

## INTRODUZIONE

Nick Holonyak Jr (1928) mette a punto il primo led (diodo ad emissione luminosa) nel 1962 mentre lavorava come consulente per la General Electric. Le sue scoperte, tra le altre il primo laser con spettro nel visibile ed il dimmer, hanno influenzato largamente l'industria dell'illuminazione, della comunicazione globale e dei prodotti di consumo. Mentre la ricerca si concentrava sulla radiazione infrarossa, Holonyak creò il primo led rosso trovando un modo per sintetizzare cristalli di Fosforo di Gallio e Arsenico (GaAsP) i quali emettevano onde nello spettro del visibile.

A seconda del drogante utilizzato, i LED producono, ad esempio, i seguenti colori:

GaAsP: *rosso, rosso-arancione, arancione, e giallo*

AlGaAs: *rosso ed infrarosso*

InGaAlP: *rosso-arancione, arancione, giallo e verde*

GaP: *rosso, giallo e verde*

GaAlP: *verde*

GaN: *verde e blu*

InGaN: *blu-verde, blu*

ZnSe: *blu*

SiC come substrato: *blu*

Zaffiro (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) come substrato: *blu*

Silicio (Si) come substrato: *blu (in fase di studio)*

Diamante (C): *ultravioletto*

## Vantaggi

*della tecnica LED rispetto alla bassa tensione e alla fluorescenza*

In confronto alle lampade a bassa tensione, il vantaggio forse più evidente è quello dell'assenza di radiazioni UV/IR e quindi di calore emesso. I LED sono indicati pertanto ad illuminare gli oggetti delicati che si deteriorano con ultravioletti e infrarossi. La luce fredda comporta anche un altro vantaggio: quello di poter usare lenti in materiali sintetici, con il risultato di un direzionamento molto preciso che sarebbe praticamente impossibile da ottenere con i riflettori convenzionali.

Un altro aspetto molto importante è quello dell'efficienza energetica. Le odierne generazioni di LED vantano un flusso luminoso da 40 a 80 lm/W a seconda della temperatura di colore, quindi decisamente superiore a quello delle lampade a bassa tensione. Inoltre,

dato che a seconda del modello gli apparecchi LED durano 50.000 ore e anche di più, i costi degli interventi di manutenzione diventano piuttosto insignificanti.

Paragonando invece i LED alle lampade fluorescenti compatte, i vantaggi si notano di meno. Per valutare i flussi luminosi è necessario considerare i sistemi completi, vale a dire comprensivi di apparecchi. In termini di luce proiettata dunque, i LED spesso non hanno nulla da invidiare alle lampade fluorescenti.

Il secondo aspetto che va esaminato è quello dell'applicazione specifica. Oltre alle qualità conservative e all'assenza di manutenzione, un'altra caratteristica vantaggiosa è quella della luce proiettata. Le ottiche dei LED sono formate da

lenti che direzionano la luce nel modo preferito e con un'efficienza perfetta. A ciò si aggiunge la possibilità di generare effetti colorati dinamici (con LED RGB) con un impianto che occupa poco spazio e che assorbe poca energia.

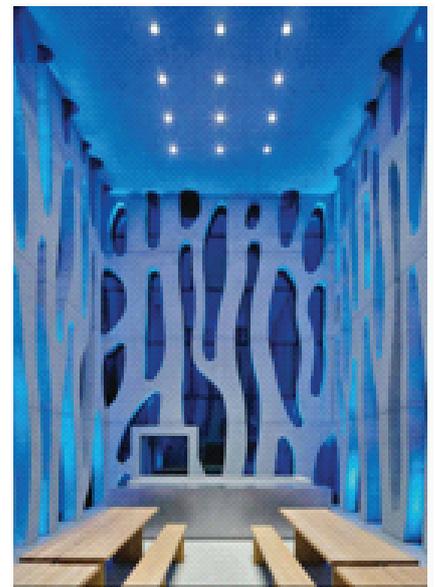


Fig.1

## **Limiti**

### *della tecnologia LED*

I LED non vanno d'accordo con le temperature ambiente elevate. Se vengono installati in zone calde, come ad esempio le saune, ne risente il flusso luminoso e anche la stessa durata. In particolare i LED a corrente costante si surriscaldano sul lato della piastra.

Per garantirne la durata è necessario pertanto che le piastre vengano raffreddate efficacemente.

È questa la ragione per cui i LED, nonostante le minuscole dimensioni delle sorgenti, possiedono spesso voluminosi elementi di raffreddamento.

## **Pregi**

### *della tecnologia LED*

#### *Lunga durata*

A seconda dell'esecuzione, i LED possono raggiungere e superare le 50.000 ore di durata. Ciò comporta intervalli di manutenzione molto lunghi, precisando però che la lunga durata è possibile solo grazie ad un efficiente bilancio termico all'interno dell'apparecchio: è questo pertanto che testimonia la validità del design.

In particolare i LED a corrente costante, quelli più potenti, si surriscaldano sul lato della piastra. Per questa ragione spesso si utilizzano sistemi di raffreddamento attivi basati su ventilatori oppure sul raffreddamento a membrana.

#### *Scarso consumo energetico*

Il tema dell'efficienza energetica è di scottante attualità: basti pensare alla discussione

sulle emissioni di CO<sub>2</sub>. Le odierne generazioni di LED vantano un flusso luminoso per Watt decisamente superiore a quello delle lampade alogene, a bassa tensione e fluorescenti. In termini di efficienza sono quindi in grado di sostituirle già oggi. Attualmente il flusso luminoso dei LED va da 40 a 80 lm/W a seconda della temperatura di colore.

#### *Luce conservativa*

I LED emettono una luce che non contiene ultravioletti né infrarossi. Il calore si sviluppa sulla piastra ma non viene emesso in direzione dell'oggetto illuminato. Questo significa che i LED sono gli strumenti ideali per valorizzare oggetti delicati e preziosi senza deteriorarli, nei musei o anche nei negozi.

#### *Luce colorata e dinamica*

I LED producono direttamente luce colorata attraverso i differenti materiali dei semiconduttori. Pertanto non hanno bisogno di filtri, necessari invece con le sorgenti tradizionali e responsabili di ingenti perdite di luce. Inoltre si possono combinare diodi luminosi di vari colori in un unico modulo collegato a un sistema di comando intelligente per miscelare i colori o per generare sequenze dinamiche.

#### *Comando di LED*

I diodi luminosi sono semiconduttori che si prestano perfettamente al dimming o anche a miscele di colori, statici e dinamici. Si possono collegare a tecniche di automazione mediante segnali bus standardizzati come DALI, DMX o *inte*

1-10 V. Attraverso gli opportuni alimentatori possono formare un impianto autonomo oppure grato in un sistema illuminotecnico più vasto.

*Altri pregi dei LED:*

- colori saturi
- perfetto funzionamento a basse temperature
- insensibili a urti e vibrazioni
- dimensioni compatte

La tecnologia led viene oggi utilizzata dai lettori digitali, nei semafori e per illuminare orologi, macchinette del caffè e strade: questa tecnologia risulta interessante quando si considera la longevità degli apparecchi led, la sua alta efficienza rispetto alle tradizionali sorgenti luminose e le dimensioni ridotte.

I diodi rientrano nella categoria dei semiconduttori ma hanno la proprietà del tutto particolare di emettere fotoni. I led hanno delle proprietà elettriche particolari che possono essere gestite opportunamente a seconda dei drogaggi: qualunque semiconduttore permette il passaggio di elettroni a determinate condizioni e queste possono essere gestite a seconda delle impurità che siamo in grado di inserirvi.

L'esatta scelta dei semiconduttori drogati determina altresì la lunghezza d'onda dell'emissione di picco dei fotoni, l'efficienza nella conversione elettro-ottica e quindi l'intensità luminosa in uscita.

Due porzioni del diodo vengono drogate con impurità di tipo diverso creando così due regioni: viene denominata regione n, quella caricata maggiormente di elettroni, e regione p, quella in cui si aumenta la concentrazione di lacune (cioè "luoghi" dove gli elettroni potranno posizionarsi).



*Fig.2*

Come in altri tipi di diodi, quando alla struttura viene applicata una tensione diretta, le lacune provenienti dalla regione p si spostano nella regione n, dove gli elettroni sono i portatori maggioritari di carica. Analogamente, gli elettroni dalla regione n si spostano nella regione p, dove le lacune sono i portatori maggioritari. Quando un elettrone e una lacuna sono presenti nella stessa regione, possono ricombinarsi spontaneamente, cioè l'elettrone può occupare lo stato energetico della lacuna, emettendo un fotone con un'energia uguale alla differenza tra gli stati dell'elettrone e della lacuna coinvolti.

Il colore della radiazione emessa è definito dalla distanza tra i livelli energetici di elettroni e lacune e corrisponde

tipicamente al valore della banda proibita del semiconduttore in questione, cioè di quell'intervallo energetico troppo basso per permettere la ricomposizione di elettroni e lacune.

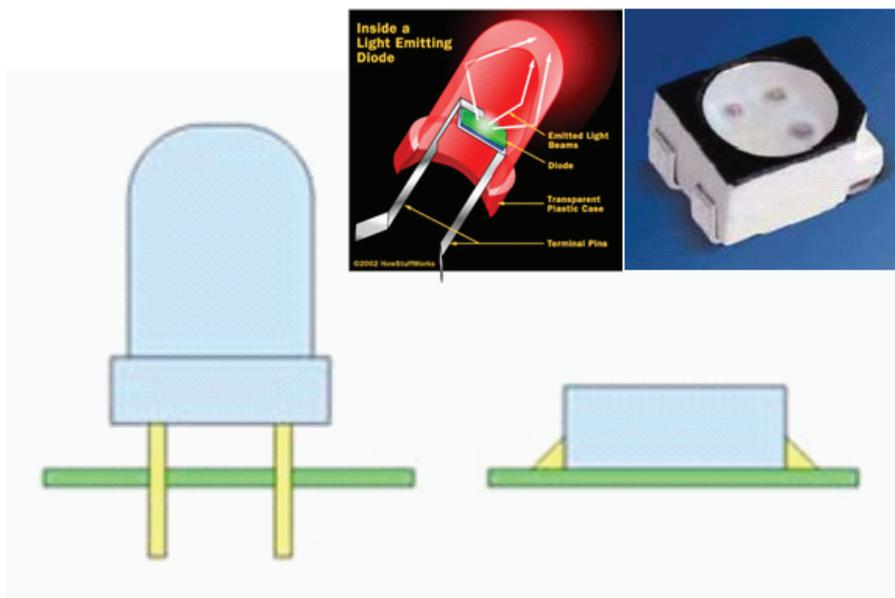
I LED sono dunque uno speciale tipo di diodi a giunzione p-n, formati da un sottile strato di materiale semiconduttore drogato.

Quando sono sottoposti ad una tensione diretta per ridurre la barriera di potenziale della giunzione, gli elettroni della banda di conduzione del semiconduttore si ricombinano con le lacune della banda di valenza rilasciando energia sufficiente da produrre fotoni. A causa dello spessore ridotto del chip un ragionevole numero di questi fotoni può abbandonarlo ed essere

emesso come luce.

Dunque il Light Emitting Diode sfrutta le proprietà ottiche di alcuni materiali semiconduttori correttamente drogati per produrre fotoni a partire dalla ricombinazione di coppie elettrone-lacuna.

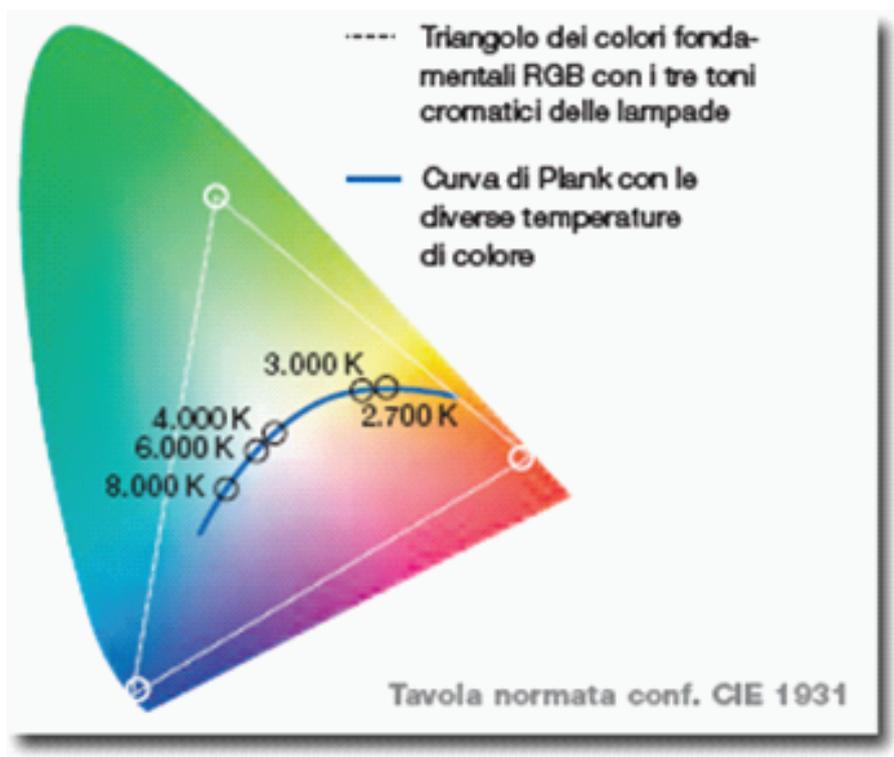
Il tipo di LED nato nel 1962 è del tipo PTH, "PLATING THROUGH HOLES", necessita dunque di il collegamento al circuito mediante saldatura attraverso fori. I led sono saldati sulla parte esterna della scheda elettronica, per entrare in contatto con la scheda utilizzano i due piedini (anodo e catodo) e sono ricoperti da un materiale plastico che ne gestisce parzialmente il flusso.



Con la nuova tecnologia led SMD, "SURFACE MOUNTING DEVICE", ovvero "Dispositivo a montaggio Superficiale", il led

viene montato sempre sulla superficie della scheda, ma non ha bisogno di piedini per il collegamento e per sua natura

ha un solido fotometrico di tipo lambertiano.



Un'altra caratteristica è la loro ridotta dimensione, grazie a ciò è possibile avere tre led di diverso colore all'interno di un "singolo led". In questo modo è possibile visualizzare tre colori contemporaneamente con "un solo led" in quanto questa tecnologia permette di ottenere una minore distanza tra i led.

Un ultimo passo tecnologico consiste nella creazione di superfici omogenee contenenti numerosi e indistinguibili led dello stesso colore (BLU-AZZURRO). Una parte dello spettro luminoso si trasforma in luce bianca con il metodo basato sulla conversione lumi

Fig.4  
Fig.5

nescente: sopra al chip LED azzurro viene apposto uno strato luminescente (analogo a quello contenuto nelle lampade fluorescenti) ed, seconda di

come è composto il materiale di conversione, la temperatura di colore può variare da tonalità calde a fredde. Il vantaggio di questo sistema è un

flusso luminoso relativamente elevato e la resa cromatica in parte ottima, con un indice Ra > 90.

