



ALBO VENETO
DEGLI INSTALLATORI
ELETTRICI QUALIFICATI

LED E RISPARMIO ENERGETICO
NELLE PIU' COMUNI
APPLICAZIONI DI ILLUMINAZIONE



Il LED: cos'è e come funziona

Introduzione al mondo dei LED: principio di funzionamento,
caratteristiche tecniche, fotometriche e colorimetriche

ing. Pedrotti Elena
progettista illuminotecnico

Padova, 23 marzo 2013



SORGENTI LUMINOSE

LE "ERE" DELLA LUCE

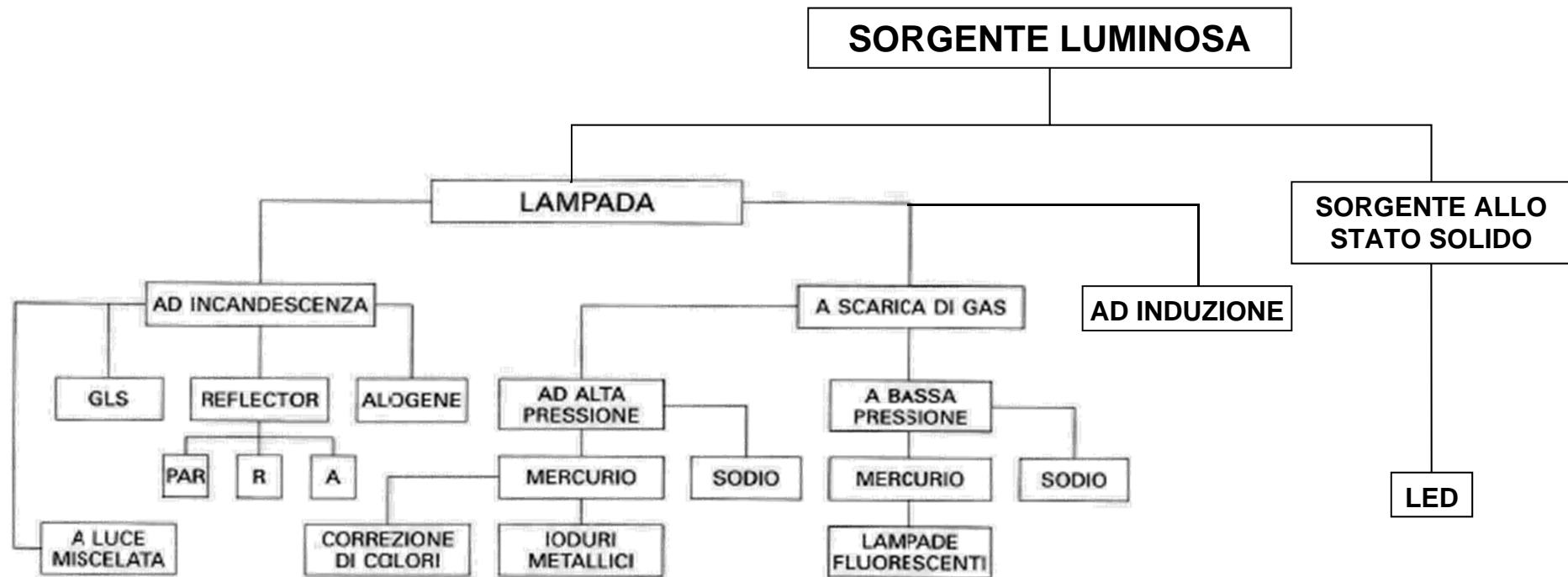
- Luce dalla combustione di **solidi o liquidi**
- Luce dalla combustione di **gas**
- Luce dal calore: **incandescenza**
- Luce dalla ionizzazione: **scarica in gas**

.....Tutte le tecnologie sono ancora attive!.....

- Luce dalla **MATERIA drogata dall'uomo: il LED**
(diode emettitore di luce)

**...porta appena socchiusa di un universo ancora
inesplorato.....**

SORGENTI LUMINOSE



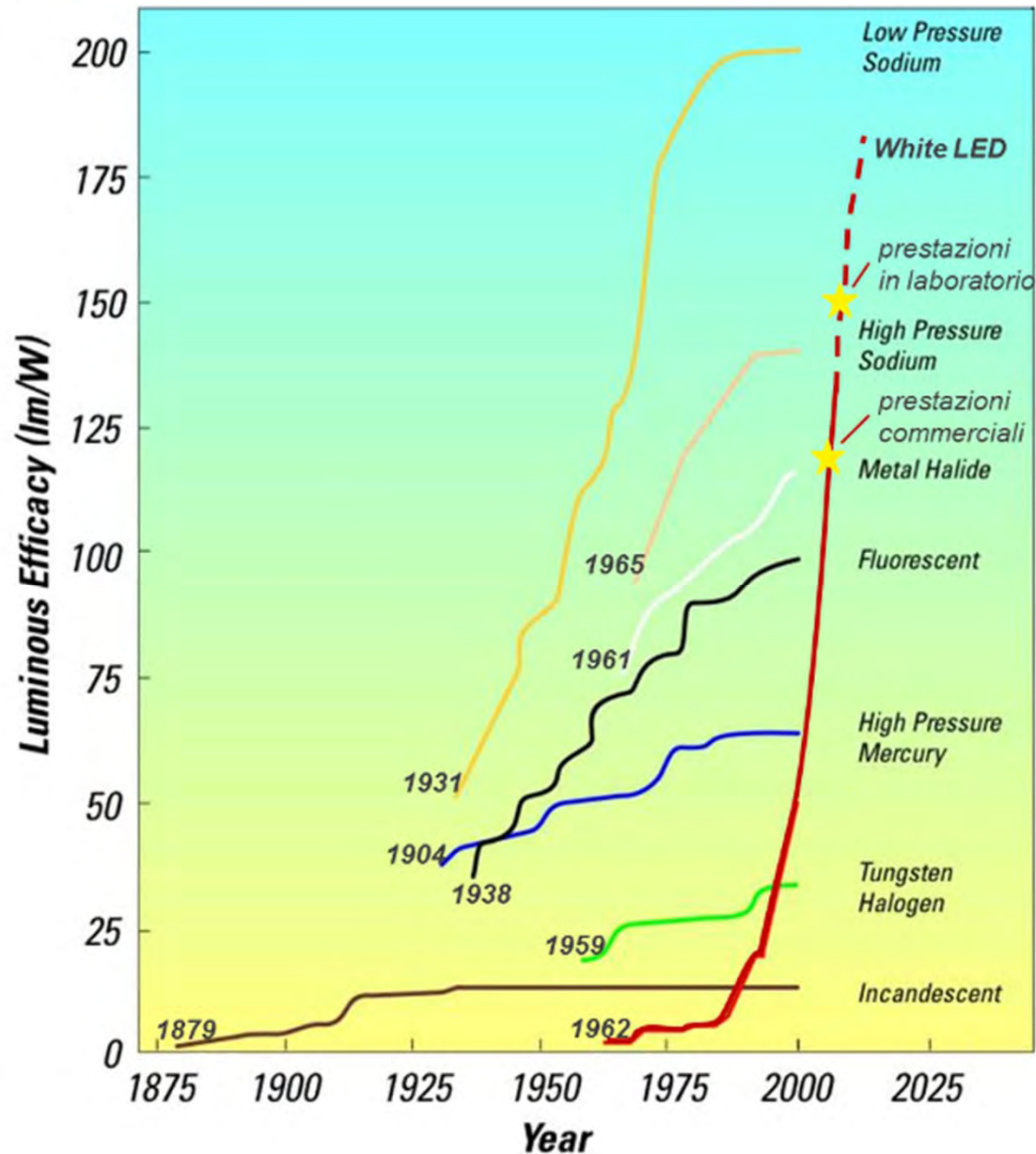
LE TAPPE DELLA “NUOVA LUCE”

- 1920: PRIMA EMISSIONE LUMINOSA DA SEMICONDUTTORI (O.V. Losev)
- 1962: PRIMI LED ambra, arancio, rossi (N. Holonyak)
- 1971: PRIMO LED A LUCE BLU (J. Pankove)
- 1993: PRIMI LED AD ALTO FLUSSO (Power LED) (S. Nakamura – NICHIA) (dai mA a centinaia di mA, da mW ai W)

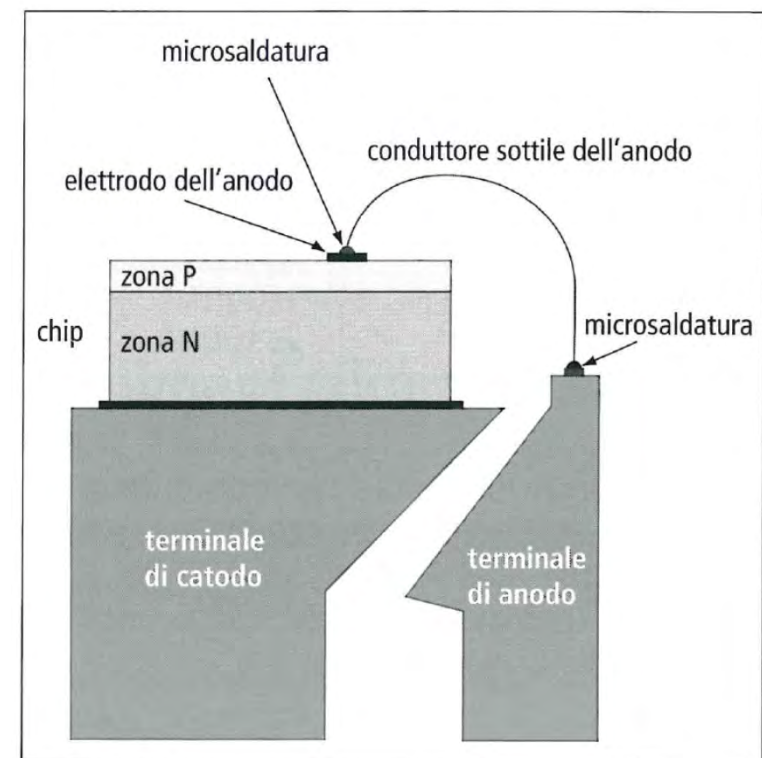
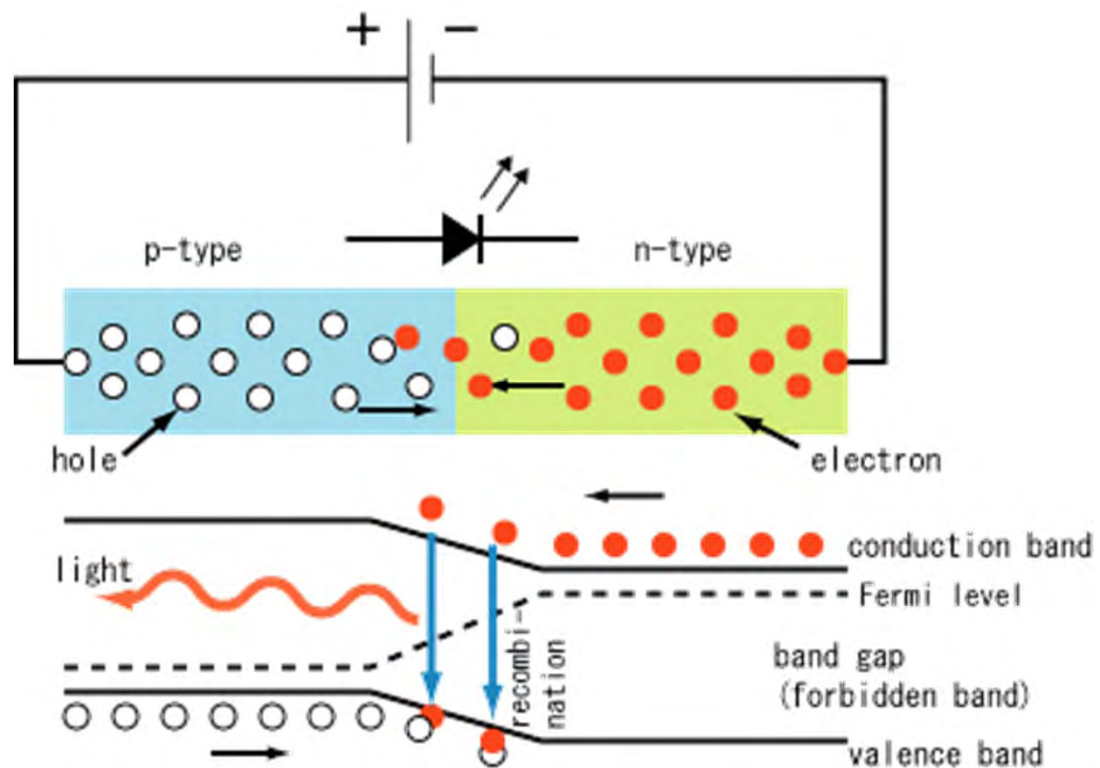
.....da allora: inarrestabile sequenza di successi:

dai LED per segnalazione e telecomunicazioni, ai LED a luce bianca per illuminazione, ai POWER LED, ai MULTI LED (RGB), ai LED Multigiunzione, ai Moduli LED, ai LED organici (OLED)

