



Università degli Studi di Padova

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria dell'Informazione

tesi di laurea

Proprietà illuminotecniche delle lampade a LED

Relatore: Paolo Tenti

Laureando: Cristopher Zarpellon

27 Settembre 2010

Indice

1 Introduzione	5
2 La visione	7
2.1 L'occhio.....	7
2.2 Percezione del colore.....	8
3 Grandezze fotometriche	11
3.1 Flusso luminoso.....	11
3.2 L'intensità luminosa.....	11
3.3 L'illuminamento.....	13
3.4 La luminanza.....	13
3.5 La radianza.....	14
4 Colorimetria	15
4.1 Il sistema Munsell.....	15
4.2 Il sistema CIE.....	16
4.3 La temperatura di colore e l'indice di resa cromatica.....	19
5 Sorgenti luminose artificiali	23
5.1 Parametri caratteristici di una lampada.....	23
5.2 La classificazione delle lampade.....	24
5.3 Le lampade a incandescenza.....	24
5.4 Le lampade a scarica di gas.....	28
6 LED	39
6.1 Proprietà illuminotecniche.....	39
6.2 Caratteristiche e vantaggi.....	40
6.3 Applicazioni attuali.....	42
7 Previsioni future	45
8 Principali dispositivi LED	47

1 Introduzione

Uno dei temi oggi attuali, è rappresentato dal risparmio energetico. In tal senso sono molteplici gli sviluppi e investimenti che la tecnologia fa in questa direzione. Uno di questi è rappresentato dai LED, sorgente in continuo sviluppo e dalle promettenti aspettative per il futuro. E' pertanto utile esporre le motivazioni che fanno ritenere questa nuova sorgente più vantaggiosa rispetto alle tradizionali lampade, fornendo allo stesso tempo tutte le nozioni di base dell'illuminotecnica necessarie per una trattazione completa dell'argomento.

Verranno elencate tutte le principali sorgenti luminose presenti attualmente nel mercato, spiegandone pregi e difetti. Saranno introdotti i LED con le relative caratteristiche, in modo da poter fare confronti con i vari tipi di lampade. Analizzeremo i limiti attuali dei LED, le sfide che la tecnologia si pone di risolvere nel prossimo futuro e l'aspettativa economica e commerciale dei LED.

2 La visione

2.1 L'occhio

L'occhio è l'organo periferico della visione, che ha la duplice funzione di ricevitore del messaggio luminoso e di processore dello stesso per la sua trasmissione al cervello (che ne è l'interprete finale). Nella figura 2.1.1 è schematizzata la sezione dell'occhio umano.

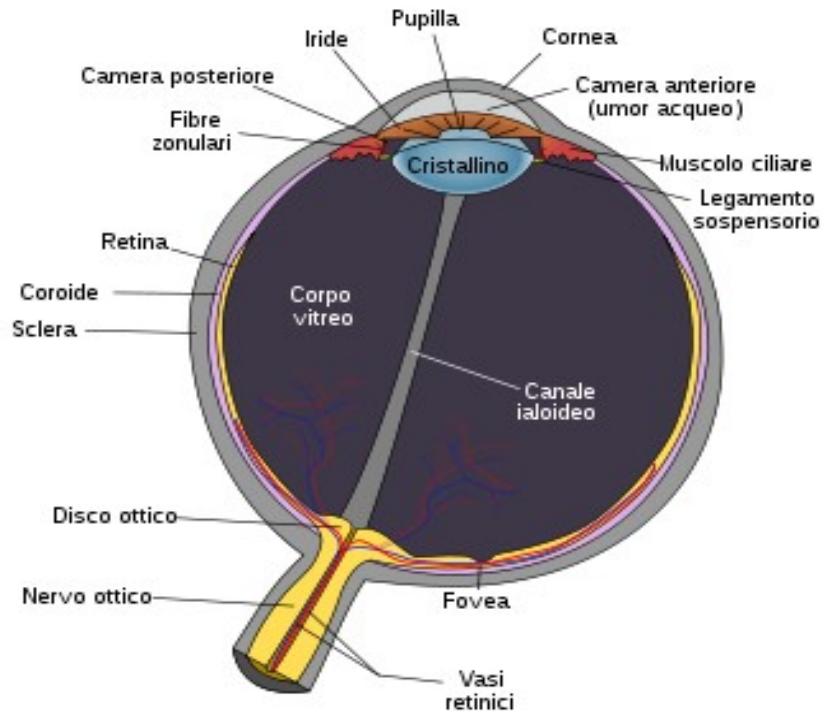


Figura 2.1.1

La tunica fibrosa esterna prende il nome di cornea nella parte anteriore e di sclera nella restante parte. Esiste poi una membrana più interna (uvea) che comprende la coroide che ha la funzione di alimentare gli strati vascolari della retina, il corpo ciliare e l'iride. Il corpo ciliare è fondamentale per la regolazione della curvatura della faccia anteriore del cristallino, variando così la sua distanza focale (accomodamento).

L'iride regola la quantità di luce che entra e aiuta a incrementare la messa a fuoco del cristallino, vera e propria lente. L'iride e il cristallino sono quindi i più importanti componenti ottici per il funzionamento dell'occhio.

La parte interna dell'occhio è divisa in due parti: parte ottica (retina) e punto cieco, ed è innervata, attraverso il nervo ottico, direttamente da quella parte di cervello chiamato encefalo. L'area dove il nervo ottico lascia la retina non contiene celle visive ed è quindi "cieca". La retina presenta terminali di fibre nervose (fotoricettori) distinti in coni e bastoncelli che sono delicati sensori luminosi. Vi sono circa 6-7 milioni di coni e 75-150 milioni di bastoncelli distribuiti nell'intera superficie della retina, ma la maggior parte si concentra in una regione chiamata "macula lutea" di circa 1.5 mm di diametro, la cui zona centrale di 0.4 mm di diametro circa è chiamata fovea. In questa è presente la massima concentrazione di coni, responsabili della visione diurna o, come si dice, della visione fotopica.

Esistono tre tipi di coni sensibili a tre colori dello spettro e precisamente al rosso, verde e al blu. Dalla eccitazione in diverse proporzioni di questi ricettori deriva la percezione

di tutti i colori. A mano a mano che ci si allontana dalla fovea, aumenta la densità dei bastoncelli, i quali servono soprattutto per la visione a bassa luminosità (visione notturna, scotopica) e non distinguono né la forma, né il colore degli oggetti. Il compito dei coni e dei bastoncelli è quello di trasformare in impulsi elettrici le informazioni ricevute dalle reazioni fotochimiche che vengono attivate dalla radiazione luminosa. Successivamente, al livello delle cellule gangliari il segnale viene trasformato da analogico a digitale, di tipo on-off, e avviene il trasporto dell'informazione luminosa ai centri superiori (Figura 2.1.2). Le fibre nervose provenienti da diversi punti della retina si dirigono verso punti diversi del nucleo genicolato (LGN) e della corteccia presenti nel cervello. Nel corpo genicolato l'immagine subisce una prima elaborazione che cerca di mettere in evidenza l'oggetto rispetto allo sfondo, i suoi contorni, le differenze di contrasto.

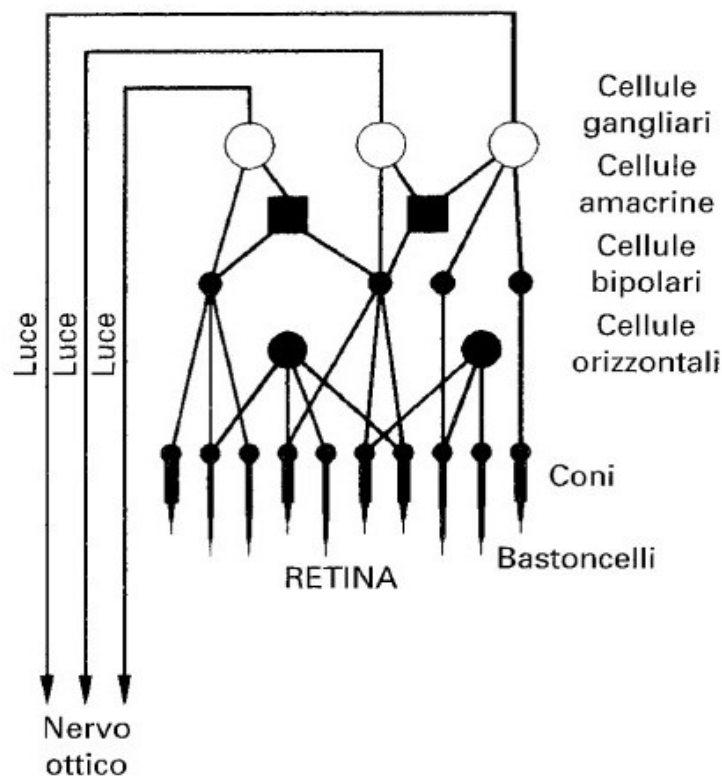


Figura 2.1.2

2.2 Percezione del colore

La visione della radiazione luminosa presenta aspetti differenti e molto complessi, funzioni della lunghezza d'onda della radiazione luminosa incidente. Come ben si sa, non tutta la radiazione emessa da un corpo è visibile, ma solo una piccola parte, in particolar modo la parte compresa tra 380nm e 780nm. Le radiazioni con lunghezza d'onda superiore a 780nm cadono nel campo dell'infrarosso, mentre per lunghezze inferiori ai 380nm siamo nel campo dell'ultravioletto.

Nel campo intermedio è possibile individuare tutta la gamma di lunghezze d'onda alle quali corrispondono le percezioni dei colori elementari.

Il colore non è una caratteristica intrinseca degli oggetti ma il risultato dell'interazione tra luce, oggetto che la riflette e apparato percettivo di chi guarda.

La percezione del colore avviene a livello retinico grazie alla presenza dei tre diversi

tipi di coni sensibili alle tre lunghezze d'onda, dell'ordine di 450,530 e 570 nanometri, che il nostro sistema percettivo codifica come blu, verde, rosso (Figura 2.2.1).

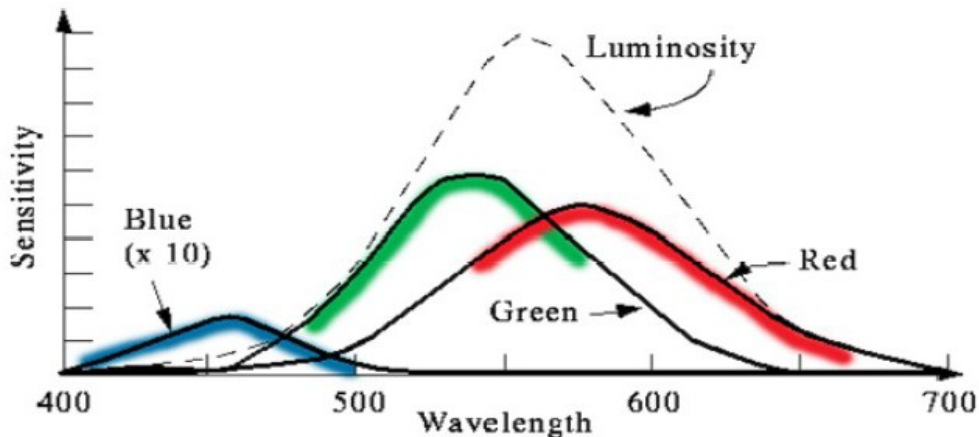


Figura 2.2.1

Dalla miscela di questi colori elementari, con differente luminanza per ciascun colore elementare, si riescono a percepire migliaia di sfumature diverse, perché come i colori intermedi si ottengono dalla mescolanza additiva dei tre colori base, così l'eccitazione contemporanea dei fotorecettori produce la visione di innumerevoli tonalità.

La composizione spettrale del raggio diffuso dal corpo è quindi differente dal raggio incidente, contiene il messaggio di colore dell'oggetto. Un corpo bianco riflette tutte le onde elettromagnetiche, un corpo nero le assorbe completamente (difatti una superficie nera colpita dalla luce si riscalda, i raggi luminosi vengono assorbiti e si trasformano in calore).

Il colore è una sensazione ottica che dipende dall'insieme delle lunghezze d'onda che un corpo non assorbe ma riflette.

Una superficie appare di un determinato colore, ad esempio rosso, perché riflette le lunghezze d'onda corrispondenti al rosso e assorbe le altre.

In particolar modo un dispositivo può sintetizzare il colore in essenzialmente 3 modi diversi, che si distinguono per il tipo dei colori primari e per la maniera in cui questi interagiscono tra loro ed eventualmente l'illuminante sotto il quale si effettua l'osservazione.

1. **SINTESI ADDITTIVA:** in questo caso il colore risultante è prodotto dalla combinazione delle 3 diverse luci primarie, fatte in modo che queste ultime non siano percepibili separatamente. Si usa il termine “additiva” in quanto lo stimolo ottenuto è la somma delle distribuzioni spettrali dei primari, che corrispondono alle frequenze del rosso, verde e blu.

2. **SINTESI SOTTRATTIVA:** in questo caso il colore risultante si ottiene tramite l'assorbimento di alcune componenti da una luce bianca illuminante, il quale può avvenire durante la trasmissione o la riflessione della stessa attraverso un mezzo. Generalmente si basa sui 3 colori primari: ciano, magenta e giallo.

