

# LAMPADE

## Meccanismi di generazione della luce

Esistono due modi principali secondo i quali la luce è generata, ovvero come dell'energia si trasforma in fotoni: l'*incandescenza* e la *luminescenza*. Essi corrispondono ad un meccanismo termico e ad un meccanismo non termico, rispettivamente.

Nel fenomeno dell'incandescenza, gli elettroni in agitazione termica rilasciano fotoni. Le loro frequenze interessano un campo relativamente ampio con una certa continuità spettrale. Lo spettro è indipendente dalla sostanza e dipende solamente dalla temperatura.

La luminescenza è legata all'eccitazione degli elettroni in un atomo, in una molecola o in un cristallo. L'emissione dei fotoni corrisponde all'energia rilasciata da un elettrone quando eccitato passa da un livello energetico ad un altro. La forma della distribuzione spettrale dell'energia dei fotoni dipende dalla specifica sostanza.

# Radiatori termici

Il radiatore termico ideale è il **corpo nero** di cui la figura riporta la densità spettrale della potenza  $w(\lambda)$  in funzione della lunghezza d'onda  $\lambda$  al variare della temperatura tra 2000 K e 7000 K.

Certi aspetti dei radiatori termici reali **concordano** con il comportamento del corpo nero nel campo delle lunghezze d'onda visibili.

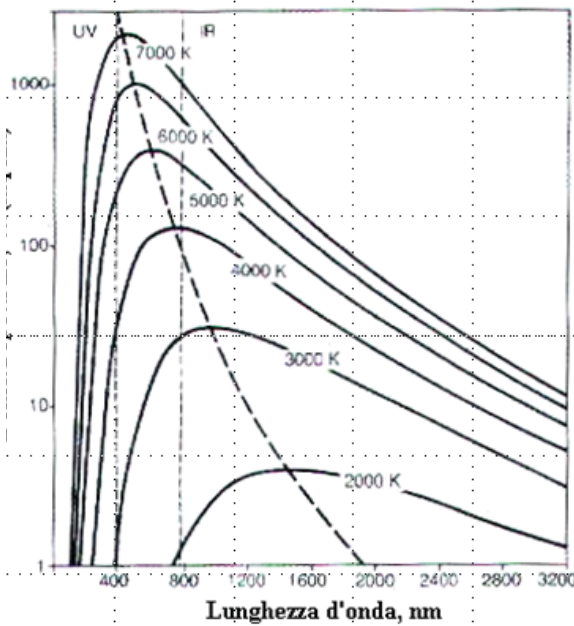
Riscaldando un solido si osserva che ad una certa temperatura appare di colore rosso scuro.

All'aumentare della temperatura l'emissione luminosa appare di colore rosso chiaro, poi arancione, giallo, bianco e, infine, bianco-azzurro.

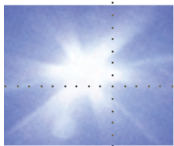
La potenza raggiante visibile cresce con la temperatura e la dominanza spettrale (picco) si sposta verso lunghezze d'onda più piccole.

Ciò spiega l'aumento di luminosità ed il cambiamento di colore di un solido portato verso il punto di fusione.

Campo del visibile



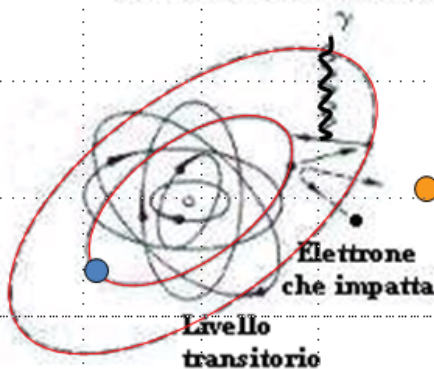
Curve di emissione del corpo nero



Il sole è assimilabile ad un corpo nero alla temperatura di 6500 K.

# Radiatori a luminescenza nei mezzi gassosi

Emissione di un fotone



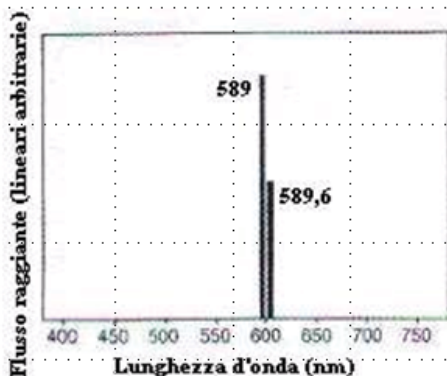
Quando una corrente di elettroni accelerati investe un gas si verifica l'emissione di luce (fotoni).

Un elettrone che impatta contro quello di un atomo del gas lo spinge in un livello energetico più alto di quello in cui era in equilibrio.

Il nuovo livello energetico non è stabile ma transitorio. Pertanto, l'elettrone ritorna al suo livello stabile emettendo l'energia potenziale esuberante in forma di luce.

I livelli energetici stabili e transitori sono quantizzati e tipici della sostanza nel suo stato termodinamico. Lo spettro del flusso raggiante è discreto (a righe) e tipico.

La figura a lato riporta lo spettro della radiazione del sodio a bassa pressione che nel campo del visibile è costituito da due righe ravvicinate a 589 nm e a 589,6 nm.

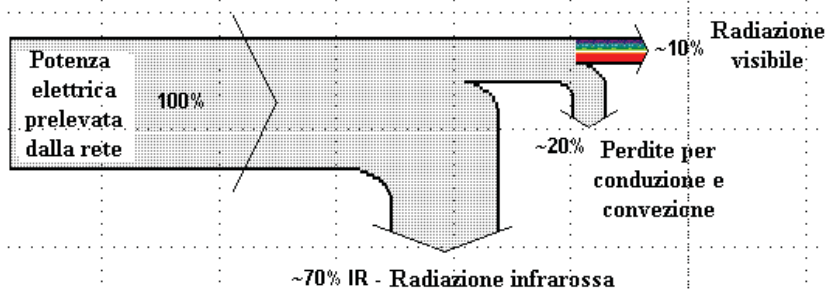


# Efficienza luminosa delle lampade

Per una sorgente luminosa primaria, alimentata elettricamente, l'efficienza luminosa è definita dal rapporto tra il flusso luminoso emesso e la potenza elettrica assorbita (lm/W).

E' necessario precisare che l'efficienza luminosa può essere definita sia in relazione alla potenza elettrica strettamente necessaria al meccanismo di emissione della luce sia in relazione alla potenza elettrica totale, comprendente anche quella necessaria agli accessori che ne permettono il funzionamento.

