazione	24 V
Tensione minima per 1 s	14.4 V
Tensione minima di lavoro	16.8 V
Tensione di lavoro normale	27.6 V
Tensione massima di lavoro per 1 s	40 V
Tensione massima di lavoro	36 V

Tabella 1:Valori di tensione a bordo del treno.

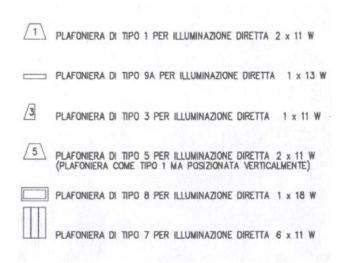
2.2 DISTRIBUZIONE DELL'IMPIANTO D'ILLUMINAZIONE

Al fine di poter soddisfare la specifica che prevede, nel caso di guasto di una linea dorsale d'alimentazione la perdita di un solo punto d'illuminazione su due, sono state predisposte 3 linee indipendenti. Per le motrici si vede che l'illuminazione della cabina di guida è indipendente da quella prevista per l'ambiente passeggeri, così come indipendenti sono i sistemi d'illuminazione previsti per i corridoi d'accesso alla cabina di guida e per i vani apparecchiature dislocati nelle varie parti dei rotabili.

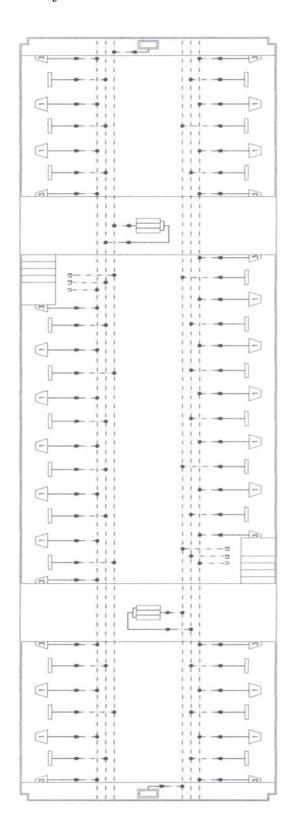
Piano superiore della rimorchiata: linee e disposizione delle plafoniere



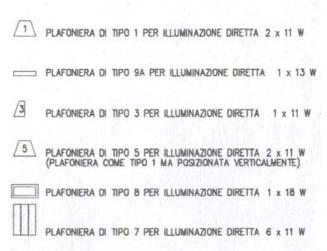
Legenda plafoniere:



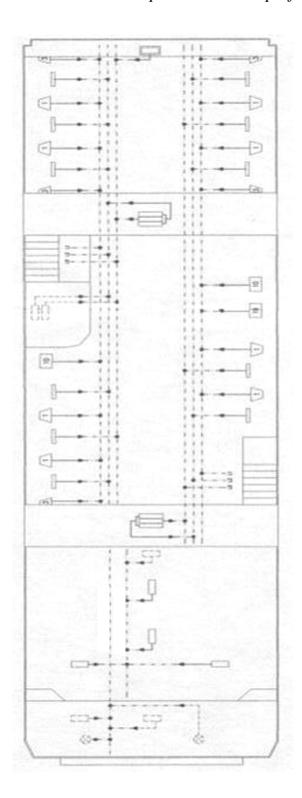
Piano inferiore della rimorchiata: linee e disposizione delle plafoniere



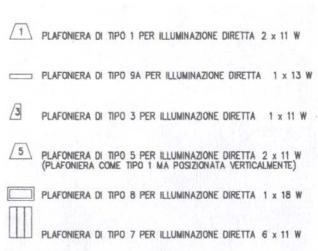
Legenda plafoniere:



Motrice: linee e disposizione delle plafoniere



Legenda plafoniere:

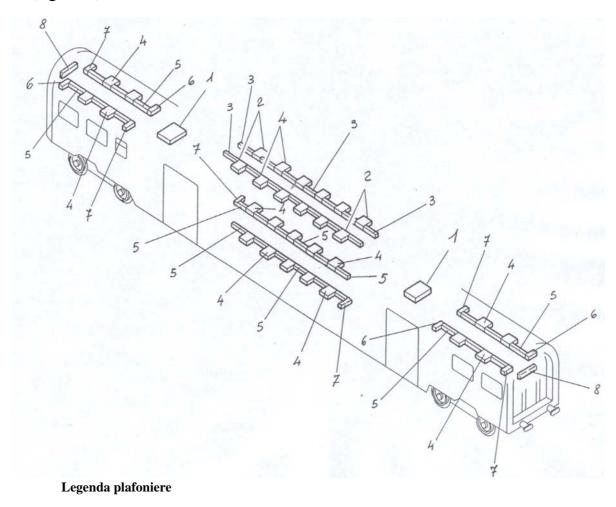


Descrizione delle linee:

- ➤ L₁ (linea1): che prevede l'alimentazione di circa il 50% delle lampade adibite ad illuminazione di base;
- ➤ L₂ (linea2): che prevede l'alimentazione dell'altro 50% dell'illuminazione di base e/o dell' illuminazione di sicurezza della durata di 2 ore dopo la disalimentazione;
- ➤ L_s (linea di sicurezza): che prevede l'alimentazione delle lampade per 5 ore dopo la disalimentazione delle carrozze. Queste ultime lampade sono cablate con conduttore rispondente alle norme CEI 20-36 e 20-38, resistente all'incendio per almeno 15 minuti.

2.3 DESCRIZIONE DELL' ILLUMINAZIONE DELLE MOTRICI M, MH E DELLA CARROZZA RIMORCHIATA

Per l'illuminazione è prevista la fornitura di diversi tipi di plafoniere: dal tipo 1 fino al tipo 10 (figura 7).



Plafoniera tipo	7	5	9A	1	9B	3 destra	3 sinistra	8
Numero	1	2	3	4	5	6	7	8

Figura 7: Disposizione plafoniere in 3D

Queste utilizzano lampade fluorescenti di tipo compatto o lineari della potenza di 11 W o 13W ciascuna con diverse dimensioni e forma. Sono costituite da una base metallica in alluminio stampato, e da uno schermo in policarbonato opale, stampato ad iniezione, trasparente, infrangibile e autoestinguente di classe 1.

Nella figura 8 è possibile vedere la posizione delle plafoniere tipo 9.



Figura 8: Plafoniera numero 5, tipo 9.

Nella figura 9 è possibile vedere la posizione delle plafoniere tipo 1.



Figura 9: Plafoniera numero 4, tipo 1.

Sulla base metallica sono fissati i portalampade, l'inverter, la morsettiera, il cablaggio e gli altri accessori necessari al buon funzionamento dell'apparecchio illuminante.

Tutte le plafoniere presenti, al fine di minimizzare sia il cablaggio che le operazioni di montaggio e manutenzione, hanno un connettore di alimentazione. Inoltre è garantita la perfetta intercambiabilità meccanica per le plafoniere dello stesso tipo.

Per quanto riguarda le caratteristiche costruttive il peso massimo non deve superare 7Kg (compresi lampade, inverter e cablaggi interni).

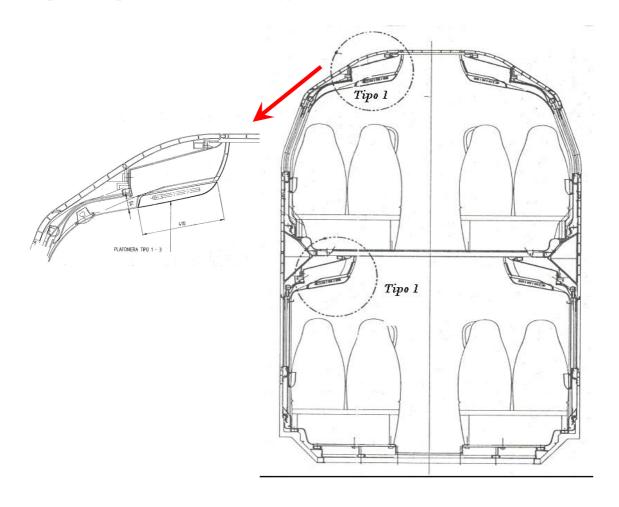


Figura 10: Sezione trasversale del vagone passeggeri e zoom della plafoniera tipo 1.

Nella figura 10 si può osservare la disposizione delle plafoniere tipo 1 e dei sedili e le rispettive distanze. Il sistema d'illuminazione a bordo del veicolo è composto di:

- > Punto luce tipico del comparto passeggeri:
 - Plafoniera tipo 1 per l'illuminazione diretta.
 - ♦ Plafoniera tipo 9 per l'illuminazione diretta.
- > Illuminazione dei moduli adiacenti alle pareti trasversali dei comparti inferiori centrali e d'estremità:
 - ◆ Plafoniera tipo 3 per l'illuminazione diretta (tipo 3 deriva dal tipo 1 dimezzando la dimensione longitudinale e la potenza).

- > Illuminazione delle estremità dei comparti superiori:
 - ◆ Plafoniera tipo 5 per l'illuminazione diretta (è di dimensioni uguali alla tipo 1, ma con diverse connessioni elettriche).
- ➤ Illuminazione dell'area per carrozzella e dello scivolo sulla motrice MH:
 - ♦ Plafoniera tipo 10 per l'illuminazione diretta.
- ➤ Illuminazione dei corridoi di servizio:
 - ♦ Plafoniera tipo 6 per l'illuminazione diretta.
- > Illuminazione dei vestiboli:
 - Plafoniera tipo 7 per l'illuminazione diretta posta al centro del vestibolo.
- ➤ Illuminazione dell'intercomunicante:
 - ♦ Plafoniera stagna tipo 8 ad incasso.

Nella seguente tabella sono riportate il numero di plafoniere sia per le motrici che per le rimorchiate:

	Motr.M	Motr. MH	Rim. R	M+R+R+MH
Tipo1	17	14	26	83
Tipo2	=	=	=	=
Tipo3	7	5	12	36
Tipo4	=	=	=	=
Tipo5	4	4	4	16
Tipo6	=	=	=	=
Tipo7	2	2	2	8
Tipo8	1	1	2	6
Tipo9	26+1/2	21+1/2	38	123+2*1/2
Tipo10	=	3	=	3
totale	57+1/2	50+1/2	84	275+2*1/2

Tabella 2: Numero di plafoniere nella motrice e nella rimorchiata.

Calcolo energetico degli utilizzatori (potenze espresse in watt), sia nel caso di funzionamento normale che nell'ipotesi d'illuminazione di sicurezza:

	Motrice	Rimorch.	Rimorch.	Motrice	Totale
	M	1	2	MH	convoglio
Totale	987	1330	1330	874	4521
Illuminazione di sicurezza (20re)	560	694	694	507	2455
Illuminazione di sicurezza (5 ore)	270	336	336	237	1179

Tabella 3: Consumo utilizzatori.

Per il calcolo energetico effettivo compreso il rendimento dell'inverter i suddetti valori devono essere divisi per 0,75.

> Potenza totale assorbita: 4521W.

> Potenza totale: 6028W.

2.4 VALORI RICHIESTI DI ILLUMINAMENTO (tratti dalle fiche UIC 555)

Per la verifica del soddisfacimento dei valori richiesti d'illuminamento, le misure sono effettuate su i due piani del convoglio, sia per l'illuminazione normale che per quella di soccorso. Le fiche UIC 555 (vedi appendice) forniscono le seguenti disposizioni per le misure:

- ➤ Per ogni "modulo sedili" nei piani mediani verticali di ciascun sedile, ad un'altezza di 80 cm dal pavimento ed ad una distanza di 60 cm dallo schienale.
- ➤ Nel "corridoio centrale" nel piano mediano verticale ad un'altezza di 80 cm dal pavimento (misure effettuate alle estremità del corridoio e nel centro).
- ➤ Sulla "scala" nel piano mediano verticale ad un'altezza di 80 cm dalla base dello scalino (misure effettuate alle estremità della scala e nel centro).
- Nel "vestibolo" nel piano mediano verticale delle porte d'accesso ad un'altezza di 80 cm dal pavimento (misura effettuata in prossimità delle porte e del centro).

Una volta effettuate le misure e fatta la media (relativa ad ogni ambiente), sarà verificata la rispondenza all'UIC 555 OR. I valori da prendere come riferimento sono:

- > Le fonti d'illuminazione normale devono garantire un illuminamento di 250 Lux.
- ➤ Per l'illuminazione di soccorso (paragrafo 9 della UIC 555 OR), l'illuminamento minimo deve essere di 5 Lux e sufficientemente uniforme per garantire una buona visibilità.

3.- INTRODUZIONE AI NUOVI LED DI POTENZA ULTRALUMINOSI

Oltre al loro principale odierno mestiere di 'spie' luminose, i LED (dall'inglese Light Emitting Diode, vale a dire diodo ad emissione luminosa) stanno per diventare le lampadine del futuro. Questi dispositivi sono già ovunque e appaiono anche nei display d' informazione, dove i LED formano le parole 'scorrevoli' e anche nelle automobili, dove hanno permesso di eliminare lampadine, lenti e riflettori parabolici nelle luci posteriori. I LED (figura 11) sono costituiti da 'briciole' di semiconduttori (materiali usati comunemente per costruire i chip dei computer) che, quando sono attraversati da corrente elettrica, emettono luce visibile.





Figura 11: LED ultraluminosi di alta potenza.

È sufficiente che due sottili strati di materiale siano messi a contatto: uno di essi presenta un eccesso di elettroni, l'altro invece scarseggia di cariche negative, ma abbonda di cariche positive. Quando la corrente passa attraverso il semiconduttore, gli elettroni vengono 'forzati' a ricongiungersi con le cariche positive, emettendo così luce visibile. Fino ad oggi, però, nessuna lampadina LED è mai stata avvitata nei nostri lampadari, perché la sua luce è rossa o gialla. Per ottenere luce bianca si deve disporre anche di un LED blu (ottenuto di recente grazie all'impiego di nitruro di gallio). In questo modo il 'frullato' ottico dei tre colori permette l'emissione di luce bianca.

Le future lampadine che potranno essere prodotte basandosi sulla tecnologia 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 ore in condizioni ottimali d'impiego. Le lampade a LED consentono infatti 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 degli ambienti.

Già oggi i LED ad alta efficienza forniscono fino a 20-30 lumen per ogni watt di assorbimento elettrico, rispetto ai 10-20 lumen per watt di una tradizionale lampadina ad incandescenza. Il confronto con un sistema a lampade fluorescenti è dal punto di vista energetico ancora sfavorevole poiché queste hanno un'efficienza di 70-80 lumen per watt. Con il progresso della tecnologia LED, l'industria sta progressivamente utilizzando un'illuminazione innovativa a semiconduzione che si ottimizzerà nel futuro portando l'efficienza dei LED paragonabile a quella delle lampade fluorescenti.

Le caratteristiche evidenziate fino ad ora, hanno già consentito di sfruttare al meglio la tecnologia dei LED nel settore della segnaletica stradale. Un semaforo composito, realizzato con alcune decine di LED l'uno vicino all'altro, non corre il rischio di 'fulminarsi' come succede con gli impianti che utilizzano le tradizionali lampadine e riesce quindi a mantenere sempre 'vivo' il segnale luminoso, aumentando la sicurezza della circolazione ed evitando interventi d'emergenza per garantirne funzionamento. I costi di manutenzione sono notevolmente ridotti: una lampada a LED ha una durata media di 10 anni contro solo un anno delle lampade a filamento e poco più di un anno per le lampada fluorescenti. Inoltre in caso di guasto è possibile intervenire per riparare la lampada che quindi non è gettata via. L'utilizzo della lampada a LED all'interno del semaforo consente inoltre di eliminare la parabola riflettente eliminando così due problemi: la manutenzione della parabola stessa e il fastidioso effetto che fa vedere illuminati tutti i colori in presenza di sole di fronte al semaforo.

Il risparmio d'energia ottenibile sui 'grandi numeri ' è inoltre notevole: ad esempio il consumo dei semafori nel mondo potrebbe essere ridotto di due terzi se alle normali

lampadine ad incandescenza si sostituissero il LED. I diodi luminosi a semiconduttore consumano, per un segnale rosso, da 9 a 25 Watt in confronto ai 60-150 di una lampadina. I LED per segnalazioni stradali sono un'evoluzione di quelli ad alta luminosità già utilizzati dall'industria automobilistica per i fanalini posteriori. Attualmente oltre un milione d'automobili l'anno è prodotto con stop ausiliario a LED, ma il sistema si sta estendendo anche ai fanalini laterali, ai lampeggiatori, ecc. I LED d'ultima generazione sono i primi in grado di fornire la luminosità di qualità elevata richiesta dai progettisti d'illuminotecnica e dagli architetti per applicazioni interne ed esterne in quanto forniscono una luminosità migliore o equivalente a quella delle sorgenti luminose tradizionali. Le caratteristiche della configurazione e del diagramma d'emissione offrono flessibilità di design in un emettitore di comprovata resistenza, durata e affidabilità. L'innovativa tecnologia può soddisfare l'esigenza di progettisti che s'interessano di specifiche d'illuminazione e soprattutto degli utenti finali e dei consumatori. Le principali caratteristiche sono le seguenti:

- > Lunga durata di vita;
- Funzionamento a basso voltaggio;
- Mancanza di manutenzione.

3.1 DIODI LED: FUNZIONAMENTO

I diodi LED si differenziano, da tutti gli altri semiconduttori, per l'attitudine di emettere luce quando sono polarizzati direttamente e, quindi, attraversati da corrente. La stessa sigla con cui sono designati, infatti, significa questo: Light Emitting Diode, ovvero diodo emettitore di luce. Più in generale, il diodo LED è un elemento che appartiene al mondo dell'optoelettronica, che è quella branca speciale dell'elettronica che lega assieme i fenomeni elettrici con quelli ottici. Un diodo ad emissione luminosa è composto da diversi strati di materiale semiconduttore. Quando il LED è polarizzato direttamente, uno strato particolarmente sottile chiamato strato attivo, genera luce. Diversamente da quanto avviene nelle lampade ad incandescenza che irradiano uno spettro continuo, un LED emette luce praticamente monocromatica di uno specifico colore. L'efficienza dei LED è notevolmente migliorata negli ultimi anni ed ha già raggiunto livelli di oltre 30 lumen per watt a seconda del colore. Questo è il risultato di processi produttivi d'alta qualità e dell'impiego di tecnologie sofisticate. All'equilibrio la giunzione PN, come dice il nome stesso, è il risultato dell'avvicinamento, fino al contatto, di due zone di semiconduttore drogate diversamente, una zona chiamata P con un eccesso di lacune ed una zona chiamata N con un eccesso d'elettroni. Quando le due zone sono a contatto, a causa del fenomeno della diffusione, le lacune tendono a spostarsi verso la zona N dove sono minoritarie, mentre al contrario gli elettroni si dirigono verso la zona P (figura 12).



Figura 12: Rappresentazione della migrazione delle cariche in una giunzione PN.

Questa migrazione provoca all'interno del materiale la formazione di un campo elettrico che quando raggiunge un certo valore si oppone all'ulteriore migrazione di cariche; al campo elettrico è legato un potenziale che forma appunto la barriera che

impedisce ulteriormente la diffusione. Si nota che il campo E si oppone ad un'ulteriore diffusione. In questa situazione la giunzione si dice all'equilibrio e nella zona centrale (di contatto) si forma una zona svuotata di cariche (quelle migrate si sono ricombinate con quelle maggioritarie). Applicando dall'esterno una tensione (la zona P diventa positiva rispetto alla zona N) in modo da polarizzare direttamente la giunzione, si provoca l'abbassamento della barriera di potenziale interna. Ciò permette alle cariche di fluire indisturbate e anche con una piccola differenza di potenziale si ottengono elevate correnti (figura 13); mentre se si polarizza la giunzione inversamente, non si fa altro che alzare la barriera di potenziale impedendo alla corrente di passare.

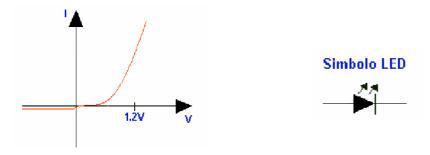


Figura 13: Caratteristica tensione-corrente di un diodo LED, la tensione di soglia dipende dal materiale usato, in genere per i LED rossi siamo sui 1.2V mentre per LED verdi o blu possiamo arrivare anche a 2.3V.

Affinché una giunzione PN possa essere usata come dispositivo d'emissione (Laser o LED) si ha bisogno di una forte ricombinazione delle cariche in modo da avere una forte emissione di fotoni. Gli elettroni iniettati dal catodo si dirigono verso la giunzione dove si ricombinano con le lacune, dando origine a dei fotoni (figura 14).

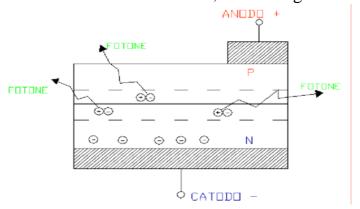


Figura 14: Struttura del LED.

Immettendo cariche con una corrente all'interno della giunzione, la si polarizza direttamente permettendo un forte passaggio di carica.

3.2 STRUTTURA INTERNA DEI LED DI POTENZA

Tradizionalmente, i LED sono costruiti utilizzando un piccolo chip montato in un involucro epossidico per uso ottico. Queste sorgenti luminose, sotto molti punti di vista, sono diverse dai LED a basso segnale date le oro esigenze di funzionamento ad alta potenza e le aspettative di una durata maggiore. L'affidabilità generale d'ogni LED si determina in base all'affidabilità del chip, delle interazioni meccaniche tra questo, i pin, il filo in oro e la capsula che li avvolge. Eventuali variazioni della temperatura ambiente e dell'autoriscaldamento possono generare sollecitazioni meccaniche all'interno del LED, che potrebbero influire sicurezza complessiva del dispositivo. A causa dei diversi coefficienti termici d'espansione, se sottoposto a condizioni di temperatura ambiente estreme, il LED può subire sollecitazioni e stress meccanici che nel tempo possono generare cricche, delaminazione o rottura dei fili di collegamento e quindi guasti irreversibili. Poiché la maggior parte della potenza applicata al LED è dissipata sotto forma di calore, la temperatura della giunzione sarà sempre superiore a quella dell'ambiente, in funzione della potenza dissipata e della resistenza al flusso di calore. La temperatura interna del LED è quindi determinata, oltre che dalla temperatura ambiente, anche dalla corrente d'azionamento e dalla resistenza termica nell'ambito dell'applicazione finale.

Infine l'emettitore può assorbire dell'umidità che potrebbe compromettere l'affidabilità del prodotto. Considerazioni generali sugli emettitori a sorgente ultraluminosa costituiscono un passo avanti rispetto a molte tecniche utilizzate nei LED a basso segnale. Queste modifiche non sono solo volte a migliorare le proprietà termiche necessarie per il funzionamento ad alta potenza, ma anche a ridurre alcuni limiti dell'incapsulante epossidico.

Nella figura 15 è illustrata la struttura di una sorgente luminosa. Si noti che il percorso termico e quello elettrico sono divisi. Un chip del LED è collegato ad un dissipatore a piastrina metallica che fornisce il percorso termico primario è collegato elettricamente all'anodo e al catodo. Una lente per temperature elevate è collegata

alla custodia in materiale plastico e l'interstizio fra il chip del LED e la lente è colmato con una capsula in silicone brevettata.

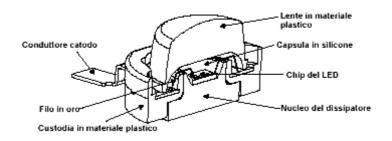


Figura 15: Struttura interna dei LED di potenza.

L'emettitori di potenza sono stati sviluppati per offrire una resistenza termica molto inferiore a quella dei LED a basso segnale. Le due famiglie principali sono composte da tecnologie a circuito integrato di tipo InGaAIP (cioè nei colori rosso, rosso_arancio e ambra) e InGaN (nei colori royal blue, blu, ciano, verde e bianco). Nel caso in esame prendiamo in considerazione LED bianchi e quindi struttura InGan.

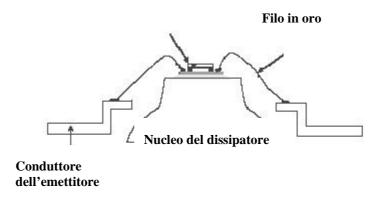


Figura 16: Costruzione interna di un InGain.

La figura 16 mostra la costruzione interna di un InGaN. Il circuito integrato del LED è montato in cima al chip in silicone che fornisce entrambe le connessioni elettriche esterne e protegge il chip dell'InGaN dalle scariche elettrostatiche (ESD). Il chip InGaN è connesso al chip di supporto in silicone con punti di saldatura multipli e ridondanti. Questa resina epossidica di connessione è un conduttore termico ed elettrico. Il chip in silicone è poi connesso ai pin dell'emettitore mediante fili in oro. Entrambe le sfere di connessione sono collegate alle piazzole di saldatura in cima al

chip in silicone alle altre estremità dei fili sono saldate a termocompressione ai pin dell'emettitore.

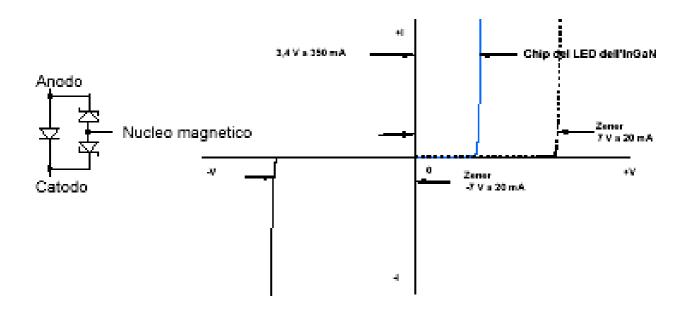


Figura 17: Schemi elettrici di un InGain.

