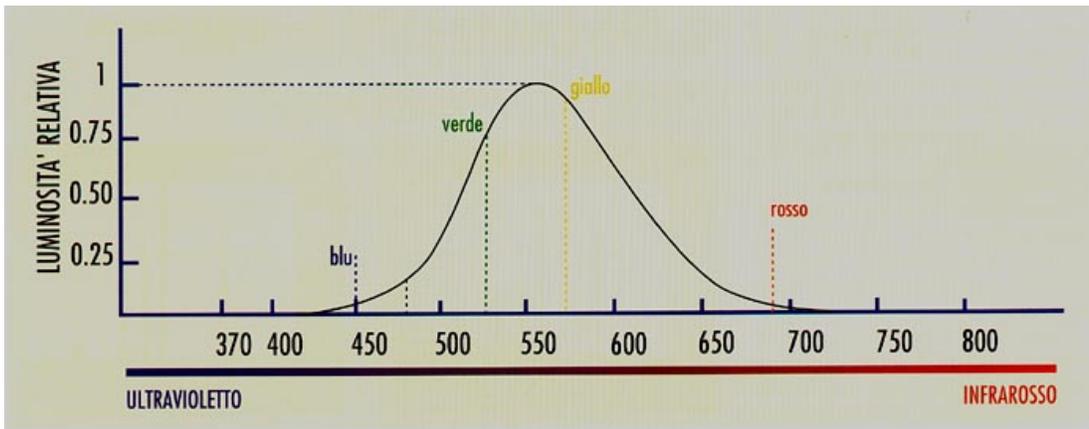


# Nozioni di Illuminotecnica

L'illuminotecnica è la scienza dell'illuminazione.

La radiazione visibile dall'uomo è compresa in media fra 0,4 e 0,76 micron (un milionesimo di metro); in astronomia si usa un'altra unità di misura denominata Amstrong (1 Amstrong è uguale a 0,0001 micron).



In figura è rappresentato lo spettro visibile e si noterà che alle piccole lunghezze d'onda troviamo il violetto e alle grandi lunghezze d'onda il rosso. L'occhio umano è più sensibile alla lunghezza d'onda di circa 5.500 Å (giallo - verde). La differenza di lunghezza d'onda percepibile dall'occhio umano va da 10/30 Å fra 5.000 e 6.000 Å e circa 60 Å verso il rosso.

## Flusso luminoso

Il flusso luminoso rappresenta la quantità di luce od energia raggianti emessa da una sorgente nell'unità di tempo:

$$F = Q / t = \text{quantità di luce} / \text{tempo}$$

da cui si deduce che il flusso luminoso è una potenza (energia diviso tempo). L'unità di misura del flusso luminoso è il lumen (lm) che corrisponde al flusso luminoso emesso da una sorgente di luce puntiforme di intensità (I) pari ad una candela (cd) ed uscente dalla superficie di un metro quadrato di superficie sferica con raggio pari a un metro (steradiante) (figura 2).

## Efficienza luminosa

L'efficienza luminosa è pari al rapporto fra il flusso luminoso (lm) emesso da una sorgente luminosa e la potenza elettrica assorbita (watt, W):

$$E = F/P$$

L'efficienza luminosa si misura in lm/W; essa è una funzione variabile con il tipo di lampada, ad esempio per una lampada ad incandescenza è pari a circa 6 - 18 lm/W, per le lampade al mercurio 40- 60 lm/W, per le lampade al sodio ad alta pressione 60 - 150 lm/W, per le lampade al sodio a bassa pressione 100 - 190 lm/W, infine per le lampade agli alogenuri 60 - 100 lm/W. Le lampade al sodio a bassa pressione sono le più efficienti, seguite da quelle al sodio A.P., alogenuri, mercurio,

incandescenza.

L'equivalente meccanico della luce è pari a 621 lm/W, quindi se tutta l'energia elettrica assorbita dalla lampada fosse trasformata in flusso luminoso nell'unità di tempo, la potenza di 1 watt darebbe 621 lm.

Facciamo notare che l'efficienza luminosa, per la stessa classe di lampada, oltre che dipendere dal tipo di lampada prodotta (normale, *super*, *de luxe*), in linea di massima, è minore alle potenze ridotte (50 - 100 W) e maggiore alle potenze maggiori, in genere adoperate nei fari (400 - 3500 W). Per avere il valore preciso bisogna consultare i cataloghi dei costruttori di lampade.