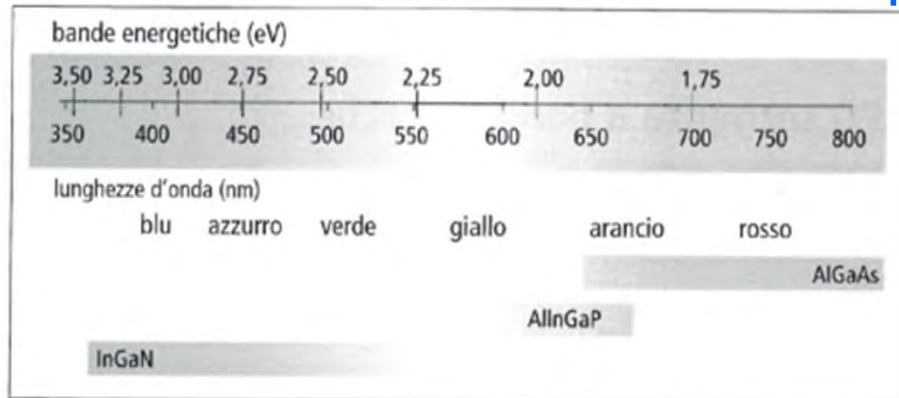
LED E RISPARMIO ENERGETICO NELLE PIU' COMUNI APPLICAZIONI DI ILLUMINAZIONE



Principio di funzionamento della giunzione p-n



Elementi chimici utilizzati per il drogaggio dei materiali semiconduttori per la giunzione p-n

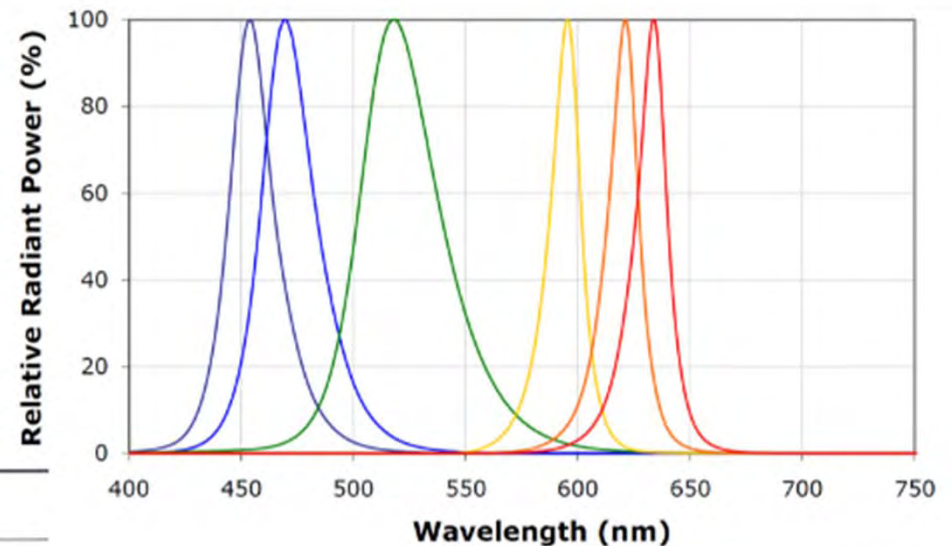


Alcuni composti chimici utilizzati nel drogaggio di materiali semiconduttori con relative lunghezze d'onda caratteristiche e livelli energetici

Composto chimico	Formula chimica	Lunghezza d'onda massima	Colore
Fosforo di gallio	GaP	550 nm	Verde
Arseniuro di alluminio	AlAs	590 nm	Verde
Arseniuro di gallio	GaAs	870 nm	IR
Fosforo di indio	InP	930 nm	IR
Arseniuro di alluminio-gallio	AlGaAs	770-870 nm	Rosso e IR
Fosforo-arseniuro di gallio-indio	InGaAsP	1100-1670 nm	IR
Fosforo di alluminio-gallio	AlGaP	560 nm	Verde
Fosforo di alluminio-gallio-indio	AlGaInP	-	Rosso, arancio, ambra, verde
Nitrito di gallio-indio	InGan	-	Verde, blu, UV
Carburo di silicio	SiC	460 nm	Blu

Tabella 1.1 Composti chimici utilizzati nella costruzione dei LED

(fonte: Forcolini, Illuminazione a LED, edizione Hoepli)



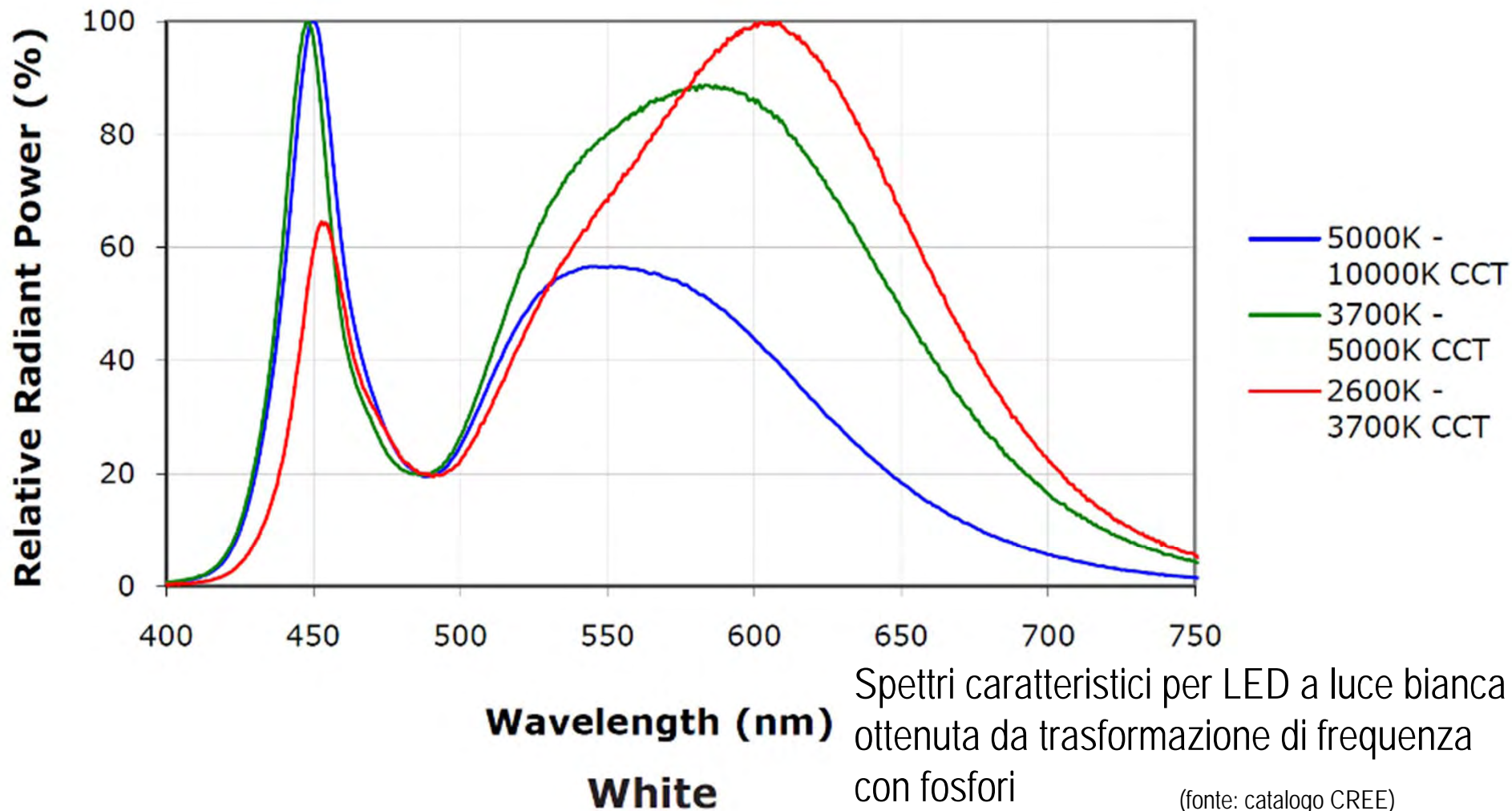
Spettri caratteristici per LED monocromatici a banda stretta

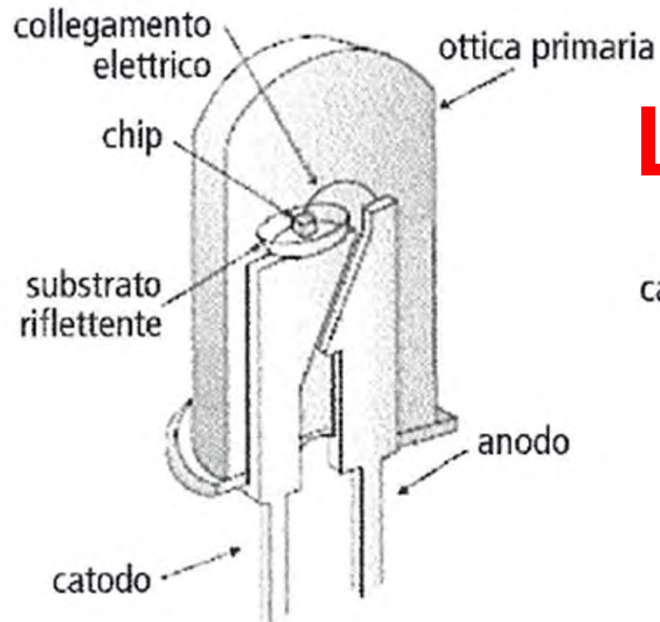
(fonte: catalogo CREE)



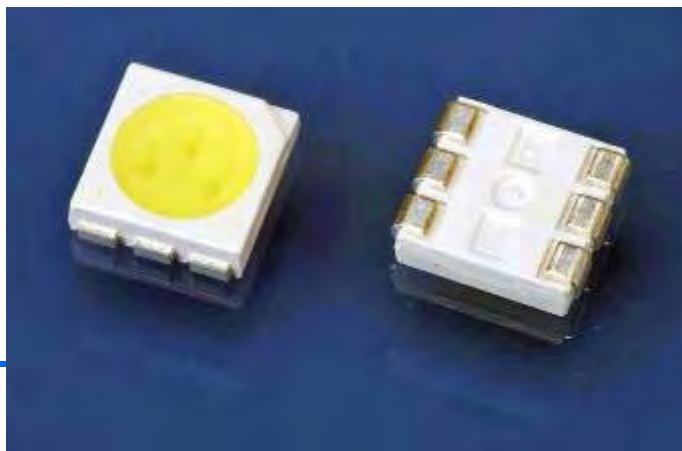
Multiled a luce bianca

- Per sintesi additiva da 3 colori primari: RGB
(**Red**, **Green**, **Blue**)
- Per sintesi additiva: parte del **blu** – **ambra**
- Per trasformazione di frequenza con fosfori
(dal blu e ultravioletto)
- Per sintesi additiva di 3 colori non primari: AWB
(**Ambra**, **White**, **Blue**)





(fonte: Forcolini, Illuminazione a LED, edizione Hoepli)



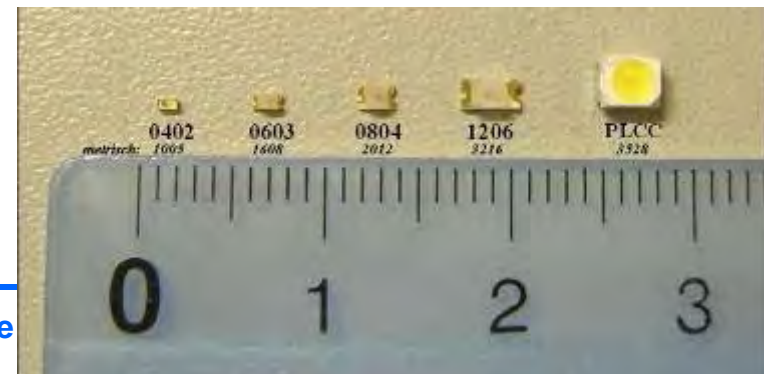
TIPOLOGIE DI DIODI LED

LED DI SEGNALAZIONE

- tipo **THT** (*Through Hole Technology*)
- tipo **SMT** (*Surface Mounted Technology*)

utilizzati per:

- spie luminose su circuiti stampati;
- moduli lineari, strisce luminose;
- guide di luce.