Il circuito integrato dell'InGaN è collegato in parallelo a due diodi Zener in silicone back_to_back, che lo proteggono dai transitori ESD. Nella figura 17 sono riprodotti gli schemi elettrici di un InGain. Nell'esempio di figura si nota che, in condizioni normali di polarizzazione diretta, la corrente attraversa il circuito integrato dell'InGaN finché la tensione diretta è di circa 3V mentre la tensione di scarica dei diodi Zener back_to_back è di circa 7V. Quando è polarizzata direttamente, la resistenza interna in serie del circuito integrato dell'InGaN è pari a circa 10hm.

In caso di polarizzazione inversa, la resistenza in serie è molto elevata finché i diodi Zener back_to_back o il circuito dell'InGaN si guastano. Dal momento che la tensione di scarica inversa è di solito superiore a 10V, la corrente inversa attraversa i diodi Zener back_to_back invece che il circuito dell'InGaN e protegge quest'ultimo dalle sollecitazioni elettriche eccessive. Si ricorda che il nucleo del dissipatore è connesso internamente agli anodi dei due diodi Zener back_to_back. Si consiglia di mantenere il nucleo del dissipatore elettricamente isolato da ogni altro circuito esterno.

3.3 VANTAGGI DELLE LAMPADE LED RISPETTO A QUELLE TRADIZIONALI

Le lampade a LED (figura 18) consentono di risparmiare molta energia elettrica a parità di luce emessa, fino all'80% rispetto ad una normale lampada ad incandescenza, con una durata fino a 10 volte superiore.



Figura 18: Lampade a LED.

I LED hanno alta sicurezza e bassi costi d'esercizio grazie al fatto di essere costituiti da un semiconduttore attraversato da corrente. La lunghezza d'onda della luce emessa, non comprende la banda di frequenza dei raggi ultravioletti ed infrarossi, presenti in tutte le altre sorgenti luminose in diverse misure. Tali raggi causano invecchiamento precoce delle vernici e talvolta scolorimento dei tessuti, pelli ed affini. L'assenza di filamento consente di operare in ambienti con alta frequenza di vibrazioni.

> Applicazioni tipiche

- Illuminazione di strutture ricettive (negozi, ristoranti e hotel);
- Illuminazione di musei;
- Illuminazione di vetrine ed armadi;
- Illuminazione di piani di lavoro;
- Illuminazione di nicchie;
- Particolari architettonici ed abbellimento delle città;
- Luci di lettura (automobili, autobus, aeromobili).

Piccole dimensioni

Piccoli e compatti, i moduli LED continuano a fornire un'eccellente illuminazione anche quando sono installati all'interno di spazi molto stretti.

> Nuove opzioni di design

Dato che la tensione di funzionamento dei moduli LED è di 24V DC, il loro impiego è regolamentato dalle normative per dispositivi a bassissima tensione.

Ciò significa che non è necessario mantenere una distanza minima tra i moduli e le parti metalliche ed è quindi possibile disporre di maggiore libertà creativa nel design delle lampade.

> Robustezza straordinaria

I LED sono prodotti senza impiego di filamenti, elettrodi o tubi di vetro, una caratteristica che riduce i costi d'imballaggio e diminuisce drasticamente le possibilità di rottura durante il trasporto e l'installazione. Queste sorgenti luminose sono dispositivi allo stato solido, che non contengono parti in movimento, non rischiano di rompersi, guastarsi, perdere sostanze dannose o contaminare l'ambiente.

> Lunga durata

Con una vita utile compresa tra le 50.000 e le 100.000 ore (a temperatura di funzionamento ottimale) i moduli LED riducono drasticamente i costi di manutenzione sostitutiva rispetto alle tecnologie convenzionali.

Diversamente dalle sorgenti luminose tradizionali, i LED non si guastano mai in modo irrimediabile, vale a dire non si bruciano improvvisamente smettendo di funzionare.

> Risparmio d'energia

Nel normale funzionamento i costi energetici sono ridotti grazie al fatto che l'efficienza interna è alta e la luce colorata è generata in modo diretto (efficienza

cromatica). L'illuminazione a LED offre un'efficienza energetica maggiore rispetto alle lampadine ad incandescenza e alla maggiore parte delle sorgenti luminose alogene, e si sta rapidamente avvicinando ai valori d'efficienza delle lampade a fluorescenza.

> Nessun problema alle basse temperature

I moduli LED progettati per il funzionamento fino a -30° C assicurano affidabilità d'accensione ed emissione del normale flusso luminoso anche alle basse temperature. Essi non presentano problemi d'accensione nemmeno in ambienti freddi anche con temperature di -40° C.

> Colori brillanti e saturi

L'emissione monocromatica genera livelli di saturazione del colore decisamente più elevati di quelli ottenuti con le sorgenti luminose convenzionali ed assicura colori particolarmente brillanti.

> Ampio spettro di colori

L'elevato numero di colori disponibili (rosso, arancio, giallo, verde, blu e bianco), consente di produrre innumerevoli sfumature cromatiche attraverso la loro miscelazione.

4.- LED ULTRALUMINOSI IN COMMERCIO: CARATTERISTICHE ELETTRICHE E FOTOMETRICHE

Dopo aver fatto un'attenta ricerca dei dispositivi presenti sul mercato possiamo prendere in esame le caratteristiche elettriche e fotometriche di quelli più all'avanguardia che risultano essere:

- ➤ Golden Dragon Led -Osram-
- Luxeon Led -Lumileds-

Questi Led d'ultima generazione consumano entrambi una potenza di circa 1 W ed hanno un flusso luminoso compreso tra 20 e 30 lumen, ma possiedono emissioni luminose e quindi curve fotometriche diverse.

La durata dei dispositivi d'illuminazione allo stato solido (LED) si definisce in genere in termini di mantenimento dei lumen: la percentuale dell'emissione luminosa iniziale che rimane dopo uno specifico periodo di tempo. In media i LED sono in grado di mantenere il 70% dei lumen dopo 50.000 ore di funzionamento.

Questi risultati si basano su dati di prove indipendenti, su dati storici e su prove condotte su sistemi realizzati con materiali simili, oltre che su test d'affidabilità interni alle case produttrici. Questa proiezione si basa su un funzionamento a corrente costante e con temperatura di giunzione inferiore ai 100 °C.

4.1 CARATTERISTICHE Golden Dragon LED

Di seguito sono riportati le caratteristiche più importanti riprese dai datasheet del LED Golden Dragon (figura 19) prodotto dall'OSRAM.



Figura 19: Golden Dragon LED.

> Efficienza ottica: 21 lm/W

> Tecnologia: InGain

➤ Temperatura Colore: 6500K

Coordinate colore: X= 0.32, Y= 0.31
 Indice di riproduzione colore: 80

➤ Angolo d'emissione: 120°

➤ Colore diffuso

> Metodo assemblaggio: SMT

Tj max: 125 °C
 I_F: 350 mA
 V_F: 3.8 V
 Rth_{JS}: 9 K/W

La curva fotometrica è la seguente:

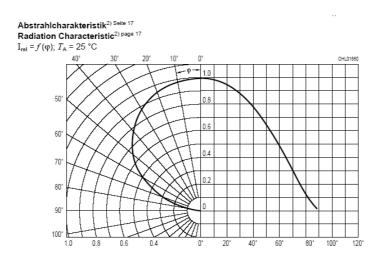


Figura 20: Curva fotometrica LED Golden Dragon (da datasheet).

4.2 CARATTERISTICHE Luxeon LED

Le sorgenti luminose Luxeon (figura 21) rappresentano un rivoluzionario passo avanti rispetto ai LED a basso segnale tradizionali. Di seguito sono riportati le caratteristiche più importanti riprese dai datasheet nel caso di LED Batwing bianco prodotto dalla Lumileds.



Figura 21: Luxeon LED.

➤ Efficienza ottica: 21 lm/W

➤ Tecnologia: InGain

➤ Temperatura Colore: 5500K

Coordinate colore: X= 0.32, Y= 0.31
 Indice di riproduzione colore: 80

➤ Angolo d'emissione: 110°

➤ Colore diffuso ➤ Tj max: 120 °C ➤ I_F: 350 mA ➤ V_F: 3.42 V

 $ightharpoonup Rth_{JB}$: 20 K/W

La curva fotometrica è la seguente:

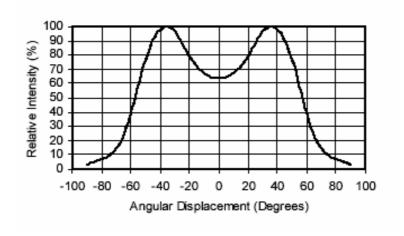


Figura 22: Curva fotometrica LED Luxeon (da datasheet).

5.- 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 materiale di da di detto base (spesso in alluminio). uno strato I substrati termici MCPCB (figura 23) minimizzano l'impedenza termica e conducono il calore più efficacemente ed efficientemente che le schede stampate standard e sono meccanicamente più robusti.

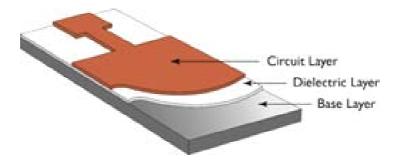


Figura 23: Anatomia di una scheda (MCPCB) ad alta conducibilità termica.

Tradizionalmente, raffreddare una 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.

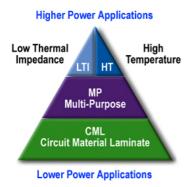
I benefici delle schede ad alta conducibilità includono quindi:

- > 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 50µm 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 75µm di spessore. I dielettrici per schede termiche esistono in quattro tipi (figura 24) in base alla loro conducibilità termica e agli spessori:



> LTI: Bassa impedenza termica;

➤ HT: Alta temperatura;

➤ MP: Multi purpose;

> CML:Circuiti materiale laminato.

Figura 24: Classificazione dei dielettrici disponibili.

I dielettrici sono disponibili con spessori da 75μm a 150μm, 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'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.

5.1 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 Rθ_{J-A} di una sorgente luminosa con dissipatore è definita nell'equazione (5.1.1):

$$R\Theta_{J-A} = \frac{\Delta T_{J-A}}{Pd} \tag{5.1.1}$$

Con:

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

$$Pd = I_F * V_F \tag{5.1.3}$$

Dove:

Pd = Potenza dissipata (W)

 $T_J = Temperatura della giunzione$

 T_A = Temperatura ambiente

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 25). 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.

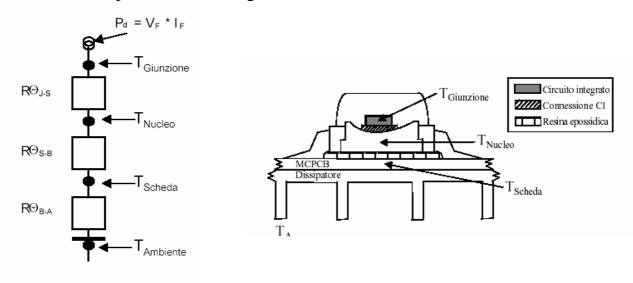


Figura 25: Modello a resistenze termiche.

La figura 25 mostra i componenti della resistenza termica. Gli elementi di ciascuna resistenza sono collocati tra i rispettivi nodi di temperatura e riportati nella seguente formula:

$$R\Theta_{J-A} = R\Theta_{J-S} + R\Theta_{S-B} + R\Theta_{B-A} \tag{5.1.4}$$

Dove:

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

 $R\theta_{N\text{-}S\ (S\text{-}B)} = R\theta$ 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:

$$T_J = Ta + Pd \cdot R\Theta_{J-A} \tag{5.1.5}$$

Dove:

Ta = Temperatura ambiente;

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

5.2 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 26. In questo modello ciascun emettitore è rappresentato da singole resistenze termiche parallele.

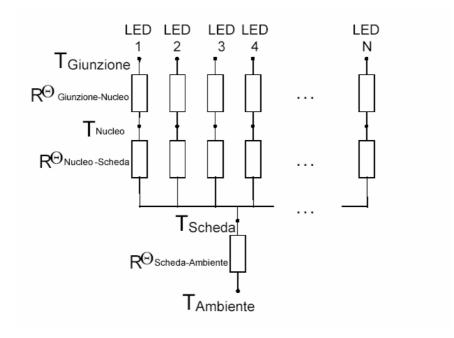


Figura 26: Modello resistenze termiche parallelo

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

$$\frac{1}{R\theta_{J-B}\text{Totale _Arrey}} = \frac{1}{R\theta_{J-B}\text{LED}(1)} + \dots + \frac{1}{R\theta_{J-B}\text{LED}(N)}$$
(5.2.1)

Dal momento che tutte le resistenze parallele si possono ritenere equivalenti,

l'equazione diventa:

$$\frac{1}{R\theta_{J-B}\text{Totale _Arrey}} = \frac{N}{R\theta_{J-B}\text{ LED}}$$
 (5.2.2)

oppure:

$$R\theta_{J-B} \text{Totale _Arrey} = \frac{R\theta_{J-B} \text{ LED}}{N}$$
 (5.2.3)

Dove:

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

N = numero d'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.

$$T_J = Ta + Pd * R\Theta_{J-A} \tag{5.2.5}$$

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:

\triangleright Emissione luminosa all'aumento della temperatura T_i

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 27).

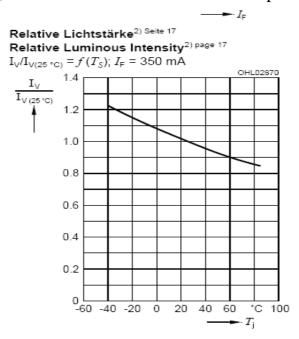


Figura 27: Grafico dell' emissione luminosa al variare della temperatura della giunzione (da datasheet).

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.

> 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.

> 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.

> Potenza dissipata

La potenza dissipata (Pd) 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.

> 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.

5.3 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 28) e convezione forzata in una piccola galleria del vento (figura 29).

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

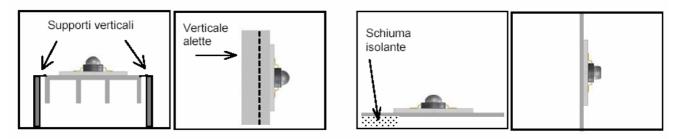


Figura 28: Dissipatore in convezione naturale.

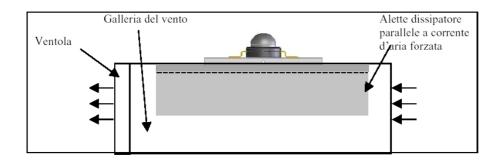


Figura 29: Dissipatore in convezione forzata.

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 28.

I dissipatori ad alette sono stati testati in una piccola galleria del vento in contenitore chiuso controllato: la figura 29 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 30).

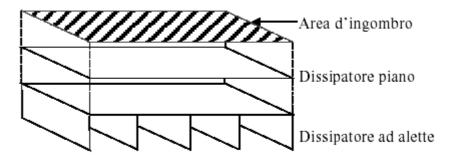


Figura 30: Area di ingombro dissipatore.

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

5.4 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 31 illustra quest'effetto in relazione all'area d'ingombro nel caso di dissipatore piano di spessore 2.3mm.

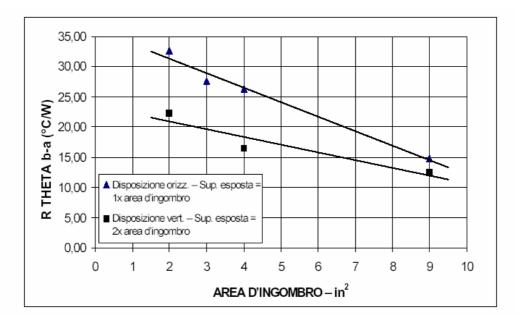


Figura 31: Grafico della resistenza termica in funzione dell'area d'ingombro.

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 $9in^2$ la $R\theta_{B-A}$ nelle due disposizioni inizia a convergere. Questo dimostra che se l'area d'ingombro è prossima a $9in^2$ 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 32). Occorre inoltre individuare altri fattori che potrebbero rendere la $R\theta_{B_A}$ maggiore o minore dei limiti indicati.

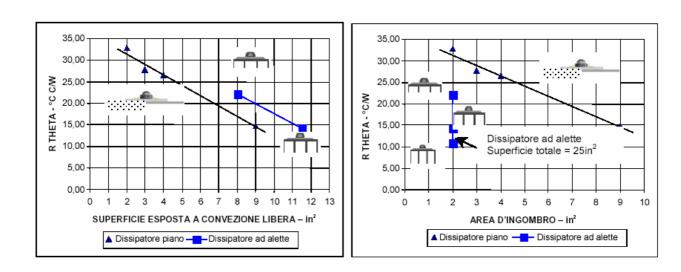


Figura 32: Nei grafici sono confrontati dei dissipatori ad alette con dei dissipatori piani.

5.5 COLLEGAMENTO AL DISSIPATORE

> 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.

> Collegamento con adesivo

Nastri e adesivi possono migliorare il contatto termico con superfici irregolari. La figura 33 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 I NUCLEO - SCHEDA R NUCLEO-SCHEDA AGGIUNTA (°C/W) PER EMETTITORE AREA NUCLEO 0,044IN ²	MONTAGGIO SCHEDA - DI. RO _{scheda-sommità dissipato} PER EME	SSIPATORE RE AGGIUNTA (°C/V	
	ADESIVI	(28mm²)	AREA SCHEDA 1IN	² (625mm ²)	DATI PRODUTTORE
COLLANTI SPESSORE O,OIO"	Амісом ЕЗ503-1	4,8	*	EMERSON & CU PH: OO32/ I	
CIRCA	ЕроТек Т7 09	2,3	*	1 508	TECHNOLOGY 3 667 3805 V.EPOTEK.COM
Nastri	BOND PLY 105 (SPESSORE 0,005)	14	3°C/W	THE BERGQ	UIST COMPANY
	Kapton	9,5			

Figura 33: 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):

$$T_J = Ta + Pd * R\Theta_{J-A}$$

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):

$$Pd = V_F * I_F$$

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

$$R\Theta_{J-A} = \frac{\Delta T_{J-A}}{Pd}$$

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 I_F 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.

6. PROGETTAZIONE DEL MODULO DI ILLUMINAZIONE Golden Dragon

La Osram ha sviluppato i nuovi LED (figura 34) con potenza compresa tra 1 e 2 W. Il loro flusso luminoso nei LED di colore bianco è di 27 lm con una corrente operativa di 0.35 A e con una potenza di circa 1.3 W.



Figura 34: Golden Dragon LED

Dati caratteristici:

➤ Potenza: 1.3 W;

Efficienza: 21 lm/W;
Flusso luminoso: 27 lm;
Tensione nominale: 3.8 V;
Corrente nominale: 0.35 A.

Possiamo paragonare a questo punto i LED Golden al sistema d'illuminazione esistente cercando di ottenere un'equivalenza dal punto di vista del flusso luminoso emesso:

Tipo	Potenza [W]	Flusso luminoso [Lumen]	Flusso luminoso totale [Lumen]	N° LED
1	2*11	2*900	1800	67
3	1*11	1*900	900	29
5	2*11	2*900	1800	66
6	1*13	1*1020	1020	33
7	6*11	6*900	5400	174
8	1*18	1*1300	1300	42
9 A	1*13	1*1.020	1020	33
10	2*11	2*900	1800	66

Tabella 1: Confronto tra flusso luminoso delle lampade e quello dei LED.

Dalla tabella si ha una prima indicazione del numero di LED necessari ad aver lo stesso flusso luminoso sferico delle lampade.

Vediamo che sono presenti 10 tipologie di plafoniere diverse con lampade con potenza di 11W, 13W e 18W.

Se prendiamo in considerazione moduli da 6 ci avviciniamo ad una tensione prossima a 24 V che è quella disponibile sul treno (un LED ha tensione di 3.8 V). A moduli da 6 LED corrispondono 162 lm in totale e quindi:

Potenza [W]	Flusso luminoso [lm]	N° moduli
11	900	5.5
13	1020	6.3
18	1300	8

Tabella 2: Confronto tra flusso delle lampade e quello dei moduli LED.

Il passo successivo è stato quello della progettazione di un modulo da 6 LED (figura 35) prendendo in considerazione gli spazi occupati e le caratteristiche termiche, elettriche e fotometriche.



Figura 35: Moduli a 6 LED -OSRAM-.

Si prendono in considerazione schede già provviste di LED, messe in commercio dall'OSRAM. Sono stati collegati in serie 6 LED e disposti come nella seguente figura per formare un modulo.

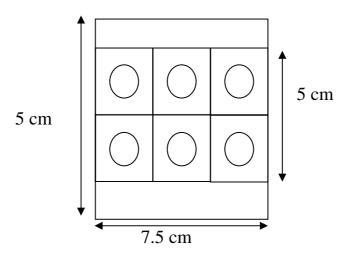


Figura 36: Disposizione LED nei moduli.

Valori caratteristici per un singolo modulo:

- ➤ 162 lm con Tj di 25°C;
- > 0.35 A;
- > 22.8 V la tensione (3.8 V per scheda).

Simulazione termica:

Prendiamo in considerazione il LED Golden Dragon con tensione e corrente nominale rispettivamente 3.8 V e 0.35 A. Per un modulo da 6 LED abbiamo dalla (5.1.3):

$$Pd = 6*V*I = 6*3.8*0.35 = 8 W$$

Decidiamo di portare la giunzione Tj nel caso peggiore a 100 °C (il limite è 125 °C). Dalla (5.1.1) si ottiene:

$$R\theta_{J\text{-}A} = (T_J\text{-}T_A)/P = (100\text{--}60)/8 = 5~C^\circ/W$$

Adesso si calcola la $R\theta_{J-B}$ la resistenza termica tra giunzione e scheda è per ogni singolo emettitore data dalla (5.2.4):

$$R\theta_{J-S} + R\theta_{S-B} = 9 + 3.4 = 12.4 \text{ C}^{\circ}/\text{W}$$
 ($R\theta_{S-B} = 3.4 \text{ C}^{\circ}/\text{W}$ da datasheet)

Essendo 6 resistenze termiche uguali in parallelo risulta per l'intero modulo dalla (5.2.3):

$$R\theta_{J-B} = 12.4/6 = 2 \, {}^{\circ}C/W$$

La resistenza termica massima del dissipatore deve essere:

$$R\theta_{B-A} = R\theta_{J-A} - R\theta_{J-B} = 5-2 = 3 \text{ C}^{\circ}/\text{W}$$

Un dissipatore alettato in alluminio utilizzabile può essere il seguente (figura 37):

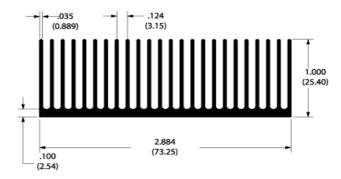


Figura 37: Dissipatore per un modulo.

Le caratteristiche principali del dissipatore possono essere riassunte nella seguente tabella:

Resistenza termica	Lunghezza	Larghezza	Altezza	Peso
[°C/W]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]
1.51	70	73.3	25.4	1.83

Tabella 3: Caratteristiche dissipatore.

Verifica:

Partiamo dal dissipatore scelto per vedere la temperatura massima alla quale lavorerà la giunzione, secondo la (5.1.3):

$$Pd = n^{\circ}LED*V*I = 6*3.8*0.35 = 8 W$$

Adesso si calcola la $R\theta_{J-B}$ la resistenza termica tra giunzione e scheda, per ogni emettitore data dalla:

$$R_{\text{J-S}} + \, R_{\text{S-B}} = 9 \, + \, 3.4 = 12.4 \,\, C^{\circ} / W \hspace{0.5cm} (R_{\text{S-B}} = 3.4 \,\, C^{\circ} / W \,\,)$$

Essendo 6 resistenze termiche in parallelo risulta per la (5.2.3):

$$R\theta_{J-B} = 12.4/6 = 2 \text{ °C/W}$$

A questa si somma la $R\theta_{J-B}$ del nostro dissipatore per ottenere la resistenza totale:

$$R\theta_{J-A} = R\theta_{J-B} + R\theta_{B-A} = 1.51 + 2 = 3.51 \text{ C}^{\circ}/\text{W}$$

Essendo poi dalla (5.1.1):

$$R\theta_{J-A} = (T_J-T_A)/P$$

Risulta:

$$T_J = R\theta_{J-A} *P + T_A = 3.51*8+60 = 88 °C$$

Quindi se la resistenza termica convettiva con l'ambiente esterno del dissipatore è di 1.51 °C/W, allora la temperatura massima della giunzione sarà di 88 °C.

Dobbiamo però considerare a questo punto la diminuzione dell'emissione luminosa dovuta alla temperatura della giunzione. Se la T_J fosse 88 °C, dal grafico (figura 38), si nota che nel caso peggiore di T_A = 60°C, avremo circa 11-12 % in meno d'intensità luminosa e quindi si garantirebbero 144 lm invece che 162 lm per ogni modulo.

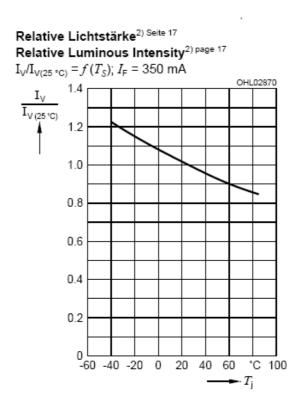


Figura 38: Grafico dell'emissione luminosa in funzione della Tj (da datasheet).

Nel caso in cui la temperatura ambiente fosse 25 °C allora avremmo una T_J di circa 53°C e quindi un flusso luminoso del 7 % in meno: 150 lm per modulo.