## Efficienza sorgenti

Tipo di lampada	Efficienza (Lumen / Watt)	Vita media della lampada (ore)
Incandescente	8 – 25	1000 - 2000
Vapore Del Mercurio	13 - 48	12000 - 24000+
Alogenuri Metallici	60 – 100	10000 - 15000
Fluorescente	60 – 100	10000 - 24000
Sodio Ad alta pressione	45 – 110	12000 - 24000
Sodio Di Pressione Bassa	80 – 180	10000 - 18000

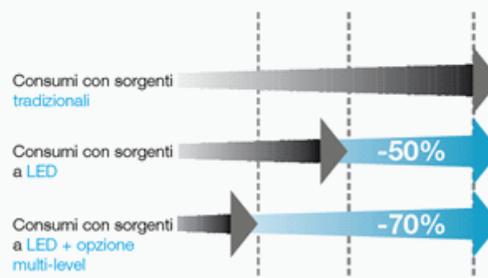
Tabella comparativa dei tipi di lampade più comuni (Cortesia International DarkSky Association - 1999)

HID				LED				
HID Lamp	Photopic Initial Delivered Lumens	Photopic Average Delivered Lumens	System Watts	Number of Light Bars	Photopic Initial Delivered Lumens	Photopic Average Delivered Lumens Over 50,000 hours	System Watts	Energy Savings %
PS 70 (H)	3,500	2,200	90	2	3,200	3,040	54	-40%
PS 100 (H)	5,650	3,550	127	2	3,200	3,040	54	-57%
PS 150 (V)	9,800	7,200	190	5	8,000	7,600	135	-29%
MH 175 (V)	9,800	6,300	210	4	6,400	6,080	108	-49%
MH 250 (H)	13,250	8,300	289	6	9,600	9,120	162	-44%
PS 320 (H)	21,000	15,500	368	10	16,000	15,200	270	-27%
MH 400 (H)	22,700	14,500	455	10	16,000	15,200	270	-41%
PS 400 (H)	28,000	22,000	450	7 + 8	24,000	22,800	405	-10%
HPS 70	4,450	3,900	105	3	4,800	4,560	81	-23%
HPS 100	6,650	6,050	130	4	6,400	6,080	108	-17%
HPS 150	11,150	10,100	188	7	11,200	10,640	189	1%
HPS 250	21,000	19,000	300	12	19,200	18,240	324	8%
HPS 400	35,000	32,000	460	2 x 11	35,200	33,440	594	29%

Light Source	Typical Luminous Efficacy Range in lm/W
	(varies depending on wattage and lamp type)
Incandescent (no ballast)	10-18
Halogen (no ballast)	15-20
Compact fluorescent (CFL) (incl. ballast)	35-60
Linear fluorescent (incl. ballast)	50-100
Metal halide (incl. ballast)	50-90
Cool white LED 5000K (incl. driver)	47-64*
Warm white LED 3300K (incl. driver)	25-44*

\* As of October 2007.

Esempio di risparmio energetico con impiego di sistema a LED:



Tab.1

Tab.2

Tab.3

Gr.1

Nel valutare l'efficienza delle lampade, il dato più indicativo è il rapporto tra flusso luminoso e unità di energia, espresso in Lumen/Watt. Tuttavia il confronto deve essere fatto seguendo determinati criteri.

Prendiamo ad esempio un downlight con lampade fluorescenti e un downlight con LED. Se confrontiamo direttamente

il valore di flusso luminoso, quello dei LED risulta solitamente inferiore al flusso della fluorescenza. Ma se consideriamo il sistema complessivo, spesso non è affatto così.

La differente caratteristica di emissione fa sì che i LED puntino la luce in un'unica direzione. Le lampade fluorescenti la diffondono invece a 360°. Per

direzionare la luce è necessario un riflettore che ne assorbe una parte, riducendo così il flusso luminoso utilizzabile.

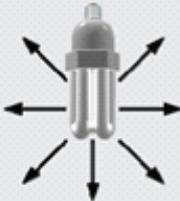
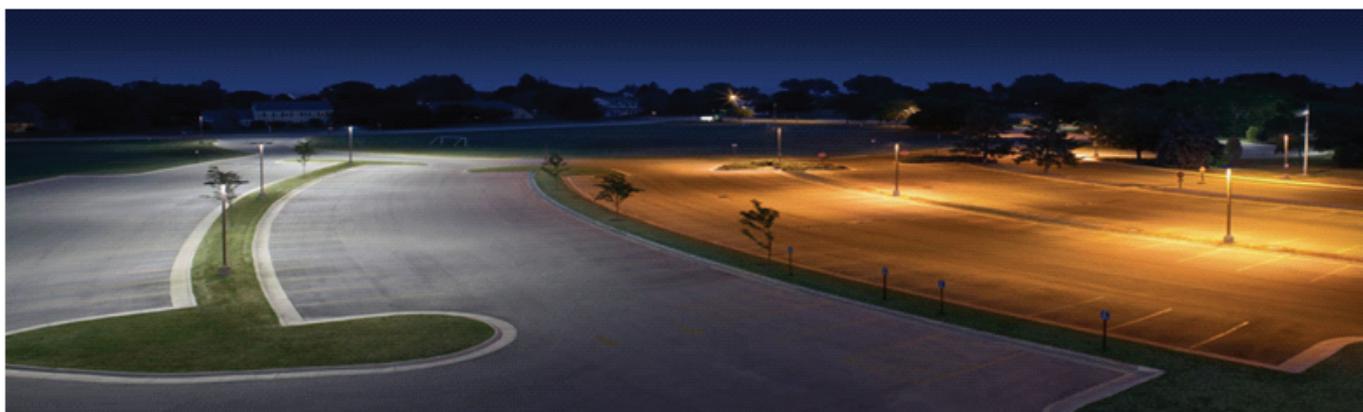
Light Source	Light-Source Efficacy	Coefficient of Utilization	Fixture Efficacy
CFL	 65 lm/W	 54%	35 lm/W
XLamp XR-E Neutral White	 58 lm/W	 77%	44 lm/W

Figure 2 - Comparison of CFL & LED Coefficient of Utilization

Di conseguenza ciò che va paragonato non è il flusso nominale delle lampade bensì la luce proiettata dagli apparecchi, ossia il flusso che rimane dalla perdita di rendimento



*Fig.7*

## Casi studio

Tra i casi più interessanti di applicazione della tecnologia led ne abbiamo individuati due: il primo di questi si riferisce alla città di Raleigh, nel Carolina del Nord, considerata la prima città a LED del mondo, per il consistente rinnovamento tecnologico attuato dalla cittadina per promuovere l'uso dell'illuminazione a LED. Il secondo a noi molto più vicino e si riferisce alla campagna Torraca, considerata anch'essa, prima città led del mondo. Senza dare adito a poco utili discussioni rispetto al primato, cerchiamo di capire in sintesi l'esperienza di queste ed altre città.

Il Comune di Torraca è borgo montano nel salernitano con 1'400 abitanti ed è arrivato a risparmiare il 60% su una voce, quale l'illuminazione pubblica, che pesa sul bilancio comunale per un buon 50%.

L'energia necessaria per illuminare la parte pubblica dell'intera cittadella, viene ora prodotta da 3 impianti fotovoltaici da 45,5 KW situati sul territorio comunale (terreni o tetti) portando nelle casse pubbliche un introito annuo complessivo di circa 120'000 € tra risparmio energetico ed energia elettrica venduta (con il mutuo di 70'000 € l'utile netto ammonta a circa 45'000 €). L'azienda fornitrice dei led

è la vicina Elettronica Gelbison srl, che ha sviluppato un'elettronica particolare per cui, il loro prodotto, consuma 53 W a fronte di un consumo di circa 120 W di un pari apparecchio led sul mercato. Il costo per gli apparecchi è ammontato circa a 180'000 € per 600 punti luce e il progetto è stato finanziato in parte dai fondi regionali per il risparmio energetico.

Nella città di Raleigh, Carolina del nord, vivono circa 260'000 abitanti e la sperimentazione di illuminazione led viene fatta cooperando con la Cree Inc ed ha portato alla realizzazione di diversi progetti: un centro convention, diverse strade, grandi parcheggi e zone pedonali, per una totalità di 12 interventi. Comprendendo il risparmio dovuto al retrofit del 95% della segnaletica stradale luminosa, il risparmio sul consumo totale di energia è stato del 45%, con un rientro dell'investimento in soli 3 anni: gli interventi fino ad ora adottati permetteranno di risparmiare fino a 200'000 US\$ ogni 20 anni. Sono in fase di sviluppo diversi progetti tra cui l'installazione di sorgenti led alimentate ad energia solare e l'illuminazione di palestre e piscine. Circa il 75% dei citta-

dini coinvolti in uno studio pre-e-post retrofit della illuminazione di questo parcheggio {Images courtesy of the city of Raleigh, N.C.}, ha risposto che la luce emessa dai led installati appare più chiara e dà la percezione di un ambiente più sicuro.

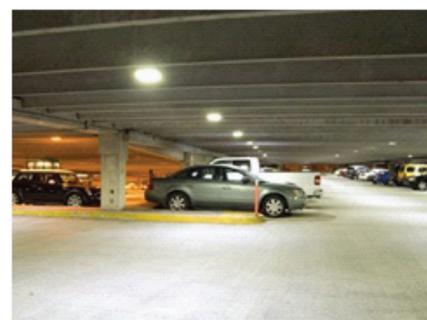


Fig.8

In India notiamo Calcutta ma pare che ai progetti di sperimentazione di illuminazione pubblica a led, si aggiungerà anche la città di Thane in Maharashtra. Calcutta con le 270 luci a LED nelle arterie principali della città, sta sperimentando questa nuova tecnologia in collaborazione con diverse organizzazioni e con il Governo indiano, nella città ci sono circa 180.000 luci stradali e l'intenzione è di fare in modo che gradualmente diventino tutte dotate di LED. L'installazione dei LED a Calcutta è iniziata con l'installazione e monitoraggio di 20 lampioni a LED Philips Lumec Roadstar.

A Pittsburgh, Pennsylvania, c'è un progetto di illuminazione per l'aeroporto che farà risparmiare alla società quasi 200'000 US\$, a Dallas, Texas, un edificio è stato illuminato a led soltanto per decoro: l'edificio è stato dotato di 86.000 pannelli led su tre lati. Nella città americana di Canton non solo verranno sostituiti i lampioni, ma anche le luci dei semafori in un progetto che verrà sovvenzionato, per duecentomila dollari, dal dipartimento dell'Energia Americano (DOE). Qualcosa di simile succede a Cerritos, località in California, prevede di risparmiare 24.000 dollari l'anno

per l'illuminazione stradale: con l'energia risparmiata sarebbero in grado di illuminare venti case. In Russia non sono da meno: Kemerovo, città nella regione siberiana, ha adattato duecento lampioni dotati di Osram Golden Dragon Plus.

Il New York State Public Service Commission invece, ha approvato un tariffario a basso prezzo creato specificamente per la Central Hudson Gas & Electric. L'obiettivo è di spingere in comuni ad installare per le vie delle città lampioni che funzionano con tecnologia a LED. L'estetica dei lampioni può mantenere le linee tradizionali e quindi dare l'impressione di essere normali lampioni, ma funzionare a LED. Il costo iniziale per la sostituzione viene compensato con il risparmio derivato dalla applicazione della suddetta tariffa.



Fig.9

## Struttura

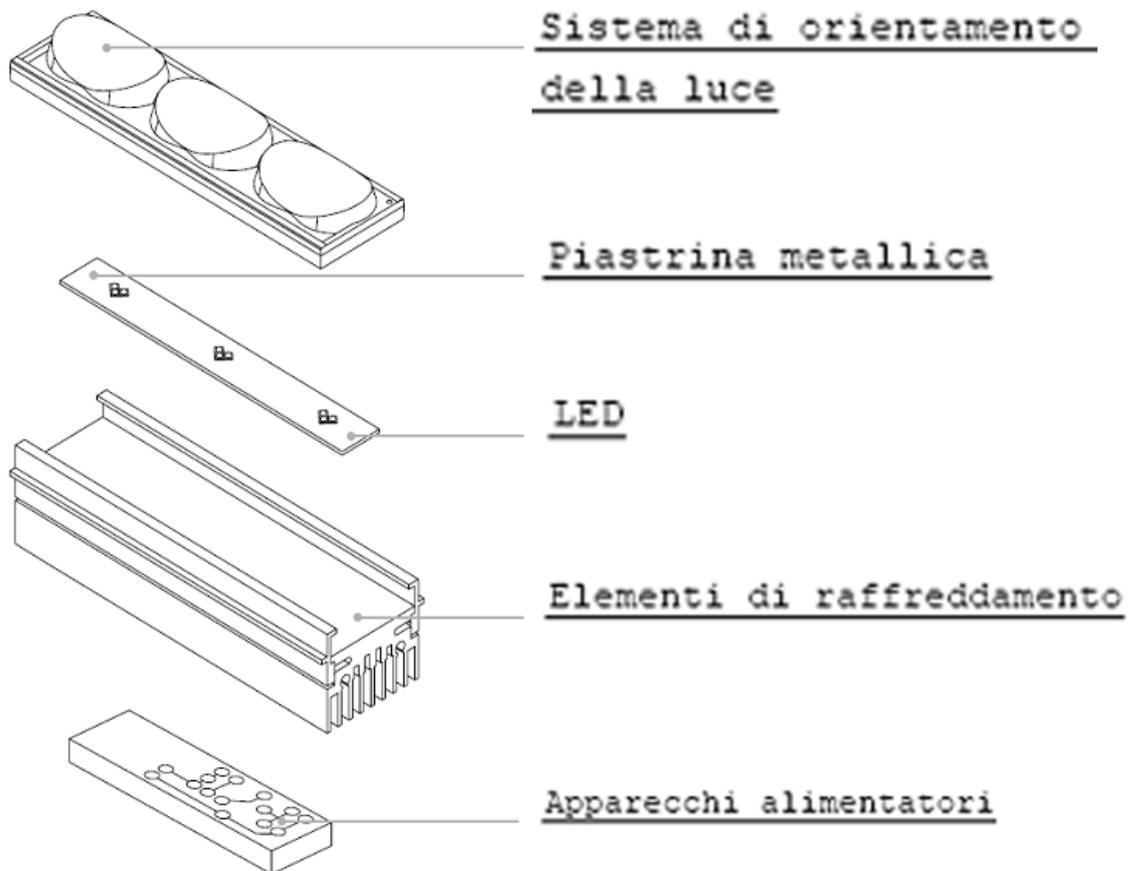
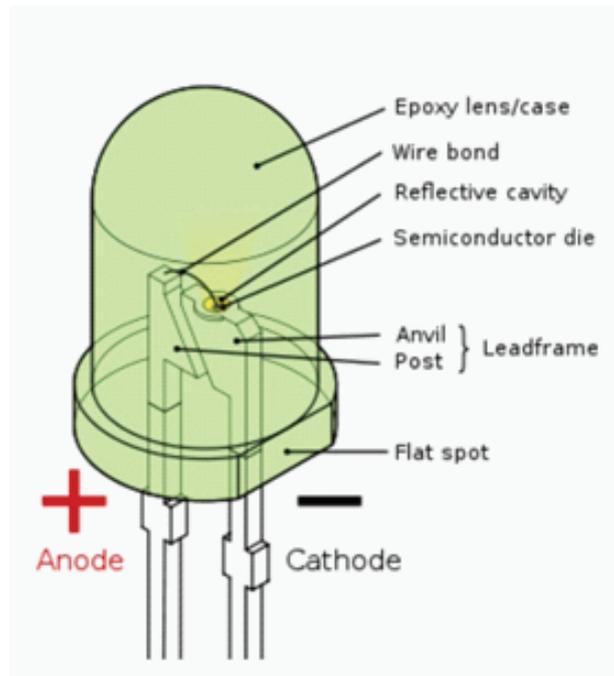


Fig.11  
Fig.12

## Ottica

Una tecnologia interessante, utilizzata ad esempio da Ruud Lighting e Core Light, è rappresentata da un rifrattore in acrilico HID stabilizzato agli Ultravioletti stampato a contatto diretto che non prevede alcun rischio di ingiallimento o deformazione della trasparenza delle lenti. Il materiale è in grado di garantire la totale gestione del flusso luminoso e il minimo assorbimento di potenza. Il rifrattore NanoOptic riduce al minimo tutte le perdite, raggiungendo un grado di efficienza (85%) assai maggiore di quelle dei riflettori tradizionali garantendo un prodotto a basso inquinamento luminoso.



## Dissipatori

Utilizzo di piastre ceramiche?  
Difficoltà di adottare un thermal management come nei processori per computer legate alla possibilità di portare ad improvvisi cali di flusso luminoso non progettabili. Difficile trattare la corrispondenza tra temperatura del led, flusso luminoso e potenza applicata al circuito.

*Fig.13*

*Fig.14*

*Fig.15*

## Driver

Fino ad oggi i LED hanno trovato impiego in apparecchi a minor sensibilità energetica o di bassa potenza, rendendo le caratteristiche tecniche del driver di scarsa rilevanza.

Ruud Lighting, ad esempio, ha sviluppato un driver per gli apparecchi della famiglia BetaLED ottimizzato per LED per soddisfare standard più severi: è appositamente concepito come driver universale, rileva automaticamente la tensione d'ingresso con possibilità di funzionamento tra 100V e 277 V, 50/60 hz, ha un alto

fattore di potenza ed è resinato in involucro IP66. L'efficienza totale arriva al 91%, rispetto al 75% raggiunto tipicamente dagli attuali gruppi di alimentazione a scarica. Il driver Ruud contiene una protezione automatica da surriscaldamento che riduce la corrente fino a 150mA se la temperatura del corpo eccede 85°C, riducendo il flusso luminoso ma senza spegnimento totale del corpo illuminante. Ciò significa maggiore sicurezza dal momento che le aree illuminate non rischiano di

cadere improvvisamente nella oscurità.