3. **SINTESI IBRIDA:** si tratta di una combinazione tra sintesi additiva e sottrattiva, che si fonda sull'utilizzo dei primari tipici di entrambi, ovvero verde, rosso, blu, ciano, magenta e giallo.

3 Grandezze fotometriche

In campo illuminotecnico si utilizzano grandezze e metodi di misura propri della fotometria, che è la disciplina che quantifica e qualifica la luce in termini di stimoli percepiti dall'occhio umano (e ponderati da un sistema di valutazione gestito dal cervello).

Le grandezze fotometriche misurano quindi l'energia radiata nello spettro visibile, “pesata” secondo la sensibilità spettrale dell'occhio.

3.1 Flusso luminoso

Il flusso luminoso rappresenta la quantità di energia luminosa emessa da una sorgente (primaria o secondaria) nell'unità di tempo.

Dimensionalmente, il flusso luminoso può essere considerato una potenza: per la misurazione di tale quantità si potrebbe, quindi, utilizzare il watt.

In realtà la sensibilità dell'occhio umano alle radiazioni assume un ruolo fondamentale: non è la medesima per tutte le lunghezze d'onda.

Nel calcolo del flusso luminoso generato da una sorgente si tiene dunque in considerazione tale sensibilità dell'organo visivo. Il flusso luminoso Φ può quindi essere definito come:

$$\Phi = K \int_{380}^{780} V(\lambda) P(\lambda) d\lambda$$

dove K è la massima efficienza spettrale ed è pari a 683 lumen/watt, mentre $P(\lambda)$ è la potenza spettrale in watt in funzione della lunghezza d'onda.

K è la costante in grado di convertire i watt emessi nello spettro visibile in lumen, mentre $V(\lambda)$ ha la funzione di un fattore moltiplicativo adimensionale che porta in conto la diversa sensibilità spettrale relativa dell'occhio alle diverse frequenze.

In base a quanto detto si può definire “efficienza luminosa” di una sorgente primaria [lumen/watt] il rapporto tra flusso luminoso emesso e la potenza radiante emessa nello spettro visibile (ovvero i watt “luminosi” emessi).

3.2 L'intensità luminosa

E' l'unità base della fotometria nel Sistema Internazionale.

L'intensità luminosa esprime il flusso luminoso emesso da una sorgente infinitesima, supposta puntiforme, nell'angolo solido elementare attorno a una data direzione r .

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

L'unità di misura è la candela (cd), definita come l'intensità luminosa emessa da una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz ($\lambda=555\text{nm}$) e con intensità in quella direzione di $1/683$ W/sr. La ragione della scelta di quella particolare frequenza

risiede nel fatto che a essa corrisponde il massimo di sensazione di visibilità $K(\lambda)=K_{MAX}$.

In alcuni casi risulta utile l'introduzione della grandezza intensità media sferica (I_0), definita come "l'intensità luminosa costante in ogni direzione di una sorgente che emette in tutto lo spazio un flusso luminoso equivalente a quello della sorgente data". Poiché a tutto lo spazio corrisponde l'angolo solido 4π , risulta

$$I_0 = \frac{\Phi}{4\pi}$$

La conoscenza dell'intensità luminosa emessa da una sorgente nelle diverse direzioni consente di costruire il solido fotometrico, che è quella figura geometrica delimitata da una superficie chiusa, formata dal luogo dei punti estremi di segmenti aventi lunghezza proporzionale all'intensità luminosa in quella direzione e centro nella sorgente. Se di una sorgente è noto il solido fotometrico, da esso è possibile risalire al valore dell'intensità luminosa nelle varie direzioni, il che è utile hai fini progettuali. Spesso i solidi fotometrici presentano delle simmetrie intorno a uno o più assi, in tal caso il solido fotometrico è completamente individuabile attraverso uno o più diagrammi polari piani, ottenuti intersecando la superficie fotometrica con uno o più piani passanti per l'asse di simmetria. Si ottengono così le curve fotometriche della sorgente in esame (figura 3.2.1).

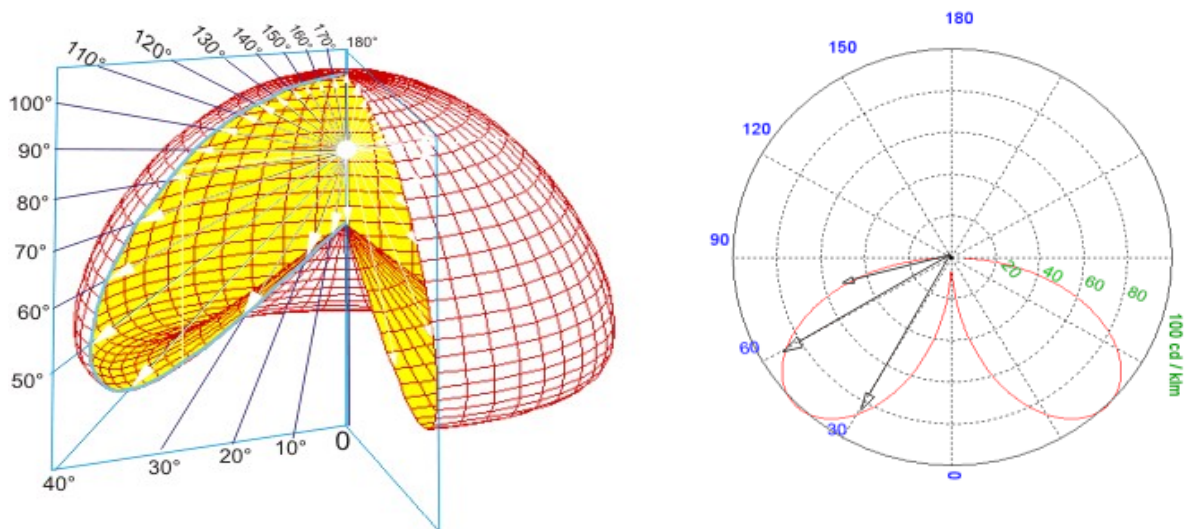


Figura 3.2.1

3.3 L'illuminamento

L'illuminamento in un dato punto di una superficie, è definito come il rapporto tra il flusso luminoso incidente sulla superficie elementare nell'intorno del punto considerato e la superficie elementare stessa.

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

L'unità di misura è il lux (lx), ossia l'illuminamento di una superficie di 1 m² ricevente un flusso luminoso di 1 lm uniformemente ripartito. Per avere un'idea dei valori di illuminamento che si presentano in natura, si passa da un valore di 0.01lux in una notte serena senza luna a 20000 lux nel caso di giornate con cielo coperto, fino a 100000 lux in una giornata estiva di sole.

3.4 La luminanza

La luminanza è definita come “il rapporto tra l'intensità emessa da una sorgente luminosa in una data direzione e l'area apparente di quella superficie”. La sorgente può essere primaria o secondaria: in quest'ultimo caso, essa trasmette o riflette a luce proveniente da una sorgente primaria. E' rappresentata dal simbolo L, l'unità è la candela su metro quadrato. L'area apparente della superficie viene valutata proiettando la superficie su un piano perpendicolare alla direzione considerata. L'espressione della luminanza di un'area dA nella generica direzione inclinata dell'angolo α rispetto la verticale, risulta:

$$L = \frac{dI}{dA_{\text{APPARENTE}}} = \frac{dI}{dA \cdot \cos \alpha} = \frac{d\left(\frac{d\Phi}{d\Omega}\right)}{dA \cdot \cos \alpha} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos \alpha} = \frac{d\left(\frac{d\Phi}{dA}\right)}{d\Omega \cdot \cos \alpha} = \frac{dE}{d\Omega \cdot \cos \alpha}$$

La luminanza è la grandezza fondamentale per la visione, perché è la luminanza degli oggetti che “vediamo”; le sue variazioni nel nostro campo visivo, unitariamente alle variazioni cromatiche, sono i fattori essenziali per il riconoscimento dei vari oggetti che percepiamo attorno a noi. La differenza relativa fra il valore della luminanza riferito a un oggetto e la luminanza media del campo visivo esterno si chiama fattore di contrasto. Il giusto equilibrio delle luminanze ha notevole importanza nella progettazione degli impianti di illuminazione. Alcuni valori esemplificativi di luminanze sono:

Sole	10⁹ cd/m²
Faro di automobile(abbagliante)	10⁷ cd/m²
Strada ben illuminata artificialmente	2 cd/m²
Strada nel sole di mezzogiorno	10⁶ cd/m²
Lavagna ben illuminata artificialmente	25 cd/m²

Cielo diurno	da 10^4 cd/m^2 a 10^6 cd/m^2
Cielo notturno con luna piena	0.01 cd/m^2
Cielo notturno senza luna piena	da 10^{-6} cd/m^2 a 10^{-3} cd/m^2
Lampada fluorescente	da 10^3 cd/m^2 a 10^5 cd/m^2

3.5 La radianza Φ

La radianza M di un punto di una superficie è il rapporto tra il flusso luminoso emesso da un elemento di superficie attorno a quel punto e l'area dell'elemento stesso. Si ha pertanto:

$$M = \frac{d\Phi}{dA}$$

L'unità di misura della radianza è il lux s.b. (lux su bianco). Se r è il coefficiente di riflessione della superficie risulta:

$$M = r \cdot E$$

4 Colorimetria

Il colore con cui ci appare un oggetto illuminato dipende da due fenomeni distinti: il suo fattore spettrale di riflessione (o trasmissione), che caratterizza le proprietà di riflettere (o trasmettere) in modo diverso la radiazione luminosa al variare della sua lunghezza d'onda e la composizione spettrale della luce che lo investe.

Se la luce che lo illumina non contiene le radiazioni che possono essere riflesse dall'oggetto, questo appare nero (non potendo riflettere radiazioni di cui la luce incidente è priva). E' chiaro quindi che il colore di un oggetto può variare a seconda delle caratteristiche della luce che lo illumina: per una resa perfetta dei colori di un qualsiasi oggetto policromo, è necessario che la luce sia composta da tutte le radiazioni dello spettro del visibile.

Tuttavia, anche in questi casi, due oggetti potranno apparire con colorazioni non perfettamente identiche, se illuminati con due sorgenti le cui composizioni spettrali, anche se continue, non presentino andamenti simili: una sorgente con eccesso di radiazioni rosse tenderà ad esaltare le colorazioni corrispondenti, mentre al contrario una sorgente con eccesso di radiazioni a bassa lunghezza d'onda darà maggior peso ai colori “freddi”: il violetto e il blu.

Sorgenti a spettro continuo possono pertanto distinguersi nella “tonalità”, a seconda della composizione del loro spettro.

La necessità di disporre di una classificazione dei colori è avvertita in molte attività: dal cinema, la televisione, la fotografia, alle industrie tessili, grafiche, alla fabbricazione di lampade. Anche il progettista di impianti di illuminazione o dei suoi componenti deve disporre di una tale classificazione per poter valutare l'impatto di una certa sorgente luminosa su un determinato ambiente.

I sistemi oggi più comunemente utilizzati a riguardo sono il sistema CIE e il sistema Munsell.

4.1 Il sistema Munsell

Il sistema Munsell serve per la individuazione dei colori nelle condizioni di illuminazione diurna e si basa sul concetto che ogni colore può essere definito da tre parametri: tono o tinta, saturazione o purezza, luminanza o luminosità. Per ognuno di questi fattori è fornita una scala di valori. Il sistema è costituito da un insieme di piastrelle colorate, che formano un libro di carte di colori, in ciascuna delle quali una delle tre variabili è mantenuta costante.

La scala dei toni contiene cinque tinte principali: rosso (R), giallo (Y), verde (G), blu (B), porpora (P) e cinque tinte intermedie: YR, GY, BG, PB e RP.

La luminanza della tinta è indicata mediante una scala dei grigi che va da 1 (nero) a 9 (bianco). La saturazione del colore o vivacità è indicata con una scala che va da 0 a 14 gradazioni per ogni livello di luminanza. Pertanto nel sistema qualsiasi colore può essere specificato per mezzo di tre o quattro parametri. Nella figura 4.1.1 è riportata a titolo di esempio la rappresentazione spaziale del libro dei colori di Munsell e il particolare di una pagina in cui la tinta (o tono) è costante (giallo Y).