Potenza [W]	Flusso luminoso [lm]	N° moduli
11	900	6
13	1020	6.8
18	1300	8.6

Tabella 4: Confronto tra flusso luminoso delle lampade e quello dei moduli LED.

Di quest'aspetto dovremmo tenere conto in fase di simulazione e quindi considerare nell'analisi dei risultati 7-8% in meno dovuto alla temperatura della giunzione.

7. PROGETTAZIONE DEL MODULO DI ILLUMINAZIONE Luxeon LED

La Lumileds ha sviluppato i nuovi LED Luxeon (figura 39) con potenza compresa tra 1 e 2W. Il loro flusso luminoso nei LED di colore bianco è di 25 lm con una corrente operativa di 0.35 A e con una potenza di circa 1.2 W.



Figura 39: LED Luxeon.

Possiamo paragonare a questo punto i LED al sistema d'illuminazione esistente cercando di ottenere un'equivalenza, inizialmente dal punto di vista di flusso luminoso emesso. Sapendo che ogni LED ha un flusso luminoso di 25 lm si ottiene la seguente tabella:

Tipo	Potenza [W]	Flusso luminoso [Lumen]	Flusso luminoso totale [Lumen]	N° LED
1	2*11	2*900	1800	72
3	1*11	1*900	900	36
5	2*11	2*900	1800	72
6	1*13	1*1020	1020	41
7	6*11	6*900	5400	216
8	1*18	1*1300	1300	52
9 A	1*13	1*1.020	1020	41
10	2*11	2*900	1800	72

Tabella 1: Confronto tra flusso luminoso delle lampade e quello dei LED.

Vediamo che sono presenti 3 tipologie di plafoniere diverse con potenza di 11W, 13W e 18W.

Prendendo in considerazione moduli da 6 ci avviciniamo ad una tensione di 24 V che è quella disponibile sul treno (un LED a tensione di 3.4V). A Moduli da 6 LED corrispondono 150 lm e quindi:

Potenza [W]	Flusso luminoso [lm]	N° moduli
11	900	6
13	1020	6.8
18	1300	8.7

Tabella 2:Confronto tra flusso delle lampade e quello dei moduli LED.

Dalla tabella si ha una prima indicazione del numero di moduli necessari ad aver lo stesso flusso luminoso sferico delle lampade. Il passo successivo è stato quello della progettazione di un modulo da 6 LED prendendo in considerazione gli spazi occupati e le caratteristiche termiche, elettriche e fotometriche (figura 40).

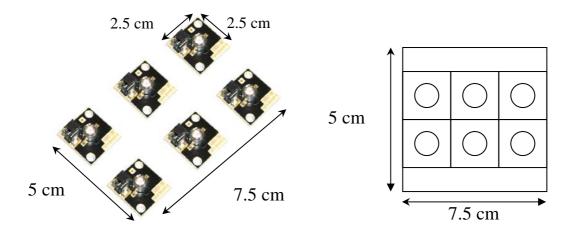


Figura 40: Modulo a 6 LED Luxeon.

Se consideriamo un modulo da 6 schede ad alta conducibilità termica affiancate, ed i rispettivi LED posti in serie, abbiamo le seguenti caratteristiche:

- ➤ 150 lm con Tj di 25°C;
- > 0.35 A;
- ➤ 20.5 V la tensione (3.42 V per scheda).

Simulazione termica

Prendiamo in considerazione il LED Luxeon con tensione e corrente nominale rispettivamente 3.42 V e 0.35 A. Per un modulo da 6 LED abbiamo dalla (5.1.3):

$$Pd = 6*V*I = 6*3.42*0.35 = 7.2 W$$

Decidiamo di portare la giunzione Tj nel caso peggiore a 100 °C (sopporta fino a 125°C). Dalla (5.1.1) si calcola:

$$R\theta_{J-A} = (T_J - T_A)/P = (100 - 60)/7.2 = 5.5 \text{ C}^{\circ}/\text{W}$$

Adesso si calcola la $R\theta_{J-B}$ la resistenza termica tra giunzione e scheda: per ogni singolo emettitore è 20 C°/W ed essendo le 6 resistenze termiche uguali in parallelo risulta per l'intero modulo:

$$R\theta_{J-B} = 20/6 = 3.3 \text{ °C/W}$$

La resistenza termica massima del dissipatore deve essere:

$$R\theta_{B-A} = R\theta_{J-A} - R\theta_{J-B} = 5.5 - 3.3 = 2.2 \text{ C}^{\circ}/\text{W}$$

Un dissipatore alettato in alluminio utilizzabile può essere il seguente (figura 41) con resistenza termica inferiore a 2.2 °C/W:

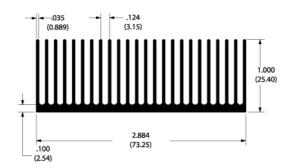


Figura 41: Dissipatore per un modulo.

Le caratteristiche principali del dissipatore possono essere riassunte nella seguente tabella:

Resistenza termica	Lunghezza	Larghezza	Altezza	Peso
[°C/W]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]
1.51	70	73.3	25.4	1.83

Tabella 10: Caratteristiche dissipatore.

Verifica:

Partiamo dal dissipatore scelto per vedere la temperatura massima a cui lavora la giunzione:

$$Pd = n^{\circ}LED * V * I = 6*3.42*0.35 = 7.2W$$

Adesso si calcola la $R\theta_{J-B}$, la resistenza termica tra giunzione e scheda per ogni singolo emettitore è $20~C^{\circ}/W$ (da documentazione tecnica) ed essendo le 6 resistenze termiche uguali in parallelo risulta per l'intero modulo:

$$R\theta_{J-B} = 20/6 = 3.3 \text{ °C/W}$$

A questa si somma la $R\theta_{J-B}$ del nostro dissipatore per ottenere la resistenza totale:

$$R\theta_{J-A} = R\theta_{J-B} + R\theta_{B-A} = 1.5 + 3.3 = 4.8 \text{ C}^{\circ}/\text{W}$$

Essendo poi

$$R\theta_{J-A} = (T_J - T_A)/P$$

Risulta dall'equazione (5.1.5):

$$T_I = R\theta_{I-A} * P + T_A = 4.8 * 7.2 + 60 = 94.5 °C$$

Quindi se la resistenza termica convettiva con l'ambiente esterno del dissipatore è di 1.51 °C/W allora la temperatura massima della giunzione sarà di 94.5°C.

Dobbiamo a questo punto considerare la diminuzione dell'emissione luminosa dovuta alla temperatura della giunzione (figura 42).

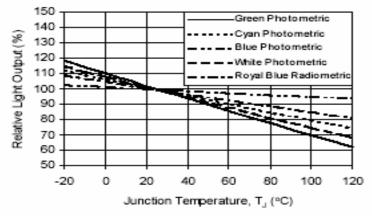


Figura 42: Grafico dell'emissione luminosa in funzione della temperatura della giunzione Tj (da datasheet).

Considerando il grafico dell'emissione luminosa in funzione della temperatura della giunzione si nota che se la T_J fosse a 94.5 °C e quindi nel caso peggiore di una

temperatura ambiente di 60°C, avremo circa 20% in meno d'intensità luminosa e si garantirebbero 120 lm invece che 150 lm.

Facendo riferimento ad una temperatura ambiente di 25 °C allora avremmo una T_J di circa 59.5°C e quindi un flusso luminoso del 11 % in meno, vale a dire 133.5 lm per modulo. Il numero di LED necessari sarà quindi maggiore (vedi tabella 11).

Potenza [W]	Flusso luminoso [lm]	N° moduli
11	900	6.7
13	1020	7.6
18	1300	9.7

Tabella 11:Confronto tra flusso luminoso delle lampade e quello dei moduli LED.

Di questo aspetto dovremmo tenere conto in fase di simulazione e quindi considerare nell'analisi dei risultati 11-12% in meno di flusso dovuto alla temperatura della giunzione T_J superiore ai 25°C.

8.- SIMULAZIONI DELL' IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE DELLA CARROZZA FERROVIARIA DEL TAF

Lo scopo delle simulazioni è quello di verificare se il sistema d'illuminazione a LED riesce a soddisfare le specifiche tecniche sia a riguardo all'illuminazione generale, sia per le luci di soccorso. Il programma illuminotecnico utilizzato è Dialux 3.1.

Dialux è il noto software tedesco per il calcolo professionale, che permette di verificare in modo accurato tutti i parametri illuminotecnici. Considera ambienti interni/esterni, strade, gallerie fornendo risultati secondo le ultime normative di settore. Permette di importare disegni 2D, applicare 'textures' e lavorare con un'ampia libreria d'oggetti che possono essere modificati e salvati per un successivo riutilizzo. L'oggetto desiderato è visibile a colpo d'occhio e può essere agevolmente inserito nel progetto con la funzione "Drag and Drop" (figura 43). Combinazioni di lampade e mobili possono essere agevolmente posizionati nella direzione prescelta, facilitando il lavoro di costruzione di una scala o d'arredamento di un locale.

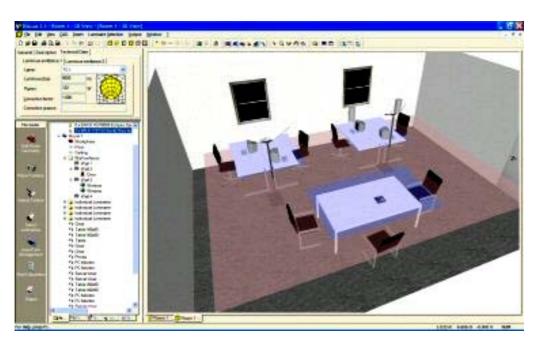


Figura 43: Esempio di visualizzazione lampade e arredi in 3D con Dialux 3.1.

Dialux soddisfa inoltre le richieste delle normative internazionali in merito alla progettazione d'impianti d'illuminazione e permette di posizionare contemporaneamente diverse aree di lavoro e fornisce risultati chiari e precisi. Al momento sono disponibili banche dati di 16 grandi produttori mondiali di lampade che vengono costantemente aggiornati, scaricabili in ogni momento dai loro siti web. È uso comune trasferire i dati delle lampade in Dialux attraverso formati fotometrici standard come il formato europeo Eulumdat, quello americano IES e quello inglese Cibse TM14.

Tali formati sono caratterizzati dall'essere editabili, vale a dire che chiunque può visualizzare e modificare il loro contenuto partendo dal nome della lampada, dalle dimensioni, fino a informazioni propriamente tecniche come potenza, flusso luminoso e colore.

La costruzione della curva fotometrica del LED è stata fatta usando nel caso specifico il formato europeo Eulumdat. Essendo un formato editabile ad ogni riga corrispondono delle informazioni precise sulle caratteristiche delle lampade.

Nella seguente tabella sono riportate le indicazioni per la creazione dei file in formato eulumdat: ad ogni riga corrispondono delle specifiche della lampada.

Capitolo 8

Item	Designation	Number of Characters
1	Company identification/data bank/version/format identification max.	Max. 78
2	Type indicator Ityp (1 - point source with symmetry about the vertical axis; 2 - linear luminaire; 3 - point source with any other symmetry) [See Note 1]	1
3	Symmetry indicator Isym (0 - no symmetry; 1 - symmetry about the vertical axis; 2- symmetry to plane C0-C180; 3- symmetry to plane C90-C270; 4- symmetry to plane C0-C180 and to plane C90-C270)	1
4	Number Mc of C-planes between 0 and 360 degrees (usually 24 for interior, 36 for road lighting luminaires)	2
5	Distance Dc between C-planes (Dc = 0 for non-equidistantly available C-planes)	5
6	Number Ng of luminous intensities in each C-plane (usually 19 or 37)	2
7	Distance Dg between luminous intensities per C-plane (Dg = 0 for non-equidistantly available luminous intensities in C-planes)	5
8	Measurement report number	Max. 78
9	Luminaire name	Max. 78
10	Luminaire number	Max. 78
11	File name	8
12	Date/user	Max. 78
13	Length/diameter of luminaire (mm)	4
14	Width of luminaire b (mm) ($b = 0$ for circular luminaire)	4
15	Height of luminaire (mm)	4
16	Length/diameter of luminous area (mm)	4
17	Width of luminous area b1 (mm) (b1 = 0 for circular luminous area of luminaire)	4
18	Height of luminous area C0-plane (mm)	4
19	Height of luminous area C90-plane (mm)	4
20	Height of luminous area C180-plane (mm)	4
21	Height of luminous area C270-plane (mm)	4
22	Downward flux fraction DFF (%)	4
23	Light output ratio luminaire LORL (%)	4
24	Conversion factor for luminous intensities (depending on measurement)	6
25	Tilt of luminaire during measurement (road lighting luminaires)	6
26	Number n of standard sets of lamps (optional, also extendable on company-specific basis)	4
26a	Number of lamps	n * 4
26b	Type of lamps	n * 24
26c	Total luminous flux of lamps (lumens)	n * 12
26d	Color appearance / color temperature of lamps	n * 16
26e	Color rendering group / color rendering index	n * 6
26f	Wattage including ballast (watts)	n * 8
27	Direct ratios DR for room indices $k = 0.6 5$ (for determination of luminaire numbers according to utilization factor method)	10 * 7
28	Angles C (beginning with 0 degrees)	Mc * 6
29	Angles G (beginning with 0 degrees)	Ng * 6
30	Luminous intensity distribution (candela / 1000 lumens) [See Note 2]	(Mc2-Mc1+1) * Ng * 6
NOTE	s	
. Only	linear luminaires (Ityp = 2) are being subdivided in longnitudinal and transverse	directions.
2. The p	parameters Mc1 and Mc2 for the luminous intensity distribution are determined by	v:
Isym	Mc1 Mc2	
0 1	Mc	
1 1		
2 1	Mc / 2 + 1	

Isym	Mc1	Mc2
O	1	Mc
1	1	1
2	1	Mc / 2 + 1
3	3 * Mc / 4 + 1	Mc1 + Mc / 2
4	1	Mc / 4 + 1

Tabella 12: Eulumdat format.

Per ogni angolo di emissione (righe 28, 29) è stato indicato il rispettivo valore in candele ogni 1000 lumen di flusso luminoso (riga 30 in tabella 12). I dati sono stati in seguito inseriti nel programma. Nel documento sono riportate le simulazione con i relativi risultati della zona centrale del piano inferiore della carrozza rimorchiata.

E' stato ricreato l'ambiente in scala 1:1 dei locali del treno riprendendo le quote da un disegno in scala della carrozza passeggeri. I moduli necessari sono stati posizionati negli stessi punti dove sono le plafoniere. Ogni LED è stato considerato come una singola lampada e quindi un modulo è composto di 6 sorgenti luminose poste a distanza molto ravvicinata.

La simulazione è stata effettuata utilizzando il LED della OSRAM da 27 lumen tipici e 10 candele sull'asse. A ogni modulo corrispondono in totale 162 lumen.

Qui di seguito sono riportate le curve fotometriche polare e lineare riferite a 1000 lumen del LED "Golden Dragon".

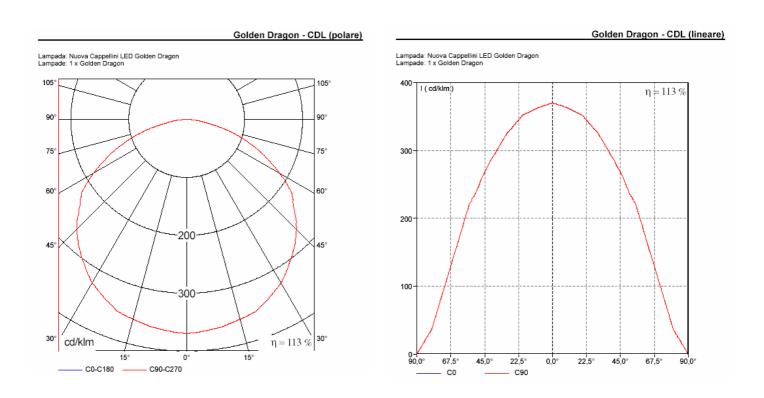


Figura 44: Curva fotometrica polare e lineare.

Le simulazioni sono fatte considerando un sistema a LED con flusso emesso il più possibile vicino al flusso del sistema con le lampade fluorescenti. Nella zona centrale del piano inferiore della carrozza rimorchiata sono presenti plafoniere di tipo 9, tipo 1 e tipo 3. Le plafoniere a lampade fluorescenti presenti sul treno sono state ripensate composte da moduli a LED.

Plafoniera Tipo 9

Per la plafoniera tipo 9 (figura 45), con lampada da 13 W lineare e flusso luminoso di 1020 lumen, i 6 moduli sono stai disposti come in figura:

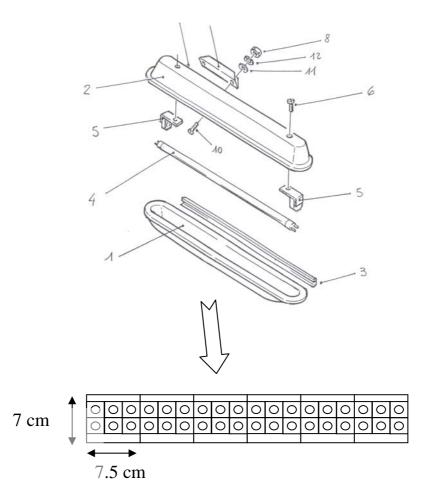


Figura 45:assieme della plafoniera tipo 9 e disposizione dei moduli.

Plafoniera Tipo 1

Per la plafoniera tipo 1 (figura 46) con due lampade da 11 W compatte con un flusso luminoso di 1800 lumen i 12 moduli sono stati disposti come in figura:

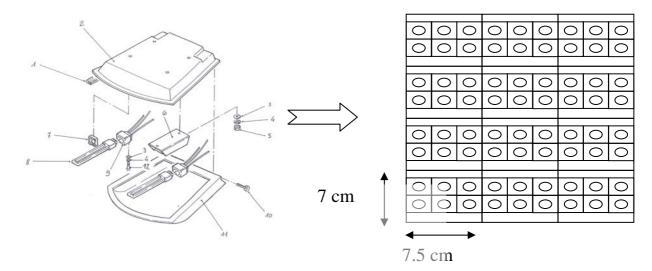


Figura 46: Assieme della plafoniera tipo 1 e disposizione dei moduli.

➤ Plafoniera Tipo 3

Per la plafoniera tipo 3 (figura 47) con una lampada da 11 W compatta e flusso luminoso di 900 lumen i 6 moduli sono stati disposti come in figura:

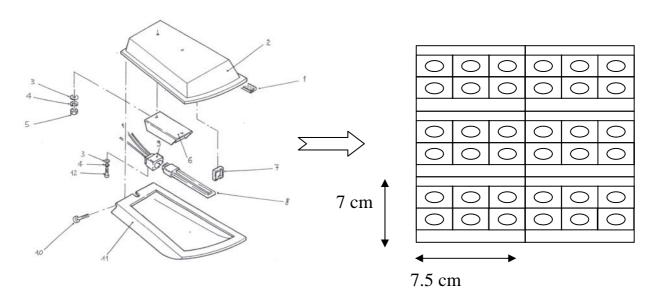


Figura 47: Assieme della plafoniera tipo 3 disposizione dei moduli.

Per la verifica di soddisfacimento dei valori richiesti d'illuminamento, le misure sono effettuate sui due piani del convoglio, sia per l'illuminazione normale che quella di soccorso seguendo le fiche UIC 555.

Nel calcolo illuminotecnico è stata presa in riferimento una superficie a 80 cm dal pavimento (superficie utile) e, in corrispondenza di questa, ricavati i valori d'illuminamento per verificare il soddisfacimento delle specifiche.

8.1 ILLUMINAZIONE NORMALE

Per illuminazione normale s'intende quella dove tutte le lampade sono in funzione e quindi non sono presenti guasti o disservizi. Con Dialux è stato possibile ricostruire gli interni della carrozza ferroviaria con le rispettive poltrone e le scale a chiocciola per la salita al piano superiore (figura 48,49).

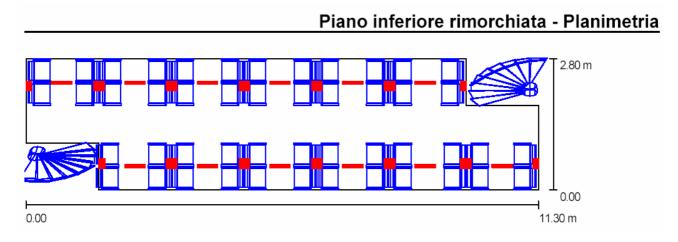


Figura 48: Planimetria del piano inferiore rimorchiata.

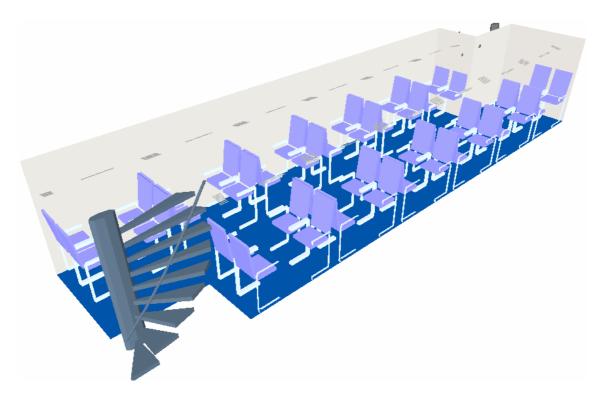


Figura 49: Rendering 3D del locale.

Nel caso d'illuminazione con normale funzionamento, tutti i LED corrispondenti ai diversi tipi di lampade sono accesi. Nella seguente figura sono state riportate le isolinee sulla superficie utile, vale a dire l'unione dei punti aventi lo stesso livello d'illuminamento (figura 50). Sono stati fatte le misure su un reticolo di 69x17 punti con un totale di 1173 valori ricavati. Dai risultati si nota un valore medio d'illuminamento di 776 Lux, 70 Lux minimi mentre 1084 Lux è il valore massimo riscontrato.

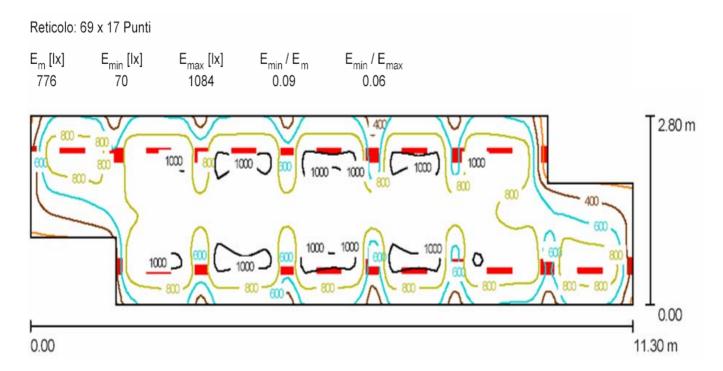


Figura 50: Isolinee sulla superficie utile.

8.2 ANALISI DEI RISULTATI PER ILLUMINAZIONE NORMALE

Dopo aver svolto i calcoli con Dialux possiamo riportare i risultati nelle seguenti tabelle: ad ogni punto di misura è associato un valore d'illuminamento in Lux. La planimetria è stata suddivisa in 7 settori in ognuno dei quali sono riportate le ascisse e le ordinate dei punti dove sono state fatte le misure illuminotecniche. Ad esempio nel punto di coordinate (0.082 m,1.071m) il valore riscontrato è di 223 Lux.

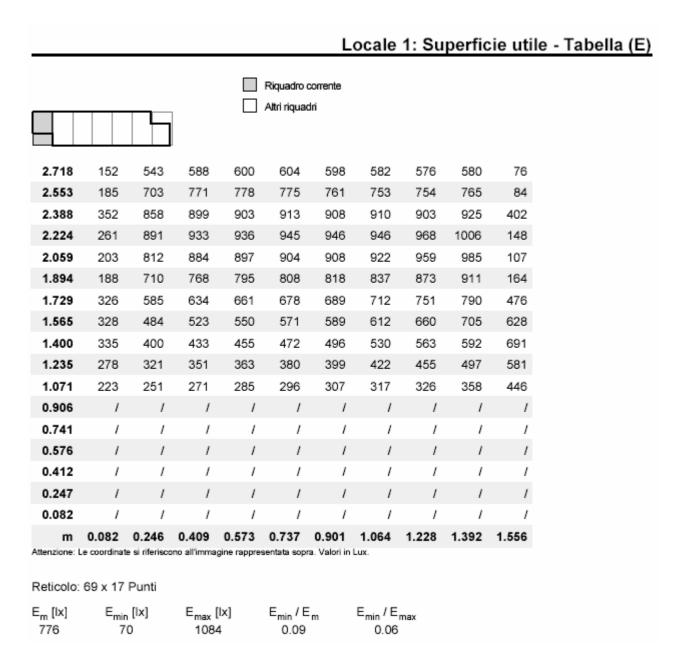


Tabella 13: Risultati per illuminazione normale nel settore 1.