Durante lo sviluppo del sistema, data la particolare criticità del componente, è chiaro che bisognerà portare su questo una particolare attenzione.

## Sistema

Risulta indispensabile pensare una struttura modulare e standardizzata, predisposta in funzione dell'evoluzione della tecnologia LED. Le soluzioni tecniche devono essere concepite in base ad esigenze di mercato quali il tenere conto le future evoluzioni della tecnologia LED e della sicurezza di approvvigionamento a lungo termine dei ricambi.

L'unità d'illuminazione deve essere composta da elementi sostituibili, strutturata in modo tale che, in caso di usura o di sviluppo di nuove tecnologie, i suoi singoli elementi possano essere facilmente disassemblabili e sostituibili.

Possibilmente tutti i componenti devono essere riciclabili in modo avere una consistente riduzione dei costi di smaltimento e di post-trattamento in un'ottica di risparmio delle risorse.

## Come funziona un semiconduttore

I semiconduttori hanno avuto un impatto monumentale nella società. Si possono trovare semiconduttori nei microprocessori e nei transistor. Qualunque cosa sia in qualche modo computerizzata o utilizzi onde radio dipende dai semiconduttori. Oggi la gran parte dei semiconduttori sono costituiti da Silicio: si sente spesso par

lare di “Silicon Valley”, “silicon economy” e questo perché l’elemento in questione è il cuore di ogni apparecchio elettronico.

Il diodo è il più semplice semiconduttore possibile e rappresenta un eccellente punto d’inizio per capire come i semiconduttori funzionino. Il Silicio è un elemento molto comune, è

infatti l’elemento principale della sabbia o del quarzo, e per capirne la natura basta guardare la sua posizione nella Tavola periodica degli elementi.

# Tavola Periodica degli Elementi

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

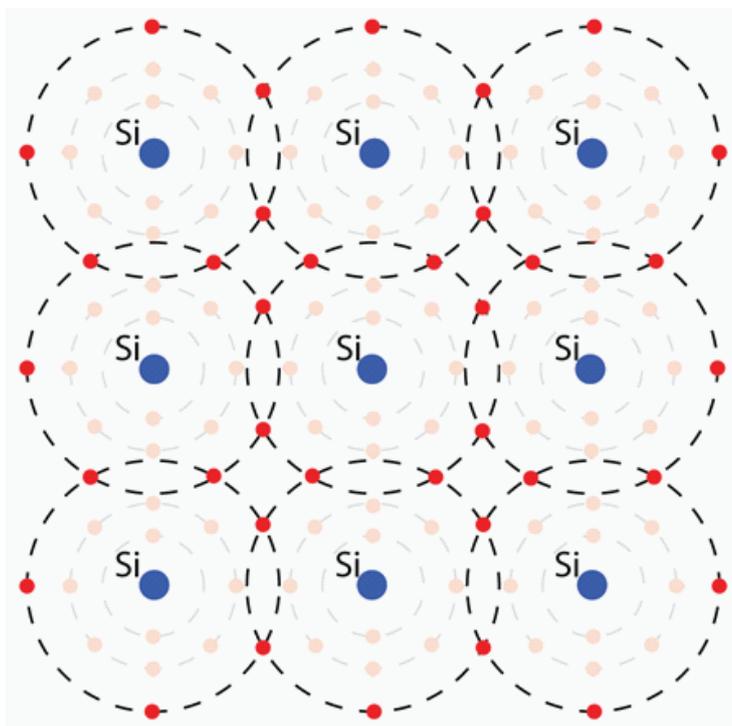
Design Copyright © 1997 Michael Dayah (mishaw@dayah.com), <http://www.dayah.com/periodic/>

Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

Fig.16

Carbonio e Germanio sono anch'essi dei semiconduttori: avendo 4 elettroni sull'ultima orbita, hanno la capacità di legarsi facilmente in forma cristallina attraverso dei legami covalenti perfetti con 4 atomi vicini e creando così il reticolo cristallino. Il cristallo del Carbonio è conosciuto come diamante, nel caso del silicio la forma cristallina si presenta come una sostanza argentata apparentemente metallica.

5 <b>B</b> Boro 10.811	6 <b>C</b> Carbonio 12.0107	7 <b>N</b> Azoto 14.00674
13 <b>Al</b> Alluminio 28.981538	14 <b>Si</b> Silicio 28.0855	15 <b>P</b> Fosforo 30.973761
31 <b>Ga</b> Gallio 69.723	32 <b>Ge</b> Germanio 72.64	33 <b>As</b> Arsenico 74.92160



I metalli sono buoni conduttori in quanto generalmente possiedono degli elettroni sull'ultima orbita liberi di muoversi tra gli atomi ed una carica elettrica ne induce lo spostamento.

Si può cambiare la natura isolante del cristallo di silicio tramite un processo chiamato drogaggio che consiste nell'inserire una piccola quantità di impurità nel reticolo cristallino.

*In un reticolo cristallino gli atomi sono perfettamente legati con i vicini non lasciando elettroni liberi per condurre energia elettrica. Questo fa del cristallo di silicio un ISOLANTE più che un conduttore*

Fig.17

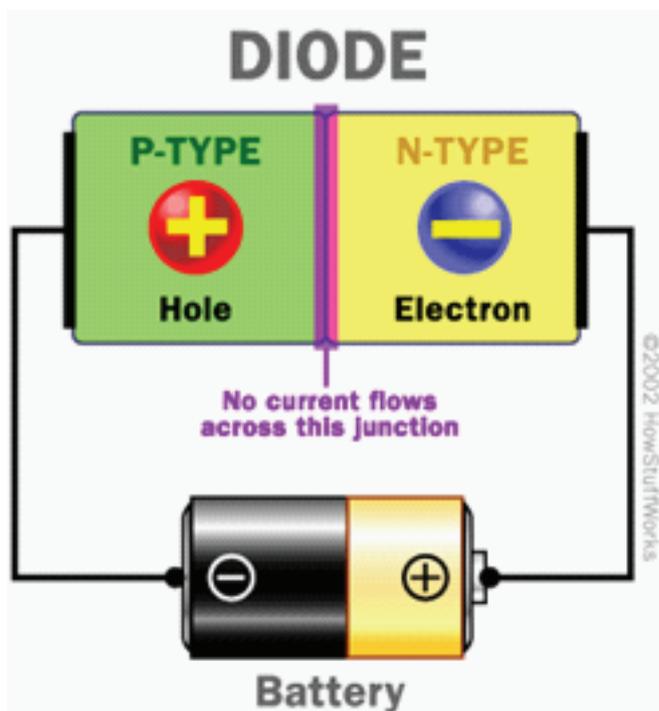
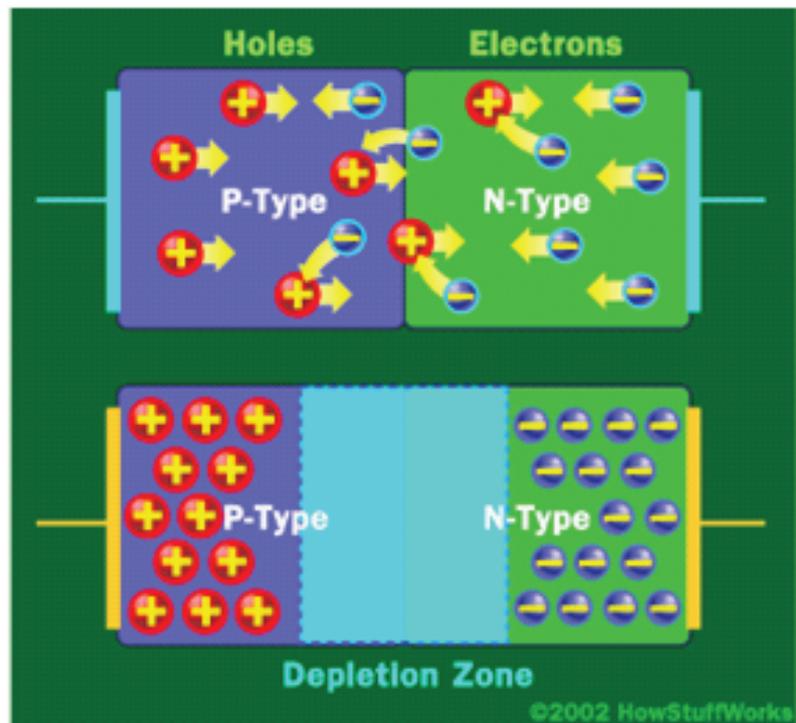
Fig.18

Ci sono due tipi di impurità con le quali si creano due tipi differenti di drogaggio:

- tipo-N: Fosforo o Arsenico hanno 5 elettroni sull'ultima orbita dunque, una volta inseriti nel reticolo come impurità, un singolo elettrone risulta libero e con una piccola quantità di impurità si riescono a creare abbastanza elettroni liberi da permettere un flusso elettrico attraverso il reticolo. Essendo il reticolo caricato Negativamente dagli elettroni, questo tipo di drogaggio viene appunto denominato di tipo-N
- tipo-P: Boro e Gallio hanno 3 soli elettroni sull'ultima orbita e gli atomi di Silicio del reticolo non hanno un elettrone da condividere: questo elettrone

mancante (lacuna) carica Positivamente la zona del semiconduttore dunque questo tipo di

drogaggio prende il nome di tipo-P.

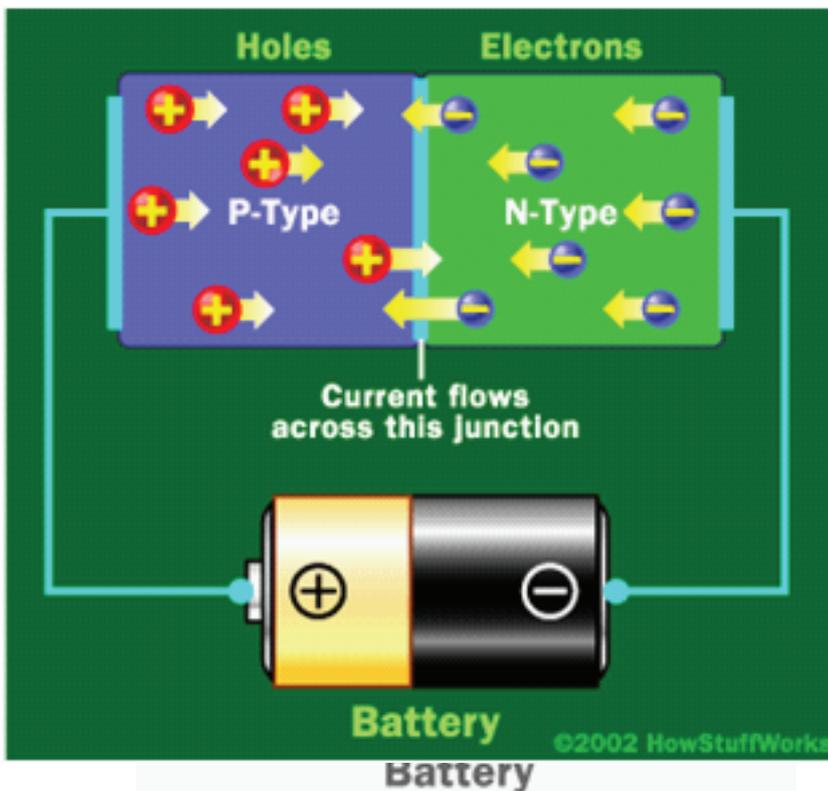
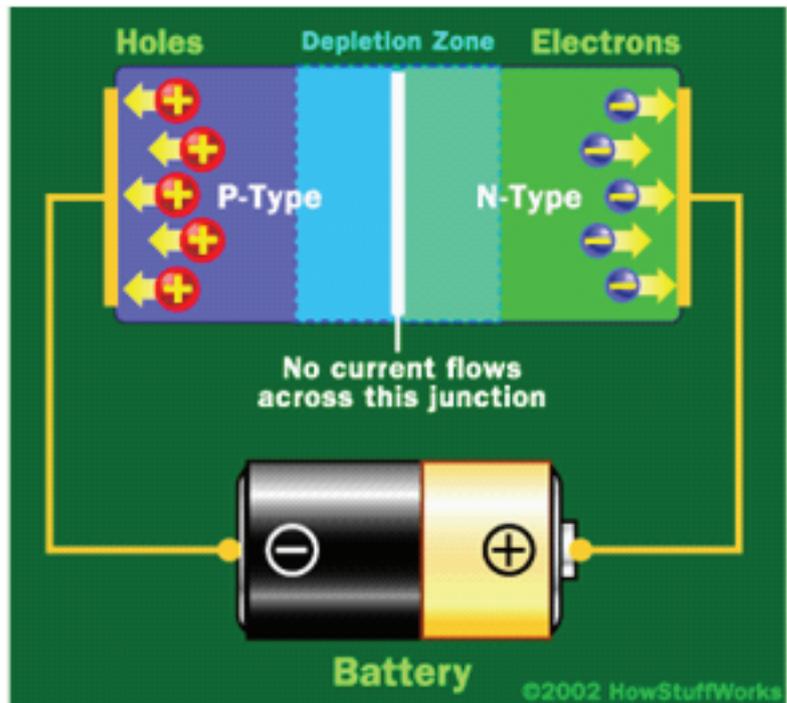


Il Silicio drogato di tipo-P o tipo-N non ha delle proprietà sensazionali preso singolarmente, quando invece mettiamo insieme queste due componenti (creando così un diodo), abbiamo un comportamento molto interessante nella giunzione: parte degli elettroni liberi si combina con le lacune adiacenti creando una zona isolante tra le due componenti parzialmente caricate tramite drogaggio.

Fig.19  
Fig.20

Benché le due componenti della giunzione, prese singolarmente, siano dei conduttori, la combinazione mostrata nell'immagine (X) non porta ad alcuna corrente: gli elettroni nel Silicio tipo-N sono attratti dal polo positivo della batteria e il polo positivo del Silicio tipo-P è attratto dalla carica negativa della batteria.

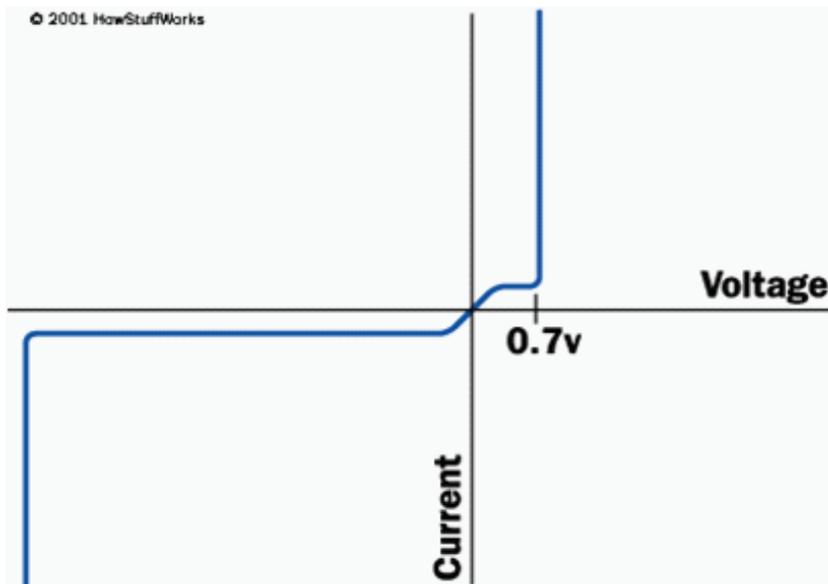
Dunque la condizione è stabile: elettroni e lacune, muovendosi nella direzione sbagliata, aumentano la zona isolante e non si crea alcun flusso di elettroni attraverso la giunzione.



Ruotando la batteria gli elettroni liberi nel Silicio tipo-N vengono allontanati dal polo negativo della batteria e spinti nel Silicio tipo-P dove le lacune sono allontanate dal polo positivo della batteria. Nella giunzione si incontrano dunque elettroni e lacune facendo così scomparire la zona isolante: gli elettroni riempiono le lacune vicine lasciando dietro di sé lo spazio per altrettanti elettroni e creano dunque un flusso di elettroni attraverso la giunzione.