Riportiamo alcuni esempi:

**Tipo lampade Potenza (W) Efficienza luminosa (lm/W)**

Efficienza luminosa (lm/W) 70, 150, 250, 400, 1.000, 2000, 3.500 69, 80, 76, 80, 90, 120, 91

Lampade al mercurio 80, 125, 250, 400, 1000 48, 50, 52, 55, 58

Lampade al sodio A.P. 70, 150, 250, 400, 600 100, 103, 120, 129, 150

Lampada al sodio B.P. 18, 35, 55, 90, 135, 180 100, 137, 145, 150, 167, 183

Analizziamo il processo fisico che descrive l'efficienza luminosa. La lampada ha una potenza nominale in watt che nel tempo determina l'energia assorbita (si veda l'appendice); in uscita dalla lampada troviamo il flusso luminoso che è minore della potenza assorbita in quanto nel passaggio entrata/uscita ci sono le perdite, la formula seguente evidenzia quanto detto:

$$P_u = P - P_p$$

dove  $P_u$  è la potenza luminosa in uscita, cioè il flusso luminoso,  $P$  la potenza elettrica assorbita dalla lampada,  $P_p$  la potenza perduta e quindi non trasformata in energia raggiante. La potenza perduta è dovuta al processo non ideale di trasformazione della potenza elettrica in potenza raggiante a causa delle seguenti perdite: addizionali (esempio contatti), per effetto *Joule* (nelle lampade ad incandescenza tale effetto, riguardo al filamento, non costituisce solo una perdita ma bensì la base di funzionamento), per riflessione ed assorbimento della luce emessa da parte del bulbo in vetro che si trasforma in calore disperso dal bulbo stesso per conduzione verso l'esterno, interne per convenzione, per emissione nel campo dell'invisibile (raggi ultravioletti ed infrarossi), per una scarica non ideale dei gas, ecc.).

In pratica la lampada è un "trasduttore" di energia: l'energia elettrica in entrata viene trasformata in energia raggiante, chiaramente con rendimento minore di 1.

Una efficienza luminosa elevata significa un processo di trasformazione "più pulito" dell'energia elettrica in energia raggiante.

Quindi, ritornando ai 621 lm/watt teorici, constatiamo che una lampada con efficienza luminosa pari a 62 lm/watt e di potenza pari a 100 W emette 6.200 lumen, contro i 62.100 lm/watt teorici con un'efficienza del 10%! e perdite pari al 90%. Una lampada al sodio B.P. da 186 lm/watt e potenza pari a 100 W ha un rendimento del 30%.

Vedremo in un prossimo articolo dedicato agli apparecchi illuminanti che il flusso luminoso risultante o effettivamente utilizzato è ancora minore; il rendimento finale fra flusso effettivamente utilizzato e potenza assorbita, compreso il rendimento degli apparecchi e degli accessori di alimentazione, in genere oscilla fra il 2 ed il 10%.

### **Intensità luminosa**

L'intensità luminosa si calcola con la formula:

$$I = dF/dw$$

dove  $dF$  è il flusso luminoso in una direzione, emesso dalla sorgente luminosa all'interno di un piccolo cono e  $dw$  è l'angolo solido del cono stesso. In pratica l'intensità luminosa non è altro che la densità di flusso in una certa direzione (figura 3). L'unità di misura dell'intensità luminosa è la candela (cd) e corrisponde all'intensità luminosa emessa da un corpo nero ad una temperatura di 1766 gradi centigradi (fusione del platino), alla frequenza di  $540 \times 10^{12}$  Hz, in direzione

perpendicolare ad un foro di uscita con un'area pari a 1/600 000 metri quadrati sotto la pressione di 101,325 *Pascal* (1 *Pascal* è uguale ad 1 *Newton* diviso 1 metro quadrato).

Per semplificare la formula dell'intensità luminosa di cui sopra si può definire l'intensità luminosa media sferica (sfera di raggio pari a 1 metro)  $I_m$  di una sorgente ideale emettente lo stesso flusso della sorgente considerata, con una intensità identica in tutte le direzioni (isotropa):

$$I_m = F/4 \pi$$

infatti la superficie di una sfera è data dalla formula  $4\pi R^2$ , da cui si può desumere che se  $I_m$  è pari ad 1 candela, il flusso luminoso emesso è pari a 12,56 lm. L'intensità luminosa è importante in quanto costituisce la parte fondamentale della curva fotometrica.

### **Illuminamento**

L'illuminamento è pari al rapporto fra il flusso luminoso incidente ortogonalmente su una superficie e l'area della superficie che riceve il flusso, quindi una densità di flusso:

$$L = dF/dA$$

L'unità di misura dell'illuminamento è il lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ). Il lux è definito come il flusso luminoso emesso da una sorgente luminosa (situata al centro di una sfera) con una intensità luminosa di 1 candela che illumina una superficie di 1 mq (si veda la figura 2). L'illuminamento varia con l'inverso del quadrato della distanza dalla sorgente luminosa (figura 4).