						L	ocale	1: Su	perfic	ie uti	le - Tabella (E
П					Riquadro Altri riqua						
2.718	506	592	593	594	594	590	587	583	557	76	
2.553	673	767	769	771	774	771	763	767	739	83	
2.388	913	935	939	940	936	936	941	928	939	632	
2.224	885	997	979	1007	1003	1000	1006	1032	1025	172	
2.059	889	999	982	984	983	986	1008	1038	1017	136	
1.894	836	937	925	930	931	937	961	997	989	248	
1.729	834	890	861	852	863	869	896	935	952	566	
1.565	783	843	827	815	828	830	858	907	929	750	
1.400	765	790	800	808	821	838	863	895	909	907	
1.235	738	777	800	815	827	837	863	913	934	720	
1.071	750	809	841	858	870	879	902	940	953	580	
0.906	791	875	916	932	941	950	973	953	936	243	
0.741	803	943	984	989	1001	1009	1032	994	959	138	
0.576	812	952	987	999	1020	1028	1038	998	976	193	
0.412	754	887	927	939	967	970	976	978	992	563	
0.247	626	724	783	804	808	809	818	825	806	81	
0.082	478	556	596	615	630	629	625	631	617	75	
m	1.720	1.883	2.047	2.211	2.375	2.538	2.702	2.866	3.030	3.193	
Attenzione: Le coordinate si riferiscono all'immagine rappresentata sopra. Valori in Lux. Reticolo: 69 x 17 Punti											
E _m [lx] 776	E _{min} [lx] E _{max} [lx] 70 1084				E _{min} / E 0.09	m	E _{min} / E 0.06				

Tabella 14:Risultati per illuminazione normale nel settore 2.

		Locale 1: Superficie utile - Tabella (E)											
Riquadro corrente Altri riquadri													
2.718	573	581	587	601	608	596	593	596	519	75			
2.553	759	765	768	773	778	781	782	784	684	84			
2.388	939	934	950	952	955	954	953	949	934	488			
2.224	1049	1040	1017	1013	1011	1013	1020	1046	931	153			
2.059	1055	1059	1036	1010	1006	1007	1033	1058	922	148			
1.894	1026	1015	985	962	959	959	985	1017	891	228			
1.729	985	954	920	897	895	895	922	956	905	582			
1.565	953	930	885	863	861	863	888	937	911	807			
1.400	925	907	882	866	860	868	884	911	923	911			
1.235	950	923	882	860	860	853	878	924	888	772			
1.071	979	949	910	892	891	888	909	942	894	586			
0.906	1016	1014	984	957	952	958	973	1000	879	233			
0.741	1056	1060	1037	1011	1005	1007	1024	1044	915	135			
0.576 0.412	1063 972	1057 966	1039 969	1021	1015 962	1026 961	1030 958	1047	951	208 419			
0.412	798	803	800	965 801	798	792	790	956 795	928 692	83			
0.082	602	621	618	617	617	611	612	615	525	74			
0.002 m	3.357	3.521	3.685	3.849	4.012	4.176	4.340	4.504	4.667	4.831			
Attenzione: I								4.504	4.007	4.031			
Reticolo:	69 x 17	Punti											
E _m [lx] 776	E _{min} [lx] E _{max} [lx] 70 1084				E _{min} / E 0.09	m	E _{min} / E _{max} 0.06						

Tabella 15: Risultati per illuminazione normale nel settore 3.

	Locale 1: Superficie utile - Tabella (E)											
					Riquadro Altri riqua							
2.718	593	604	599	601	605	597	595	597	450	<u>70</u>		
2.553	787	786	787	783	782	781	785	794	587	<u>70</u>		
2.388	965	960	970	962	959	961	957	962	725	70		
2.224	1039	1033	1030	1019	1016	1018	1030	1054	771	<u>70</u>		
2.059	1048	1053	1037	1020	1014	1016	1046	1073	773	<u>70</u>		
1.894	1017	1005	988	970	965	969	998	1029	730	<u>70</u>		
1.729	981	955	921	904	901	907	934	965	847	757		
1.565	957	925	882	867	866	869	900	943	860	857		
1.400	927	905	882	867	863	873	893	917	919	921		
1.235	948	915	877	862	861	866	895	938	845	838		
1.071	963	941	910	894	893	896	921	954	838	752		
0.906	1026	1013	982	965	962	964	989	1017	715	<u>70</u>		
0.741	1069	1068	1037	1018	1015	1015	1042	1064	774	<u>70</u>		
0.576	<u>1084</u>	1064	1041	1029	1024	1026	1038	1061	769	<u>70</u>		
0.412	995	975	977	970	966	967	953	960	728	<u>70</u>		
0.247	818	813	806	800	796	795	790	793	592	<u>70</u>		
0.082	622	619	615	620	622	609	604	608	455	<u>70</u>		
m Attenzione:	4.995	5.159	5.322	5.486	5.650	5.814	5.978	6.141	6.305	6.469		
Attenzione: I	Attenzione: Le coordinate si riferiscono all'immagine rappresentata sopra. Valori in Lux.											
Reticolo:	69 x 17	Punti										
E _m [lx] 776												

Tabella 16:Risultati per illuminazione normale nel settore 4.

	Locale 1: Superficie utile - Tabella (E)											
					Riquadro Altri riqua							
2.718	598	597	601	604	600	596	597	588	75	522		
2.553	777	792	785	784	780	776	777	778	83	682		
2.388	951	950	968	958	952	955	946	951	279	899		
2.224	1033	1027	1030	1014	1014	1011	1030	1052	123	893		
2.059	1049	1040	1024	1012	1009	1017	1050	1064	99	900		
1.894	1012	993	977	963	959	972	1001	1028	191	843		
1.729	969	939	905	889	883	887	905	939	626	902		
1.565	947	907	866	860	852	859	888	923	795	892		
1.400	924	898	874	859	854	863	880	901	890	898		
1.235	946	904	869	859	853	857	890	925	761	870		
1.071	962	934	902	892	888	894	920	944	612	890		
0.906	1025	1004	974	962	958	968	994	1017	189	833		
0.741	1072	1061	1027	1014	1011	1022	1055	1067	101	893		
0.576	1072	1055	1040	1028	1025	1027	1046	1074	157	906		
0.412	984	975	976	970	964	968	967	987	250	865		
0.247	813	808	806	802	796	798	807	820	84	664		
0.082	619	622	613	621	623	616	611	617	76	505		
m	6.633	6.796	6.960	7.124	7.288	7.451	7.615	7.779	7.943	8.107		
Attenzione: Le coordinate si riferiscono all'immagine rappresentata sopra. Valori in Lux.												
Reticolo: 69 x 17 Punti												
E _m [lx] 776	E _{min} [lx] E _{max} [lx] 70 1084				E _{min} / E 0.09		E _{min} / E 0.06					

Tabella 17:Risultati per illuminazione normale nel settore 5.

	Locale 1: Superficie utile - Tabella (E)										
					Riquadro Altri riqua						
					- unique	un					
2.718	608	603	597	603	590	572	557	523	<u>70</u>	1	
2.553	795	790	783	770	759	745	725	679	<u>70</u>	1	
2.388	962	956	949	931	906	870	856	829	<u>70</u>	1	
2.224	1018	997	1005	984	960	929	917	882	<u>70</u>	1	
2.059	1033	1012	997	973	950	927	920	878	<u>70</u>	1	
1.894	991	962	942	918	896	878	861	824	<u>70</u>	1	
1.729	933	896	858	840	823	808	792	763	486	414	
1.565	913	861	818	800	785	771	755	736	624	531	
1.400	880	854	821	795	776	763	757	749	704	633	
1.235	904	852	809	792	785	766	775	799	731	568	
1.071	926	887	849	831	815	801	807	838	779	443	
0.906	995	960	922	900	883	873	887	906	785	150	
0.741	1044	1015	975	954	935	925	945	976	843	98	
0.576	1042	1020	998	982	964	959	956	987	881	174	
0.412	947	939	941	922	902	893	891	901	876	349	
0.247	782	788	772	769	757	743	740	748	645	83	
0.082	606	600	597	593	584	578	578	583	491	75	
m 8.270 8.434 8.598 8.762 8.925 9.089 9.253 9.417 9.580 9.744 Attenzione: Le coordinate si riferiscono all'immagine rappresentata sopra. Valori in Lux.											
Attenzione: I	Le coordinat	e si riterisco	ono all'imma	gine rappre	sentata sop	ra. Valori in	Lux.				
Reticolo:	69 x 17	Punti									
E _m [lx] 776	E _{min} [Ix] E _{max} [Ix] E _{min} / E _m 70 1084 0.09						E _{min} / E 0.06				

Tabella 18:Risultati per illuminazione normale nel settore 6.

						Local	e 1։ Տւ	ıperfic	ie utile
					adro corrent riquadri	е			
2.718	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.553	1	1	1	/	1	/	/	1	1
2.388	1	/	1	1	1	1	1	1	1
2.224	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.059	1	/	/	/	/	/	/	/	1
1.894	1	1	1	1	/	/	1	/	1
1.729	348	323	314	306	296	286	272	252	224
1.565	474	448	417	396	381	365	352	323	279
1.400	572	549	526	498	473	455	435	403	340
1.235	685	656	614	587	573	552	528	487	329
1.071	781	750	717	692	681	667	641	590	321
0.906	894	866	833	809	800	789	765	708	181
0.741	977	958	926	905	899	892	881	810	195
0.576	1014	981	956	951	947	934	932	891	243
0.412	948	917	915	913	916	904	899	857	352
0.247	792 604	778	773	772	782	781 605	774	703	180
		596	598	607	611	605	590	544	149
	9.908 Le coordinate		10.236 all'immagine	10.399 rappresentat	10.563 a sopra. Valo	10.727 ri in Lux.	10.891	11.054	11.218
E _m [lx] 776	x] E _{min} [Ix] E _{max} [Ix]				_{in} / E _m 0.09	E _{min} /			

Tabella 19:Risultati per illuminazione normale nel settore 7.

Dall'analisi delle tabelle con i valori d'illuminamento si vede che per ogni "modulo sedili" nei piani mediani verticali di ciascun sedile, secondo le specifiche, ad un'altezza di 80 cm dal pavimento (sulla superficie utile) ed ad una distanza di 60 cm dallo schienale possiamo vedere come i valori d'illuminamento in Lux siano superiori ai 250 Lux richiesti.

Nel "corridoio centrale" nel piano mediano verticale ad un'altezza di 80 cm dal pavimento, le misure effettuate alle estremità del corridoio e nel centro portano a dire che anche in questo caso le specifiche sono soddisfatte.

Dall'analisi delle tabelle notiamo come le zone meno illuminate siano quelle alle estremità del corridoio, in particolare abbiamo valori di 335 e 340 Lux.

Questi risultati a prima vista possono sembrare elevati, ma dobbiamo considerare anche l'effetto della temperatura della giunzione che comporta a seconda del dissipatore impiegato, una perdita del 10-13 % arrivando quindi a valori prossimi a 300 Lux.

Con l'eventuale impiego di uno schermo diffusore opalino, avremo un'altra riduzione di flusso di circa 10 %, arrivando quindi a valori prossimi ai 270 Lux.

Nella zona centrale del corridoio e in corrispondenza dei sedili, i valori d'illuminamento sono molto più alti rispetto alle richieste delle specifiche, quindi nelle lampade situate in questa zona potremmo addirittura considerare di togliere un modulo da 6 LED.

Questo si spiega perché nelle lampade fluorescenti una parte del flusso emesso va a colpire lo schermo riflettente con conseguente perdita, mentre nei LED tutto il flusso è emesso verso il basso quindi si migliora l'illuminazione ottenendo gli stessi risultati con un flusso sferico minore. Un aspetto rilevante da considerare è però il consumo che nel sistema a LED risulta essere allo stato attuale molto più alto.

Mentre l'efficienza di un LED è compresa tra 20-30 lm/W, nel caso di lampade fluorescenti arriviamo a 70-80 lm/W, e quindi un consumo quattro volte inferiore. Questo comporta che il sistema non sia economicamente vantaggioso, anche se a favore ha il vantaggio della maggiore durata. Nel corso della vita di una carrozza

Capitolo 8

ferroviaria si dovranno fare numerosi interventi di manutenzione per sostituire le lampade fluorescenti, con costi aggiuntivi sia di manodopera sia di materiale, che si riducono nel

caso del sistema a LED. La vita media di una lampada fluorescente è di circa 1-2 anni contro i 5-10 di un LED d'alta potenza.

8.3 ILLUMINAZIONE DI SOCCORSO

Il sistema dovrà essere in grado, in caso di guasti, di fornire un'illuminazione di soccorso per consentire ai viaggiatori di dirigersi verso le uscite. In tal caso solo la linea L_S (linea di soccorso) è alimentata e quindi nella simulazione sono presenti solo i moduli a LED collegati ad essa (figura 51,52).

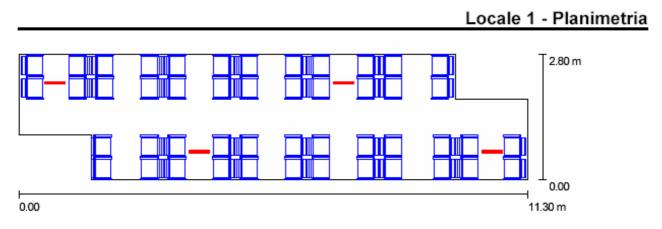


Figura 51: Planimetria piano inferiore rimorchiata.

Sono 4 plafoniere del tipo 9 da 13 W ciascuna disposte come raffigurato nella planimetria.

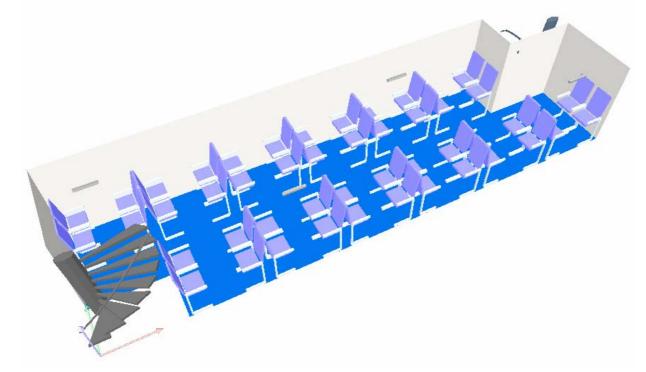


Figura 52: Rendering 3D del locale.

Nella seguente figura sono state riportate le isolinee sulla superficie utile, vale a dire l'unione dei punti aventi lo stesso livello d'illuminamento. Si nota dai risultati un valore medio d'illuminamento di 81 Lux, 6.96 Lux minimi mentre 363 Lux è il valore massimo riscontrato.

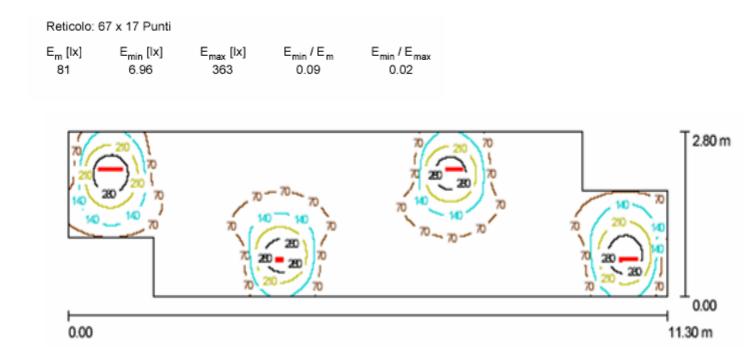


Figura 53: Isolinee sulla superficie utile.

8.4 ANALISI DEI RISULTATI ILLUMINAZIONE DI SOCCORSO

Dopo i calcoli effettuati con il programma illuminotecnica, possiamo riportare i risultati nelle seguenti tabelle: ad ogni punto di misura è associato un valore d'illuminamento in Lux.

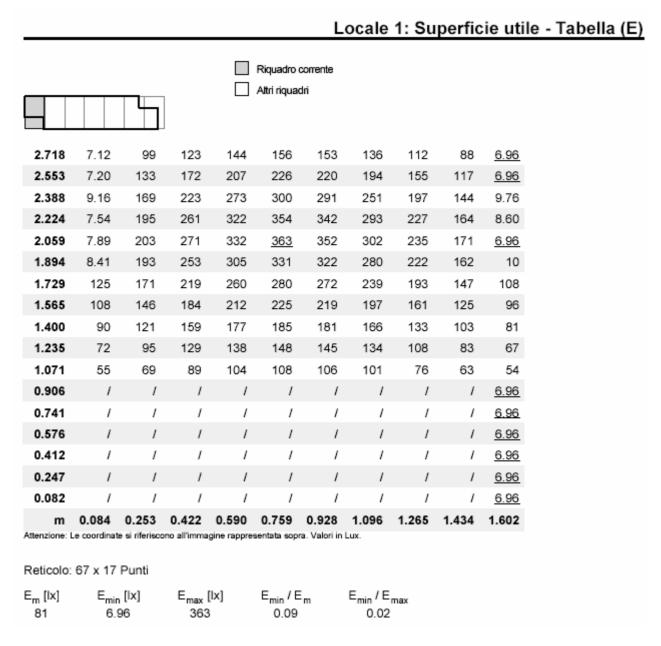


Tabella 20:Risultati per illuminazione di soccorso nel settore 1.

						L	ocale	1: Su	perfic	ie uti	le - Tabella (E	:)
					Riquadro Altri riqua							
2.718	9.88	10	11	14	18	16	13	11	6.96	6.96		
2.553	10	11	12	15	21	21	15	12	6.96	6.96		
2.388	11	54	41	34	29	26	20	14	6.96	6.96		
2.224	11	12	14	19	26	28	28	17	6.96	6.96		
2.059	11	14	15	20	28	31	32	29	13	6.96		
1.894	14	15	16	22	30	34	35	37	19	6.96		
1.729	66	16	17	23	32	36	39	43	48	55		
1.565	73	58	43	34	35	39	43	49	58	68		
1.400	65	53	45	41	40	42	47	56	68	84		
1.235	55	47	42	37	34	38	51	63	80	103		
1.071	46	41	38	34	27	17	15	29	91	122		
0.906	38	37	35	32	26	16	14	13	6.96	6.96		
0.741	22	32	31	29	24	15	13	12	6.96	6.96		
0.576	12	26	28	27	22	13	12	11	6.96	6.96		
0.412	12	16	25	27	31	37	47	44	6.96	6.96		
0.247	11	12	19	22	18	12	11	10	6.96	6.96		
0.082	10	12	14	18	17	11	11	10	6.96	6.96		
m	1.771	1.940	2.108	2.277	2.446	2.614	2.783	2.951	3.120	3.289		
Attenzione: I	Le coordinat	e si mensco	ono all'imma	gine rappre	sentata sopi	ra. Valori in	Lux.					
Reticolo:	67 x 17	Punti										
E _m [lx] E _{min} [lx] E _{max} [lx] E _{min} / E _m E _{min} / E _n 81 6.96 363 0.09 0.02												

Tabella 21:Risultati per illuminazione di soccorso nel settore 2.

						L	.ocale	1: Su	perfic	ie uti	le - Tabella
					Riquadro Altri riqua						
2.718	18	19	19	19	19	19	18	18	6.96	10	
2.553	21	22	22	23	23	22	21	20	6.96	11	
2.388	25	27	29	29	29	27	26	24	6.96	12	
2.224	30	32	33	34	34	33	31	28	6.96	12	
2.059	37	40	42	43	43	41	38	35	6.96	13	
1.894	46	51	55	57	56	53	49	43	37	38	
1.729	62	69	75	77	76	72	65	58	51	44	
1.565	80	92	101	106	104	96	86	73	62	52	
1.400	103	122	137	144	141	129	111	92	75	61	
1.235	131	160	185	196	192	172	144	114	89	69	
1.071	161	204	239	257	250	221	179	138	103	62	
0.906	186	243	292	317	307	266	211	154	6.96	12	
0.741	197	262	322	352	340	291	225	163	6.96	11	
0.576	190	254	313	343	330	282	217	157	6.96	11	
0.412	165	217	264	288	278	239	188	138	8.56	11	
0.247	130	168	200	216	209	183	146	111	<u>6.96</u>	10	
0.082	97	120	139	149	145	129	107	84	6.96	9.89	
m Attenzione:	3.457	3.626	3.795	3.963	4.132	4.301	4.469	4.638	4.807	4.975	
Attenzione: Le coordinate si riferiscono all'immagine rappresentata sopra. Valori in Lux. Reticolo: 67 x 17 Punti											
E _m [lx] 81					E _{min} / E 0.09	m	E _{min} / E 0.02				

Tabella 22:Risultati per illuminazione di soccorso nel settore 3.

		Locale 1: Superficie utile - Tabella (E)										
					Riquadro (Altri riquad							
2.718	12	14	17	17	11	11	10	6.96	6.96	98		
2.553	12	18	22	18	12	11	10	6.96	6.96	131		
2.388	14	24	27	31	37	48	41	6.96	6.96	166		
2.224	23	28	27	22	13	12	11	6.96	6.96	192		
2.059	31	31	29	24	14	13	12	6.96	6.96	198		
1.894	35	34	32	26	16	14	12	<u>6.96</u>	<u>6.96</u>	188		
1.729	40	37	34	27	17	15	31	91	122	162		
1.565	45	41	36	34	37	51	63	80	103	131		
1.400	50	44	40	40	42	47	56	69	85	103		
1.235	56	42	33	35	39	43	49	58	69	81		
1.071	14	16	22	31	36	39	42	48	55	62		
0.906	13	15	21	30	34	35	37	<u>6.96</u>	<u>6.96</u>	46		
0.741	12	14	19	28	31	31	28	6.96	6.96	37		
0.576	12	13	18	25	28	28	13	<u>6.96</u>	6.96	30		
0.412	54	41	33	28	26	19	12	6.96	6.96	25		
0.247	11	12	15	21	20	13	12	6.96	6.96	21		
0.082	10	11	14	18	16	12	11	6.96	6.96	18		
m	5.144	5.313	5.481	5.650	5.819	5.987	6.156	6.325	6.493	6.662		
Attenzione: Le coordinate si riferiscono all'immagine rappresentata sopra. Valori in Lux. Reticolo: 67 x 17 Punti												
E _m [lx] 81					E _{min} / E 0.09		E _{min} / E 0.02					

Tabella 23:Risultati per illuminazione di soccorso nel settore 4.

						L	ocale	1: Su	perfic	ie util	e - Tabella
					Riquadro e						
				П	Altri riqua	an					
2.718	121	140	149	145	129	107	84	6.96	9.64	10	
2.553	169	200	216	209	182	145	110	6.96	9.92	10	
2.388	219	265	288	277	238	186	137	6.96	10	53	
2.224	256	314	342	330	280	216	156	6.96	11	11	
2.059	264	324	352	339	289	223	161	6.96	11	12	
1.894	244	293	317	306	265	209	153	6.96	11	13	
1.729	204	240	257	249	219	178	136	102	57	13	
1.565	161	185	196	191	171	142	113	88	68	54	
1.400	122	137	144	141	129	111	91	74	60	49	
1.235	92	101	106	104	96	85	73	61	51	44	
1.071	69	75	77	76	71	65	57	50	44	39	
0.906	51	55	57	56	53	48	43	37	37	34	
0.741	40	42	43	43	41	38	35	6.96	16	31	
0.576	32	33	34	34	32	31	28	<u>6.96</u>	14	23	
0.412	26	29	29	29	27	26	24	6.96	11	15	
0.247	22	22	23	23	22	21	20	6.96	11	12	
0.082	19	19	19	19	19	18	18	6.96	10	11	
m Attenzione: l	6.831 Le coordinate	6.999	7.168	7.337	7.505	7.674	7.843	8.011	8.180	8.349	
AMERICANIE: 1	Le coordinate	a al menaco	no an inima	Aure Labbier	зентам ворг	a. valuii in	LUA.				
Reticolo:	67 x 17	Punti									
E _m [lx] 81	E _{min}		E _{max} 363		E _{min} / E 0.09	m	E _{min} / E 0.02				

Tabella 24:Risultati per illuminazione di soccorso nel settore 5.

						L	ocale	1: Su	perfic	ie utile	e - Tabella (E)
		ТҺ			Riquadro o Altri riquad						
2.718	11	14	18	16	12	11	9.89	6.96	/	1	
2.553	11	15	20	20	14	11	10	6.96	1	1	
2.388	40	32	27	25	20	12	11	6.96	1	1	
2.224	12	18	25	27	27	14	11	6.96	1	1	
2.059	13	19	27	29	30	31	12	6.96	1	1	
1.894	14	21	29	32	33	35	22	6.96	1	1	
1.729	15	22	30	34	37	40	46	53	63	76	
1.565	41	32	33	36	40	46	54	66	83	107	
1.400	42	39	37	39	44	51	64	81	103	133	
1.235	39	36	33	32	42	57	72	95	125	160	
1.071	36	34	30	21	16	15	65	108	147	192	
0.906	33	32	29	21	15	15	13	10	162	222	
0.741	30	30	27	19	14	13	11	6.96	171	235	
0.576	27	27	25	18	13	11	10	8.59	164	227	
0.412	23	25	28	33	41	54	11	8.96	144	197	
0.247	18	22	21	15	12	10	9.89	6.96	117	155	
0.082	14	18	18	14	11	10	9.62	<u>6.96</u>	88	112	
m	8.517	8.686	8.854	9.023	9.192	9.360	9.529	9.698	9.866	10.035	
Attenzione: I	Le coordinat	e si riferisco	ono all'imma	gine rappre	sentata sopr	a. Valori in	Lux.				
Reticolo:	67 x 17	Punti									
E _m [lx] 81	E _{mir}	, [lx] 96	E _{max} 363		E _{min} / E 0.09	m	E _{min} / E 0.02				

Tabella 25:Risultati per illuminazione di soccorso nel settore 6.