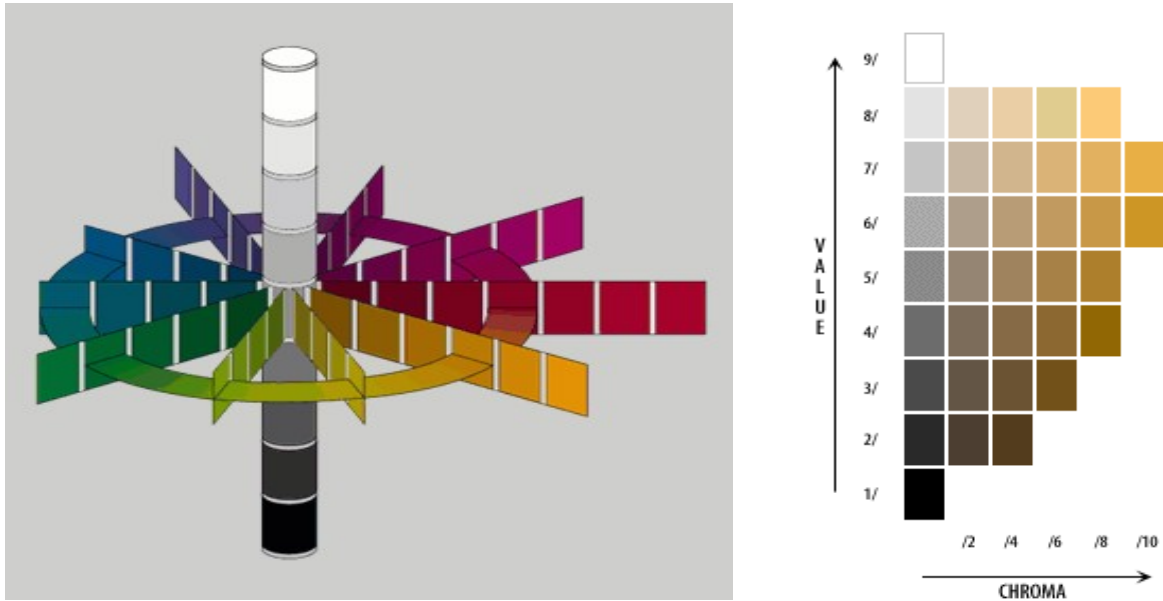


Figura 4.1.1

Si possono notare le piastrine con le notazioni simboliche che specificano le varie gradazioni di luminanza (in ordinate) crescenti dal basso verso l'alto e di saturazione crescenti da sinistra verso destra.

I tipi sono ordinati in successioni tali da mantenere costante la differenza di percezione visiva (sia in senso orizzontale sia verticale) tra un tipo e uno adiacente.

La prima colonna rappresenta quindi la colonna dei grigi in cui la sensazione è nulla e si può distinguere soltanto una variazione di luminanza dal basso verso l'alto. Al diminuire della luminanza aumenta la difficoltà di distinguere sfumature di colore o addirittura il colore stesso, cioè si passa gradatamente da una visione a colori a una visione in bianco e nero, ciò spiega la forma triangolare della tabella.

4.2 Sistema CIE

Il sistema CIE , adottato a partire dal 1931, è quello più utilizzato per la possibilità che offre di individuare in modo matematico, attraverso due coordinate cromatiche, una radiazione luminosa dal punto di vista del colore. Alla base del sistema c'è la constatazione sperimentale che dalla opportuna combinazione di tre luci colorate è sempre possibile ottenere un fascio luminoso che dia la stessa sensazione di colore di una luce qualsiasi. Il sistema CIE si basa proprio sulle regole di uguagliamento di colore per mezzo di miscele additive espresse in particolare dalle 3 leggi di Grassmann sotto richiamate:

1. Tre variabili indipendenti sono necessarie e sufficienti per caratterizzare una miscela di colori
2. Gli stimoli che provocano la stessa percezione di colore producono identici risultati nelle sintesi additive, indipendentemente dalla loro distribuzione spettrale.

3. Se un componente di una miscela di colori cambia, il colore della miscela cambia in modo corrispondente.

A tal scopo la CIE ha individuato in un primo momento le tre radiazioni monocromatiche fondamentali, univocamente definite dalla loro lunghezza d'onda, che consentono di ottenere qualsiasi colore e precisamente il rosso R ($\lambda=700$ nm), il verde G ($\lambda=546,1$ nm) e il blu B ($\lambda=435,8$ nm). Successivamente ne ha fissato la luminanza:

rosso (R) $L_R=1$ nit
verde (G) $L_G=4,509$ nit
blu (B) $L_B=0,06012$ nit

In tal modo è possibile costruire le curve della figura 4.2.1.

In pratica la curva \bar{x} rappresenta la sensibilità di un osservatore medio al rosso, la curva \bar{y} la sensibilità di un osservatore al verde e la curva \bar{z} la sensibilità al blu.

Come si può notare la curva \bar{y} coincide con la curva di visibilità.

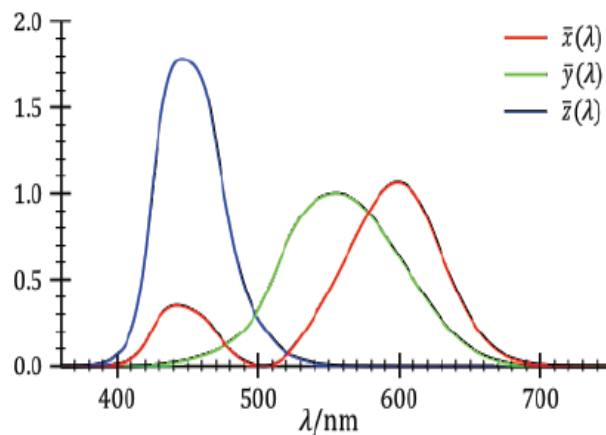


Figura 4.2.1

Pertanto, se per esempio si considera lo stimolo che determina una sorgente con spettro continuo $f(\lambda)$, le componenti tricromatiche risultano:

$$X = \text{cost} \int f(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \text{cost} \int f(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \text{cost} \int f(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

dove, in questo caso, $f(\lambda)$ è una funzione continua che varia nel campo dello spettro visibile. Se si pone il valore della costante $\text{cost} = K_{\text{MAX}} = 683 \text{ lm W}^{-1}$, e si esprime lo

stimolo in $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$, dato che la funzione $\bar{y}(\lambda)$, come detto, equivale alla curva di visibilità, la componente tricromatica Y coincide con la luminanza della radiazione luminosa.

Le quantità X, Y, Z sono chiamate componenti tricromatiche mentre le grandezze x, y, z sono dette coordinate tricromatiche:

$$x = \frac{X}{(X+Y+Z)}$$

$$y = \frac{Y}{(X+Y+Z)}$$

$$z = \frac{Z}{(X+Y+Z)}$$

Poiché $x+y+z=1$ il colore può essere individuato con due coordinate, normalmente x ed y. Risulta pertanto possibile dare una rappresentazione piana di uno stimolo di colore, costruendo nelle due coordinate x e y, il diagramma colorimetrico CIE (figura 4.2.2).

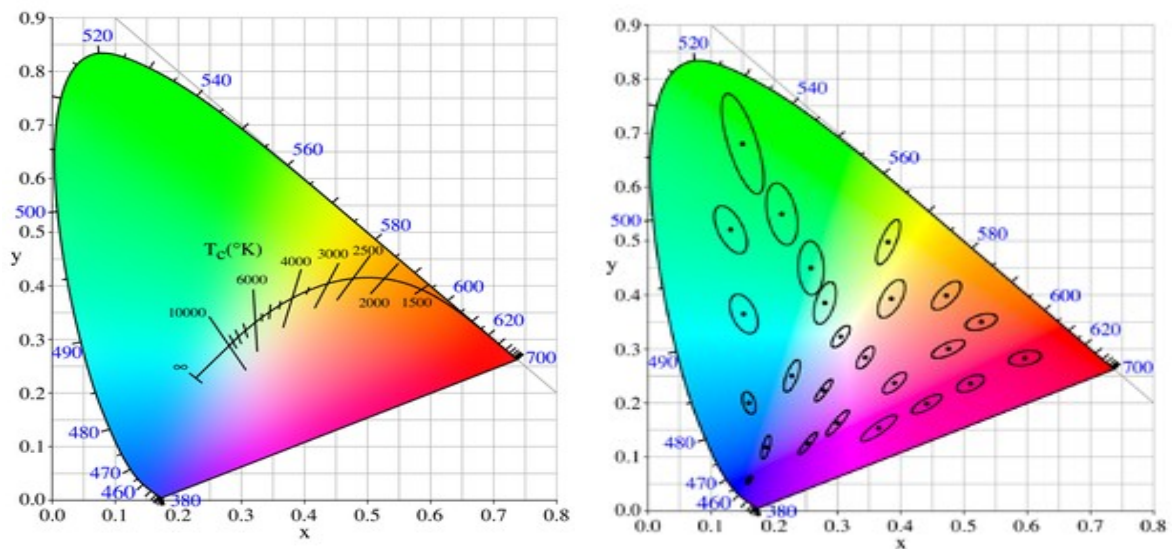


Figura 4.2.2

Il diagramma gode di particolari proprietà interessanti: per esempio, dato un colore rappresentato nel grafico dal punto A (x_1, y_1) e un altro colore rappresentato dal punto B (x_2, y_2), il colore ottenuto miscelando A e B sarà rappresentato da un punto C che giace sul segmento che congiunge A e B, le cui coordinate dipenderanno dalle radianze delle sorgenti in esame.

Per mettere in evidenza la sensibilità dell'occhio umano al variare del colore di una sorgente, nella figura 4.2.2 sono state messe in evidenza delle ellissi, dove la distanza dal centro e i relativi punti dell'ellisse rappresenta cento volte la minima distanza per cui l'occhio è in grado di percepire una variazione di cromaticità.

Se si vogliono valutare le differenze di colore in termini di coordinate x e y nasce una difficoltà legata alla non uniformità delle variazioni nelle diverse direzioni. E' quindi

necessario operare delle trasformazioni in modo da portarsi in un campo lineare rendendo così possibile la misura delle variazioni.
 Si ottiene così il diagramma UCS (figura 4.2.3) operando le seguenti trasformazioni:

$$u = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}$$

$$v = \frac{6y}{-2x + 12y + 3}$$

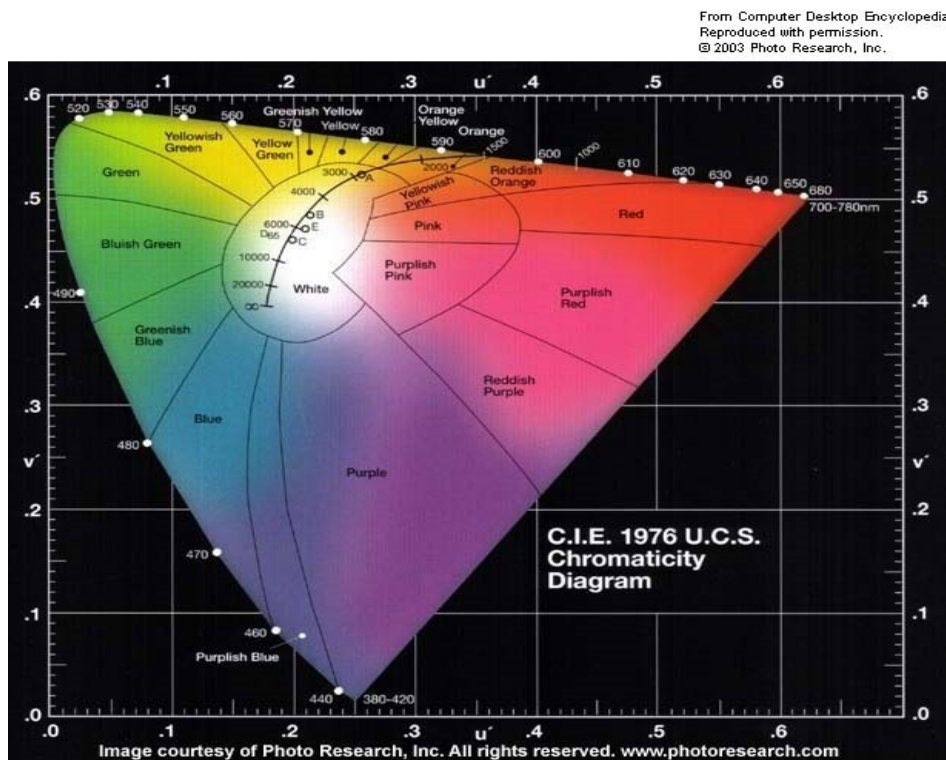


Figura 4.2.3

4.3 La temperatura di colore e l'indice di resa cromatica

Sono due parametri introdotti al fine di una valutazione del colore di una sorgente e della sua resa cromatica nei confronti dell'oggetto illuminato. Entrambi questi fattori assumono notevole importanza nel caso dell'illuminazione di interni: ad esempio musei, nei quali siano esposti opere pittoriche.

La temperatura di colore (CCT) in particolare è definita come la temperatura di un corpo nero (o Planckiano), espressa in kelvin, che emette luce avente lo stesso colore della luce emessa dalla lampada. La luce rossastra ha una bassa temperatura di colore, mentre

la luce bluastra ha un'alta temperatura di colore. A tale riguardo nel diagramma CIE riportato in figura 4.2.2 è inserita la curva del corpo nero, intersecata da segmenti (rette isoprossimali) in modo che tutti i punti individuati dai segmenti siano rappresentati dalla stessa temperatura. Questo parametro dà infatti indicazioni precise solo per alcuni tipi di lampade, come le lampade ad incandescenza, mentre per le lampade fluorescenti questa indicazione dà informazioni approssimative. A tale scopo è stato introdotto l'indice di temperatura correlata definito come la temperatura (T) di un radiatore plankiano il cui colore percepito più si avvicina a quello dello stimolo dato alla stessa luminosità e in condizioni visive specificate.

La CIE classifica il colore delle sorgenti luminose in base alla temperatura di colore:

colore caldo → $T < 3300 \text{ K}$
 colore intermedio → $3300 \text{ K} \leq T \leq 5300 \text{ K}$
 colore freddo → $T > 5300 \text{ K}$

L'indice di resa cromatica R_a , definito come l'effetto che una sorgente ha sull'apparenza degli oggetti illuminati rispetto al loro aspetto se sottoposti ad una sorgente di riferimento, dà un'indicazione di quanto una luce artificiale alteri il colore degli oggetti illuminati. Per determinare l'indice di resa cromatica si illuminano 14 campioni di colori definiti dalla CIE, con una di riferimento (a incandescenza) e poi con la sorgente da valutare.