Fig.21

Fig.22



Il componente che permette il passaggio di elettroni in una sola direzione è chiamato diodo e può essere utilizzato in diversi modi ad esempio per proteggere gli apparecchi da un fortuito inserimento al contrario delle batterie.

Quando inserito in direzione inversa, un diodo ideale, blocca qualsiasi differenza di potenziale; un diodo reale invece si rompe ma spesso il voltaggio inverso necessario perché questo avvenga è molto di più di quanto il circuito ne vedrà mai in vita sua... dunque è irrilevante.

Quando il diodo è inserito nella giusta direzione è necessaria una piccola tensione

perché si avvii il flusso di elettroni: usando il Silicio questa piccola tensione, necessaria per il processo di combinazione nella giunzione, è circa 0.7 volts.

Il led è l'eroe non celebrato del mondo elettronico: è utilizzato in dozzine di applicazioni e nella stragrande maggioranza dei dispositivi elettronici: orologi, telecomandi, maxischermi e semafori; è facilmen

te integrabile in circuiti elettrici/elettronici e genera luce già a basse tensioni.

Fig.23

## Come può il diodo led creare luce

La luce è formata da pacchetti di energia chiamati quanti o fotoni, che si muovono secondo vettori ma non hanno massa: questi sono l'unità base della luce.

I fotoni sono il risultato di determinati movimenti degli elettroni: questi si muovono attorno ad il proprio nucleo secondo diversi livelli energetici. Se forniamo energia, alcuni elettroni del livello di valenza (l'ultimo, il più esterno) passano ad un livello eccitato con un contenuto energetico maggiore. Viceversa un elettrone che torna ad un'orbita energetica inferiore rilascia energia sotto forma di fotoni. Esattamente questo avviene nei led quando un elettrone della zona-n va a colmare una lacuna della zona-p. A seconda degli elementi utilizzati per la costruzione del diodo-led i fotoni avranno uno spettro diverso, dunque visibile o meno dall'occhio umano, dunque di un colore piuttosto che di un altro essendo il salto energetico diverso in elementi diversi. Il funzionamento dei led si basa su fenomeni di emissione della radiazione elettromagnetica che è possibile descrivere mediante principi elementari di meccanica quantistica. L'interazione della radiazione elettromagnetica con la materia avviene mediante tre fen-

omeni fondamentali: assorbimento, emissione spontanea ed emissione stimolata, tutti relativi all'emissione di un fotone da parte di un atomo. In particolare, quando un fotone a frequenza  $f_0$ , e quindi energia  $hf_0$  interagisce con un atomo, esso può essere assorbito provocando la transizione di un elettrone dal livello  $E_1$  al livello  $E_2 > E_1$  ( $E_2 = E_1 + hf_0$ ).

Secondo la fisica quantica un atomo, quando un elettrone passa da uno stato d'energia  $E_2$  ad uno inferiore  $E_1$ , emette una quantità di energia uguale ad  $E_2 - E_1$  sotto forma d'onda

elettromagnetica di frequenza  $f$  data da:

$$f = (E_2 - E_1)/h$$

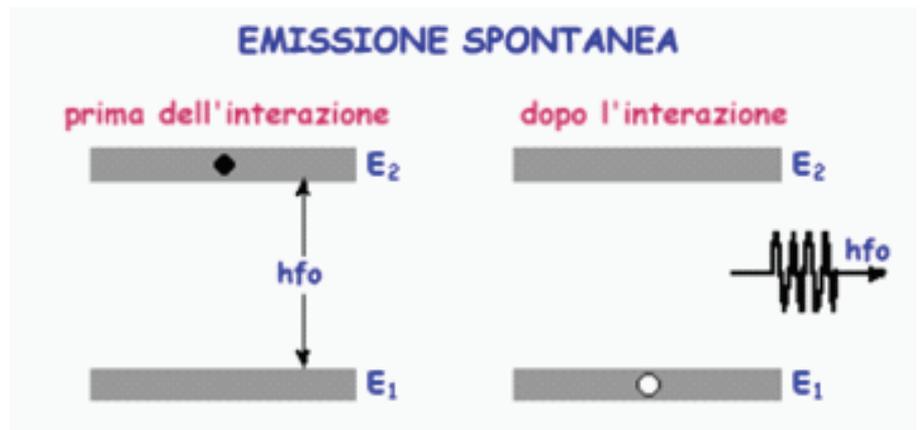
dove  $h = 6.626076 \cdot 10^{-34}$  Js è detta costante di Planck.

Avremo quindi associata ad ogni differente atomo una corrispondente onda elettromagnetica corrispondente al salto energetico degli elettroni dell'elemento specifico; essendo ogni materiale formato da diverse sostanze, è possibile riconoscere i diversi composti semplicemente osservando il loro spettro.



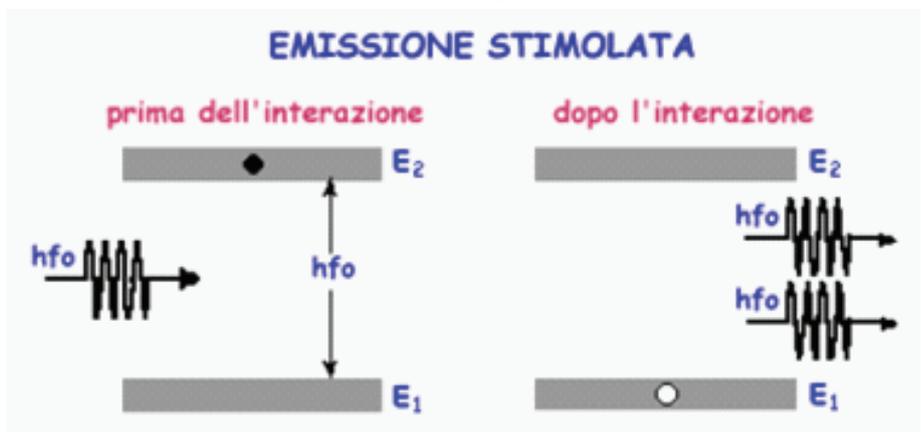
Fig.24

Gli elettroni eccitati, a partire da questo stato, possono tornare allo stato originario attraverso l'emissione spontanea di un fotone con energia  $h\nu$ .



gap  $E_g = E_c - E_v = h\nu$ , caratter

Se un fotone interagisce con un atomo con un elettrone sul livello  $E_2$ , si può avere emissione stimolata di un ulteriore fotone con energia  $h\nu$ , che accompagna il fotone originario e la transizione dell'atomo sul livello  $E_1$ .



La caratteristica principale dell'emissione stimolata è che il fotone secondario ha la stessa energia, la stessa direzione (quantità di moto) e possono considerarsi anche con la stessa frequenza del fotone primario. L'emissione stimolata viene amplificata e convogliata all'esterno, nelle sorgenti LASER, ottenendo un alto grado di coerenza temporale (teoricamente), ovvero un raggio monocromatico (con stessa frequenza  $f$ ). I fotoni che si creano per emissione spontanea hanno direzioni di

propagazione aleatorie e si ricombinano con relazioni arbitrarie fornendo una emissione incoerente ovvero caratterizzata da uno spettro di emissione ampio (tipico del LED). Tra i materiali più adatti da impiegare come emettitori di radiazione luminosa vi sono i semiconduttori; in questi materiali si trova la struttura a due livelli: al livello  $E_2$  corrisponde la  $E_c$  della banda di conduzione, mentre ad  $E_1$  corrisponde la  $E_v$  della banda di valenza.  $\nu$ , ovvero  $\lambda$ , è determinata dalla cosiddetta energia di

caratteristica del particolare materiale (per il silicio  $E_g = 1.1$  eV, per il Germanio  $E_g = 1.42$  eV, cui corrispondono, rispettivamente, lunghezze d'onda pari a 1.13  $\mu$ m e 0.87  $\mu$ m). Ogni volta che nel semiconduttore un elettrone eccitato nella banda di conduzione ritorna nella banda di valenza (ricombinazione elettrone/lacuna), si ha l'emissione di un fotone alla lunghezza d'onda  $\lambda$ . Sfortunatamente, a temperatura ambiente, la concentrazione di elettroni eccitati è piccola per avere

Fig.25

Fig.26

un'emissione significativa, anche se il semiconduttore è fortemente drogato, ed è quindi necessario ricorrere ad una sorgente esterna per aumentare il numero di elettroni eccitati. Il modo più semplice per raggiungere questo scopo è polarizzare direttamente una giunzione p-n iniettando così un elevato numero di elettroni. La ricombinazione delle cariche può verificarsi in due modi: radiativa e non radiativa; nel primo tipo la ricombinazione dà luogo all'emissione di un fotone contribuendo all'intensità della radiazione prodotta, nel secondo tipo la ricombinazione avviene in modo tale che l'energia di gap non viene ceduta come fotone, ma trasferita ad altri portatori come energia cinetica o dissipata in vibrazioni del reticolo oppure, ancora, assorbita da impurità del materiale.

È evidente che l'intensità della radiazione in corrispondenza di una data corrente  $I$  di polarizzazione, dipende dalla probabilità che all'interno del semiconduttore si verifichino delle ricombinazioni non radiative: poiché il silicio presenta una elevata probabilità di ricombinazione non radiativa, negli anni '60 il materiale che ha permesso la costruzione dei primi dispositivi optoelettronici è stato l'arseniuro di gallio (GaAs) che presenta una bassa probabilità di radiazioni non radiative.

La massima quantità di luce che può essere emessa da un LED è limitata essenzialmente dalla massima corrente media sopportabile, che è determinata dalla massima potenza dissipabile dal chip.

Quando sono richiesti valori d'uscita più alti normalmente si tende a non usare correnti continue, ma ad usare delle correnti pulsanti con duty cycle scelto in maniera opportuna. Ciò permette alla corrente e, di conseguenza alla luce, di essere notevolmente incrementate, mentre la corrente media e la potenza dissipata rimangono nei limiti consentiti.

La tensione di polarizzazione diretta, invece, varia a seconda della lunghezza d'onda della luce che emettono.

COLORE	VOLTS
infrarosso	1,3
rosso	1,7
arancio	2,0
verde	2,5
azzurro	4,0

## Spettro emissione

L'International Dark-Sky Association scoraggia l'uso di led con temperatura colore maggiore ai 3'000 K in quanto la componente blu dei led viene propagata molto facilmente dallo scattering di Rayleigh, causando quindi più inquinamento luminoso di altre.

Gli standard statunitensi ANSI/IESNA RP-27.1-05 (Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamp and Lamp Systems) stabiliscono un limite di sicurezza chiamato blue-light hazard. Precisi riferimenti relativi alle lesioni fotochimiche della retina umana, riferite al rischio della luce blu e UV (Blu-Light Hazard o BLH), sono riportati nella CIE 138/2000 Photobiology and Photochemistry e nella CIE S 009/E:2002 Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems (la cui versione europea si chiama EN 62471:2008 e la versione italiana D.Lgs 81/2008, titolo VIII - capo V e successive integrazioni).

Come mai questa attenzione tra leggi e normative?

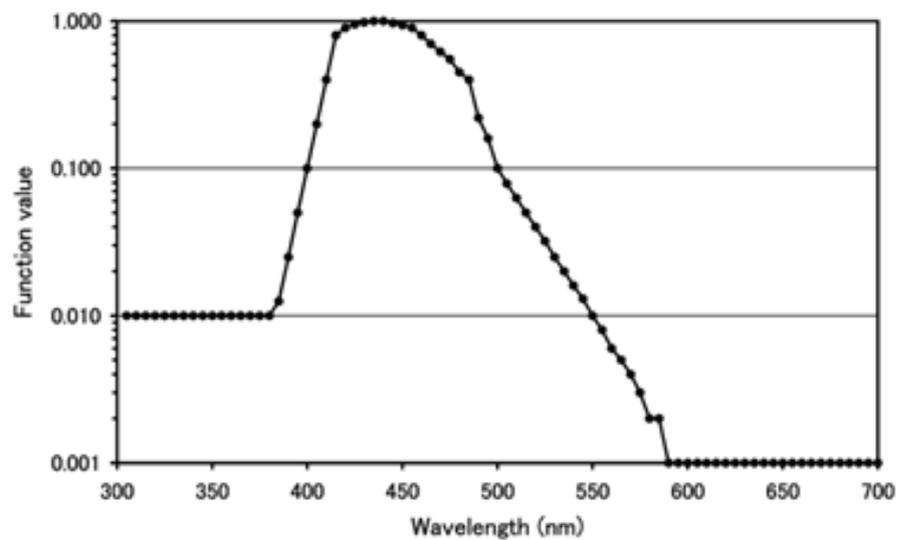
Le Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA) occupano quella regione dello spettro elettromagnetico non ancora ionizzante di più alta energia; in questa regione spettrale l'energia della radiazione è però tale

da passare dagli effetti termici, caratteristici delle radiofrequenze e delle microonde, a quelli fotochimici e ionizzanti, come nella radiazione ultravioletta, mantenendo una scarsa capacità di penetrazione nella materia biologica; questa caratteristica fa sì che siano gli occhi e la pelle gli organi bersaglio da salvaguardare dall'esposizione professionale alla radiazione ottica.

La radiazione blu, è stata additata come probabile responsabile, tra le altre, della degenerazione maculare legata all'età (Pescosolido e Fondi, 1994). Per altro l'effetto detto "blue light hazard", ha condotto alla necessità di una filtratura delle radiazioni blu dello spettro. Si tratta ovviamente di una filtratura che deve essere compiuta in maniera intelligente, dato che la radiazione blu, che appartiene pur sempre allo spettro del visibile, non deve essere eliminata completamente, pena un affaticamento visivo e un'alterazione nella visione dei colori. Vista e compresa la loro funzione di filtraggio sulle radiazioni a corta lunghezza d'onda, un filtro sbagliato potrebbe ridurre la luce visibile che arriva

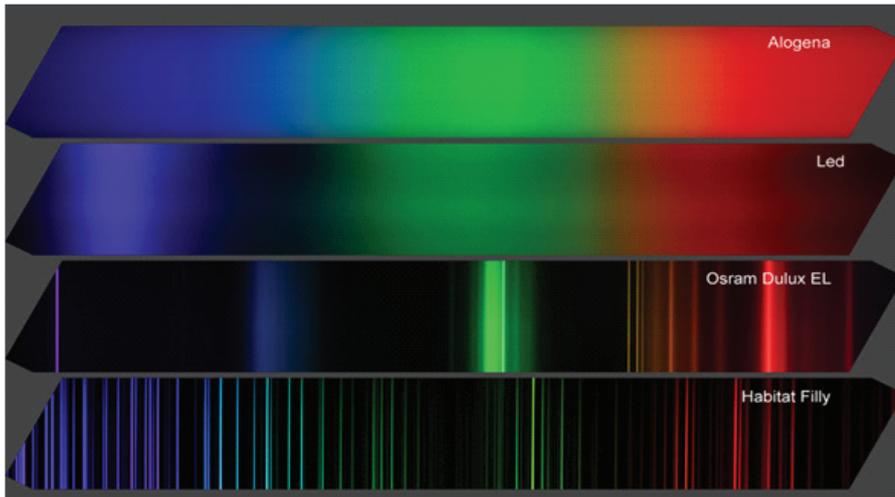
sulla retina, provocando una midriasi (dilatazione della pupilla) e senza tagliare l'ultravioletto; questo paradossalmente risulterebbe più pericoloso rispetto all'assenza di qualsiasi protezione. Infatti, la pupilla ha una sensibilità il cui massimo risulta essere più spostato verso le corte lunghezze d'onda (530 nm) rispetto alla sensibilità fotonica dell'occhio umano (555 nm). Per questo motivo un filtro che taglia le radiazioni corte lascia la pupilla più dilatata, permettendo di conseguenza il passaggio di più radiazioni. Se tale effetto è più importante rispetto all'azione di filtraggio si ha un'esposizione rischiosa alla radiazione UV.

In campo di sicurezza e rischi derivanti da luce blu, generalmente, la responsabilità ricade sul produttore finale del prodotto. I produttori di led non sono soggetti a controlli di questo tipo in quanto un prodotto/sistema potrebbe essere considerato sicuro ma ricadere in una classificazione differente con l'aggiunta di ottiche o lenti.