						Locale	1: Su	perficie utile - Tabella (E)			
		4		_	dro corrente quadri						
2.718	/	1	1	1	1	1	1				
2.553	1	1	1	1	1	1	1				
2.388	1	1	1	1	1	1	1				
2.224	1	1	1	1	1	1	1				
2.059	/	1	1	/	1	1	1				
1.894	1	1	1	1	1	1	1				
1.729	101	105	108	104	89	69	54				
1.565	134	144	147	138	129	95	72				
1.400	166	181	185	177	159	121	90				
1.235	197	219	225	212	184	146	108				
1.071	238	271	279	259	219	170	125				
0.906	279	322	331	305	253	193	8.41				
0.741	302	352	<u>363</u>	332	271	203	7.89				
0.576	293	342	353	322	261	195	7.54				
0.412	251	291	300	273	223	169	9.16				
0.247	194	220	226	207	172	133	7.20				
0.082	136	153	156	144	123	99	7.12				
	m 10.204 10.372 10.541 10.710 10.878 11.047 11.216 Attenzione: Le coordinate si riferiscono all'immagine rappresentata sopra. Valori in Lux.										
Reticolo:	67 x 17 P	unti									
E _m [lx] 81	E _{min} [lx] E _{max} [lx] 6.96 363				,/E _m .09	E _{min} / E _{max} 0.02					

Tabella 26:Risultati per illuminazione di soccorso nel settore 7.

Dall'analisi delle tabelle si vede che in ogni "modulo sedili" nei piani mediani verticali di ciascun sedile, secondo le specifiche, ad un'altezza di 80 cm dal pavimento (sulla superficie utile) ed ad una distanza di 60 cm dallo schienale, possiamo vedere come i valori d'illuminamento in Lux siano superiori ai 5 Lux richiesti.

Nel "corridoio centrale" nel piano mediano verticale, ad un'altezza di 80 cm dal pavimento, le misure effettuate all'estremità del corridoio e nel centro, portano a dire che anche in questo caso le specifiche sono soddisfatte.

Questi valori sono mediamente elevati, ma dobbiamo considerare anche l'effetto della temperatura della giunzione che comporta secondo il dissipatore impiegato, una perdita del 10-13 % arrivando quindi a valori minimi prossimi a 6 Lux. Se è presente uno schermo diffusore in policarbonato allora si deve considerare un'ulteriore riduzione del 10% arrivando quindi a valori di poco superiori ai 5 Lux.

9.- MISURE ILLUMINOTECNICHE

Sono state eseguite delle misure di tipo illuminotecnico nel laboratorio dell'università di Pisa per verificare il corretto funzionamento del dispositivo luminoso e testarlo in diverse condizioni di prova. Il banco prova è stato collocato all'interno della camera schermata del dipartimento di sistemi elettrici e automazione per annullare ogni tipo d'illuminazione esterna e quindi non desiderata. E' stato montato un Luxeon Star LED ad un dissipatore tramite una colla ad alta conducibilità termica e saldati due conduttori alle piazzole dell'anodo e del catodo per effettuare i collegamenti elettrici dell'alimentazione. Una lente è stata posta sul LED per concentrare il flusso luminoso all'interno di un cono avente un angolo solido di 45°.

Strumenti di misura impiegati:

- ✓ Alimentatore HEWLETT PACKRD (0-6V; 2.5 A);
- ✓ Sensore di temperatura TEK DMM;
- ✓ Luxmetro.

I componenti utilizzati sono:

Luxeon Star LED LXHL-MW1D tipo Lambertian;



Codice	Flusso [Lumen]	Tensione [V]	Corrente [A]	R _{j-B} [°C/W]
LXHL-MWD1	25	3.48	0.350	20

Figura 54: Luxeon Star LED e caratteristiche tecniche.

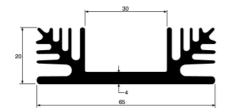
> Lente;



Codice	Tipo	Bianco [Gradi]	Intensità sull'asse [Cd* Lumen]
FHS-HWB1-LL01-x	Wide Beam	45°	1.8

Figura 55: Lente Fraen 45° e caratteristiche tecniche.

➤ Dissipatore con Resistenza Termica 3.3 °C/W in alluminio;



Tipo	Resistenza termica [°C/W]	Lu [cm]	La [cm]	H [cm]
Alluminio	3.3	6.4	5	20

Figura 56: Dissipatore e caratteristiche tecniche.

Dopo aver collegato gli elementi otteniamo il seguente dispositivo (figura 57):

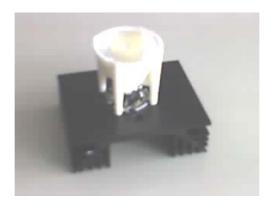


Figura 57: Dispositivo di prova.

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. 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.

Utilizzando il modello termico analizzato nei precedenti capitoli è possibile ricavare la massima temperatura alla quale andrà a lavorare la giunzione. Dalla (5.1.3) si calcola la potenza da dissipare:

$$Pd = V*I = 3.48*0.35 = 1.2 W$$

La $R\theta_{J-B}$, la resistenza termica tra giunzione e scheda per ogni singolo emettitore è $20 \text{ C}^{\circ}/\text{W}$ (da documentazione tecnica).

A questa si somma la $R\theta_{B-A}$ del nostro dissipatore per ottenere la resistenza totale (5.1.4):

$$R\theta_{J-A} = R\theta_{J-B} + R\theta_{B-A} = 20 + 3.3 = 23.3 \text{ C}^{\circ}/\text{W}$$

Per fare dei calcoli più precisi occorre tenere in considerazione il contributo della pasta per il collegamento scheda-dissipatore approssimabile a 3 °C/W.

Il valore della resistenza termica tra giunzione e ambiente è quindi:

$$R\theta_{J-A} = 26.3 \, ^{\circ}\text{C/W}$$

Essendo

$$R\theta_{J-A} = (T_J - T_A)/P$$

Risulta dalla (5.2.5):

$$T_{\rm J} = R\theta_{\rm J\text{-}A}*P + T_{\rm A} = 26.3 \, * \, 1.2 + 22 = 53.6 \, ^{\circ}C$$

Il valore della temperatura ambiente è di 22°C e 3.3 C°/W è la resistenza termica convettiva con l'ambiente esterno che ha il dissipatore.

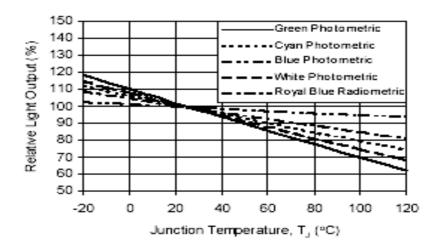


Figura 58: Grafico dell'emissione luminosa in funzione ella Tj (da datasheet).

Considerando il grafico dell' emissione luminosa in funzione della temperatura della giunzione (figura 58) si nota che con Tj di 53.6 °C abbiamo una riduzione di circa 10%.

Per eseguire le misure il LED è stato collegato all'alimentatore e posto su un banco prova (figura 59) ad un'altezza di 1 metro dal pavimento.



Figura 59: Banco di prova.

> Caratteristica Tensione/Corrente

Per ricavare la caratteristica il LED è stato alimentato con valori di corrente e tensione crescenti.

Tensione	Corrente
[V]	[A]
2.93	0.05
3.13	0.1
3.25	0.15
3.31	0.2
3.40	0.25
3.47	0.3
3.48	0.35
3.55	0.4

Tabella 26: Misure di tensione e corrente.

E' possibile confrontare il grafico fornito dai datasheet (figura 60) con quello ottenuto dalle misure (figura 61) e verificare la bontà delle misure effettuate.

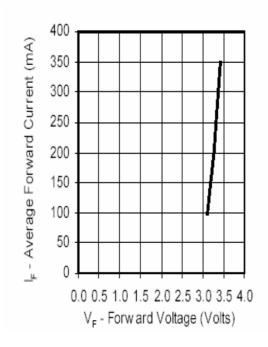


Figura 60: Grafico tensione/corrente da datasheet.

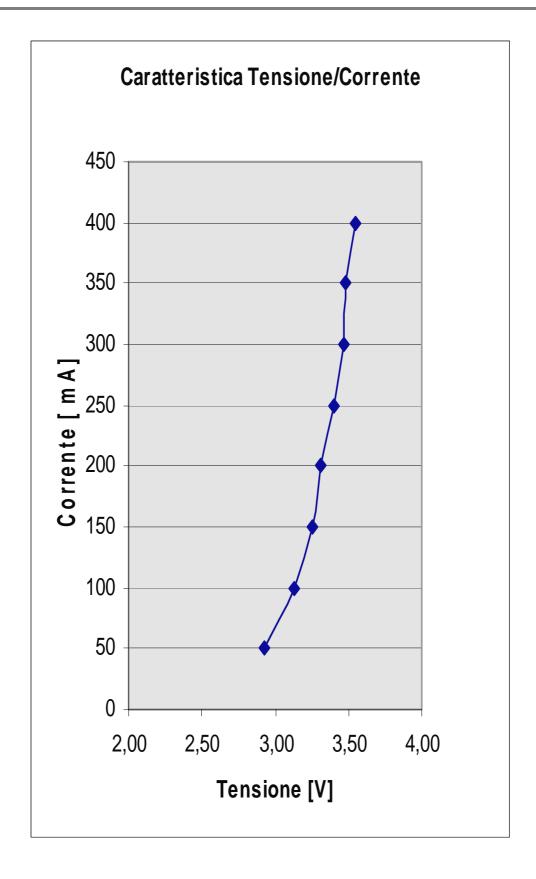


Figura 61: Grafico tensione/corrente da misure.

➤ Misure d'illuminamento



Figura 62: Misure illuminotecniche del LED con lente Fraen.

I valori ottenuti (tabella 27) sono stai ricavati alla distanza di 1 metro in direzione perpendicolare alla posizione del LED, vale a dire lungo l'asse d'emissione con applicata una lente Fraen che indirizza il fascio luminoso all'interno di un cono d'angolo 45° (figura 62).

Tensione	Corrente	Illuminamento
[V]	[A]	[Lux]
3.48	0.35	34
3.31	0.2	19
2.93	0.05	5

Tabella 27: Misure di illuminamento.

E' possibile confrontare le misure ottenute con i valori forniti dai datasheet (figura 63) delle lenti e verificare l'esattezza delle misure effettuate.

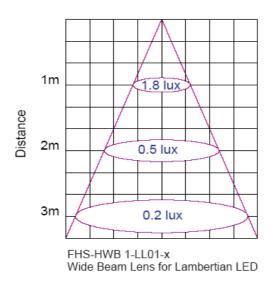


Figura 63: Valori di illuminamento da datasheet.

Se al LED è applicata una lente di 45° essa deve fornire un illuminamento di 1.8 Lux per Lumen alla distanza di 1 metro lungo l'asse di emissione (valore massimo). Questo valore è ottenuto alimentando con i valori nominali (0.35 A e 3.48 V).

Il LED in questione ha 25 Lumen di flusso luminoso quindi moltiplicando per 1.8 lux otteniamo il valore che dovremmo misurare ad un metro di distanza, cioè 45 Lux. Dobbiamo però considerare l'efficienza delle lenti dell'85%, quindi una diminuzione dell' emissione luminosa del 15 % a cui si somma un'altra riduzione del 10% dovuta alla temperatura della giunzione ($T_j \cong 53.6$ °C) superiore ai 25°C dei datasheet.

Il valore finale quindi che otteniamo è il 25% di 45 Lux cioè circa 34 Lux, il valore ottenuto dalle misure.

Sono state eseguite infine delle misure di illuminamento a varie distanze in direzione perpendicolare all'asse del LED.

Distanza	Illuminamento con Lente [Lux]	Illuminamento senza Lente [Lux]
100 m	34	8
53 cm	113	25
25 cm	504	93

Tabella 28: Illuminamento con lente e senza lente.

Si nota che quando è applicata la lente l'illuminamento è molto superiore perché essa concentra il flusso luminoso all'interno del cono di 45°.

Dalla seguente immagine (figura 64) è possibile vedere come il flusso luminoso emesso dal LED sia simmetrico lungo l'asse.



Figura 64: LED acceso.

10.- CONCLUSIONI

Dopo aver analizzato il sistema d'illuminazione attuale a lampade fluorescenti delle carrozze ferroviari del TAF (Treno-Alta-Frequentazione) è stata valutata la possibilità di sostituirlo con un sistema a LED ad alta potenza che fornisca un adeguato livello d'illuminamento come richiesto dalle specifiche tecniche.

Il nuovo impianto dall'analisi dei risultati assolve la funzione d'illuminazione generale, e in caso di guasti, fornisce un'adeguata illuminazione di soccorso per consentire ai viaggiatori di dirigersi verso le uscite.

Con una vita utile compresa tra le 50.000 e le 100.000 ore (a temperatura di funzionamento ottimale), i moduli riducono drasticamente i costi di manutenzione e i costi d'esercizio grazie al fatto di essere costituiti da un semiconduttore attraversato da corrente.

I LED sono prodotti senza impiego di filamenti, elettrodi o tubi di vetro, una caratteristica che riduce i costi d'imballaggio e diminuisce notevolmente le possibilità di rottura durante il trasporto e l'installazione. Volendo fare delle considerazioni economiche vediamo che una plafoniera , ad esempio la tipo 9, ha un costo al dettaglio compreso tra 80 e 100 euro. Il costo di realizzazione della stessa plafoniera con il nuovo sistema è ipotizzabile attorno ai 100 euro considerando 1.5 euro il costo attuale di ogni LED e stimando i costi da sostenere per la scheda ad alta conducibilità termica, il dissipatore e il diffusore opalino.

Queste sorgenti luminose essendo dispositivi allo stato solido, non contengono parti in movimento, non rischiano di rompersi, guastarsi, perdere sostanze dannose o contaminare l'ambiente. La lunghezza d'onda della luce emessa dal LED, non comprende la banda di frequenza dei raggi ultravioletti e infrarossi presenti in tutte le altre sorgenti luminose in diverse misure; tali raggi causano invecchiamento precoce delle vernici e talvolta scolorimento dei tessuti, pelli e affini.

I moduli LED, progettati per il funzionamento fino a −30°C assicurano affidabilità d'accensione ed emissione del normale flusso luminoso anche alle basse temperature

e non presentano problemi nemmeno in ambienti molti freddi anche con temperature fino a -40 °C.

Dato che la tensione di funzionamento dei moduli LED è 24V DC, il loro impiego è disciplinato dalle normative per dispositivi a bassissima tensione e non è necessario l'impiego di un inverter come nelle lampade fluorescenti con un'ulteriore riduzione dei costi. Basse tensioni significano che non è necessario mantenere una distanza minima tra i moduli e le parti metalliche ed è quindi possibile avere maggiore libertà creativa nel design.

Questi dispositivi elettronici ultraluminosi però generano calore e lo trattengono al loro interno quindi è necessario che i cavi o l'involucro possono dissiparlo, quindi se non progettato correttamente avrà durata molto più breve del previsto.

L'illuminazione a LED offre un'efficienza energetica maggiore rispetto alle lampadine ad incandescenza e alla maggior parte delle sorgenti luminose alogene, e si sta rapidamente avvicinando ai valori delle lampade fluorescenti. Questo in particolare fa si che ancora un sistema d'illuminazione a LED non sia economicamente conveniente per quanto riguarda i consumi. Un LED bianco ha un'efficienza di 20-21 lumen per watt mentre le lampade fluorescenti di 70-80 lumen per watt con un consumo d'energia molto inferiore. Le prospettive sono però sicuramente favorevoli, la luce 'elettronica' punta nel medio termine al 50% del mercato dell'illuminazione generale di piccoli e grandi ambienti.

La ricerca e quindi le innovazioni tecnologiche stanno in ogni caso facendo passi da gigante nel settore dell'optoelettronica, esistono già in commercio LED colorati con efficienze molto elevate fino ai 40-50 lumen per ogni watt, ed addirittura ci sono in fase di studio, dispositivi ultraluminosi con consumi paragonabili a quelli delle lampade fluorescenti.

L'OSRAM, nel corso del prossimo anno, metterà in commercio un LED d'ultima generazione con caratteristiche fotometriche paragonabili alle lampade fluorescenti, con un'efficienza superiore ai 70 lumen per ogni watt consumato.

Quindi nei prossimo futuro il mondo dell'illuminazione attraverserà una profonda

evoluzione; i 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.

APPENDICE

A) Richiami d'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 v, è il numero d'oscillazioni compiute nell'unità di tempo;
- \triangleright lunghezza d'onda λ , distanza tra due massimi;
- **periodo** T, tempo per percorrere un'oscillazione completa T = 1/v.

Individuando con $c = 299,79 \times 106$ m/s la velocità della luce nel vuoto si ha:

$$C = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu \tag{A,1}$$

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 raggiante 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 dalla 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	l	watt/ m ²	lux s.b. (lm/m ²) *
intensità luminosa	I_{α}	watt/ sr	candela (cd)
luminanza	σ	watt/m ² sr	Cd/m ²

Tabella 29: Tabella riassuntiva grandezze fotometriche.

Lo steradiante (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 $Vm = V(\lambda_{MAX})$.

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

Si definisce **coefficiente di visibilità**:

$$\nu(\lambda) = \frac{V(\lambda)}{V_m} \qquad 0 \le \nu(\lambda) \le 1 \tag{A,2}$$

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:

$$\phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda = V_m \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda$$
(A,3)

Illuminamento

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

$$E = \frac{d\phi_{inc}}{dS} \tag{A,4}$$

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

$$E_m = \frac{\phi_{inc}}{S} \tag{A,5}$$

Radianza

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

$$I = \frac{d\phi_{em}}{dS} \tag{A,6}$$

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:

$$\frac{\Delta\phi_{em}}{\Delta S} = r \cdot \frac{d\phi_{inc}}{dS} \tag{A,7}$$

$$I = r \cdot E \tag{A,8}$$

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.

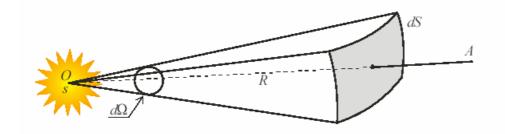


Figura 65: Rappresentazione angolo solido.

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

$$I_{\alpha} = \frac{d\phi}{d\Omega} \tag{A.9}$$

Si definisce **solido fotometrico** il luogo geometrico delle posizioni occupate dalla punta di \vec{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 m² che si comporta come un corpo nero alla temperatura di fusione del platino (2046 K) ed alla pressione di 1atm in direzione normale.

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.

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

Figura 66: Superficie per il calcolo della luminanza.

Relazioni tra grandezze fotometriche

relazione tra l'illuminamento E e l'intensità luminosa Iα:

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:

$$E = \frac{d\phi}{dA} \qquad I_{\alpha} = \frac{d\phi}{d\Omega} \qquad E = \frac{I_{\alpha} \cdot d\Omega}{dA} \tag{A.11}$$

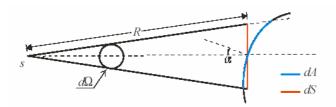


Figura 67: Angolo solido d Ω .

Essendo

$$d\Omega = \frac{dS}{R^2} \cong \frac{dA \cdot \cos \alpha}{R^2} \tag{A.12}$$

otteniamo:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot dA \cdot \cos \alpha}{R^2 \cdot dA} \Longrightarrow E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha}{R^2}$$
(A,13)

Si chiama **sorgente luminosa** un corpo che emette energia raggiante 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 λ = 1000nm. 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 = 100atm. L'aumento della pressione favorisce la collisione tra gli 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 giardini grazie ad campi da tennis, 0 serre, 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 di luminosa 80 lm/W 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:

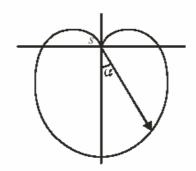


Figura 68: Curva fotometrica di apparecchi a luce diretta.

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

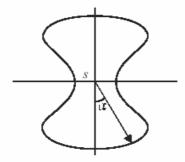


Figura 69: Curva fotometrica di apparecchi a luce diretta-indiretta.

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

Come già detto, 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 contenuto in un piccolo angolo solido. Sono costituiti da lenti o da specchi.

B) Datasheet LED (Luxeon Star e Golden Dragon)

power light source

Luxeon™ Star

Technical Datasheet DS23

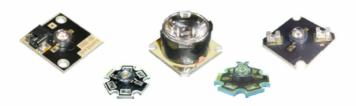
Luxeon is a revolutionary, energy efficient and ultra compact new light source, combining the lifetime and reliability advantages of Light Emitting Diodes with the brightness of conventional lighting.

Luxeon features one or more power light sources mounted onto an aluminum-core printed circuit board, allowing for ease of assembly, optimum cooling and accurate light center positioning.

For tight beams, optional and highly efficient collimating optics are available.

Luxeon Power Light Sources give you total design freedom and unmatched brightness, creating a new world of light.

For high volume applications, custom Luxeon power light source designs are available upon request, to meet your specific needs.



















Luxeon Star is available in white, warm white, green, blue, royal blue, cyan, red, red-orange and amber.

Features

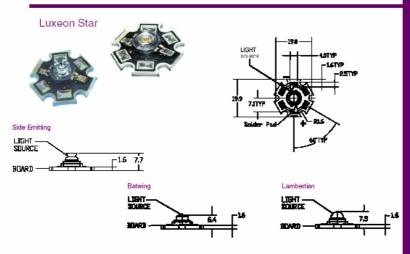
- Highest Flux per LED family in the world.
- Very long operating life (up to 100k hours)
- Available in White, Green, Blue, Royal Blue, Cvan, Red, Red-Orange and Amber
- Lambertian, Batwing, Side Emitting or Collimated Radiation Pattern
- More Energy Efficient than Incandescent and most Halogen lamps
- Low voltage DC operated
- Instant light (less than 100 ns)
- Fully dimmable
- Superior ESD protection

Typical Applications

- Reading lights (car, bus, aircraft)
- Portable (flashlight, bicycle)

- Fiber Optic Alternative
- Sign and Channel Letter
- Architectural Detail
- Automotive Exterior (Stop-Tail-Turn, CHMSL, Mirror Side Repeat)
- Edge-Lit Signs (Exit, Point Of Sale)

Mechanical Dimensions

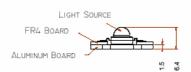


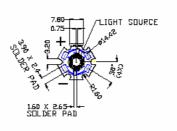
Notes:

- Slots in aluminum-core PCB for
- Slots in aluminim-core PCB for M3 or #4 mounting screw. Electrical interconnection pads labeled on the aluminium-core PCB with "+" and "-" to denote positive and negative, respectively. All positive pads are interconnected, as are all negative pads elevation for floxibility in corps. pads, allowing for flexibility in array interconnection.
- Drawings not to scale.
 All dimensions are in millimeters.

Luxeon Star Warm White







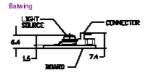
Notes:

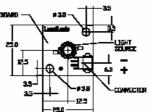
Notes:

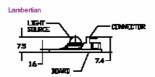
- Slots in aluminum-core PCB for M3 or #4 mounting screw. Electrical interconnection pads labeled
- on the aluminum-core PCB with "+" and "-" to denote positive and negative, respectively. All positive pads are interconnected, as are all negative pads, allowing for flexibility in array interconnection.
- Electrical insulation between neighboring Stars is required aluminum board is not electrically neutral.
- Drawings not to scale.
 All dimensions are in millimeters.

Luxeon Star/C









- Holes in aluminum-core PCB for
- M3 or #4 mounting screw.

 Connector on board AMP type, code
 2-179123-2; Mating connector –

 AMP receptacle housing assembly,
 code 173977-2.
- Positive and negative pins in connector are as indicated on the drawing. Drawings not to scale.
- All dimensions are in millimeters.

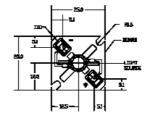
LUXEON STAR

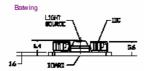
DOCUMENT #: DS23 (09/20/04)

Mechanical Dimensions

Luxeon Star/IDC





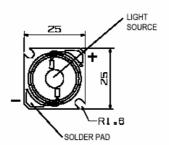


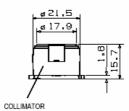
Notes:

- tes:
 Slots in aluminum-core PCB for
 M3 or #4 mounting screw.
 Connectors on board Zierick type, code
 1245T; accepts #26-18 AWG wire.
 Compatible with Zierick manual wire
 insertion tool WTP-4ALL and pneumatic
 production tool WTPPS-1208-1.
 Positive and negative IDC connectors
 are indicated with a "+" and a "-" on
 the aluminum-core PCB, respectively.
 Drawings not to scale.
 All dimensions are in millimeters.

Luxeon Star/O







Notes:

- Slots in aluminum-core PCB for
- Slots in aluminum-core PCB for M3 or #4 mounting screw. Positive solder pad is indicated by a copper dot next to the pad on the aluminum-core PCB. The collimator is molded from optical grade acrylic. Do not subject to temperatures greater than 75°C, as plastic deformation may occur. Protect optic against exposure to solvents and adhesives that are not compatible with acrylic. acrylic.
- Drawings not to scale.
 All dimensions are in millimeters.