Utilizzando uno spettroradiometro è così possibile misurare lo scostamento ΔE delle coordinate cromatiche dei due colori. Lo scostamento viene valutato misurando i segmenti che congiungono i punti nello spazio UCS (è necessario uno spazio uniforme al fine di effettuare una misurazione corretta).

In definitiva l'indice di resa cromatica del campione i-esimo (R_i) risulta:

$$R_i = 100 - 4,6 \Delta E_i$$

Successivamente facendo a media sui 14 campioni si ottiene:

$$R_a = \frac{1}{14} \sum_1^{14} R_i$$

In tal modo l'indice di resa cromatica tiene conto del comportamento medio della sorgente ed è quindi necessario esaminare l'indice di resa cromatica specifico R_i se si vuole conoscere la risposta a un particolare tipo di colore.

Il valore massimo è 100 e fa riferimento a una luce prodotta da una lampada a incandescenza campione, mentre valori più bassi mostrano rese cromatiche peggiori. In ogni caso è evidente che per particolari tipi di illuminazione non è sufficiente scegliere una lampada con un elevato indice di resa cromatica, bensì si sceglierà quel

tipo di lampada che presenta la minima distorsione spettrale rispetto all'andamento voluto.

A titolo indicativo si dà la seguente classificazione degli indici di resa cromatica:

90-100→ottimo

70-90→buono

50-70→accettabile

5 Sorgenti luminose artificiali

Una sorgente di luce artificiale è generalmente costituita da due parti: la lampada, la cui funzione è quella di convertire l'energia elettrica in flusso luminoso, e l'apparecchio illuminante, il cui compito è quello di distribuire il flusso luminoso in modo opportuno e proteggere la lampada.

5.1 Parametri caratteristici di una lampada

Le caratteristiche principali di una lampada sono:

Flusso luminoso: esprime la quantità di luce erogata per unità di tempo. Se la lampada può essere utilizzata senza apparecchio illuminante devono essere fornite le distribuzioni spaziali.

Efficienza specifica: misura il costo della trasformazione della potenza elettrica in potenza luminosa, dà un'indicazione di quanta energia elettrica viene effettivamente trasformata in energia luminosa, tenendo conto delle curve di sensibilità dell'occhio.

Dimensioni fisiche e forma: sono importanti per tipi di applicazioni e apparecchi usati.

Tempo di accensione e di riaccensione: indica il tempo impiegato dalla lampada per andare a regime, inteso come il tempo che intercorre tra l'istante di accensione della lampada e l'istante in cui la lampada emette il flusso nominale ed il tempo che intercorre tra lo spegnimento e riaccensione in condizioni di regime.

Temperatura di colore e resa cromatica: esprime l'attitudine della sorgente a rendere fedelmente il colore degli oggetti illuminati.

Durata di vita: tempo che quantifica la durata della lampada.

Vita media: numero di ore di funzionamento dopo il quale, in un lotto di lampade e in certe condizioni di prova, la metà delle lampade cessa di funzionare.

Vita economica: numero di ore di funzionamento delle lampade dopo il quale il livello di illuminamento scende del 30% dal valore nominale.

Curva media di mortalità: rappresentazione grafica del numero delle lampade funzionanti di un lotto al variare delle ore di funzionamento.

Curva di decadimento: rappresentazione grafica dell'andamento del flusso di emissione al variare delle ore di funzionamento espresso in % del flusso iniziale.

5.2 La classificazione delle lampade

La classificazione delle lampade può essere fatta riducendo le varie sorgenti presenti in commercio in due grandi categorie (figura 5.2.1) distinte in base al principio fisico che porta all'emissione di radiazione luminosa: a incandescenza e a scarica nei gas.

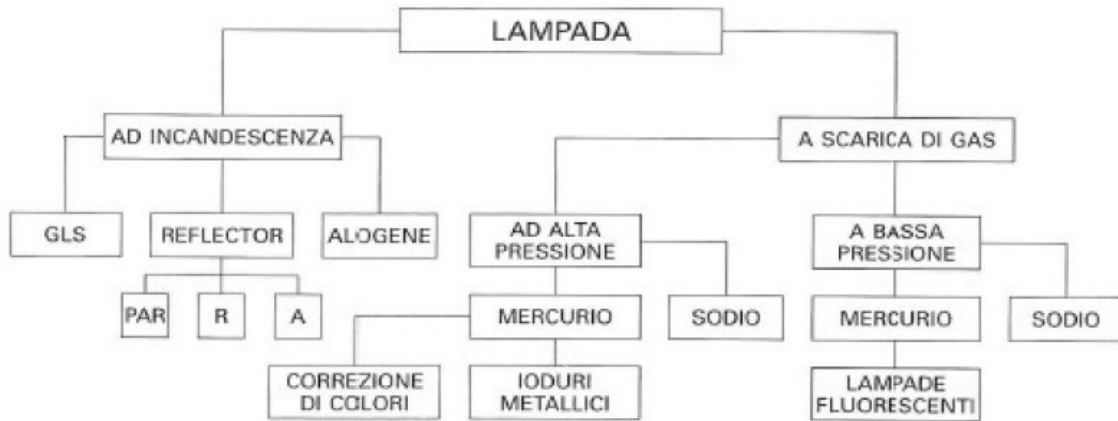


Figura 5.2.1

La distinzione fondamentale è sicuramente tra le lampade a incandescenza, nelle quali la luce viene prodotta per riscaldamento di un radiatore termico (filamento) e le lampade a scarica, nelle quali la luce viene prodotta attraverso una scarica di elettroni in un involucro pieno di gas.

5.3 Lampade ad incandescenza

Sono le più antiche ed ancora oggi le più diffuse e il loro successo nel tempo è dovuto ad un compromesso tra prezzo, vita media, resa cromatica ed efficienza specifica. Attualmente le lampade ad incandescenza possono dividersi in tre categorie: GLS, reflector ed alogene.

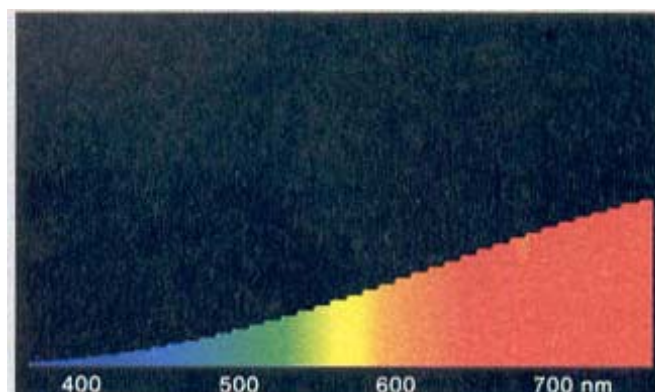


Figura 5.3.1. Spettro di emissione di una lampada ad incandescenza

Lampade ad incandescenza GLS

Le lampade GLS (General Lighting Service) sono il modello più comune delle lampade ad incandescenza (figura 5.3.2). I pregi di queste lampade sono: l'ottima resa cromatica e il costo di acquisto assai modesto; inoltre sono facili da installare e sono disponibili in varie forme (a bulbo, a sfera, a fungo, paraboliche, a torciglione, ecc.). Tuttavia una loro caratteristica sfavorevole è il pericolo di abbagliamento, dovuto alla superficie ridotta di emissione; questo inconveniente può essere però ridotto utilizzando bulbi satinati.

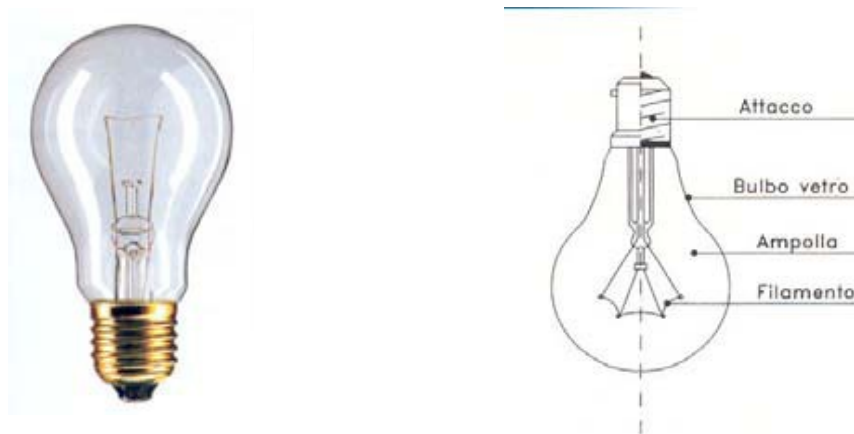


Figura 5.3.2. Lampada ad incandescenza GLS, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:15W-200W

- EFFICIENZA LUMINOSA: 6-15 lm/W
- DURATA:1.000 ore
- RESA DEI COLORI: $R_a=100$
- TEMPERATURA DI COLORE: 2700° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: immediata
- TEMPO DI RIACCENSIONE: immediata
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: nessuna

Lampade ad incandescenza “Reflector”

Le lampade Reflector sono di vari tipi, come riportato nella figura 5.3.3. Le più comuni sono quelle a bulbo con vetro pressato (PAR), a bulbo con vetro soffiato (R) e a riflettore emisferico (A). Le più diffuse sono le PAR, le cui caratteristiche tecniche sono analoghe a quelle delle lampade GLS con le quali condividono pregi e difetti: la presenza del riflettore ne permette l'utilizzo senza un'ottica esterna: i fasci disponibili sono di 12° e 30°.



Figura 5.3.3. Lampada con riflettore incorporato PAR, caratteristiche generali

Caratteristiche di una lampada ad incandescenza (PAR):

- **POTENZA: 25W-120W**
- **EFFICIENZA LUMINOSA: 6-15 lm/W**
- **DURATA: 1.000 ore**
- **RESA DEI COLORI: $R_a=100$**
- **TEMPERATURA DI COLORE: 2700° K**
- **TEMPO DI ACCENSIONE: immediata**
- **TEMPO DI RIACCENSIONE: immediata**
- **APPARECCHIATURE AUSILIARIE: nessuna**

Lampade ad incandescenza alogene

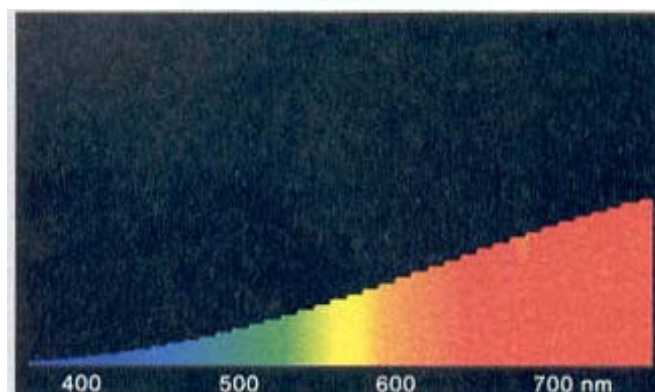
In queste lampade al gas di riempimento (argon) è aggiunta una miscela di alogeni quali iodio, cloro, bromo. Tali sostanze, assieme ai gas inerti, consente l'instaurarsi di un ciclo rigenerativo del tungsteno, grazie al quale è possibile aumentare la temperatura sul filamento, con il vantaggio di spostare a sinistra il massimo dell'emissione e quindi avvicinarlo al campo del visibile (pur rimanendo sempre nel campo degli infrarossi) e parallelamente aumentare la vita utile della lampada. Spesso vengono vendute complete di ottica, che può essere una parabola riflettente o parzialmente trasparente alle lunghezze d'onda dell'infrarosso al fine di minimizzare il calore emesso in direzione dell'oggetto da illuminare: in tal caso si dicono "dicroiche". L'ampiezza del fascio varia da 4° a 60°.



Lampada con riflettore in alluminio



Lampada dicroica



Spettro di emissione di una lampada alogena

Figura 5.3.4. Lampade alogene, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:25W-120W

- EFFICIENZA LUMINOSA: 10-21 lm/W
- DURATA:2.000-4.000 ore
- RESA DEI COLORI: $R_a=100$
- TEMPERATURA DI COLORE: 3.100° K
Esiste un tipo particolare tra le dicroiche che arriva a 4.000° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: immediata
- TEMPO DI RIACCENSIONE: immediata
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: nessuna se alimentate da rete, trasformatore, se alimentate a 12 volt

Lampade ad incandescenza a bassa tensione Xenon

Queste lampade, di piccola dimensione e potenza, vengono normalmente utilizzate in file continue (figura 5.3.5), al fine di configurarsi come sorgenti lineari e poter essere impiegate per l'illuminazione di superfici, tipicamente facciate di edifici, in alternativa ai tubi fluorescenti. Il vantaggio rispetto a questi è costituito dall'indipendenza del funzionamento dalla temperatura, dall'altissima resa cromatica, dalla tonalità calda, particolarmente adatta per illuminare materiali da costruzione come il tufo, i mattoni ed in generale i materiali lapidei con colorazione gialla, marrone, rossa. L'emissione luminosa avviene in tutte le direzioni, evitando zone d'ombra. Le versioni con temperatura sul filamento limitata a 2.400-2.800 K raggiungono una durata di 20.000 ore, che ne permette l'uso in posizioni difficilmente raggiungibili per la manutenzione, come nel caso dell'illuminazione delle facciate. L'efficienza luminosa, estremamente inferiore a quella delle lampade a scarica ed il costo, ne limitano l'applicazione ad edifici di elevato valore storico-artistico.