*Funzione del rischio da luce blu: mostra la capacità della luce di produrre danni fotochimici alla retina in funzione della lunghezza d'onda.*

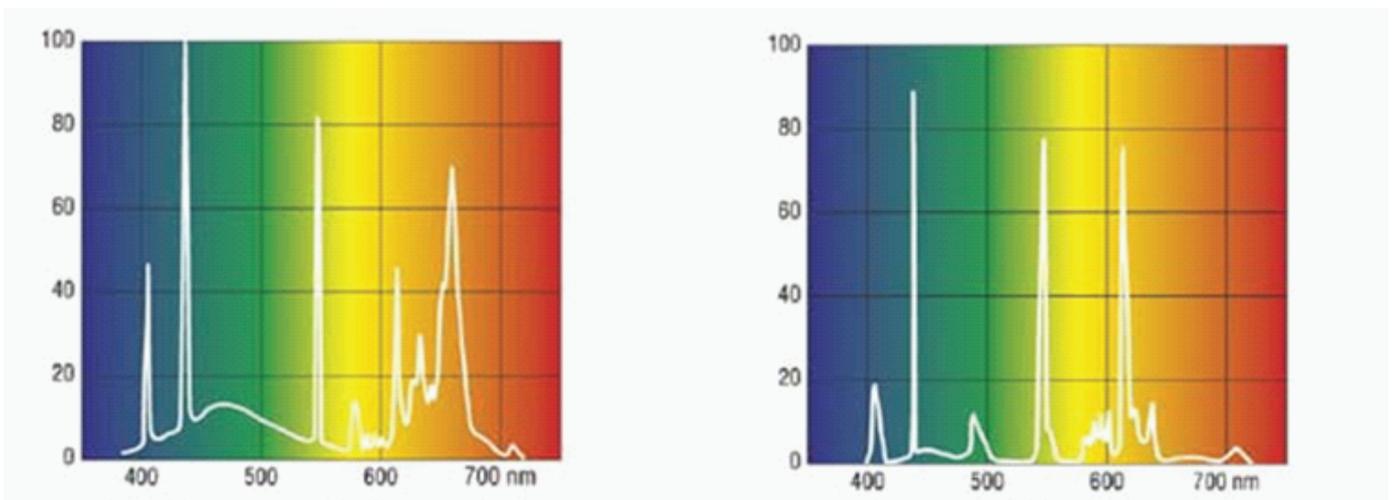
Perché è preferibile lo spettro emesso dai led?



Ogni tipologia di sorgente di luce ha uno spettro d'emissione che seguirà una propria curva caratteristica. Nel caso di led e

lampade fluorescenti, queste curve, sono fortemente influenzate dai fosfori utilizzati per gestire la temperatura colore.

Tra le lampade fluorescenti abbiamo forti corrispondenze in quanto presentano sempre determinati picchi caratteristici:

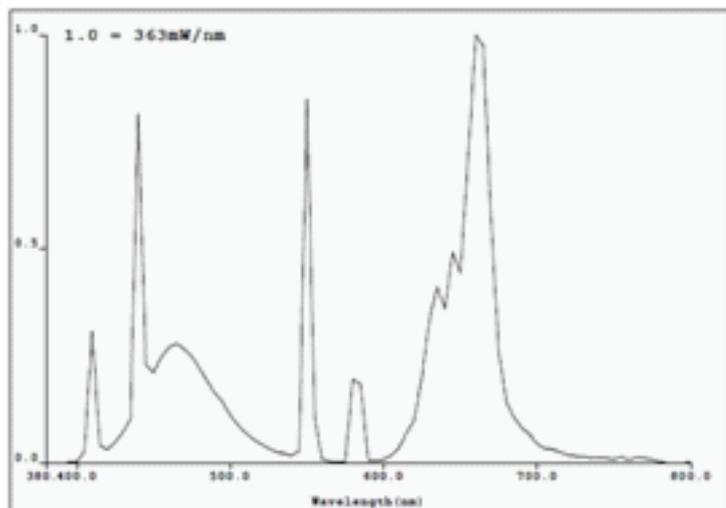


*Spettri tipici di lampade fluorescenti*

Fig.27

Fig.28

Fig.29

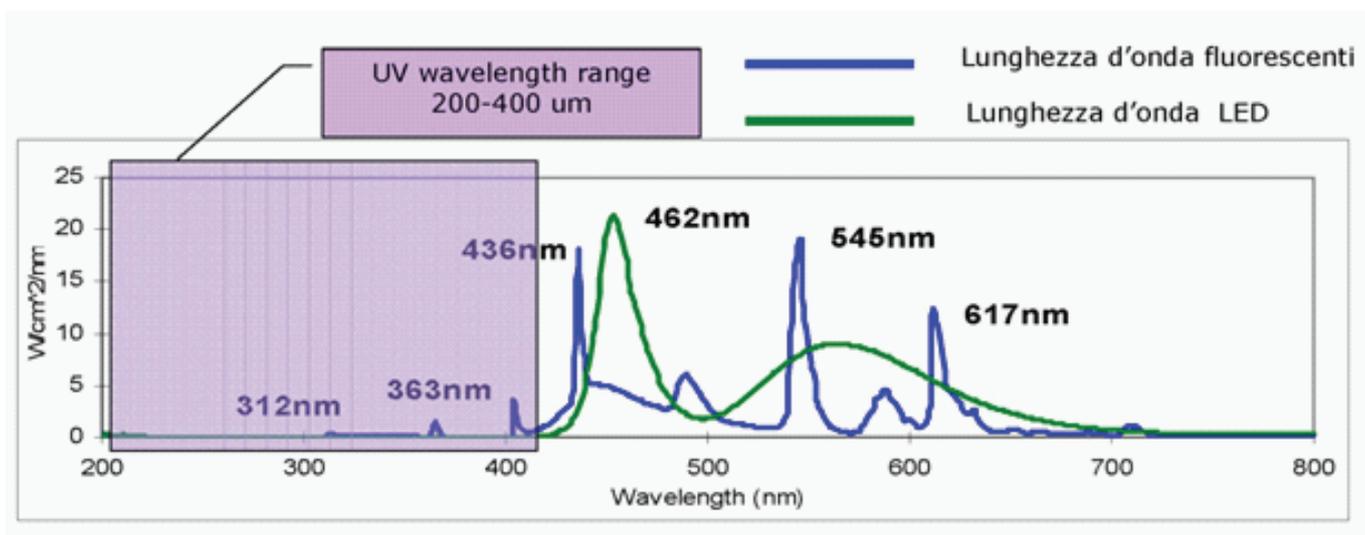


*Spettro di una lampada ad induzione per uso botanico*

La scelta dei picchi consente di miscelare diverse lunghezze d'onda ed avere così una gradevole luce bianca. Le ultime generazioni di lampade fluorescenti lineari (trifosforo e pentafosforo) riescono a raggiungere buoni livelli di emissione tra i picchi raggiungendo

così buoni Indici di Resa Cromatica (IRC, indicato con la sigla Ra, qualunque indice Ra pari o superiore a 80, viene normalmente considerato alto ed indica che la sorgente ha buone proprietà di resa cromatica).

Purtroppo questo tipo di sorgenti, presentano spesso delle emissioni, se pur minime, nel campo dell'ultravioletto: peratura colore.

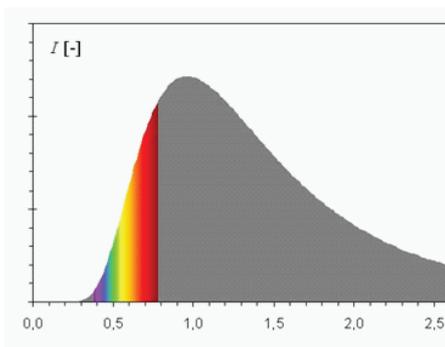


*L'irradiazione di raggi UV può provocare nei soggetti esposti effetti tossici e cancerogeni*

Un'altra pecca delle lampade a fluorescenza è il contenuto, seppur minimo, di mercurio o vapori di mercurio: questo elemento è dannoso per l'organismo e l'ambiente tanto da spingere i maggiori produttori mondiali di questo tipo di lampade a rivestirle per evitare di disperderne il contenuto in caso di rottura.



Figura 5.7 In caso di rottura i frammenti di vetro restano entro un involucro trasparente protettivo.



Spettro di emissione delle sorgenti ad incandescenza

Ciò che definitivamente ci ha allontanato dall'idea di sviluppare un prodotto di illuminazione a fluorescenza è la difficoltà della gestione del flusso luminoso: la luce generata è di tipo diffuso e le dimensioni delle sorgenti in questione complicano l'utilizzo di riflettori e lenti.

Riportiamo per completezza lo spettro delle sorgenti ad incandescenza ricordando che l'Unione Europea ha sancito il graduale divieto di produzio

ne delle lampadine ad incandescenza con la seguente tabella di marcia:

Da settembre 2009 da 100 W o di più e di tutte quelle a bulbo smerigliato o opalino;

Da settembre 2010 di quelle da 75 W;

Da settembre 2011 di quelle da 60 W;

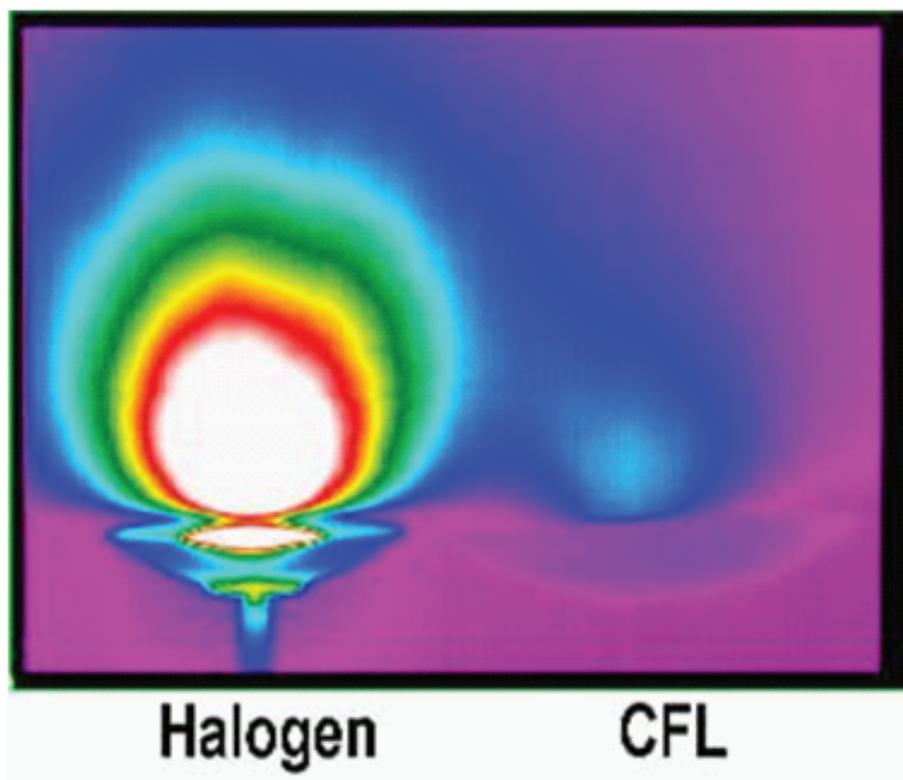
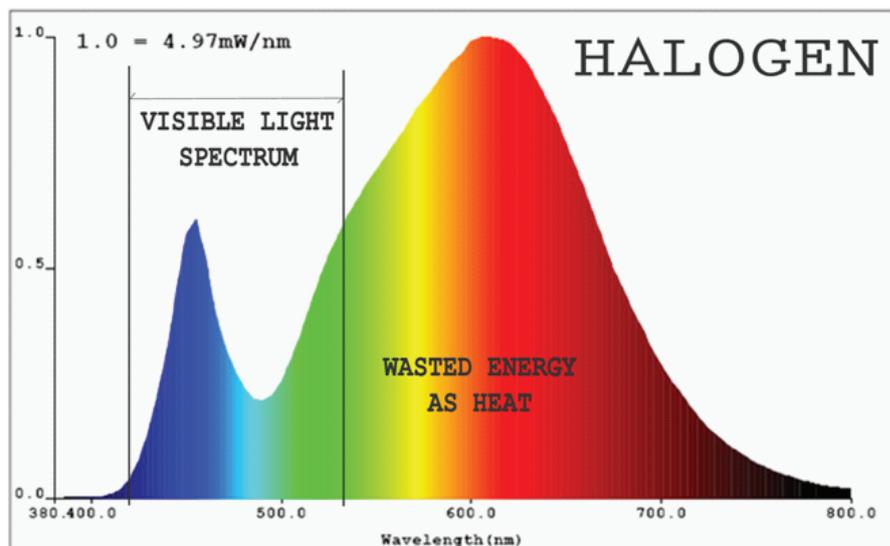
Da settembre 2012 di qualsiasi potenza.

Fanno eccezione le lampadine ad incandescenza per usi specifici (es. frigo, forno, ecc...).

È facile notare come la stragrande maggioranza della radiazione emessa non sia tra le radiazioni otticamente percettibili dall'uomo: gran parte dell'energia consumata da questo tipo di lampade è dispersa sotto forma di infrarosso, dunque di calore, senza che questo possa essere di vantaggio alcuno per la percezione degli spazi.

Esistono lampade alogene di ogni forma e potenza ma essendo un particolare tipo di lampada ad incandescenza ne mantengono alcune caratteristiche.

Cambia il gas a contatto con il filamento aumentando la temperatura colore della luce emessa e l'efficienza luminosa. La durata di vita è doppia rispetto alle sorgenti tradizionali: nelle sorgenti alogene, il tungsteno che evapora a causa della temperatura elevata, reagisce con il gas formando un alogenuro di tungsteno. Successivamente, il composto, entrando in contatto con il filamento incandescente si decompone e rideposita il tungsteno sul filamento stesso realizzando un ciclo, il ciclo alogeno.



Abbondante è ancora la dispersione nel campo dell'infrarosso ma, in molti casi, si aggiunge una piccola emissione nel campo dell'ultravioletto. La mancata schermatura ai raggi UV è dovuta al quarzo di vetro con cui è fabbricato il bulbo della lampadina. Il quarzo è trasparente a questi raggi. Comunque il problema si aggira

grazie al modello diecristico, con uno schermo che lascia passare la luce ma scherma i raggi UV.

Prendiamo, ad esempio, un led PTH bianco (cioè di vecchio tipo, con copertura polimerica, ma della generazione che ha anticipato lo sviluppo dei SMD): abbiamo già detto che, come il laser, i led per propria natura

emettono luce monocromatica. Tipicamente, la radiazione emessa da un led, può variare di 15 nm a fronte di uno spettro visivo di oltre 300 nm (da 400 a 700 circa).

