

Pillole di illuminotecnica

Le basi della fotometria
15/05/2024

Ing. Gennaro Spada (PhD)
spada@unina.it

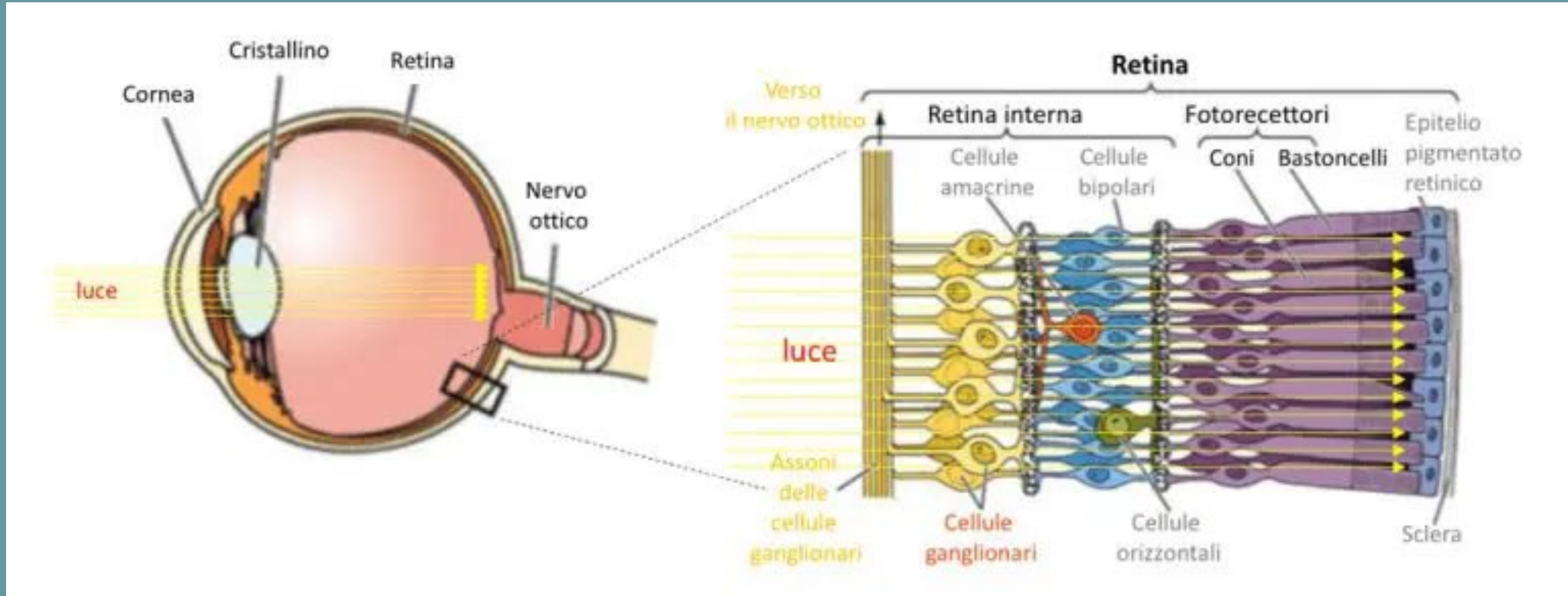
Dipartimento di Ingegneria Industriale
Università degli Studi di Napoli «Federico II»

Ordine degli Ingegneri di Napoli

Occhio e visione

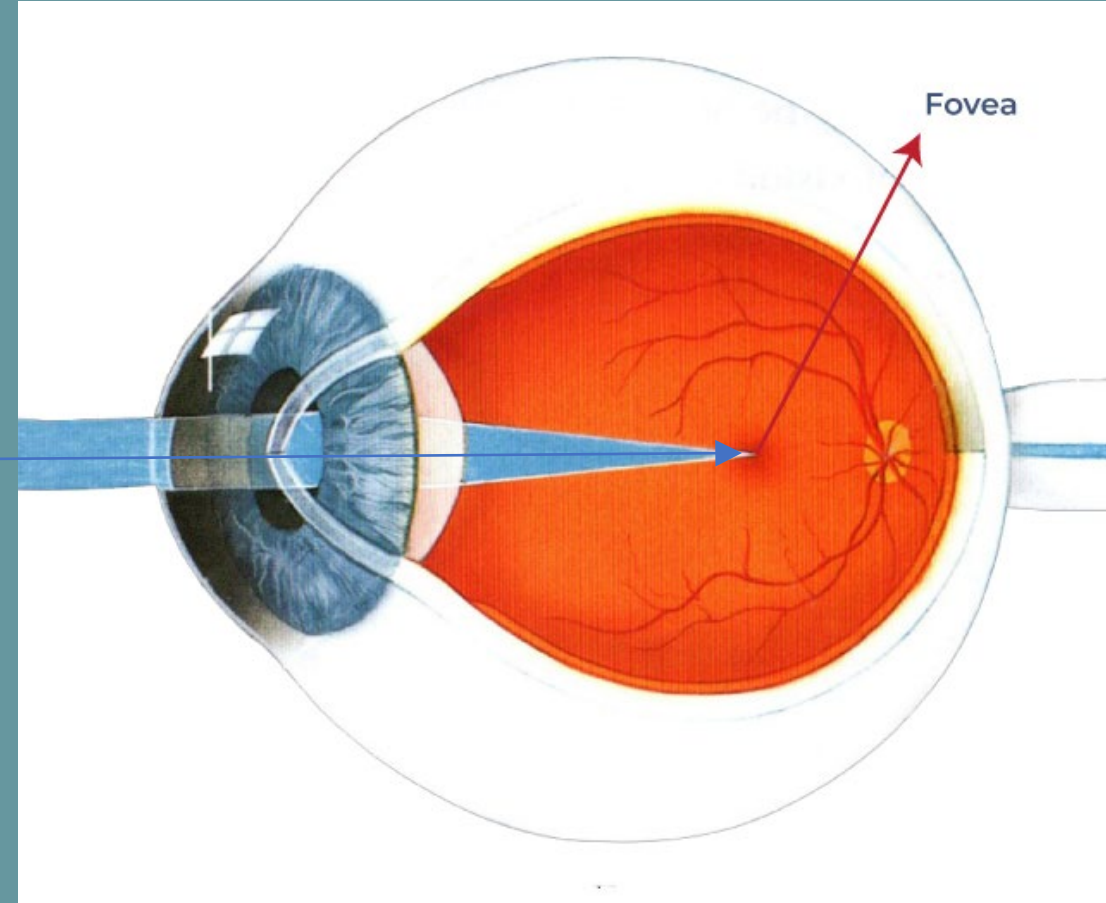
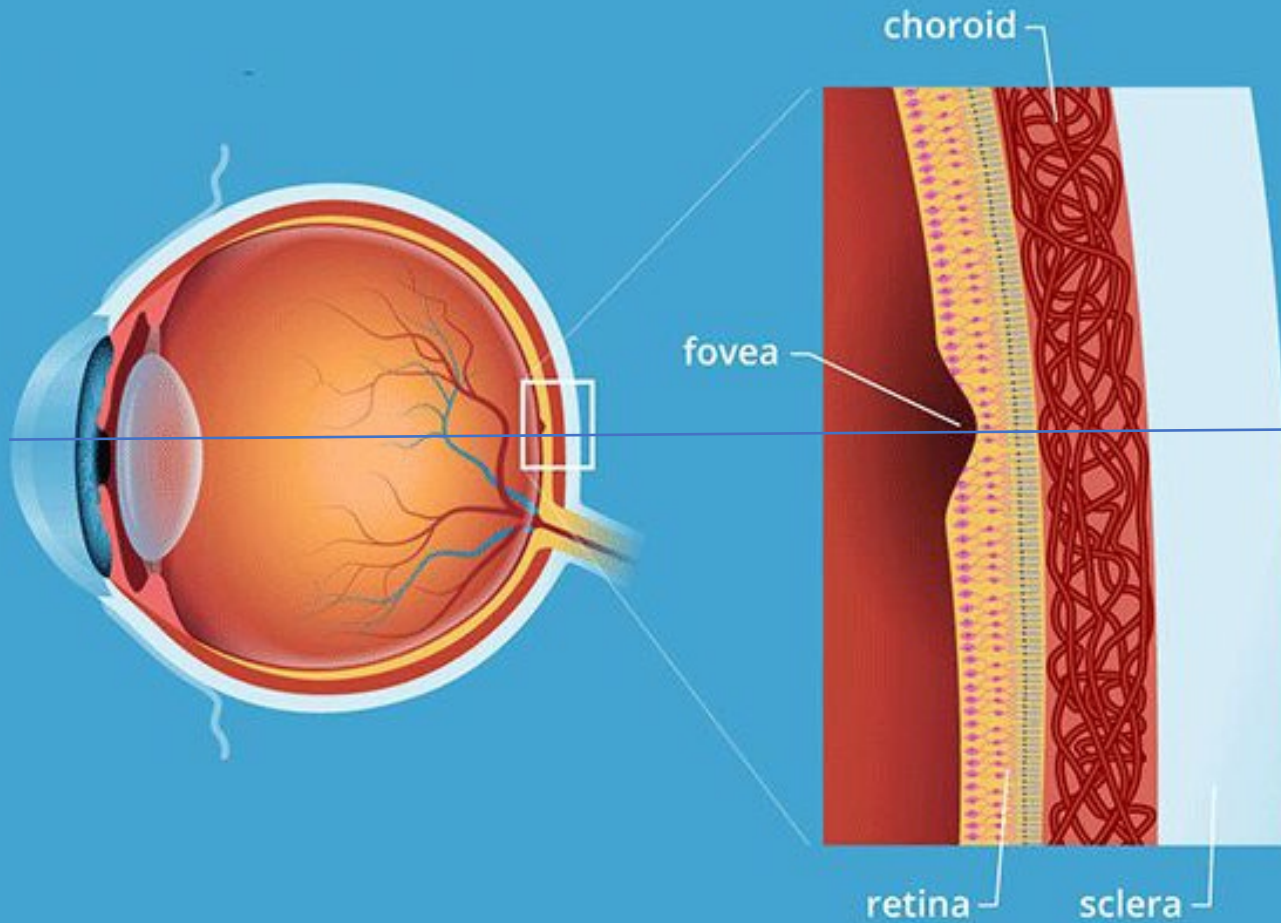
Occhio e visione

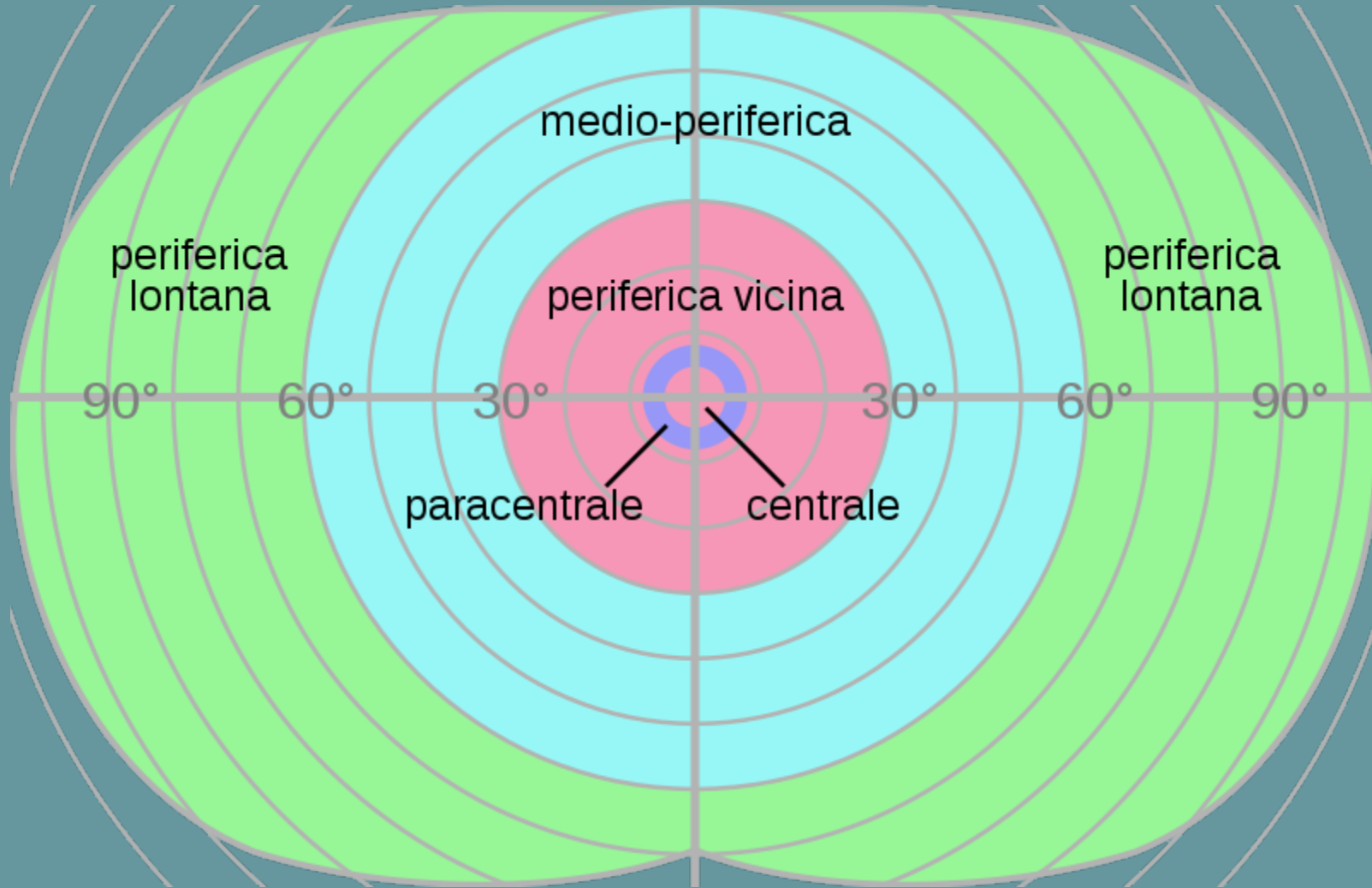
Meccanismo della visione e dei colori



Occhio e visione

Meccanismo della visione e dei colori





Occhio e visione

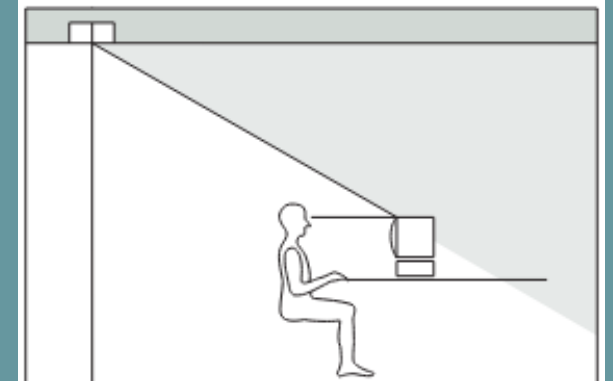
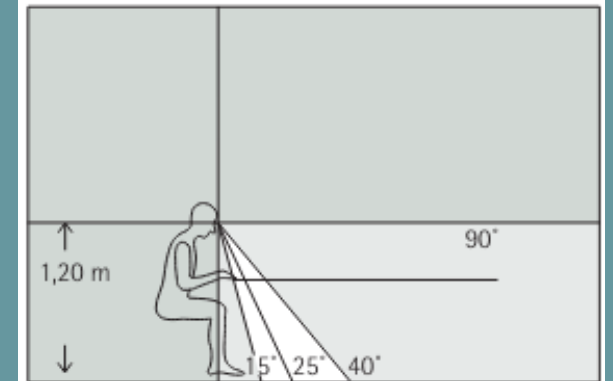
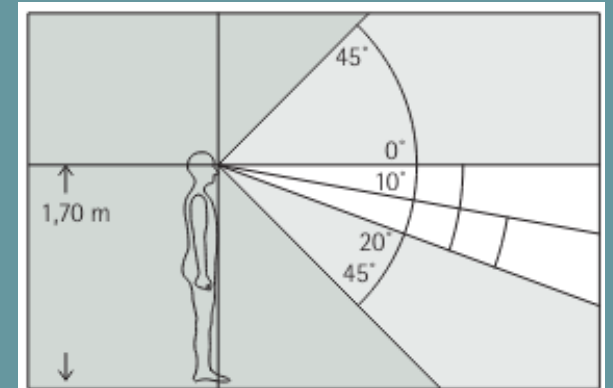
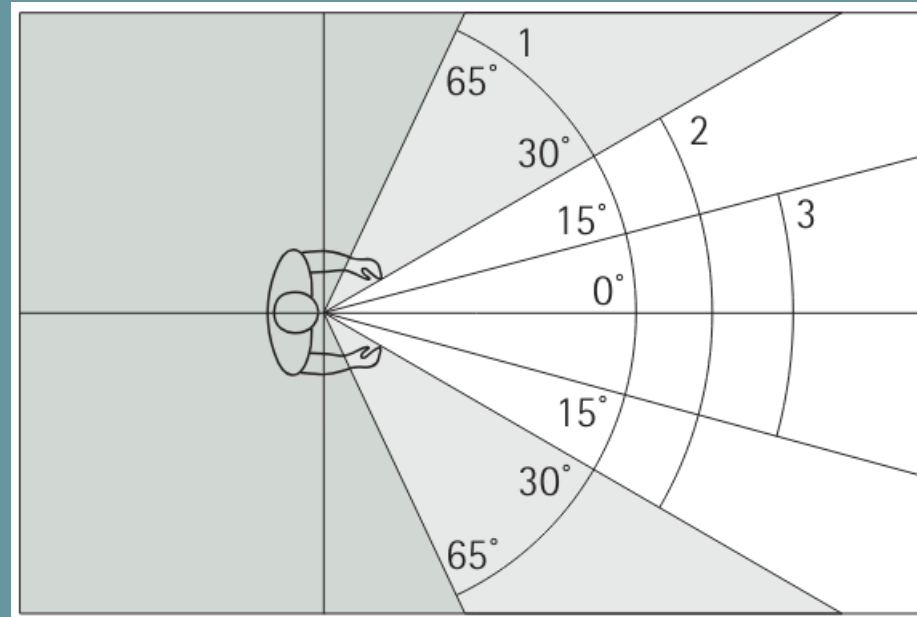
Meccanismo della visione e dei colori

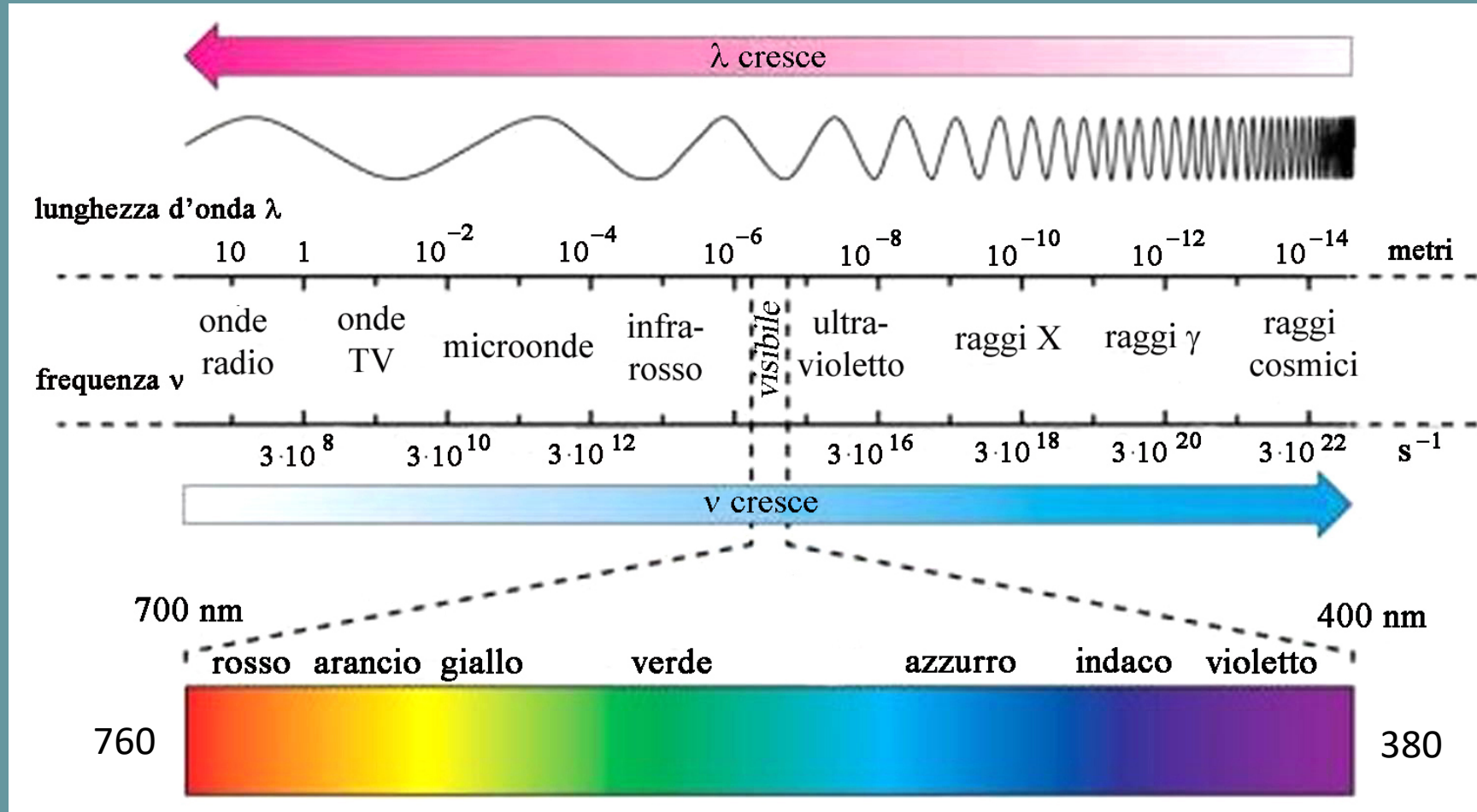
Il campo visivo: varia in base alla specifica attività

Ogni attività visiva ha un suo specifico campo di interesse

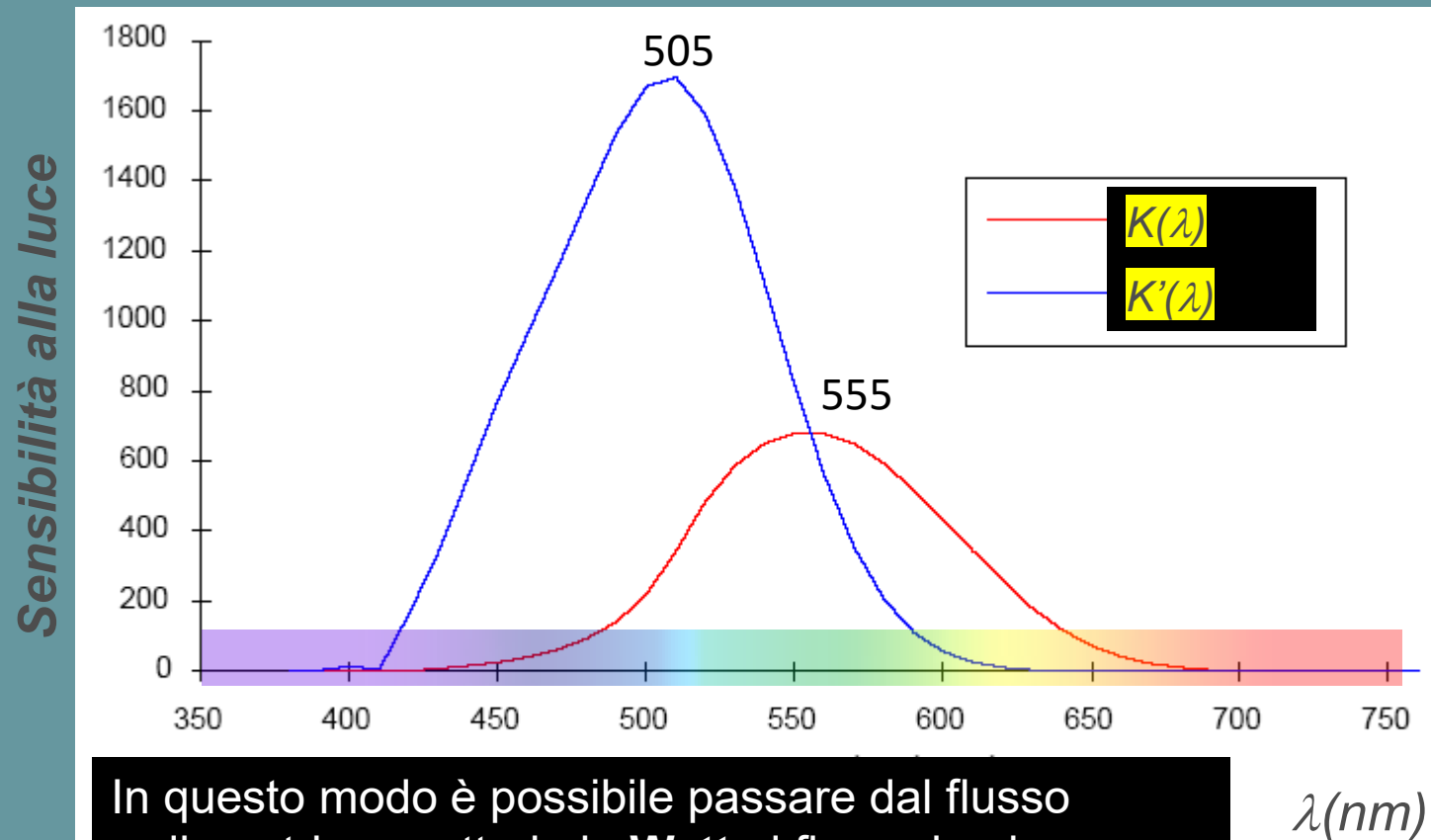
Il cervello limita il campo di percezione alle cose salienti relativamente allo specifico compito visivo in svolgimento

Guidatore, pedone, operatore di videoterminale, ciascuno ha il proprio campo di vista percettivo





Sensibilità allo stimolo luminoso in condizioni scotopiche e fotopiche



FOTOPICA $V(\lambda)$ diurna
picco a 555 nm: $K = 683 \text{ lm/W}$

SCOTOPICA $V'(\lambda)$ notturna
picco a 505 nm: $K = 1702 \text{ lm/W}$

In questo modo è possibile passare dal flusso radiometrico spettrale in **Watt** al flusso luminoso spettrale in **lumen**.....lo vedremo più avanti.

$\lambda(\text{nm})$

Occhio e visione

Meccanismo della visione e dei colori

Fattore di visibilità spettrale dell'occhio:

Fotopica (alti livelli di illuminazione)

Scotopica (bassi livelli di illuminazione)

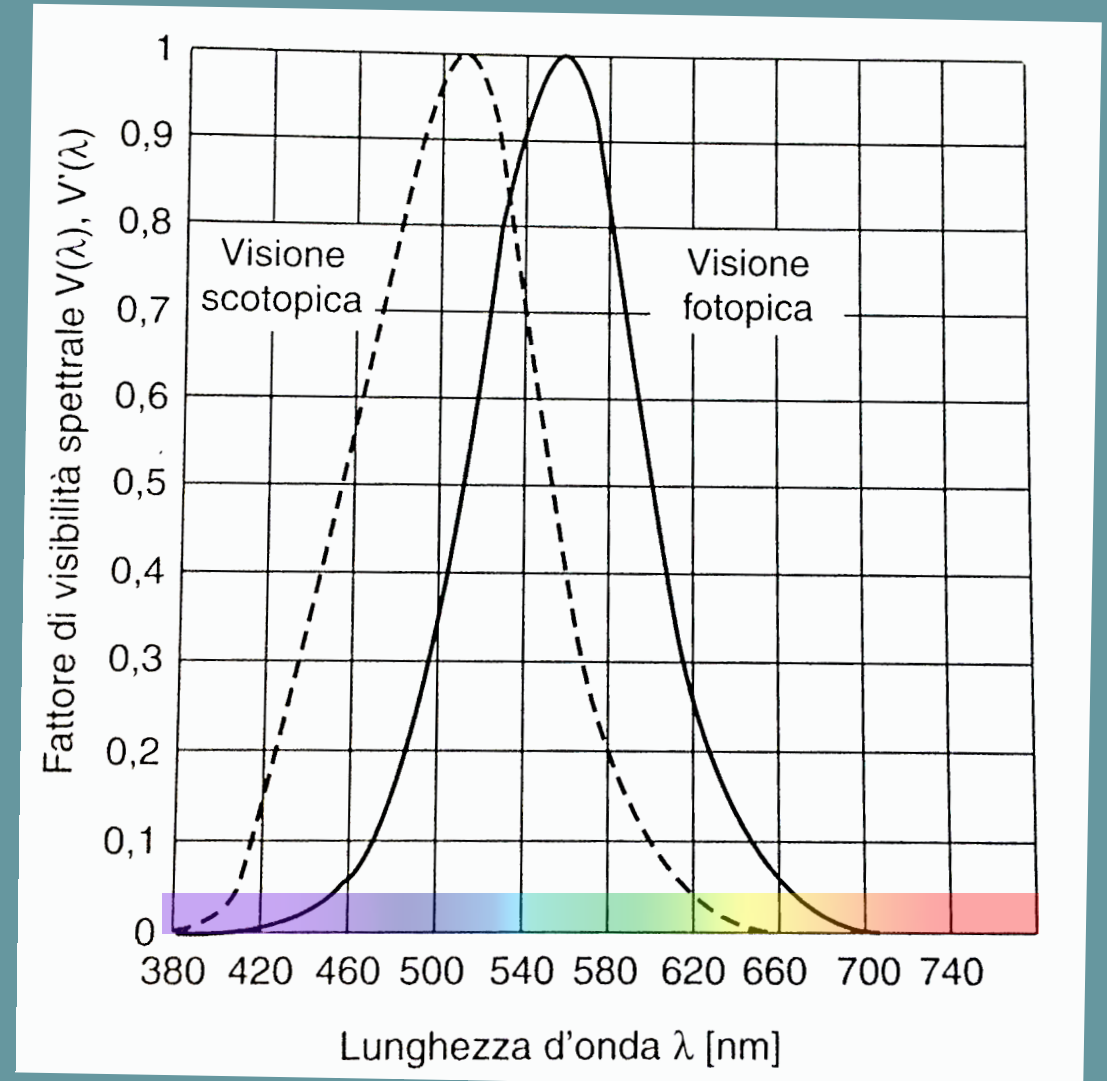
$V_{\max} = 1$ a $\lambda = 555$ nm

**Visione dei colori (diurna)
(coni + bastoncelli)**

$V'_{\max} = 1$ a $\lambda = 507$ nm

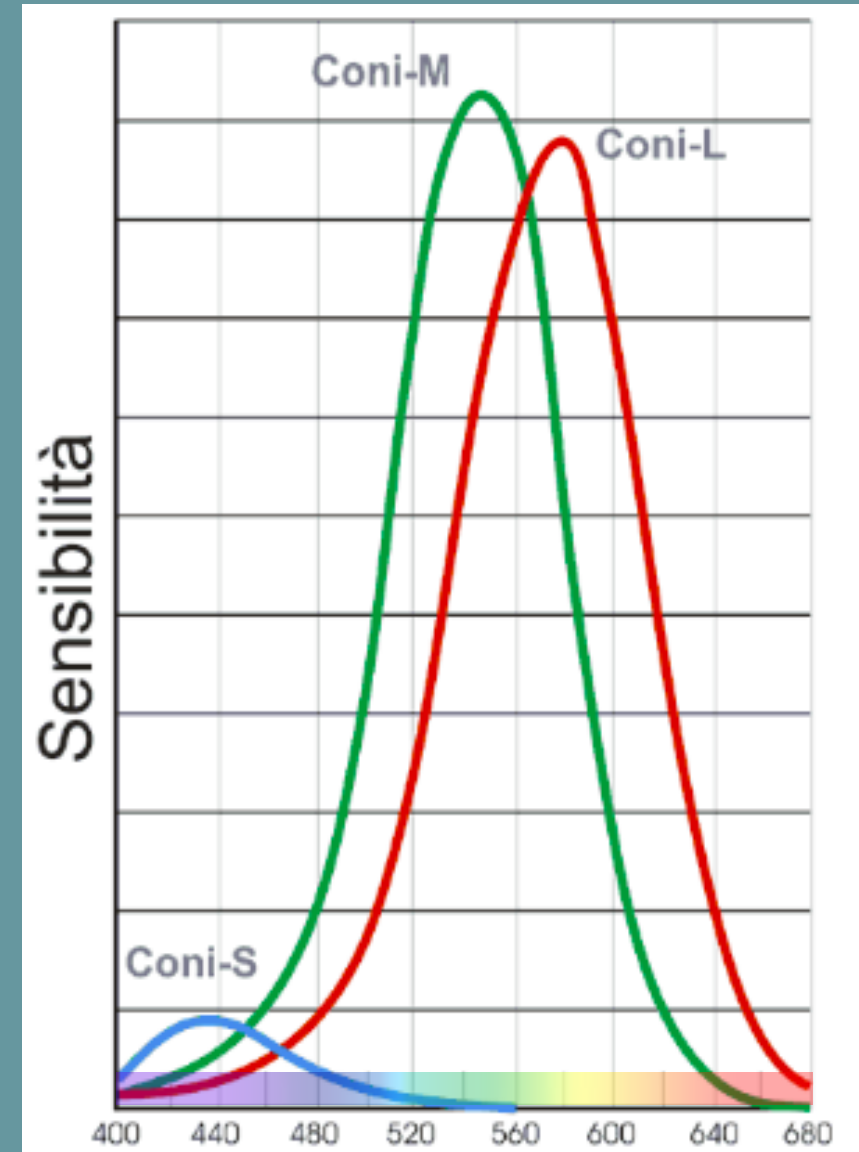
**Visione monocromatica (notturna)
(solo bastoncelli)**