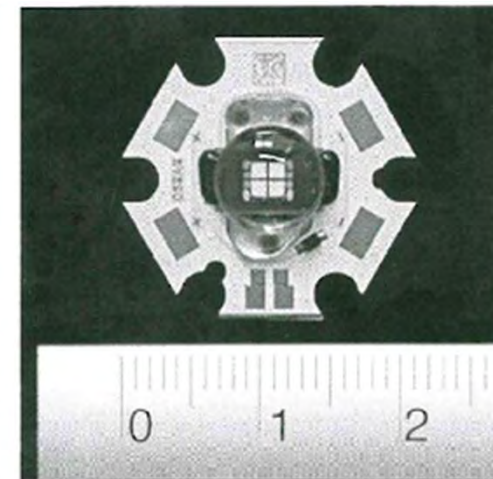
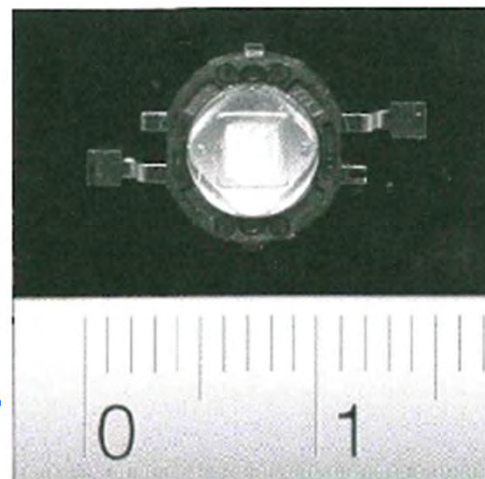
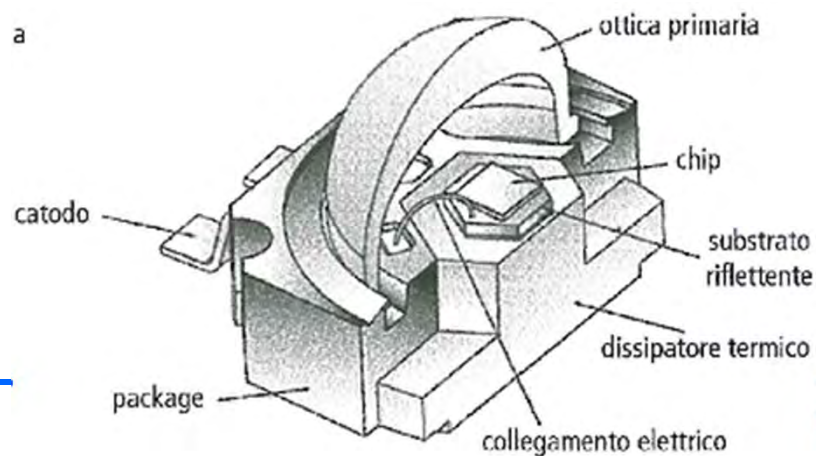
TIPOLOGIE DI DIODI LED

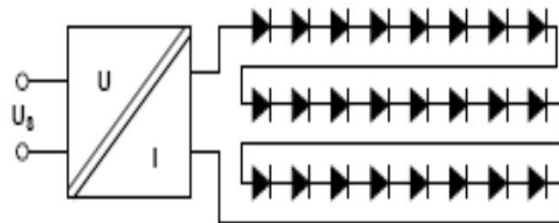
LED DI POTENZA

Nasce come dispositivo pronto per il collegamento elettrico.

- LED monochip
- LED multichip





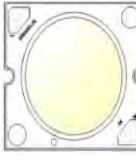

(fonte: Forcolini, Illuminazione a LED, edizione Hoepli)





TIPOLOGIE DI DIODI LED

LED MULTIGIUNZIONE

	WARM WHITE		NEUTRAL WHITE		COOL WHITE	
Nominal Color Temperature	3000 K		4100 K		5600 K	
Color Rendering Index (CRI) ^[1]	82		80		65	
Typical Efficacy (lm/W) ^[2]	50 – 60 lm/W		55 – 65 lm/W		75 – 85 lm/W	
Hot Lumen Performance Options (lm) ^[3]	400 lm		400 lm		400 lm	
	800 lm 1200 lm		800 lm 1200 lm		800 lm 1200 lm 2000 lm	

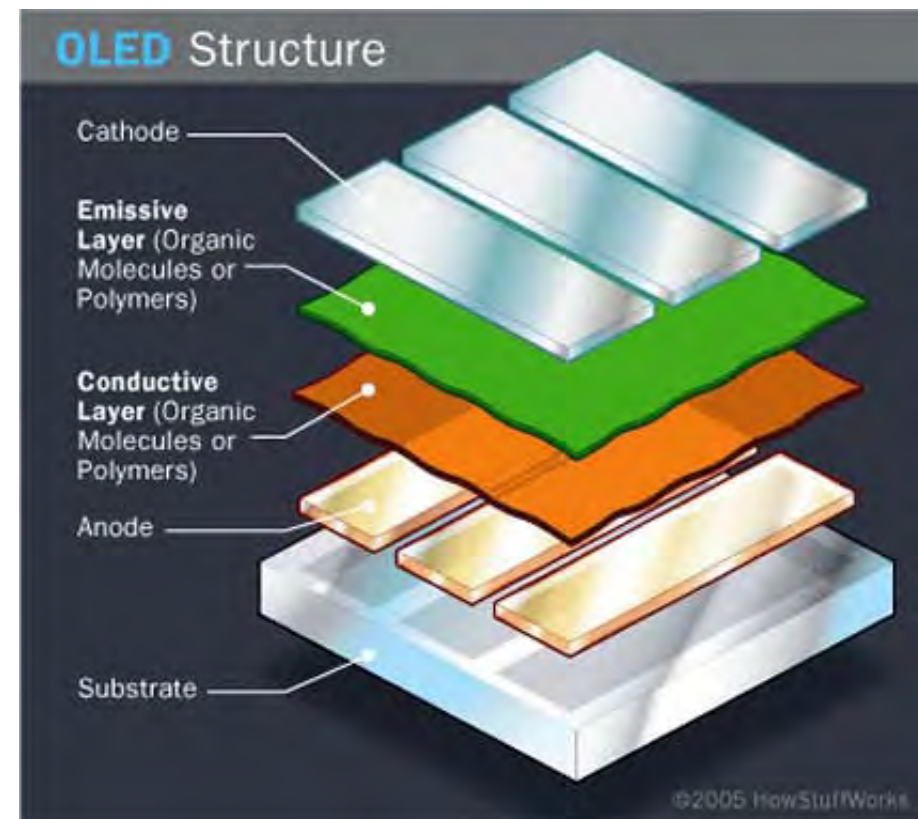
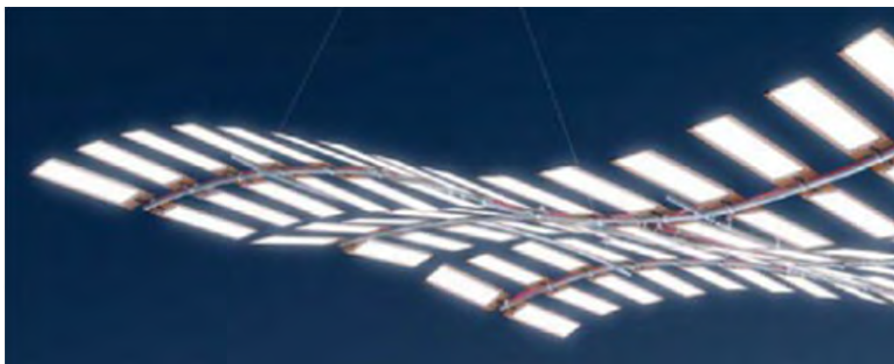
Alimentazione in corrente costante o in tensione costante nel caso abbiano integrata una resistenza limitatrice. Tensione di lavoro in varie taglie, fino a 230 V.

TIPOLOGIE DI DIODI LED

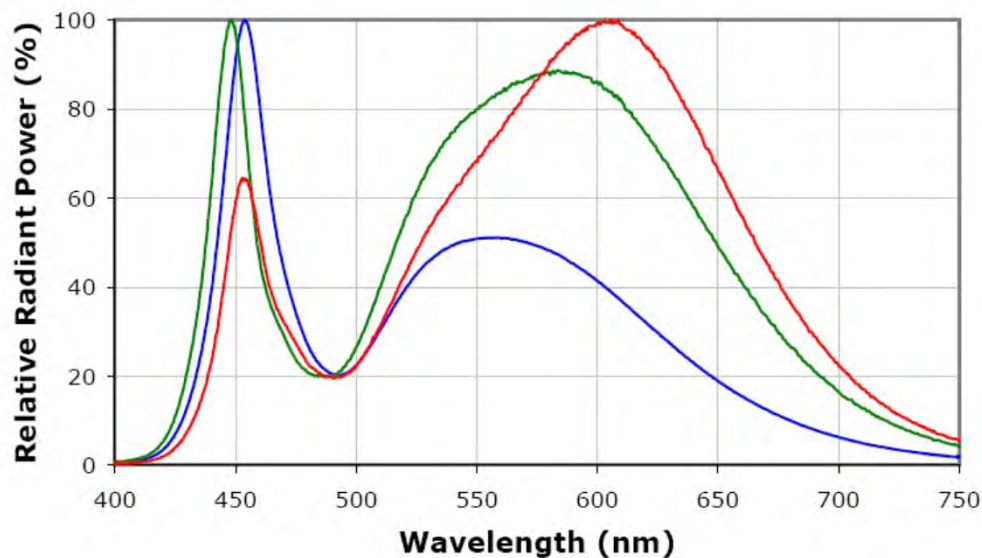
OLED

Al momento hanno **bassa efficienza**.

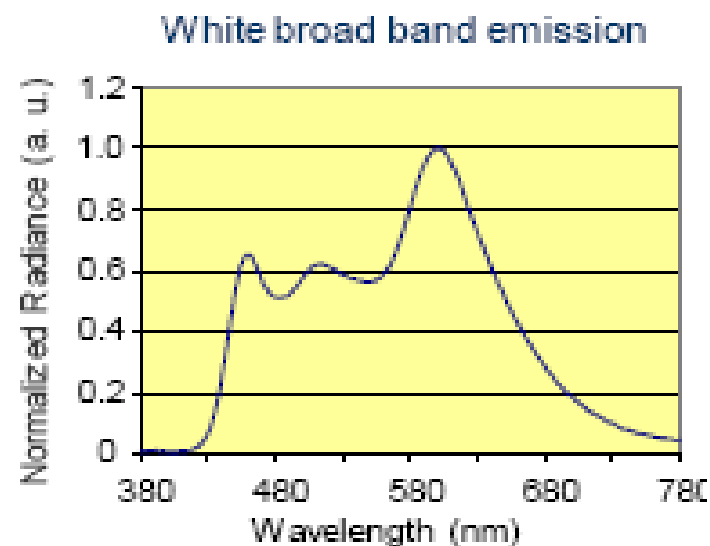
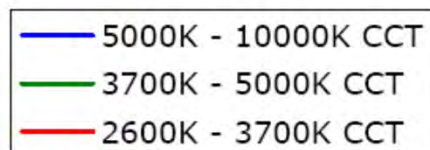
Vantaggi: sorgente diffusa, minimo spessore, flessibile, ridotti problemi di sicurezza fotobiologica.



CONFRONTO TRA SPETTRI



White



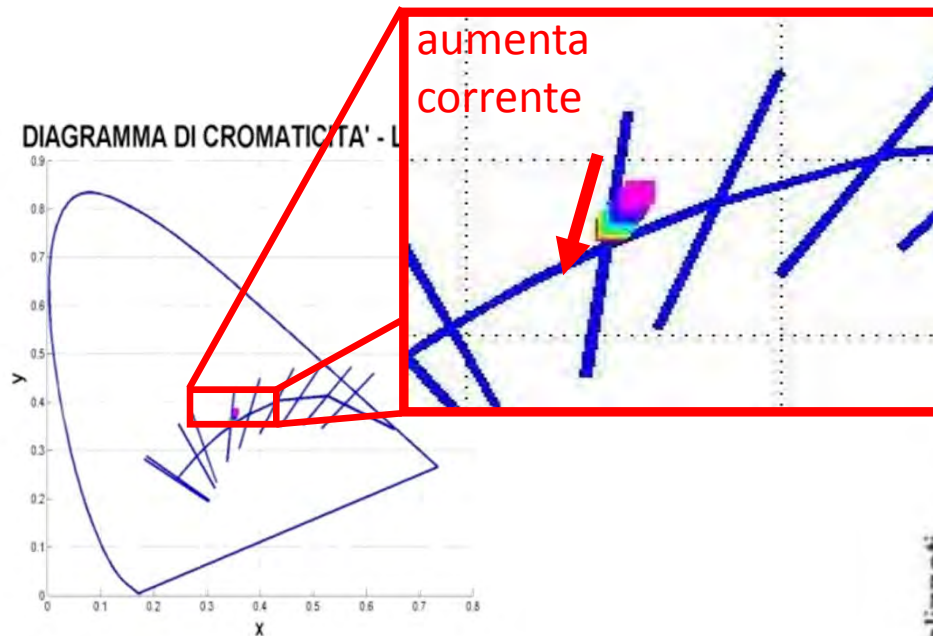
Confronto tra spettro LED a semiconduttore con fosfori ed OLED