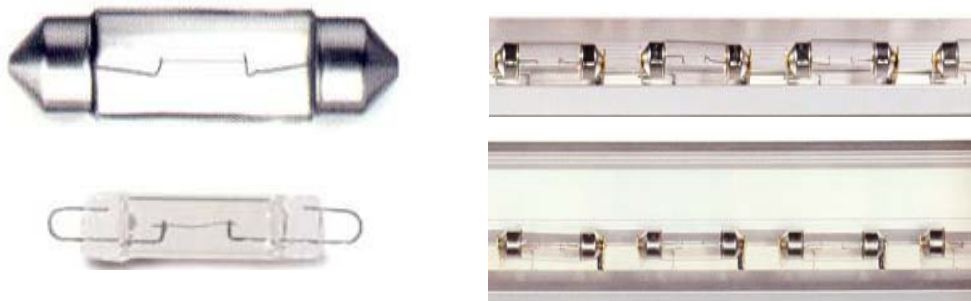


Figura 5.3.5. Lampade allo Xenon, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:3W-10W

- EFFICIENZA LUMINOSA: 4-12 lm/W
- DURATA:1.000-20.000 ore
- RESA DEI COLORI: $R_a=100$
- TEMPERATURA DI COLORE: 2.400° K- 2.800° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: immediata
- TEMPO DI RIACCENSIONE: immediata
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: trasformatore

5.4 Lampade a scarica di gas

Le lampade a scarica di gas sono caratterizzate tutte dall'aver efficienze specifiche superiori alle normali lampade ad incandescenza. Anche la vita media è superiore rispetto a quella delle lampade ad incandescenza e varia da 5.000 a 35.000 ore a seconda del tipo di lampade. Per contro si può dire che generalmente queste sorgenti non rispondono altrettanto bene ai requisiti di resa cromatica. In particolare, mentre tutte le lampade fluorescenti hanno un buon indice di resa cromatica (85-95), le lampade al sodio a bassa pressione sono le più sfavorite sotto questo aspetto, non essendo praticamente possibile attribuire loro un indice R_a .

Occorre però ricordare che mentre è sufficiente collegare alla rete le lampade ad incandescenza per farle funzionare, le lampade a scarica necessitano di un reattore in serie alla linea per stabilizzare la scarica.

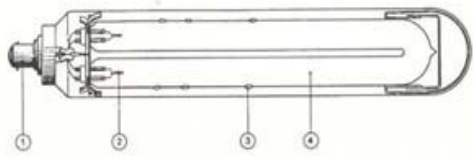
Inoltre, è necessario un dispositivo di accensione per l'innesco della scarica. Reattore ed accenditore costituiscono i cosiddetti "ausiliari elettrici" che devono sempre essere presenti con le lampade a scarica.

Le lampade a scarica si dividono in lampade a bassa e ad alta pressione: da notare che queste ultime richiedono un periodo di riscaldamento di qualche minuto e non possono essere riaccese immediatamente dopo essere state spente, salvo l'impiego di accenditori particolari, in quanto l'innesco della scarica è più difficile in presenza di pressioni elevate.

Le prestazioni delle diverse tipologie di lampade sono molto articolate e solo la conoscenza di tutti i parametri e dei requisiti di progetto può portare ad una scelta corretta. Le uniche lampade che si può dire a priori essere superate sotto il profilo tecnologico e prestazionale sono le lampade al mercurio ad alta pressione, che vengono tuttavia riportate nelle schede seguenti, perché costituiscono una parte importante delle lampade esistenti negli impianti di illuminazione pubblica. Le lampade al mercurio a bassa pressione, le cosiddette lampade fluorescenti, lineari o compatte, sono usatissime, ma soprattutto in ambienti interni a causa della variazione del loro funzionamento al variare delle condizioni di temperatura. In esterni, le lampade fluorescenti compatte sono molto usate nell'illuminazione da giardino. Anche le lampade a luce miscelata vengono usate sempre meno perché l'evoluzione della tecnologia delle lampade a scarica permette sempre di più di migliorarne le caratteristiche cromatiche, senza bisogno di ricorrere alla miscelazione con flussi prodotti da lampade ad incandescenza. Le lampade a induzione, infine, vengono usate solo quando il prolungamento della vita utile costituisce il requisito di prestazione preponderante.

Lampade a vapori di sodio

Bassa pressione: costruttivamente, sono analoghe ai tubi fluorescenti, salvo che non necessitano di rivestimento fluorescente in quanto la scarica nel vapore di sodio porta all'emissione di luce al centro dello spettro del visibile, sui toni dell'arancione, praticamente monocromatica. L'efficienza luminosa è elevata, fino a 200 lm/W, ma l'indice di resa dei colori è pressoché nullo e la difficoltà di parzializzazione dei flussi ne fanno una lampada non consigliabile per l'illuminazione stradale, anche al di fuori dei centri urbani, perché non permette di distinguere i colori della segnaletica (figura 5.4.1), che contengono delle informazioni importanti (es. il rosso implica la presenza di pericolo).



Schema di una lampada al sodio a bassa pressione
 1 - Base a baionetta; 2 - Catodo al tungsteno; 3 - Piccola cavità per raccolta sodio; 4 - Tubo di scarica.

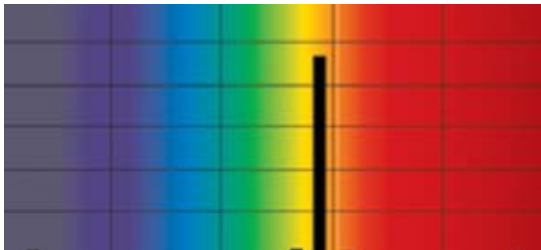
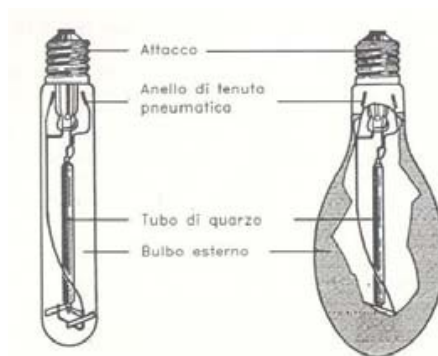


Figura 5.4.1 Lampade a vapori di sodio – bassa pressione, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:18W-400W

- EFFICIENZA LUMINOSA: fino a 200 lm/W se alimentatore ibrido
- DURATA:35.000 ore
- RESA DEI COLORI: R_a =quasi 0
- TEMPERATURA DI COLORE: 2.000° K- 2.500° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: 12 minuti
- TEMPO DI RIACCENSIONE:1-10 minuti a lampada calda con uno speciale accenditore
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: alimentatore, accenditore e condensatore

Alta pressione: sono lampade che raggiungono elevati valori di efficienza specifica (150 lm/W) e di vita utile (anche oltre 20.000 ore), a condizione però di evitare sbalzi di tensione superiori al 5%. A seconda del tipo di lampada, l'indice di resa dei colori varia da 23 a 65, scendendo parallelamente con l'efficienza fino a 60 lm/W. Le dimensioni limitate e la possibilità di parzializzazione ne fanno la lampada ideale per l'illuminazione stradale (figura 5.4.2).



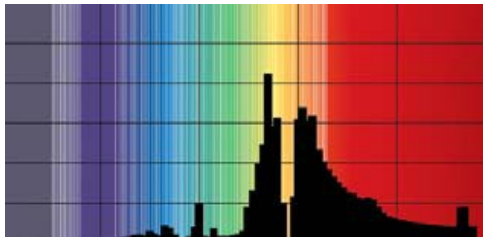


Figura 5.4.2. Lampade a vapori di sodio – alta pressione, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:50W-1000W

- EFFICIENZA LUMINOSA: fino a 150 lm/W
- DURATA:12.000 ore
- RESA DEI COLORI: $R_a=23-65$
- TEMPERATURA DI COLORE: 1.950° K- 2.150° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: 5 minuti
- TEMPO DI RIACCENSIONE: 5 minuti a lampada calda con uno speciale accenditore
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: alimentatore, accenditore e condensatore di rifasamento

Alta pressione e resa cromatica migliorata (tipo White-Son): Queste lampade, confrontate con le lampade al sodio ad alta pressione standard, presentano una luce più bianca. Sono meno efficienti ma hanno una resa cromatica migliore e quindi possono essere usate nelle applicazioni di qualità in sostituzione delle lampade a ioduri metallici, soprattutto in presenza di materiali con colorazioni calde (es.: tufo, mattoni). Rispetto alle lampade a ioduri metallici hanno valori di potenza e di efficienza specifica inferiori (figura 5.4.3), e quindi sono sconsigliabili quando servono flussi luminosi molto elevati. Insieme alle lampade a ioduri metallici ad elevatissima resa cromatica (tipo Master Colour) rappresentano le sorgenti più costose.

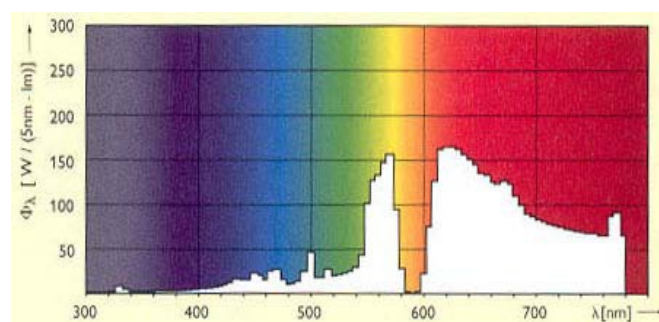


Figura 5.4.3 Lampade a vapori di sodio – resa cromatica migliorata, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:35W-100W

- EFFICIENZA LUMINOSA: fino a 42-52 lm/W
- DURATA: non dichiarata
- RESA DEI COLORI: $R_a=83$
- TEMPERATURA DI COLORE: 2.500° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: 2 minuti
- TEMPO DI RIACCENSIONE: 1 minuto a lampada calda con uno speciale accenditore
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: alimentatore, accenditore, condensatore di rifasamento, dispositivo di controllo per compensare la loro particolare sensibilità alle alterazioni cromatiche dovute alle fluttuazioni della tensione di rete

Lampade a ioduri (o alogenuri) metallici

Alta pressione standard: emettono luce bianca con una buona resa dei colori, con un'efficienza luminosa di 80-95 lm/W. Rispetto alle lampade a vapore di sodio ad alta pressione presentano una vita più ridotta (6.000-9.000 ore) ed è difficile da parzializzare il flusso. Per questi motivi il loro impiego nell'illuminazione pubblica è di solito limitato ai monumenti ed alle aree dove la resa cromatica elevata è un requisito fondamentale (figura 5.4.4).

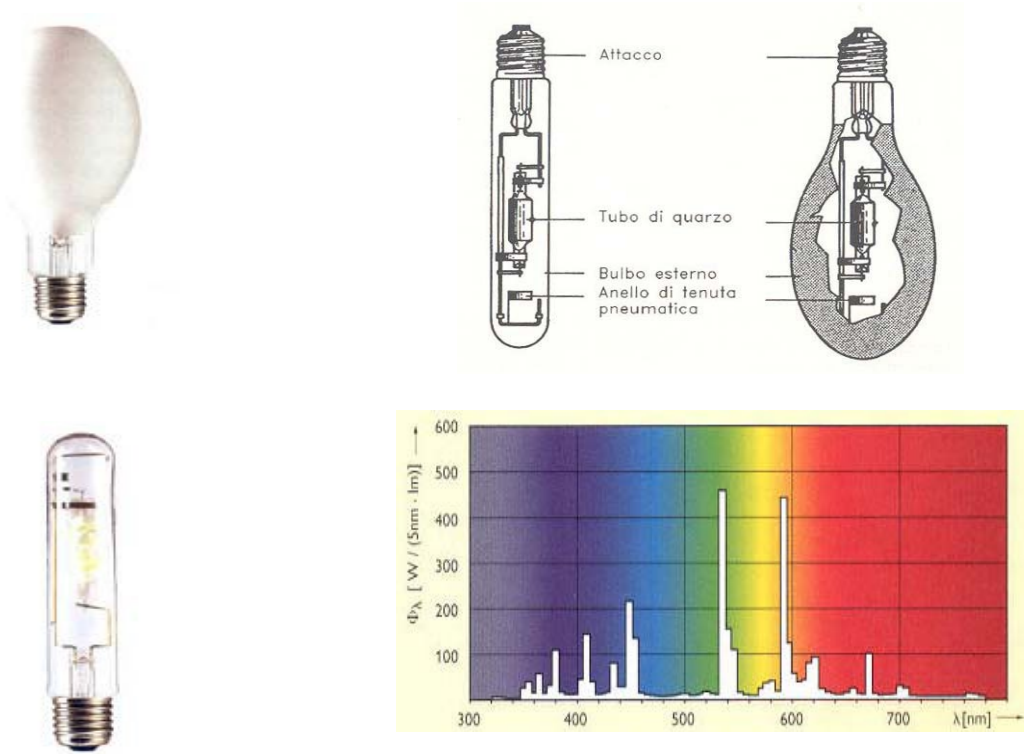


Figura 5.4.4. Lampade a ioduri metallici, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:35W-3.500W

- EFFICIENZA LUMINOSA: fino a 80-95 lm/W
- DURATA:6.000-9.000 ore
- RESA DEI COLORI: $R_a=90$
- TEMPERATURA DI COLORE: 3.000° K-6.000° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: 2 minuti
- TEMPO DI RIACCENSIONE: 1 minuto a lampada calda con uno speciale accenditore
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: alimentatore, accenditore, condensatore di rifasamento

Alta pressione e resa cromatica migliorata (tipo Master Colour): emettono luce bianca di eccellente qualità ($R_a=85$ per tonalità a 3000°K e $R_a=95$ per tonalità a 4000°K), mantenendo inalterata la stabilità del colore, per tutta la durata di vita (figura 5.4.5).