Normalmente, per le lampade si fa riferimento alla prima definizione. La potenza elettrica prelevata dalla rete di distribuzione (dalla presa elettrica) rappresenta il consumo totale.



**Bilancio di potenza per una lampada ad incandescenza**

La figura a lato presenta un bilancio tipico per una lampada ad incandescenza comune. In assenza di apparecchiature ausiliarie per il funzionamento le due efficienze luminose prima definite coincidono.

# Qualità della luce

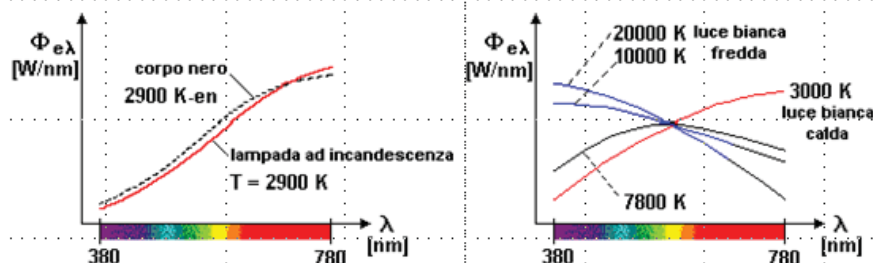
L'illuminazione artificiale degli interni è basata principalmente sull'uso di **luce bianca**.

La visione umana si è sviluppata in un ambiente irrorato di luce bianca naturale.

La luce bianca si riferisce ad una radiazione in cui sono presenti contributi spettrali a tutte le lunghezze d'onda del campo visibile.

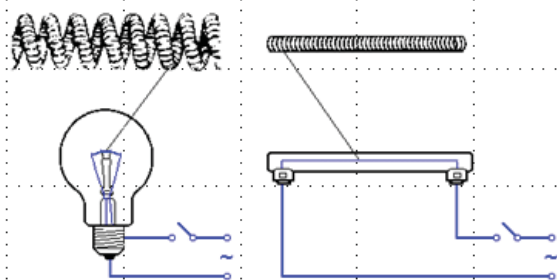
Tuttavia, la densità spettrale non è necessariamente costante e può presentare andamenti diversi con prevalenza della potenza raggiante in regioni diverse del campo delle radiazioni visibili. Ciò corrisponde a qualità diverse della luce bianca.

Il corpo nero ed i radiatori termici emettono potenza raggiante a spettro continuo per cui la qualità della luce di una sorgente termica può essere riferita alla curva di emissione del corpo nero più vicina a quella della sorgente termica considerata. Pertanto, in tale circostanza, la temperatura del corpo nero definisce la **Temperatura di colore** della sorgente in considerazione. La figura riporta esempi per lampade ad incandescenza.



**QUALITÀ DELLA LUCE BIANCA E TEMPERATURA DI COLORE**

## Lampade ad incandescenza



Un filamento di tungsteno, avvolto a spirale multipla e contenuto in un'ampolla di vetro, viene portato all'incandescenza dalla corrente elettrica per emettere luce.

La forma a spirale del filamento rende compatta la sorgente e riduce la sua superficie di scambio termico.

Il filamento è nel vuoto per le lampade fino a 15 W ed in un gas inerte (argon, azoto) per temperature superiori.

Il gas riduce la velocità di evaporazione del filamento. L'argon è un gas economico, a basso peso molecolare, che riduce lo scambio conduttivo e convettivo tra filamento e ampolla. L'azoto viene aggiunto per migliorare l'isolamento elettrico tra spira e spira.

Il cripton e lo xenon, con peso molecolare minore di quello dell'argon, servirebbero meglio allo scopo. Essendo più costosi, sono usati in casi speciali.

Per avere flussi luminosi elevati con spettro adeguato sono necessarie temperature di fusione molto elevate. Materiali idonei sono:

Tantalio.....3269 K

Osmio.....3273 K

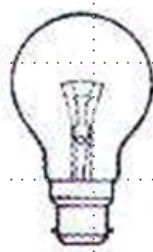
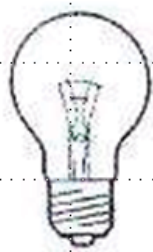
Renio.....3453 K

Tungsteno.....3653 K

Carbonio.....3825 K

Il carbonio sarebbe migliore per la sua temperatura di fusione più elevata ma evapora più rapidamente del tungsteno.

## Attacchi delle lampade ad incandescenza



Gli attacchi più comuni per le lampade ad incandescenza sono quello a vite, denotato con la lettera E (Edison), e quello a baionetta, denotato con la lettera B.

Il numero che segue la lettera indica il diametro dell'attacco in mm.

Attacco a vite  
E27

Attacco a baionetta  
B22

### TIPI DI AMPOLLA

**Ampolla trasparente:** è il tipo più diffuso ed economico. L'efficienza luminosa varia tra 9 lm/W per le lampade da 25 W a 16 lm/W per quelle da 200 W. Il valore tipico per le lampade da 100 W è di 13,8 lm/W. Senza schermi, risultano abbaglianti.

**Ampolla diffondente:** hanno un'efficienza luminosa minore di quella delle lampade ad ampolla trasparente e sono meno abbaglianti.

**Ampolla a riflettore incorporato:** una parte interna dell'ampolla è a specchio. La calotta è trasparente o diffondente. Hanno un angolo di apertura da 12° a 80°.

# Campione di lampade ad incandescenza commerciali



## Lampade ad alogeni

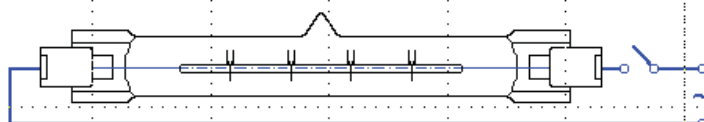
Il principio di funzionamento è identico a quello delle lampade ad incandescenza: un filamento di tungsteno, attraversato dalla corrente elettrica, emette luce ad alta temperatura.

La differenza consiste nel fatto che, oltre l'argon, la lampada contiene dei gas alogeni (iodio, bromo). Questi si combinano con il tungsteno evaporato del filamento e raggiungono le zone più fredde prossime alla superficie interna dell'ampolla.

I moti convettivi riconducono questi composti vicino al filamento ad alta temperatura. Qui si dissociano ed il tungsteno si deposita di nuovo sul filamento.