NUOVA LUCE = i caratteri della rivoluzione

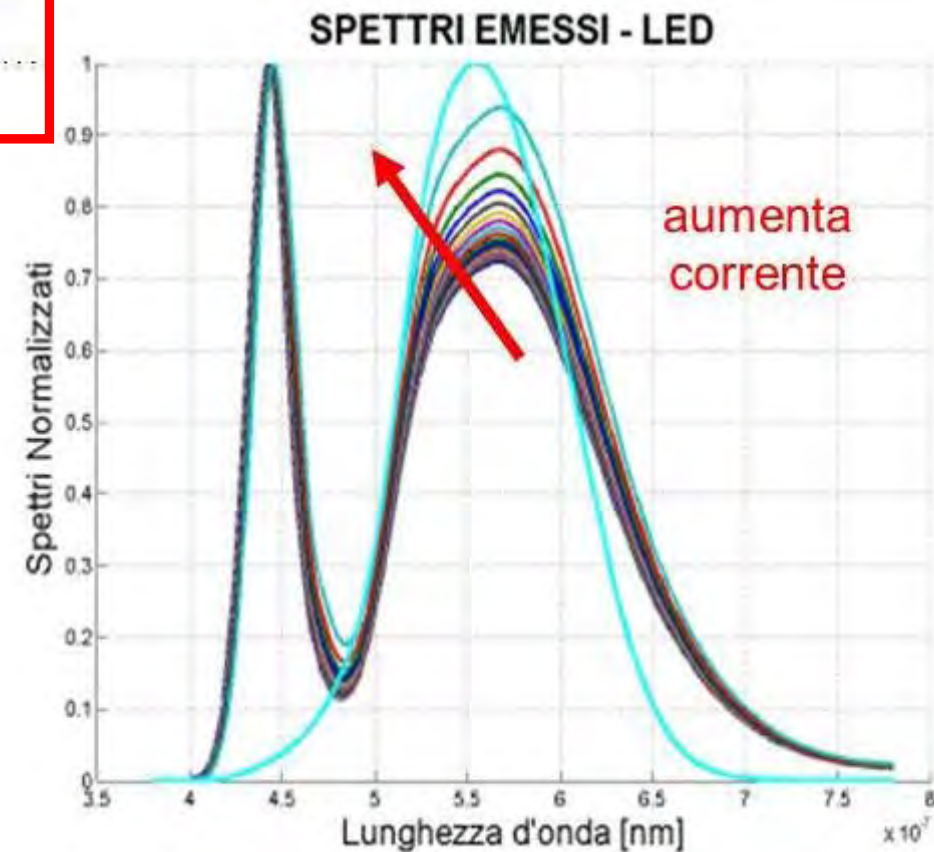
- Irruzione dell'elettronica nel tranquillo mondo del "lighting"
[nuovi dominatori: giunzione p-n (diodi), alimentatori c.a.- c.c., microsistemi ottici, smaltimento del calore]
- Si può ancora parlare di sorgenti luminose e di apparecchi?
[dal nitore geometrico della "sorgente" alla sfuggente indefinibilità del "sistema multisorgenti"]
- Sconquasso semantico (terminologia)
[dalle familiari e "pacifiche" cd, lm, lm/W, c.a., $V = \text{cost}$, "taglie" discrete (W) alle criticità tipiche dell'elettronica: mA, $I = \text{cost}$ e controllo relativo, controllo di T° , tolleranze ristrette e critiche per T° , T_c , mA....]
- Necessità di una faticosa convergenza tra mondi e culture diversi (elettronica e illuminotecnica)

I VANTAGGI DELLA LUCE “LED”

- + Luce bianca praticamente priva di UV e IR
 - + Colori saturi (quando serve)
 - + Alta efficienza luminosa (circa 100 lm/W...oltre?)
 - + Vita media elevata (circa 50.000 ore)
 - + Regolabilità del flusso luminoso (0 – 100 %)
 - + Ridotte dimensioni
 - + Ampio spettro di Tc **teoricamente** ottenibili
 - + Migliore fattore di manutenzione
 - Bassi valori unitari di flusso emesso
- => **versatilità di sistema**: ampio spettro di potenze disponibili
(superamento dei vincoli di “taglia” ma solo per il progettista)
- => **DAL “CORPO ILLUMINANTE” AL “SISTEMA”.....**
(liberazione dal vincolo della “forma”)



Variazioni cromatiche minime al variare della corrente di pilotaggio del singolo modulo LED



GLI SVANTAGGI DELLA LUCE “LED”

- Bassi valori unitari di flusso emesso (necessità di accorpamenti di elevati numeri di unità singole oppure uso di multigiunzione)
- Emissione luminosa dipendente dalla temperatura
- Dispersione delle caratteristiche pur all'interno di uno stesso lotto (T_c , lm/W) (normale per gli elettronici...)
- Necessità di componenti ausiliari sofisticati e di dubbio comportamento nel tempo, critici con la temperatura (sistemi ottici primari, secondari, alimentatori switching)
- Costo relativamente elevato (allo stato attuale, ma con derivata negativa tipica dell'elettronica)
- Non ovunque impiegabili/convenienti (VERO!!)
- Eccessiva emissione di componente blu nello spettro

Una prima criticità dei LED

Tolleranze ristrette sulla tensione diretta
della giunzione (Forward Voltage)

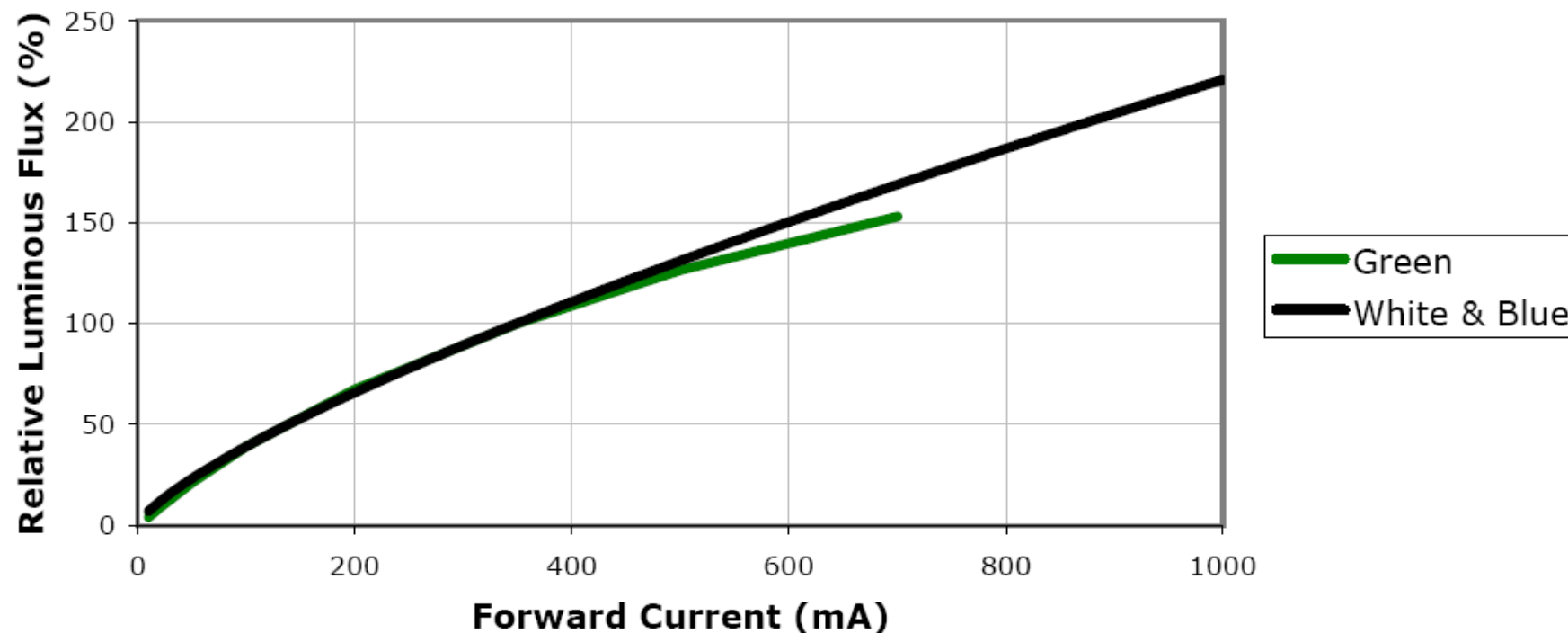
TIPICO: 3,6 – 4 V

COMPORATA:

Severo **controllo della corrente** non solo
per garantire la lunga durata di vita ma la
stessa sopravvivenza del LED

SORGENTI LUMINOSE: legame flusso - corrente

LED a semiconduttore



Legame flusso / intensità di corrente

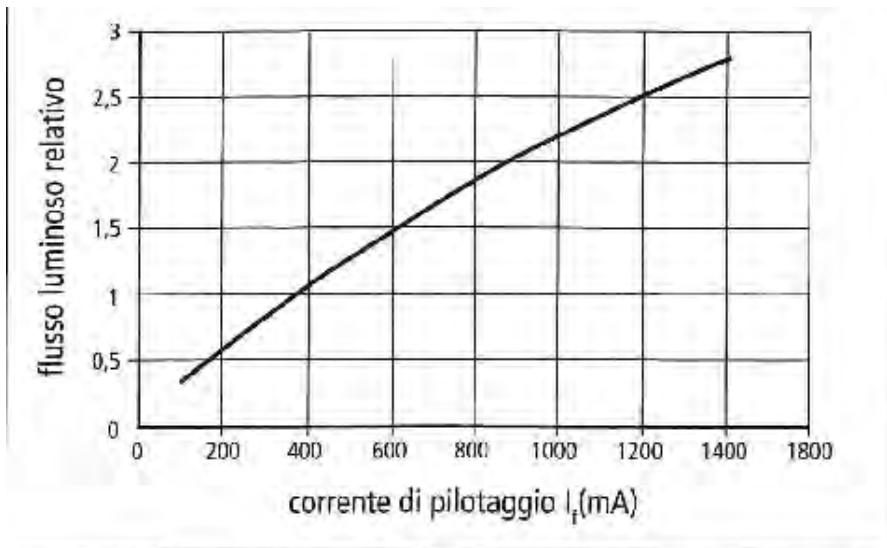


Figura 1.21 Variazione del flusso luminoso (in percentuale) in funzione della corrente di pilotaggio.

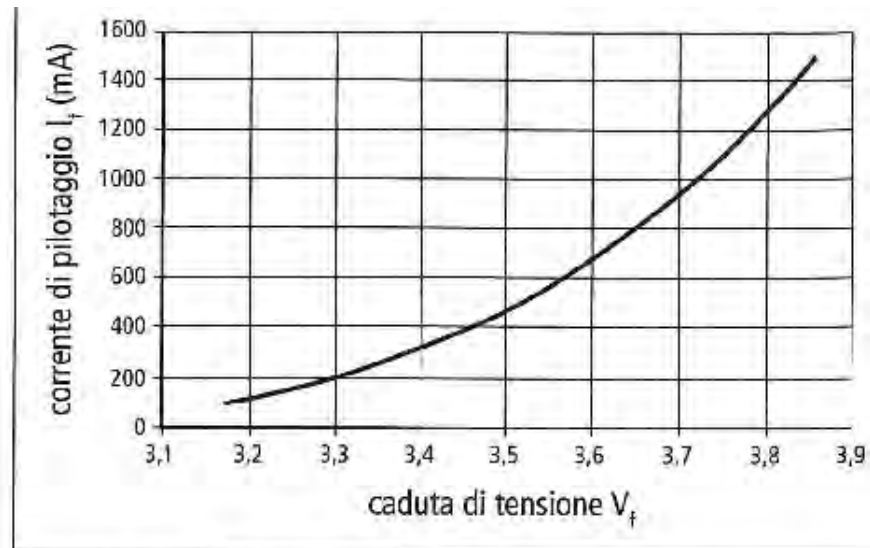


Figura 1.22 Variazione della corrente di pilotaggio in funzione della caduta di tensione (documentazione Philips).