effetto Purkinje



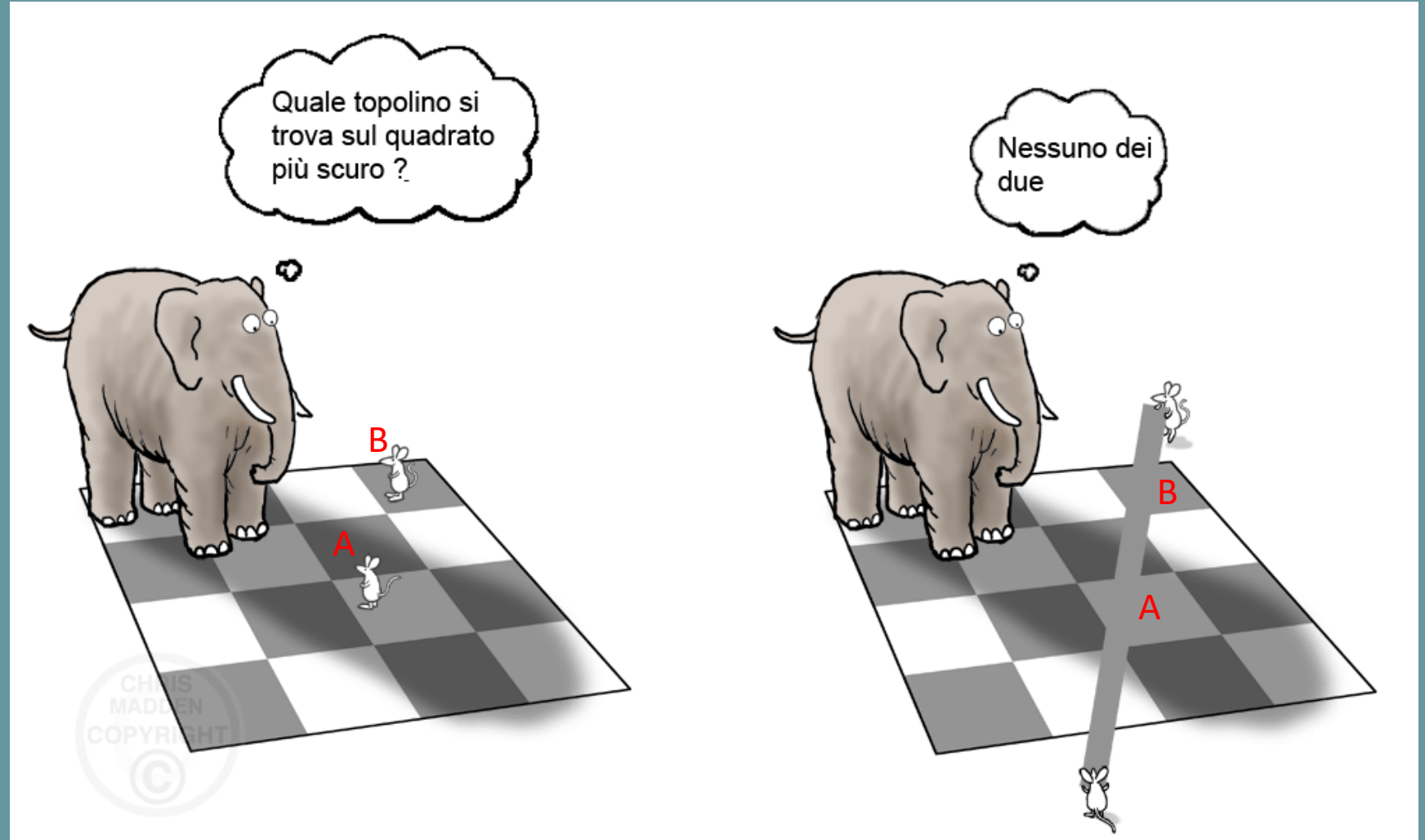
Sensibilità allo stimolo luminoso dei coni in condizioni fotopiche:

La sensazione di colore è legata ai rapporti delle attività neurali dovute ai tre fotopigmenti: ad esempio un raggio luminoso monocromatico della lunghezza d'onda di 450 nm produce una risposta forte dal fotopigmento "*blu*", una risposta più debole dal "*verde*" ed una più debole ancora dal "*rosso*". Inoltre i diversi tipi di coni non sono distribuiti uniformemente: il 60% circa dei coni contiene il pigmento "*rosso*", mentre il 30% contiene il "*verde*" e solo il 10% contiene il pigmento "*blu*".



Funzione interpretativa del cervello

Tra la luce e la sensazione visiva c'è la funzione fondamentale interpretativa del cervello.

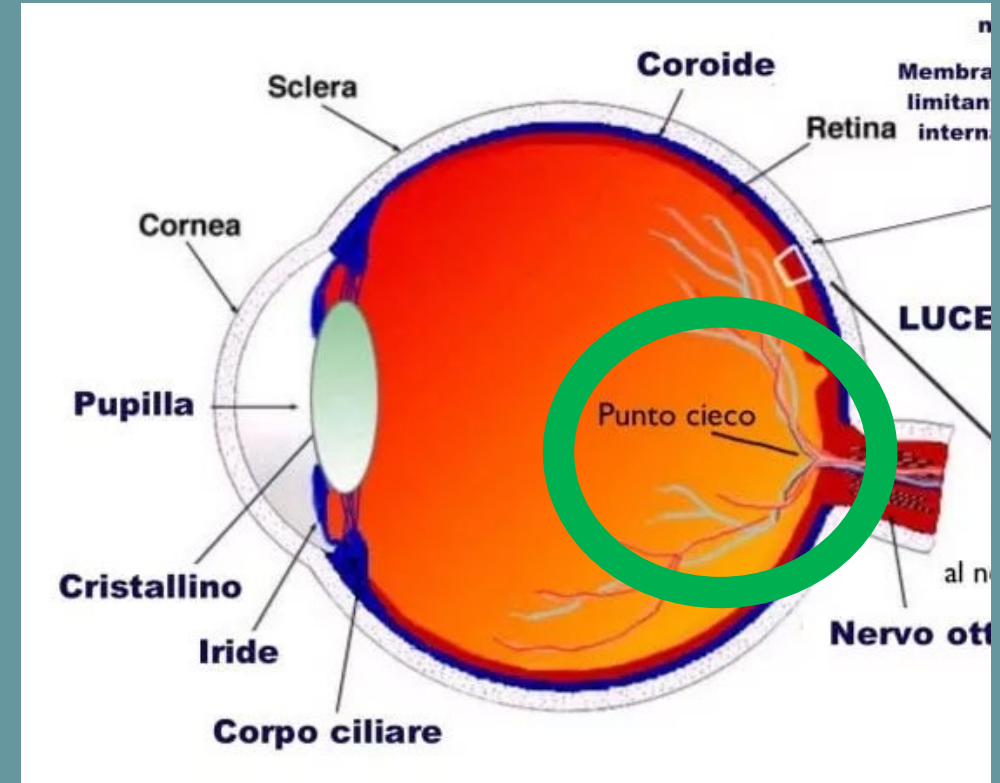


Occhio e visione

Meccanismo della visione e dei colori

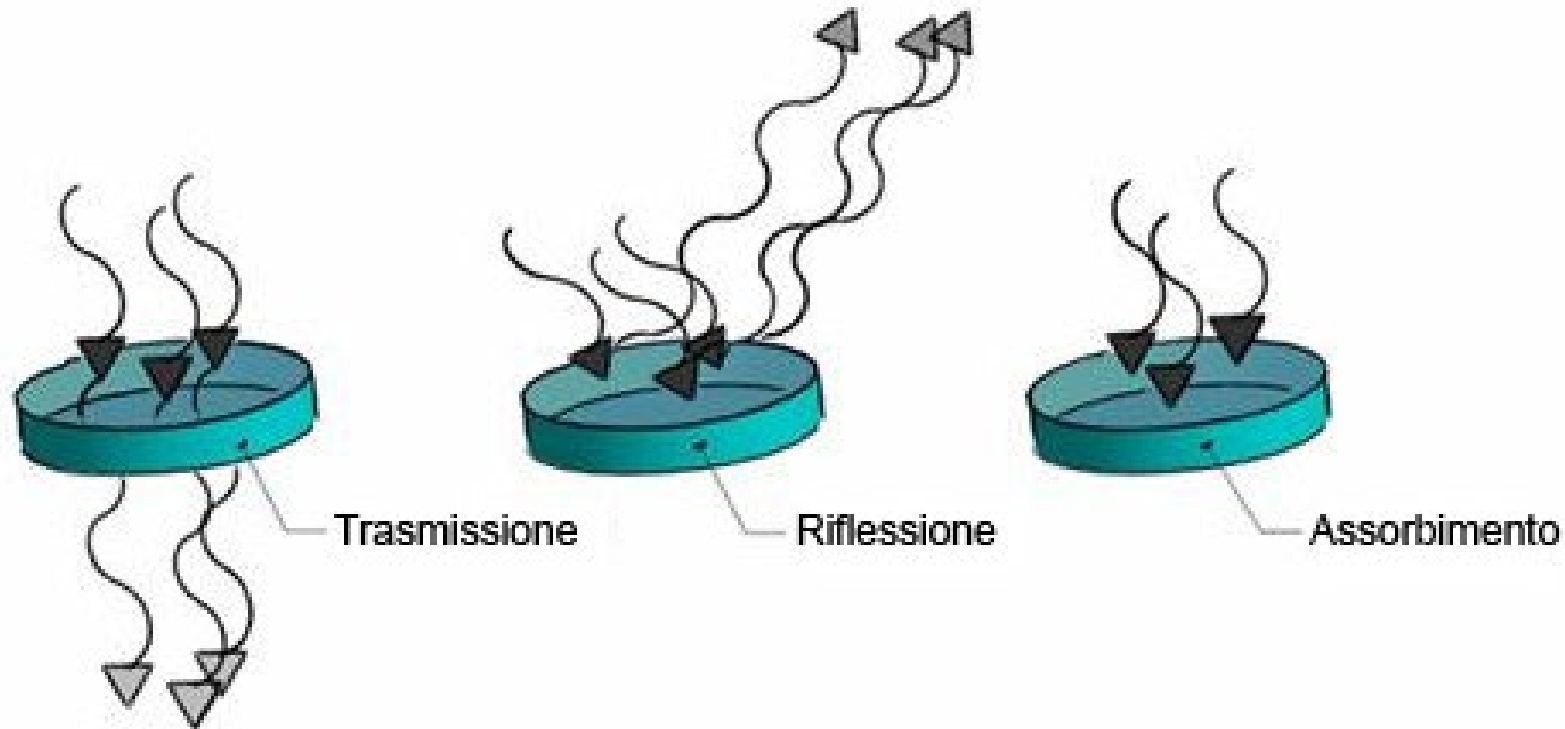
Funzione interpretativa del cervello

Tra la luce e la sensazione visiva c'è la funzione fondamentale interpretativa del cervello.

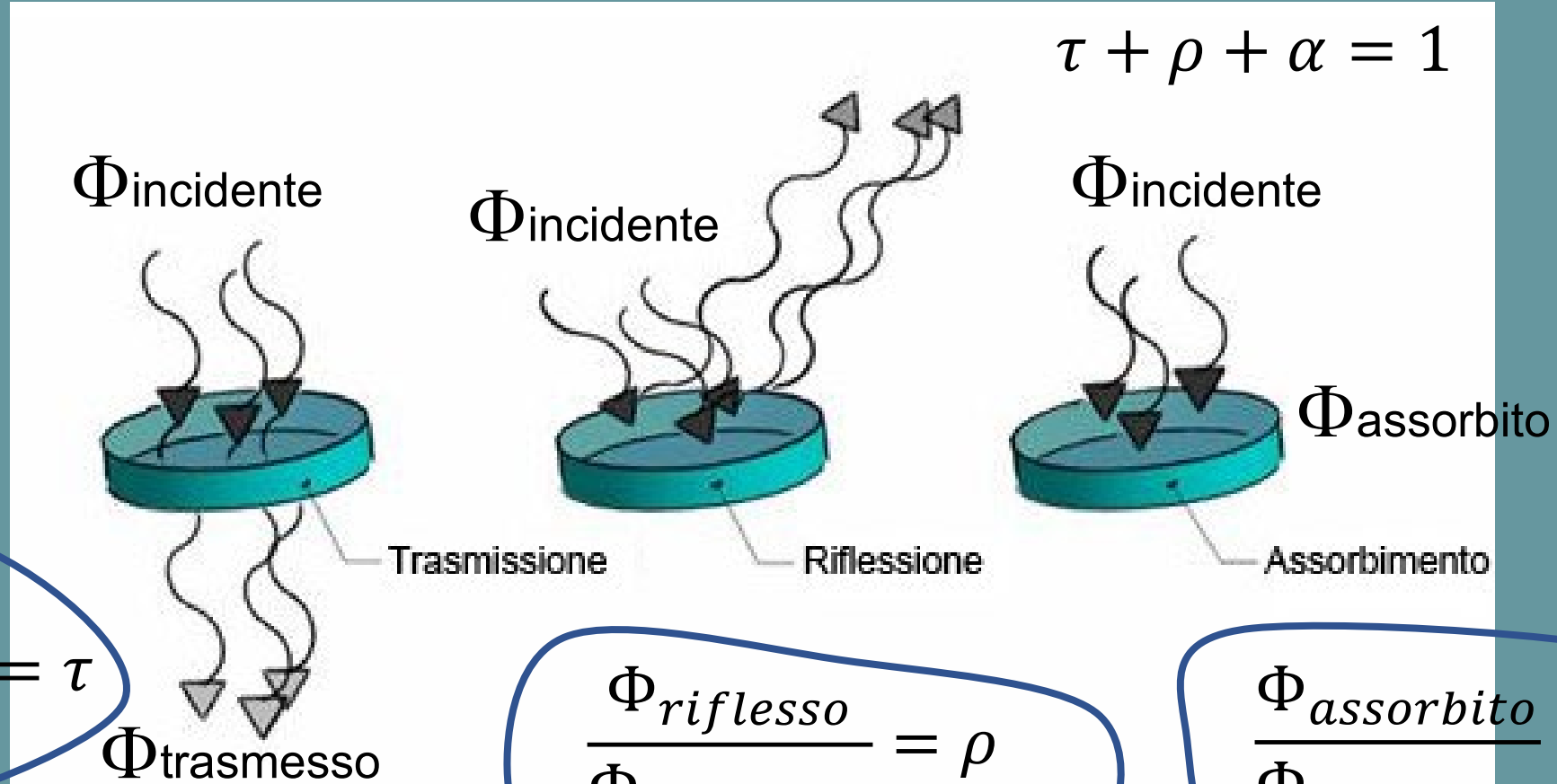


Nel caso del naso, il cervello lo ignora per cui non lo vediamo, nel caso del punto cieco, il cervello compensa, ricostruendo l'immagine dove non ci sono recettori in corrispondenza del nervo ottico.

I tre fenomeni fisici dell'interazione luce-materia



I fattori di trasmissione riflessione
assorbimento

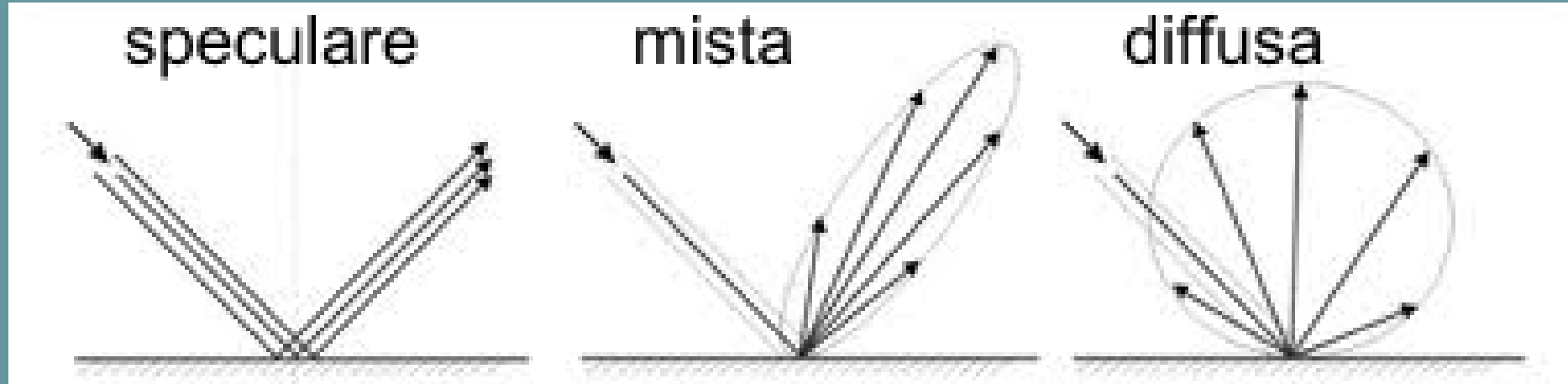


$$\frac{\Phi_{\text{trasmesso}}}{\Phi_{\text{incidente}}} = \tau$$

$$\frac{\Phi_{\text{riflesso}}}{\Phi_{\text{incidente}}} = \rho$$

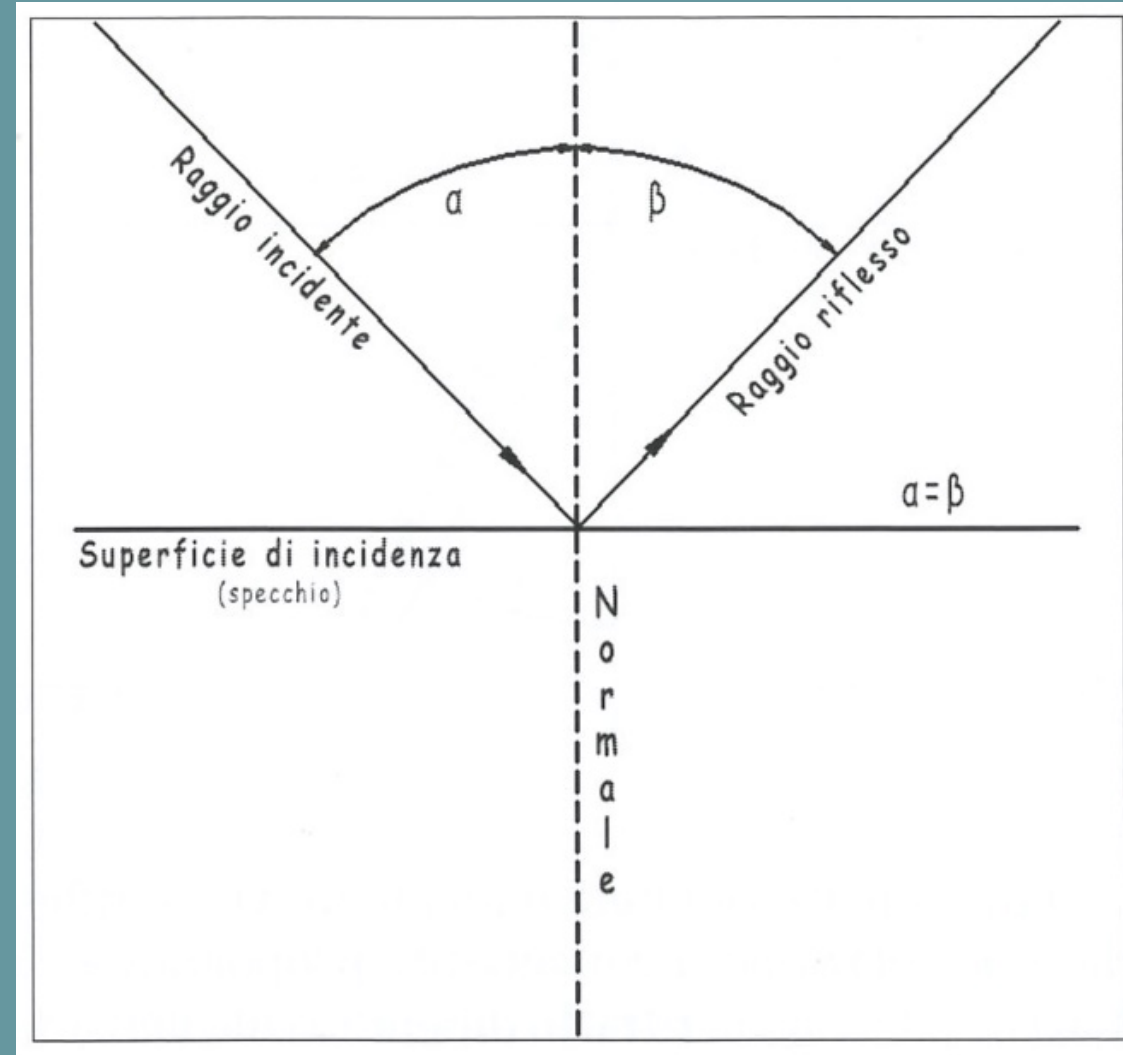
$$\frac{\Phi_{\text{assorbito}}}{\Phi_{\text{incidente}}} = \alpha$$

Riflessione

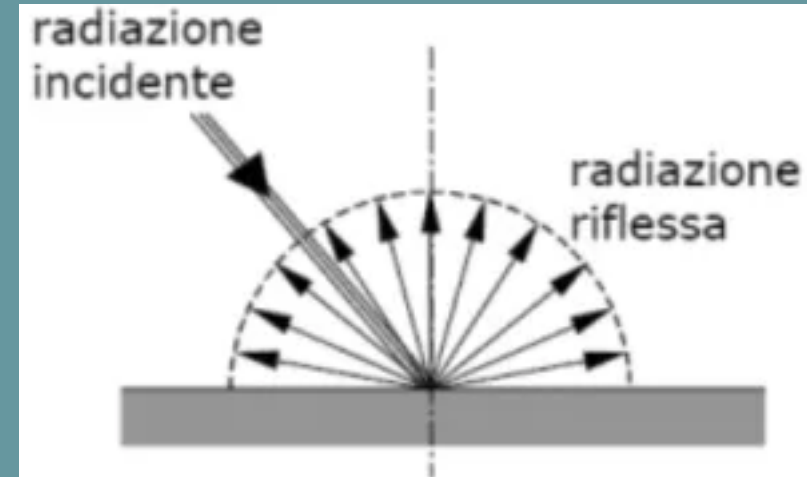
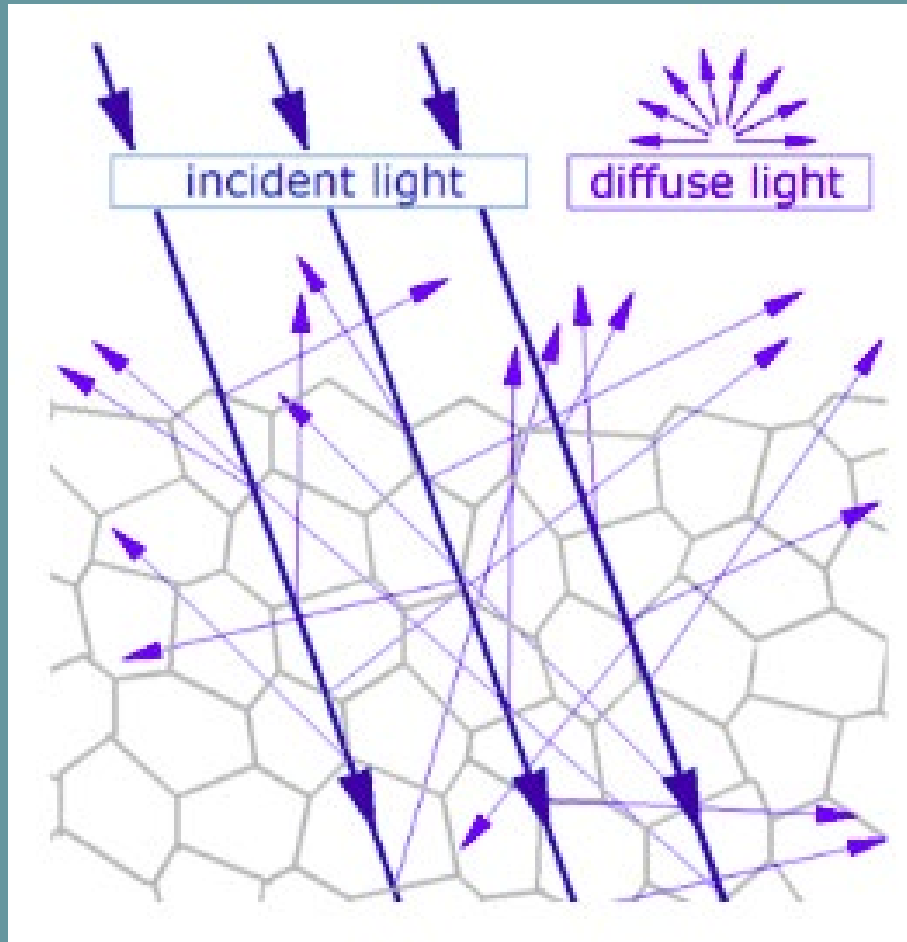


Riflessione speculare

Un fascio di luce che incontra uno specchio si **riflette** con un angolo pari a quello incidente.



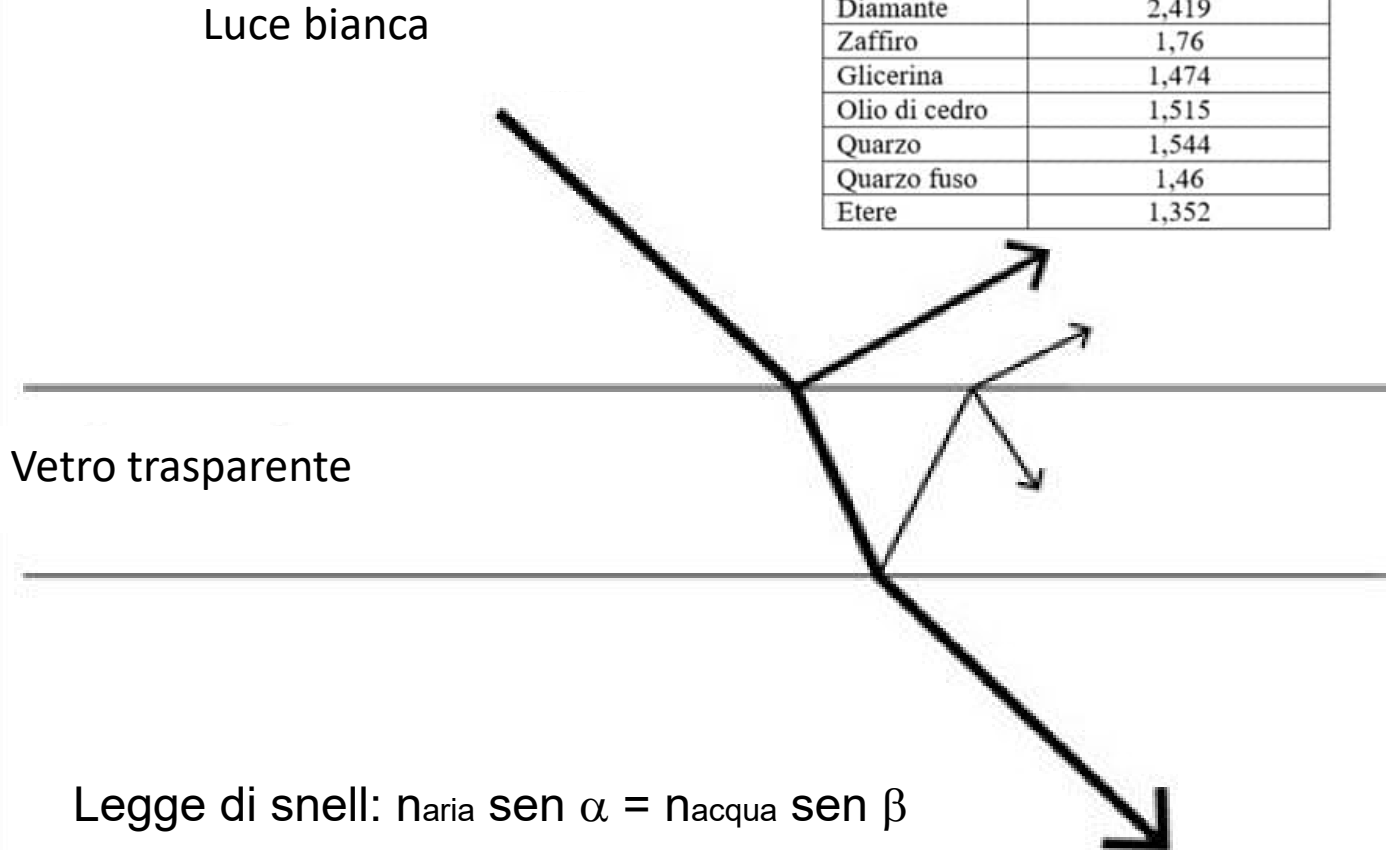
Riflessione lambertiana



Una superficie si definisce **lambertiana** quando riflette la luce uniformemente in tutte le direzioni del semispazio. Affinché ciò accada, l'intensità luminosa della superficie dovrà variare con la legge del coseno e di conseguenza la luminanza sarà costante in tutte le direzioni del semispazio.