Il processo è casuale, comunque aumenta la vita delle lampade e rallenta il processo di opacizzazione dell'ampolla causato dai depositi di tungsteno sublimato.

La riduzione delle dimensioni dell'ampolla e l'aumento del suo spessore consentono un aumento della pressione interna che contrasta la sublimazione. Ciò permette anche di innalzare la temperatura del filamento e, quindi, di aumentare l'efficienza luminosa.

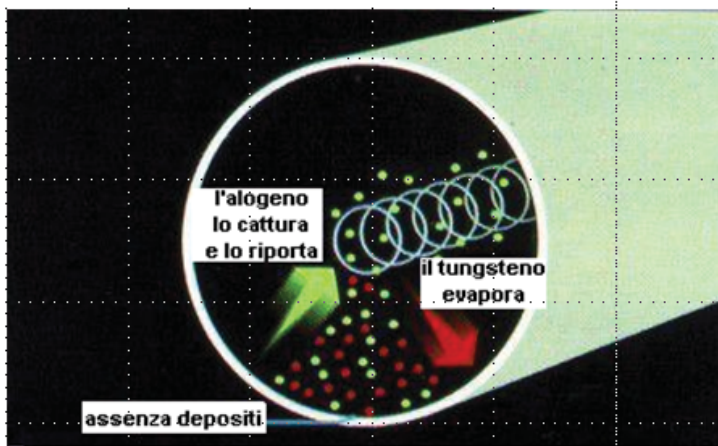
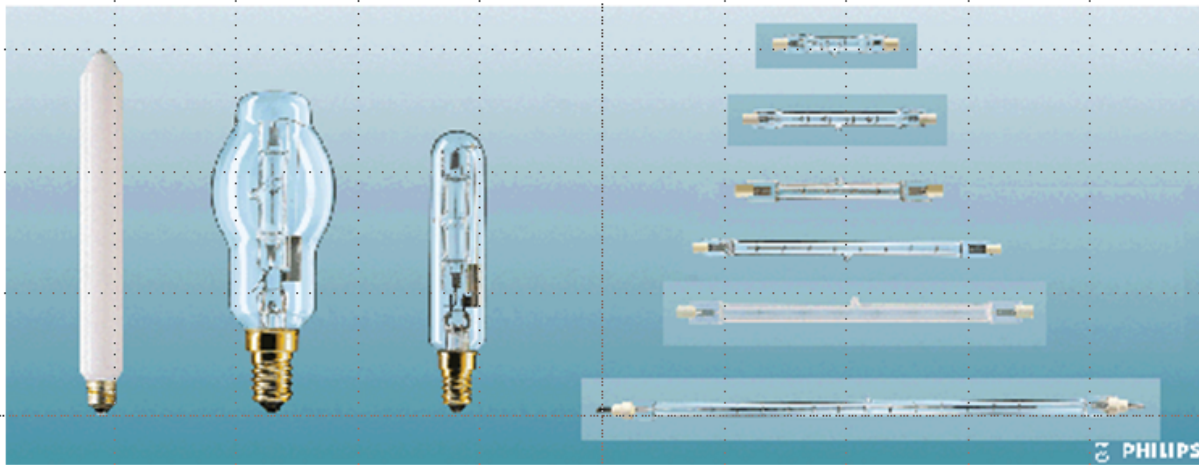


LAMPADA AD ALOGENI ALIMENTATA DALLA TENSIONE DI RETE

La figura a lato riporta un tipo alimentato direttamente dalla rete a 220-230 V. L'ampolla è di quarzo additivato di cerio.

Questo rende la superficie interna riflettente per le radiazioni infrarosse, il che comporta un aumento di efficienza.

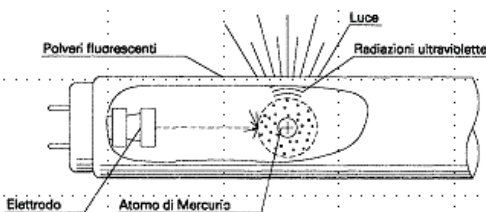
# Campione di lampade ad alogeni commerciali



CICLO DELLA RIGENERAZIONE TUNGSTENO-ALOGENO

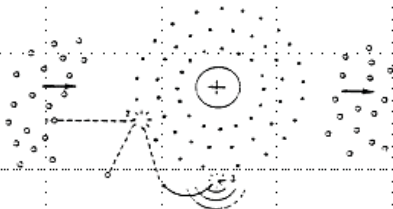
I gas alogeni rigenerano il tungsteno del filamento casualmente ed evitano l'opacizzazione dell'ampolla.

# Lampade fluorescenti – generazione della luce



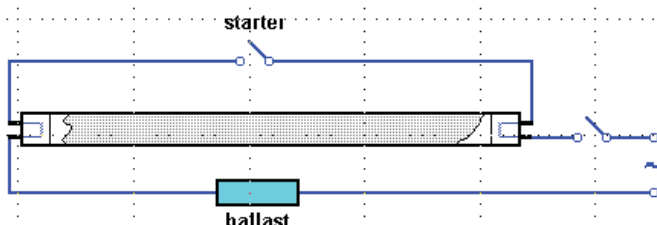
Una scarica elettrica tra due elettrodi agli estremi di un tubo di vetro, contenente vapore di mercurio e gas di riempimento (neon, argon, cripton, xenon), causa l'emissione di fotoni dagli atomi di mercurio.

Il vapore di mercurio (qualche mg) emette nella regione ultravioletta (lunghezze d'onda < 380 nm).

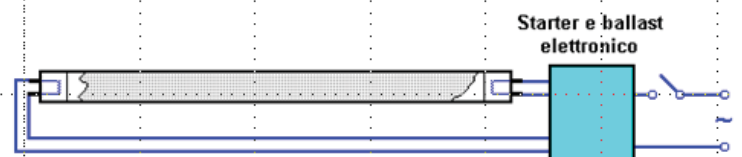


Le radiazioni UV eccitano le polveri fluorescenti che rivestono la superficie interna del tubo e queste emettono radiazioni visibili.

Le lampade fluorescenti necessitano di apparecchiature ausiliarie per l'avvio (starter) e la regolazione della corrente (ballast). Sono tipici per una particolare lampada.