Corrente di pilotaggio I_f (mA)	Caduta di tensione V_f (V)	Potenza assorbita P_d (W)	Flusso luminoso emesso Φ (lm)	Efficienza luminosa η (lm/W)
350	3.25	1.14	100	88
700	3.65	2.55	180	70

(fonte: documentazione Seoul Semiconductor)

Conseguenze della criticità del controllo di corrente

Alimentatore *switching* di elevata qualità

SIGNIFICA

- Elevata affidabilità
- Elevata durata
- Non generazione di armoniche apprezzabili

Ma anche

- Costo elevato

(reticenze delle schede di prodotto)

Una seconda criticità dei LED

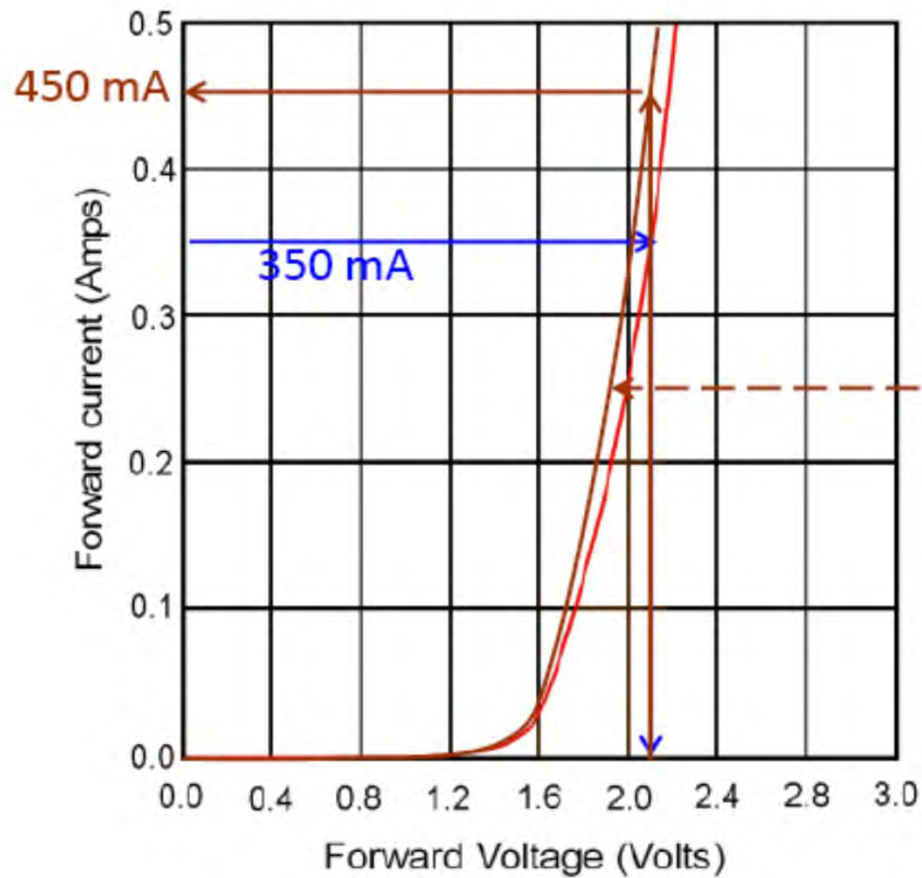
Tolleranze ristrette sulla temperatura dell'ambiente di installazione (apparecchio) – problema di smaltimento termico della giunzione

EFFETTI:

- **Diminuzione di efficienza**
- **Diminuzione di durata di vita**

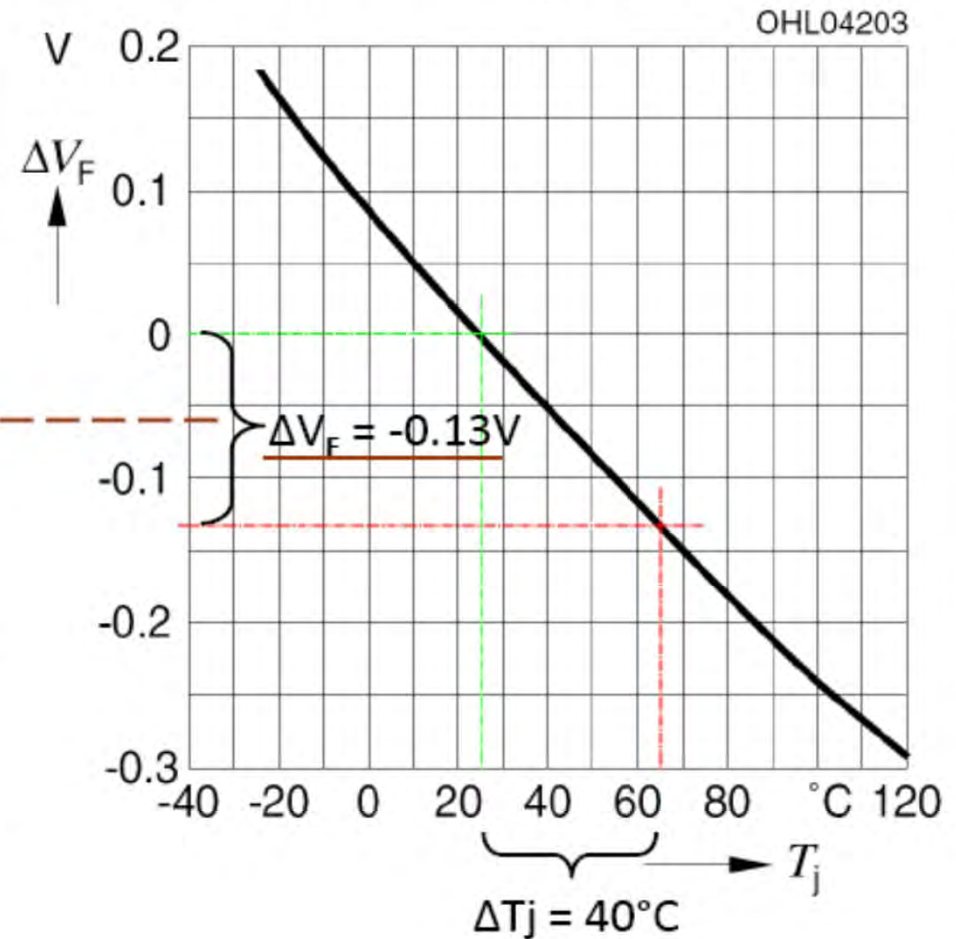
Forward Voltage vs Forward Current

for a typical "yellow Golden DRAGON" LED
by OSRAM



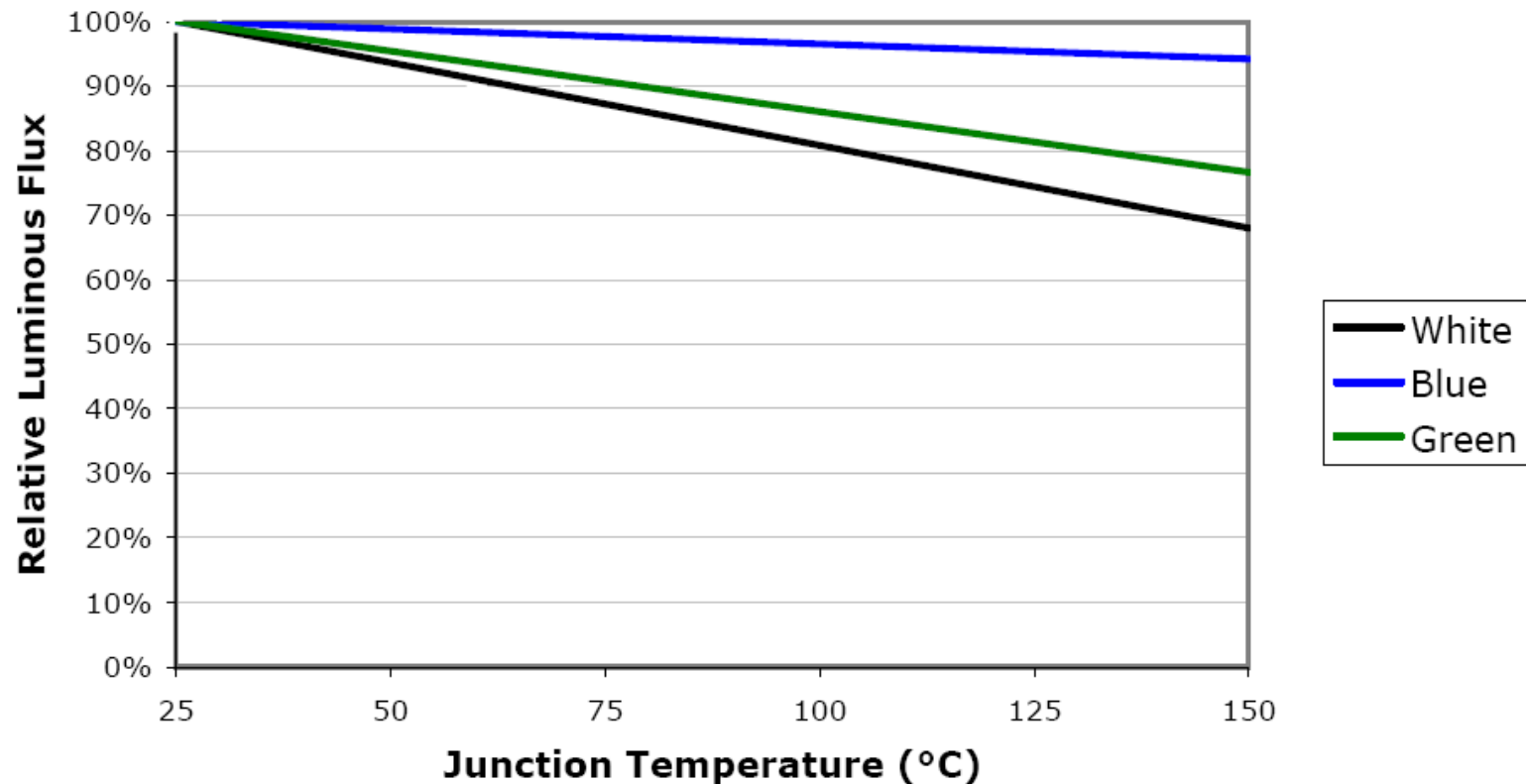
Relative Forward Voltage

$$\Delta V_F = V_F - V_F(25\text{ C}) = f(T_j); I_F = 350\text{ mA}$$



(fonte: documentazione CREE)

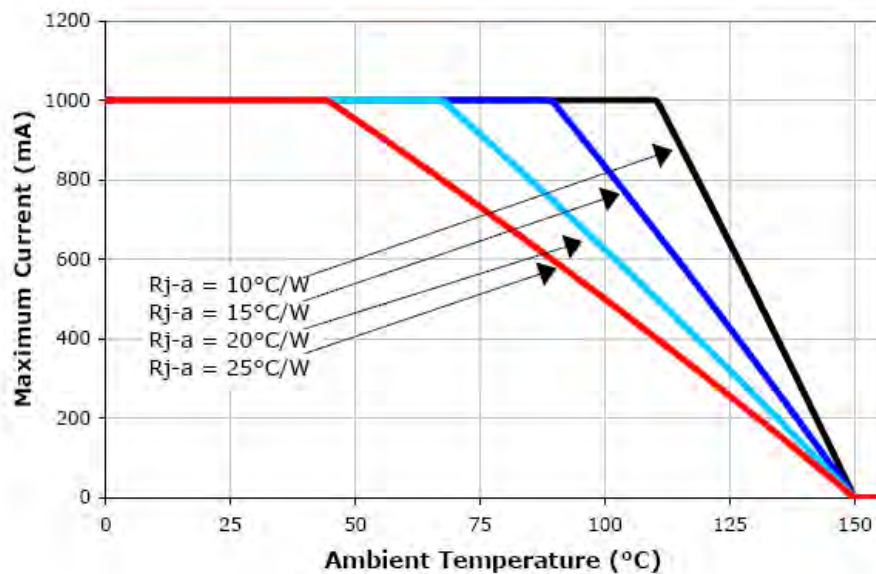
Power LED a semiconduttore: il decadimento del flusso con la temperatura di giunzione (più incisivo con luce bianca per il decadimento dei fosfori)



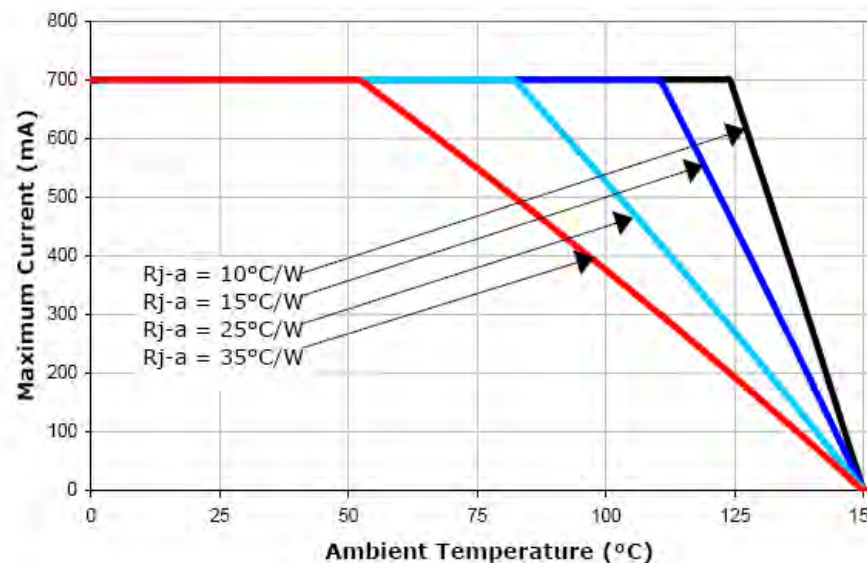
(fonte: documentazione CREE)