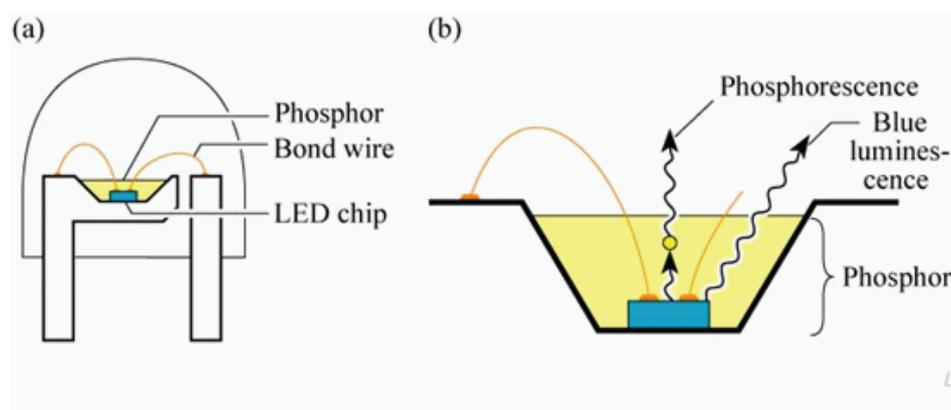


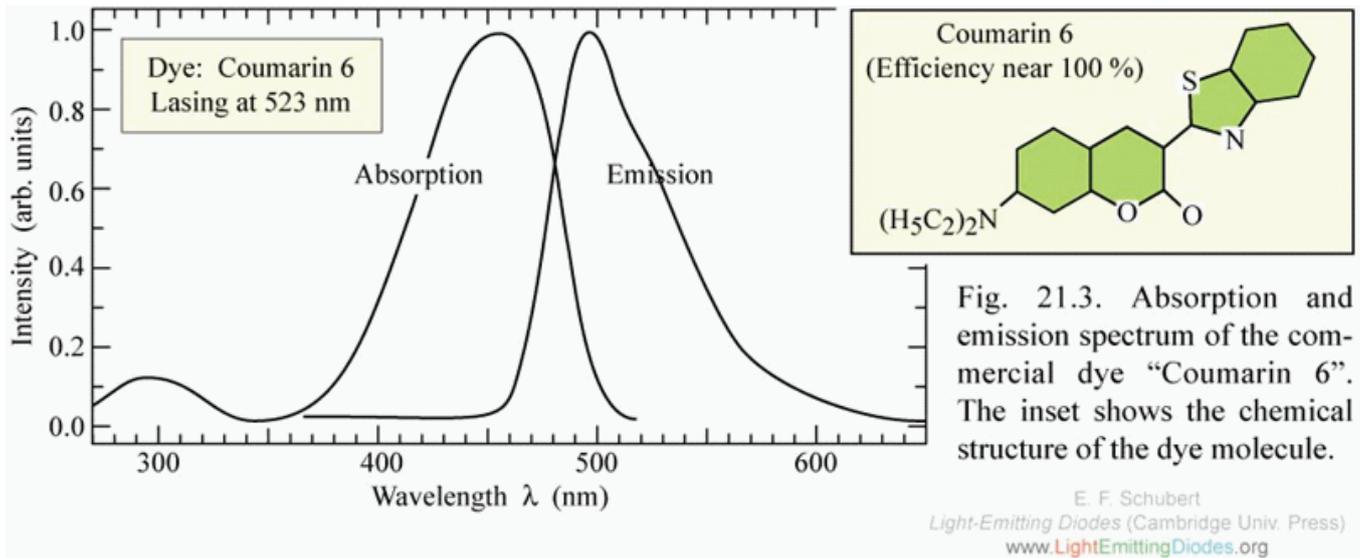
Fig. 21.7. (a) Structure of white LED consisting of a GaInN blue LED chip and a phosphor encapsulating the die. (b) Wavelength-converting phosphorescence and blue luminescence (after Nakamura and Fasol, 1997).

E. F. Schubert  
*Light-Emitting Diodes* (Cambridge Univ. Press)  
[www.LightEmittingDiodes.org](http://www.LightEmittingDiodes.org)

L'innovazione sostanziale che ha permesso ai led di emettere una radiazione sempre più tendente al bianco, è stata l'applicazione di fosfori sulla superficie del led, che assorbissero parte della radiazione emessa per restituirla con meno energia ed in uno spettro più ampio (VEDI Fig. 12.3): come si vede il led GaInN blu brillante preso ad esempio, è stato ricoperto da una colorazione fosforescente che assolvesse a questo tipo di compito.

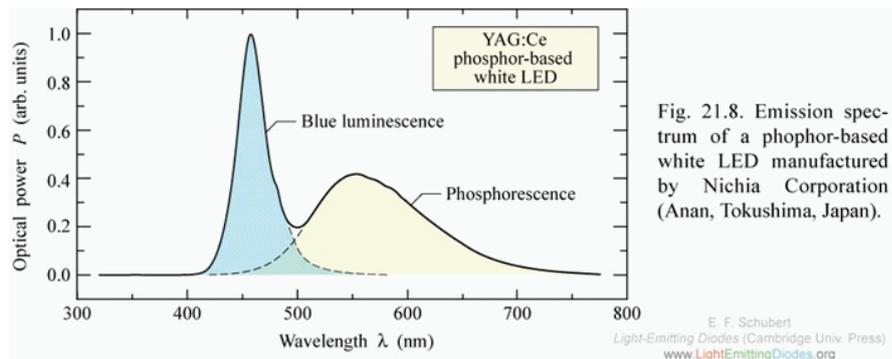
La chiave per un'appropriata selezione dei componenti di fabbricazione è formata da: una banda d'assorbimento dei fosfori scelti in corrispondenza con la banda di emissione del led, la ricerca della massima efficienza di conversione dell'energia luminosa e uno spettro di emissione il più largo possibile (entro i limiti delle radiazioni visibili).

## Come può il diodo led creare luce



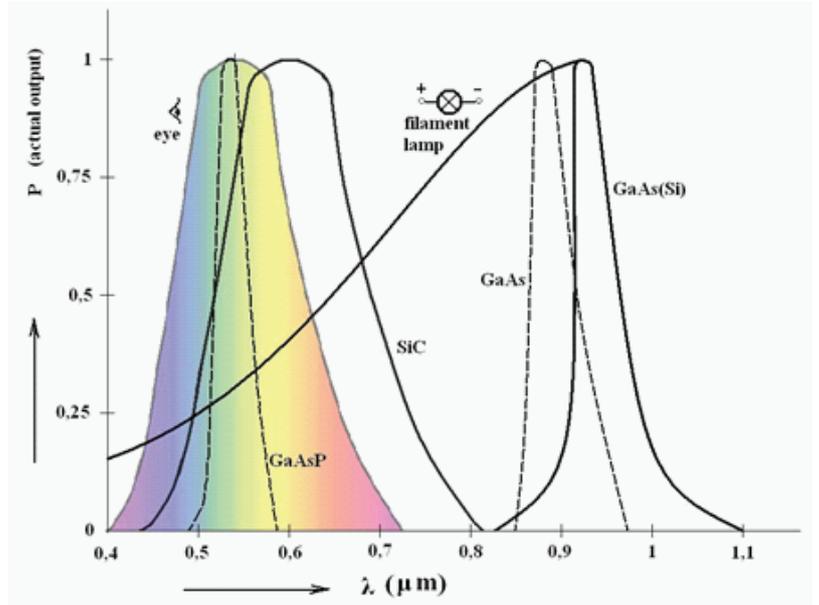
Spettro di assorbimento ed emissione del dye (fosfori) “Coumarine 6” con la struttura chimica della molecola.

Segue lo spettro d'emissione del led Nichia Corporation presso la Copertura. Il picco molto marcato attorno ai 450 nm rispecchia fortemente la natura blu-verde del diodo GaInN ma la curva spettrale sempre continua dai 400 ai 700 nm indica una luce bianca: possiamo dunque immaginare un led bianco con una temperatura colore molto alta, ipotizziamo sommariamente tra i 5'000 e 8'000K.



Lo spettro mostra chiaramente la radiazione emessa dal led a InGaN (picco attorno al 465 nm) e la radiazione più larga e spostata emessa dai fosfori (500-700 nm).

Dunque le possibilità di gestire lo spettro luminoso dell'illuminazione led è molto ampia e dipende dalla combinazione di tra drogaggio e fosfori.



La curva colorata rappresenta la fascia di radiazioni a cui l'occhio umano è sensibile, le altre rappresentano i picchi relativi a diversi tipi di drogaggio e parte della curva della classica lampadina ad incandescenza.

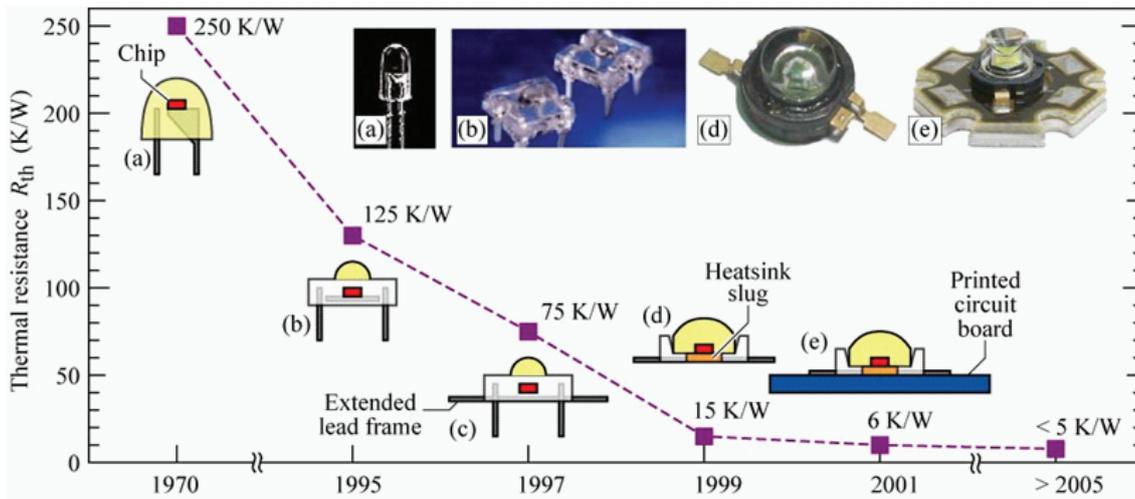


Fig. 11.5. Thermal resistance of LED packages: (a) 5mm (b) low-profile (c) low-profile with extended lead frame (d) heatsink slug (e) heatsink slug mounted on printed circuit board (PCB). Trade names for these packages are "Piranha" (b and c, Hewlett Packard Corp.), "Barracuda" (d and e, Lumileds Corp.), and "Dragon" (d and e, Osram Opto Semiconductors Corp.) (adopted from Arik *et al.*, 2002).

E. F. Schubert  
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)  
[www.LightEmittingDiodes.org](http://www.LightEmittingDiodes.org)

In questa immagine vediamo come con l'evolvere della tecnologia è stato possibile aumentare la capacità di cedere il calore accumulato da parte del componente led: una buona temperatura di funzionamento assicura durata e qualità della luce.

Gr.  
Gr.

## Entrando nello specifico

La prima cosa da conoscere avendo intenzione di progettare un apparecchio per l'illuminazione esterna, è la classificazione dei gradi di protezione IP nei prodotti di

tale categoria. IP è l'acronimo di Ingress Protection (Protezione contro l'ingresso) ed è caratterizzato da due cifre: la prima cifra si riferisce alla protezione contro

l'ingresso di polvere; la seconda si riferisce alla protezione contro l'ingresso di acqua.

### Protezione contro le corpi solidi (prima cifra)

	Descrizione	Definizione
1	Protezione contro oggetti di dimensioni superiori a 50 mm	Possibilità d'accesso intenzionale di oggetti come una mano.
2	Protezione contro oggetti di dimensioni superiori a 12 mm	Possibilità d'accesso di dita o oggetti con una lunghezza massima di 80 mm.
3	Protezione contro oggetti di dimensioni superiori a 2,5 mm	Possibilità d'accesso di utensili con uno spessore fino a 2,5 mm.
4	Protezione contro oggetti di dimensioni superiori a 1,0 mm	Possibilità d'accesso di fili o bandelle con uno spessore fino a 1,0 mm.
5	Protezione contro la polvere	L'eventuale quantità di polvere che può penetrare all'interno del dispositivo non ne pregiudica il funzionamento.
6	A prova di polvere	Nessun ingresso di polvere

### Protezione contro i liquidi (seconda cifra)

	Descrizione	Definizione
1	Protezione contro il gocciolamento di acqua	Acqua gocciolante (gocce a caduta verticale)
2	Protezione contro le gocce d'acqua fino ad inclinazioni di 15°	La caduta verticale di gocce d'acqua non ha alcun effetto dannoso se la custodia viene inclinato ad un'angolazione massima di 15° rispetto alla sua posizione normale.
3	Protezione contro gli spruzzi di acqua	La caduta di spruzzi di acqua ad angolazioni massime di 60° rispetto alla posizione verticale non ha alcun effetto dannoso.
4	Protezione contro i getti d'acqua	Getti d'acqua rovesciati contro la custodia da qualsiasi direzione non hanno alcun effetto dannoso.
5	Protezione contro i getti d'acqua	L'acqua spruzzata da un ugello contro la custodia da qualsiasi direzione non ha alcun effetto dannoso.
6	Protezione contro il mare mosso	L'acqua o gli spruzzi violenti prodotti dal mare mosso non possono penetrare la custodia in quantità dannose.
7	Protezione contro gli effetti dannosi dell'immersione	L'acqua non può penetrare in quantità dannose quando la custodia è immerso in acqua alla pressione e per il periodo di tempo consigliati.
8	Protezione contro la sommersione	Il dispositivo è progettato per essere installato continuamente sotto l'acqua.

Il nostro prodotto, per quanto riguarda il grado di protezione IP, è diverso in 3 parti per ragioni pratiche: i componenti più sensibili, come led e schede elettroniche, sono stati posizionati nelle 2 porzioni dell'apparecchio con un grado

di protezione IP65. La rimanente porzione, con IP33, ospita le componenti che non risentono dell'umidità dell'aria e ed il dissipatore, è dunque in un luogo in cui la circolazione dell'aria garantisce un adeguato raffreddamento dei led

in ogni configurazione del prodotto.

Questi gradi di protezione IP sono assicurati dal montaggio che ci accingiamo a spiegare.

## Processi produttivi e materiale

Per abbattere i prezzi di produzione si è disegnato l'apparecchio in modo da risultare come frutto di lavorazioni su lastre metalliche ed il più possibile a freddo. Trovandoci in un mercato in cui i produttori di laminati di certo non scarseggiano, utilizzando processi di produzione con lavorazioni elementari quali tagli, piegature, applicazione di fori (filettati e non) e fresature, è chiaro che si parte da una buona posizione nella corsa per il vantaggio competitivo.

Il materiale utilizzato è stato individuato facilmente nell'alluminio grazie a diverse proprietà intrinseche del materiale che si adattavano perfettamente a questo tipo di utilizzo. L'abbondanza di questo materiale (terzo elemento sulla terra dopo ossigeno e silicio) e le non elevate prestazioni tecniche richieste, permettevano di sfruttarne qualità come lavorabilità e conducibilità

termica con un costo di partenza estremamente basso; infatti le lavorazioni che portano a decuplicare il costo di un manufatto, tipiche dell'industria aerospaziale, in questo caso non saranno necessarie.

. Inoltre ottenere questo materiale è molto semplice: recuperarlo tramite riciclaggio permette di risparmiare circa il 95% dei costi e l'impatto ambientale è notevolmente ridotto, è il metallo che si ricicla in modo più completo ed il mercato è ricchissimo di oggetti composti da questo elemento (lattine, automobili...). Si può recuperare facilmente anche dai rifiuti indifferenziati o anche separarne le ceneri dopo la "termovalorizzazione". Si scoglie alla bassa temperatura di 660°C, gli ultimi processi di riciclaggio permettono di limitare fortemente la creazione di scorie saline attraverso processo di pirolisi

(combustione a 500° di ogni impurità).

Per mantenere bassi i costi di produzione anche le saldature verranno fatte tramite un processo a minor costo energetico e miglior finitura estetica rispetto alle classiche saldature o le più avanzate saldature al TIG. Per il processo di brasatura abbiamo individuato in commercio un prodotto denominato Durafix® e importato tra le altre, da Alloys Italia, la cui peculiarità risiede nella bassissima temperatura richiesta per la lavorazione (392°C), nell'assenza di fumi, di disossidanti e nella facilità con cui si porta a termine l'operazione anche in ambito casalingo.

## Come si monta l'apparecchio

Dopo aver individuato le 3 macro-aree in cui abbiamo diviso il prodotto, entriamo nel vivo dei componenti seguendo quello che dovrà essere l'ordine di montaggio.

Come si sarà già potuto intuire, il prodotto studiato andrà ad utilizzare la tecnologia led per poterne sfruttare le peculiarità fino ad oggi rimaste in secondo piano, forse nell'attesa che la tecnologia raggiungesse un grado di sviluppo tale da garantire flussi di luce adeguati ai diversi contesti (non limitanti alle lampade da tavolo per intenderci).

Il carattere maggiormente

interessante di questa tecnologia risiede nella geometria del corpo illuminante che facilmente si può ricondurre all'aggettivo "puntiforme" di un corpo teorico e questo da un enorme vantaggio dal punto di vista pratico. L'intero flusso emesso dal semiconduttore, infatti, può essere facilmente gestito grazie ad ottiche che ne deviano il flusso originale (generalmente emesso in un angolo di  $100^{\circ}$ - $160^{\circ}$ ) in un angolo solido molto preciso e specifico rispetto all'obiettivo che si vuole raggiungere.