Part Number Matrix

Color	Star	STAR/C	Star/O ^[1]	STAR/IDC ^[2]	BEAM PATTERN
WHITE	LXHL-MW I C	LXHL-MW I A	B@WN-JHXJ	LHXL-MW I E	
WHITE	LXHL-MWEC	LXHL-MWEA	LXHL-NWE8	N/A	
WARM WHITE	LXHL-MWGC	N/A	LXHL-NWG8	N/A	
GREEN	LXHL-MM I C	EXHL-MM I A	LXHL-NM98	LXHL-MM I E	
CYAN	LXHL-ME I C	LXHL-ME I A	LXHL-NE98	LXHL-ME I E	
BLUE	LXHL-MB I C	LXHL-MB I A	LXHL-NB98	LXHL-MB I E	BATWING
ROYAL BLUE	LXHL-MRRC	LXHL-MRRA	LXHL-NRR8	LXHL-MR I E	
RED	LXHL-MD1C	LXHL-MD I A	LXHL-ND98	LXHL-MD I E	
RED	LXHL-MDAC	N/A	N/A	N/A	
RED-ORANGE	LXHL-MHAC	N/A	N/A	N/A	
AMBER	LXHL-ML I C	LXHL-ML I A	LXHL-NL98	LXHL-ML I E	
AMBER	LXHL-MLAC	N/A	N/A	N/A	
WHITE	LXHL-MW I D	LXHL-MW1B	N/A	N/A	
GREEN	LXHL-MM I D	LXHL-MM I B	N/A	N/A	
CYAN	LXHL-ME I D	LXHL-ME I B	N/A	N/A	
BLUE	LXHL-MB I D	LXHL-MB I B	N/A	N/A	LAMBERTIAN
ROYAL BLUE	LXHL-MRRD	LXHL-MRRB	N/A	N/A	
RED	LXHL-MD I D	LXHL-MD I B	LXHL-ND94	N/A	
RED-ORANGE	LXHL-MH I D	LXHL-MH I B	LXHL-NH94	N/A	
AMBER	LXHL-ML I D	LXHL-ML I B	LXHL-NL94	N/A	
WHITE	LXHL-FW1C	N/A	N/A	N/A	
GREEN	LXHL-FM I C	N/A	N/A	N/A	
CYAN	LXHL-FE I C	N/A	N/A	N/A	
BLUE	LXHL-FB I C	N/A	N/A	N/A	SIDE EMITTING
ROYAL BLUE	LXHL-FRIC	N/A	N/A	N/A	
RED	LXHL-FD I C	N/A	N/A	N/A	
RED-ORANGE	LXHL-FH I C	N/A	N/A	N/A	
AMBER	LXHL-FL1 C	N/A	N/A	N/A	

Flux Characteristics at 350mA, Junction Temperature, T_J = 25°C

Color	Minimum Luminous Flux (Im) or Radiometric Power (MW) $\Phi_V ^{1,2}$	Typical Luminous Flux (Im) Or Radiometric Power (MW) $\Phi_V[2]$	RADIATION PATTERN
WHITE (MWIC,	13.9	25	
MWIA, NW⊇8 & MWI	E)		
WHITE (LXHL-MWEC, MWEA & NWEB)	18.1	31	
WARM WHITE	13.9	20	
GREEN	18.1	40	BATWING
CYAN	18.1	40	
BLUE ⁽³⁾	6.3	12	
ROYAL BLUE ^[4]	85 MW	175 MW	
RED (MD1C)	13.9	27	
RED (MDAC)	30.6	42	
RED-ORANGE	39.8	55	
AMBER (MLIC)	10.7	25	
AMBER (MLAC)	23.5	42	
WHITE	18.1	31	
GREEN	18.1	40	
CYAN	18.1	40	
BLUE	6.3	12	LAMBERTIAN
ROYAL BLUE ^[4]	5 MW	175 MW	
Red	30.6	44	
RED-ORANGE	39.8	55	
AMBER	23,5	42	
WHITE	18.1	28	
GREEN	18.1	36	
CYAN	18.1	36	
BLUE ⁽³⁾	6.3	11	SIDE EMITTING
ROYAL BLUE ^[4]	85 MW	I 60 MW	
Red	30.6	40	
RED-ORANGE	39.8	50	
AMBER	23.5	38	

LUXEON STAR

DOCUMENT #: DS23 (09/20/04)

Notes:

- Star/O produces a narrow collimated beam due to the inclusion of the collimating optic. In red, red-orange, and amber the Star/O listed under lambertian radiation pattern is higher in luminous output, although the collimated beam pattern is similar to the Star/O products based on the
- batwing emitter.

 2. Star/IDC available in the batwing radiation pattern only. The wide angle of optical output from a lambertian or side emitting device results in significant light loss due to the IDC connectors in the optical path.
- In July 2003 Lumileds announced a second line of white batwing products using a new phosphor deposition process resulting in improved color uniformity. These new batwing emitters (LXHL-BW02) are incorporated into Luxeon Star part numbers LXHL-MWEC, LXHL-MWEA and LXHL-NWE8. Other white Luxeon Star products are based on the LXHL-BW01 Luxeon Emitter.

Notes:

- Minimum luminous flux or radiometric power performance guaranteed within published operating conditions. Lumileds maintains a tolerance of ± 10% on flux and power measurements.
- Flux and power values for Luxeon Star without secondary optics. The efficiency of collimating optics is approximately 85%. Luxeon types with even higher luminous flux levels will become available in the future. Please consult your Lumileds Authorized Distributor or Lumileds sales representative for more information.
- 3. Minimum flux value for 470 nm devices. Due to the CIE eye response curve in the short blue wavelength range, the minimum luminous flux will vary over the Lumileds' blue color range. Luminous flux will vary from a minimum of 4.9 lm at 460 nm to a typical of 20 lm at 480 nm due to this effect. Although the luminous power efficiency is lower in the short blue wavelength range, radiometric power efficiency increases as wavelength decreases. For more information, consult the Luxeon Design Guide, available upon request.
- Royal Blue product is binned by radiometric power and peak wavelength rather than photometric lumens and dominant wavelength.

Optical Characteristics at 350mA, Junction Temperature, T_J = 25°C

	Dominant Wavelength ⁽¹⁾ λD , Peak Wavelength ⁽²⁾ λP , OR COLOR TEMPERATURE ⁽³⁾ CCT			SPECTRAL HALF-WIDTH ^(m) (nm)	TEMPERATURE COEFFICIENT OF DOMINANT WAVELENGTH (nm/°C)
CoLOR	Мін,	TYP,	Max,	$\Delta \lambda_{1/2}$	$\Delta \lambda_D / \Delta T_J$
WHITE (MWIC, MWIA, NWOB & MWIE)	4500 K	5500 K	8000 K		
WHITE (LXHL-MWEC, MWEA & NWEB)	4500 K	5500 K	10000 К		
WARM WHITE	2850K	3300K	3800K		
GREEN	520 nm	530 nm	550 nm	35	0.04
CYAN	490 nm	505 nm	520 nm	30	0.04
BLUE	460 nm	470 nm	490 nm	25	0.04
ROYAL BLUE ⁽²⁾	440 nm	455 nm	460 nm	20	0.04
Reb	620,5 nm	625 nm	645,0 nm	20	0.05
RED-ORANGE	612,5 NM	617 NM	620,5 NM	20	0.08
AMBER	587,5 nm	590 nm	597,0 nm	14	0,09

Optical Characteristics at 350mA, Junction Temperature, T_J = 25°C, Continued

	_	LUXEON STAR &	LUXEON STAR/C	LUXEON	STAR/O (WITH	OPTICS)
RADIATION PATTERN	CoLor	TOTAL INCLUDED ANGLE ^(a) (DEGREE) $\theta_{0.90V}$	viewing angle ⁽ⁿ⁾ (degree) 20 1/2	TOTAL INCLUDED ANGLE ^(a) (DEGREE) $\theta_{0.90V}$	VIEWING ANGLE ^(e) (DEGREE) 20 1/2	TYPICAL CANDELA ON AXIB ⁽⁷⁾ (cd)
	WHITE (ALL EXCEPT NWE8)	110	110	25	10	250
	WHITE (NWE8)	110	110	25	10	500
	WARM WHITE	110	110	25	10	200
	GREEN	110	110	25	10	600
BATWING	CYAN	110	110	25	10	600
	BLUE	110	110	25	10	200(2)
	ROYAL BLUE	110	110	25	10	120
	RED (MD1C)	110	110	25	10	810
	RED (MDAC)	110	110	N/A	N/A	N/A
	RED-ORANGE	110	110	N/A	N/A	N/A
	AMBER (MLIC)	110	110	25	10	750
	AMBER (MLAC)	110	110	N/A	N/A	N/A
	WHITE	160	140	N/A	N/A	N/A
	GREEN	160	140	N/A	N/A	N/A
	CYAN	160	140	N/A	N/A	N/A
LAMBERTIAN	BLUE	160	140	N/A	N/A	N/A
	ROYAL BLUE	160	140	N/A	N/A	N/A
	RED	160	140	25	10	660
	RED-ORANGE	160	140	25	10	825
	AMBER	160	140	25	10	640

Optical Characteristics at 350mA, Junction Temperature, $T_J = 25$ °C, Continued

RADIATION PATTERN	CoLor	Typical total flux percent within first 45^{cm} cum $\Phi_{45^{\circ}}$	Typical Angle of Pe intensity ^(α) θ _{PEAK}
	WHITE	< 15%	75° - 85°
	GREEN	< 15%	75° - 85°
	CYAN	< 15%	75° - 85°
SIDE EMITTING	BLUE	< 15%	75° - 85°
	ROYAL BLUE	< 15%	75° - 85°
	Reb	< 15%	75° - 85°
	RED-ORANGE	< 15%	75° - 85°
	AMBER	< 15%	75° - 85°

Notes: (for all three optical tables)

- 1. Dominant wavelength is derived from the CIE 1931 Chromaticity diagram and represents the perceived color. Lumileds maintains a tolerance of \pm 0.5nm for dominant wavelength measurements.
- 2. Royal Blue product is binned by radiometric power and peak wavelength rather than photometric lumens and dominant wavelength. Lumileds maintains a tolerance of ± 2nm for peak wavelength measurements.
- CCT \pm 5% tester tolerance. Spectral width at ½ of the peak intensity.
- Total angle at which 90% of total luminous flux is captured.
- θ½ is the off axis angle from lamp centerline where the luminous intensity is ½ of the peak value.
- Typical candela on axis for 470 nm devices. Due to the CIE eye response curve in the short blue wavelength range, candela values will vary over Lumileds' blue color range.
- 8. Cumulative flux percent within ± 45° from optical axis.
- CRI (Color Rendering Index) for white product types is 70. CRI for warm white product types is 90 with typical
- R_g value of 70.

 10. Off axis angle from lamp centerline where the luminous intensity
- reaches the peak value.

 11. All red, red-orange and amber products built with Aluminum Indium
- Gallium Phosphide (AlInGaP).

 12. All white, green, cyan, blue and royal blue products built with Indium Gallium Nitride (InGaN).

 13. Blue and Royal Blue power light sources represented here are IEC825 Class 2 for eye safety.

Electrical Characteristics at 350mA, Junction Temperature, $T_J = 25^{\circ}C$

RADIATION PATTERN	CoLOR	FORWA	RD VOLTAGE Typ,	V _E (V) ⁽⁺¹⁾ Max.	Dynamic Resistance ⁽²⁾ (Ω) R ₀	TEMPERATURE COEFFICIENT OF FORWARD VOLTAGE ⁽³⁾ (mV/°C) $\Delta V_{ij}' \Delta T_{ij}$	THERMAL RESISTANCE, JUNCTION TO BOARD (*C/M) R0J8
	WHITE	2.79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
	WARM WHITE	2.79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
	GREEN	2.79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
BATWING	CYAN	2.79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
	BLUE	2,79	3,42	3.99	0,1	-2,0	20
	ROYAL BLUE	2,79	3,42	3.99	1.0	-2.0	20
	RED (MD10)	2,31	2,85	3,27	2,4	-2.0	20
	RED (MDAC)	2.31	2.95	3.51	2.4	-2.0	23
	RED-ORANGE	2.31	2.95	3.51	2.4	-2.0	23
	AMBER (ML10)	2,31	2.85	3.27	2.4	-2.0	20
	AMBER (MLAC)	2,31	2,95	3,51	2.4	-2.0	23
	WHITE	2,79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
	GREEN	2,79	3,42	3,99	0,1	-2.0	20
	CYAN	2,79	3,42	3.99	0,1	-2,0	20
LAMBERTIAN	BLUE	2,79	3,42	3.99	1.0	-2.0	20
	ROYAL BLUE	2,79	3,42	3.99	1,0	-2,0	20
	RED	2,31	2.95	3.51	2.4	-2.0	23
	RED-ORANGE	2,31	2,95	3.51	2.4	-2.0	23
	AMBER	2.31	2,95	3,51	2,4	-2.0	23
	WHITE	2.79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
	GREEN	2,79	3,42	3.99	1.0	-2.0	20
	CYAN	2,79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
SIDE EMITTING	G BLUE	2,79	3,42	3.99	1.0	-2.0	20
	ROYAL BLUE	2,79	3,42	3.99	0,1	-2.0	20
	RED	2,31	2,95	3.51	2.4	-2.0	23
	RED-ORANGE	2,31	2.95	3.51	2.4	-2.0	23
	AMBER	2,31	2,95	3,51	2,4	-2,0	23

Notes:

- 1. Lumileds maintains a tolerance of $\pm\ 0.06\mbox{V}$ on forward voltage
- measurements.

 2. Dynamic resistance is the inverse of the slope in linear forward voltage model for LEDs. See Figures 3a and 3b.

 3. Measured between 25°C ≤ TJ ≤ 110°C at 1.25°C ≥ TJ ≤ 110°C
- at $I_F = 350 \text{mA}$.

Absolute Maximum Ratings

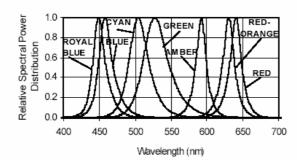
Parameter	WHITE/GREEN/ CYAN/BLUE/ ROYAL BLUE	WARM WHITE	RED/AMBER/ RED-ORANGE
DC FORWARD CURRENT (MA) 113	350	350	385
PEAK PULSED FORWARD CURRENT (MA)	500	500	550
AVERAGE FORWARD CURRENT (MA)	350	350	350
ESD SENSITIVITY (2)		± 16,000V HBM	
LED JUNCTION TEMPERATURE (°C)	135	120	120
ALUMINUM-CORE PCB TEMPERATURE (°C)	105	105	105
STORAGE & OPERATING TEMPERATURE (°C)			
LUXEON STAR LUXEON STAR/O ¹³¹		-40 то +105 -40 то +75	-40 то +105 -40 то +75

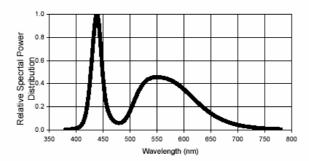
Notes:

- 1. Proper current derating must be Proper current derating must be observed to maintain junction temperature below the maximum. For more information, consult the Luxeon Design Guide, available upon request.
 LEDs are not designed to be driven in reverse bias. Please consult Lumileds' Application Brief AB11 for further information.
- information.

 3. A reduction in maximum storage and operating temperature is required due to the acrylic optic.

Wavelength Characteristics, $T_J = 25^{\circ}C$





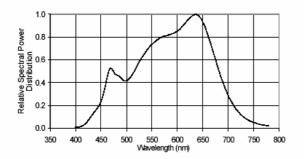


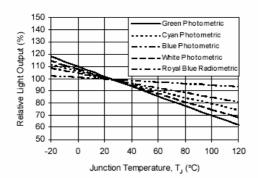
Figure 1a. Relative Intensity vs. Wavelength.

Figure 1b. White Color Spectrum of Typical 5500K Part, Integrated Measurement.

Figure 1c.
White Color Spectrum of Typical
Warm White Part, Integrated
Measurement. Applicable for
LXHL-MWGC and LXHL-NWG8.

DOCUMENT #: DS23 (09/20/04)

Light Output Characteristics



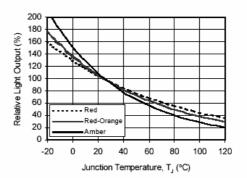


Figure 2a. Relative Light Output vs. Junction Temperature for White, Warm White, Green, Cyan, Blue and Royal Blue.

Figure 2b.
Relative Light Output vs. Junction
Temperature for Red, Red-Orange and
Amber.

Forward Current Characteristics, T_J = 25°C

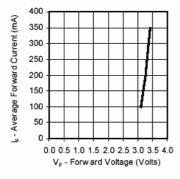


Figure 3a. Forward Current vs. Forward Voltage for White, Warm White, Green, Cyan, Blue, and Royal Blue.

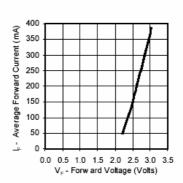


Figure 3b.
Forward Current vs. Forward
Voltage for Red, Red-Orange
and Amber.

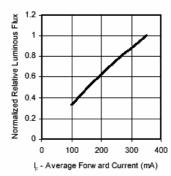


Figure 4a. Relative Luminous Flux vs. Forward Current for White, Warm White, Green, Cyan, Blue, and Royal Blue at $T_J=25^{\circ}\text{C}$ maintained.

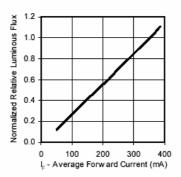
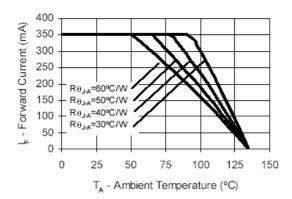


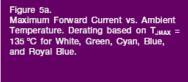
Figure 4b. Relative Luminous Flux vs. Forward Current for Red, Redorange and Amber at $T_J = 25^{\circ}C$ maintained.

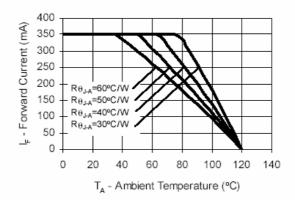
Note:

Driving these high power devices at currents less than the test conditions may produce unpredictable results and may be subject to variation in performance. Pulse width modulation (PWM) is recommended for dimming effects.

Current Derating Curves Star, Star/C, Star/IDC









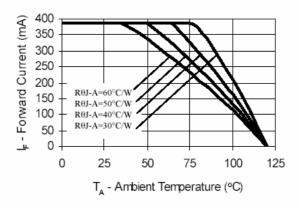
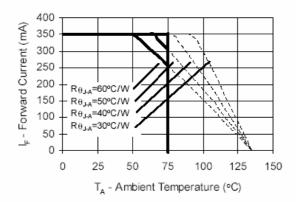
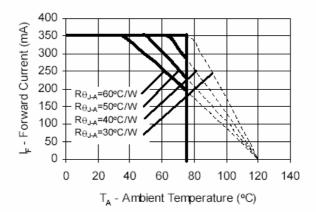


Figure 5c.

Maximum Forward Current vs. Ambient
Temperature. Derating based on T_{JMAX} =
120 °C for Red, Red-Orange and Amber.

Current Derating Curves Star/O





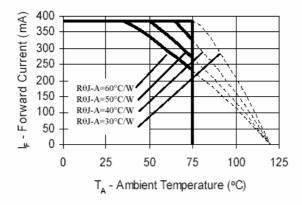


Figure 5d. Maximum Forward Current vs. Ambient Temperature. Derating based on $T_{JMAX}=135\,^{\circ}\text{C}$ and $T_{AMBIENT MAX}=75\,^{\circ}\text{C}$ for White, Green, Cyan, Blue, and Royal Blue.

Figure 5e. Maximum Forward Current vs. Ambient Temperature. Derating based on $T_{\text{JMAX}} = 120~\text{C}$ and $T_{\text{AMBIENT MAX}} = 75~\text{C}$ for Warm White.

Figure 5f.

Maximum Forward Current vs. Ambient
Temperature. Derating based on T_{JMAX} =
120 °C and T_{AMBIENT MAX} = 75 °C for Red,
Red-Orange and Amber.

Typical Representative Spatial Radiation Pattern

Batwing Radiation Pattern (without optics)

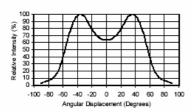
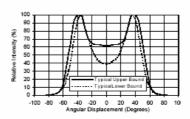


Figure 6a.
Typical Representative Spatial
Radiation Pattern for Luxeon Star
White (LXHL-MW1C, LXHL-MW1A,
LXHL-MW1E) and Warm White (LXHL-MWGC).



Note:

For more detailed technical information regarding Luxeon radiation patterns, please consult your Lumileds Authorized Distributor or Lumileds sales representative.

Figure 6b.
Typical Representative Spatial Radiation
Pattern for Luxeon Star Green, Cyan,
Blue, Royal Blue and White.

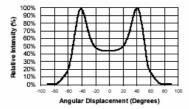


Figure 6c. Typical Representative Spatial Radiation Pattern for Luxeon Star White (LXHL-BW02).

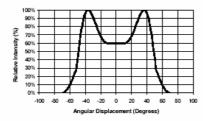


Figure 6d. Typical Representative Spatial Radiation Pattern for Luxeon Star Red and Amber (LXHL-BD01 and LXHL-BL01)

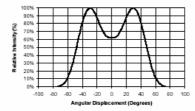


Figure 6e. Typical Representative Spatial Radiation Pattern for Luxeon Star Red, Red-Orange and Amber (LXHL-BD03, BH03 and BL03).

12

Lambertian Radiation Pattern (without optics)

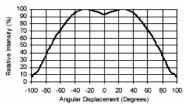
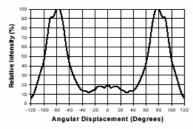


Figure 7a.
Typical Representative Spatial
Radiation Pattern for Luxeon Star
Red, Red-Orange and Amber.

Figure 7b.
Typical Representative Spatial
Radiation Pattern for Luxeon Star
White Green, Cyan, Blue and Royal
Blue.

Side Emitting Radiation Pattern (without optics)



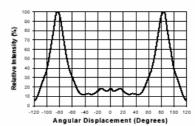


Figure 8a.
Typical Representative Spatial
Radiation Pattern for Luxeon Star
Red, Red-Orange and Amber.

Figure 8b.
Typical Representative Spatial
Radiation Pattern for Luxeon Star
White, Green, Cyan, Blue and
Royal Blue.

13

Typical Representative Spatial Radiation Pattern

Radiation Pattern (with optics)

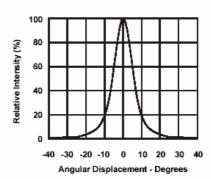


Figure 9.
Typical Representative Spatial
Radiation Pattern for Luxeon
Star/O (with optics), for all colors.

Average Lumen Maintenance Characteristics

Lifetime for solid-state lighting devices (LEDs) is typically defined in terms of lumen maintenance—the percentage of initial light output remaining after a specified period of time. Lumileds projects that Luxeon products will deliver on average 70% lumen maintenance at 50,000 hours of operation. This performance is based on independent test data, Lumileds historical data from tests run on similar material systems, and internal Luxeon reliability testing. This projection is based on constant current 350 mA operation with junction temperature maintained at or below 90°C. Observation of design limits included in this data sheet is required in order to achieve this projected lumen maintenance.

About Luxeon









Luxeon is the new world of solid-state lighting (LED) technology. Luxeon Power Light Source Solutions offer huge advantages over conventional lighting and huge advantages over other LED solutions. Luxeon enables partners to create and market products that, until now, were impossible to create. This means the opportunity to create products with a clear competitive advantage in the market. Products that are smaller, lighter, sleeker, cooler, and brighter. Products that are more fun to use, more efficient, and more environmentally conscious than ever before possible!











Company Information

Luxeon is developed, manufactured and marketed by Lumileds Lighting, U.S., LLC. Lumileds is a world-class supplier of Light Emitting Diodes (LEDs) producing billions of LEDs annually. Lumileds is a fully integrated supplier, producing core LED material in all three base colors (Red, Green, Blue) and White. Lumileds has R&D development centers in San Jose, California and Best, The Netherlands. Production capabilities in San Jose, California and Malaysia.

Lumileds is pioneering the high-flux LED technology and bridging the gap between solid-state LED technology and the lighting world. Lumileds is absolutely dedicated to bringing the best and brightest LED technology to enable new applications and markets in the Lighting world.



@2004 Lumileds Lighting, U.S., LLC. All rights reserved. Luxeon is a trademark of Lumileds Lighting, U.S., LLC. Product specifications are subject to change without notice.

Lumileds may make process or materials changes affecting the performance or other characteristics of Luxeon. These products supplied after such change will continue to meet published specifications, but may not be identical to products supplied as samples or under prior orders.

LUMILEDS

www.luxeon.com www.lumileds.com

For technical assistance or the location of your nearest Lumileds sales office, call:

Worldwide: +1 408-435-6044 US Toll free: 877-298-9455 Europe: +31 499 339 439 Asia: +65 6248 4759 Fax: 408-435-6855 Email us at info@lumileds.com

Lumileds Lighting, U.S., LLC 370 West Trimble Road San Jose, CA 95131

Golden Dragon[®] Lead (Pb) Free Product - RoHS Compliant

LW W5SG



Vorläufige Daten / Preliminary Data

Besondere Merkmale

- Gehäusetyp: weißes SMD Gehäuse, farbiger diffuser Silikon - Verguss
- Besonderheit des Bauteils: hocheffiziente Lichtquelle bei geringem Platzbedarf
- Farbort: x = 0,32, y = 0,31 nach CIE 1931 (weiß)
- typische Farbtemperatur: 6500 K
- · Farbwiedergabeindex: 80
- · Abstrahlwinkel: Lambertscher Strahler (120°)
- · Technologie: InGaN
- · optischer Wirkungsgrad: 21 lm/W
- · Gruppierungsparameter: Lichtstärke, Farbort
- Verarbeitungsmethode: f
 ür alle SMT-Best
 ücktechniken geeignet
- · Lötmethode: IR Reflow Löten
- Vorbehandlung: nach JEDEC Level 4
- Gurtung: 24-mm Gurt mit 800/Rolle, ø180 mm
- ESD-Festigkeit: ESD-sicher bis 2 kV nach JESD22-A114-B

Anwendungen

- Außen- und Innenbeleuchtung im Automobilbereich (z.B. Scheinwerfer, Nebelscheinwerfer, Instrumentenbeleuchtung)
- Hinterleuchtung (Werbebeleuchtung, Allgemeinbeleuchtung)
- · Leselampen (Flugzeug, Auto, Bus)
- Ersatz von Kleinst-Glühlampen
- Fassadenbeleuchtung im Innen- und Außenbereich
- Display Hinterleuchtung mit hohem Helligkeitsbedarf z. B. TFT
- Dekorative Beleuchtung
- Signal- und Symbolleuchten zur Orientierung
- Markierungsbeleuchtung (z.B. Stufen, Fluchtwege, u.ä.)