POWER LED a semiconduttore:

limitazioni alla corrente/temperatura ambiente (base)
a seconda della resistenza termica giunzione-base



White \geq 5,000 K, Royal Blue, Blue



White < 5,000 K, Green

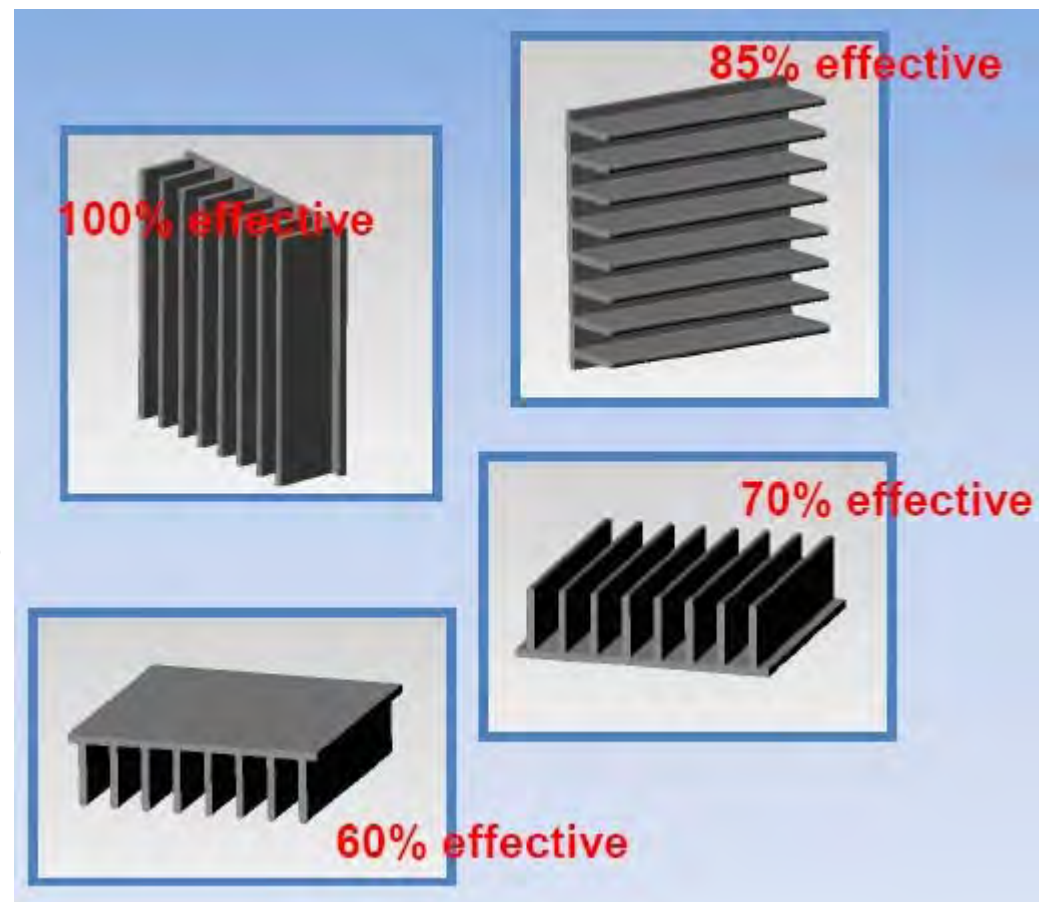
(fonte: documentazione CREE)

Conseguenze della criticità del controllo di temperatura

Dissipatore termico
passivo (corpi alettati)

SIGNIFICA

- Bassa resistività termica del dissipatore
- Ottimo contatto tra diodo e dissipatore
- Montaggio



LED: il problema termico DELLA GIUNZIONE p-n

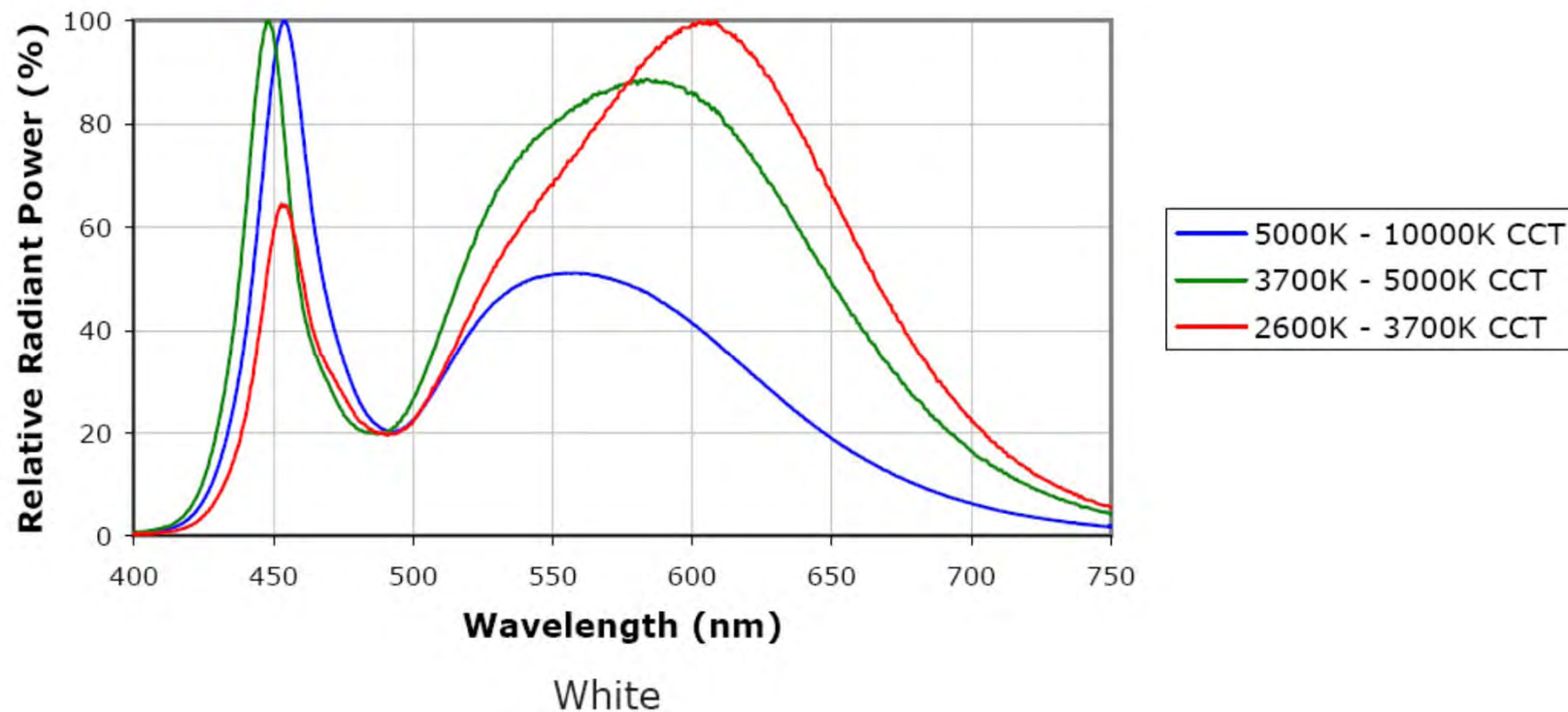
CONFRONTO TRA SORGENTI LED E TRADIZIONALI (National Semiconductor)

	White HBLED	Typical Fluorescent	Metal Halide	60W Incandescent
Visible Light	25%	21%	27%	8%
Infrared	~ 0%	37%	17%	73%
UV	0%	~ 0%	19%	0%
Total Radiant Energy	25%	58%	63%	81%
Remaining Heat	75%	42%	37%	19%

LA TEMPERATURA DI COLORE E' UN PROBLEMA?

- **marcata presenza del blu in tutti i tipi di LED**
- **i correttivi (fosfori) penalizzano l'emissione (efficienza) – *lm/W più elevati con Tc elevate (temperature di colore fredde)***
- **criticità nel controllo della corrente (modifica di coordinate cromatiche - BIN)**
(ma meno importante per applicazioni stradali)

POWER LED a semiconduttore: Temperatura di colore / Spettro

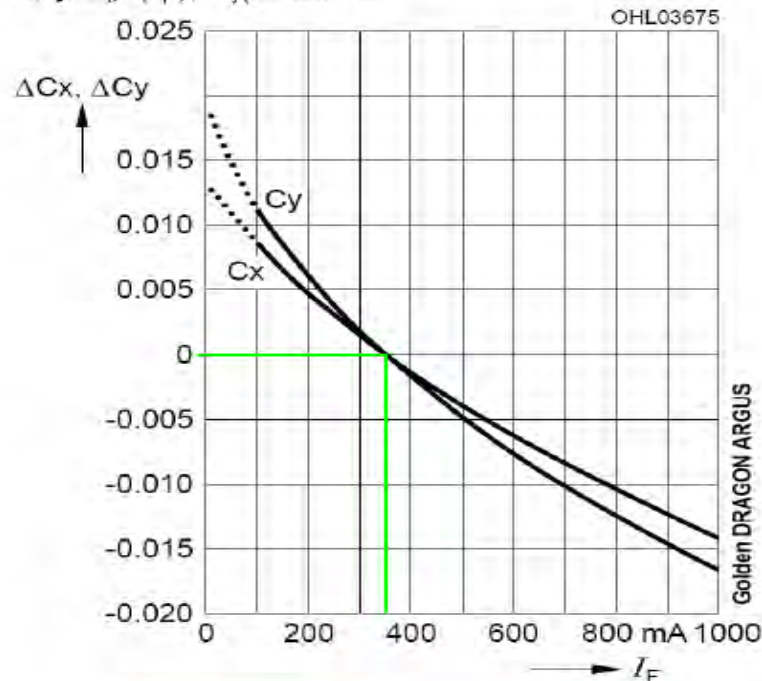


POWER LED a semiconduttore:

Variazioni delle coordinate cromatiche e del flusso con la corrente di giunzione

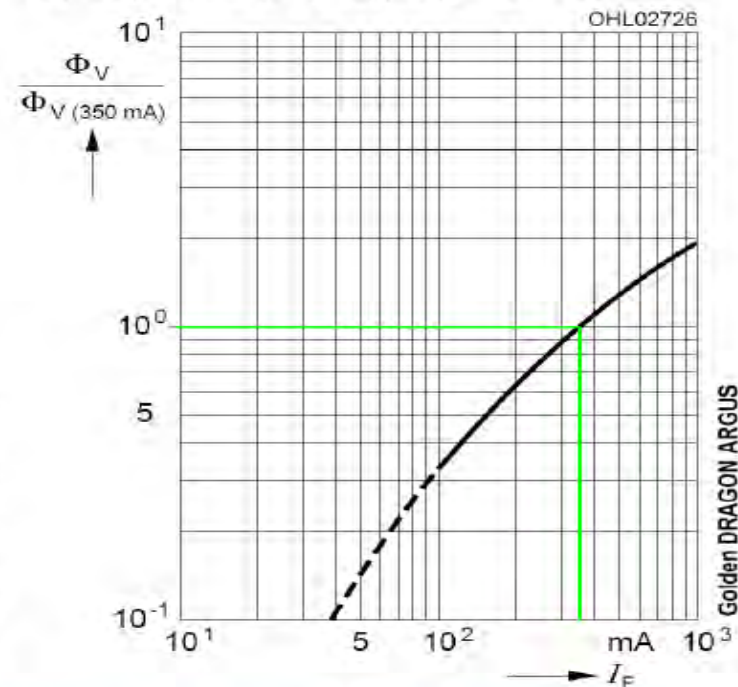
Relative Chromaticity Coordinate Shift

$$x, y = f(I_F); T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$



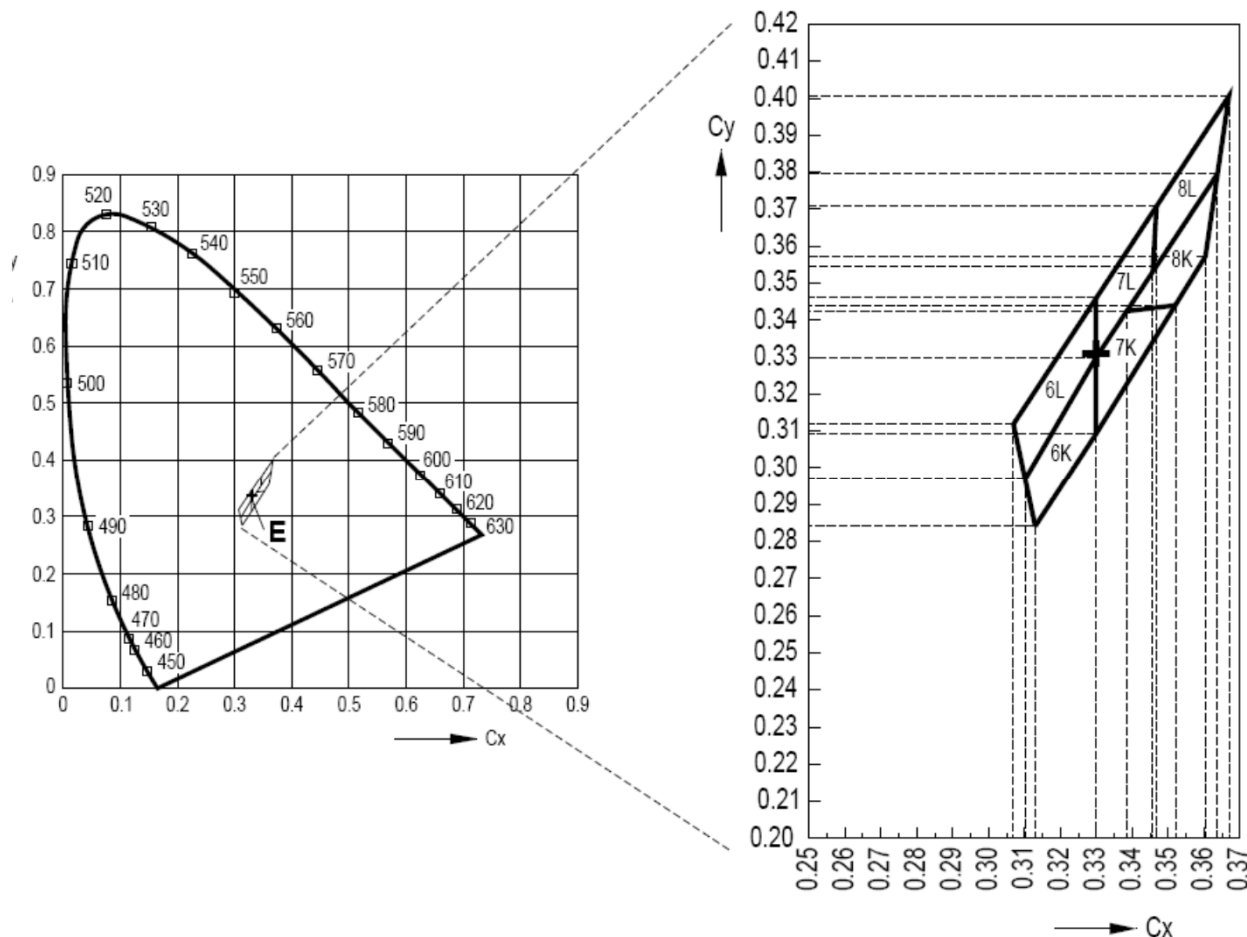
Relative Luminous Flux

$$\Phi_V / \Phi_V(350 \text{ mA}) = f(I_F); T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

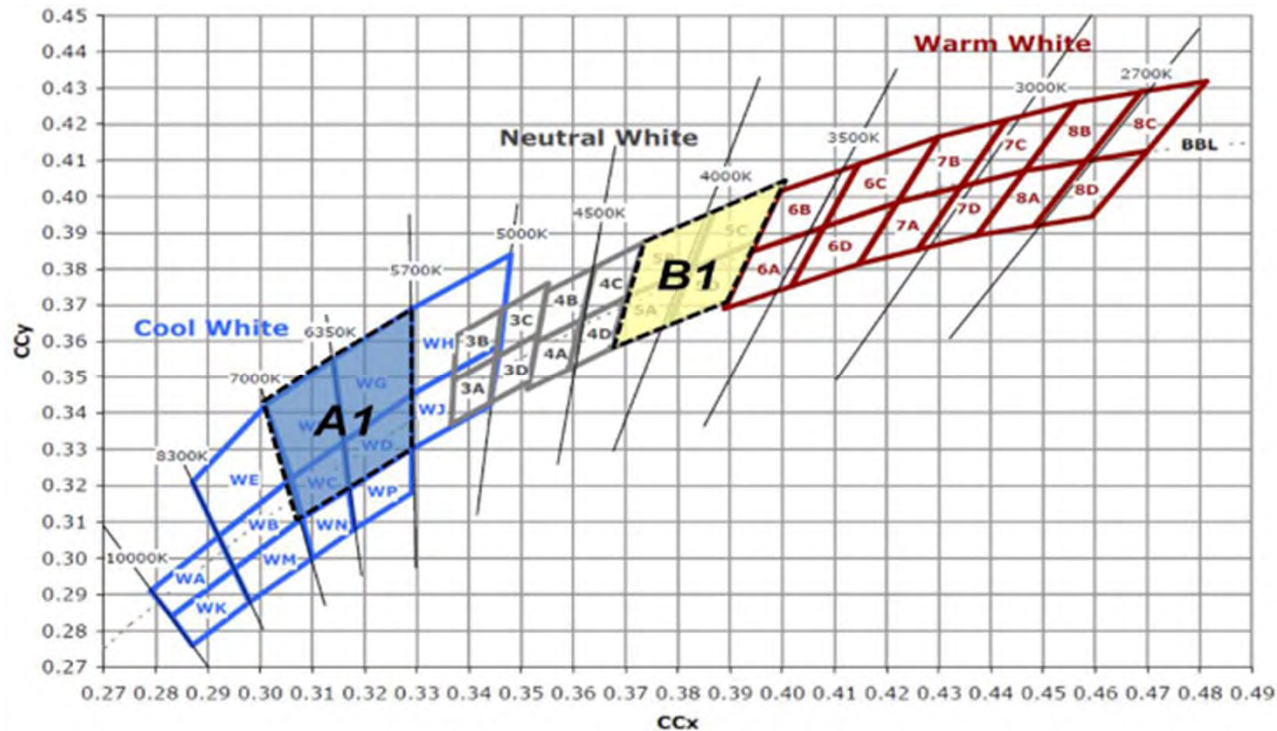


Variazioni di I_F causano cambiamento di colore e di luminosità

**POWER LED a
semiconduttore:**
Variazioni del % nelle
coordinate
possono causare
spostamenti di classe
nei *bin*



POWER LED a semiconduttore: celle (bin) di colore secondo standard NEMA



The new NEMA standard SSL 3-2010 covers high-power white LED binning for general illumination.

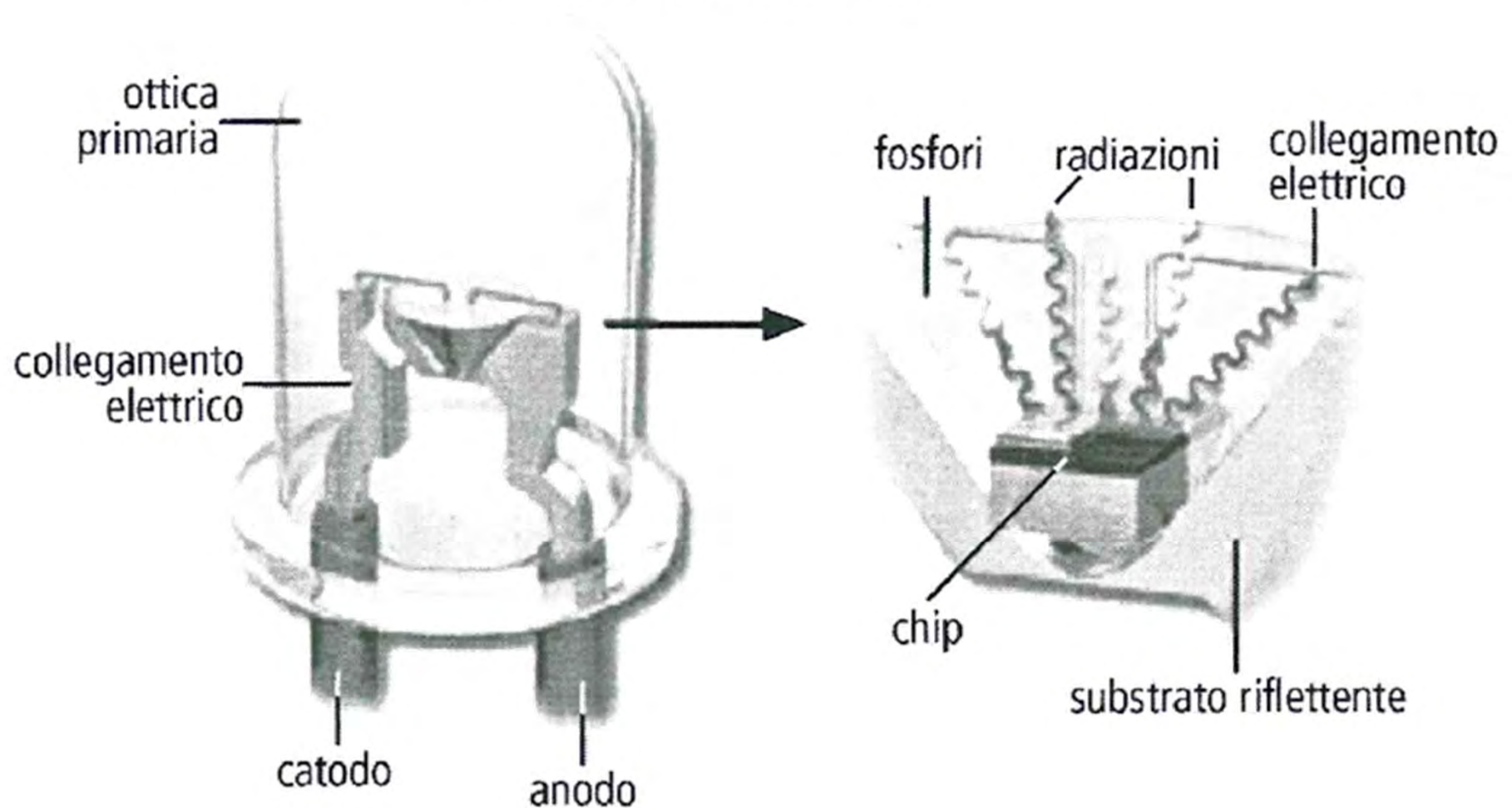
Un elemento delicato dei LED

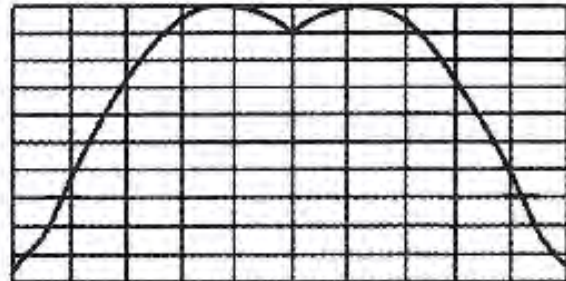
Necessità di **un'ottica primaria** (lente o riflettore) e (quasi sempre) di un **sistema ottico secondario**:

DI ALTA QUALITA'

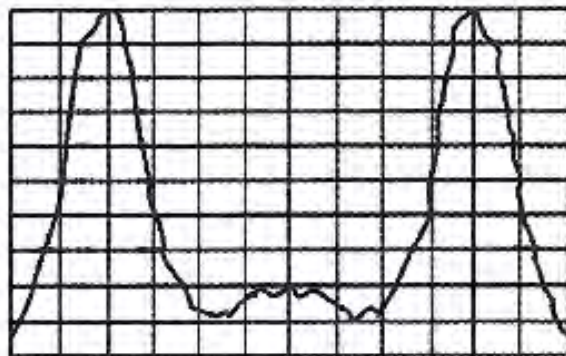
ALTRIMENTI contribuiscono a ridurre l'efficienza complessiva e al decadimento delle prestazioni nel tempo