Occhio e visione

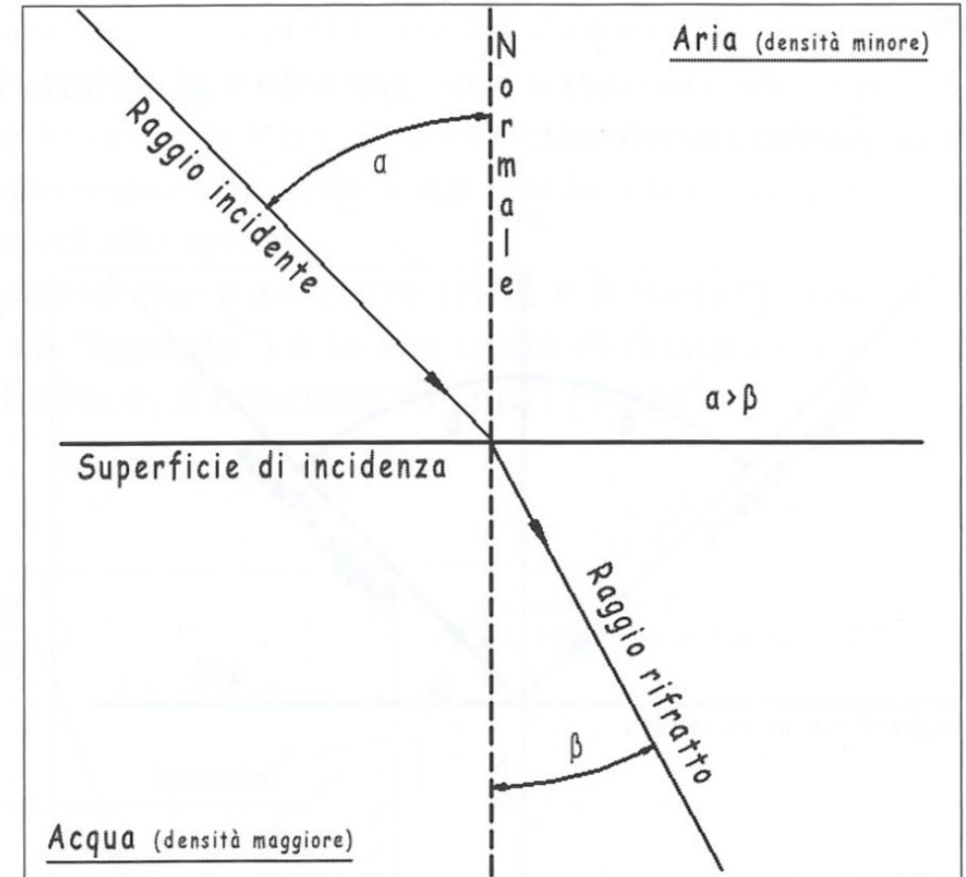
Trasmissione



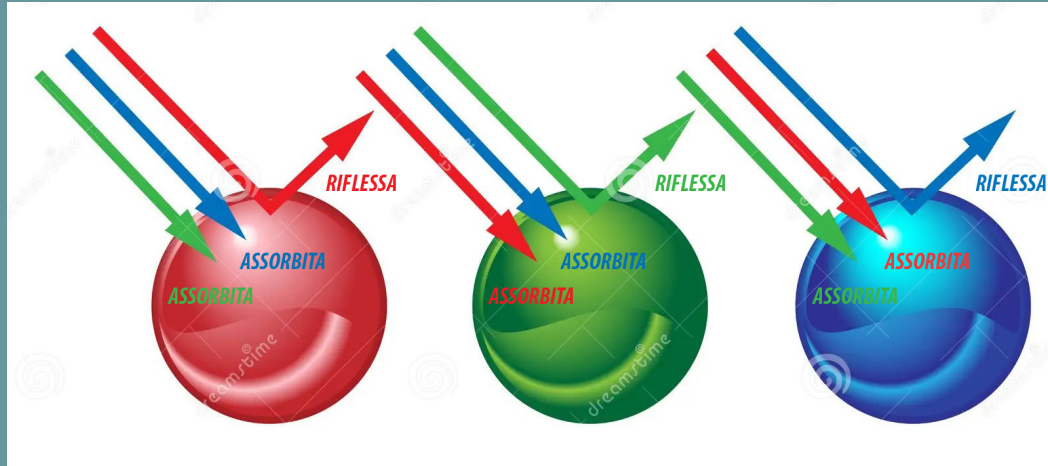
Mezzo	Indice di rifrazione
Aria	1,000294
Idrogeno	1,000139
Ossigeno	1,000272
Acqua	1,33
Alcol etilico	1,36
NaCl	1,53
Vetro Flint	1,579
Vetro Crown	1,516
Diamante	2,419
Zaffiro	1,76
Glicerina	1,474
Olio di cedro	1,515
Quarzo	1,544
Quarzo fuso	1,46
Etere	1,352

Caratteristiche ottiche dei materiali

L'indice di rifrazione del mezzo è dato dal rapporto tra la velocità c_0 (nel vuoto) e la velocità c_m (nel mezzo) : $n = c_0 / c_m$



Assorbimento



L'effetto di una superficie capace di assorbire il 100% della luce incidente è la «sensazione del nulla»



Grandezze fotometriche

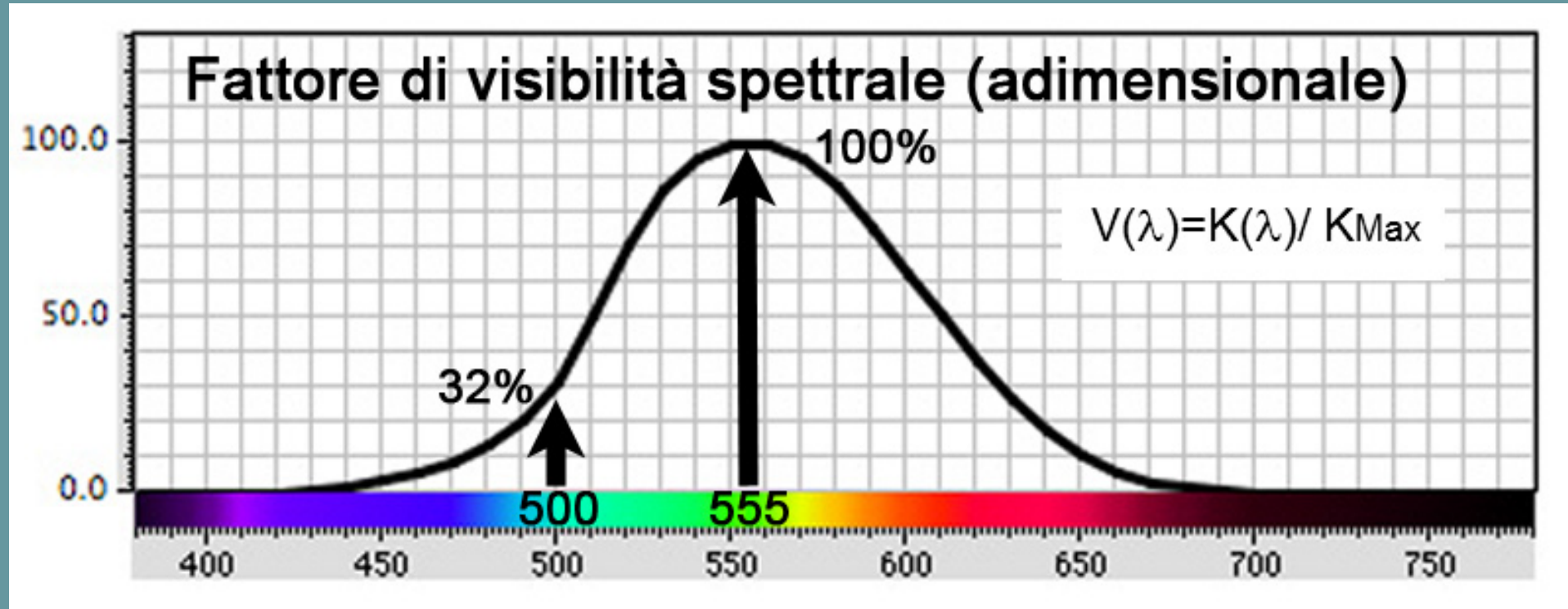
Un certo numero di misure soggettive hanno permesso di definire una funzione di sensibilità media dell'occhio umano a radiazioni con differenti lunghezze d'onda, ma di eguale energia.

Tale funzione è il **Coefficiente di visibilità** $K(\lambda)$ che varia per ciascuna lunghezza d'onda dell'intervallo di visibilità 380 – 760 nm. Esiste quindi un coefficiente di visibilità per ciascuna lunghezza d'onda dell'intervallo di visibilità: $K(\lambda = 380 \text{ nm}) \dots K(\lambda = 760 \text{ nm})$

Il valore massimo assunto dal **Coefficiente di visibilità** in visione fotopica è stato ottenuto per $K(\lambda = 555 \text{ nm})$ ed è $K_{\text{Max}} = 683 \text{ lumen/watt}$ dove il lumen è l'unità di misura del flusso luminoso (energia luminosa che attraversa l'unità di superficie nell'unità di tempo) mentre il Watt è l'unità di misura del flusso energetico.

Per comodità si definisce infine un **Fattore di visibilità** $V(\lambda)$, chiamato anche Fattore spettrale di visibilità, tramite la relazione:

$$V(\lambda) = K(\lambda) / K_{\text{Max}}$$



Ad un flusso radiativo $\Phi_e = 20 \text{ W}$ monocromatico a 555 nm corrispondono

$$\Phi_v = K_{max} \cdot V(\lambda_{555}) \cdot \Phi_e = 683 \cdot 1 \cdot 20 = 13660 \text{ lm}$$

Se la lunghezza d'onda è 500 nm, sempre ad un flusso radiativo di 20 W corrisponde:

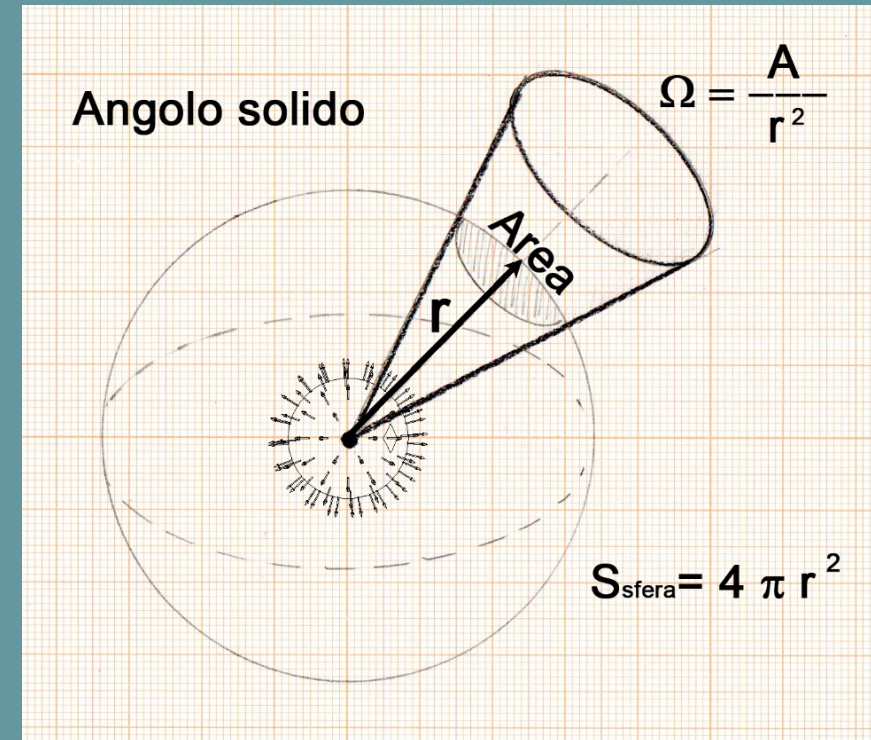
$$\Phi_v = K_{max} \cdot V(\lambda_{500}) \cdot \Phi_e = 683 \cdot 0,32 \cdot 20 = 4371,2 \text{ lm}$$

Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

L'**angolo solido** (Ω) serve a suddividere lo spazio tridimensionale che si estende radialmente intorno a un punto in porzioni coniche con vertice nel punto stesso. Se si assume il punto come centro di una sfera di raggio r qualsiasi, l'angolo solido si definisce come il rapporto tra l'area A intercettata sulla superficie della sfera dal cono con vertice al centro della sfera e il quadrato del raggio della sfera, la sua unità di misura è lo **steradiano** (sr).

Quando il cono raggiunge la massima dimensione possibile, intercetta l'intera superficie della sfera, $S_{\text{sfera}} = 4 \pi r^2$, dividendo per il quadrato del raggio della sfera si ottiene 4π sr che rappresenta pertanto tutto lo spazio tridimensionale intorno al punto.

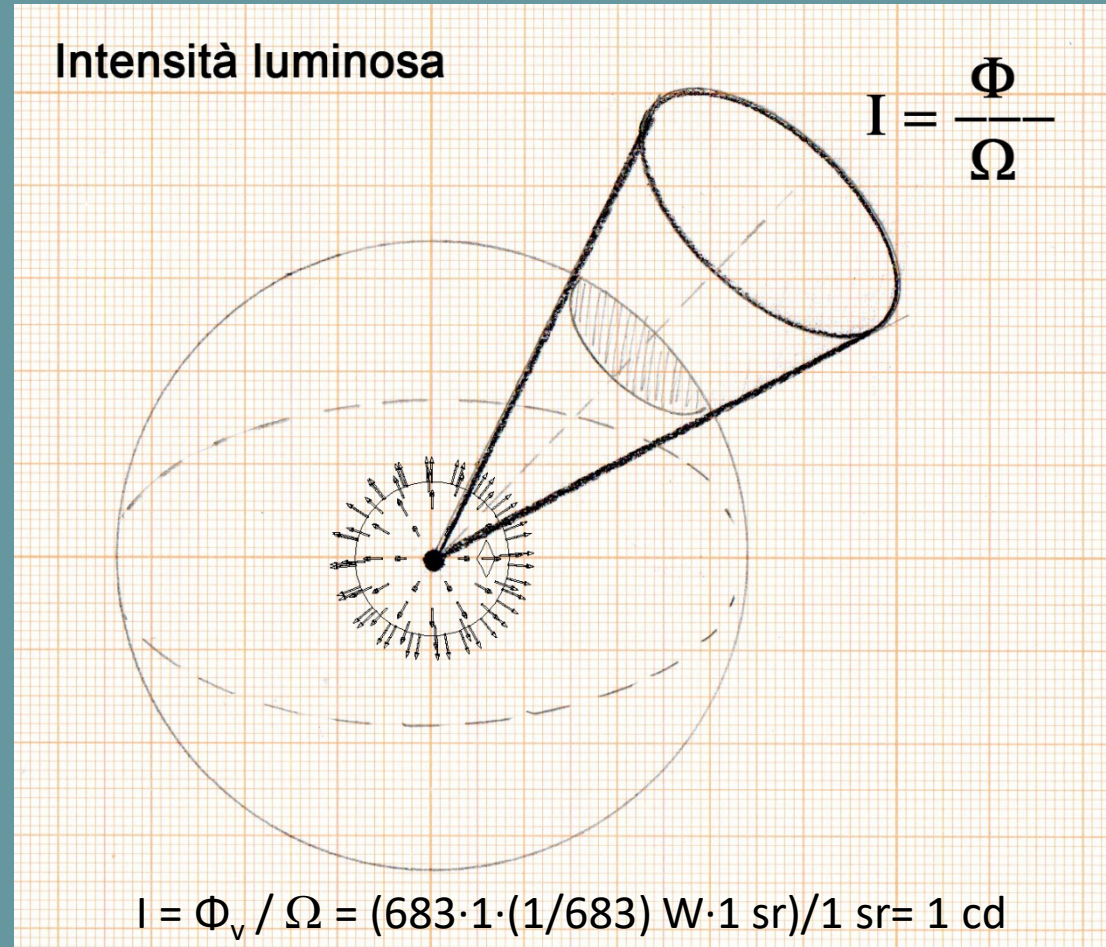


Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

1948: l'intensità luminosa di $1/60$ di cm^2 del corpo nero alla temperatura di solidificazione del platino (2042 K), misurata perpendicolarmente alla superficie radiante in aria a pressione normale.

1979: Intensità luminosa: corrisponde ad un **flusso radiativo** per unità di steradiano in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di lunghezza d'onda **555 nm (5.40 10¹⁴ Hz)**, pari a **1/683 W/sr**

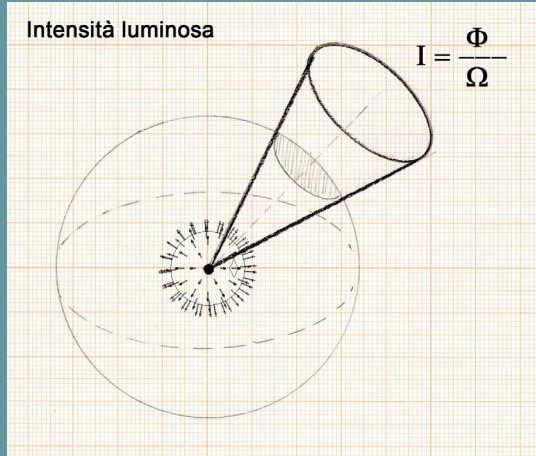


L'**intensità luminosa** (**I**) di una sorgente puntiforme è il rapporto tra il flusso luminoso emesso nell'angolo solido e l'angolo solido stesso, la sua unità di misura è la **candela (cd)**.

Ad un flusso radiativo $\Phi_e = 1/683 \text{ W}$ monocromatico a 555 nm corrispondono
 $\Phi_v = K_{\text{max}} \cdot V(\lambda_{555}) \cdot \Phi_e = 683 \cdot 1 \cdot (1/683) = 1 \text{ lm}$

Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche



Grandezze fotometriche

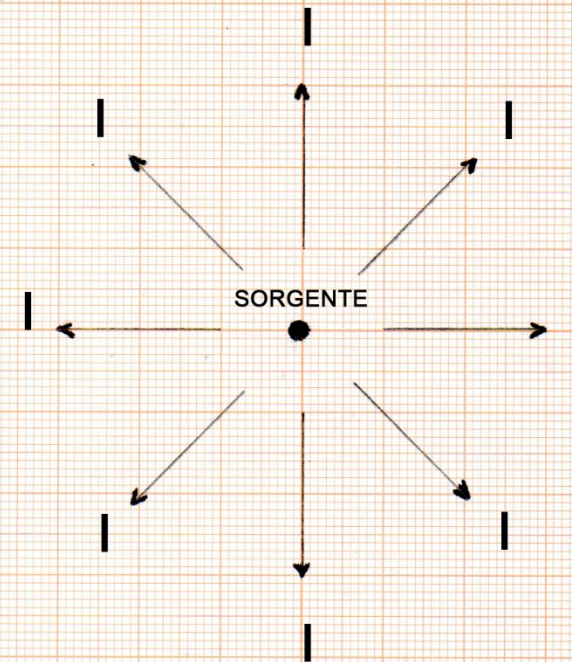
Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

Una sorgente si dice **isotropa** quando emette un flusso luminoso con la stessa intensità in tutte le direzioni dello spazio.

Una sorgente **non isotropa** invece irradia il flusso luminoso con intensità diversa nelle diverse direzioni dello spazio tridimensionale.

La sorgente isotropa è una condizione ideale utilizzata in fisica mentre le sorgenti reali sono generalmente non isotrope.

Sorgente isotropa



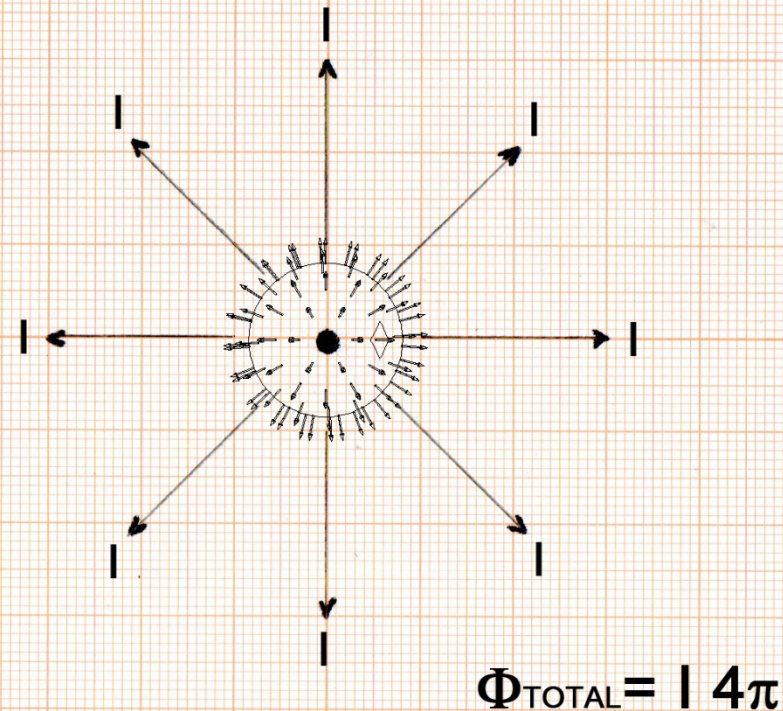
Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

Il **flusso luminoso** (Φ) generato da una sorgente è la quantità di energia luminosa emessa nell'unità di tempo e la sua unità di misura è il **lumen** (lm).

Nel caso di una **sorgente isotropa**, con intensità luminosa I in tutte le direzioni dello spazio, il flusso totale emesso dalla sorgente è dato dall'intensità I per l'angolo solido 4π sr, corrispondente a tutto lo spazio intorno alla sorgente.

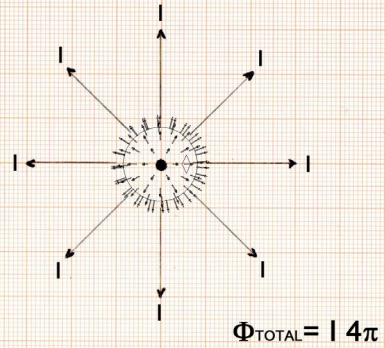
Flusso luminoso di una sorgente isotropa



Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

Flusso luminoso di una sorgente isotropa

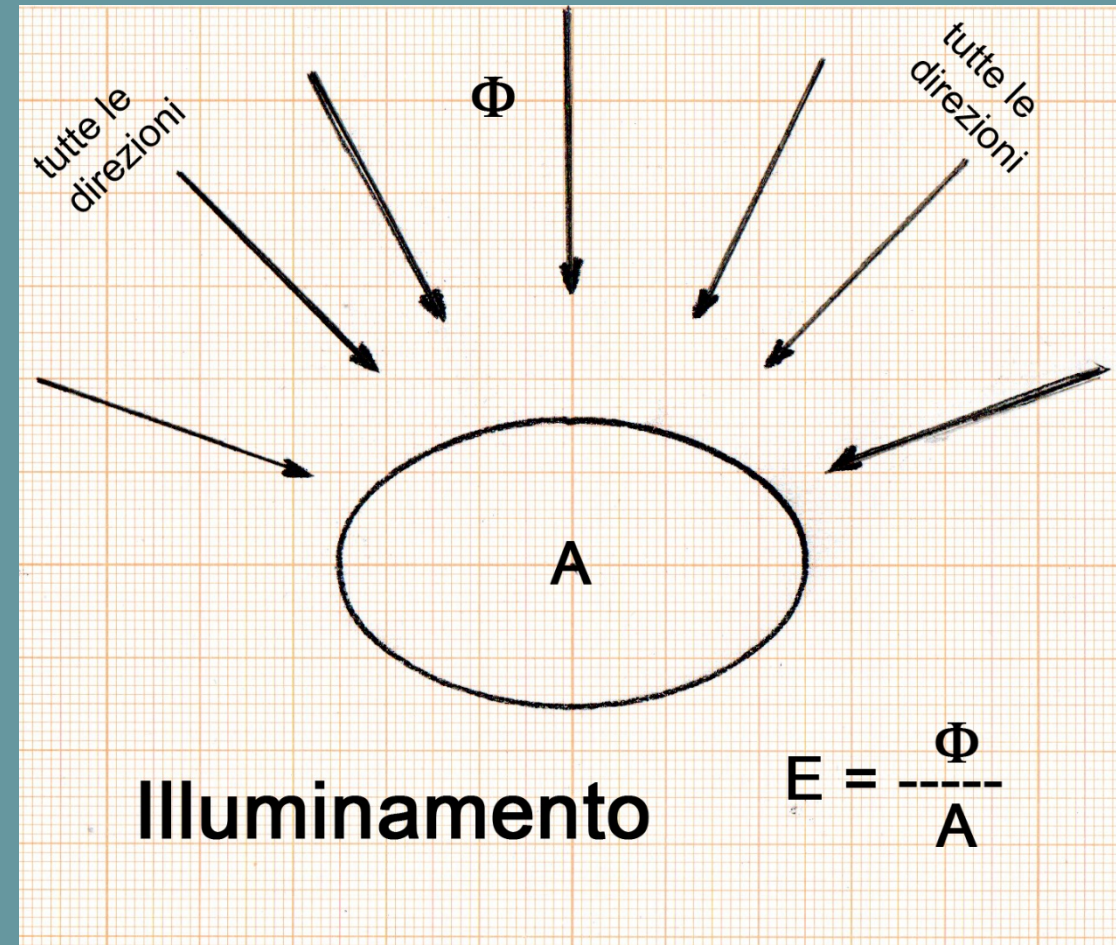


Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

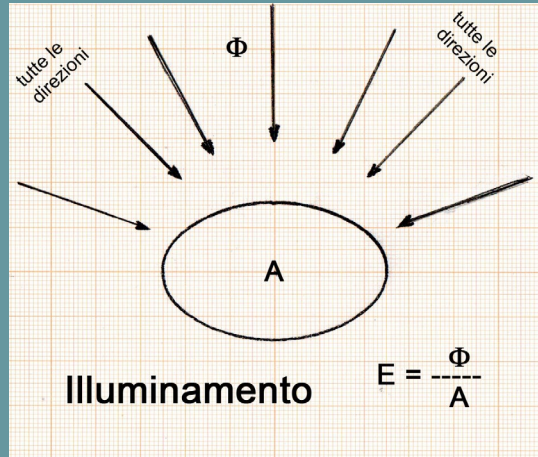
L'**illuminamento** (E) di una superficie A (ricevente) è il rapporto tra il flusso luminoso che la investe da tutte le direzioni del semispazio al di sopra della superficie e la superficie stessa, la sua unità di misura è il **lux** (lx).

I lux sono una unità di misura derivata dal rapporto tra i **lumen** (unità di misura del flusso luminoso) e i m^2 (unità di misura dell'estensione superficiale).



Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

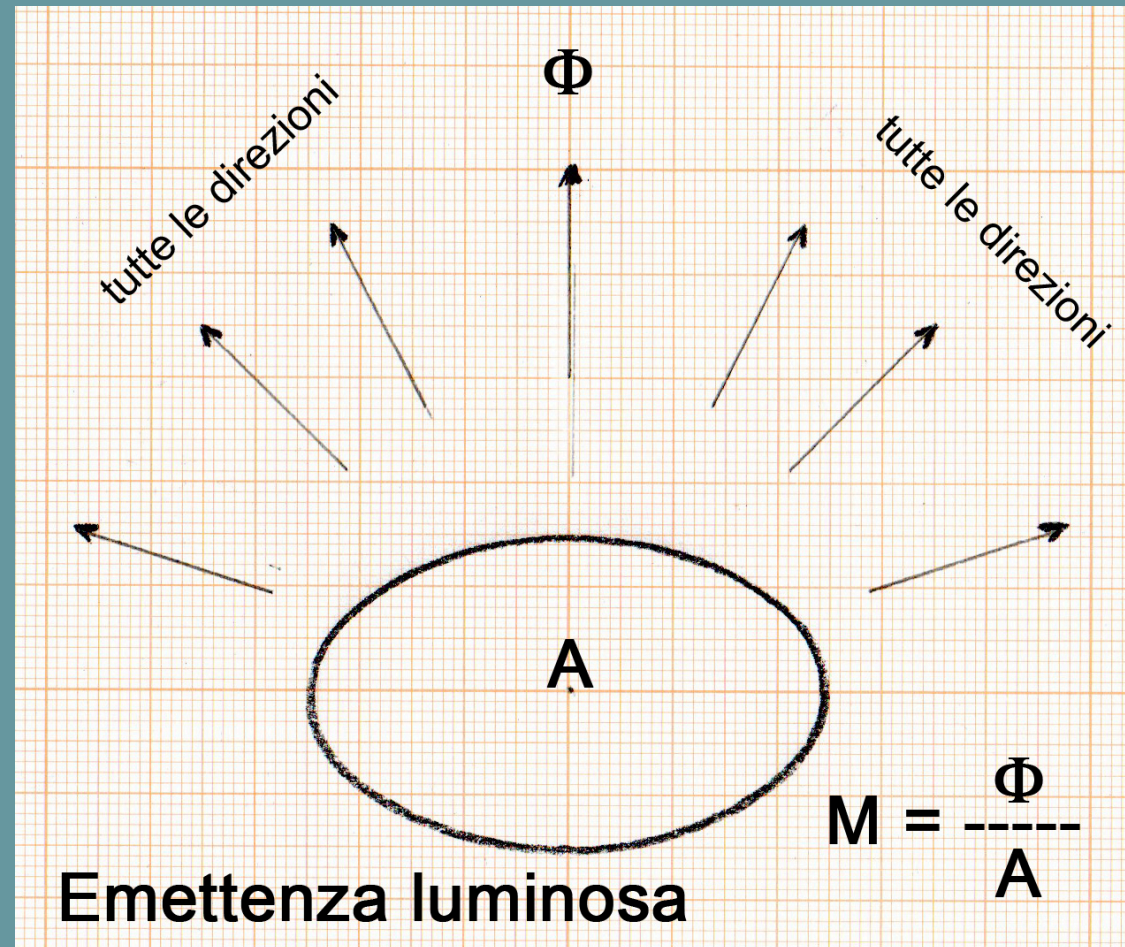


Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

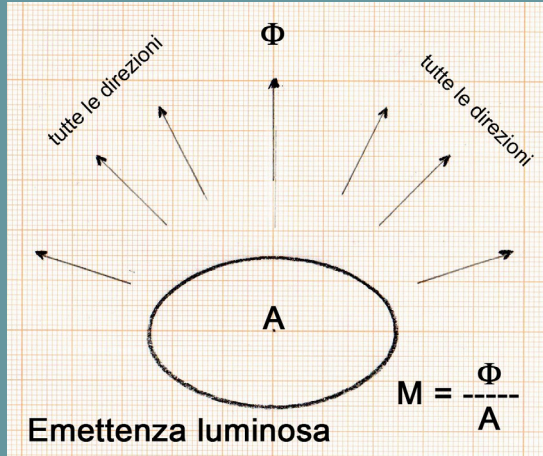
L'**emittenza luminosa** (**M**) di una superficie A (emettente) è il rapporto tra il flusso luminoso che da essa parte verso tutte le direzioni del semispazio al di sopra della superficie e la superficie stessa, la sua unità di misura è il **lux** (**lx**).

Si tratta della stessa unità di misura dell'illuminamento. Nel caso dell'illuminamento ci si riferisce **al flusso luminoso che arriva sulla superficie**, mentre nel caso dell'emittenza luminosa, al **flusso luminoso che lascia la superficie (emesso)**.



Grandezze fotometriche

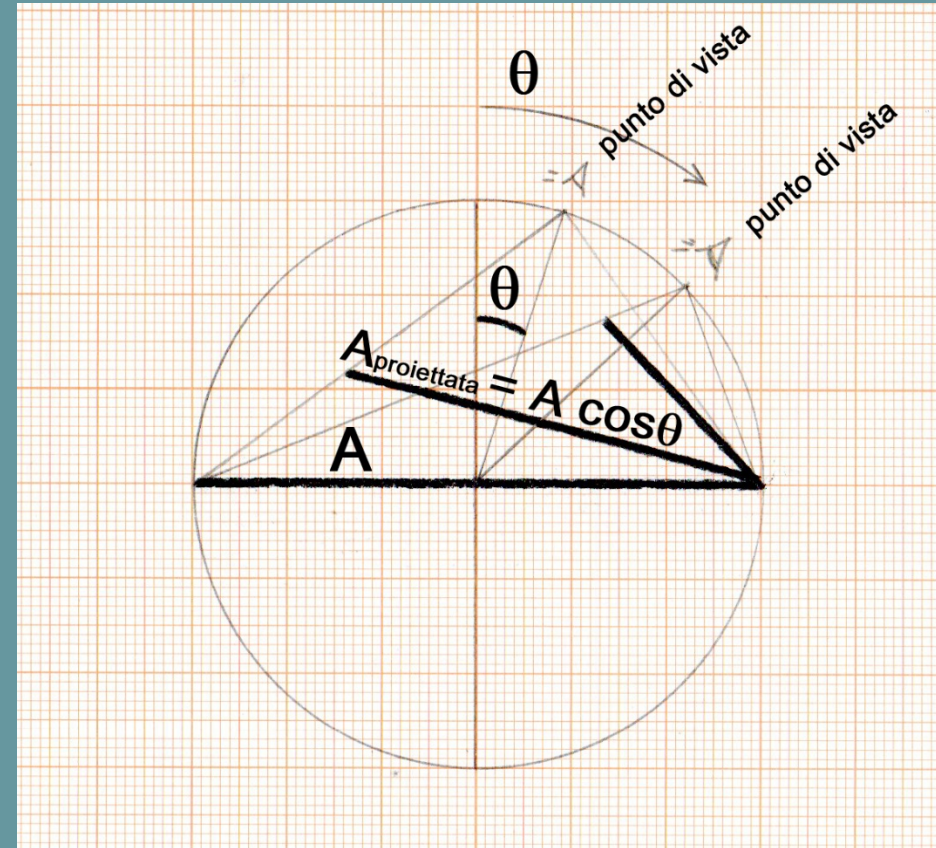
Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche



Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

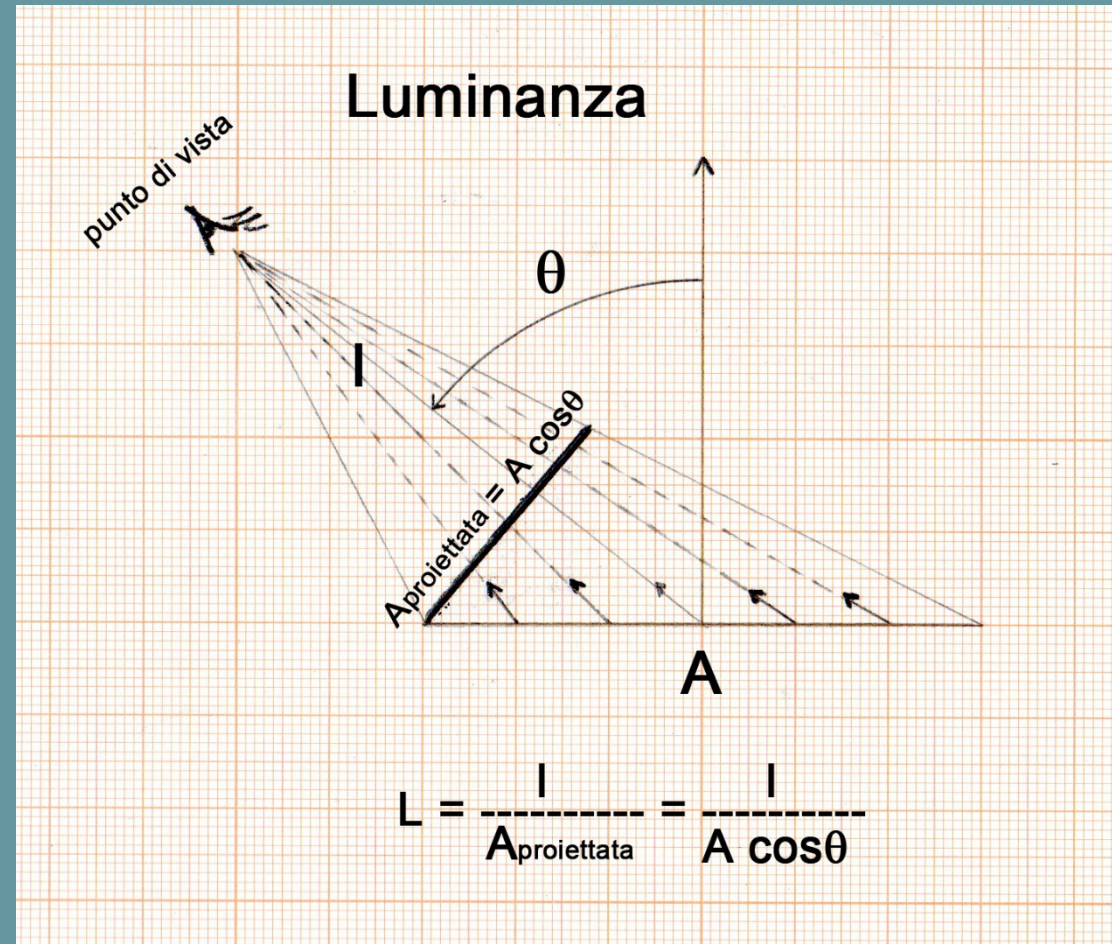
La vista perpendicolare di una certa superficie **A**, restituisce l'estensione reale della superficie. Modificando l'angolazione dell'asse di vista, la stessa superficie mostrerà un'area apparente di dimensioni inferiori rispetto alla sua estensione reale. Tale area apparente viene definita **Area proiettata** e varia con lo spostamento angolare θ dell'asse di vista, con la legge del coseno.