Features

- package: white SMD package, colored diffused silicone resin
- feature of the device: high efficient lightsource at low space
- color coordinates: x = 0.32, y = 0.31 acc. to CIE 1931 (white)
- typ. color temperature: 6500 K
- color reproduction index: 80
- · viewing angle: Lambertian Emitter (120°)
- · technology: InGaN
- · optical efficiency: 21 lm/W
- grouping parameter: luminous intensity, color coordinates
- assembly methods: suitable for all SMT assembly methods
- · soldering methods: IR reflow soldering
- · preconditioning: acc. to JEDEC Level 4
- · taping: 24 mm tape with 800/reel, ø180 mm
- ESD-withstand voltage: up to 2 kV acc. to JESD22-A114-B

Applications

- exterior and interior automotive lighting (e.g. front light, fog lamp, dashboard backlighting)
- backlighting (illuminated advertising, general lighting)
- · reading lamps (aircraft, car, bus)
- · substitution of micro incandescent lamps
- indoor and outdoor commercial and residential architectural lighting
- display backlight where high brightness is required e.g. TFT
- decorative and entertainment lighting
- signal and symbol luminaire for orientation
- marker lights (e.g. steps, exit ways, etc.)

2004-03-19



Bestellinformation Ordering Information

Тур	Emissions- farbe	Lichtstrom ¹⁾ Seite 17	Lichtstärke ²⁾ Seite 17	Bestellnummer
Туре	Color of Emission	Luminous Flux ¹⁾ page 17	Luminous Intensity ²⁾ page 17	Ordering Code
		$I_{\rm F}$ = 350 mA $\Phi_{ m V}$ (mlm)	$I_{\rm F}$ = 350 mA $I_{\rm V}$ (mcd)	
LW W5SG-GYHY-5K8L	white	21000 39000	10000 (typ.)	Q65110A1058

2

Anm.: -5K8L Farbselektiert nach Farbortgruppen (siehe Seite 5)

Note: -5K8L Color selection acc. to Chromaticity coordinate groups (see page 5)

2004-03-19



Grenzwerte Maximum Ratings

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebstemperatur Operating temperature range	T_{op}	- 40 + 100	°C
Lagertemperatur Storage temperature range	T_{stg}	-40 + 100	°C
Sperrschichttemperatur Junction temperature	$T_{\rm j}$	125	°C
Durchlassstrom Forward current $(T_A=25^{\circ}C)$	I_{F}	500	mA
Stoßstrom Surge current $t \le 10 \ \mu s, D = 0.005, T_A = 25 ^{\circ} C$	I_{FM}	1500	mA
Sperrspannung ^{3) Seite 17} Reverse voltage ^{3) page 17} (T _A =25°C)	V_{R}	not designed for reverse operation	V
Leistungsaufnahme Power consumption (T _A =25°C)	P_{tot}	2.3	W
Wärmewiderstand ^{4) Seite 17} Thermal resistance ^{4) page 17} Sperrschicht/Lötpad Junction/solder point	R_{thJS}	9	K/W

2004-03-19 3



Kennwerte Characteristics

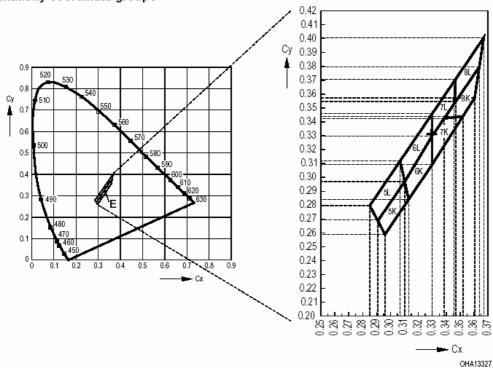
 $(T_{A} = 25 \, ^{\circ}\text{C})$

Bezeichnung Parameter		Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Farbkoordinate x nach CIE 1931 ^{5) Seite 17} (Chromaticity coordinate x acc. to CIE 1931 ^{5) I} $I_{\rm F}$ = 350 mA	(typ.) page 17	х	0.32	_
Farbkoordinate y nach CIE 1931 ^{5) Seite 17} (Chromaticity coordinate y acc. to CIE 1931 ^{5) I} $I_{\rm F}$ = 350 mA	(typ.) page 17	у	0.31	_
Abstrahlwinkel bei 50 % $\rm I_V$ (Vollwinkel) Viewing angle at 50 % $\rm I_V$	(typ.)	2φ	120	Grad deg.
Forward voltage ^{6) page 17}	min.) (typ.) nax.)	V_{F} V_{F} V_{F}	3.1 3.8 4.1	V V V
Sperrstrom Reverse current (n	nax.)	I_{R}	not designed for reverse operation	μΑ
Temperaturkoeffizient von x Temperature coefficient of x $I_{\rm F}$ = 350 mA; -10°C $\leq T \leq$ 100°C	(typ.)	TC_{x}	-0.1	10 ⁻³ /K
Temperaturkoeffizient von y (Temperature coefficient of y $I_{\rm F}$ = 350 mA; -10°C $\leq T \leq$ 100°C	(typ.)	TC_{y}	-0.2	10 ⁻³ /K
Temperaturkoeffizient von $V_{\rm F}$ (Temperature coefficient of $V_{\rm F}$ $I_{\rm F}$ = 350 mA; –10°C $\leq T \leq$ 100°C	(typ.)	TC_{V}	-4.0	mV/K
Optischer Wirkungsgrad (Optical efficiency $I_{\rm F}$ = 350 mA	(typ.)	η_{opt}	21	lm/W

2004-03-19







Gruppe Group	Cx	Су
5K	0,296	0,259
	0,291	0,268
	0,310	0,297
	0,313	0,284
5L	0,291	0,268
	0,285	0,279
	0,307	0,312
	0,310	0,297
6K	0,313	0,284
	0,310	0,297
	0,330	0,330
	0,330	0,310
6L	0,310	0,297
	0,307	0,312
	0,330	0,347
	0,330	0,330

Gruppe Group	Сх	Су
7K	0,330	0,310
	0,330	0,330
	0,338	0,342
	0,352	0,344
7L	0,330	0,330
	0,330	0,347
	0,347	0,371
	0,345	0,352
8K	0,352	0,344
	0,338	0,342
	0,364	0,380
	0,360	0,357
8L	0,345	0,352
	0,347	0,371
	0,367	0,401
	0,364	0,380

2004-03-19 5

Opto Semiconductors OSF



Helligkeits-Gruppierungsschema Brightness Groups

Helligkeitsdrittelgruppe Brightness Third Group	Lichtstrom ^{1) Seite 17} Luminous Flux ^{1) page 17} Φ _V (mlm)	Lichtstärke $^{2)$ Seite 17 Luminous Intensity $^{2)$ page 17 I_{V} (mcd)
GY	21000 24000	7500 (typ.)
GZ	24000 28000	8500 (typ.)
HX	28000 33000	10000 (typ.)
HY	33000 39000	12000 (typ.)

Anm.: Die Standardlieferform von Serientypen beinhaltet eine Familiengruppe. Diese besteht aus 4 Helligkeitsdrittelgruppen. Einzelne Helligkeitsdrittelgruppen sind nicht bestellbar.

Note: The standard shipping format for serial types includes a family group of 4 individual brightness third groups. Individual brightness third groups cannot be ordered.

Gruppenbezeichnung auf Etikett Group Name on Label

Beispiel: GZ-6K Example: GZ-6K

5	Farbortgruppe Chromaticity Coordinate Group
GZ	6K

Anm.: In einer Verpackungseinheit / Gurt ist immer nur eine Helligkeitsdrittelgruppe enthalten.

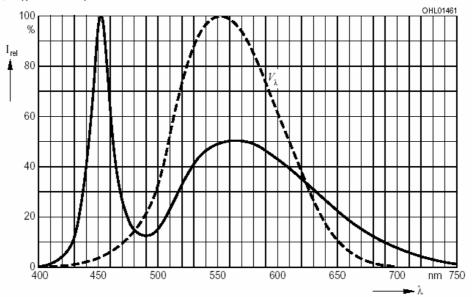
Note: No packing unit / tape ever contains more than one brightness third group.



Relative spektrale Emission^{2) Seite 17} Relative Spectral Emission^{2) page 17}

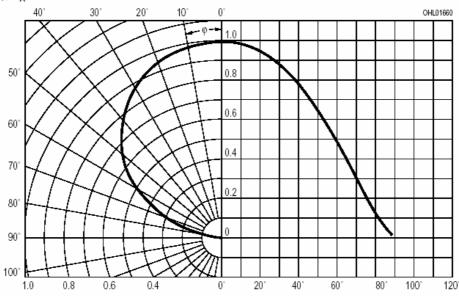
 $V(\lambda) = \text{spektrale Augenempfindlichkeit} \, / \, \text{Standard eye response curve}$

 $I_{\rm rel}$ = f (λ); $T_{\rm A}$ = 25 °C; $I_{\rm F}$ = 350 mA



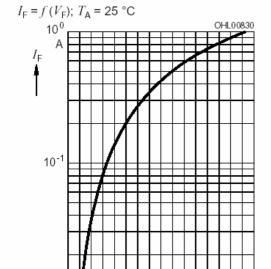
Abstrahlcharakteristik^{2) Seite} 17 Radiation Characteristic^{2) page} 17

 $I_{rel} = f(\varphi); T_A = 25 \degree C$



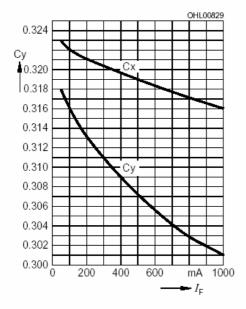
2004-03-19 7

Durchlassstrom^{2) Seite 17} Forward Current^{2) page 17}



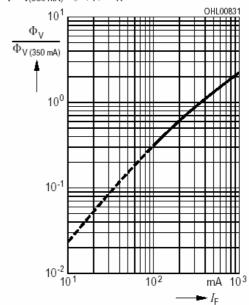
Farbortverschiebung^{2) Seite 17} Chromaticity Coordinate Shift^{2) page 17} x, y = $f(I_F)$; T_A = 25 °C

10⁻² 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0



Relative Lichtstrom^{2) 7)} Seite 17 Relative Luminous Flux^{2) 7)} page 17

 $\Phi_{\text{V}}/\Phi_{\text{V}(350 \text{ mA})} = f(I_{\text{F}}); T_{\text{A}} = 25 \text{ °C}$



Relative Lichtstärke^{2) Seite 17} Relative Luminous Intensity^{2) page 17}

 $I_{V}/I_{V(25~^{\circ}C)} = f^{\circ}(T_S); I_{F} = 350~\text{mA}$ I_{V} $I_{V(25~^{\circ}C)}$ 1.2

1.0

0.8

0.6

0.4

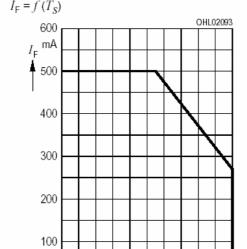
0.2

-60 -40 -20 0 20 40 60 °C 100

2004-03-19

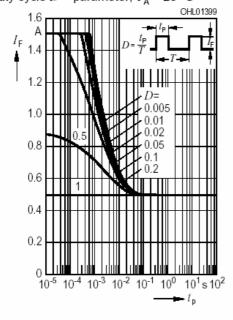
8

Maximal zulässiger Durchlassstrom Max. Permissible Forward Current

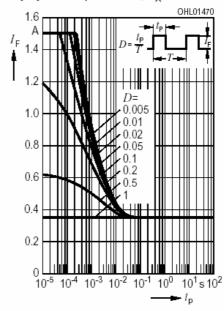


Zulässige Impulsbelastbarkeit $I_{\rm F}$ = f ($t_{\rm p}$) Permissible Pulse Handling Capability Duty cycle D = parameter, $T_{\rm A}$ = 25 °C

 $T_{\rm S}$ temp. solder point



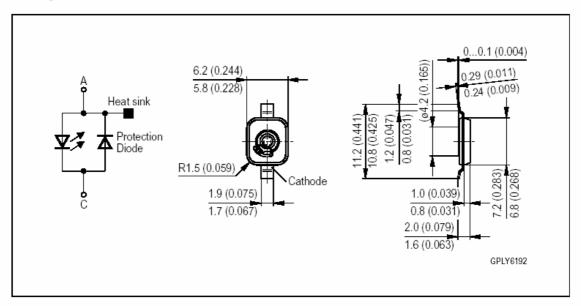
Zulässige Impulsbelastbarkeit $I_{\rm F}$ = $f(t_{\rm p})$ Permissible Pulse Handling Capability Duty cycle D = parameter, $T_{\rm A}$ = 85 °C



2004-03-19 9

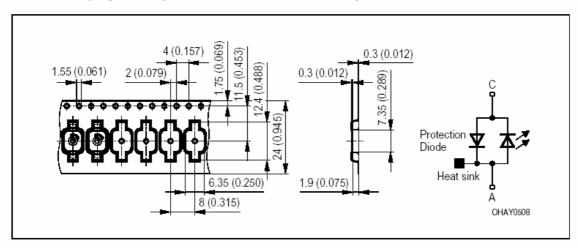


Maßzeichnung^{8) Seite} 17 Package Outlines^{8) page} 17



Kathodenkennung: Markierung
Cathode mark: mark
Gewicht / Approx. weight: 200 mg

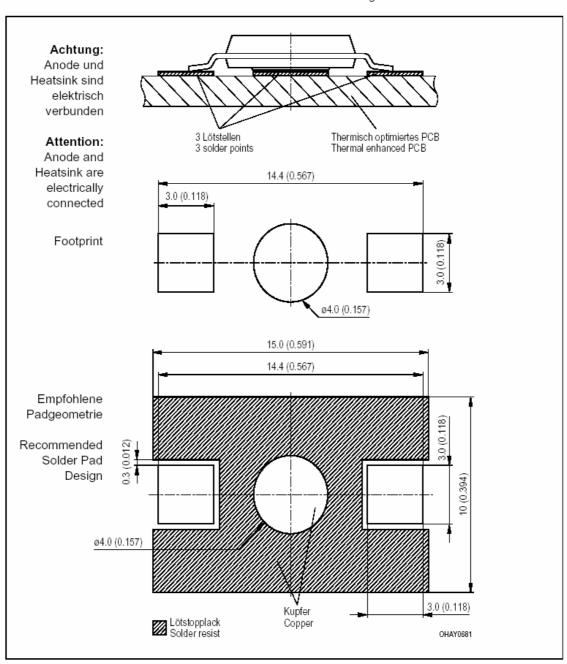
Gurtung / Polarität und Lage^{8) Seite 17} Verpackungseinheit 800/Rolle, ø180 mm **Method of Taping / Polarity and Orientation**^{8) page 17} Packing unit 800/reel, ø180 mm



2004-03-19



Empfohlenes Lötpaddesign^{8) Seite 17} Recommended Solder Pad^{8) page 17} IR Reflow Löten IR Reflow Soldering

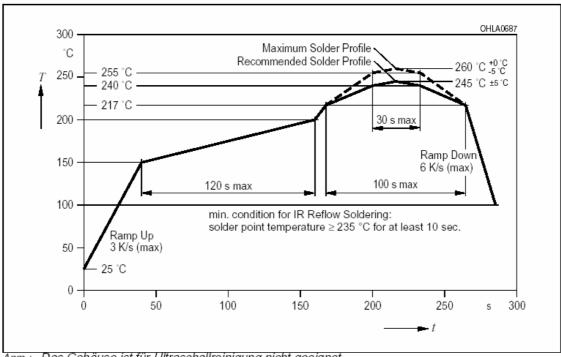




Lötbedingungen Soldering Conditions

IR-Reflow Lötprofil für bleifreies Löten IR Reflow Soldering Profile for lead free soldering Vorbehandlung nach JEDEC Level 4 Preconditioning acc. to JEDEC Level 4

(nach J-STD-020B) (acc. to J-STD-020B)

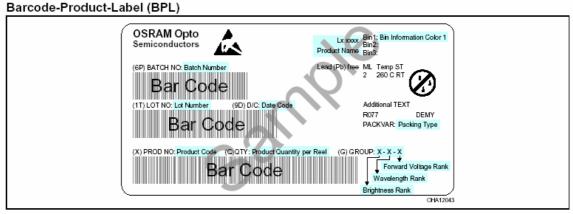


Anm.: Das Gehäuse ist für Ultraschallreinigung nicht geeignet

Note: Package not suitalbe for ultra sonic cleaning

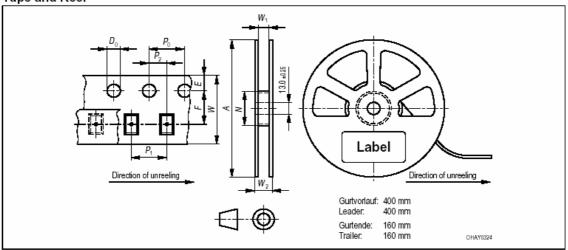


Barcode-Produkt-Etikett (BPL)



Gurtverpackung

Tape and Reel



Tape dimensions in mm (inch)

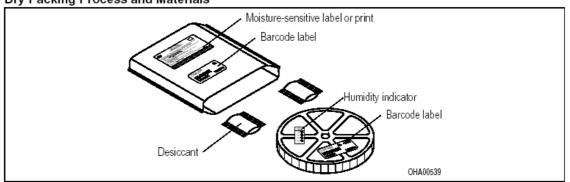
W	P_0	P ₁	P_2	D_0	E	F
24 ⁺ 0.3 - 0.1	4 ± 0.1 (0.157 ± 0.004)					$\begin{array}{c} 11.5 \pm 0.1 \\ (0.453 \pm 0.004) \end{array}$

Reel dimensions in mm (inch)

A	W	N_{min}	W_1	$W_{2\mathrm{max}}$
330 (13)	24 (0.945)	60 (2.362)	24.4 + 2 (0.331 + 0.079)	30.4 (1.197)



Trockenverpackung und Materialien Dry Packing Process and Materials

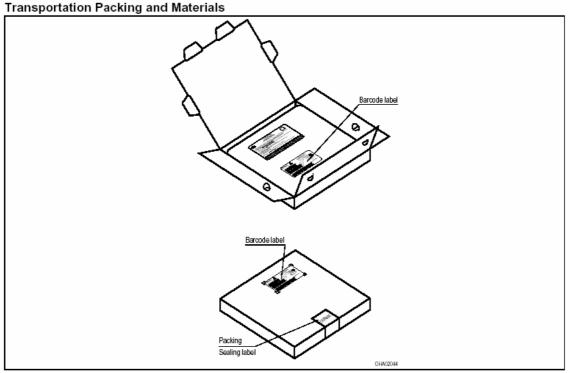


Anm.: Feuchteempfindliche Produkte sind verpackt in einem Trockenbeutel zusammen mit einem Trockenmittel und einer Feuchteindikatorkarte

Bezüglich Trockenverpackung finden Sie weitere Hinweise im Internet und in unserem Short Form Catalog im Kapitel "Gurtung und Verpackung" unter dem Punkt "Trockenverpackung". Hier sind Normenbezüge, unter anderem ein Auszug der JEDEC-Norm, enthalten.

Note: Moisture-senisitve product is packed in a dry bag containing desiccant and a humidity card.
Regarding dry pack you will find further information in the internet and in the Short Form Catalog in chapter
"Tape and Reel" under the topic "Dry Pack". Here you will also find the normative references like JEDEC.

Kartonverpackung und Materialien



2004-03-19 14



Revision History: 2004-03-19 Previous Version: 2004-02-26

Page	Subjects (major changes since last revision)	Date of change
14	note: dry pack	2003-09-17
3	ambient temperature	2003-09-17
1	ESD-withstand voltage	2003-09-17
15	new patent no.	2003-09-17
all	new template	2003-10-27
2, 5	Chromaticity coordinate groups	2003-10-27
4	Forward voltage	2003-11-19
3, 4	Reverse voltage; Reverse current	2003-12-11
1	RoHS compliant	2004-01-29
9	new diagrams for pulse handling	2004-03-15

Anm.: Gemäß IEC 60825-1 (EN 60825-1) gilt:

LED STRAHLUNG
NICHT DIREKT MIT OPTISCHEN INSTRUMENTEN BETRACHTEN
LED KLASSE 1M

Note: According IEC 60825-1 (EN 60825-1):

LED RADIATION
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS
CLASS 1M LED PRODUCT

2004-03-19 15



Patent List

Patent No.

US 6 066 861 US 6 277 301 US 6 245 259

Attention please!

The information describes the type of component and shall not be considered as assured characteristics. Terms of delivery and rights to change design reserved. Due to technical requirements components may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact our Sales Organization. If printed or downloaded, please find the latest version in the Internet.

Packing

Please use the recycling operators known to you. We can also help you – get in touch with your nearest sales office. By agreement we will take packing material back, if it is sorted. You must bear the costs of transport. For packing material that is returned to us unsorted or which we are not obliged to accept, we shall have to invoice you for any costs incurred.

Components used in life-support devices or systems must be expressly authorized for such purpose! Critical components^{9) page 17} may only be used in life-support devices or systems^{10) page 17} with the express written approval of OSRAM OS.

2004-03-19 16



Fußnoten:

- Helligkeitswerte werden mit einer Stromeinprägedauer von 25 ms und einer Genauigkeit von ± 11% ermittelt.
- Wegen der besonderen Prozessbedingungen bei der Herstellung von LED k\u00f6nnen typische oder abgeleitete technische Parameter nur aufgrund statistischer Werte wiedergegeben werden. Diese stimmen nicht notwendigerweise mit den Werten jedes einzelnen Produktes \u00fcberein, dessen Werte sich von typischen und abgeleiteten Werten oder typischen Kennlinien unterscheiden k\u00f6nnen. Falls erforderlich, z.B. aufgrund technischer Verbesserungen, werden diese typischen Werte ohne weitere Ank\u00fcndigung ge\u00e4ndert.
- 3) Die LED kann kurzzeitig in Sperrichtung betrieben
- Montage auf PC-Board Metallkemplatine, λ = 1.3 W/(m*K), für weitere Informationen siehe Applikationsschrift im Internet (www.osram-os.com)
- 5) Farbortgruppen werden mit einer Stromeinprägedauer von 25 ms und einer Genauigkeit von ±0.01 ermittelt.
- Spannungswerte werden mit einer Stromeinprägedauer von 1 ms und einer Genauigkeit von ±0,1 V ermittelt.
- 7) Im gestrichelten Bereich der Kennlinien muss mit erhöhten Helligkeitsunterschieden zwischen Leuchtdioden innerhalb einer Verpackungseinheit gerechnet werden
- 8) Maße werden wie folgt angegeben: mm (inch)
- Ein kritisches Bauteil ist ein Bauteil, das in lebenserhaltenden Apparaten oder Systemen eingesetzt wird und dessen Defekt voraussichtlich zu einer Fehlfunktion dieses lebenserhaltenden Apparates oder Systems führen wird oder die Sicherheit oder Effektivität dieses Apparates oder Systems beeinträchtigt.
- Lebenserhaltende Apparate oder Systeme sind für (a) die Implantierung in den menschlichen Körper oder
 - (b) für die Lebenserhaltung bestimmt.Falls sie versagen, kann davon ausgegangen werden, dass die Gesundheit und das Leben des Patienten in

Remarks:

- Brightness groups are tested at a current pulse duration of 25 ms and a tolerance of ± 11%.
- Due to the special conditions of the manufacturing processes of LED, the typical data or calculated correlations of technical parameters can only reflect statistical figures. These do not necessarily correspond to the actual parameters of each single product, which could differ from the typical data and calculated correlations or the typical characteristic line. If requested, e.g. because of technical improvements, these typ. data will be changed without any further notice.
- 3) Driving the LED in reverse direction is suitable for short term application.
- Mounted on PC board metall core PCB, λ = 1.3 W/(m*K), for further Information please find the application note on our web site (www.osram-os.com)
- 5) Chromaticity coordinate groups are tested at a current pulse duration of 25 ms and a tolerance of ±0.01.
- Forward voltages are tested at a current pulse duration of 1 ms and a tolerance of ±0.1 V.
- 7) In the range where the line of the graph is broken, you must expect higher brightness differences between single LEDs within one packing unit.
- 8) Dimensions are specified as follows: mm (inch).
- 9) A critical component is a component used in a life-support device or system whose failure can reasonably be expected to cause the failure of that life-support device or system, or to affect its safety or the effectiveness of that device or system.
- Life support devices or systems are intended (a) to be implanted in the human body,

17

(b) to support and/or maintain and sustain human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health and the life of the user may be endangered.

Published by OSRAM Opto Semiconductors GmbH Wernerwerkstrasse 2, D-93049 Regensburg www.osram-os.com

© All Rights Reserved.

Gefahr ist.



C) Fiche UIC 555 OR

Code UIC

5 5 5 OR

I édition 01.01.78

Éclairage électrique du matériel à voyageurs

Union Internationale des Chemins de fer.

Fiche à classer aux Tomes :

V -Matériel de transport

VI -Traction

Modificatifs

1	01.01.79	7 01.01.91
2	01.01.82	
3	01.01.83	
4	01.01.85	
5	01.07.88	
6	01.07.89	

Les prescriptions obligatoires sont précédées d'un astérisque.