LENTE PRIMARIA

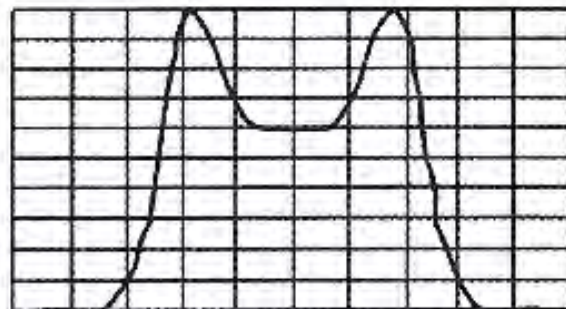




Lambertiana



Laterale



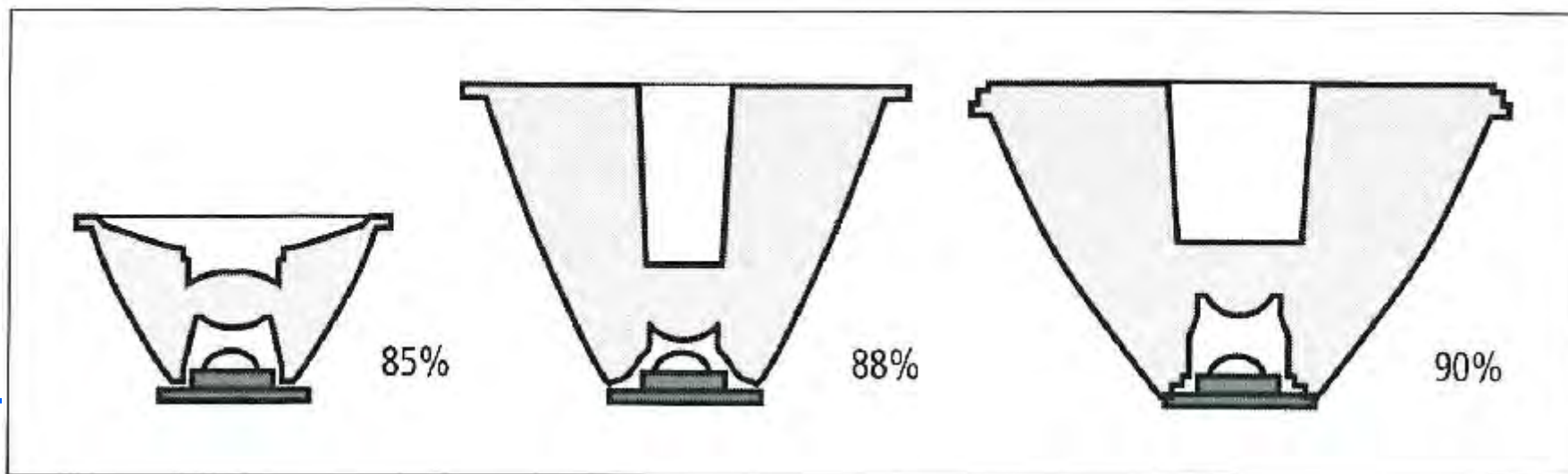
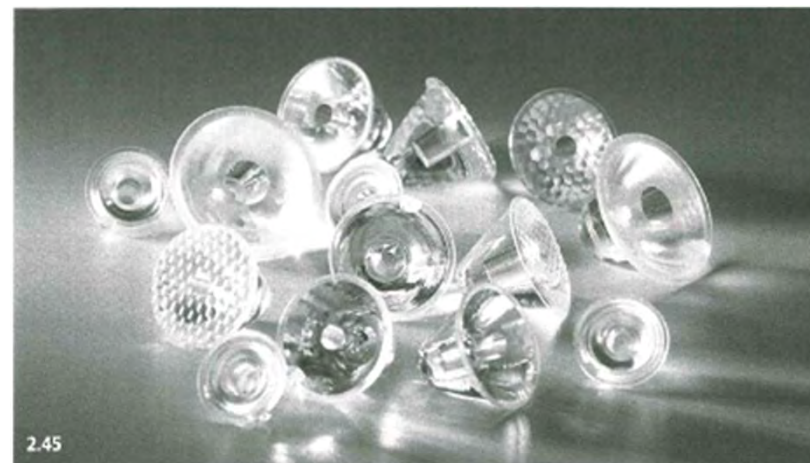
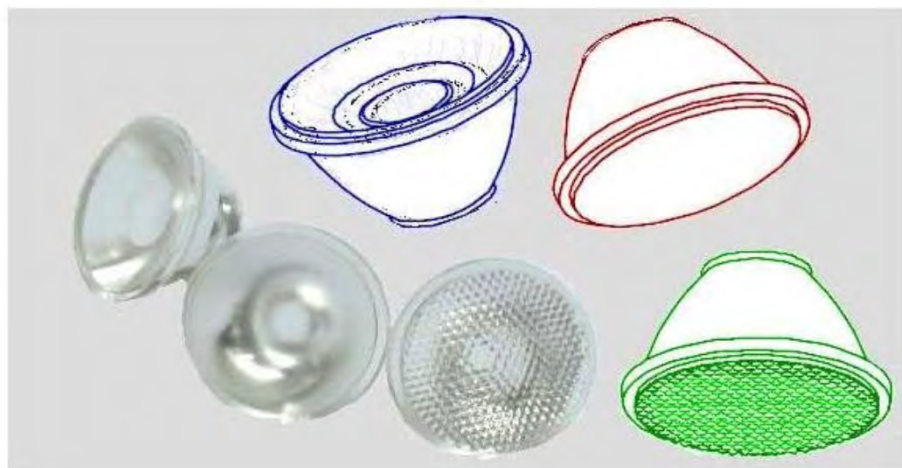
Batwing



EMISSIONE DALENTE PRIMARIA

Figura 1.20
Diagrammi
fotometrici per tre
Power LED con
differenti ottiche
primarie
(produzione e
documentazioni Philips

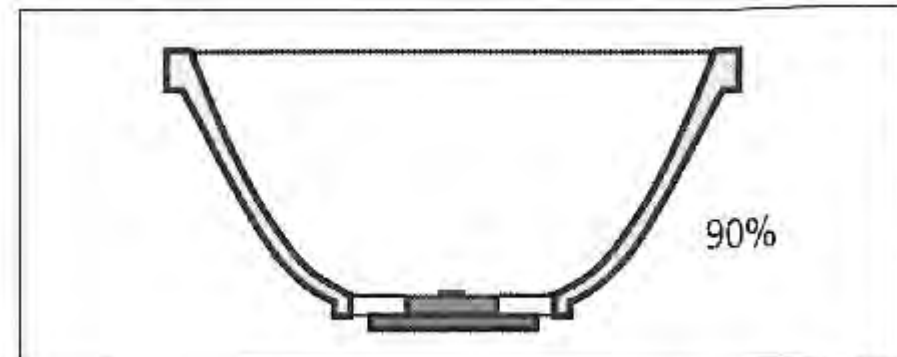
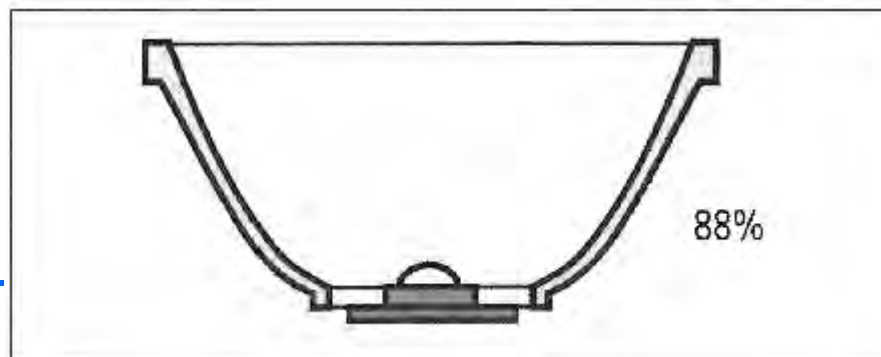
OTTICHE secondarie: **LENTI**



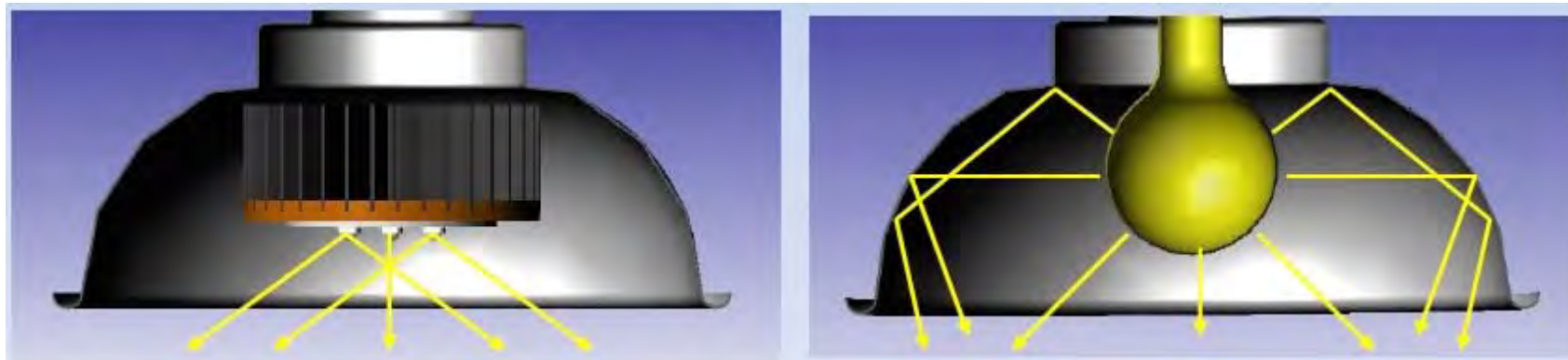
OTTICHE secondarie: **RIFLETTORI**



Figura 2.47 Ottica secondaria a riflettore, in polimero trattato con ossido di alluminio. Nella zona centrale un piccolo schermo riflettente copre la capsula del LED, in funzione antiabbagliamento (documentazione e produzione FRAEN).

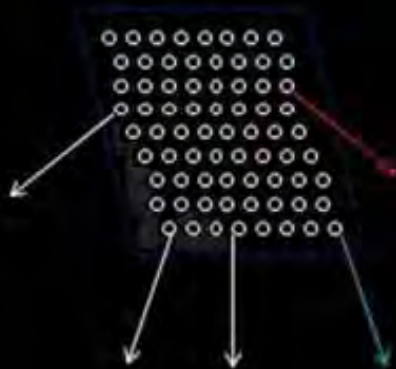


**I riflettori servono ancora??
Sì, ma meno importanti che per le sorgenti tradizionali...**



Confronto tra lampioni a LED

Matrice
lineare



Matrice
curva



Deflettivo con
riflessione totale





SORGENTI TRADIZIONALI VERSO IL TRAMONTO?

NO, a meno che non lo si faccia “per decreto”!
(per alcune morte certa – R.EU 244 e 245 – 2009)

- **LED-mania ingiustificata!**
- **Altre tecnologie moriranno di morte naturale ma altre potrebbero continuare ad evolvere.**
- **Comunque vincerà la competizione.**

Tipo di sorgente	Efficienza luminosa [lm/W]	Durata di vita [h]	Tempo di accensione / spegnimento	Alimentazione	Regolazione luminosa	Resa cromatica	Temperatura di colore [K]	Applicazioni
Incandescent e	5 ÷ 15	1.000	immediato	tensione di rete	0 ÷ 100%	100	2.700	ill. generale
Alogena	12 ÷ 35	2.000 ÷ 4.000	immediato	tensione di rete	0 ÷ 100%	100	2.700	ill. generale
Fluorescente Lineare	50 ÷ 100	10.000 ÷ 16.000	immediato	reattore	5 ÷ 100%	80 ÷ 95	3.000 ÷ 6.500	ill. generale
Fluorescente Compatta	40 ÷ 65	6.000 ÷ 12.000	immediato	reattore	5 ÷ 100%	80 ÷ 95	2.700 ÷ 5.400	ill. generale
Induzione	60 ÷ 80	60.000	immediato	alimentatore HF	inattuabile	70	3.000 ÷ 4.000	postazioni di difficile manutenzione
agli Alogenuri Metallici	50 ÷ 100	6.000 ÷ 12.000	5 ÷ 15 min.	reattore	40 ÷ 100%	80 ÷ 95	2.700 ÷ 5.400	strutture commerciali
a Mercurio	40 ÷ 60	12.000	4 ÷ 7 min.	reattore	inattuabile	50	3.000 ÷ 4.200	ill. esterna e stradale
al Sodio	180 ÷ 200	18.000	10 min.	reattore	40 ÷ 100%	0	1.700	ill. esterna e stradale
al Sodio ad alta pressione	80 ÷ 100	12.000 ÷ 16.000	10 min.	reattore	40 ÷ 100%	20 ÷ 60	2.000	ill. esterna e stradale
al Sodio ad altissima pressione	40 ÷ 60	6.000 ÷ 10.000	10 min.	reattore	40 ÷ 100%	80	3.000	ill. esterna, grandi ambienti
LED	20 ÷ 110	10.000 ÷ 50.000	immediato	alimentatore	0 ÷ 100%	80 ÷ 95	3.200 ÷ 6.500	ill. generale e decorativa

NON TUTTO E' DA CESTINARE.....

		Efficienza tipica (lm/W)	Vita media (ore)
Lampade fluorescenti compatte		70	15.000
Lampade fluorescenti lineari lunga durata		95	48.000
Lampade fluorescenti lineari "ECO"		105	28.000
Lampade a scarica ad alta intensità, compatte	Sodio AP	120	32.000
	Alogenuri Metallici	100 - 110	20.000
Sistemi a multiled (<i>In evoluzione</i>)		80 - 110	> 50.000



COME ORIENTARSI NEL COMPLESSO MONDO DELLE SORGENTI A E APPARECCHI A LED?

Un aiuto al progettista per la comparazione:

SCHEDA **AIDI** DI PRODOTTO
PER GLI APPARECCHI
ED I SISTEMI DI ILLUMINAZIONE
UTILIZZANTI
SORGENTI DI LUCE A LED



ALBO VENETO
DEGLI INSTALLATORI
ELETTRICI QUALIFICATI

LED E RISPARMIO ENERGETICO
NELLE PIU' COMUNI
APPLICAZIONI DI ILLUMINAZIONE



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

ing. Elena Pedrotti

Progettista Illuminotecnico

via G. Zambelli, 3

35020 Saonara (PD)

320 082 04 96

pedrotti.e@gmail.com