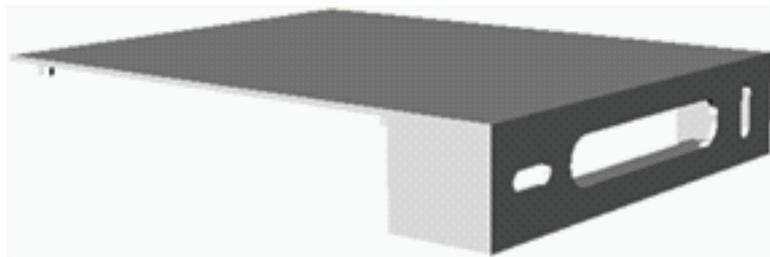
Questo discorso verrà approfondito nel sottoparagrafo che

svilupperà il tema delle ottiche utilizzate.

Come già accennato, la grandissima parte dei componenti del sistema che stiamo andando ad illustrare, vengono ricavati da una lastra dello spessore di 2mm. Oltre alle "L" di led e lamine, è sott'intesa la "L" della luce che il nostro prodotto dovrà a lungo assicurare: per questo il nostro sistema si è guadagnato la denominazione di "L3", giocando così con le parole e la forma "cuboidale" propria di questo apparecchio di illuminazione a led da esterni.

## Staffa ad L

Per dar forma all'apparecchio si dovrà prima di tutto sistemare la staffa che ha funzione di "L" a seconda del tipo di installazione che si intende praticare: potrà essere fissata a muro o su un palo in modo non orientabile, potrà essere fissata tramite una staffa a bandiera che permetterà di orientare e fissare l'apparecchio secondo due gradi di libertà, o unirla ad un picchetto per ancorare l'apparecchio a terra. Questo tipo di aggancio verrà



fatto in qualunque caso tramite viti: M4 DIN85 nel caso in cui dovremo fissare la staffa ad altri componenti metallici del sistema; un comune tassello da muro della giusta tipologia (a seconda della consistenza del

muro) quando invece si deciderà di applicare l'apparecchio direttamente sulle architetture.

Questa staffa rappresenta per il nostro apparecchio ciò che per una casa rappresentano le fondamenta: questo elemento staglia e si stacca dal contesto in cui L3 verrà installato e funziona da appoggio per tutto il resto del sistema; esattamente come la "L" di una mensola scarica il peso sul muro, questa staffa scarica il peso dell'intero apparecchio sulla struttura portante, sia questa un palo, un muro o il nudo terreno (in questo caso tramite un picchetto).

Nel caso specifico in cui non si volesse predisporre il CuBo del modulo di interazione ambientale, che comprende il rilevatore di presenza ed, a scelta, un

senso crepuscolare, questa staffa rappresenterà la parte superiore dell'apparecchio e per questo motivo è stata disegnata senza alcun foro passante. In questo modo non si lascia la possibilità all'acqua piovana di entrare in contatto con l'apparecchiatura elettronica contenuta all'interno della cavità del sistema e fissata alla staffa in questione tramite viti.

Per evitare di bucare la lamiera e per lasciare a vista una superficie perfettamente liscia, sono stati fissati nella parte inferiore della suddetta staffa dei cilindretti filettati atti ad ospitare le viti che serviranno per il fissaggio degli altri com-

ponenti del sistema L3.

Tra questi componenti altri, troviamo anche la parte elettronica del sistema che possiede almeno una propria protezione IP20: un morsetto (prodotto dalla morsetteria Conchiglia SpA, sigla MM/210 codice 011212107) che permette l'allacciamento degli apparecchi lungo la linea attraverso un sistema detto "entra ed esci" o "through wiring": questo permette di operare in maniera semplificata durante eventuali guasti lungo la linea o la sostituzione degli apparecchi che, benché se ne stimi un ciclo di vita estremamente lungo, possono comunque guastarsi.

Fig.

A valle di questo morsetto sono stati previsti uno o due portafusibili (della stessa Conchiglia SpA, sigla VS/120 con fissaggio a vite, codice 019201201) a seconda di quanti alimentatori saranno necessari nelle diverse configurazioni (Allegato 3 "MicroJolly 1..10V & Push" di TCI Saronno), in modo da tutelare la componente elettronica da sbalzi di tensione. Anche i suddetti alimentatori saranno fissati tramite delle viti a degli spessorini filettati che fanno parte della staffa ad "L".

## Modulo di interazione ambientale (opzionale)

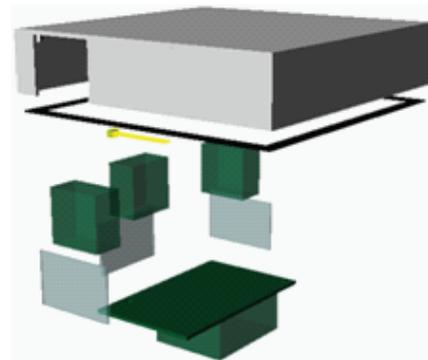
L'utilizzo del modulo d'interazione ambientale permette un notevole risparmio di energia a fronte di una complicazione del sistema minima: all'interno da questo piccolo modulo sono stati posizionati diversi componenti per dare al nostro apparecchio una sorta di "intelligenza" per la quale l'intensità della luce cambierà a seconda di due fattori ritenu-

Per quanto riguarda l'accensione degli apparecchi illuminanti a seconda della luce presente, il problema viene spesso già risolto mediante la temporizzazione degli impianti o mediante una fotocellula posta a monte della linea di apparecchi che ne gestisce l'accensione. Non si intende proporre un'alternativa a queste possibilità, che per altro mantengono il pregio di avere un'applicazione consolidata e perfezionata da anni di esperienza nel campo, si intende bensì puntare verso la ricerca di nuove soluzioni tecniche che siano maggiormente efficaci e aderenti all'installazione in loco degli apparecchi. Sfruttando la miniaturizzazione dei componenti perennemente in atto nell'industria, si è installato in

ti sostanziali e determinanti per il conseguimento dell'obiettivo.

Questi due fattori sono la variabile luminosità del contesto in cui il prodotto verrà installato e la presenza di passanti nel breve-medio raggio. (muro) quando invece si deciderà di applicare l'apparecchio direttamente sulle architetture.

questo modulo una fotocellula passiva di solo mezzo centimetro quadrato (vedere Allegato 1 - "CdS Photoconductive Photocells" di API - Advanced Photonics, Inc) , in grado di chiudere o aprire un circuito a seconda della luminosità dell'ambiente subito circostante all'apparecchio. Questo componente permetterà una gestione della luce direttamente da parte dell'apparecchio medesimo che, a seconda della posizione sull'architettura o della posizione in un giardino, potrà sfruttare "fin l'ultimo raggio di sole" prima di operare a diffondere la propria luce nell'ambiente circostante. La mia personale, seppur breve, esperienza il campo dell'illuminazione, mi ha portato a conoscenza di un approccio estremamente diretto nella



selezione di apparecchi illuminanti: a seconda delle esigenze e degli effetti luminosi che si vogliono per il determinato progetto illuminotecnico, si sceglie l'apparecchio qualitativamente migliore, semplice nell'installazione e che possieda la versatilità adatta per illuminare diversamente i diversi ambienti di progetto, cioè con ottiche specifiche e intercambiabili e con la sufficiente orientabilità nella installazione.

Fig.

Dare la possibilità di far gestire la quantità di flusso direttamente all'apparecchio rientra nel soddisfacimento di parte di queste caratteristiche, cioè aumentare il legame dell'apparecchio con il contesto d'installazione, proporre una miglioria che non pregiudichi consumi, costi e le dimensioni ridotte dell'apparecchio. Soprattutto si mira a far sì che questa opzione sia di immediata attuabilità senza complicare il sistema: una variabile che poteva non rientrare nel processo di selezione dell'apparecchio da parte del progettista illuminotecnico, fa capolino a fronte di un dispendio minimo di energie (energia elettrica e progettuale) e si propone come variabile in grado di aumentare la qualità dell'intero progetto illuminotecnico a fronte di un incremento minimo del costo dell'apparecchio (il singolo componente, come ogni elemento del modulo di interazione ambientale, costa poco più di un euro).

Per quanto riguarda il rilevatore di presenza di questo modulo opzionale, l'esclusività e l'utilità pratica nella scelta di questo tipo di installazione appaiono di certo più chiaramente a chi si avvicina al nostro CuBo. Quello che forse non appare evidente è il fatto

che, ad oggi, nella stragrande maggioranza dei casi, vengono progettati apparecchi per l'illuminazione di vialetti, passaggi e contesti simili, senza partire dal presupposto che durante le lunghe ore notturne, con ogni probabilità poche volte verranno sfruttati i tragitti in questione. Può capitare il caso di sottopassi pedonali e ciclabili, parchi pubblici in cui una luce più soffusa e dinamica può anche contribuire a mettere in scena i luoghi collettivi con un carattere più delicato, piuttosto che giardini privati che non avrebbe senso non illuminare ma che richiedono certe prestazioni illuminotecniche solo all'occorrenza. L'installazione di questo dispositivo permette dunque un notevole risparmio di energia con la spesa di pochi euro e con l'affidabilità che si richiede a impianti d'allarme e rilevatori d'intrusione (rispetto ai cui concorrenti può vantare delle dimensioni estremamente ridotte).

Il campo d'azione di questo piccolo congegno è straordinariamente elevato: ha un'apertura di 90° permessa da un'accurata lente Fresnel e permette di rilevare un movimento fino a 10 metri di distanza (vedi Allegato 2 "MS-360LP" di IR-TECH).

L'installazione di tre dei sud-



detti dispositivi, permette dunque di monitorare i movimenti ai lati e di fronte l'apparecchio, con un raggio di 10 metri. Nel caso dell'installazione a 4 metri d'altezza si predisporrà il temporizzatore integrato nel modulo di interazione ambientale, per mantenere alto il livello d'illuminazione anche nel caso di un passante che attraversa il percorso con "passo rilassato": in questo caso, infatti, si crea un "cono cieco" con 8 metri di base in prossimità del palo in cui il prodotto non è in grado di rilevare la presenza o meno di pedoni e cicli.

Fig.

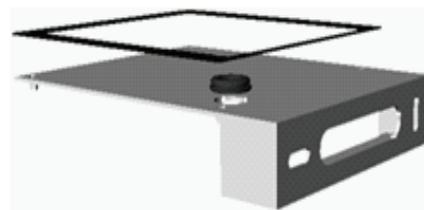
Questi due dispositivi saranno collegati ad un circuito stampato che li alimenterà e che di cui faranno parte: una parte di ricerca, a nostro discapito anche abbastanza impegnativa, è stata archiviata e non inserita nel progetto per una questione di semplificazione del sistema. Era stato individuato un componente elettronico programmabile (Arduino Nano) che permette di collegare al sistema diversi dispositivi di interazione generalmente applicati in campo robotico: si stava configurando un prodotto che avesse un grado di interattività altissimo, che fosse in grado di comunicare con gli altri elementi del sistema, magari aumentando di poco le dimensioni dell'apparecchio, che avesse la capacità di interagire con l'utente anche tramite cellulare o che fosse programmabile per segnalare diverse variabili...

Data l'austerità di un progetto di Tesi, la scelta si è però sempre più spostata verso un prodotto immediatamente introducibile in commercio, producibile con facilità e senza pretese di futuribilità fantascientifiche: l'innovazione a portata del prodotto di illuminazione in questione, data la volontà di sviluppare nel progetto una versatilità spiccata, è stata prevalentemente tecni-

ca piuttosto che tecnologica.

Il circuito che gestirà questi due rilevatori è stato commissionato ad uno specialista che ne ha individuato i componenti e le dimensioni di massime del circuito: questo sarà composto da un avvolgimento che permetta di trasformare la tensione di rete fino a 12V, un ponte di diodi che renda il segnale da sinusoidale a continuo e da uno stabilizzatore di tensione che ne eviti oscillazioni indesiderate; due resistenze e due condensatori permetteranno di terminare il circuito e di temporizzare il segnale che verrà inviato al trasformatore che alimenta i led. Il trasformatore in questione (vedi Allegato 3 "MicroJolly 1..10V & Push" di TCI Saronno), più d'uno nel caso in cui l'applicazione richiedesse un numero maggiore di led, è dotato di un dimmer elettronico in grado di ricevere un segnale e modulare dunque la potenza dei led: in questo modo il flusso luminoso sarà parzialmente determinato da ciò che avverrà nel contesto in cui il prodotto, con il dispositivo di interazione ambientale annesso, sarà installato.

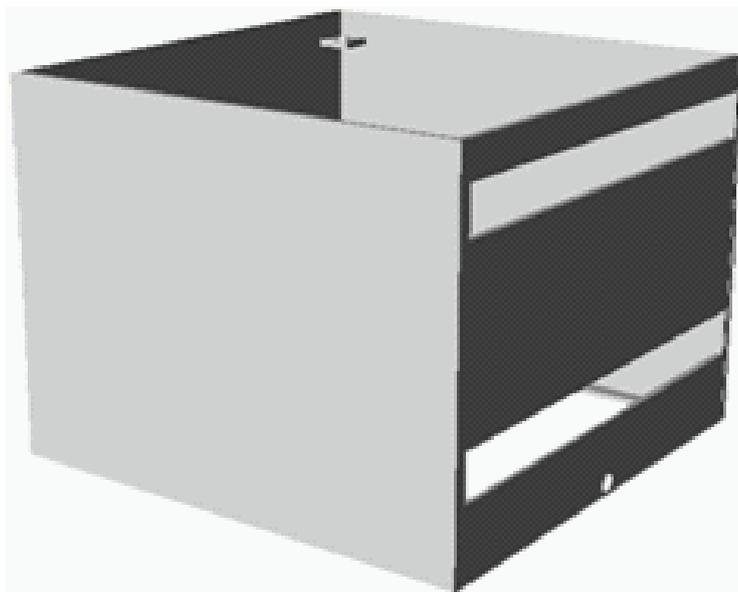
Rimane da aggiungere che, quando si vorrà dotare l'apparecchio di interazione



con l'ambiente, la staffa a "L" prima esposta dovrà essere sostituita con una "L", assolutamente complementare, dotata di un foro con passacavi che permetta i collegamenti appena descritti. Tra la staffa e la scocca del dispositivo di interazione è stata posizionata una piccola guarnizione che, assieme al passacavi, assicurerà il grado di protezione IP65 precedentemente accennato.

## Scocca/Copertura

Questo componente racchiude e protegge, come già accennato, le componenti elettroniche con grado di protezione IP20 proprio: la protezione dall'acqua piovana è assoluta in quanto il foro rettangolare superiore, posto sulla faccia nascosta del componente, è coperto dalla parte scatolata della staffa a "L". Questa geometria scatolata protegge il dispositivo anche dall'ingresso di corpi solidi quali dita, lasciando però circolare l'aria necessaria per raffreddare a dovere il dissipatore che descriveremo tra poco.



L'eventuale acqua piovana che dovesse penetrare all'interno di questa copertura andrebbe a contatto con la porzione che racchiude i led e che, ancora una volta, presenta un grado di protezione IP65. Per non lasciar l'acqua a evaporare con il calore dei led (che per quanto possa aumentare la dissipazione non è certamente auspicabile) è stato applicato un piccolo foro in basso allo stesso lato posteriore del nostro CuBo, appena al di sopra della guarnizione che lo divide dal vero e proprio "corpo illuminante". Questi fori sono stati applicati sulla parete che verrà nascosta dal supporto dell'apparecchio, sia questo il palo o il muro su cui

verrà installato, in modo da celarne il più possibile la presenza alla vista. Nell'eventualità l'apparecchio verrà fissato al terreno, si dovrà avere l'accortezza di posizionare questa parete verso il basso, orientando in opportunamente l'apparecchio. Eventualmente si potrà limitarne l'inclinazione in modo da non incorrere in questa possibilità: questa scelta non è stata attuata per preservare la massima orientabilità in caso di installazione in ambienti interni.

Il foro superiore è stato creato in modo da lasciare un'aletta piegata verso l'interno che, una volta forata, diventa sup

porto per le viti necessarie all'assemblaggio del sistema. Sul lato opposto, non volendo applicare fori che sarebbero stati evidenti nell'estetica dell'apparecchio, è stata fatta la scelta di saldare due supporti in modo da vincolare i componenti in maniera stabile e definitiva.