Nota

La présente fiche partie d'un ensemble comprenant entre autres :

- ➤ Fiche n°532: Matériel remorqué Porte signaux Voitures, signaux électriques fixes.
- Fiche n°533: Protection par mise à la masse des pièces métalliques des véhicules.
- ➤ Fiche n°550: Installations pour l'alimentation en énergie électrique du matériel à voyageurs.
- ➤ Fiche n°552: Alimentation des trains en énergie électrique captée de la ligne de train.
- ➤ Fiche n°553: Chauffage, ventilation et climatisation des voitures.
- ➤ Fiche n°554-1: Alimentation de l'équipement électrique des véhicules ferroviaires par un réseau local de distribution ou par une autre source d'énergie 220V ou 380V 50Hz.
- ➤ Fiche n°568: Sonorisation des voitures.

Sommaire

```
0 – Généralités;
1 – Equipement de principe;
2 – Eclairage des compartiments;
3 – Eclairage des locaux annexes;
4 – Intensité d'éclairement;
5 – Dispositifs centralisés de commande et de contrôle de l'éclairage;
6 – Réserves;
7 – Instruction de manoeuvre et schémas;
8 – Dispositions supplémentaires applicables aux voitures du type Z;
9 – Eclairage de secours;
```

Planche 1 – Commande à distance de l'éclairage.

Planche 2 – Uniformité de l'éclairage de secours.

0 – Généralités

- 0.1 La présente fiche est valable pour toutes les voitures (véhicules à voyageurs) appelées à circuler en banalité en trafic international.
- 0.2 La présente fiche comporte :
 - des dispositions générales auxquelles doivent répondre les installation d'éclairage, quelle que soit leur conception, et
 - des dispositions particulières pour les éléments dont la normalisation est recherchée.

1 - Equipement de principe

- 1.1 Chaque voiture doit être munie d'une installation d'éclairage électrique.
- 1.2 En ce qui concerne les installations d'alimentation en énergie électrique de l'éclairage : la fiche N°550 est applicable.
- 1.3 Il faut prévoir un éclairage de secours.

2 – Eclairage des compartiments

- 2.1 L'équipement des compartiments doit comporter un éclairage général qui, de nuit, peut ètre atténué.
- 2.2 Pour des raisons de sécurité, l'éclairage atténué doit rester allumé si l'éclairage normal du compartiment est annulé afin qu'un compartiment ne puisse être en pleine obscurité.
 - 2.2.0 Cette disposition n'est pas valable pour les voitures couchettes ainsi que pour les locaux d'un véhicule qui ne sont pas accessibles à tous les voyageurs du train.

2.2.1 Eclairage général.

L'éclairage général peut, selon le design retenu, être réglable à deux niveaux d'intensité lumineuse.

2.2.2 Eclairage au niveau du siège.

- 2.2.2.1 Une liseuse individuelle doit être prévue à chaque siège de première classe. Elle doit pouvoir être allumée lorsque l'éclairage général fonctionne à sa plus faible intensité et lorsqu'il est éteint.
- 2.2.2.2 Il est recommandé de prévoir également une liseuse individuelle à chaque siège de deuxième classe.

- 2.2.2.3 Il est possible de prévoir que l'éclairage de la liseuse soit disponible quel que soit le niveau de l'éclairage général.
- 2.2.2.4 L'éclairage individuel à la place ne doit pas gêner les personnes assises aux places voisines ou en face.
- 2.3 Le commutateur permettant d'atténuer l'éclairage général doit être placé à droite et au-dessus de la porte du compartiment et doit être repéré par le pictogramme correspondant selon la fiche n°413.
- 2.4 Les lampes fluorescentes de l'éclairage général doivent être disposées de telle manière que les voyageurs ne puissent y toucher ni les endommager accidentellement.
- 2.5 Des lampes individuelles supplémentaires servant de liseuses sont à disposer comme suit :
 - respectivement une liseuse à faisceau orienté, placée au droit de chaque siège de première classe, au-dessus de la tète du voyageur ;
 - respectivement une liseuse, placée coté tète de chaque place couchée, dans les compartiments couchettes de première et de deuxième classe.
- 2.6 L'éclairage doit être conçu de manière à permettre d'atteindre les valeurs de l'intensité d'éclairement indiquées au point 4, ce est réalisable :
 - soit par un éclairage général convenablement proportionné. Dans ce cas, il suffit que les liseuses exigées au point 2.5 ne puissent être allumées que lorsque l'éclairage général est éteint ;
 - soit par un éclairage général plus faible, complété par des lampes individuelles servant de liseuses pouvant être allumées en plus de l'éclairage général.
- 2.7 L'interrupteur des liseuses doit être situé à leur proximité immédiate ou en faire partie intégrante.
- 2.8 La conception des liseuses placées au-dessus des sièges doit être telle que d'autres voyageurs séjournant vis-à-vis de ces liseuses ne soient pas gênés leur éblouissement et ne puissent regarder les lampes à incandescence.

- 2.9 Si des liseuses sont appliquées dans les voitures à places assises de deuxième classe, elles doivent répondre aux prescriptions des points 2.6 à 2.8.
- 2.10 Il est recommandé de concevoir les diffuseurs d'éclairage de façon à éviter dans une large mesure le dépôt de poussières et de projections d'eau.

3 – Eclairage des locaux annexes

- 3.1 L'éclairage des locaux annexes tels que couloir latéral, plateformes, lavabos et WC est allumé et annulé avec l'éclairage général d'une voiture.
- 3.2 L'éclairage des lavabos doit pouvoir être allumé également lorsque l'éclairage général, visé au point 5.1, est annulé. L'éclairage peut être allumé avec une minuterie qui le coupe automatiquement après quelques minutes.
- 3.3 L'éclairage des plateformes doit être prévu de telle façon que lors de l'accès et de la descente des voyageurs, les marches soient suffisamment éclairées.
- 3.4 Il est recommandé de concevoir les diffuseurs d'éclairage également comme exposé au point 2.10.

4 – Intensité d'éclairement

- 4.1 L'éclairage général dans les compartiments doit être suffisant pour permettre aux voyageurs de lire assis. Le niveau minimal d'éclairement moyen doit, dans toutes les classes, être égal à :
 - 150 lux pour l'éclairage par lampes fluorescentes ;
 - 120 lux pour l'éclairage par lampes à incandescence ;

son degré d'uniformité devant être de 1 : 1.3 au moins. Il pourra être plus faible lorsque le degré d'uniformité réalisé est plus favorable que cette dernière valeur et lorsque l'éclairement existant à la place la moins favorisée n'est pas inférieur à la valeur minimale découlant de la condition sus indiquée.

4.2 Le degré d'uniformité de l'éclairement est égal au quotient suivant :

niveau d'éclairement existant à la place la moins favorisée

niveau d'éclairement moyen.

- 4.3 Le niveau d'éclairement moyen est égal au quotient de la somme des éclairements relevés pour chaque place assise, divisée par le nombre de mesures effectuées.
- 4.4 Le niveau d'éclairement réalisé dans les locaux annexes doit être approximativement dans le rapport suivant, avec celui des compartiments :

- dans le couloir latéral 1/4

- sur les plateformes, à proximité

des portes d'accès, au moins 1/2

- dans les lavabos et WC 1/1

4.5 Le niveau d'éclairement se mesure :

- dans les compartiments, dans le plan médian vertical de chaque siège et dans le plan horizontal situé à 0.80 m au-dessus du plancher et à une distance de 0.60 m du dossier ;
- dans le couloir latéral, dans le plan médian vertical du couloir, entre les portes des compartiments et dans le plan horizontal situé à 0.80 m au-dessus du plancher, l'éclairage des compartiments étant en service et les rideaux de la cloison séparant les compartiments du couloir étant fermés;
- sur les plateformes, à proximité des portes d'accès et dans le plan horizontal situé à 0.80 m au-dessus du plancher ;
- dans les lavabos et WC, au milieu du local et dans le plan horizontal situé à 1.50 m audessus du plancher.
- 4.6 Les mesures seront effectuées au moyen d'un luxmètre achromatisé dans les conditions de tension nominale contrôlée à la sortie de l'armoire de distribution de l'installation.
- 4.7 Pour les lampes fluorescentes, la mesure doit être effectuée après 150 heures environ de fonctionnement.

- 4.8 En vue d'éviter l'éblouissement,il y a intérêt à ce que la luminance des sources lumineuses soit faible dans la direction de l'oeil et en harmonie avec celle de l'ambiance (luminance de l'ambiance générale plafond et parois).
- 4.9 Pour obtenir un rendu agréable des couleurs, il est recommandé d'utiliser des sources lumineuses émettant une lumière qui comporte une portion suffisante de composante rouge.

5 – Dispositifs centralisés de commande et de contrôle de l'éclairage

- 5.1 Chaque voiture doit être équipée d'un dispositif de commande principal desservant l'ensemble de l'éclairage. Il doit être disposé sur le tableau de commande. (Cf fiche n°550).
- 5.2 Ce dispositif comprend essentiellement un interrupteur général qui peut être combiné soit avec un interrupteur spécial pour le semi éclairage, soit avec une commande à distance de l'éclairage ou avec les deux.
- 5.3 Pour la manoeuvre des dispositifs de commande sont admis les clés carrées femelles, boutonspoussoirs ou commutateurs rotatifs.
- 5.4 Les interrupteurs ou commutateurs manoeuvrables au moyen de la clé carrée femelle doivent pouvoir être manoeuvrés de l'extérieur du coffret ou de l'armoire électrique où ils sont placés. Les boutons-poussoirs ou commutateurs rotatifs ne doivent pouvoir être actionnés qu'après ouverture à la clé carrée femelle de la porte du coffret ou de l'armoire.
- 5.5 Il est recommandé de concevoir la commande de l'éclairage de façon à permettre d'allumer également le semi éclairage ou l'éclairage atténué.
- 5.6 Chaque voiture doit être munie d'un dispositif de télécommande de l'éclairage pour le train entier. Il est à réaliser en conformité avec l'un des deux schémas figurant sur la planche I. A la place des organes électromagnétiques, représentés, il est possible d'utiliser également des organes électroniques, qui satisfont aux mêmes conditions.
 - 5.6.0 Dans les voitures-restaurants, voitures-lits et autres véhicules circulant seulement avec un personnel d'accompagnement spécialement affecté, l'éclairage peut être réalisé en fonction des

exigences particulières. Toutefois, un éclairage suffisant raccordé à la télécommande de l'éclairage doit être prévu dans les locaux accessibles à tous les voyageurs d'un train.

- 5.7 La télécommande de l'éclairage doit être branchée sur les conducteurs 10, 11 et 12 de la canalisation générale à 12 conducteurs définie par la fiche UIC n°568, à savoir :
 - conducteur 10 pour la commande « Mise en service de l'éclairage » ;
 - conducteur 11 pour la commande « Extinction de l'éclairage » ;
 - conducteur 12 pour le fil négatif commun.
- 5.8 La tension nominale de service pour la télécommande de l'éclairage est de 24 V tension continue, des variations entre 18 et 33 V étant admissibles.
- 5.9 Les éléments de commande pour la télécommande branchée sur les conducteurs 10 et 11 ainsi que sur le fil négatif commun du conducteur 12 doivent présenter une impédance d'entrée z > 1200 ohms et entrer en fonction pour une tension minimum de 15 V.
- 5.10 Pour la protection de la batterie d'accumulateurs et des organes de l'éclairage, il est recommandé de passer automatiquement de l'éclairage général à l'éclairage atténué avant que la tension minimale admissible de la batterie soit atteinte.
- 5.11 Par principe, le dispositif de commande de l'éclairage ne doit commander que ce dernier, des dispositifs de commande supplémentaires devant être prévus pour les autres installations.
- 5.12 En ce qui concerne conception du tableau de commande, la disposition des fusibles ainsi que le repérage des organes et les inscriptions à y apporter : voir fiche UIC n°550.

6 – Réserves

- 6.1 Pour chacun des types de lampes utilisés dans la voiture, au moins deux unités doivent être emportées en réserve.
- 6.2 L'armoire abritant les réserves doit porter l'inscription 'Armoire à réserves' dans toutes les langues prescrites par le RIC.

7 - Instruction de manoeuvre et schémas

- 7.1 Un avis, en plusieurs langues, relatif à la manoeuvre doit être placé sur la face intérieure de la porte de l'armoire électrique de même que celui relatif aux installations d'alimentation en énergie et de chauffage ou de climatisation.
- 7.2 La documentation suivante doit exister dans l'armoire électrique pour permettre de déceler les défauts éventuels et de remédier aux dérangements qui en découlent :
 - schéma de disposition des organes principaux ;
 - schéma électrique de principe ;
 - note explicative succincte avec indications relatives au dépannage.

8 – Dispositions supplémentaires applicables aux voitures

du type Z

- 8.1 Les lampes fluorescentes équipant un compartiment ainsi que celles équipant les locaux annexes doivent être alimentées par des convertisseurs statiques individuels ayant une fréquence de sortie f > 16000 Hz pour éviter des bruits gênants et des fréquences physiologiquement perceptibles.
- 8.2 Les lampes fluorescentes utilisées doivent être des produits de marques courantes normalisés sur le plan international.
- 8.3 Lorsqu'il est prévu de placer les lampes sous des protecteurs, ces derniers doivent être étanches aux poussières tout en permettant l'éclairage aisé des lampes et de l'appareillage additionnel éventuellement existant.
- 8.4 Dans le cas d'un éclairage général avec un niveau d'éclairement 150 lux, visé au point ? les liseuses ne doivent pouvoir s'allumer que lorsque l'éclairage général est annulé. Si le niveau d'éclairement de l'éclairage général a une valeur plus faible, les liseuses doivent pouvoir être mises en service simultanément. La puissance absorbée par un compartiment pour les fins de l'éclairage ne doit pas être supérieure à 150 W.

- 8.5 Il est recommandé de prévoir l'éclairage général ayant le niveau d'éclairement visé au point 4 à deux échelons de luminosité afin de pouvoir tenir compte de l'éventail des désirs des voyageurs souhaitant un éclairage général plus ou moins intense.
- 8.6 Pour l'éclairage atténué (éclairage de nuit) doit être utilisée une lampe de 5 W qui peut être placée ou bien dans le plafonnier lui-même, ou bien dans un luminaire situé au-dessus de la porte.
- 8.7 L'éclairage du couloir latéral sera effectué au moyen de lampes avec une puissance totale au moins égale à 10 W, placées au-dessus des cadres de réservation de places.
- 8.8 Une lampe témoin signalant que le WC correspondant est occupé ou non doit être placée à chaque extrémité du couloir latéral au-dessus de la porte séparant le couloir de la plateforme.
- 8.9 Sur le plafond de la plate-forme, 2 luminaires de 20 W chacun, doivent être disposés parallèlement aux portes d'accès et de telle façon qu'ils assurent le parfait éclairage du passage d'intercirculation et de l'emmarchement lorsque la porte d'accès est ouverte.
- 8.10 L'éclairage de chacun des WC se fait :
 - ou bien au moyen d'un tube fluorescent placé au-dessus du miroir ;
 - ou bien au moyen de deux tubes fluorescents placés verticalement de part et d'autre du miroir.
- 8.11 Les signaux de queue électriques situés aux extrémités des voitures doivent répondre aux conditions définies par la fiche n°532. Ils doivent pouvoir être mis en service et hors service au moyen d'un interrupteur disposé du côté couloir latéral à proximité du feu de signal et manoeuvrable seulement moyennant la clé carrée femelle (feuille 8 du RIC).

9 – Eclairage de secours

9.1 Définition de l'éclairage de secours :

'L'éclairage de secours est l'éclairage minimal qui permet la circulation des voyageurs à l'intérieur et vers la sortie des véhicules en assurant notamment la reconnaissance des obstacles'.

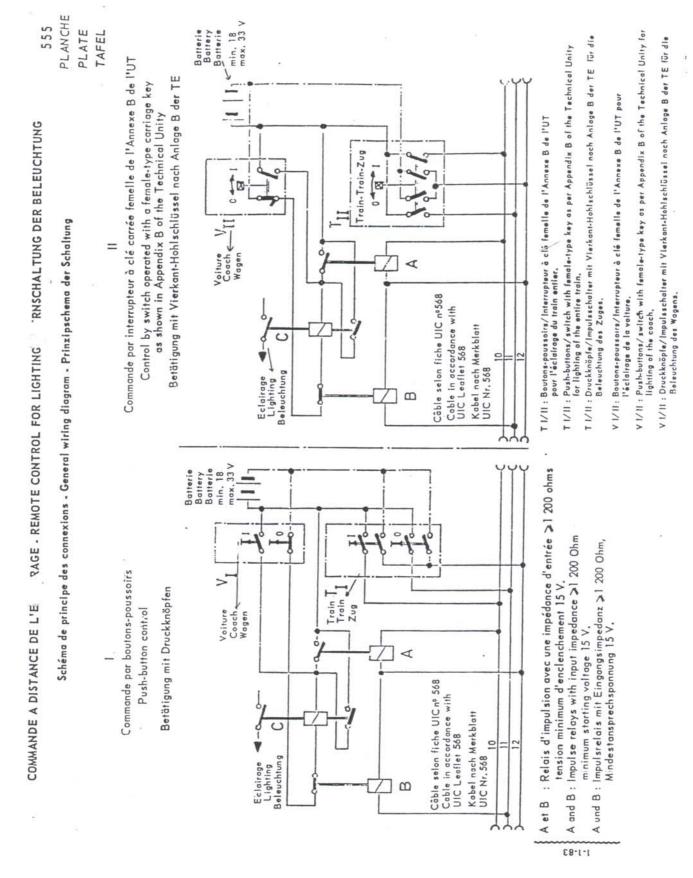
- 9.2 Après l'extinction de l'éclairage général dû à un prélèvement d'énergie de la batterie, l'éclairage de secours doit être maintenu 5 heures au minimum.
- 9.3 L'éclairage des obstacles et de la surface du sol, sur le parcours d'évacuation, doit être :
 - basé sur un éclairement minimum de 5 lux ;
 - suffisamment uniforme pour assurer une bonne visibilité.

A cet effet, une zone sombre d'éclairement inférieur au 1/10 de l'éclairement maximum du point lumineux voisin ne doit pas excéder un mètre linéaire sur le parcours d'évacuation, comme présenté à la planche 2.

- 9.4 Les valeurs susmentionnées doivent être obtenues avec une batterie en décharge pendant toute la période d'autonomie fixée.
- 9.5 Les sources lumineuses de cet éclairage ne doivent pas être éblouissantes, soit directement, soit par réflexion.
- 9.6 Lorsqu'il est fait usage de convertisseurs à haute fréquence, ceux-ci doivent être installés à proximité des lampes fluorescentes.
- 9.7 L'éclairage de secours est un des nombreux consommateurs d'énergie raccordés à la batterie du véhicule. Pour assurer la réserve en énergie dans la batterie pour l'éclairage de secours, l'extinction des différents consommateurs est recommandée comme suit, à partir du moment où la charge de la batterie s'arrête :
 - ventilateur d'apport d'air frais : immédiatement ou après un délai d'une minute au maximum.
 - liseuses : après 10 minutes environ.
 - environ la moitié de l'éclairage général : après 30 minutes environ.
 - le reste de l'éclairage général après 2 heures environ.
- 9.8 Les lampes de l'éclairage de secours font partie de l'éclairage général, y compris l'éclairage général atténué.

Fiche UIC 555 OR

- 9.9 Les lampes de l'éclairage de secours doivent être alimentées en énergie directement à partir de la batterie sans interposition d'éléments centraux de transformation. Il est admis d'utiliser des convertisseurs individuels pour alimenter deux lampes au maximum.
- 9.10 Les lampes de l'éclairage de secours sont à raccorder à au moins deux circuits électriques de distribution protégés par fusibles séparés.
- 9.11 Pour l'évaluation de la capacité de la batterie servant à assurer l'éclairage principal selon le point 2 et de secours selon le point 9.2 et à l'alimentation des consommateurs selon le point 9.7, il faut retenir comme base une nouvelle batterie entièrement chargée.



Application

A dater du 1^{er} janvier 1978 pour les dispositions ayant un caractère obligatoire, sauf en ce qui concerne :

- point 1.3.....1-1-89 (pour les voitures à construire)
- points 2.5, 2.6 et 2.9.....1-1-82 (pour les véhicules à construire)
- point 5.6 (sauf 3^e phrase)....1-1-73 (pour les voitures à construire)
 1-1-87 (pour toutes les voitures admise en trafic international).
- point 5.6 (3^e phrase)......1-1-83
- point 5.6.1.....1-1-86 (pour les véhicules à construire)
- points 5.7, 5.8 et 5.9.....1-1-83

Tous les Réseaux de l'Union.

Références d'Archives

La présente fiche, introduite au Code UIC en 1977, sous le numéro 555 correspond aux définitions des installations d'éclairage des voitures figurant auparavant dans la fiche n° 550, qui portait antérieurement le n° 51.

Derniers titres sous lesquels la question a été étudiée:

- Question 5/R/Fic555 - Approbation de la nouvelle fiche n°555 'Eclairage électrique du matériel à voyageurs'.

(Commission 'Matériel et Traction' : Paris, juin 1977).

- Question 5/R/Fic Mise au point de la fiche n°555 'Eclairage électrique du matériel à voyageurs'. (Commission 'Matériel et Traction' : Bruxelles, juin 1978).
- Question 5/R/Fic Modifications aux fiches gérées par le Groupe de travail des équipements électrotechniques des voitures et wagons.
 -3.3 Fiche n°555'Eclairage électrique du matériel à voyageurs'.

(Commission 'Matériel et Traction': Paris, juin 1981).

- Question 5/R/Fic Modifications à la fiche n°555 'Eclairage électrique du matériel à voyageurs'. (Commission 'Matériel et Traction': Paris, octobre 1982).
- Question 5/R/Fic Révision des fiches.

(Groupe de travail 'Equipement Electroniques des voitures et wagons' : Paris, janvier 1985).

- Question 5/R/Fic – Mise au point de la fiche n°555 'Eclairage électrique du matériel à voyageurs'. (Groupe de travail 'Equipements électroniques des voitures et wagons' : Paris, janvier 1988).

- Question 45/A/FIC - Révision des fiches.

Harmonisation du Règlement RIC avec les prescriptions de l'UIC.

(Groupe de travail 'Equipements électroniques des Voitures et Wagons' : Paris, janvier 1989).

Application

A dater du 1^{er} janvier 1978 pour les dispositions ayant un caractère obligatoire, sauf en ce qui concerne :

- Point 1.3......01-01-89 (pour les voitures à construire)
- Points 2.2.3.1 et 2.2.3.3.....01-01-91
- Points 2.5, 2.6 et 2.9......01-01-82 (pour les véhicules à construire)

01-01-73 (pour les voitures à construire)

- Point 5.6 (pour toutes les voitures admises en trafic international) (sauf 3^e phrase)......01-01-87
- Point 5.6 (3^e phrase).....01-01-83
- Point 5.6.1.....01-01-86 (pour les véhicules à construire)
- Points 5.7, 5.8 et 5.9.....01-01-83
- Points 9.2, 9.3, 9.4, 9.5

9.6, 9.8, 9.9, 9.10 et 9.11.....01-01-93

Tous les Réseaux de l'Union.

Références d'Archives

La présente fiche, introduite au Code UIC en 1977, sous le numéro 555, correspond aux définitions des installations d'éclairage électrique des voitures figurant auparavant dans la fiche n°550, qui portait antérieurement le n°51.

Derniers titres sous lesquels la question a été étudiée:

- Question 5/R/FIC – Révision des fiches.

(Groupe de travail 'Equipements électroniques des voitures et wagons' : Paris, janvier 1985).

- Question 5/R/FIC – Mise au point de la fiche n°555 'Eclairage électrique du matériel à voyageurs'.

(Groupe de travail 'Equipements électroniques des voitures et wagon' : Paris, janvier 1988).

- Question 45/A/FIC – Révision des fiches.

Harmonisation du Règlement RIC avec les prescriptions de l'UIC.

(Groupe de travail 'Equipements électroniques des voitures et wagons' : Paris, janvier 1989).

- Question 45/A/FIC – Révision des fiches.

17.5 – Modifications résultant de l'élaboration de la fiche n°567.

(Commission 'Matériel et Traction' : Paris, juin 1990).

- Question 5/R/FIC Révision des fiches.
- 4.2 Approbation de modifications à la fiche n°555.

(Commission 'Matériel et Traction' : Paris, juin 1990).

BIBLIOGRAFIA

- Alfredo Sacchi, Giovanni Caglieris;
- Illuminotecnica e Acustica-UTET;
- ➤ M.Serra, V.Calderaro;
 - -Fondamenti di fotometria e tecnica di illuminazione-Editoria ESA;
- Cesare Bonacina, Alberto Cavallini, Lino Mattarolo;
 - -*Trasmissione del Calore* Cleup editore;
- ➤ M.Gasparini, D.Mirri;
- -Dispositivi e circuiti elettronici-Calderini;
- > E.Cuniberti, L.De Lucchi, B.DeStefano;
- -Elettronica componenti e tecniche circuitali 2-Petrini Editore;
- E.Cuniberti, L.De Lucchi, B.DeStefano;
- -Elettronica dispositivi e sistemi-Petrini Editore;
- > Giuseppe Biondo, Enrico Sacchi;
 - -Manuale di elettronica e telecomunicazioni-HOEPLI;
- E. Ambrosini;
 - -Elettronica sperimentale-TRAMONTANA;
- ➤ Code UIC; 555 OR
 - Eclairage électrique du matériel à voyageurs-UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER ;

Siti internet:

- > www.luxeon.com
- ➤ www.lumileds.com
- > www.osram.com
- ➤ www.dialux.com
- ➤ www.distar.com
- > www.ansaldobreda.it
- www.fraen.com
- > www.rs-components.com