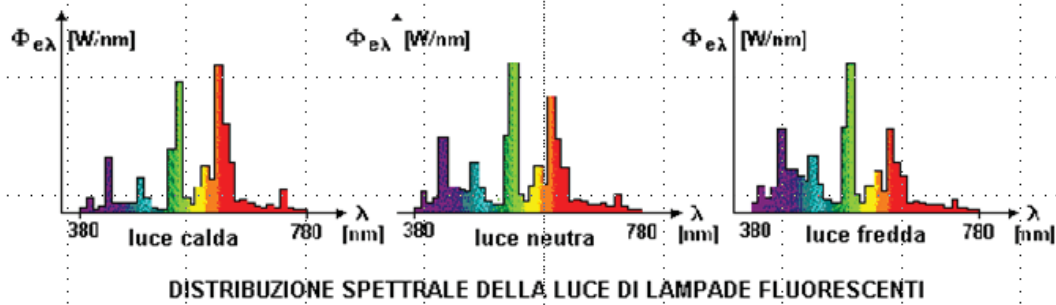
**AUSILIARI TRADIZIONALI:** Lo starter permette il riscaldamento degli elettrodi e l'inizio della scarica. Il ballast è un'impedenza che limita la corrente che altrimenti crescerebbe fino a bruciare la lampada.



**AUSILIARE ELETTRONICO:** Converte la tensione di rete in DC per alimentare e controllare l'avviamento. Genera una tensione a 20 kHz e controlla la relativa corrente di scarica. **VANTAGGI:** maggiore efficienza del sistema, assenza di ronzi del reattore, assenza di sfarfallamento della luce e di radiazioni EM.

## Qualità della luce delle lampade fluorescenti

La composizione delle polveri fluorescenti determina la qualità della luce ovvero l'indice generale di resa del colore e la temperatura correlata di colore.



### Tonalità di luce per le lampade fluorescenti

Temperatura correlata di colore < 3300 K: tonalità calda W;

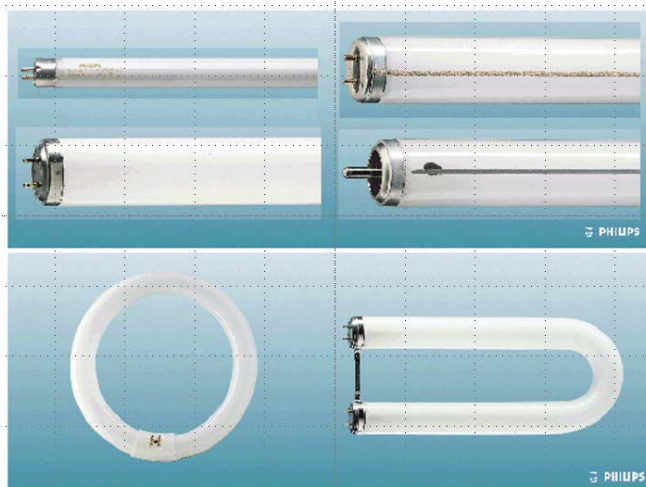
3300 K < Temperatura correlata di colore < 5300 K: tonalità bianca I;

Temperatura correlata di colore > 5300 K: tonalità diurna C.

Esistono tipi a tre fosfori per i quali  $R_a < 85$  e tipi fino a 5 fosfori per i quali  $R_a > 90$ .

All'aumentare della resa cromatica, ovvero del numero di fosfori del rivestimento interno del tubo, l'efficienza luminosa si riduce anche del 30%.

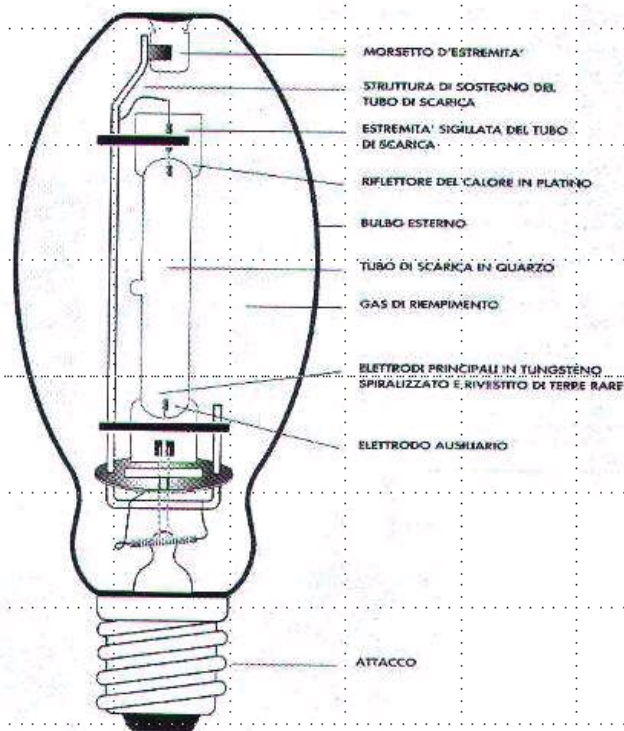
Campione di lampade fluorescenti lineari commerciali



Campione di lampade fluorescenti compatte commerciali



# Lampade a vapore di mercurio



La lampada è costituita da un tubo di quarzo contenente argon e vapore di mercurio a pressione relativamente elevata. Il tubo è sospeso all'interno di un'ampolla di vetro, contenente argon e rivestita all'interno di polveri fluorescenti.

Nel tubo interno viene innescata una scarica per cui gli atomi di mercurio emettono radiazioni sia ultraviolette sia visibili a causa della pressione nel tubo più alta che nelle lampade fluorescenti.

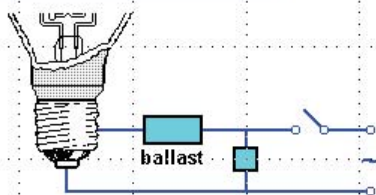
Le polveri sono trasparenti per la radiazione visibile proveniente dal tubo ed emettono luce visibile a causa dell'eccitazione di quelle ultraviolette associate.

La forma ellissoidale dell'ampolla determina una distribuzione uniforme della temperatura, il che riduce gli "stress termici".

Il carico termico elevato impedisce l'uso di miscele di polveri che permettono di realizzare valori elevati della resa del colore.