Grandezze fotometriche

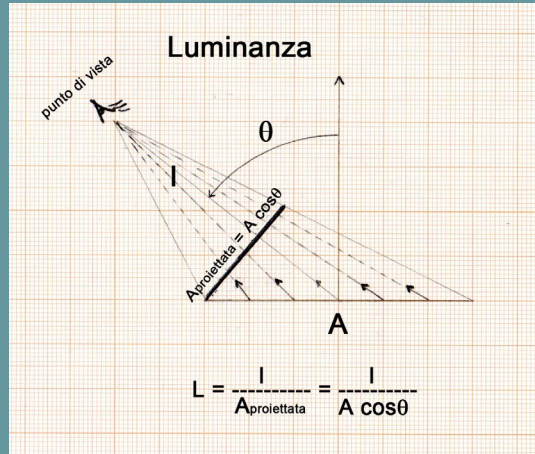
Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

La **luminanza** (L) di una superficie A (emettente) nella direzione definita da un certo punto di vista è il rapporto tra l'intensità luminosa in quella direzione e la proiezione della superficie A in quella stessa direzione, la sua unità di misura è la **candela e metro quadro** (cd/m^2).



Grandezze fotometriche

Descrizione e definizioni delle principali grandezze fotometriche

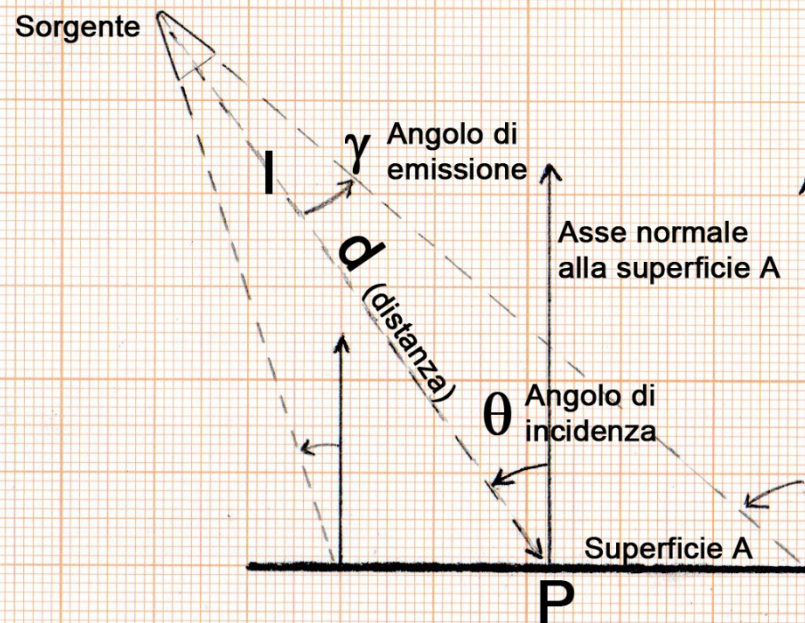


La **legge del coseno e dell'inverso del quadrato della distanza** mette in relazione **illuminamento** e **intensità luminosa**.

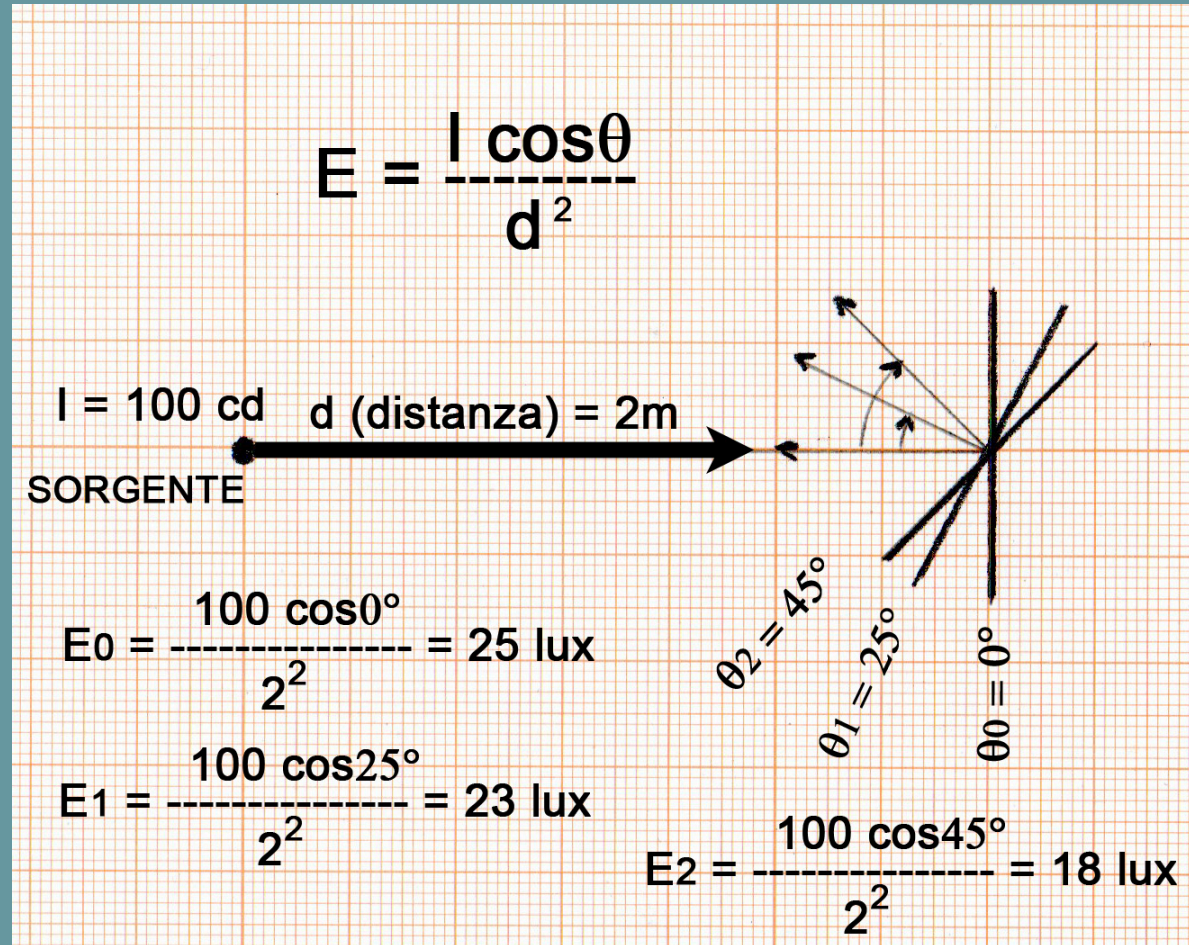
Essa afferma che l'illuminamento in un punto P di una superficie A dovuto ad una sorgente posta a distanza d dal punto P, è direttamente proporzionale all'intensità luminosa della sorgente nella direzione di P, al coseno dell'angolo di incidenza θ ed è inversamente proporzionale al quadrato della distanza d.

Legge del coseno e dell'inverso del quadrato della distanza

$$E = \frac{I \cos \theta}{d^2}$$



Calcolare l'illuminamento dovuto ad una **sorgente isotropa** la cui intensità luminosa è 100 cd, in un punto a 2 metri dalla sorgente, che giace su un piano che ha la possibilità di ruotare modificando l'angolo di incidenza θ . In corrispondenza di tre inclinazioni fissate a 0° , 25° e 45° . Gli illuminamenti risultano rispettivamente 25, 23 e 18 lux.

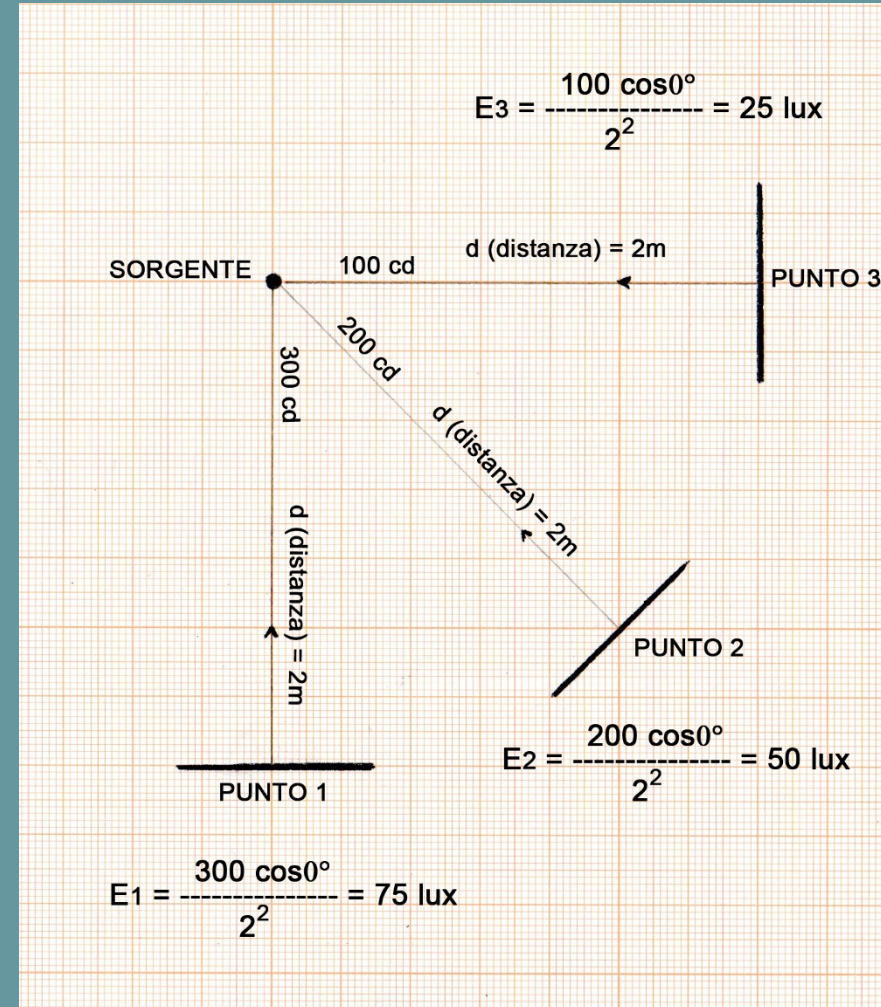


Grandezze fotometriche

Relazione tra le diverse grandezze

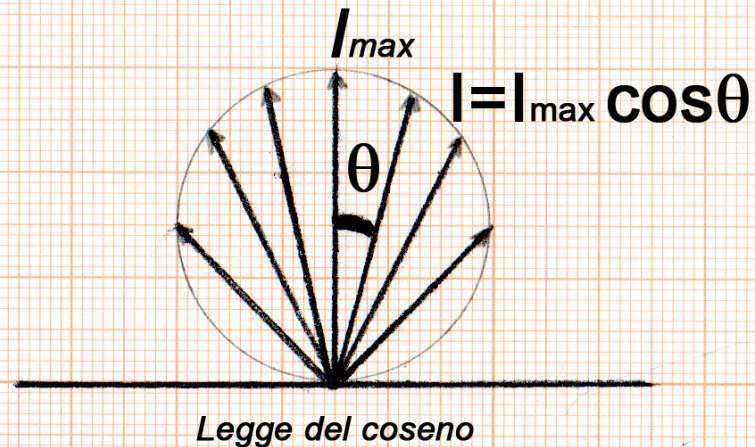
Calcolare gli illuminamenti in tre punti dello spazio 1, 2 e 3 posti tutti a 2 metri dalla una **sorgente non isotropa** la cui intensità luminosa nella direzione dei tre punti sia rispettivamente 300, 200 e 100 cd.

Se i piani di giacenza risultano tutti perpendicolari alle rispettive direzioni sorgente-punto, gli illuminamenti si differenziano esclusivamente per l'intensità luminosa e sono rispettivamente 75, 50 e 25 lux.



Una superficie si definisce **lambertiana** quando riflette la luce uniformemente in tutte le direzioni del semispazio. Affinché ciò accada, l'intensità luminosa della superficie dovrà variare con la legge del coseno e di conseguenza la luminanza sarà costante in tutte le direzioni del semispazio.

Intensità luminosa

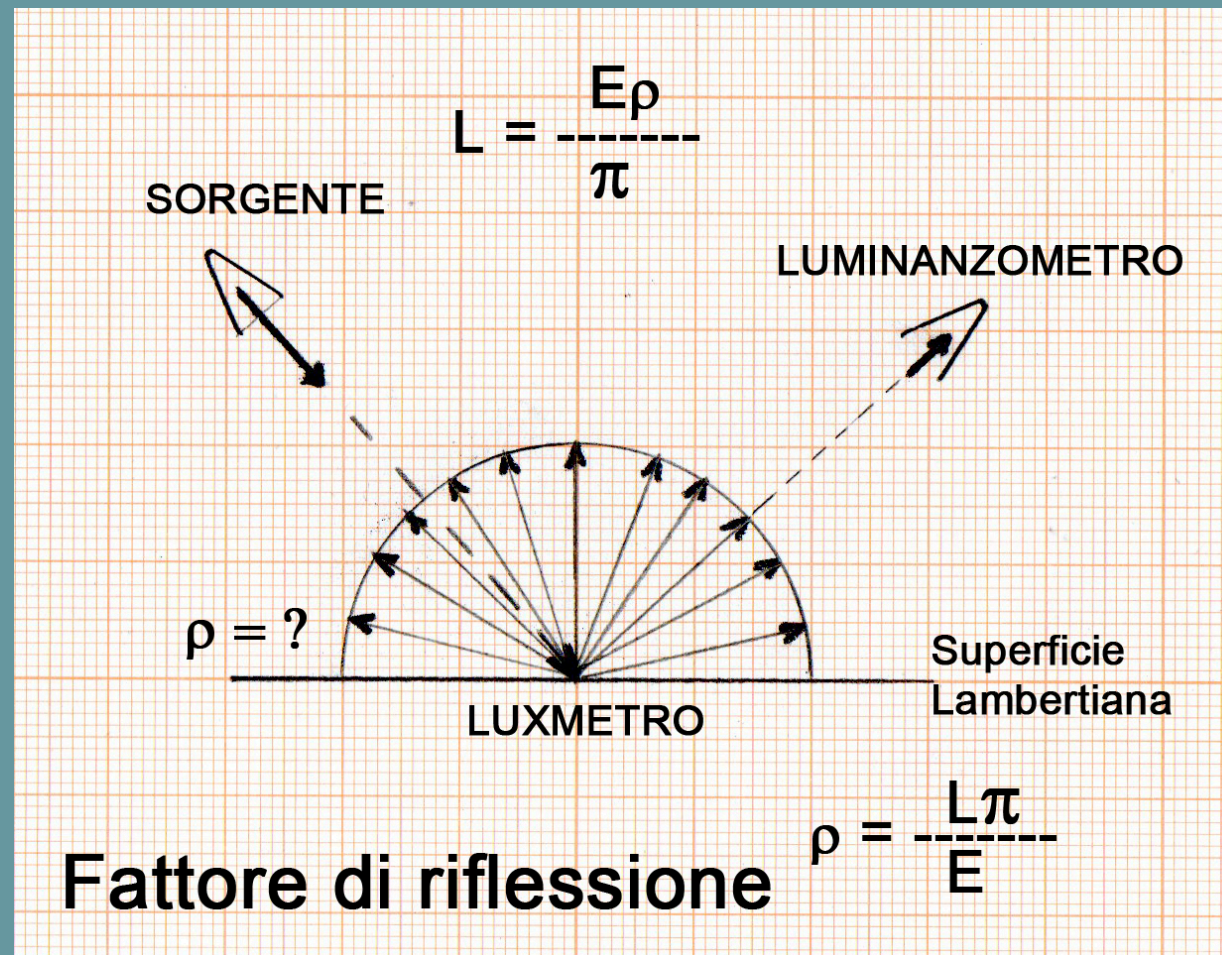


Luminanza

The diagram shows a semi-circle with a horizontal base. Multiple lines are drawn from the center of the base to the circumference, representing uniform light distribution in all directions. The angle θ is indicated between the vertical and one of these lines. Below the diagram, the text "uguale in tutte le direzioni" is written.

$$L = \frac{I}{A_{\text{projected}}} = \frac{I_{\text{max}} \cos \theta}{A \cos \theta} = \text{const}$$

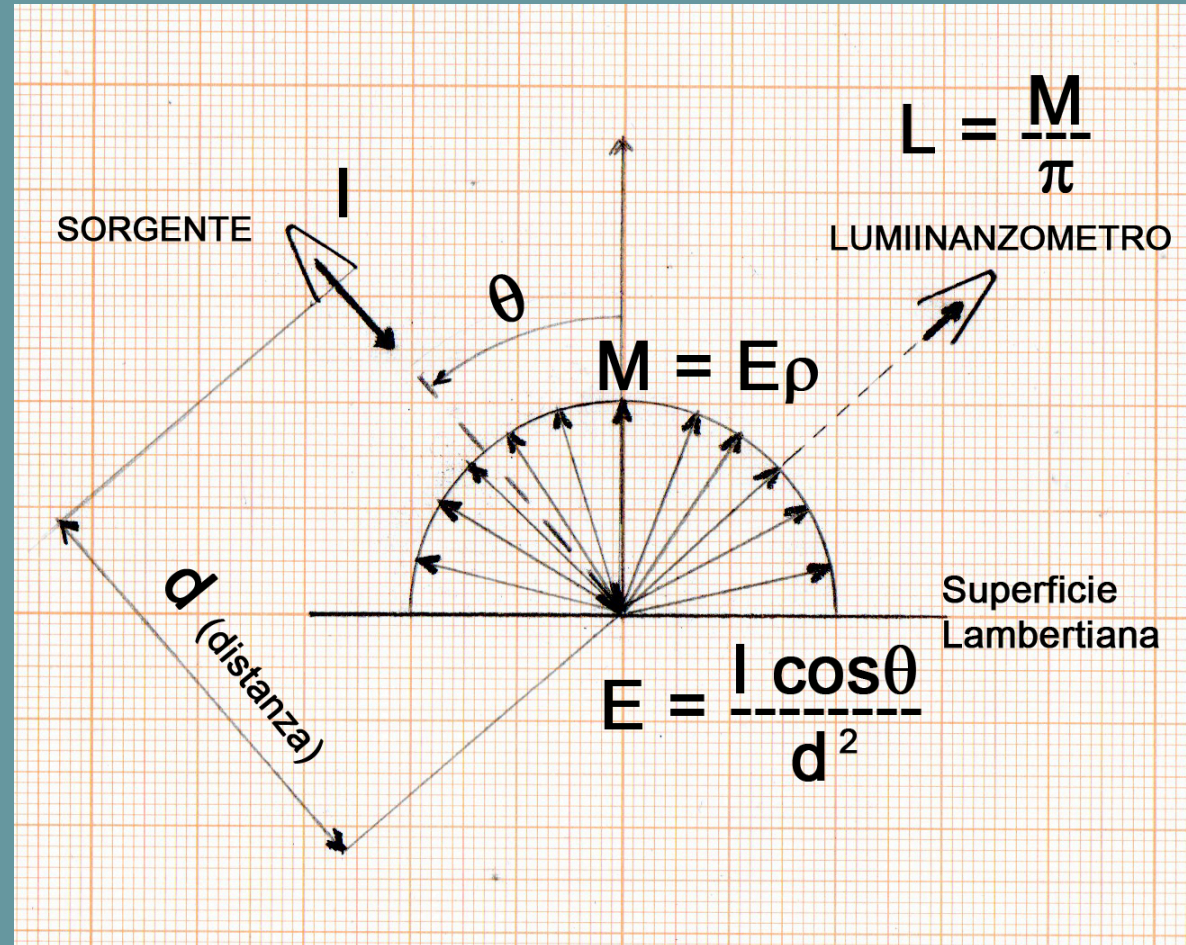
Nel caso di superficie **lambertiana**, la luminanza della superficie in qualsiasi direzione del semispazio può essere ricavata dalla misura dell'illuminamento sulla superficie moltiplicata per il **fattore di riflessione** e divisa per π .
Utilizzando la relazione inversa è quindi possibile risalire al **fattore di riflessione** della superficie dalle misure di illuminamento sulla superficie e luminanza della superficie.



Grandezze fotometriche

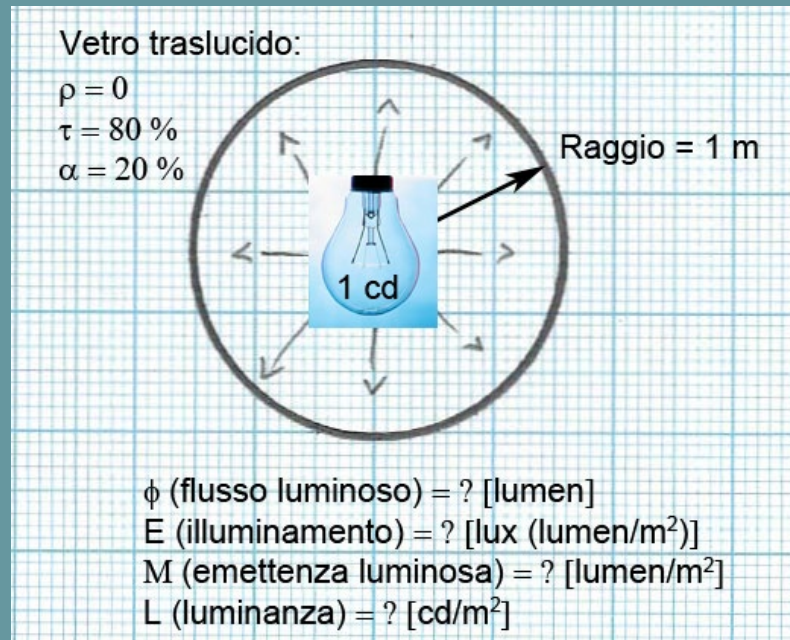
Relazione tra le diverse grandezze

Nel caso di superficie **lambertiana**, è possibile vedere come le principali grandezze fotometriche siano collegate tra loro. Una sorgente di **intensità luminosa** I genera sulla superficie un **illuminamento** E che produce un **emittenza luminosa** M ed una **luminanza** L costante in tutte le direzioni del semispazio.



ESERCIZIO RIASSUNTIVO

Si consideri una sorgente puntiforme e di uniforme intensità luminosa pari a 1 cd, posta al centro di una sfera di raggio 1 m. La sfera è di vetro traslucido con fattore di riflessione 0, di trasmissione 0,80 e di assorbimento 0,20. Si determini il flusso luminoso totale emesso dalla sorgente, l'illuminamento prodotto dalla sorgente sulla superficie interna della sfera, la densità di flusso luminoso totale che lascia la superficie della sfera (emittenza luminosa) e la densità di flusso luminoso totale che lascia la superficie della sfera in una particolare direzione (luminanza).



$$\text{Flusso: } 1 \text{ cd} * 4\pi [\text{sr}] = 4\pi [\text{lumen}]$$

$$\text{Illuminamento: } 4\pi [\text{lumen}] / 4\pi r^2 [\text{m}^2] = 1 [\text{lux}]$$

$$\text{Emittenza: } 1 [\text{lux}] * 0,8 = 0,8 [\text{lux}]$$

$$\text{Luminanza: } 0,8 [\text{lux}] / \pi = 0,8/\pi [\text{cd/m}^2]$$

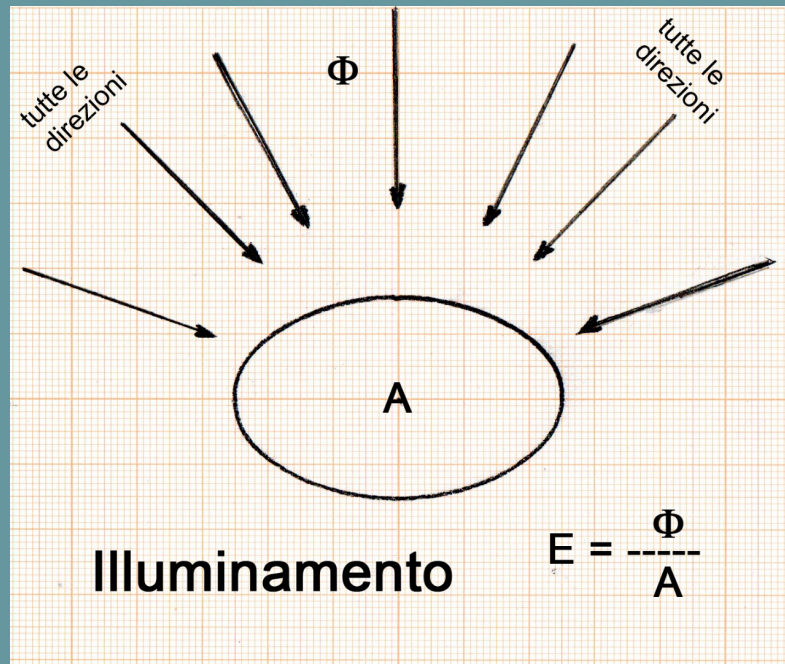
Misure fotometriche e strumenti di misura

Misure fotometriche e strumenti di misura

Luxmetro, luminanzometro, spettrofotometro, spettro-radiometro, colorimetro

LUXMETRO

Strumento che misura l'illuminamento (lux), ossia la densità di flusso luminoso incidente su una superficie.

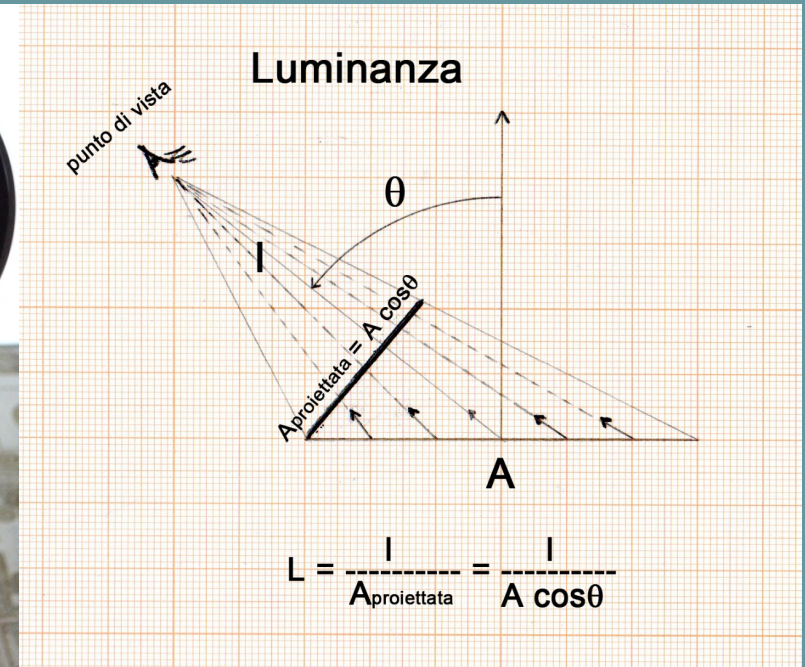


Misure fotometriche e strumenti di misura

Luxmetro, luminanzometro, spettrofotometro, spettro-radiometro, colorimetro

LUMINANZOMETRO

Strumento che misura la luminanza (cd/m^2), grandezza fotometrica che descrive l'intensità luminosa riflessa o emessa da una superficie apparente rispetto ad una direzione assegnata.