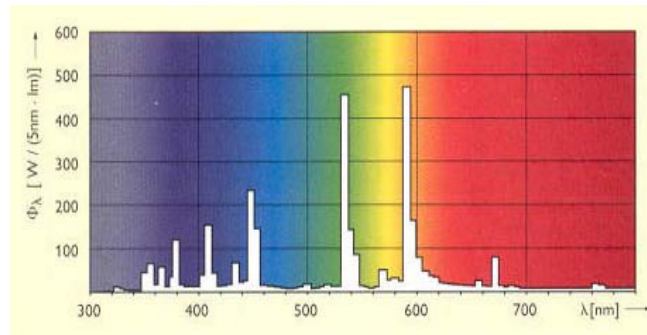


Figura 5.4.5. Lampade a ioduri metallici a resa cromatica migliorata, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:70W

- EFFICIENZA LUMINOSA: fino a 82-92 lm/W
- DURATA:> 12.000 ore
- RESA DEI COLORI: $R_a=83$
- TEMPERATURA DI COLORE: 2.800° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: 3 minuti
- TEMPO DI RIACCENSIONE: 15 minuti
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: alimentatore, accenditore, condensatore di rifasamento

Lampade fluorescenti (mercurio a bassa pressione)

La scarica elettrica avviene in un tubo di vetro, con lunghezze da 13 cm a 150 cm e diametri tipicamente di 26 mm e 16 mm, di cui le seconde costituiscono l'evoluzione tecnologica delle prime. La scarica avviene a bassa pressione e porta all'emissione soprattutto di radiazione ultravioletta. Questa viene convertita in radiazione visibile tramite un rivestimento di opportune polveri fluorescenti all'interno del tubo di vetro. Il tipo di rivestimento influenza l'efficienza luminosa, il colore della luce e l'indice di resa dei colori, con valori che normalmente superano 80 (rivestimento trifosforo) e possono raggiungere 95 (rivestimento pentafosforo), ma attualmente solo nelle lampade di 26 mm di diametro. Il vantaggio dei tubi fluorescenti è la bassa temperatura della sorgente, l'accensione e la riaccensione immediata dopo lo spegnimento e l'ampia possibilità di parzializzazione tramite reattori elettronici, che permettono di operare con flussi luminosi pari anche solo all'1% del valore nominale. Esistono però numerosi svantaggi per le loro applicazioni in impianti outdoor, le grandi dimensioni, che rendono difficile costruire apparecchi di illuminazione che emettano la luce in direzioni preferenziali, e l'influenza della temperatura dell'aria. Questi tubi sono infatti realizzati soprattutto per l'illuminazione interna e sono quindi ottimizzati per una temperatura ambientale di 25°-35°C: la loro efficienza luminosa decresce rapidamente a temperature diverse. Inoltre si possono avere difficoltà di innesco della scarica con basse temperature esterne, superabili con l'impiego di reattori elettronici.

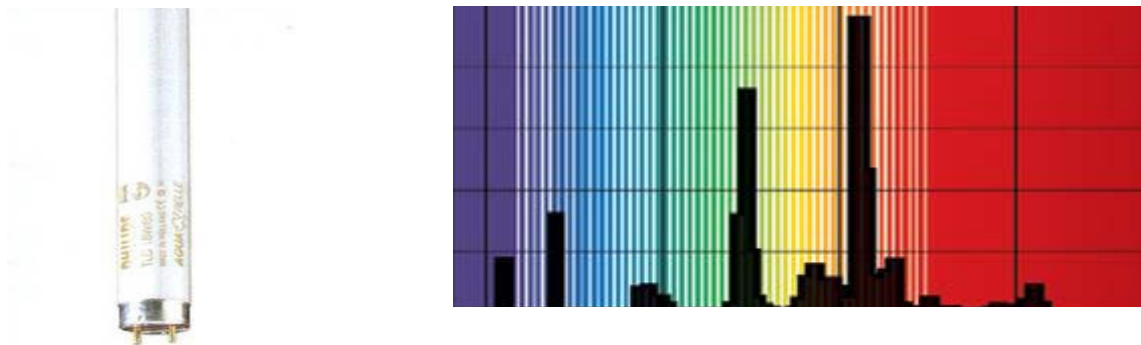


Figura 5.4.6 Lampade fluorescenti lineari, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA: 6W-80W

- EFFICIENZA LUMINOSA: fino a 104 lm/W
- DURATA: 10.000 ore con alimentatori convenzionali
>18.000, con alimentatori elettronici
- RESA DEI COLORI: $R_a=98$
- TEMPERATURA DI COLORE: 2.700° K-6.500° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: 0 minuti
- TEMPO DI RIACCENSIONE: 0 minuti
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: alimentatore, starter e condensatore

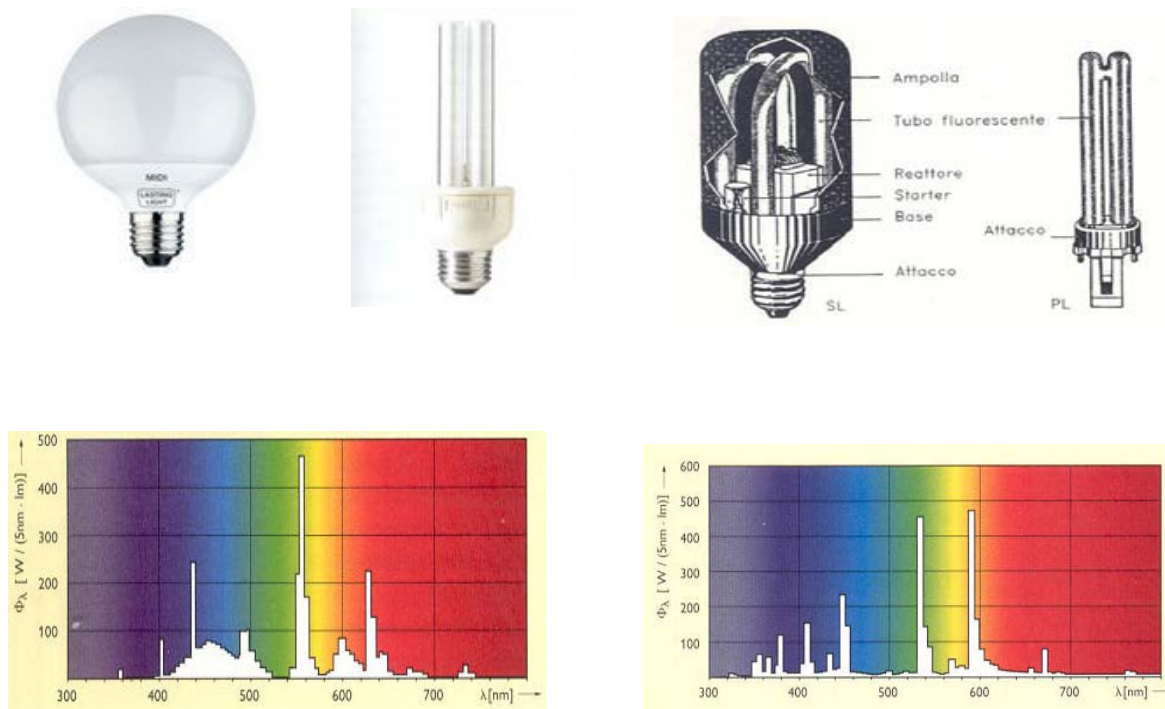


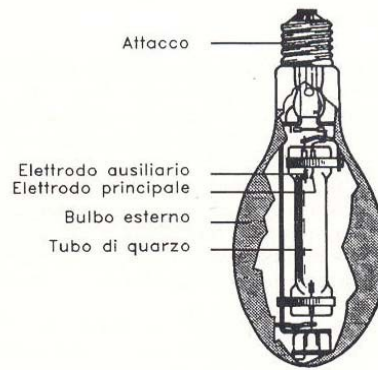
Figura 5.4.7. Lampade fluorescenti compatte, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:3W-23W

- EFFICIENZA LUMINOSA: fino a 60 lm/W
- DURATA: 6.000-15.000 ore
- RESA DEI COLORI: $R_a > 80$
- TEMPERATURA DI COLORE: 2.700° K-6.000° K
- TEMPO DI ACCENSIONE: 0 minuti
- TEMPO DI RIACCENSIONE: 0 minuti
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: alimentatore, starter e condensatore

Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione

Storicamente, sono le prime lampade a scarica a luce bianca e dimensioni ridotte e per questo motivo hanno avuto larga diffusione. Come per i tubi fluorescenti, anche in questo caso il bulbo fluorescente deve essere rivestito internamente con materiali fluorescenti. L'efficienza luminosa non è elevatissima (60 lm/W) e l'indice di resa dei colori è insufficiente per molte applicazioni (33-50). Tale tecnologia risulta superata grazie all'immissione sul mercato di altre lampade a luce bianca, principalmente gli ioduri metallici, che le sorpassano sia sul piano dell'efficienza specifica, che sul piano della resa cromatica. Queste lampade vengono messe fuori norma dalle Leggi Regionali sull'Inquinamento Luminoso attraverso il limite minimo sul valore dell'efficienza luminosa.



Lampada a vapori di mercurio ad alta pressione con tubo di scarica di quarzo racchiuso in un bulbo di vetro

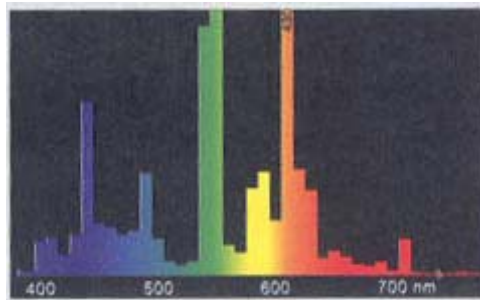


Figura 5.4.8. Lampada a vapori di mercurio ad alta pressione

Caratteristiche: - POTENZA:50W-1.000W

- EFFICIENZA LUMINOSA: 32-60 lm/W
- DURATA: 10.000 ore
- RESA DEI COLORI: $R_a=33-50$
- TEMPERATURA DI COLORE: $3.000^{\circ} K-4.200^{\circ} K$
- TEMPO DI ACCENSIONE: 5 minuti
- TEMPO DI RIACCENSIONE: 10 minuti
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: alimentatore, accenditore e condensatore di rifasamento

Lampade ad induzione

Il loro funzionamento si basa ancora sulla scarica in un gas, ma la ionizzazione non richiede la presenza di elettrodi. La caratteristica principale infatti è proprio la mancanza di elettrodi che condizionano normalmente la durata delle lampade a scarica tradizionali. Si possono ottenere così periodi di funzionamento valutabili fino a 60.000 ore. Questo tipo di lampada presenta una durata di circa 5 volte maggiore rispetto le altre lampade a scarica. Sono tuttavia costose e le grandi dimensioni ne rendono difficile l'integrazione con le ottiche.