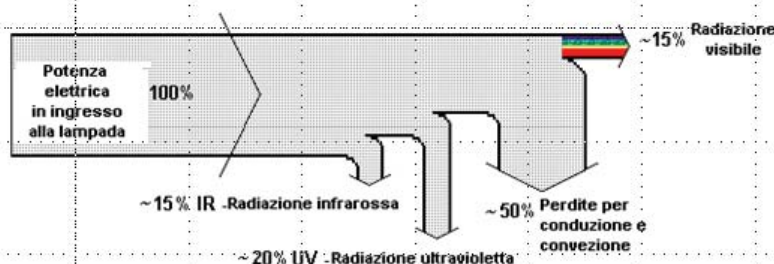


## Lampade a vapori di Hg: a bulbo e con riflettore incorporato

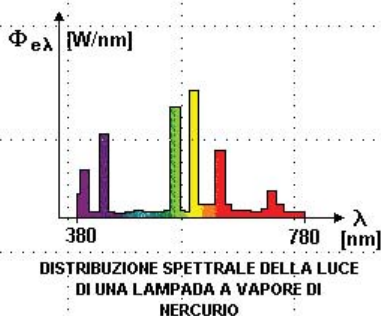


Per il loro funzionamento necessitano di un ausiliare: il ballast (ad esempio induttanza + condensatore di rifasamento). Non è necessario uno starter in quanto per lo scopo è presente un elettrodo ausiliario all'interno del tubo a scarica.

Il bilancio di potenza mostra che solo il 15% della potenza elettrica fornita alla lampada ricade nel campo visibile. Si realizzano efficienze da 30 a 55 lm/W.



BILANCIO DI POTENZA PER UNA LAMPADA A VAPORE DI MERCURIO

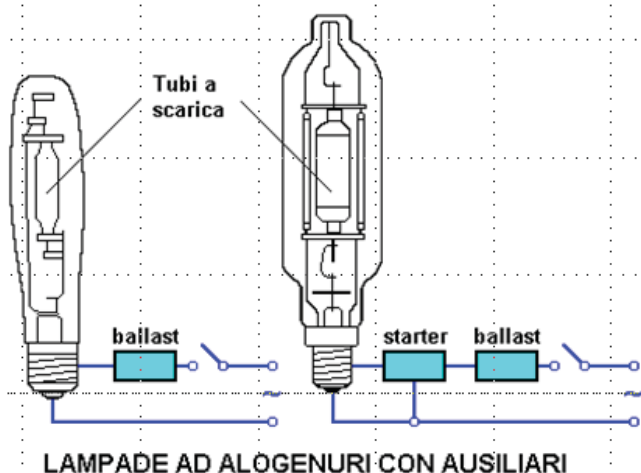


Il flusso emesso è concentrato nel verde e nel giallo. La resa del colore è relativamente bassa ( $R_a = 50 - 60$ ).

La temperatura di colore per lampade a vapore di mercurio comuni è 4000 K, quella per le calde è 3000 K.



# Lampade ad alogenuri



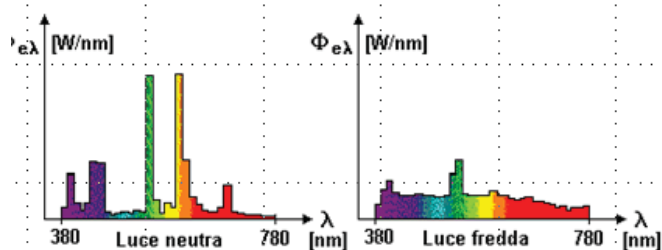
Le lampade ad alogenuri sono molto simili alle lampade a vapori di mercurio, sia nella struttura costruttiva sia nel funzionamento.

Le differenze maggiori sono le sostanze contenute nel tubo a scarica. Oltre il mercurio, sono introdotti degli ioduri di sodio, di tallio e di indio e, nelle lampade con resa cromatica particolare, di tulio, di disprosio, di olmio e di cesio.

Insieme di queste sostanze permettono di ottenere radiazioni visibili con densità spettrali relativamente costanti senza concentrazioni spettrali particolari.

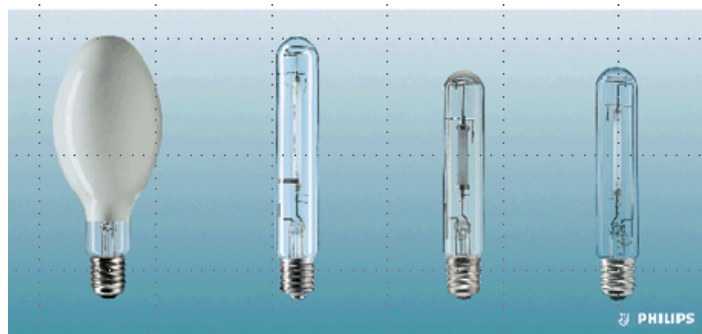
Pertanto, non necessitano del rivestimento di polveri all'interno dell'ampolla, salvo il tipo ellissoidale per ridurre la luminanza della sorgente.

Oltre allo stabilizzatore della scarica (ballast), richiedono un accenditore (starter) che applica agli elettrodi del tubo impulsi di tensione di 4 - 5 kV, salvo qualche caso in cui esistono elettrodi interni per la ionizzazione iniziale.



DISTRIBUZIONE SPETTRALE DELLA LUCE DI LAMPADRE AD ALOGENURI

## Lampade a vapori di sodio ad alta pressione tipiche

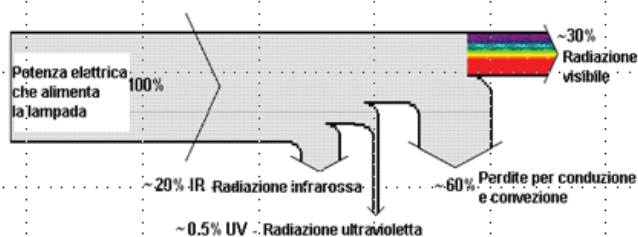


A seconda del campo di pressione, le lampade a vapori di sodio possono essere divise in tre classi.

**Lampade al sodio standard** con pressione del sodio di **10 kPa**. La loro efficienza massima va da 65 lm/W a 125 lm/W a seconda della potenza. La temperatura di colore è intorno a 2000 K, mentre la resa del colore è scarsa:  $R_a = 25$ . Gli attacchi sono del tipo Edison sia per le tubolari a vetro chiaro, sia per quelle a bulbo polverato. Quelle tubolari a doppio attacco sono usate per proiettori in quanto consentono di collocare la sorgente con maggiore precisione.

**Lampade al sodio a resa del colore migliorata** con pressioni del sodio di **40 kPa**. La loro efficienza è 2/3 quella dei tipi standard analoghi. La temperatura di colore è 2150 K; la resa migliorata corrisponde a  $R_a = 80$ .