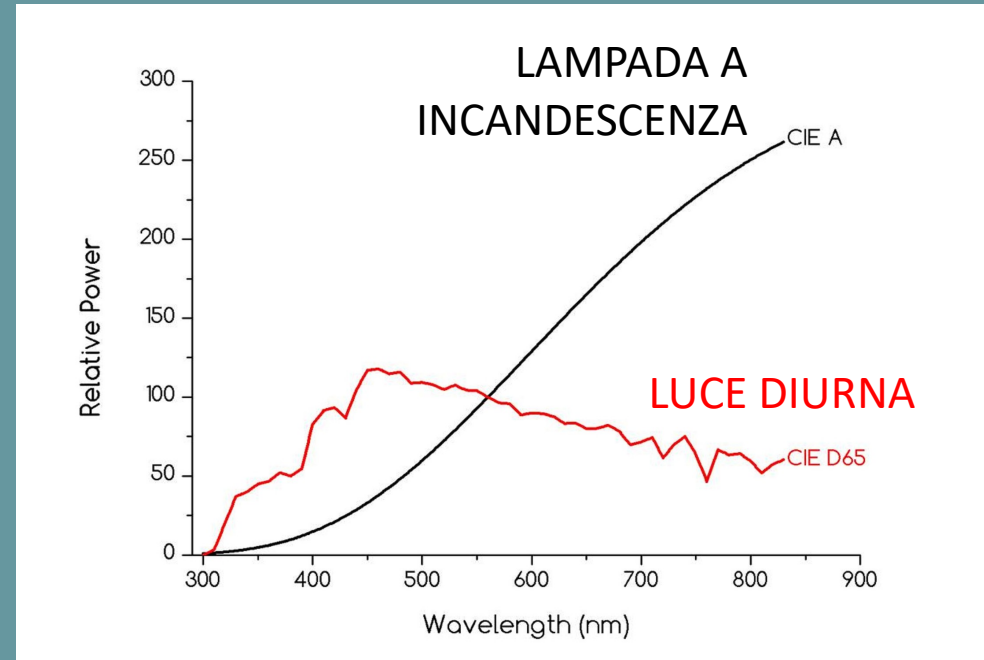
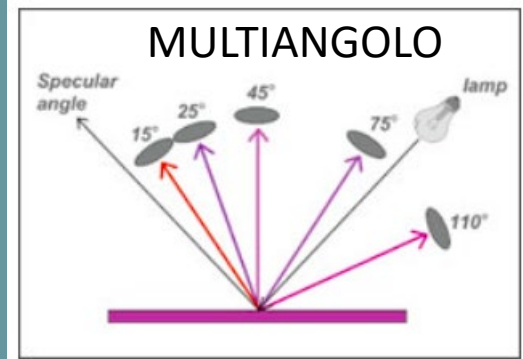
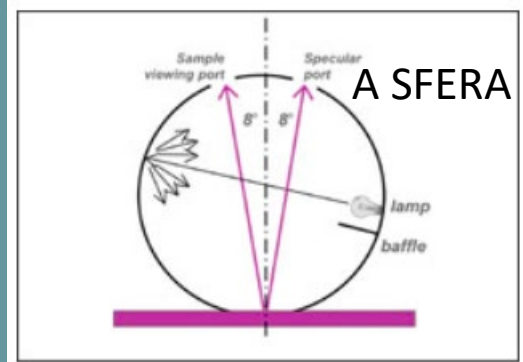
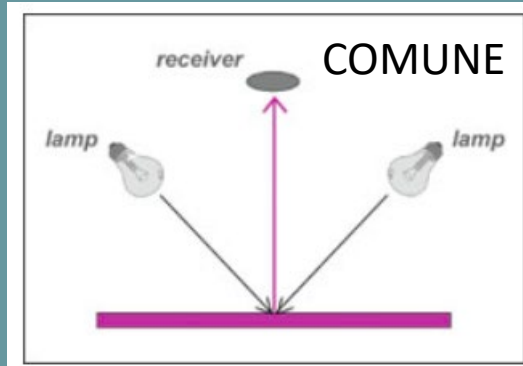


Misure fotometriche e strumenti di misura

Luxmetro, luminanzometro, spettrofotometro, spettro-radiometro, colorimetro

SPETTRO-FOTOMETRO

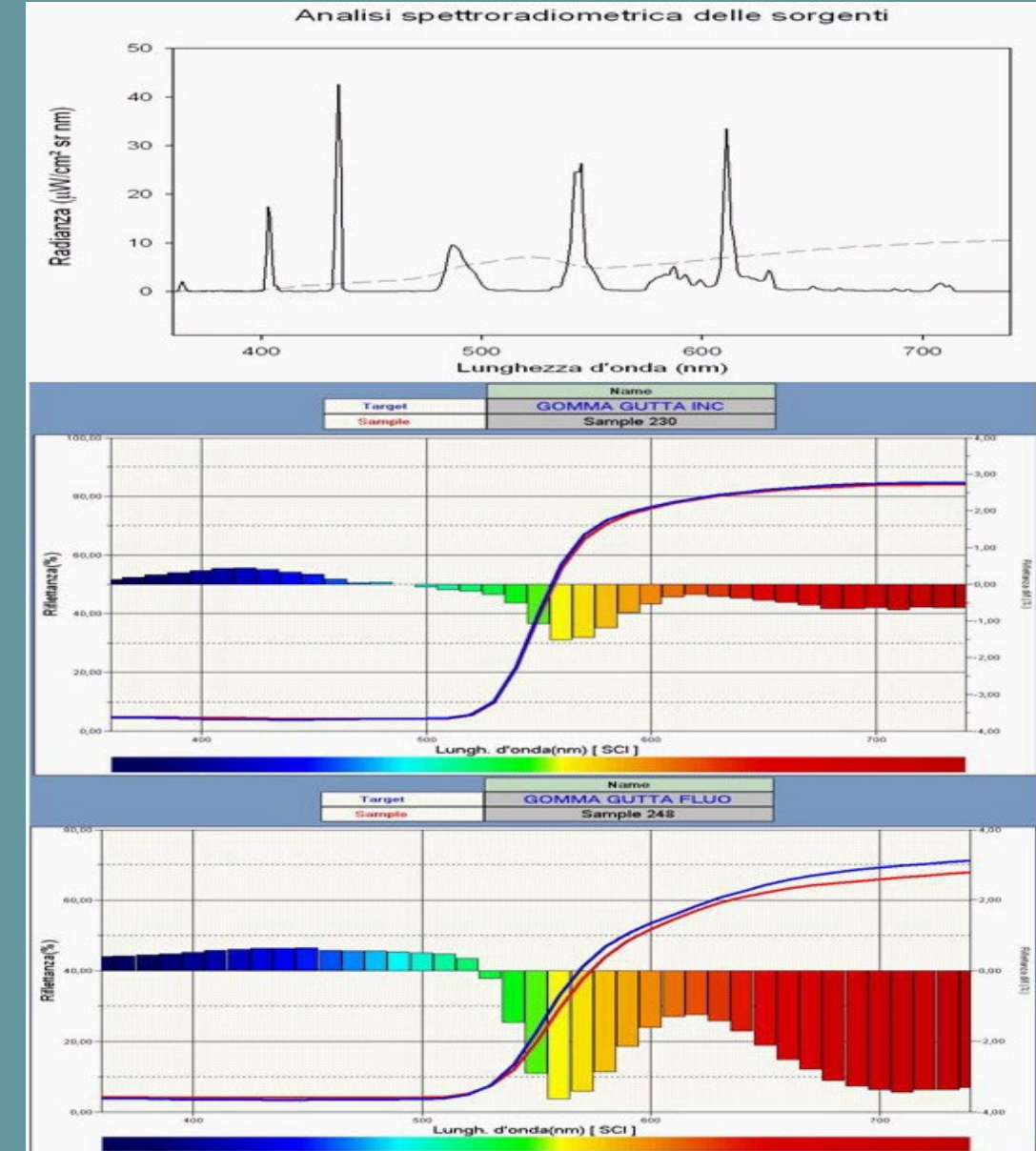
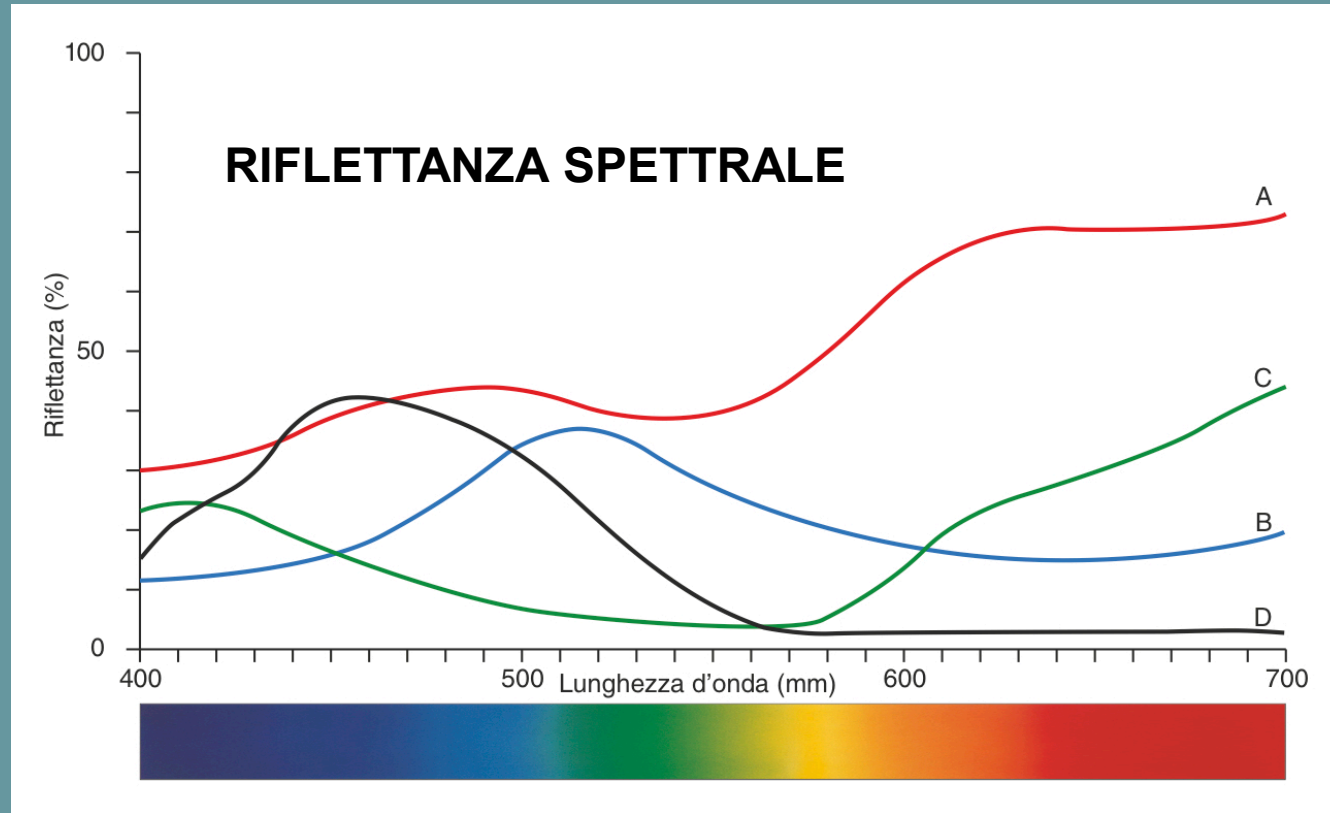
Gli spettrofotometri sono dotati di una o più sorgenti campione di luce interne e sono utilizzati per misurare la **riflettanza spettrale e/o la trasmittanza spettrale di campioni di materiale**



Misure fotometriche e strumenti di misura

Luxmetro, luminanzometro, spettrofotometro, spettro-radiometro, colorimetro

SPETTRO-FOTOMETRO

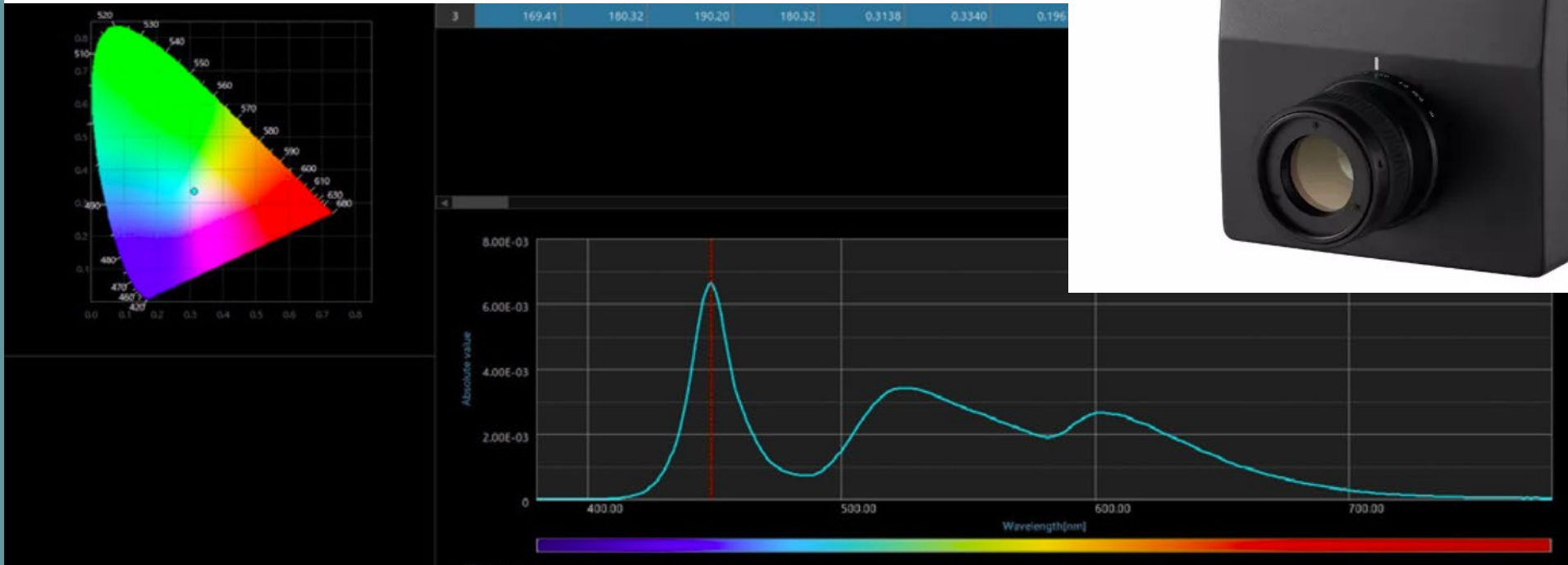


Misure fotometriche e strumenti di misura

Luxmetro, luminanzometro, spettrofotometro, spettro-radiometro, colorimetro

SPETTRO-RADIOMETRO

Lo spettro-radiometri è utilizzato per misurare la distribuzione di potenza spettrale delle **sorgenti di luce o della luce comunque generata e proveniente da una data direzione**



Misure fotometriche e strumenti di misura

Luxmetro, luminanzometro, spettrofotometro, spettro-radiometro, colorimetro

COLORIMETRO

- a puntamento
- a luce incidente
- a riflessione

A grandi linee sono rispettivamente come lo spettro-radiometro e lo spettrofotometro. La differenza, che li rende strumenti decisamente più economici, sta nel fatto che questa tipologia di strumento non esegue l'analisi spettrale, bensì una valutazione basata sulla **tricromia (RGB)**.



Misure fotometriche e strumenti di misura

Fotometria per immagini e rilievo delle misure fotometriche in campo e in laboratorio

SFERA INTEGRATRICE

Apparecchiatura utilizzata per misurare il **flusso luminoso** emesso da una sorgente luminosa

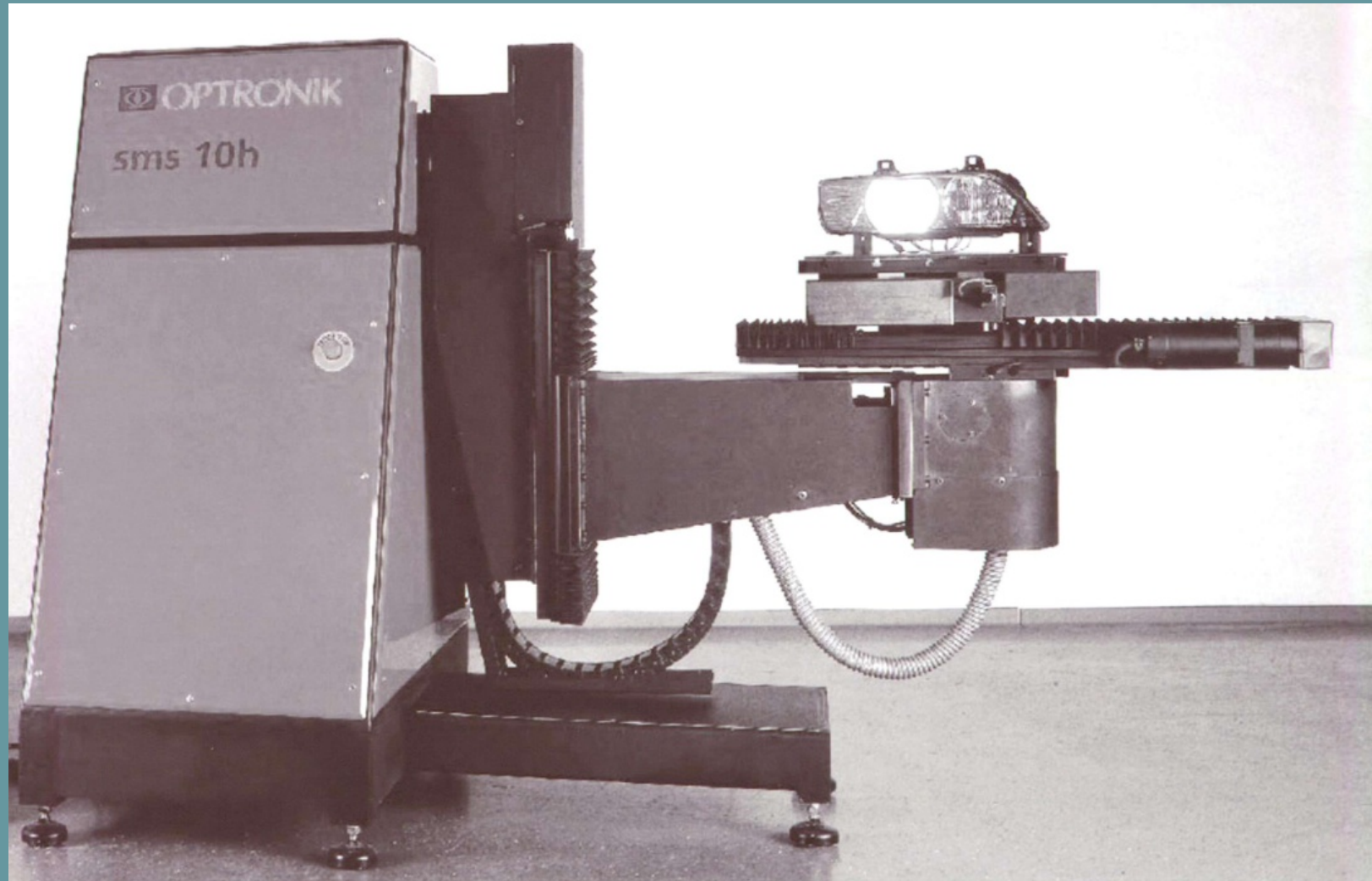


Misure fotometriche e strumenti di misura

Fotometria per immagini e rilievo delle misure fotometriche in campo e in laboratorio

GONIOFOTOMETRO

Strumento per la misurazione delle **intensità luminose** ripartite nelle diverse direzioni, sia per sorgenti luminose che per gli apparecchi di illuminazione

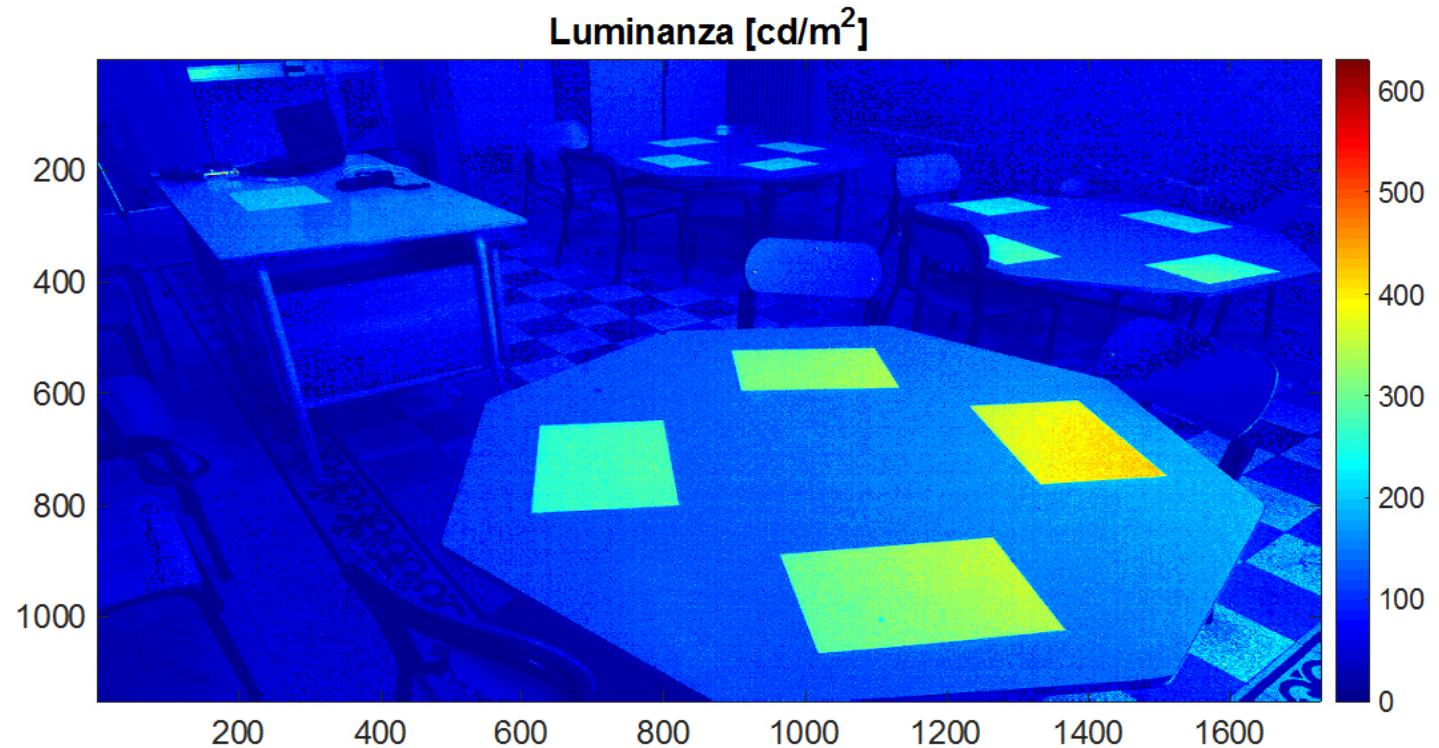


Misure fotometriche e strumenti di misura

Fotometria per immagini e rilievo delle misure fotometriche in campo e in laboratorio

VIDEOFOTOMETRO

Strumento digitale per la misura delle luminanze. Si basa sull'utilizzo di una fotocamera digitale, opportunamente modificata. Capace di fornire immagini HDR (High Dynamic Range) dalle quali si ottengono mappature di luminanza dell'intero campo visivo.



Misure fotometriche e strumenti di misura

Fotometria per immagini e rilievo delle misure fotometriche in campo e in laboratorio

VIDEOFOTOMETRO

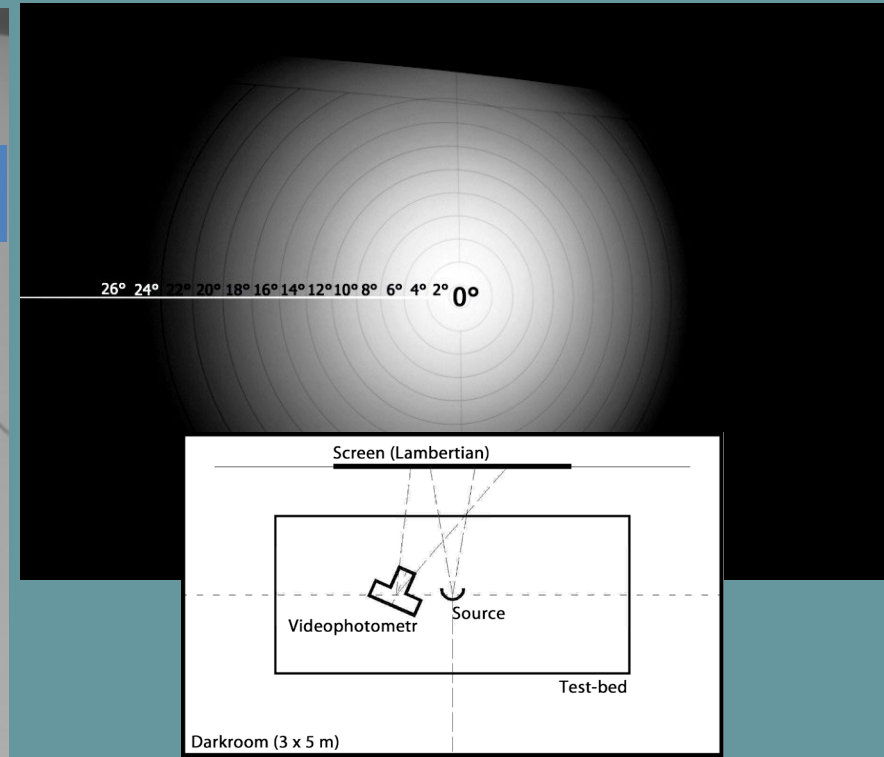
Partendo dalla luminanza, attraverso una serie di valutazioni sui fattori di riflessione e della direzionalità della luce, è possibile ricavare l'illuminamento e il flusso luminoso.

$$L = (E \cdot \rho) / \pi$$

Per superficie opaca diffondente

$$E = (L \cdot \pi) / \rho$$

Foglio di carta A4 80 g/m² con fattore di riflessione con minima componente speculare



Sorgenti luminose artificiali

Le caratteristiche fondamentali delle sorgenti di luce artificiale

- Flusso luminoso
- Efficienza luminosa
- Durata di vita
- Temperatura di colore
- Indice di resa cromatica
- Mantenimento del flusso luminoso
- Altre caratteristiche rilevanti

Flusso luminoso

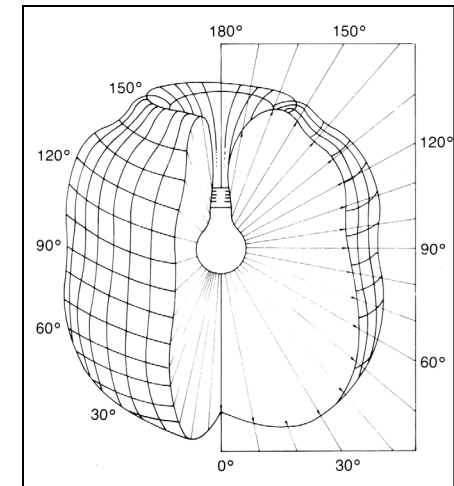
Il flusso luminoso è la quantità di energia luminosa emessa dalla sorgente nell'unità di tempo. Si tratta dunque di una potenza che però non è possibile misurare in Watt, dal momento che, di tale potenza ci interessa conoscere solo la parte legata alla radiazione visibile, e che tale parte sia opportunamente pesata secondo la sensibilità dell'organo visivo. L'unità di misura è il lumen.

1 Watt di potenza radiante a 555nm equivale a 683 lumen.

I lumen sono quindi i Watt “visibili”.

Flusso luminoso

Tipo di lampada	Potenza [W]	Flusso luminoso [lm]
Fanale per bicicletta	2	18
Incandesc. normale	100	1380
Tubo fluorescente	36	3350
Vapore di mercurio	125	6300
Vapore di sodio AP	100	9500



Efficienza luminosa

Flusso emesso / Potenza elettrica assorbita

Tale parametro, definito mediante il rapporto tra il flusso luminoso emesso (espresso in lumen) e la potenza elettrica assorbita (espressa in watt) viene indicato con il simbolo lm/W . Le lampade ad incandescenza tradizionali hanno efficienza luminosa di circa 12 lm/W mentre, ad esempio, quelle a vapore di sodio a bassa pressione sono caratterizzate da efficienza di circa 200 lm/W . Il parametro efficienza luminosa assume particolare importanza nei casi in cui l'economia d'esercizio giochi un ruolo notevole nel bilancio globale delle spese dell'impianto d'illuminazione. È comunque evidente che, in base alla norma europea EN 15193 (2007), "Energy performance of buildings – energy requirements" relativa al contenimento dei consumi energetici, converrà adottare, in tutti i casi in cui sia possibile, lampade caratterizzate da efficienza luminosa quanto più possibile elevata.

Durata di vita

" Vita media " : si riferisce al numero di ore di funzionamento dopo il quale, in un determinato lotto di lampade ed in ben definite condizioni di prova, il 50% delle lampade abbia cessato di funzionare.

" Vita di servizio " : si riferisce al numero di ore dopo il quale il flusso luminoso della lampada è sceso al 70% del suo valore iniziale, tenendo conto dei flussi luminosi delle lampade ancora funzionanti dopo tale periodo.

Temperatura di colore secondo la NORMATIVA

Gruppi di appartenenza di colore
delle lampade secondo la norme
UNI 12464-1

<u>Apparenza</u> del colore	Temperatura correlata del colore T_{cp} [K]
Calda	minore di 3.300 K
Intermedia	tra 3.300 K e 5.300 K
Fredda	maggiore di 5.300 K

Temperatura di colore secondo la NORMATIVA



T.C. CALDA (< 3500 K)



T.C. INTERMEDIA ($3500 \div 5500$ K)

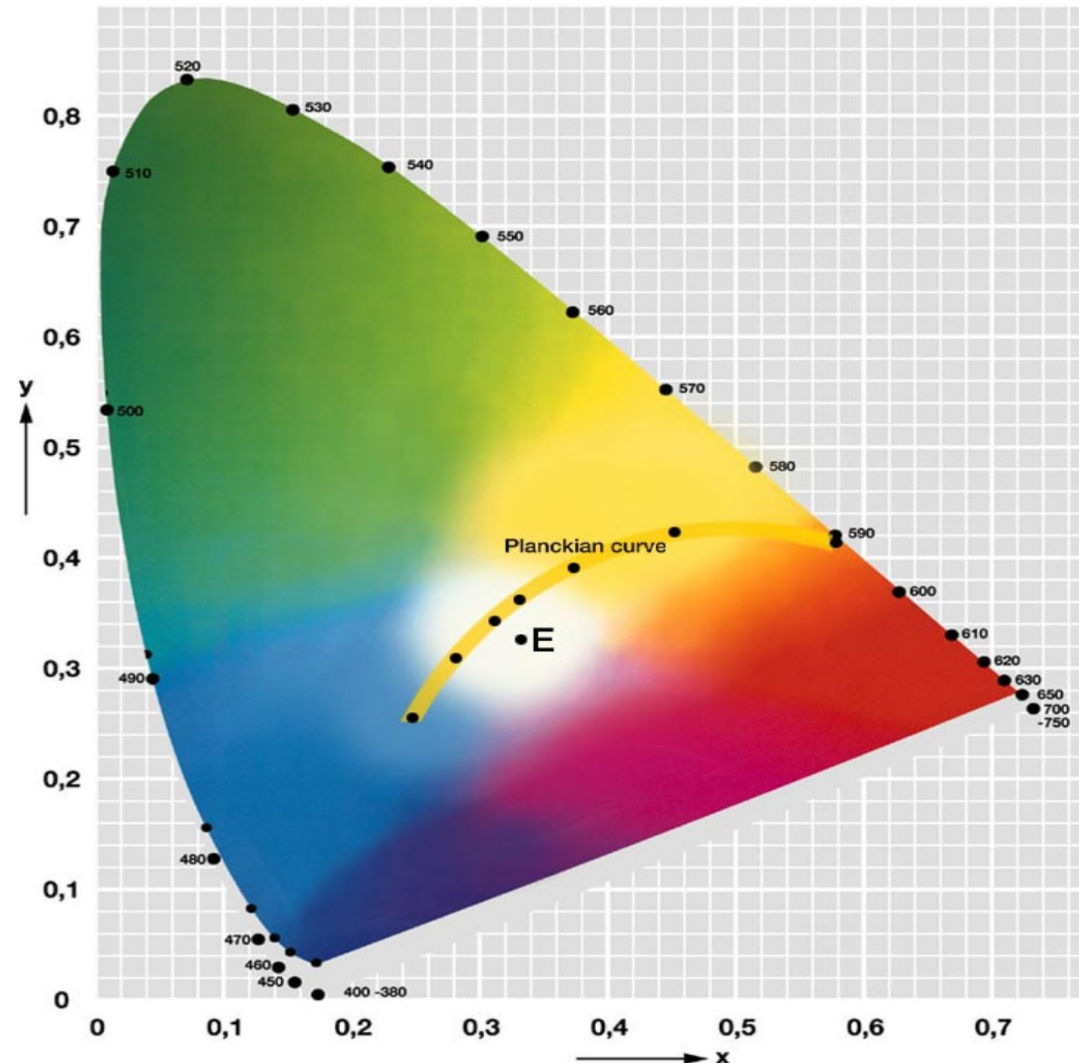


T.C. FREDDA (> 5500 K)

Temperatura di colore correlata CCT

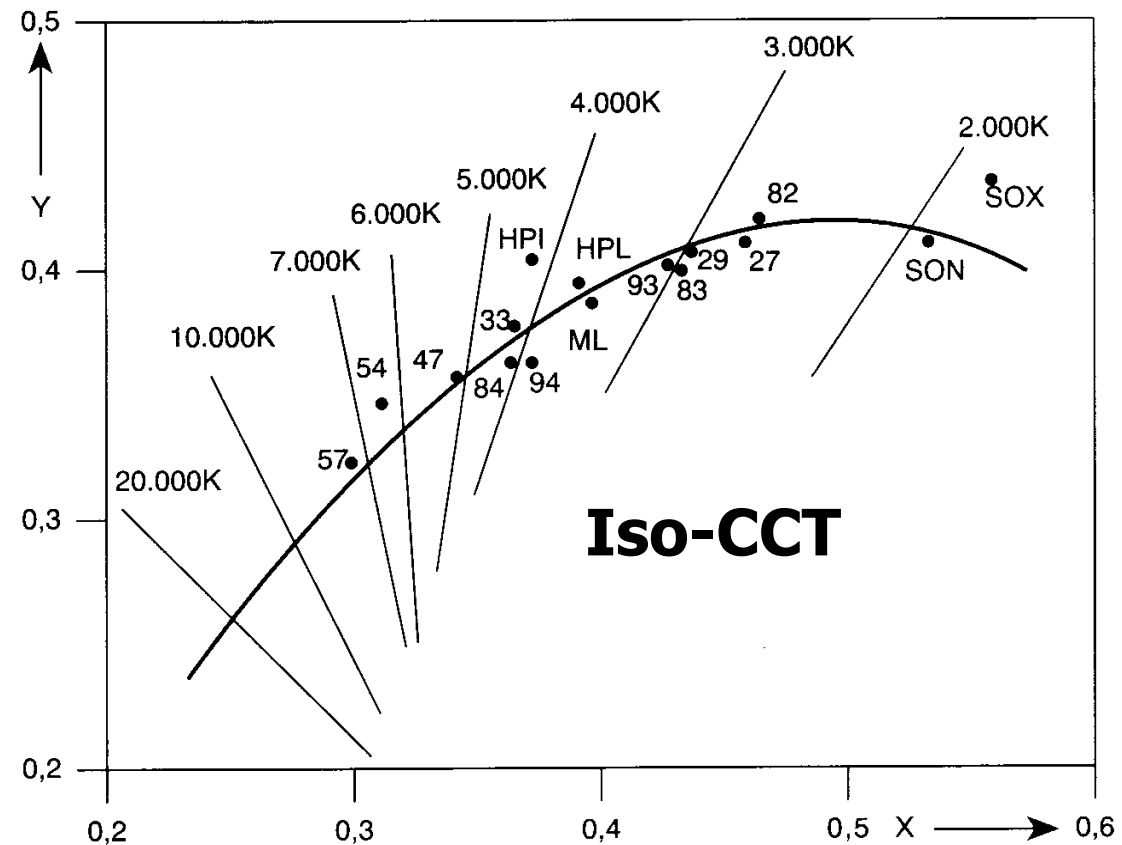
Quando si esamina la tonalità di una lampada a scarica che, come vedremo, ha uno spettro discontinuo o comunque con marcate disuniformità tra le lunghezze d'onda, il paragone col corpo nero perde di legittimità. E' consuetudine, tuttavia, parlare ancora di temperatura di colore, eventualmente con l'aggettivazione di *temperatura correlata*, riferendosi alla temperatura del corpo nero che produce un risultato cromatico quanto più vicino a quello della sorgente a scarica.