### **Luminanza**

La luminanza è pari al rapporto fra l'intensità luminosa emessa in una certa direzione e l'area della superficie emittente perpendicolare alla direzione:

$$U = dI/dA$$

La luminanza si misura in  $\text{cd}/\text{m}^2$ ; 1  $\text{cd}/\text{m}^2$  equivale al flusso luminoso emesso per unità di angolo solido (intensità luminosa di 1 candela) entro un'area unitaria perpendicolare alla direzione del flusso luminoso. Nel caso che il flusso luminoso non sia perpendicolare alla superficie, allora bisogna dividere  $U$  per  $\cos y$ , dove  $y$  è l'angolo fra flusso ed ortogonale alla superficie (figura 5).

La luminanza è importante in quanto deve essere sufficiente ed uniforme al fine di riconoscere il percorso, i pedoni ed eventuali ostacoli. Valori troppo elevati di luminanza delle sorgenti portano a abbassare il contrasto e quindi ad uno scarso riconoscimento dei pedoni od ostacoli. In pratica, la sensazione visiva dell'occhio umano, quando percepisce la luce direttamente emessa da una sorgente o riflessa da una superficie, è funzione della luminanza.

Forniamo, come esempio, alcuni valori indicativi di luminanza ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ):

Sole a Mezzogiorno  $16 \times 10^9$

Lampada ad incandescenza (potenza minore di 100 W)  $5 \times 10^6$

Lampada agli alogenuri (potenza minore di 100 W)  $1,5 \times 10^7$

La norma Uni 10439 "Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato" stabilisce, fra l'altro, dei valori di luminanza media per le varie tipologie di strade, ad esempio:

-  $\leq 2 \text{ cd}/\text{m}^2$  per le autostrade, strade principali/secondarie/di servizio principali/extraurbane

-  $\leq 1 \text{ cd}/\text{m}^2$  per le strade di scorrimento di servizio urbane/quartiere urbane/locali urbane/extraurbane.

-  $\leq 0,5 \text{ cd}/\text{m}^2$  per strade interne di quartiere

### **Luminosità o radianza**

La luminosità si calcola dividendo il flusso luminoso emesso e l'area della superficie irraggiante:

$$U = dF/dA$$

La luminosità si misura in  $\text{lm}/\text{mq}$ ; 1 Lambert è il flusso luminoso di 1 lumen emesso in un emisfero da un'area unitaria della superficie irraggiante.

### **Rendimento luminoso**

Il rendimento luminoso è dato dal rapporto fra il flusso luminoso emesso dalla lampada verso l'esterno ed il flusso luminoso emesso dalla sorgente (esempio filamento della lampada ad incandescenza):

$$\eta = F/F_s$$

dove F è il flusso emesso verso l'esterno e  $F_s$  il flusso luminoso emesso dalla sorgente.

### **Resa cromatica e indice di resa dei colori**

La resa dei colori o resa cromatica è una valutazione qualitativa sull'aspetto cromatico degli oggetti illuminati ed è pari a:

- 1- ottimo
- 2- buono
- 3- soddisfacente

L'indice di colore "Ra" permette di ottenere una valutazione oggettiva riguardo alla resa di colore della sorgente luminosa emittente.

L'indice Ra è posto pari a 100 quando la sorgente emittente la luce ha lo stesso effetto della sorgente luminosa di riferimento.

L'indice di resa cromatica è funzione indiretta della differenza di resa dei colori, cioè tanto minori sono i valori di Ra tanto più grande è la differenza nella resa dei colori.

Un indice sui 50 può essere accettato in zone industriali ma l'indice deve essere ben maggiore laddove si debbono distinguere od individuare degli oggetti o loro particolari.

### **Temperatura di colore**

La temperatura di colore, la cui unità di misura è il grado *Kelvin* (K), ha come riferimento l'emissione del corpo nero o la curva di *Plank*. La parte della radiazione visibile preponderante è funzione diretta della temperatura di colore "Tc", cioè tanto più grande è Tc tanto più si accentua la parte azzurra della radiazione, mentre per valori piccoli di Tc si accentua la parte rossa della radiazione visibile.

Ad esempio, la luce emessa da una lampada ad incandescenza ha Tc pari a circa 2.700 K, mentre la luce diurna a mezzogiorno presenta un valore di Tc pari a 6.000 K.

### **Tonalità di luce**

La tonalità di luce è funzione della temperatura di colore.

Riportiamo alcune grandezze indicative:

- tono caldo < 3.300 K
- tono neutro < 3.300 - 5000 K
- tono bianchissimo 4.000 K
- luce diurna > 5.000 K

Un esempio può chiarire il significato delle ultime tre grandezze trattate: una lampada agli alogenuri sia contraddistinta dalla sigla 1A - Ra 90-100 - > 5000 K; 1A è il grado di resa dei colori, 90 - 100 rappresenta l'indice di resa dei colori, > 5.000 K è la temperatura di colore che da indirettamente la tonalità di luce, nel caso diurna.