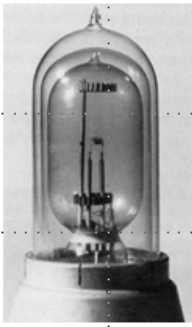
**Lampade al sodio "a luce bianca"** con pressione del sodio di **95 kPa**. L'efficienza è 30-40 lm/W. La temperatura di colore è 2500 K, mentre  $R_a = 80$ .



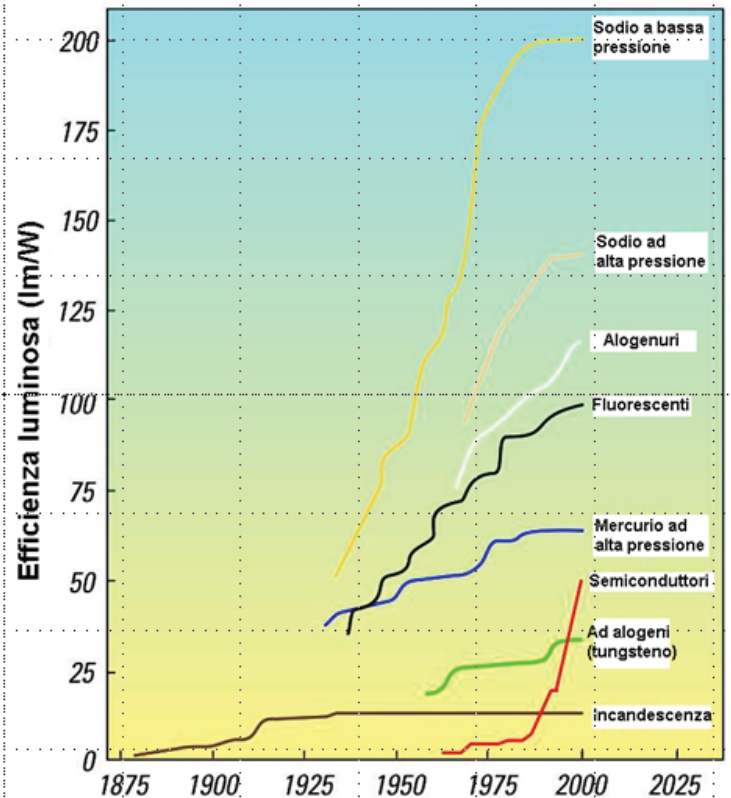
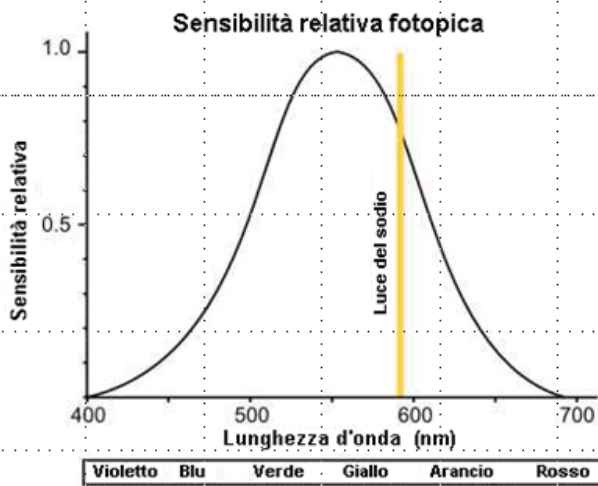
BILANCIO DI POTENZA PER UNA LAMPADA A VAPORI DI SODIO AD ALTA PRESSIONE

Una lampada a vapori di sodio ad alta pressione converte circa il 30% della potenza elettrica in radiazione visibile.

# Tipicità delle lampade al sodio a bassa pressione



E' stata la prima lampada diversa da quelle ad incandescenza ad avere una diffusione commerciale (Philora-1932).



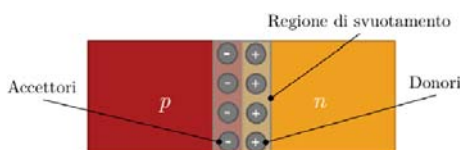
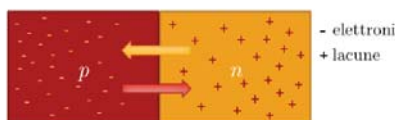
## LED: principi di funzionamento



E' caratterizzata dal presentare 2 regioni (porzioni di semiconduttore drogato):

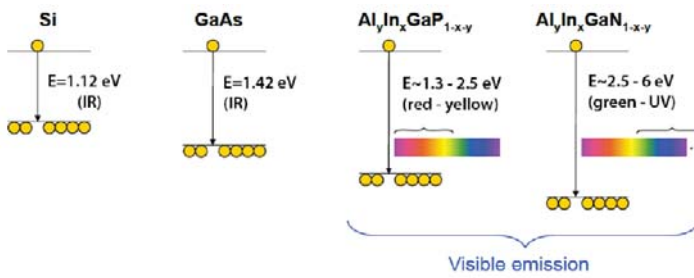
- Tipo p (lacune libere con ioni carichi negativamente)
- Tipo n (elettroni liberi con ioni carichi positivamente)

Cosa succede se unisco le due parti?

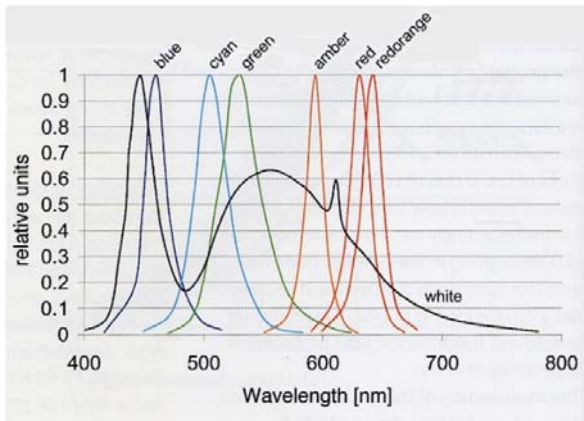


1. A causa del gradiente di concentrazione (diffusione) gli elettroni diffondono dalla regione  $n \rightarrow p$  e le lacune dalla regione  $p \rightarrow n$ , ricombinandosi
2. All'equilibrio si forma una regione di svuotamento: parte  $n$  è carica (+) / parte  $p$  è carica (-).
3. La presenza di cariche non neutralizzate crea una barriera di potenziale (tensione di soglia)
4. Oltre questa regione gli elettroni e le lacune restano confinati nelle rispettive zone "p" ed "n"

# Relazione tra colore della luce emessa e proprietà del materiale



La lunghezza d'onda della radiazione emessa dipende dal materiale utilizzato ovvero dal gap energetico tra banda di conduzione e valenza