Temperatura di colore correlata CCT



Temperatura di colore correlata CCT

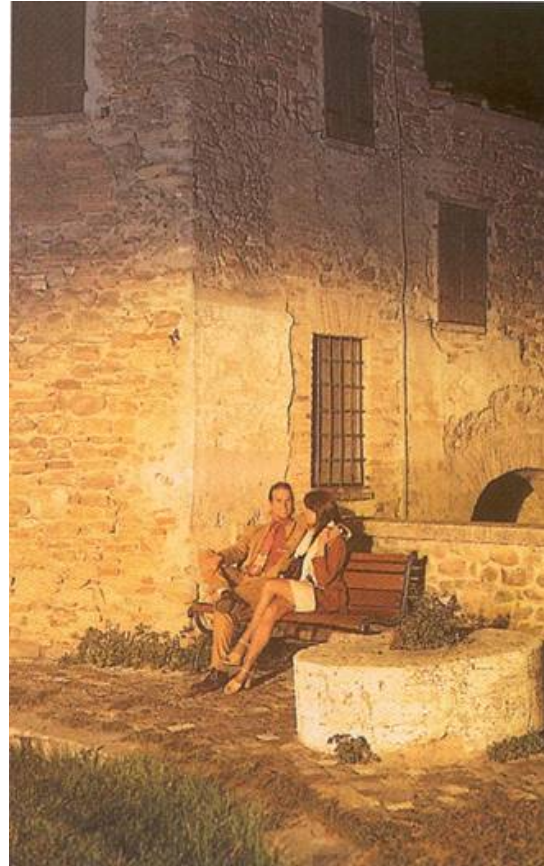
- **Porzione del triangolo dei colori, nella quale sono state tracciate le rette a temperatura di colore correlata costante riferendola alla curva del corpo nero**



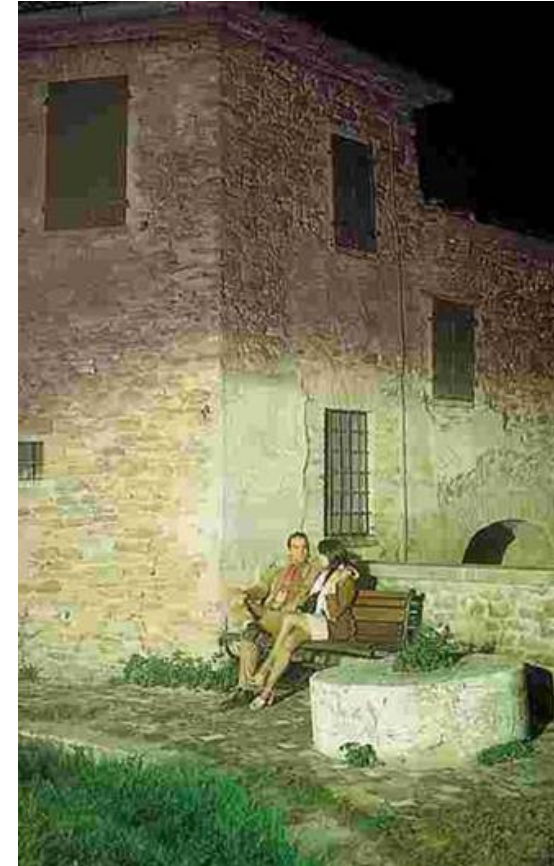
Temperatura di colore correlata CCT



LUCE DIURNA (D65)

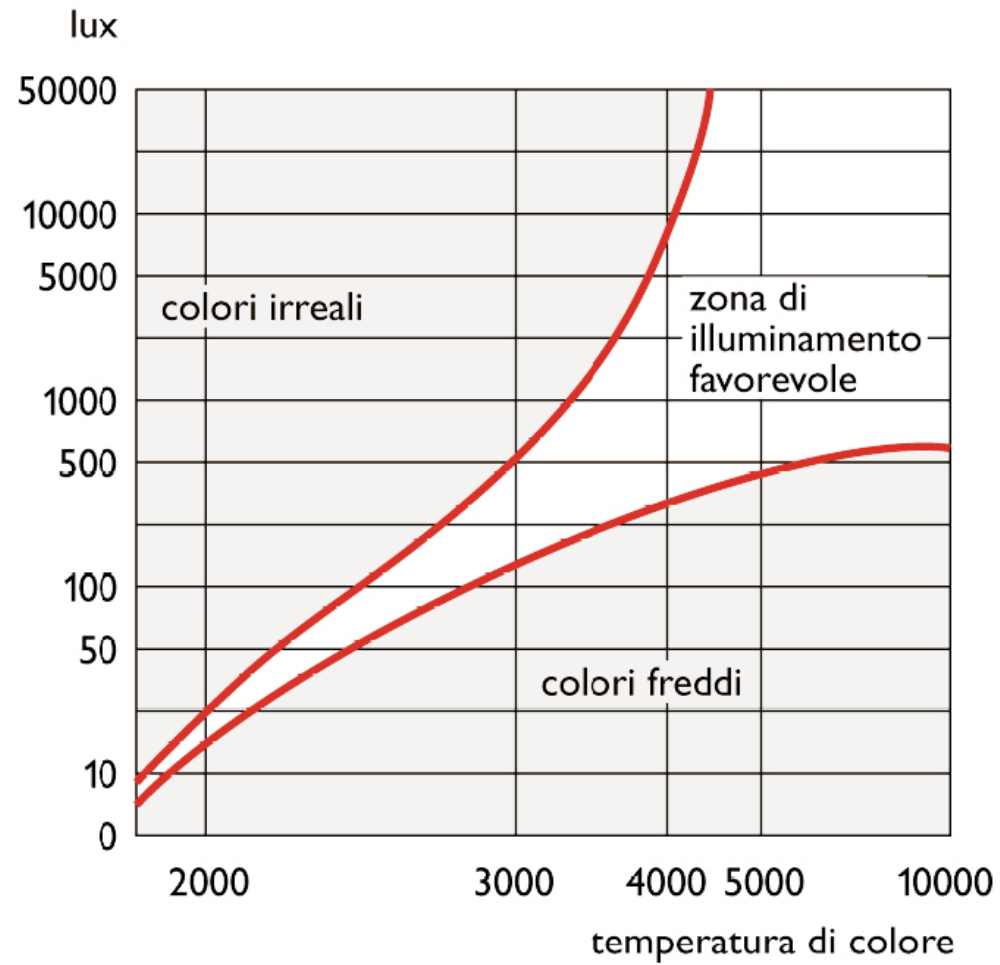


INCANDESCENZA



MERCURIO

Il diagramma di Kruitoff



Indice di resa cromatica

Tale parametro (Ra) vale a quantizzare l'attitudine della luce emessa da una sorgente a permettere di distinguere le sfumature dei colori.

L'indice di resa cromatica viene determinato confrontando la luce emessa dalla lampada in esame con la luce di una sorgente di riferimento avente la stessa temperatura di colore ed indice pari a 100.

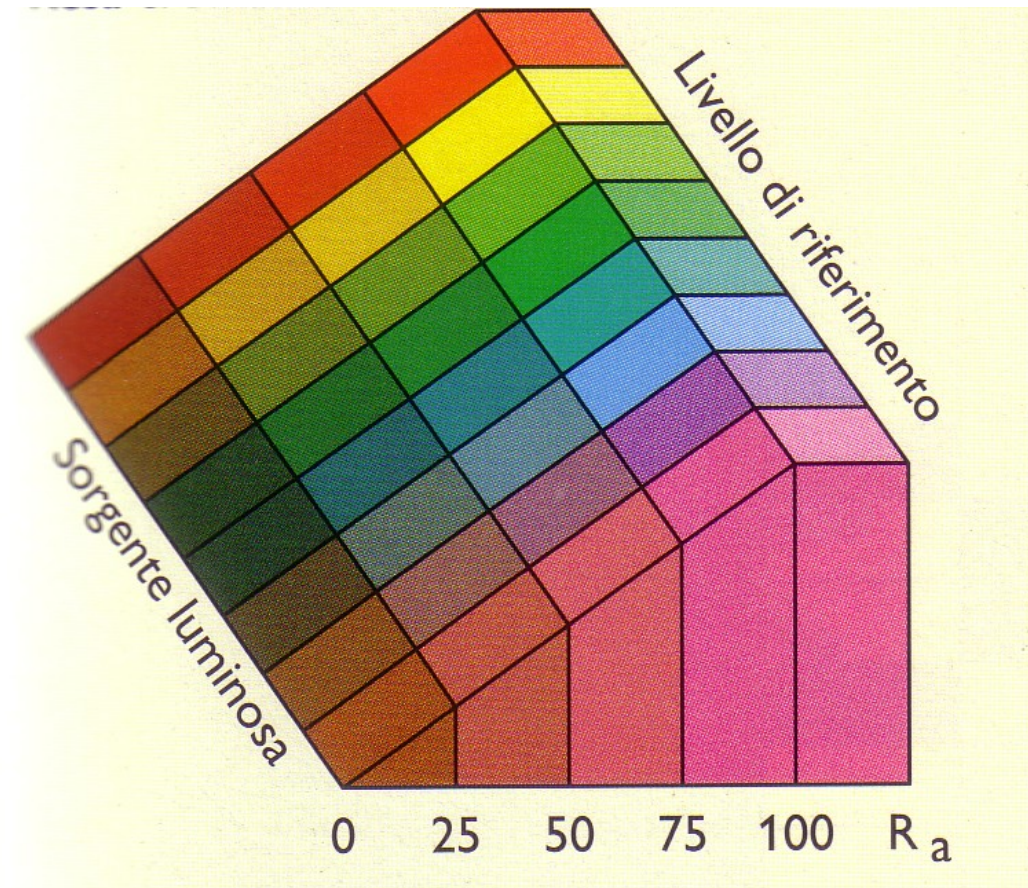
Indice di resa cromatica secondo la NORMATIVA

Gruppi di appartenenza di colore delle lampade secondo la norme UNI 10380

Gruppo di resa colore (Ra')	Indice di resa cromatica (Ra)
1A	>90
1B	$80 \leq Ra \leq 90$
2	$60 \leq Ra < 80$
3	$40 \leq Ra < 60$
4	$20 \leq Ra < 40$

Nella UNI 12464-1 questa classificazione non è più in vigore ma vengono usati direttamente i valori da 20 a 100 che contraddistinguono l'Ra

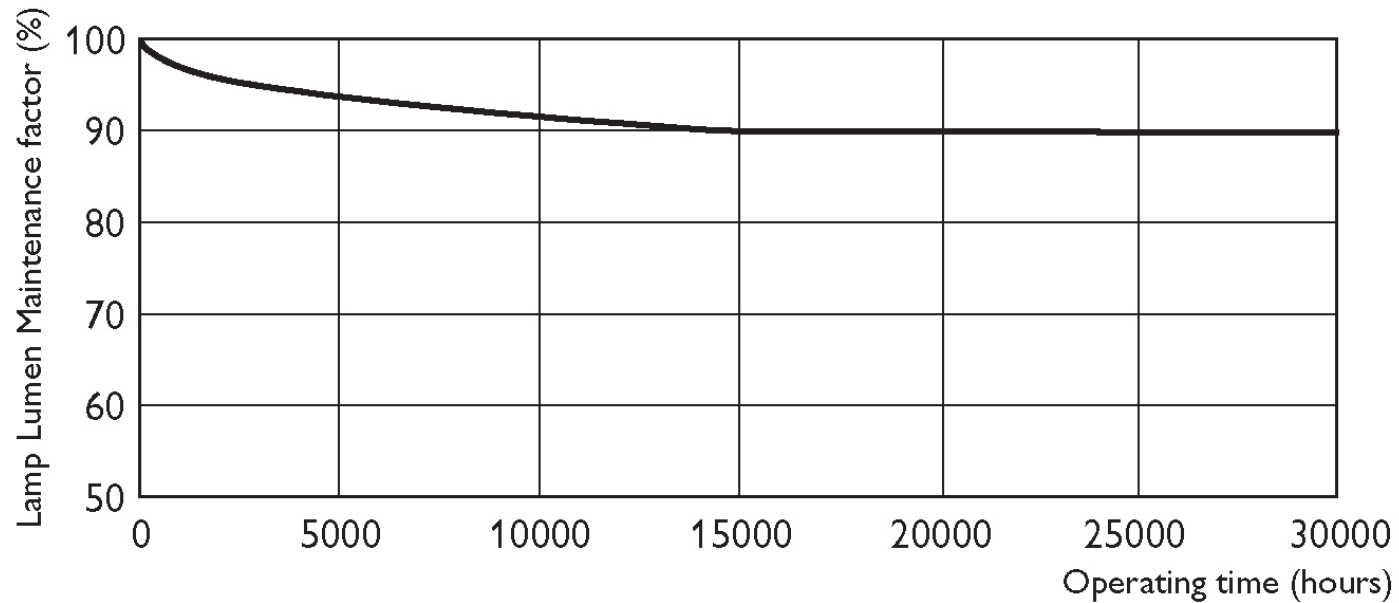
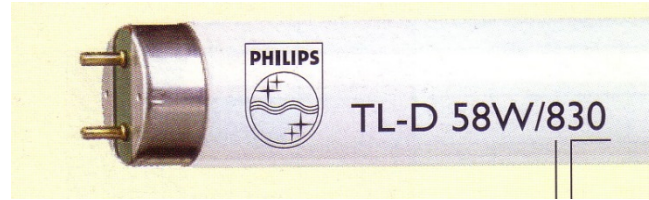
Indice di resa cromatica



Colori test identici: $R_a = 100$

Scostamento dai colori test: $R_a < 100$

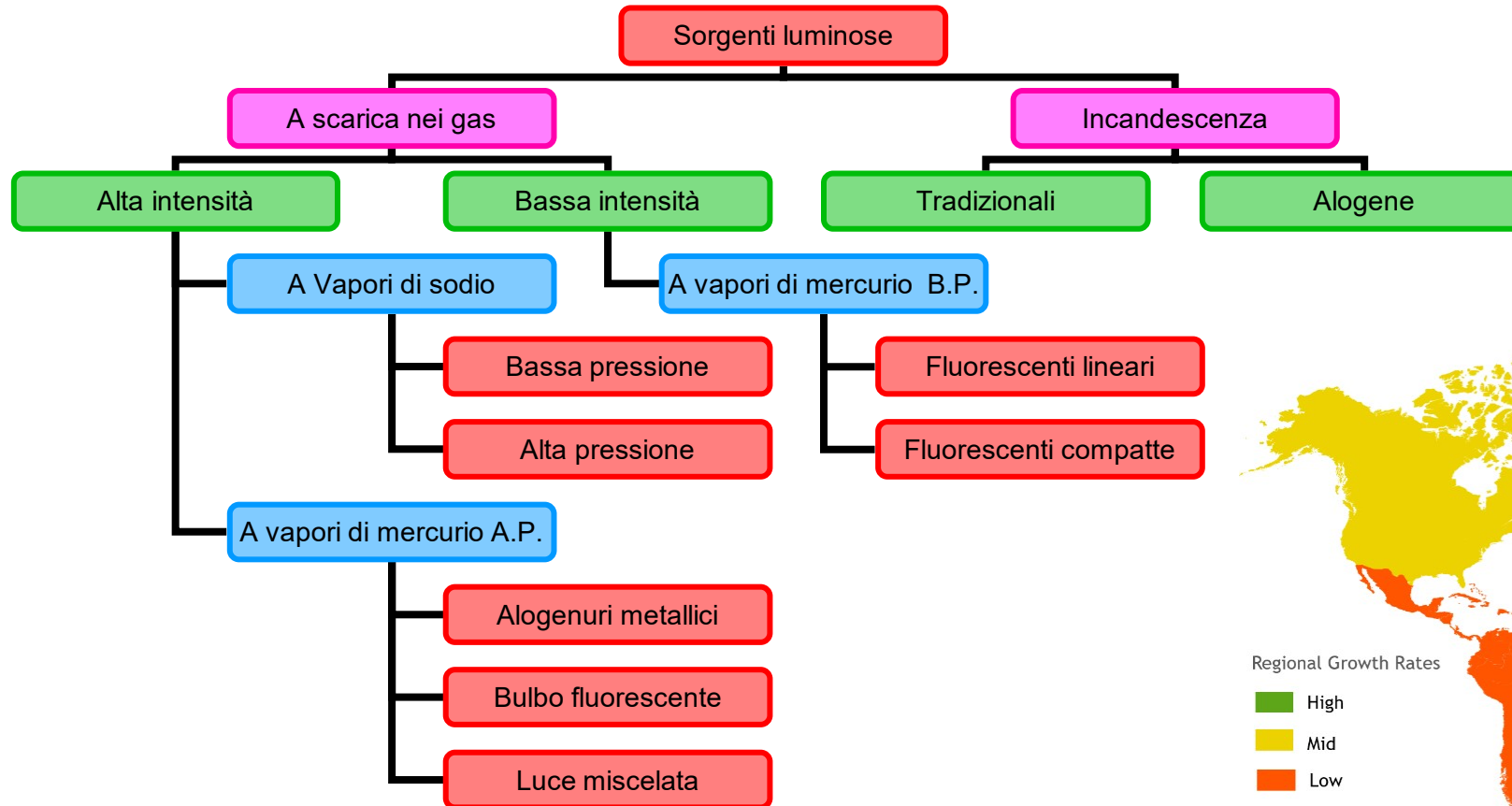
Mantenimento del flusso luminoso



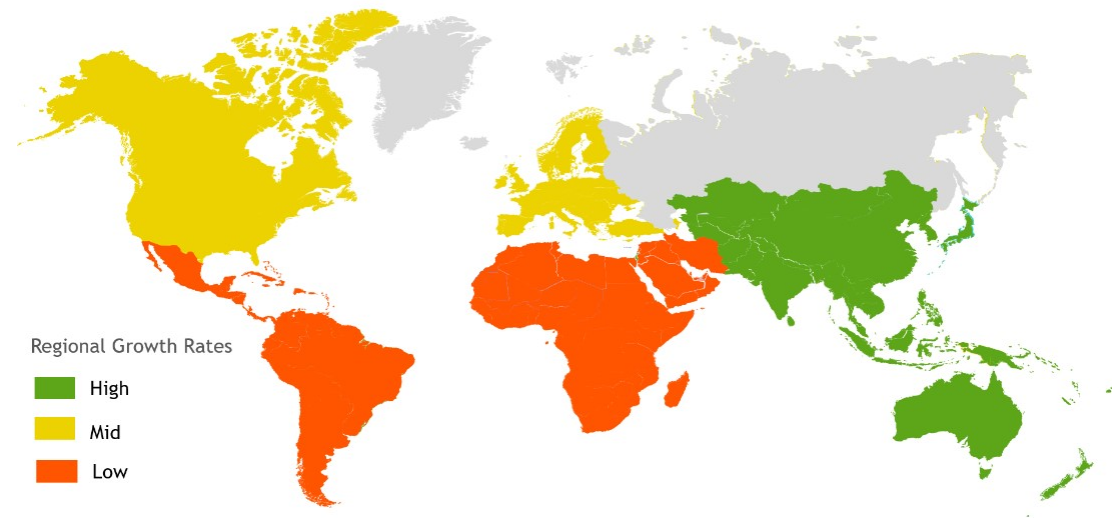
Altre caratteristiche rilevanti

- Tempo per andare a regime
- Tipo di attacco
- Posizione di montaggio
- Necessità di alimentatori esterni
- Possibilità' di regolare il flusso
- Potenza nominale assorbita

Classificazione in base al metodo di generazione della luce



LED



Source: Mordor Intelligence

DIFFUSIONE LED NEL MONDO



Tipi di lampada

Lampade a scarica

- Vapori di sodio B.P.
- Vapori di sodio A.P.
- Vapori di mercurio
- Fluorescenti
- Alogenuri metallici
- Luce miscelata

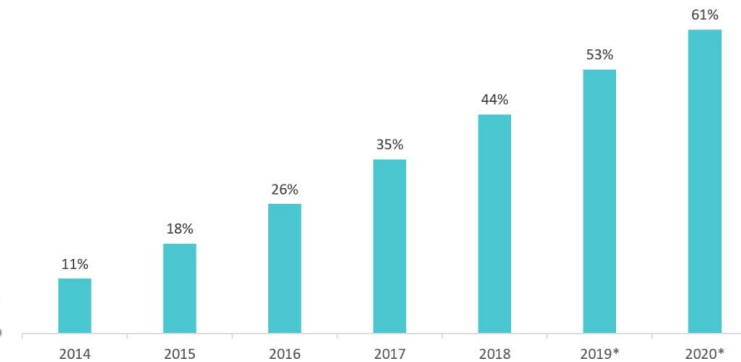
Altre tipologie

- Induzione
- Lampade speciali

Lampade a incandescenza

- Azoto Argon Krypton
- Alogeni

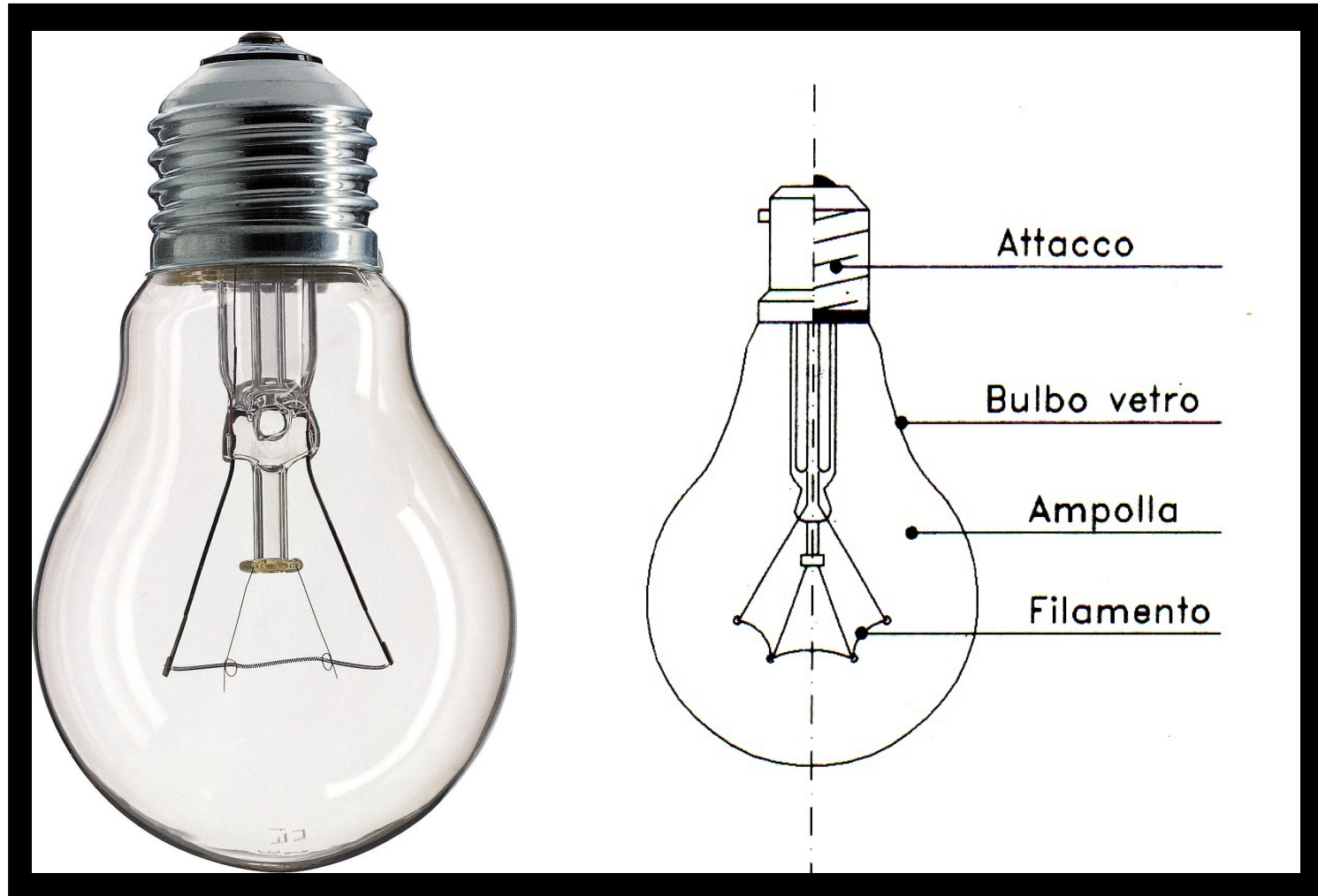
LED



Source: Goldman Sachs



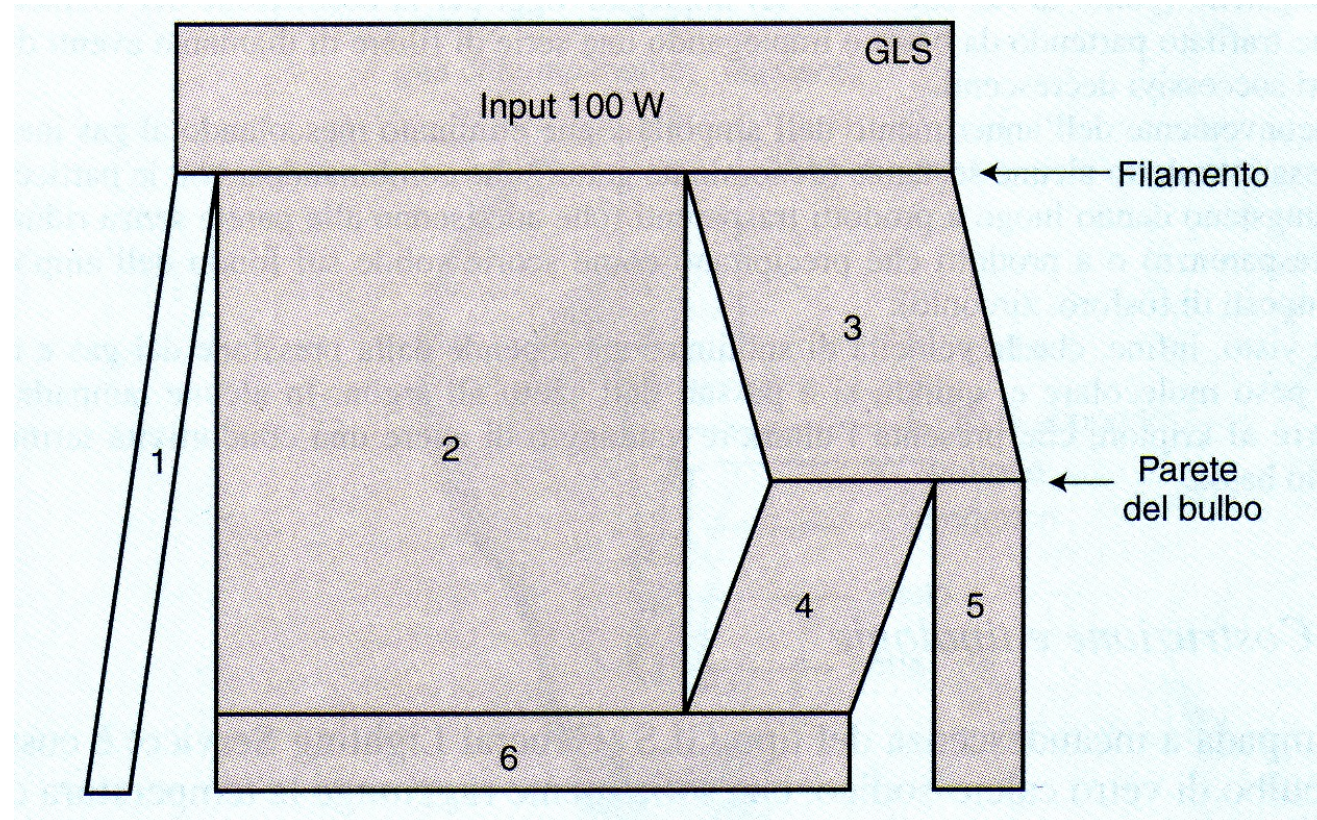
Lampada a incandescenza standard



Lampade a incandescenza standard e decorative

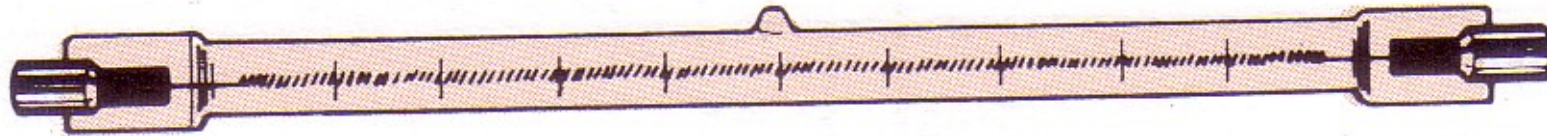
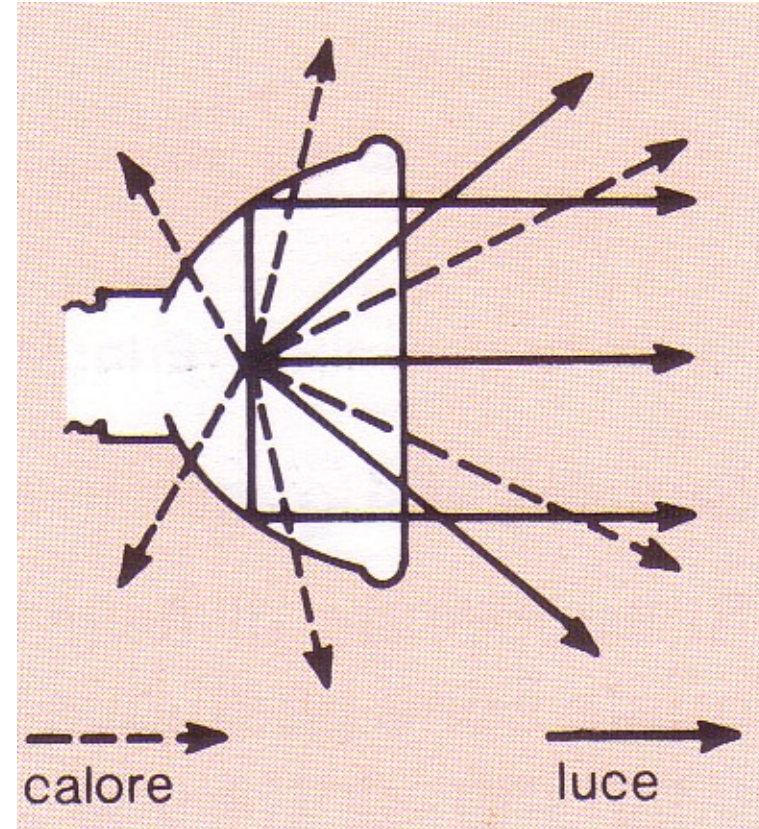
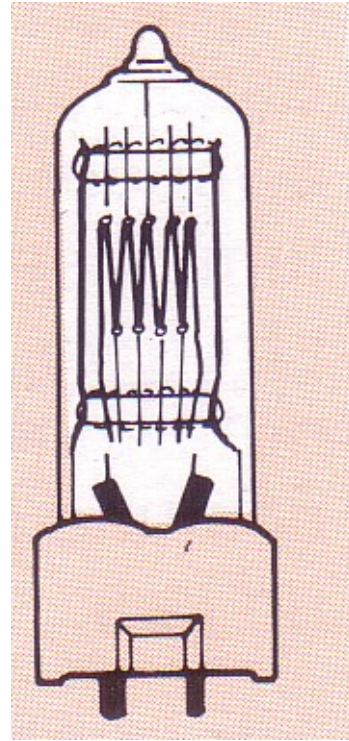
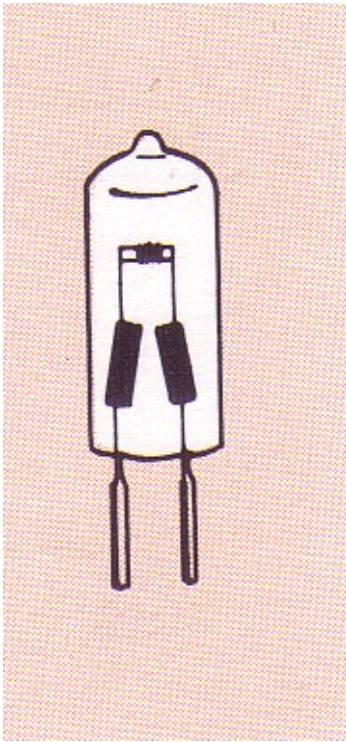


Bilancio di energia di una lampada a incandescenza da 100 W

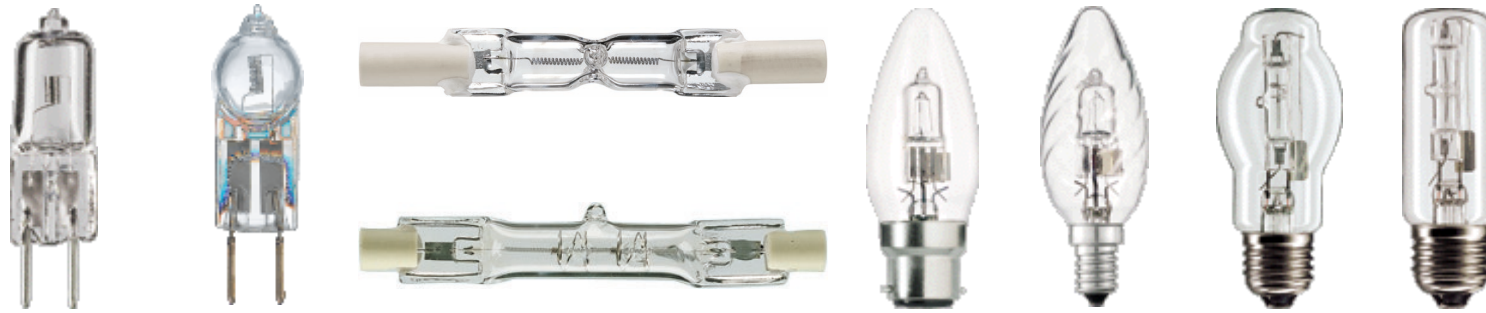


1) Radiazione visibile 5W; 2) Radiazione infrarossa dal filamento 61W; 3) Perdite per convezione e conduzione dal filamento al bulbo 34W; 4) Radiazione infrarossa dal bulbo 22W; 5) Perdite totali per convezione e conduzione 12W; 6) Radiazione infrarossa totale 83W.