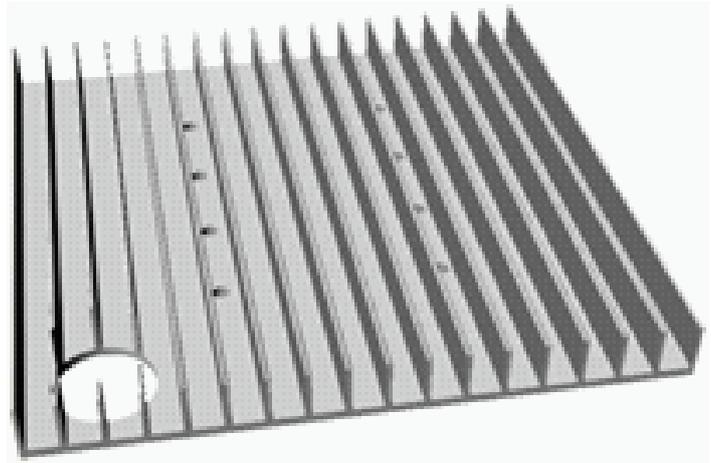
La parte inferiore di questo componente è stata disegnata con la stessa logica del foro superiore precedentemente descritta: quattro alette si rivolgono verso l'interno dell'apparecchio in modo da poter alloggiare i fori necessari per terminare l'assemblaggio dell'apparecchio.

Fig.

## Dissipatore

Da una ricerca presso designer di comprovata esperienza in ambito di progettazione di apparecchi illuminanti, è emerso che, con ogni probabilità, un dissipatore largo quanto il componente sottostante risulta essere sovradimensionato. Un dissipatore più piccolo, modulare, da applicare esattamente in corrispondenza dei led sarebbe bastato a dissipare agevolmente il calore (essendo l'intero apparecchio in alluminio, dunque con notevoli proprietà di dissipazione). Ciò nonostante abbiamo deciso di disegnare comunque questo estruso, dopo aver constatato che non sussistevano delle esigenze specifiche di miniaturizzazione del componente.

Il dissipatore non è a contatto diretto con l'aria dell'ambiente, dunque si dovrà "attendere" che l'aria riscaldata esca dal foro superiore della copertura e che nuova aria a temperatura minore entri dal foro inferiore



(creando così un effetto camino): abbiamo dunque preferito aumentare la superficie diffondente di questo componente in modo da non incorrere nel rischio di surriscaldare i led con conseguenti ed inevitabili disfunzioni dell'apparecchio, se non la fatale rottura del semiconduttore.

I fori allineati tra le alette di dissipazione dovranno essere filettati in modo da poter alloggiare le viti che, da sotto, fisseranno inamovibilmente le

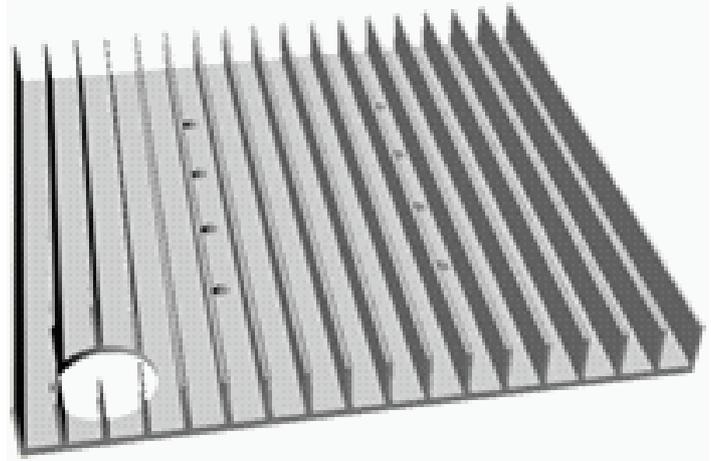
piastre su cui saranno fissati i led, lo scatolato che le alloggia ed il dissipatore stesso.

Molto importante sarà la pasta termoconduttiva da applicare tra questi componenti prima del fissaggio, in modo da ottimizzare la dissipazione.

Il foro più grosso che si può notare serve per lasciare spazio al passacavi che troverà posto nel componente successivo.

## Alloggio per le lastre led

Come appena accennato, anche questo componente è stato dotato di foro con passacavi per permettere i collegamenti elettrici: da questo componente in poi il grado di protezione IP torna ad essere valutato a 65: ogni intercapedine tra l'esterno dell'apparecchio e la zona in cui sono disposti i led, è saldamente stretta se non occupata dalla pasta termoconduttiva e la giuntura tra la scocca e il componente in questione, è protetta da una guarnizione che ha anche funzione di limitare la pressione sul policarbonato, che verrà successivamente illustrato, ed eventuali danni conseguenti. Lo scatolato in questione è stato studiato per entrare agevolmente nella cavità della scocca o copertura e potrebbe essere prodotto tramite processo di imbutitura piuttosto che dalla solita lastra tagliata, piegata e brasata.



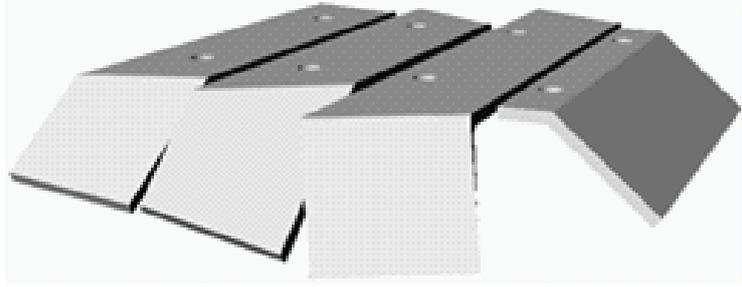
Oltre proteggere dall'ambiente esterno i led, esso agevola la dissipazione passiva del calore e rappresenta l'anello di giunzione tra il corpo illuminante ed il resto del sistema. I fori presenti sul lato superiore dello stesso sono strettamente determinati dal numero di led che è richiesta dalla applicazione pratica: uno dei punti di forza di questo progetto, come già accennato, è

l'estrema versatilità del prodotto finale e l'estrema duttilità del proprio solido fotometrico è la punta di diamante che fa del nostro CuBo: certamente un prodotto unico nel suo genere.

## Lamine per alloggio dei led

Sono qui rappresentate le quattro lamine che alloggiano i led nella versione studiata per l'installazione a 4 metri: questa specifica è necessaria in quanto la forma ed il numero di questi componenti, sempre ricavati da una lastra di alluminio di 2 millimetri, possono assumere una quantità pressochè infinita di configurazioni. I led, in questo caso due per lamina e fissati nella parte piegata di ognuna, sono orientati nella direzione specifica determinata dal solido fotometrico richiesto dall'applicazione. Questo discorso verrà meglio affrontato nel sottoparagrafo seguente dedicato alle ottiche. La geometria di queste lamine sarà dunque diversa per ogni tipo di installazione: verrà dunque stabilita la direzione in cui orientare ogni singolo led, in base all'inclinazione si capirà quale forma dare al singolo componente in modo che all'interno del corpo illuminante "non cozzino" tra loro, si determinerà poi in seguito lo sviluppo planare di ogni lamina che si andrà infine a modificare tramite una piegatura molto precisa.

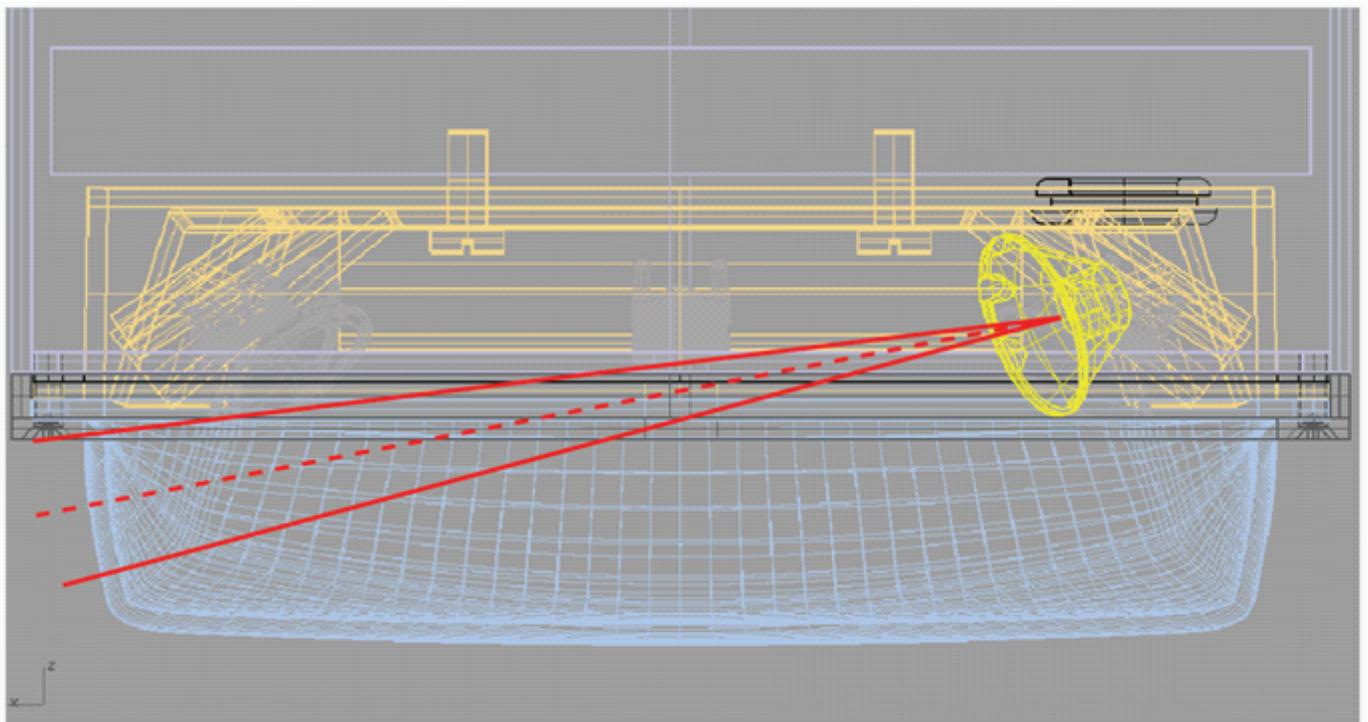
La scelta di applicare a queste lamine due viti è stata fatta per fissarle inamovibilmente alla



struttura in quanto un piccolissimo discostamento dal componente che le ospita, benché le dimensioni estremamente ridotte non consentano grandi deformazioni, porterebbe ad una diminuzione drastica della dissipazione con il naturale conseguente malfunzionamento o rottura del semiconduttore. Nonostante la possibilità di avere un'innumerabile quantità di conformazioni di queste lamine, l'ingombro che esse potranno assumere all'interno del loro alloggio è determinata da vincoli fisici che, se non rispettati, ne pregiudicherebbero l'uscita della luce emessa dai led dal prodotto: su questo principio è stato dimensionato lo scatolato che le alloggia, con il rischio di creare un componente dall'ingombro standard non ottimizzato rispetto all'ingombro delle singole configurazioni. Data la semplicità del processo produttivo, si potrà comunque procedere ad aggiustamenti nel caso fosse indispensabile per il

raggiungimento di determinati illuminamenti. A questo riguardo vale la pena far notare che le dimensioni dell'apparecchio, più che per esigenze di spazio in cui contenere i vari componenti elettronici necessari per il funzionamento del sistema, sono state determinate in modo da pregiudicare il meno possibile le configurazioni sviluppabili per le suddette piastre led: se avessimo scelto una dimensione del vetro troppo piccola (dimensione che ha dettato poi l'intero ingombro del prodotto), i led avrebbero potuto assumere inclinazioni decisamente più modeste rendendo impossibile, ad esempio, l'interdistanza di 13,5 metri nel caso dell'installazione su palo ad altezza 80 centimetri. La stessa inclinazione sarebbe stata impossibile con delle dimensioni anche solo di pochi millimetri inferiore, in quanto la struttura avrebbe fatto ombra alla luce emessa dalle diverse ottiche.

La seguente immagine a carattere esplicativo, immagine specifica dell'esempio in questione, spiega con chiarezza questo concetto.



*Questa figura mostra come l'inclinazione assunta dall'ottica selezionata (con apertura  $8,9^\circ$ ) non potrebbe essere maggiore*

Dunque le dimensioni complessive del nostro prodotto sono frutto tra della mediazione tra diverse esigenze: quella di competitività delle dimensioni rispetto a prodotti simili in commercio, l'esigenza di raggiungere distanze elevate con ottiche a fascio molto stretto e avere il necessario spazio tra i componenti per assicurare il funzionamento del sistema.

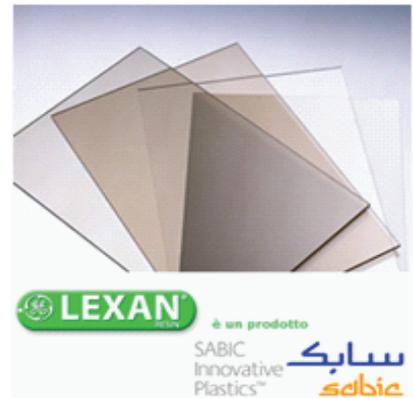
*Fig.*

## Vetro del corpo illuminante

Per questo elemento del sistema è stato scelto un materiale plastico, trasparente, deformabile a seconda delle applicazioni ed estremamente resistente. Il suo nome commerciale è Lexan® Margard: si tratta di una lastra in polycarbonato con rivestimento protettivo (hardcoat) superficiale che assicura più del 90% di trasmissione luminosa. Specifiche di questo prodotto sono l'elevata protezione contro abrasione, urti, vernice, agenti chimici e atmosferici, raggi UV; è garantita 10 anni contro rottura e ingiallimento ed è deformabile a freddo e a caldo. I campi in cui è stata fino ad ora applicata si riferiscono principalmente nelle applicazioni dei trasporti pubblici: ad esempio come finestrini che richiedono resistenza elevata all'abrasione e all'impatto, nonché all'azione degli agenti atmosferici e delle vernici, piuttosto che all'ingiallimento dovuto all'esposizione ai raggi solari. Viene spesso usata anche nella protezione nelle macchine utensili, nei musei ed anche negli stadi.

Questa lastra in polycarbonato, si presenterà nella stragrande maggioranza dei casi, con una geometria piatta, che non

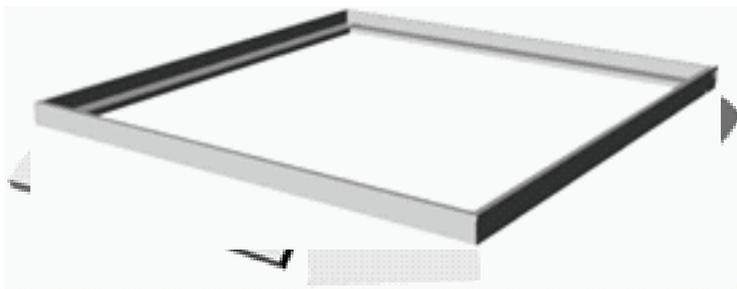
pregiudichi l'aspetto squadrato del nostro CuBo. L'estetica è importante ma la funzione assume un carattere dominante nella nostra concezione del Design Industriale: nella versione da installare ad 80 centimetri, infatti, questa lastra è stata curvata per non pregiudicare l'efficienza del sistema led-ottica con sconvenienti fenomeni di riflessione e rifrazione. Se avessimo fatto investire il vetro piatto da un flusso così inclinato, certamente avremmo avuto modo di constatare questi fenomeni fisici che avrebbero inevitabilmente modificato in senso peggiorativo le prestazioni illuminotecniche del prodotto finale.



## Mascherina

Questo componente viene presentato nella sua forma di base, ovvero quella necessaria per sigillare l'apparecchio e coprire lo spessore di vetro, scatolato per l'alloggio delle lamine e guarnizione. Negli angoli, quattro fori svasati, alloggeranno perfettamente altrettante viti a testa svasata che passeranno attraverso i componenti appena elencati e andranno a fissarsi nelle 4 alette inferiori della scocca spiegata nel relativo sottoparagrafo.

Capita spesso di trovare in commercio apparecchi con



delle sottili lastre davanti al vetro per ridurre l'abbagliamento, o ai lati per limitare il flusso che non si è riusciti a gestire in fase progettuale, o di apparecchi che possiedono uno spazio adibito ai filtri (raramente in applicazioni

di illuminazione a led): queste ed altre soluzioni potranno essere sviluppate modificando questa geometria base a seconda delle esigenze.