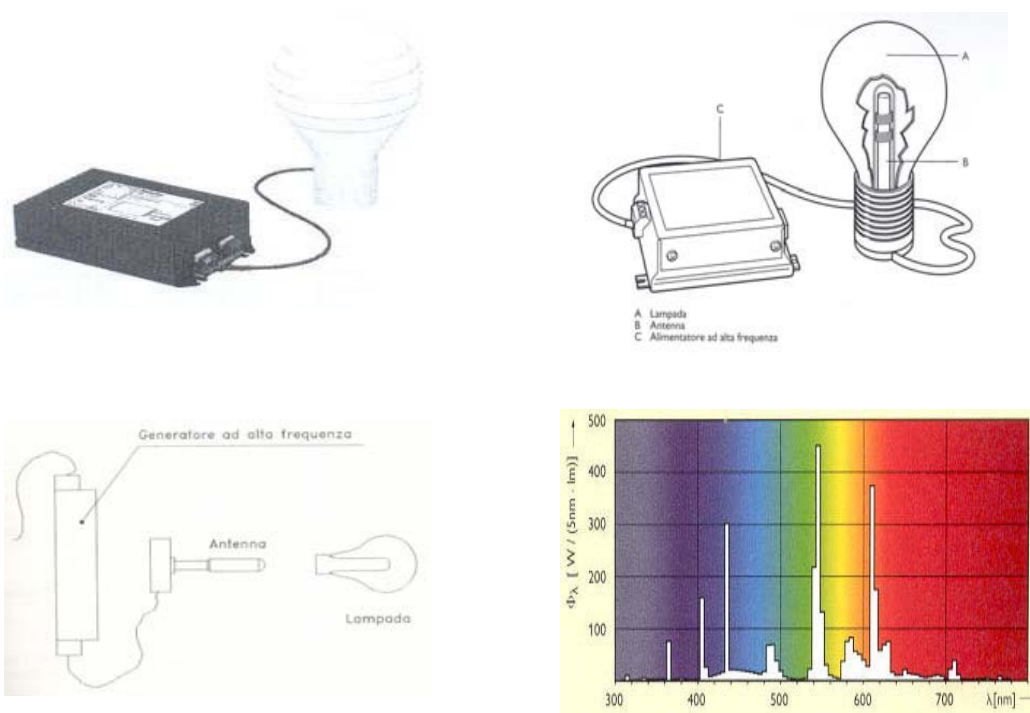


Figura 5.4.8. Lampade ad induzione, caratteristiche generali

Caratteristiche: - POTENZA:55W-165W

- EFFICIENZA LUMINOSA: 65-70 lm/W
- DURATA: 60.000 ore
- RESA DEI COLORI: $R_a=80$
- TEMPERATURA DI COLORE: non dichiarata
- TEMPO DI ACCENSIONE: 0.1 secondi
- TEMPO DI RIACCENSIONE: 0.1 secondi
- APPARECCHIATURE AUSILIARIE: generatore, dispositivi di raffreddamento supplementari e conformi agli standard internazionali EMC

Lampade al mercurio a luce miscelata

Rappresentano una sintesi fra una lampada ad incandescenza di tipo tradizionale ed una lampada ai vapori di mercurio: sono infatti caratterizzate dalla presenza, all'interno del bulbo, di un filamento di tungsteno, che agisce da stabilizzatore di corrente; pertanto, esse operano senza l'ausilio di un reattore esterno. La presenza del filamento consente di ottenere, a discapito dell'efficienza luminosa, delle qualità cromatiche migliori; l'emissione è caratterizzata da una distribuzione più omogenea e costante, con squilibri meno sensibili fra le varie lunghezze d'onda, anche se la tonalità di luce complessiva risente dei picchi presenti. L'adozione di questo sistema misto consente di ottenere vantaggi anche in relazione ai tempi di accensione e riaccensione, che risultano immediati anche se, nel periodo iniziale, la luce proviene essenzialmente dal filamento incandescente.

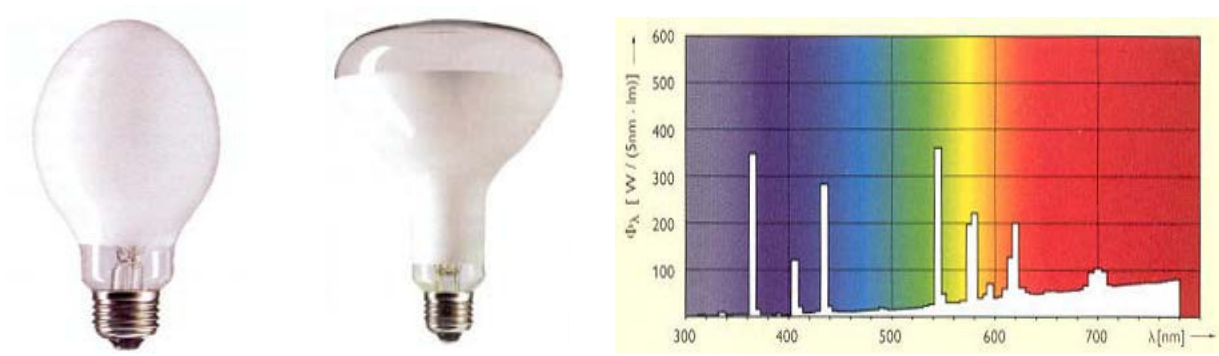


Figura 5.4.9. Lampade ai vapori di mercurio a luce miscelata, caratteristiche generali

- Caratteristiche:**
- **POTENZA:100W-500W**
 - EFFICIENZA LUMINOSA: 11-28 lm/W
 - DURATA: non dichiarata
 - RESA DEI COLORI: $R_a=48-72$
 - TEMPERATURA DI COLORE:3200°K- 4100° K
 - TEMPO DI ACCENSIONE: 5 minuti
 - TEMPO DI RIACCENSIONE: 10 minuti
 - APPARECCHIATURE AUSILIARIE: alimentatore, accenditore e condensatore di rifasamento

6 I LED

L'uso dei semiconduttori come generatori di luce risale agli anni Sessanta del secolo scorso. Da allora l'evoluzione di tale tecnologia ha vissuto una lenta, ma costante, crescita fino a un vero e proprio boom applicativo in tempi recenti. La nota di maggior rilievo, per i progettisti che vogliono utilizzare questa tecnologia è la libertà progettuale che questo tipo di sorgente può dare, che va dalla gestione del colore alla flessibilità di installazione.

6.1 Proprietà illuminotecniche

Con i LED le curve di emissione cambiano completamente la loro forma. Permane la continuità tipica delle lampade allo stato solido (fornite di filamento metallico), ma la potenza si raccoglie in un piccolo intervallo di frequenze o lunghezze d'onda. La forma a campana comprende un valore di picco (figura 6.1.1).

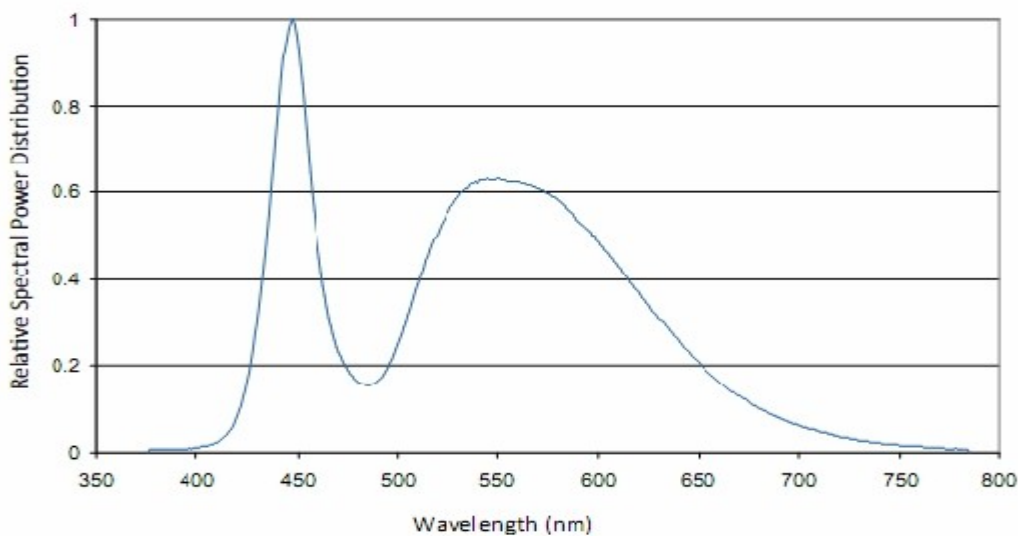


Figura 6.1.1

Impropriamente i LED sono definiti sorgenti monocromatiche; in realtà l'attributo di monocromatico è più corretto se riferito ad altri tipi di lampade, come quelle a vapori di sodio a bassa pressione con il picco a 589 nm. E' invece più adatto parlare, nel caso dei LED, di sorgente con emissione spettrale a banda stretta. Ne consegue che la maggior parte della potenza prodotta è contenuta nella banda spettrale delle radiazioni visibili, pertanto, i LED risolvono problematiche che invece molte lampade, nei casi in cui le emissioni UV e IR causano danneggiamenti o deterioramenti, sono costrette a risolvere con l'impiego di filtri anti-UV e anti-IR.

L'obiettivo di ottenere l'emissione della luce bianca è sempre stato centrale nella ricerca tecnologica sui led poiché è in base a questo parametro, e all'efficienza che si attua l'effettivo paragone con le sorgenti tradizionali. Attualmente ci sono 3 modi per ottenere la luce bianca, ognuno con propri potenziali vantaggi e caratteristiche tecniche specifiche; variano i valori di resa cromatica (R_a) e temperatura di colore.

Il primo metodo, detto RGB, miscela direttamente l'emissione di tre LED monocromatici rosso, verde e blu a costituire una sintesi additiva che il nostro occhio percepisce come bianca. I tre led sono incapsulati sullo stesso supporto e consentono qualora richiesto, la gestione separata dei 3 circuiti a comporre l'intera gamma dei colori visibili. Per ottenere una certa tonalità del bianco,

secondo una certa temperatura di colore, è necessario regolare con cura i contributi relativi a ciascun colore primario.

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

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

Il metodo più semplice è sicuramente il primo. Facendo riferimento al diagramma dei colori CIE, un LED RGB sarà percepito come un colore contenuto all'interno del dominio. Nei modelli più sofisticati un circuito elettronico permette di cambiare la temperatura di colore a piacimento o mantenerla identica per tutta la durata del diodo, mentre la resa cromatica di un oggetto illuminato può essere eccellente soprattutto per un LED a luce calda.

L'intensità e la sfumatura di bianco ottenute dipendono dalla quantità di fosforo usata nel rivestimento. La luce bianca "fredda" è generata diminuendo la quantità di fosfori, mentre l'effetto "incandescente" è raggiunto aumentandola.

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

Il R_a per i LED a fosforo è molto basso per l'assenza nello spettro della componente rossa.

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

Le previsioni su quali di queste tecnologie prenderà il sopravvento è molto difficile, considerando l'enorme quantità di variabili che i tre sistemi mettono in gioco.

6.2 Caratteristiche e vantaggi

Alimentazione e regolazione

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

Nelle applicazioni più semplici si può controllare la luminosità variando sia la corrente sia la

tensione dei LED. Questo metodo può essere valido per piccole variazioni del campo di regolazione. Se si vuole una regolazione completa bisogna usare la tecnologia PWM (pulse width modulation), modulazione in funzione dell'ampiezza di pulsazione.

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

Durata

Tra le caratteristiche specifiche dei LED è molto apprezzata l'enorme durata della sorgente in termini di ore di funzionamento che, a seconda delle dichiarazioni dei produttori può variare dalle 8000 alle 100000 ore. Poiché si tratta di valori molto alti è difficile capire se questi dati siano il frutto di sperimentazioni empiriche o approssimazioni di calcolo. Inoltre è necessario valutare la perdita d'emissione nel tempo e l'esposizione termica della sorgente, fondamentale per il mantenimento del flusso.

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

La massima temperatura di funzionamento dei LED è normalmente di 100°C e non deve essere superata. Come per ogni altra sorgente luminosa, nei LED si verifica nel tempo un graduale decadimento del flusso luminoso. Quando un LED emette il 50% dell'intensità iniziale, per definizione esso ha raggiunto la fine della sua vita utile.

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

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

L'efficienza

Se la durata dei LED è tra i fattori più interessanti di tale tecnologia c'è un altro aspetto che lascia intravedere meglio le grandi potenzialità dei semiconduttori come sorgente adatta all'illuminazione degli ambienti: l'efficienza luminosa. I LED hanno efficienze in continuo aumento, passando da valori intorno ai 20-40 lm/W degli anni 90 agli attuali 80-100 lm/W, al momento superiori alle lampade ad incandescenza e a gran parte delle alogene.

Di contro l'illuminazione richiesta a una sorgente per illuminare una scrivania, uno schermo, o una stanza non richiede solamente un'alta efficienza luminosa o una durata elevata, ma soprattutto un flusso continuo emesso considerevole. Un singolo bulbo ad incandescenza da 60 W oggi giorno emette luce bianca nell'ordine del Klumen con un indice di resa cromatica prossima a 100, il che è circa 300 volte la quantità emessa da un LED bianco con conversione al fosforo. La sfida è accorciare questa distanza facendo leva sulle caratteristiche di risparmio energetico dei diodi. L'efficienza di tali diodi è progressivamente aumentata e nel caso dei 5 W anche l'intensità si è avvicinata fortemente a quella delle sorgenti tradizionali.

Dal punto di vista merceologico è quindi difficile trovare apparecchi che montano sorgenti singole; si usano invece logiche di accorpamento in prodotti multi-lampade.

Di contro è da evidenziare una maggiore produzione di calore e il prezzo unitario ancora

inaccessibile per impieghi quali l'illuminazione tradizionale in cui non sia richiesto un risparmio energetico massivo. In effetti l'indice economico di riferimento dovrebbe essere il costo dell'energia in termini globali e non il costo della sorgente. Da questo punto di vista i LED si propongono ancora una volta come sorgenti dalle enormi potenzialità applicative.

Solido fotometrico

Nei casi delle alogene e delle ioduri, l'emissione si può rappresentare con un solido fotometrico di forma sferoidale, caratterizzato da una lieve diminuzione del flusso nella zona di attacco. Nel LED, invece, la luce si propaga solo nell'emisfero superiore.

Le temperature in gioco

Nelle alogene e nelle ioduri l'energia termica (in misura minore nelle fluorescenti) è prodotta e si propaga per irraggiamento, conduzione e convezione. Tutto ciò che si trova intorno alla sorgente subisce un riscaldamento. Tutte le componenti ottiche attorno alla sorgente devono resistere al calore senza deformarsi o deteriorarsi nel tempo.

Il calore generato dal LED è circoscritto alla base e si propaga prevalentemente per conduzione. La quota irraggiata è minima. La propagazione termica avviene nella piastra e attraverso il dissipatore a esso saldato.