Lampade a incandescenza alogene



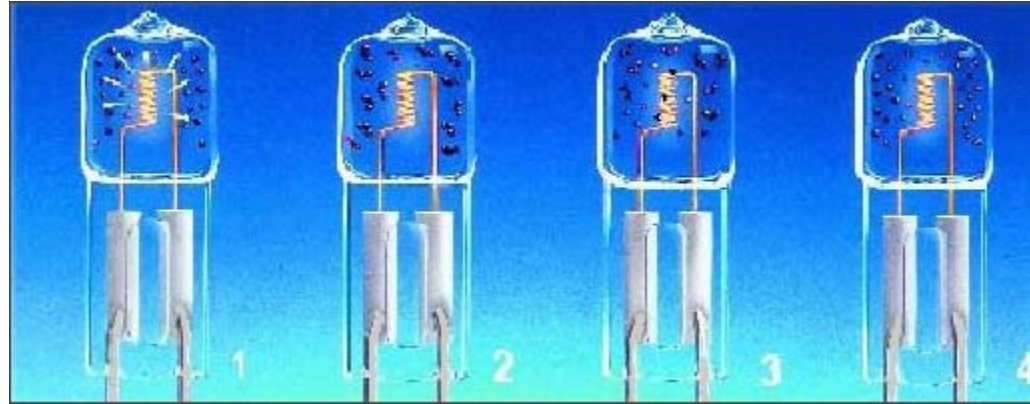
Lampade alogene con o senza bulbo



Lampade alogene con riflettore

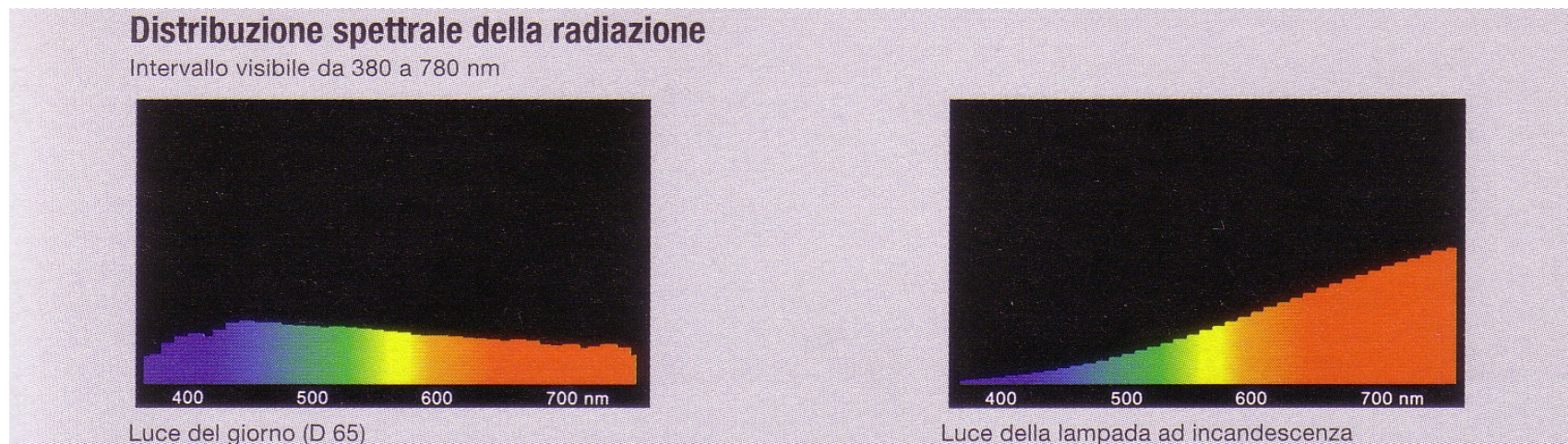


Il ciclo degli alogeni (argon + iodio, cromo, bromo)



- Il tungsteno sublima dal filamento (3300 K) e va a depositarsi sulla capsula di quarzo
- Sulla capsula di quarzo (800 K) avviene la formazione del composto gassoso tungsteno – alogeno con conseguente distacco del tungsteno dalla capsula
- Il composto gassoso, venendo a contatto con il filamento a 3300 K, rompe il legame tra alogeno e tungsteno; quest'ultimo si deposita sul filamento rigenerandolo

Distribuzione spettrale della radiazione



Luce del giorno

Lampada a incandescenza

Tipo	Ra	Eff. Lum.	Durata	Tc
-	-	lm/W	h	K
Inc.	100	10	2000	2700
Alog.	100	20	4000	3000

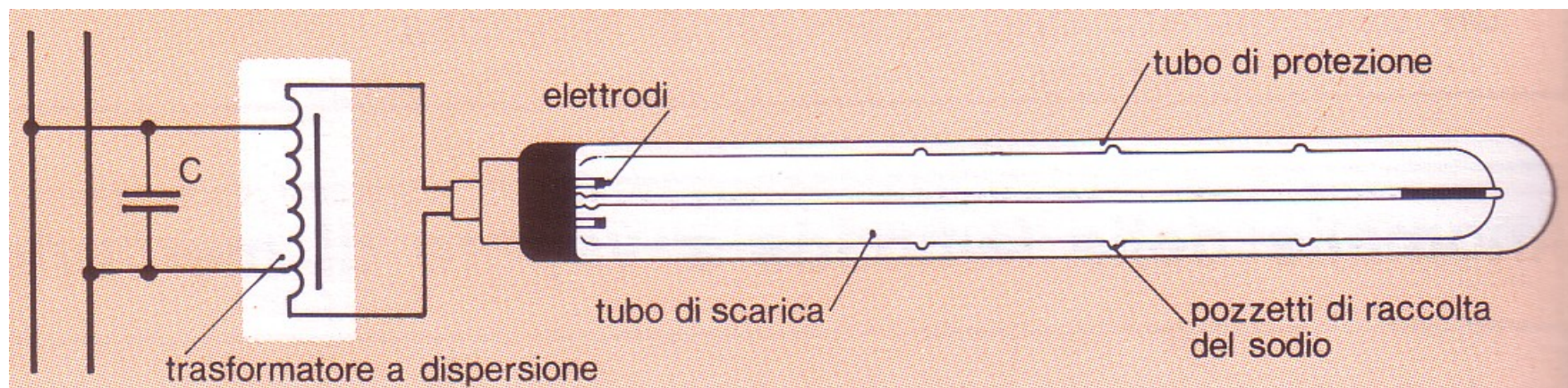
Applicazioni tipiche di lampada a incandescenza



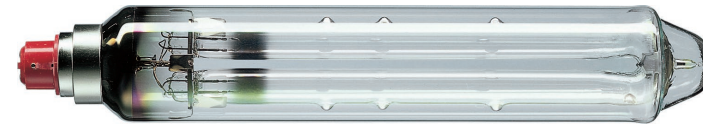
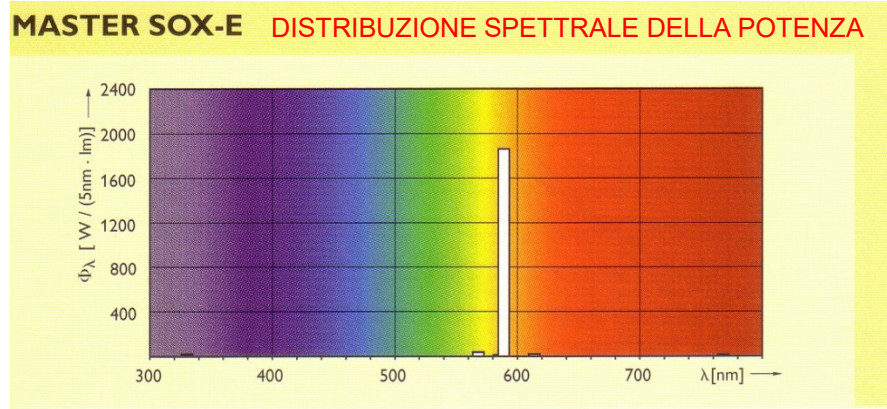
Applicazioni tipiche di lampada a incandescenza



Vapori di sodio a Bassa Pressione



Vapori di sodio a Bassa Pressione



Potenza	Ra	Eff. Lum.	Durata	Tc
W	-	lm/W	h	K
18 - 180	-	130 - 200	10.000	1800

Applicazioni tipiche di lampade al sodio a B.P.



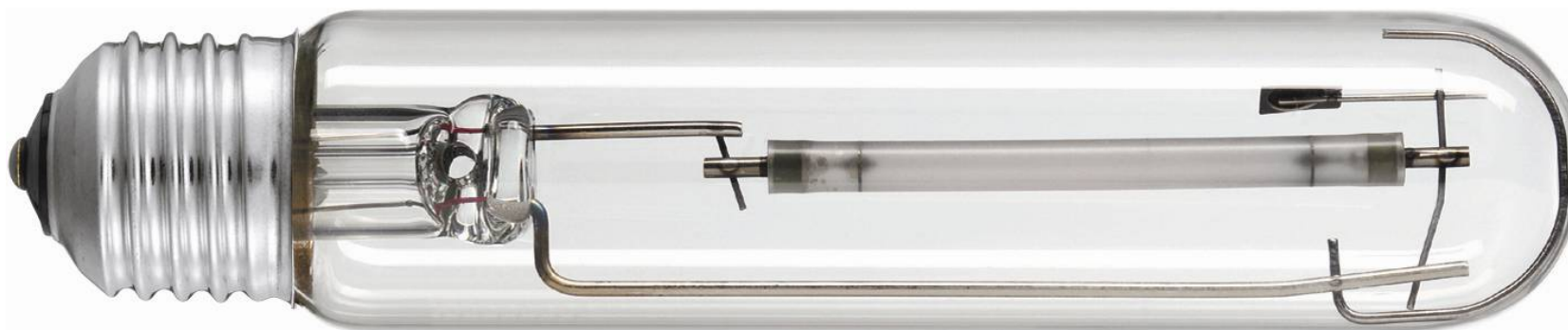
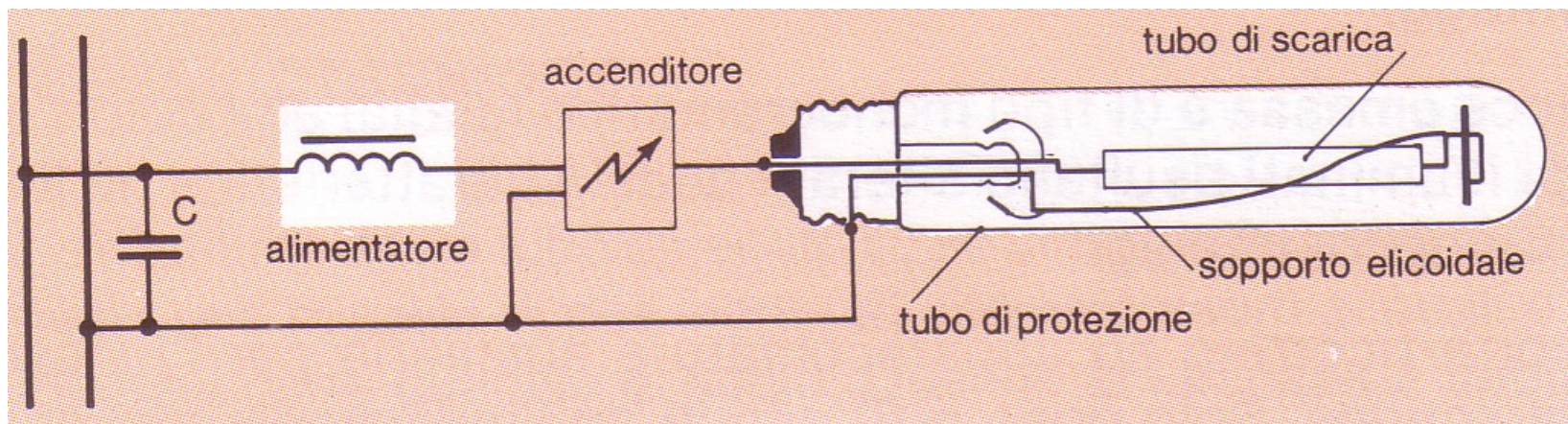
Applicazioni tipiche di lampade al sodio a B.P.



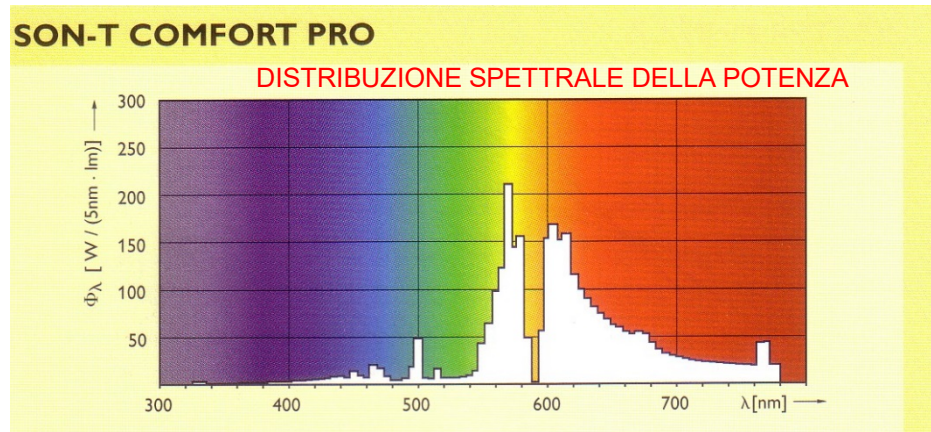
Applicazioni tipiche di lampade al sodio a B.P.



Vapori di sodio ad Alta Pressione



Vapori di sodio ad Alta Pressione



Potenza	Ra	Eff. Lum.	Durata	Tc
W	-	lm/W	h	K
50 - 600	23 - 65	65 - 150	10.000	1900 - 2100

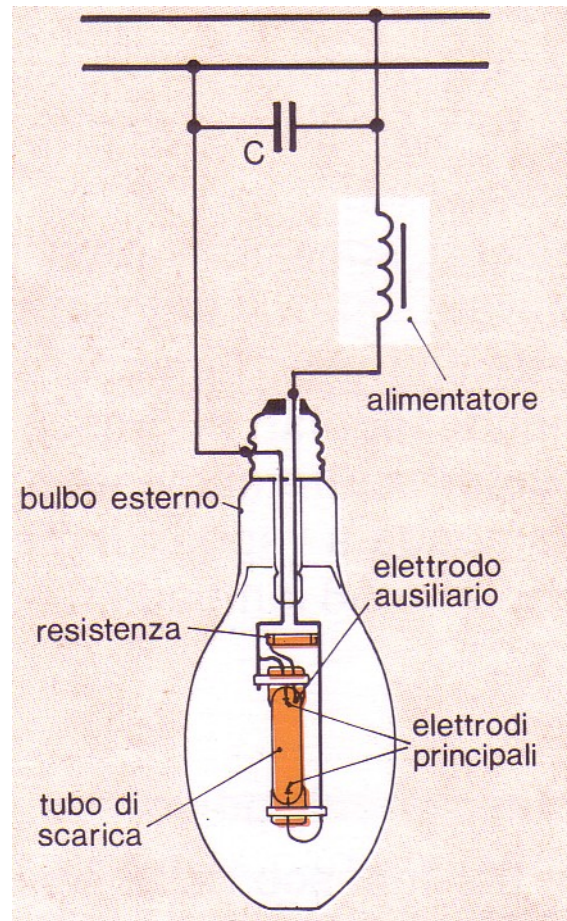
Applicazioni tipiche di lampade al sodio A.P.



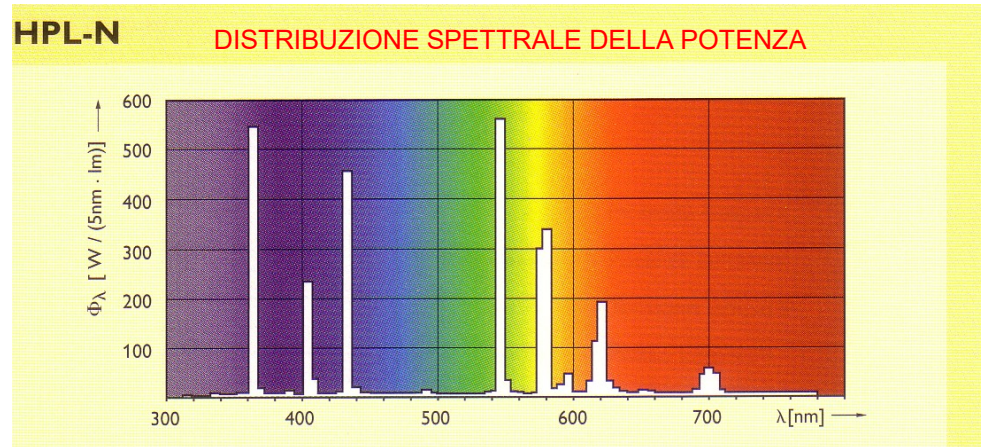
Illuminazione cromaticamente mista



Vapori di mercurio A.P.

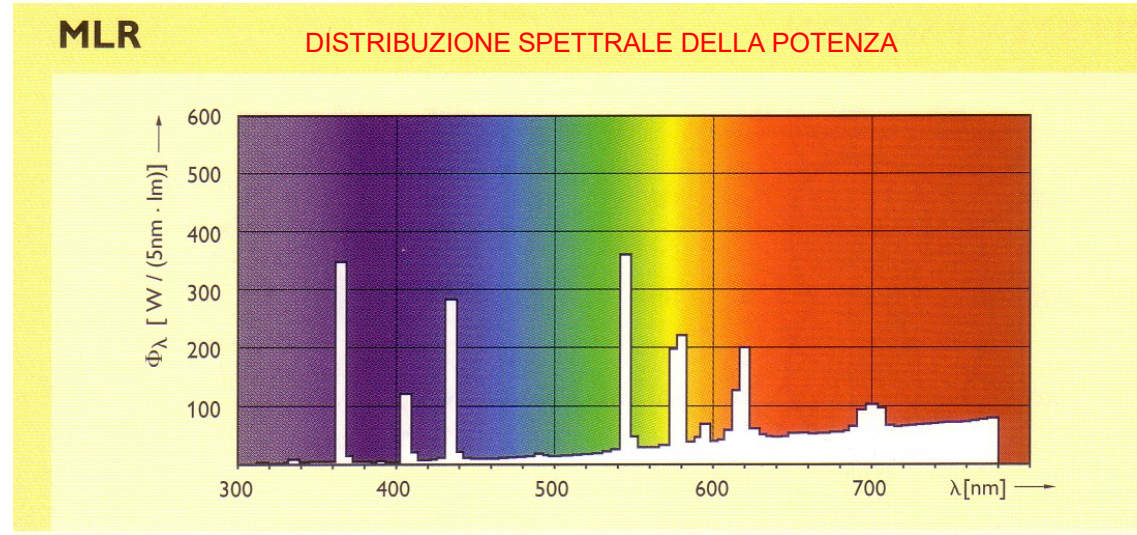


Vapori di mercurio A.P. (Bulbo Fluorescente)



Potenza	Ra	Eff. Lum.	Durata	Tc
W	-	lm/W	h	K
50 - 1000	33 - 57	40 - 61	10.000	3500 - 4300

Vapori di mercurio A.P. (Luce Miscelata)



Potenza	Ra	Eff. Lum.	Durata	Tc
W	-	lm/W	h	K
100 – 160	48 - 72	11 - 26	4.000	3300 - 3700

Applicazioni tipiche di lampade a vapori di mercurio



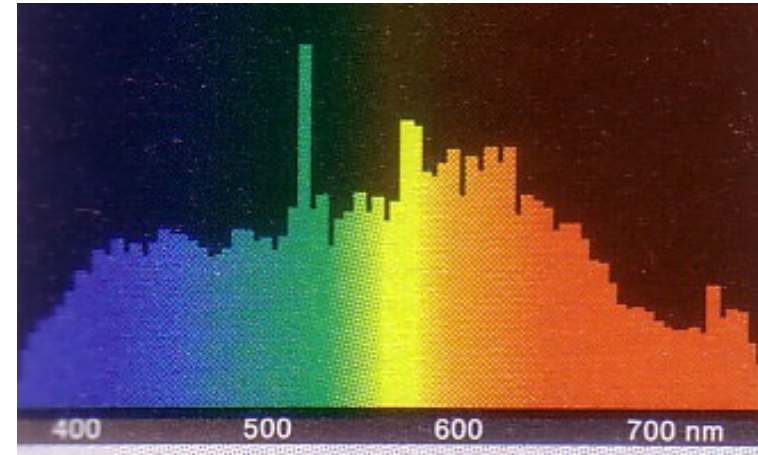
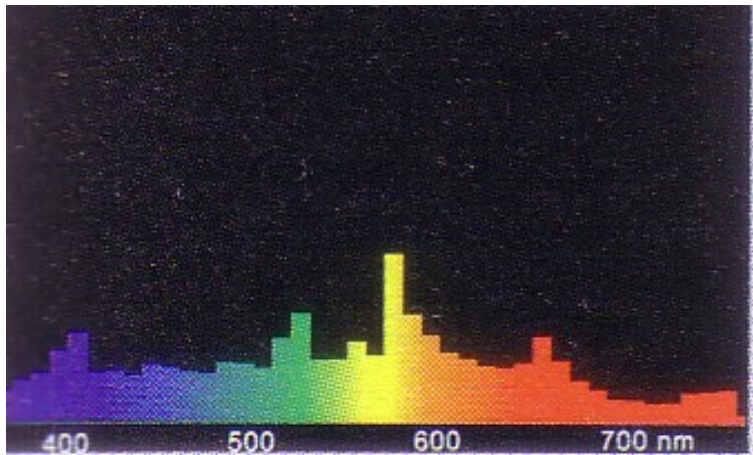
Vapori di mercurio A.P. (Alogenuri Metallici)



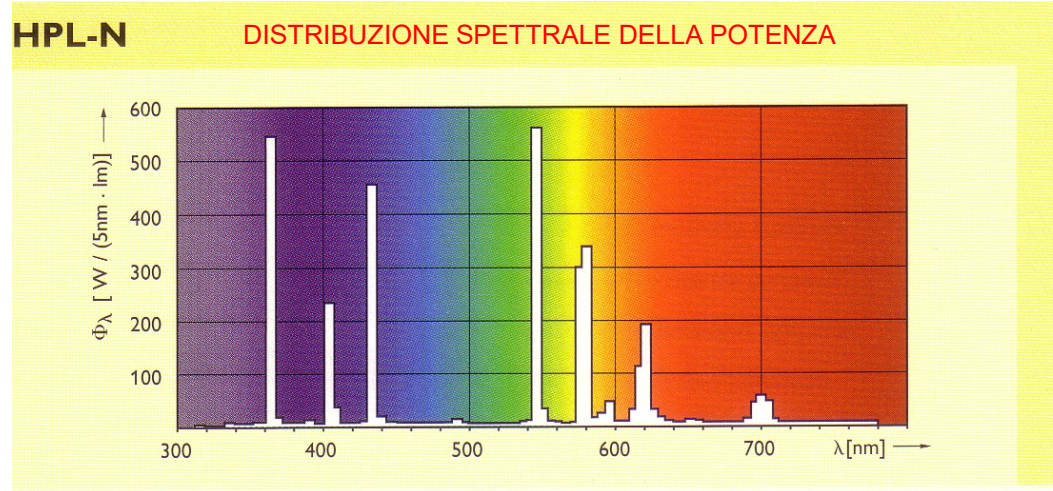
Vapori di mercurio A.P. (Alogenuri Metallici)

Le lampade ad alogenuri metallici sono lampade a vapori di mercurio contenenti additivi di alogenuri metallici. Ne esistono due tipi:

Tecnologia al quarzo e Tecnologia ceramica



Vapori di mercurio A.P. (Alogenuri Metallici)



Potenza	Ra	Eff. Lum.	Durata	Tc
W	-	lm/W	h	K
250 – 2000	65 - 90	65 - 108	10.000	4000 - 4600

Applicazioni tipiche di lampade agli alogenuri metallici



Applicazioni tipiche di lampade agli alogenuri metallici



Applicazioni tipiche di lampade agli alogenuri metallici



Applicazioni tipiche di lampade agli alogenuri metallici



Applicazioni tipiche di lampade agli alogenuri metallici



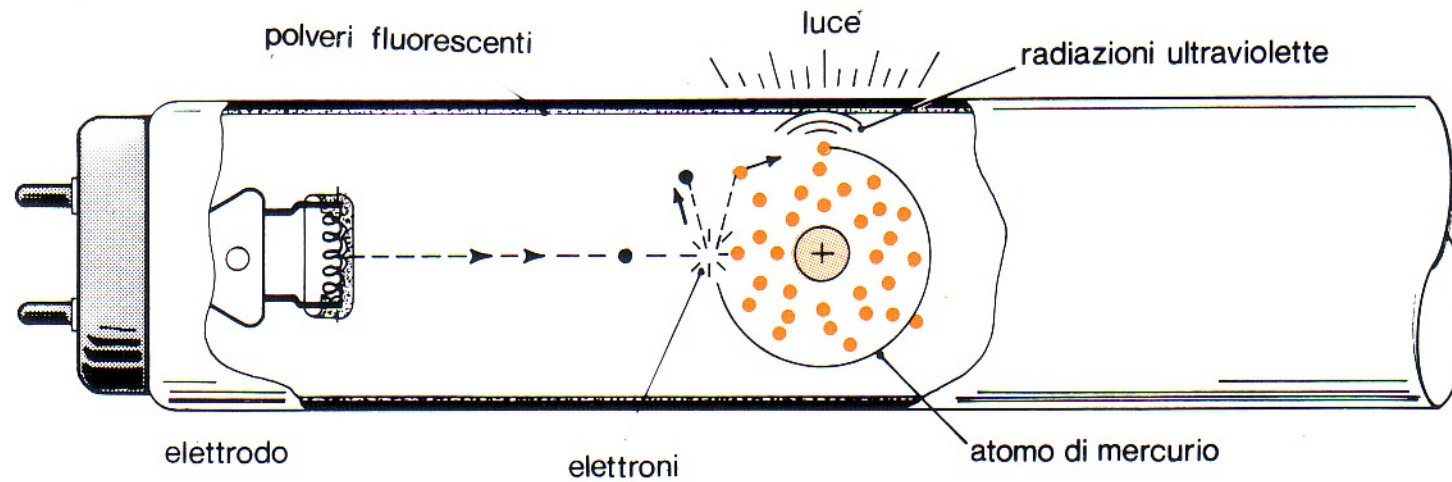
Applicazioni tipiche di lampade agli alogenuri metallici



Applicazioni tipiche di lampade agli alogenuri metallici mista ad alogene



Vapori di mercurio B.P. (Fluorescenti)



Fluorescenti compatte con alimentatore integrato



Fluorescenti non integrate

Compatte	Lineari
----------	---------



Fluorescenti compatte con alimentatore integrato

Potenza	Ra	Eff. Lum.	Durata	Tc
W	-	lm/W	h	K
9 – 23	78 - 82	50 - 60	10.000	2700 - 6500

Fluorescenti non integrate

Potenza	Ra	Eff. Lum.	Durata	Tc
W	-	lm/W	h	K
4 – 80	60 - 95	83 - 108	10.000	2700 - 6500

Applicazioni tipiche di lampade fluorescenti



Applicazioni tipiche di lampade fluorescenti



07.01.2004

Applicazioni tipiche di lampade fluorescenti fibre ottiche



Applicazioni tipiche di lampade fluorescenti



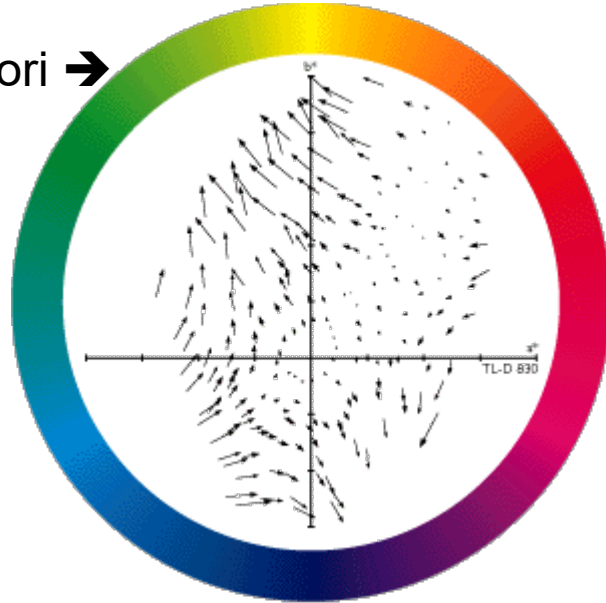
Applicazioni tipiche di lampade fluorescenti