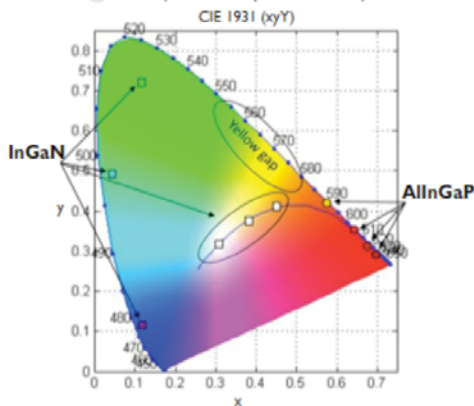


Idealmente il LED emette radiazione monocromatica di lunghezza d'onda costante

Siamo interessati a composti chimici che generano "radiazione visibile" (380 nm – 780 nm)

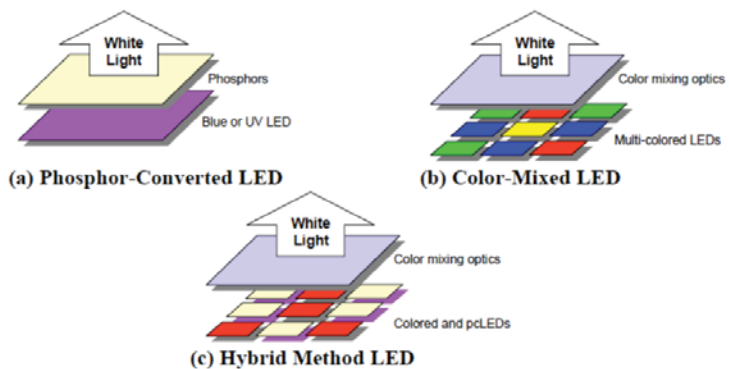
# Combinazione di elementi singoli per ottenere luce bianca

- |   |                   |
|---|-------------------|
| <b>InGaN:</b>                           | <b>TSAlInGaP:</b> |
| ● Royal Blu                             | ● Rosso           |
| ● Blu                                   | ● Rosso - Arancio |
| ● Ciano                                 | ● Ambra           |
| ● Verde                                 |                   |
| ○ Bianco (LED blu ricoperto da fosfori) |                   |



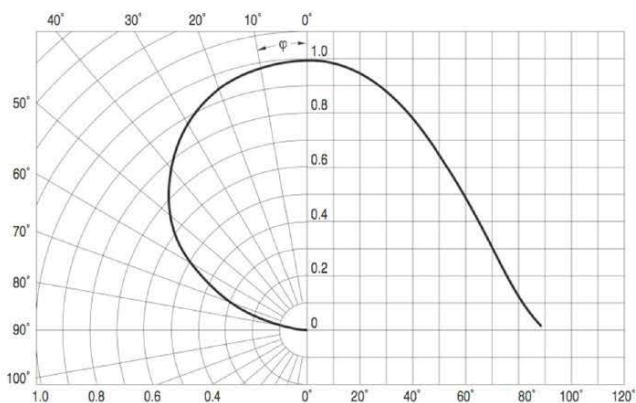
Lo sviluppo di LED a luce bianca è strettamente correlato a:

- disponibilità di emissione monocromatica
- progresso nei LED ad emissione UV e Blu



Possibilità di produrre luce bianca:

- Emissione Blu/UV e conversione con fosfori (maggiormente utilizzato)
- Sintesi additiva R,G,B
- Ibrido (a+b)



Distribuzione spaziale intensità (quasi Lambertiana)

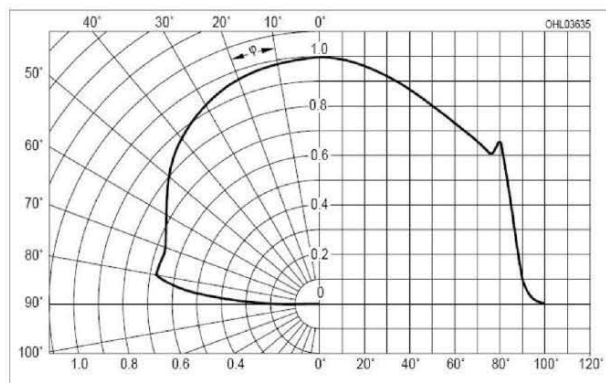
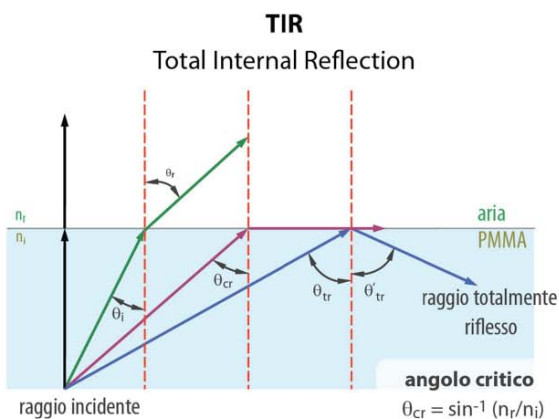


Figure 3: Radiation characteristics of the Golden DRAGON<sup>®</sup> Plus  
February, 2008 page 3 of 8

Opto Semiconductors

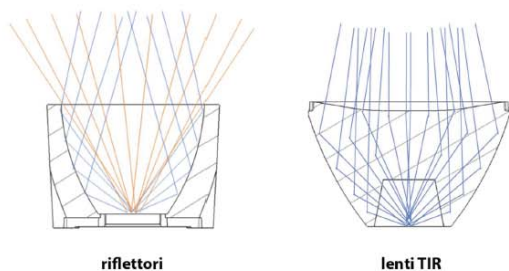
OSRAM

## Aggiunta di sistemi ottici per progettare il fascio luminoso

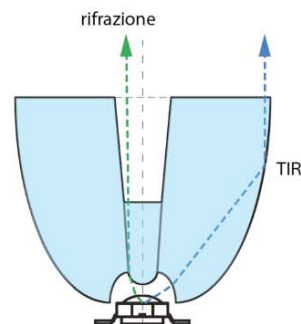


Le caratteristiche del LED richiedono  $\alpha_{111}$  riprogettazione delle ottiche secondarie:

- LED come sorgente puntiforme
- Posizionamento della sorgente ( $1\text{mm}^2$ ) rispetto al sistema ottico