Assenza di materiali tossici o nocivi alla salute

Uno degli aspetti che portano a ritenere che il LED sia un prodotto che può aiutare a difendere l'ambiente sono l'assenza di sostanze tossiche nocive alla salute dell'uomo, degli animali e alla conservazione dell'ambiente naturale.

A differenza di alcuni tipi di lampade tradizionali il diodo luminoso non contiene queste sostanze. Come è noto, le lampade fluorescenti funzionano grazie alla presenza di mercurio. Negli ultimi anni le aziende produttrici ne hanno ridotto la quantità, per ogni lampada, a pochi milligrammi, ma rimane una sostanza da controllare in fase di fine vita del prodotto. A partire dall'1 luglio 2006, Direttive Europee in tema sulla riduzione delle sostanze tossiche e nocive nell'ambiente hanno stabilito che le nuove apparecchiature elettriche ed elettroniche immesse sul mercato non dovranno contenere, o contenere in misure limitate, sostanze quali: piombo, mercurio, cadmio, cromo esavalente, bifenil polibromurati (PBB) e eteri difenili polibromurati (PBDE).

6.3 Applicazioni attuali

Ogni famiglia di lampade ha il suo campo di impiego privilegiato o preferenziale, più o meno articolato in funzione delle prestazioni offerte. Difficilmente si trovano lampade ad incandescenza negli ambienti di lavoro o negli esterni, a causa della loro bassa efficienza e della breve durata di vita. Le sorgenti a vapori di sodio (alta e bassa pressione) prevalgono negli esterni e raramente trovano impieghi negli interni, facendo eccezione per le versioni ad altissime prestazioni. La grande sottofamiglia delle lampade a vapori di alogenuri metallici, in costante evoluzione, viene impiegata in una notevole varietà di luoghi, grazie all'estesa gamma delle potenze disponibili e alle buone performance fotometriche e colorimetriche.

Anche i LED hanno qualità tali da renderli adatti a molte applicazioni. Attualmente l'unico limite sembra essere costituito dalla quantità di luce erogata che, nonostante l'efficienza luminosa, rimane modesta, a causa delle basse potenze assorbite. Perciò si può dire che gli utilizzi riguardino numerosi ambiti, con l'esclusione di quelli in cui sono necessari alti valori di flusso luminoso.

Anche adottando soluzioni modulari è difficile oggi risolvere problemi di footlighting (illuminazioni di grandi aree) con i diodi luminosi in commercio. Per esempio, i vasti spazi che richiedono elevati livelli di illuminamento (sui piani orizzontali e verticali), tipici dei complessi per lo sport agonistico e spettacolare, richiedono apparecchi dotati di lampade con alto flusso.

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

La soluzione LED offre una serie di vantaggi rispetto alle soluzioni con illuminazione a incandescenza. L'elevata durata di vita dei LED garantisce possibilità di integrazione delle sorgenti luminose negli arredi dell'appartamento, senza la necessità di adottare particolari accorgimenti per la sostituzione delle lampade e riducendo pertanto i costi di manutenzione.

Come già visto i LED offrono significativi vantaggi in termini di durata di vita e diventano particolarmente interessanti in esterni dove la manutenzione è difficoltosa (figura 6.3.1).





Figura 6.3.1

Inoltre la compattezza degli apparecchi che montano lampade a LED è particolarmente apprezzata in quelle applicazioni dove si voglia ridurre al minimo l'impatto visivo del corpo illuminante. I moduli LED lineari danno origine a dispositivi di luce di grande lunghezza. L'apparecchio, generalmente stagno, può essere nascosto nell'opera architettonica grazie al suo profilo estremamente ridotto e, rispetto alle alternative lineari fluorescenti o allo xeno, presenta inoltre numerosi vantaggi in termini di saturazione cromatica, durata di vita, funzionamento a bassa tensione e rendimento energetico. Grazie a tutti questi vantaggi, i moduli LED lineari si rivelano ideali per abbellire monumenti architettonici nelle ore notturne. Dato il continuo sviluppo della tecnologia LED è impensabile fare un quadro completo dei possibili utilizzi; gli esempi forniti servono per dare un'idea dell'enorme flessibilità applicativa di questa sorgente.

7 Previsioni future

Da settembre 2010 le classiche lampadine a incandescenza sono state messe al bando dal Parlamento Europeo. Per essere più precisi, tutte le lampadine di taglio uguale e superiore ai 100W non si potranno più produrre né commerciare. Progressivamente anche quelle di taglio più piccolo scompariranno fino ad essere completamente bandite nel settembre 2012. Questa imposizione dell'Unione Europea fa parte di un più ampio progetto di rinnovamento dell'illuminazione. Questa decisione, da sola, comporterà per l'Ue ogni anno un abbattimento di 32 milioni di tonnellate delle emissioni di CO₂, un risparmio di 11 miliardi di euro sulla bolletta energetica. Entro il 2020, la riduzione del consumo di elettricità sarà di 80 miliardi di KWh, pari al fabbisogno totale del Belgio, o di 23 milioni di famiglie europee, e alla produzione annuale di 20 centrali elettriche da 500 MW.

La lampada a LED rappresenta il futuro dell'illuminazione. Al livello attuale dello sviluppo le lampade a LED non sono ancora in grado di sostituire pienamente le lampade a fluorescenza, però si stima che entro pochi anni saranno la soluzione economica ed efficiente al problema dell'illuminazione ad ogni livello. Probabilmente rivoluzioneranno il modo di concepire la luce in ambiente domestico e professionale e chissà che ciò non segni la fine di lampade e lampadari. Sempre più aziende, sia a livello nazionale che internazionale, stanno spostando il loro campo di competenza, per loro interesse o per necessità di sopravvivenza, sull'illuminazione di nuova concezione e sulle forme di energia rinnovabili. Sono queste le due strade che possono motivare un investimento da parte sia di pubblici che privati. Il costo del LED, in alcune circostanze ancora elevato, viene però abbattuto se l'impianto di illuminazione viene visto in un'ottica globale di risparmio futuro. Proprio su questa politica stanno cercando di attivarsi molte amministrazioni comunali che pensando: "Spendo bene oggi per risparmiare domani ...", vanno a sostituire i loro impianti al sodio con lampade a led in grado di assicurare qualità e affidabilità.

Con alcuni prodotti si riesce ad arrivare ad avere una garanzia maggiore di 10 anni. Se abbinata a questo si considera la realizzazione con materiali ecocompatibili e a basso impatto ambientale si riesce ad avere una lampada di alta qualità, grande affidabilità e anche facile smaltimento, e si realizza così il prodotto del futuro.

8 Principali dispositivi LED

Il LED ha una lunga storia alle spalle, non come sorgente per l'illuminazione di ambienti, bensì nel ruolo di componente elettronico per la segnalazione. Solo a partire dagli anni 90, grazie ai LED che emettono radiazioni di frequenza maggiore rispetto ai predecessori, hanno preso avvio utilizzi in nuovi campi, come l'illuminazione di ambienti interni ed esterni.

Siamo di fronte, dunque, ad una notevole diversificazione tipologica con le relative proprietà.

LED tipo THT

Un primo criterio di analisi per tipi e modelli, si basa sulla destinazione d'uso. Il LED per impieghi nel campo della segnalazione si è affermato per primo a partire dagli anni 60. Si basa sulla tecnologia chiamata Through Hole Technology (THT); si caratterizza per le forme tondeggianti della piccola capsula che ingloba il chip, nonché per la forma e la posizione degli elettrodi (l'anodo e il catodo), i piedini metallici sporgono nella zona inferiore della capsula. Per distinguerli l'anodo ha una lunghezza leggermente maggiore rispetto al catodo.

Come richiama l'acronimo (THT), questo componente elettronico è pensato per essere collocato in un foro in modo tale da realizzare la classica spia luminosa. Gli elettrodi sono saldati, nella maggioranza dei casi, su un circuito stampato su base di materiale isolante che funge da superficie di ancoraggio e di connessione elettrica.

Nell'ambito di questa famiglia il LED più comune ha una capsula di diametro pari a 5 millimetri.

Al suo interno il chip si trova in una regione centrale e intorno ad esso c'è un minuscolo elemento riflettente, un corpo cavo che riflette le radiazioni del chip verso le pareti interne della capsula.

La luce attraversa la capsula che, sotto il profilo ottico, lavora come una lente. Il solido fotometrico che ne deriva ha una forma che dipende dalle configurazioni della lente, dal riflettore, dal chip e dai rapporti spaziali.

LED tipo SMT a base piatta

Il LED del tipo THT si installa in circuiti stampati su base isolante che devono essere forniti di fori per il passaggio degli elettrodi, le cui saldature sono effettuate sulla faccia inferiore della base. Nel caso in cui si voglia utilizzare un circuito stampato di diverso tipo, con le connessioni elettriche solo sulla faccia superiore, si opta per LED diversi. Si tratta di componenti in cui gli elettrodi non sporgono verso il basso ma escono dai lati del chip. Appartengono alla famiglia chiamata SMT (acronimo da Surface Mounted Technology) e si contraddistinguono per la forma piatta: la parte inferiore può essere appoggiata su una base, mentre i collegamenti elettrici sono laterali. In questo modo è possibile utilizzare circuiti stampati su base isolante di ridotto spessore ed effettuare le micro-saldature non più manualmente bensì con macchinari automatizzati, rendendo in tal modo l'assemblaggio più veloce e meno costoso.

Il LED SMT si presenta come un minuscolo box con una faccia da cui viene emessa la luce, la faccia opposta o laterale che funge da base di appoggio, mentre le rimanenti facce laterali sono munite di anodo e catodo. Questa forma molto compatta si presta bene per realizzare moduli lineari, strisce luminose o light strip, composte da micro-aree disposte a intervalli regolari.

Guida luce

Il LED SMT, avendo una zona di emissione della luce di forma piatta, si presta bene all'accoppiamento con elementi ottici del tipo a guida di luce. Si tratta di piccoli condotti ottici realizzati in materiale plastico trasparente che permettono di trasportare il flusso luminoso dal LED fino al punto in cui si vuole che la luce sia visibile. In questo modo la spia luminosa può

essere separata, distanziata dal circuito di alimentazione elettrica. La luce che segnala si trova su un dispositivo che può trovarsi ad una certa distanza dalla fonte luminosa. Grazie alla conduzione del flusso in guide ottiche si risolvono vari problemi di compatibilità dimensionali e si offre al designer un maggior grado di libertà.

Gli OLED

A questo tipo appartengono i diodi luminosi costituiti da un sottile pacchetto di film o pellicole di minimo spessore, in materiale semiconduttore di natura organica. La luce si genera dalle sue superfici in presenza di corrente elettrica continua. Il pacchetto è molto leggero e flessibile, al pari di un foglio di carta, è arrotolabile e adattabile, può ricoprire oggetti curvi (figura 8.1).

La superficie è strutturata come un'aggregazione di piccoli elementi puntiformi: i pixel.

Attualmente il principale utilizzo riguarda display di ogni genere, monitor per computer, schermi per riproduttori video e televisori. Ogni pixel si comporta come un piccolo LED, potendo emettere luce di un determinato colore. Rispetto alla tecnologia corrente degli schermi piatti a cristalli liquidi, l'OLED risulta più luminoso.

Le prime applicazioni degli OLED nell'illuminazione di ambienti riguardavano piccoli oggetti luminosi, con funzione puramente decorativa.

La versione a film trasparente potrebbe anche essere impiegata nella fabbricazione industriale di finestre, lucernari e, in genere, di pareti trasparenti che separano l'ambiente interno da quello esterno, che si trasformano, in assenza di luce naturale, in grandi piani luminosi.

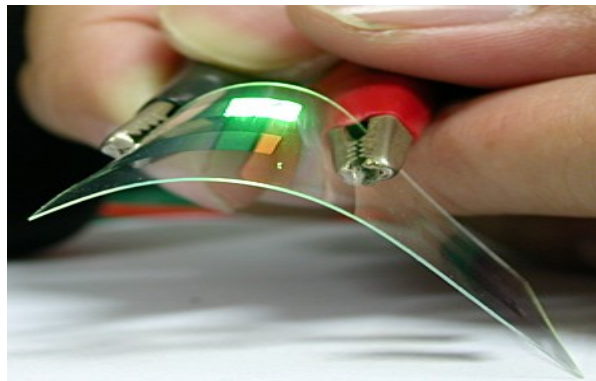


Figura 8.1

I Power LED

Con il termine Power LED (o LED di potenza) si indica un diodo che è in grado di trasformare l'energia elettrica con potenza uguale o superiore a 1 W in luce e calore. I Power LED sono impiegati nell'illuminazione di ambienti interni ed esterni, cioè per distribuire luce nello spazio. I flussi luminosi oscillano tra i 50 e i 300 lumen, in funzione della potenza assorbita.

Moduli LED

Sia i LED SMT che i Power LED sono proposti in aggregazioni, per incrementare il flusso complessivo, su circuiti stampati o piastre di collegamento di varie forme e dimensioni: circolari, quadrate, rettangolari, a striscia: i cosiddetti moduli LED per alimentazione in serie oppure in parallelo.

Alcuni produttori propongono LED e moduli LED con dissipatore termico integrato e con componentistica ottica in grado di orientare le radiazioni.