Il codice di colore

Scostamento cromatico

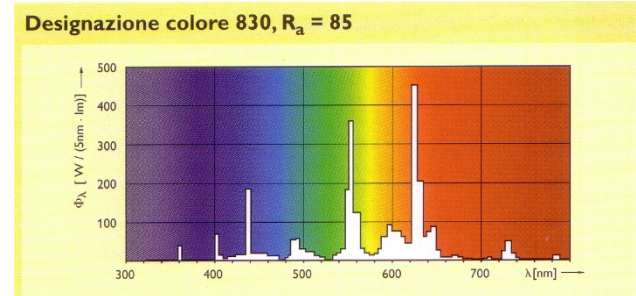
su 215 colori →



**CRD = Colour Rendering
Diagram**

+

Distribuzione spettrale della potenza



=



Il codice ILCOS

FD – 58/30/1B/E/G13

58 W

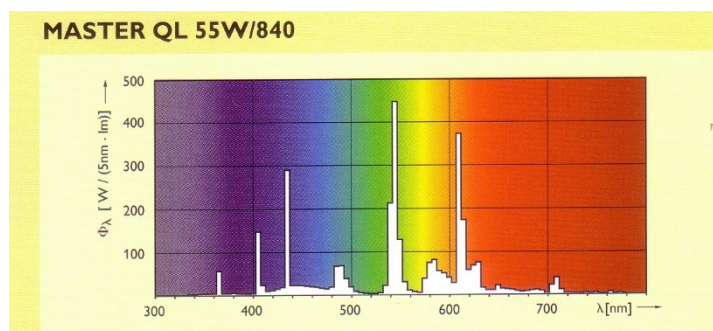
3000 K

Categoria 1B di resa cromatica

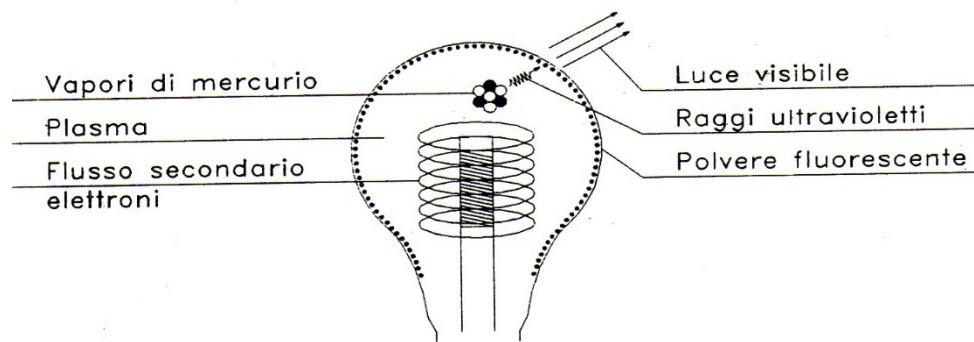
Alimentatore Esterno

Attacco G13

Lampada a induzione

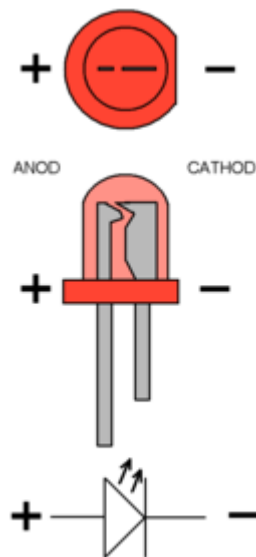


DISTRIBUZIONE SPETTRALE DELLA POTENZA



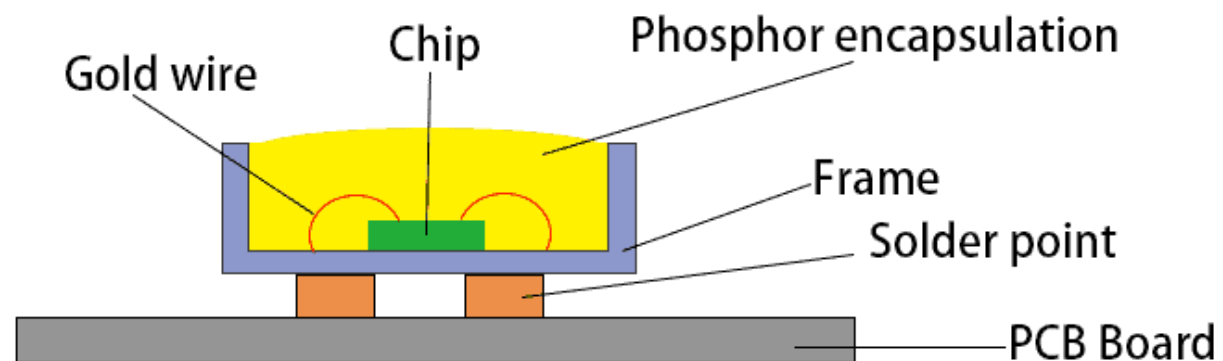
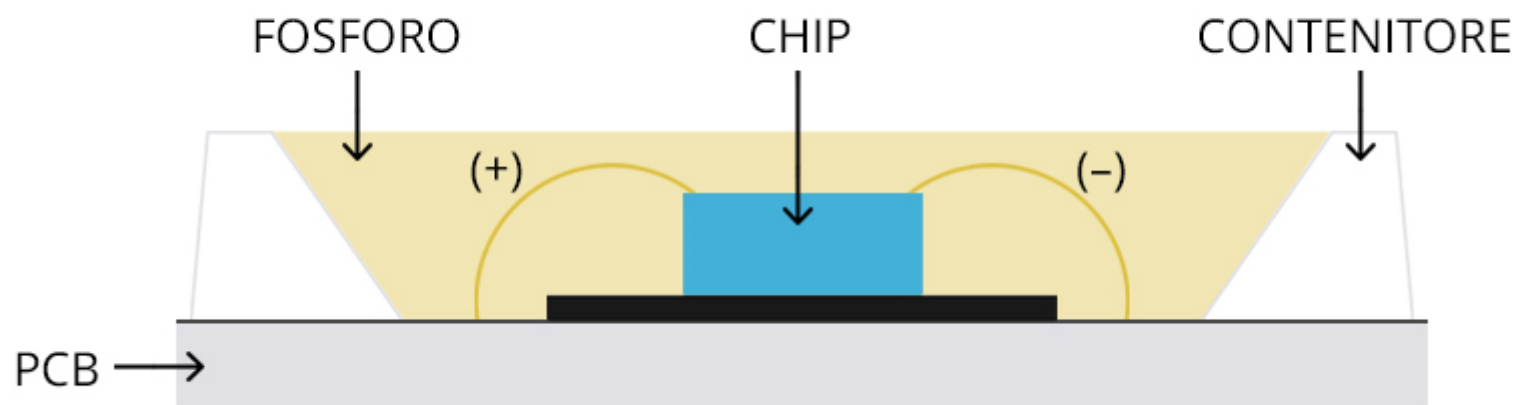
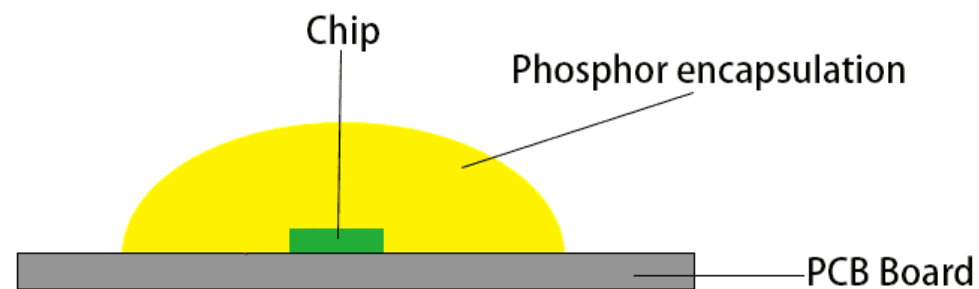
Potenza	Eff. Lum.	Durata	Colorazione
W	lm/W	h	-
55 - 165	65 - 70	60.000	827 - 840

Led

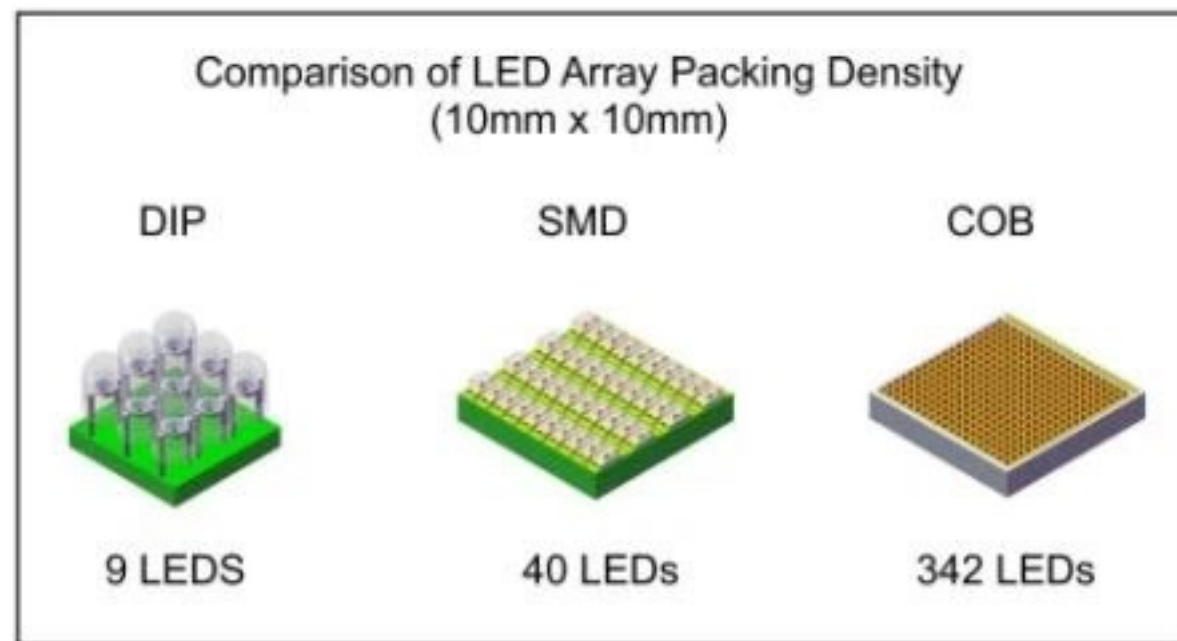
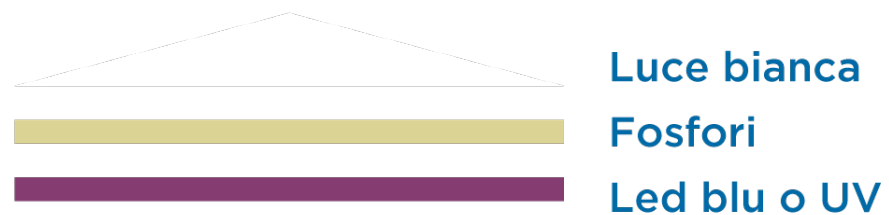
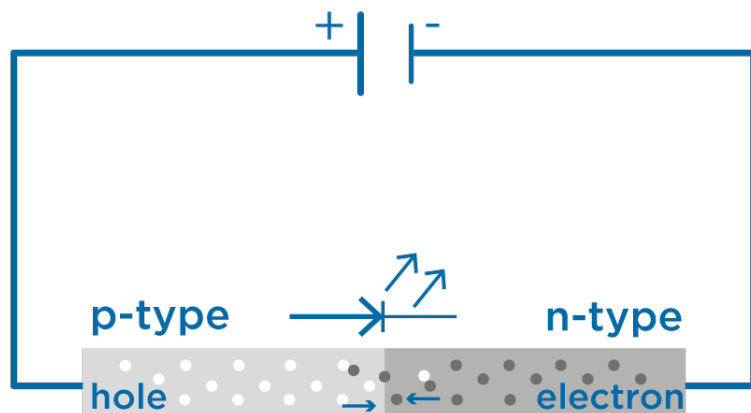


Potenza	Eff. Lum.	Durata	Colorazione
W	lm/W	h	
4 - ...	40 - 160	100.000	932

Led

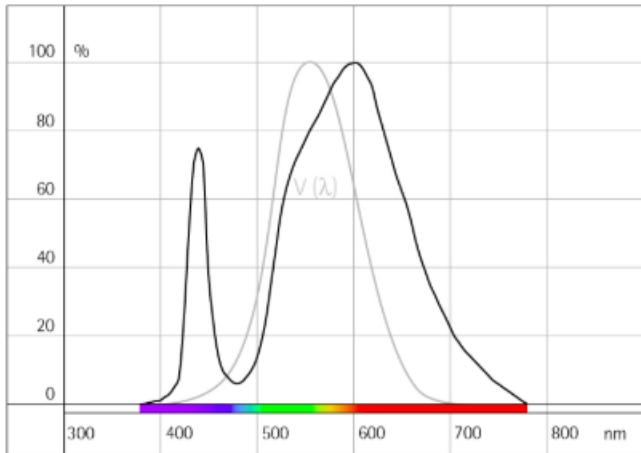


Led



Led

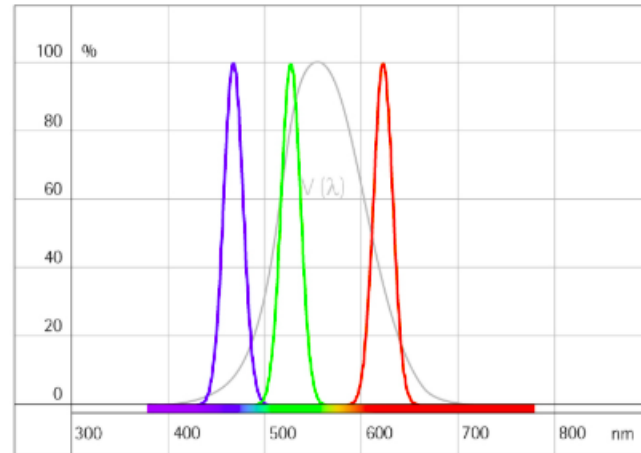
BIANCO A CONVERSIONE DI LUMINESCENZA



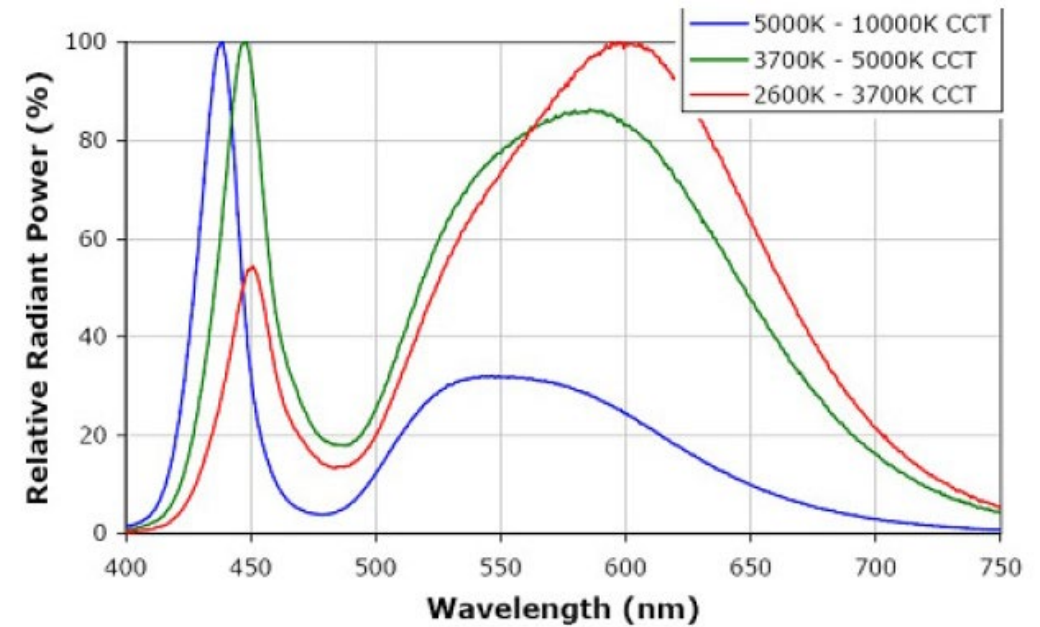
La distribuzione spettrale relativa del LED bianco caldo con conversione di luminescenza coincide sostanzialmente con la sensibilità relativa dei coni dell'occhio umano. Ne risultano una buona efficienza luminosa ed una buona resa cromatica.



RGB



I LED in RGB sono adatti alla miscelazione di luci colorate e molto saturi. La luce bianca generata dai LED in RGB non ha comunque una resa cromatica soddisfacente, quindi queste lampade sono meno adatte ai compiti di illuminazione nei quali i colori costituiscono un fattore critico.



Applicazioni tipiche dei led



Applicazioni tipiche dei led



Applicazioni tipiche dei led



Applicazioni tipiche dei led



Quadro riassuntivo

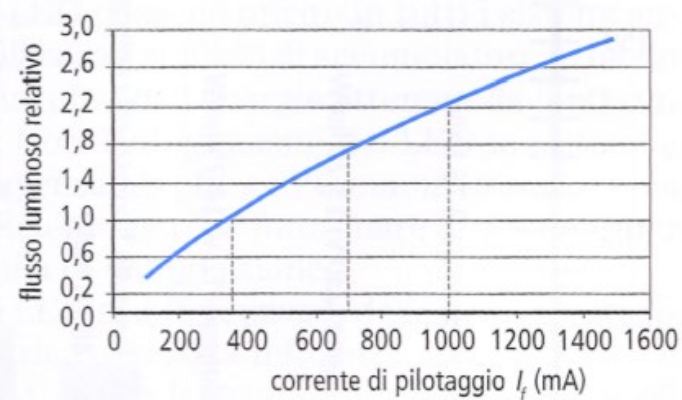
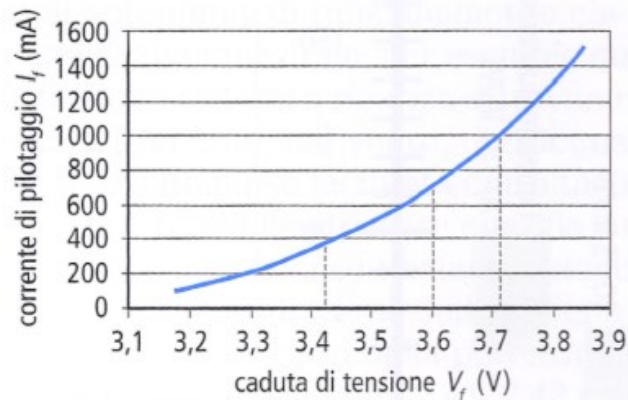
Sorgente	efficienza	rendimento	Ra	Costo
	lm/W	%	-	Euro
Led	0.04 – 160	0.005% – 23.5%	- - 90	
Incandescenza	6 – 18	0.8% - 2.6%	100	2.00
Alogena	18 – 25	2.6% - 3.6%	100	5.00
Alogenuri Met.	60 – 100	8.8% - 14.7%	65 - 90	70.00
Fluorescente	45 - 100	6.6% - 14.7%	65 - 90	10.00
Mercurio A.P.	30 – 60	4.4% – 8.8%	30 - 60	15.00
Sodio A.P.	60 – 150	8.8% - 22%	23 - 65	70.00
Sodio B.P.	100 - 190	14.7% - 27.9%	-	50.00
Induzione	65 - 70	9.6% - 10%	80	100.00
Miscelata	11 - 26	1.6% – 3.8%	48 - 72	12.00
Monocr. a 555 nm	680	100%	-	

Sorgenti luminose artificiali

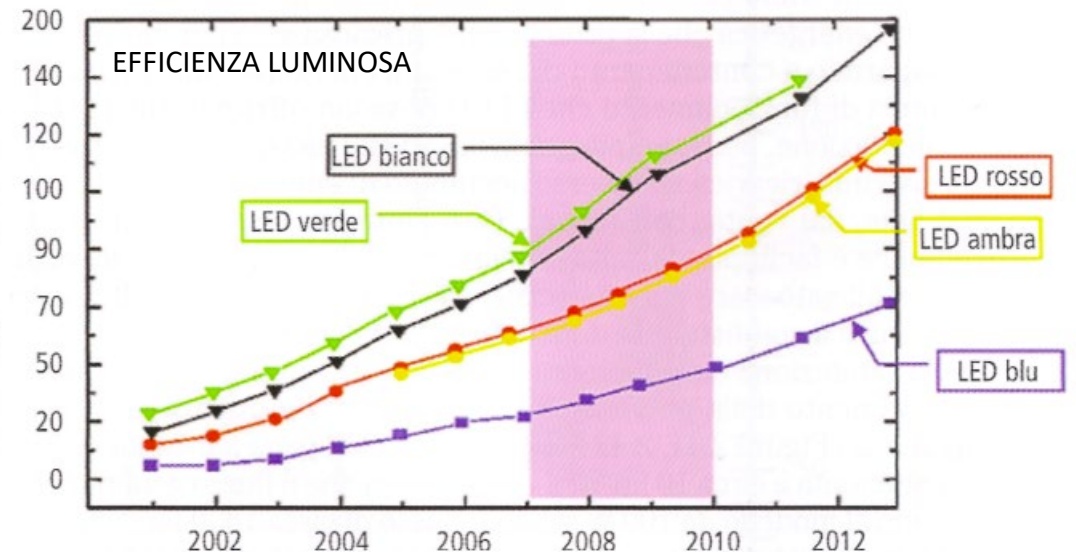
Le sorgenti artificiali «dalla lampadina di Edison ai LED»

Uno dei problemi più gravi che sorge, utilizzando la tecnologia a LED, riguarda **l'inconciliabilità tra l'efficienza luminosa e l'indice di resa cromatica**. E' evidente che l'incremento dell'indice di resa cromatica si ottiene distribuendo la potenza delle radiazioni su tutto lo spettro, mentre l'incremento del flusso luminoso, lasciando invariato il dato della potenza assorbita, si raggiunge concentrando il più possibile la potenza nelle radiazioni prossime al valore di 555nm, cioè quelle radiazioni che il sistema occhio-cervello percepisce come colori più luminosi.

Dove non ha rilevanza la resa dei colori, né in generale la resa estetica, si possono utilizzare LED che “prediligono l'efficienza” in termini di efficienza luminosa, viceversa, la resa cromatica assume importanza nella scelta del componente stesso



$V_f = 3,43 \text{ V} \rightarrow I_f = 0,350 \text{ A} \rightarrow \text{Flux} = 100 \text{ lm}$	$P = 3,43 \text{ V} \times 0,350 \text{ A} = 1,20 \text{ W}$	$\text{Eff} = 83,3 \text{ lm/W}$
$V_f = 3,61 \text{ V} \rightarrow I_f = 0,700 \text{ A} \rightarrow \text{Flux} = 170 \text{ lm}$	$P = 3,61 \text{ V} \times 0,700 \text{ A} = 2,53 \text{ W}$	$\text{Eff} = 67,2 \text{ lm/W}$
$V_f = 3,72 \text{ V} \rightarrow I_f = 1,000 \text{ A} \rightarrow \text{Flux} = 220 \text{ lm}$	$P = 3,72 \text{ V} \times 1,000 \text{ A} = 3,72 \text{ W}$	$\text{Eff} = 59,1 \text{ lm/W}$



Sorgenti luminose artificiali

Le sorgenti artificiali «dalla lampadina di Edison ai LED»

Efficienza globale di un sistema LED:

$$\eta_g = \frac{\eta P_a \rho_o}{P_a + P_c}$$

dove:

- η efficienza luminosa del LED ($\eta = \Phi / P_a$)
- Φ flusso luminoso prodotto dal LED (lm)
- ρ_o rendimento luminoso dell'ottica
- P_a potenza elettrica assorbita dal LED
- P_c potenza elettrica assorbita dal sistema di alimentazione, gestione, controllo e regolazione

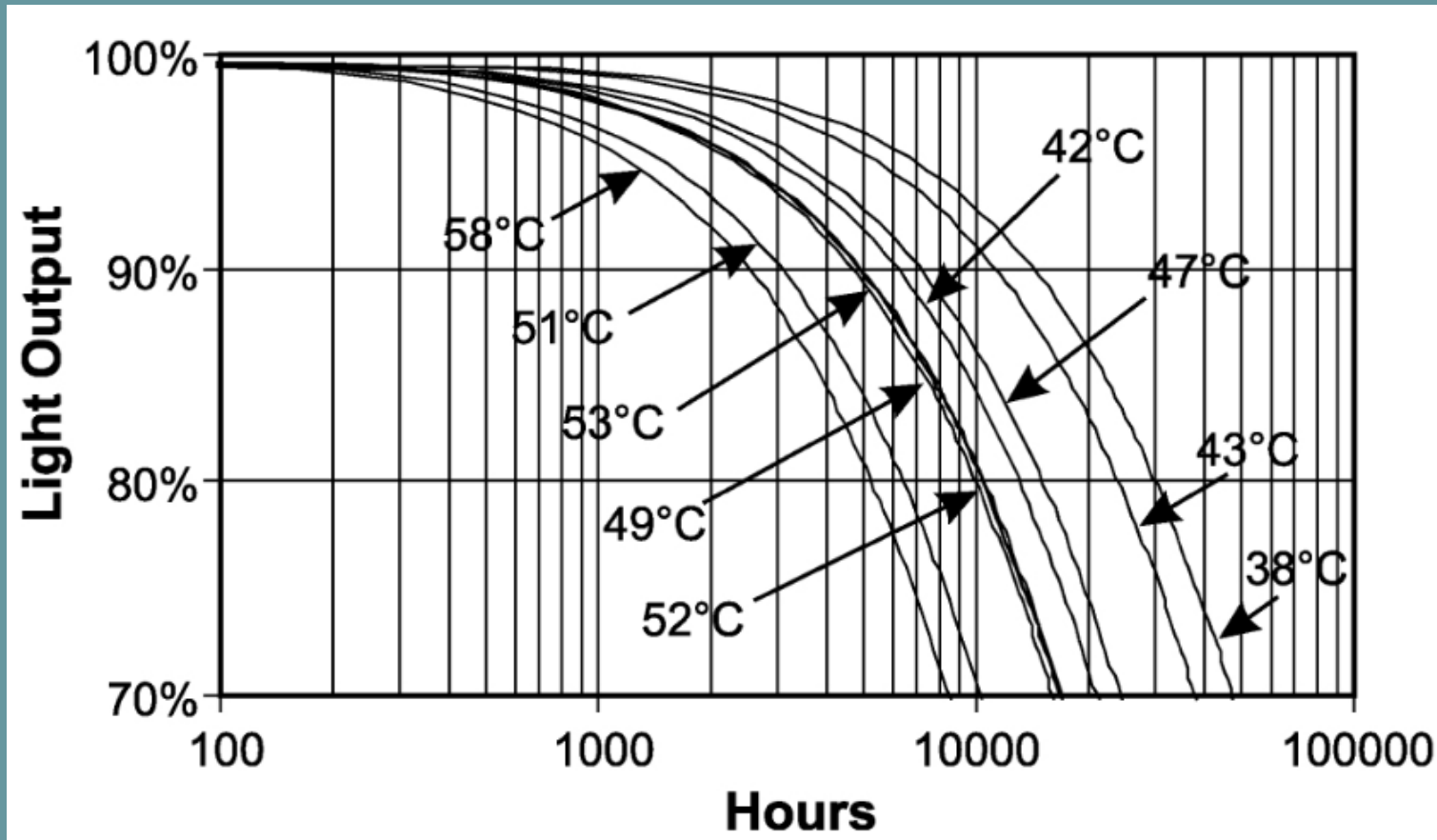
Confronto tra l'efficienza globale di diverse sorgenti:

Tipi di sorgenti luminose	Potenze assorbite dalle sorgenti luminose P_a (W)	Potenze assorbite dai sistemi di alimentazione P_c (W)	Efficienze luminose η_g (lm/W)	Flusso emesso f (lm)	Rendimenti luminosi ρ_o (%)	Efficienze globali η_g (lm/W)
A incandescenza	100	—	13,5	1350	90%	12,1
A ciclo di alogeni (bassissima tensione)	50	8	17,6	880	70%	10,6
Fluorescente compatta	26	2	70	1820	50%	32,5
A vapori di alogenuri metallici	70	10	94,2	6600	60%	49,5
A vapori di sodio ad alta pressione	150	20	100	15.000	60%	52,9
Modulo con 10 Power LED	30	6	90	2700	85%	63,7

Sorgenti luminose artificiali

Focus sugli aspetti energetici delle sorgenti LED

Decadimento luminoso dei LED al variare della temperatura operativa:

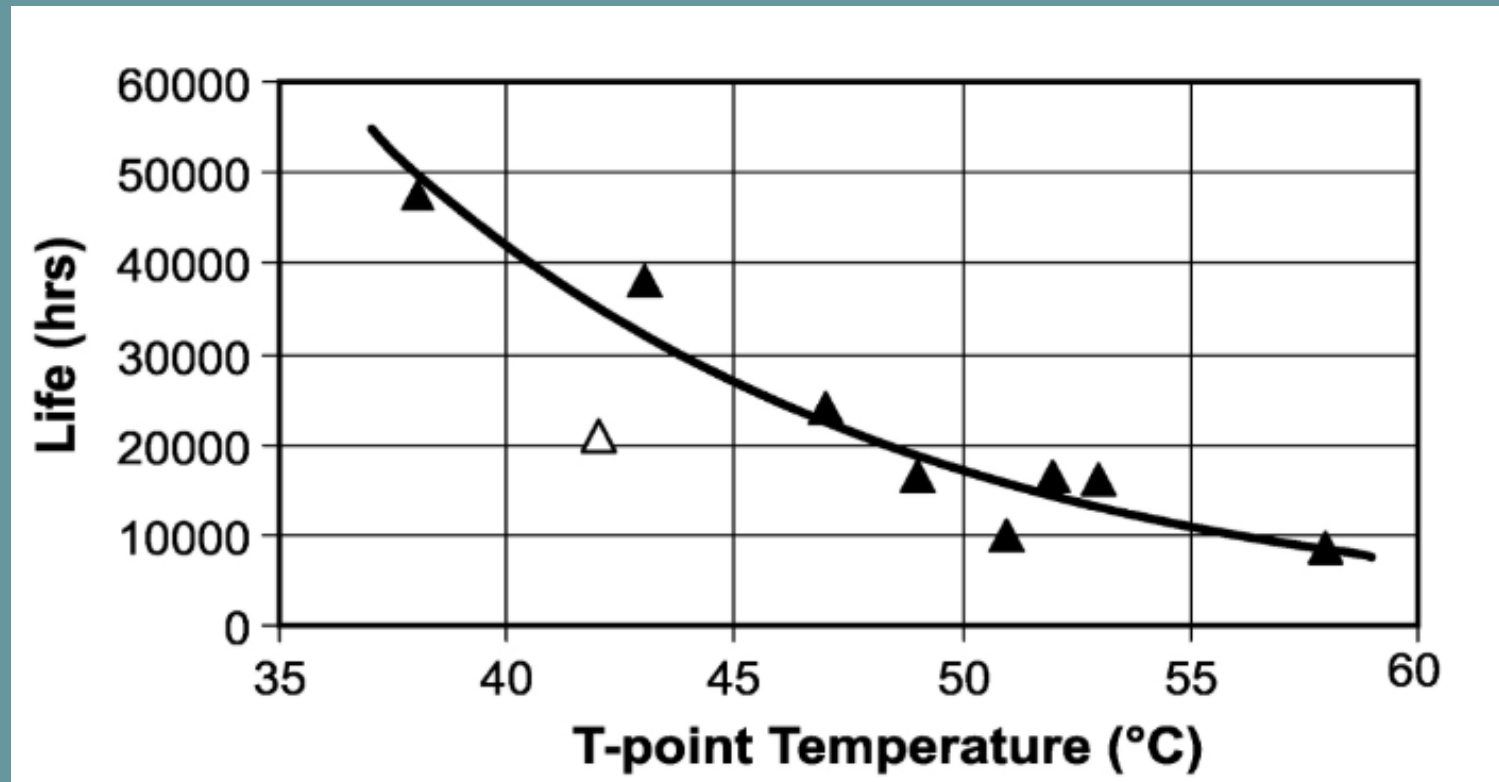


Considerare come tempo di vita del LED il numero di ore di esercizio fino a quando il flusso decade del 5%-10%.

Sorgenti luminose artificiali

Focus sugli aspetti energetici delle sorgenti LED

Durata di vita – temperatura di giunzione:



Pillole di illuminotecnica

Le basi della fotometria
15/05/2024

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Ing. Gennaro Spada
spada@unina.it