Rispetto alle lenti tradizionali gli angoli di emissione sono molto stretti



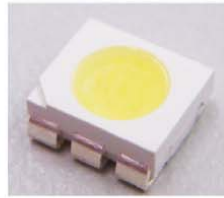
Negli apparecchi vengono usate lenti a rifrazione (TIR) (diametro fino a 35 mm)  
Non è possibile per sorgenti tradizionali

Marca	CREE	BRIDGELUX	SHARP	SEOUL SEMIC.
Modello	CLP6B-MKW	BXRA-30E0360-A-00	GW5DGE30MR5	SZWW7A0A
Potenza [W]	0.57*	4.5	50	4
Dimensione [mm]	6x5.7x2.5	17.8x13.6x2.7	24x20x1.8	9x7x3.29
Colore (nominale)	Warm White	Warm White	Warm White	Warm White
CCT [K]	3200	3000	3000	3000
Flusso Luminoso [lm] @ 25°C	30	380	3670	355
Angolo di vista [gradi]	120	120	-	130
Temp. Giunzione [°C]	110	150	100	135
CRI (min)	80	80	93	80
Vita Utile L70 [h]	-	50000	> 50000	-
Efficienza [lm/W]	53*	83	77.3	89*

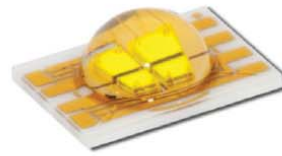
\* Valore calcolato



Bridgelux



Cree



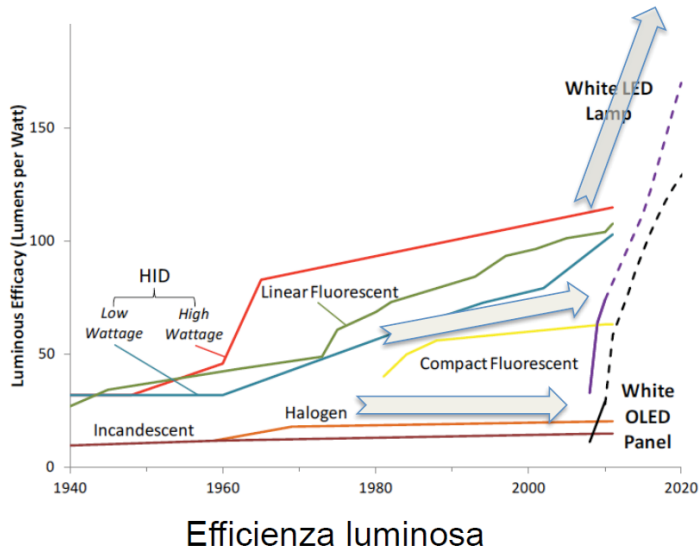
Seoul Semiconductor



Sharp



# Confronto con le lampade tradizionali



Product Type	Luminous Efficacy	Luminous Output	Wattage	CCT	CRI	Lifetime
LED White Package (Cool)	144 lm/W	144 lm	1.0 W	2600-3700K	70	50k hours
LED White Package (Warm)	111 lm/W	111 lm	1.0 W	5000-8300K	80	50k hours
LED A19 Lamp (Warm White) <sup>1</sup>	93 lm/W	910 lm	9.3 W	2727K	93	25k hours
LED PAR38 Lamp (Warm White) <sup>2</sup>	74 lm/W	1,000 lm	13.5 W	3000K	92	25k hours
LED 2'x4' Troffer (Warm White) <sup>3</sup>	110 lm/W	4000 lm	36 W	3500K	90	75k hours
OLED Panel <sup>4</sup>	60 lm/W	76 lm	1.3 W	3500K	80	15k hours
HID (High Watt) Lamp and Ballast	123 lm/W 115 lm/W	38700 lm	315W 337W	3100K	90	30k hours
Linear Fluorescent Lamp and Ballast	118 lm/W 108 lm/W	3050 lm 6100 lm	26W 56W	4100K	85	25k hours
HID (Low Watt) Lamp and Ballast	110 lm/W 103 lm/W	7700 lm	70W 75W	3000K	89	16k hours
CFL	63 lm/W	950 lm	15W	2700K	82	12k hours
Halogen	22 lm/W	1100 lm	50 W	3000K	100	5k hours
Incandescent	15 lm/W	890 lm	60W	2760K	100	1k hours

Parametri caratteristici

## Applicazioni 1)

Illuminazione esterna

Stradale

Architettonica

.....



Autostrada A44 da Bugerveen a Kaagbrug – Paesi Bassi  
Prodotto: Philips - SpeedStar



Basilica di Nostra Signora di Bonaria - Cagliari  
Prodotto: Philips – LED Line 2

## Applicazioni 2)

illuminazione  
interna

Da incasso

Sostituzione  
lampade  
tradizionali

.....



IVECO sede di Bolzano

Prodotto: Philips – Power balance e latina LED



Potenza nominale 3 W - 136 lm  
CCT 3000 K – CRI 70

Prodotto: Osram – Parathom Classic A

## Applicazioni 3)

Portatile

Torçe

Luci  
segnalazione bici

Torçe frontali

.....



Torça portatile

Prodotto: Osram – Sirius Small



Faretto per bici 2000 lm autonomia fino a 2,5 ore  
Prodotto: Magic Shine – BJ880



Lampada frontale 120000 lux - CCT 5000 K  
Prodotto: KLS Martin – MedLED Focus

## Applicazioni 4)

### Usi speciali

- Freezer case
- Automotive
- Coltivazione indoor
- .....



Supermercati Sainsbury's – Regno Unito  
**Prodotto: Philips – LED Freezer Module**

Lampada per illuminazione veicolare – 1 W,  
 50 lm, CCT 6000 K  
**Prodotto: Osram – 2850CW-01B**



Lampada per coltivazione indoor pensata  
 per l'intero ciclo di coltivazione –  
 composizione: 60x3W leds

36	Rosso	660 nm
24	Rosso	630 nm
18	Blu	460 nm
12	Arancio	610 nm

**Prodotto: Phytolite – PhytoLED 200**



## Applicazioni 5)

### Medicina

- Fototerapia
- Estetica
- Di servizio
- .....



Trattamento ittero neonatale  
**Prodotto: Medela AG, Medical Technology**

Trattamento per stimolare i meccanismi cellulari  
 preposti a ringiovanire e riparare la pelle. Opera  
 con luce con  $\lambda=633$  nm  
**Prodotto: Photo therapeutics – Omnilux revive**



Lampada scialitica 160000 lux  
**Prodotto: Steris – Harmony vLED**