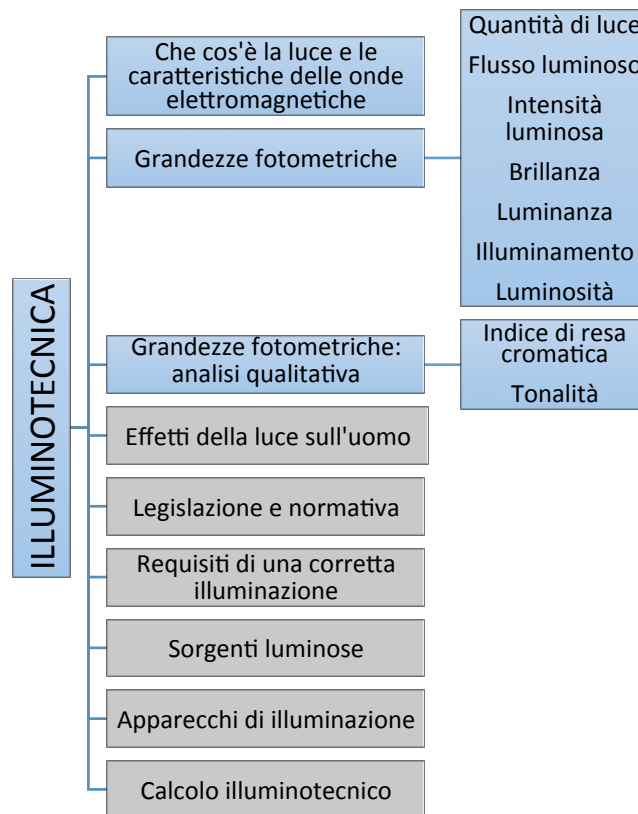


NOZIONI DI ILLUMINOTECNICA



In questa dispensa tratteremo i primi tre argomenti descritti nello schema soprastante riguardanti le sorgenti di luce artificiale.

Che cos'è la luce?

La luce è l'agente fisico che rende visibili gli oggetti, ovvero è la sensazione determinata nell'occhio umano delle onde elettromagnetiche, comprese nell'intervallo del visibile.

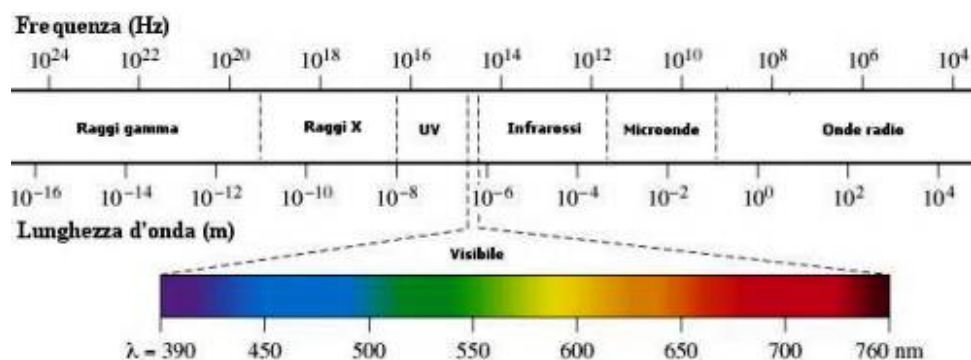


Figura 1. Spettro delle radiazioni elettromagnetiche

L'onda elettromagnetica

La luce è un'onda elettromagnetica caratterizzata da lunghezza d'onda (λ), frequenza (f) e periodo e queste grandezze sono collegate dalla relazione:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

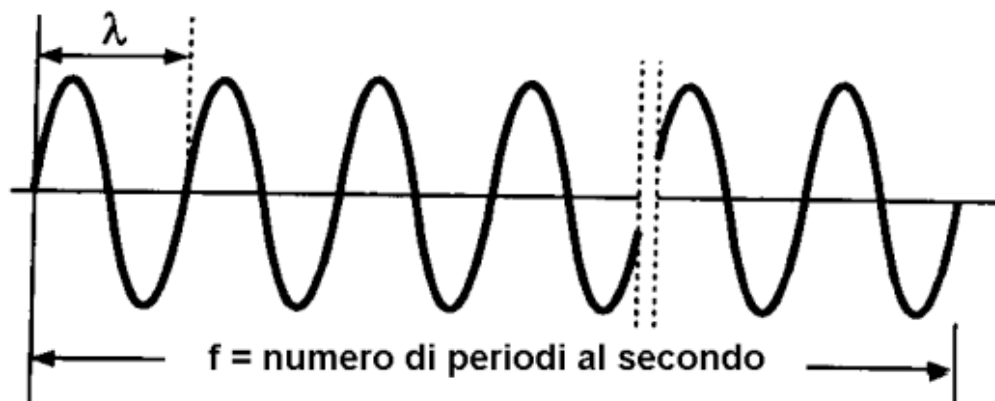
in cui:

c è la velocità della luce (300000 km/s)

f è la frequenza (Hz)

Nelle onde elettromagnetiche le frequenze sono altissime, si parla di gigahertz (GHz), e le lunghezze d'onda, al contrario, sono molto piccole, si parla di nanometri (nm).

lunghezza d'onda



λ	nm	Lunghezza d'onda
f	Hz	Frequenza
c	km/s	Velocità di propagazione

Figura 2. Lunghezza d'onda

Le onde elettromagnetiche coprono una vasta gamma di lunghezze d'onda.

Le radiazioni visibili sono comprese tra 380 nm e 780 nm e all'interno di queste ad ogni valore, corrisponde un colore dell'arcobaleno: le lunghezze d'onda più corte e le frequenze più elevate corrispondono al violetto, mentre a onde più lunghe corrispondono i toni del rosso, passando per il verde e il giallo.

Oltre 780 nm siamo nel campo dell'infrarosso, che chiamiamo così perché la frequenza è inferiore a quella del rosso, viceversa, per lunghezze d'onda inferiori ai 380 nm, abbiamo gli ultravioletti.

La luce ultravioletta non è visibile, ma ha effetti dannosi sulla pelle, mentre la luce infrarossa, anch'essa non visibile, porta con sé una discreta quantità di energia sotto forma di calore.

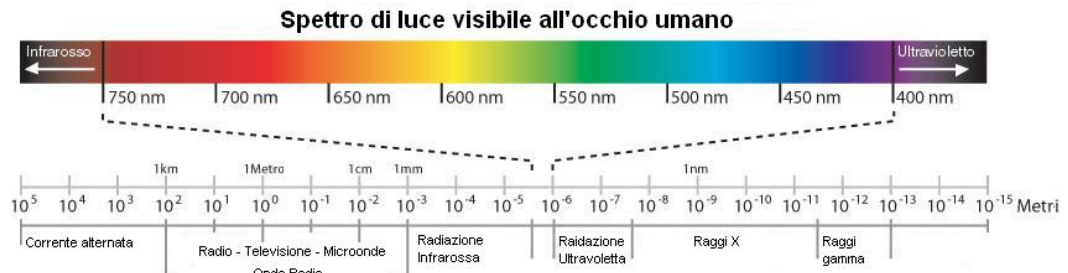


Figura 3. Spettro di luce visibile all'occhio umano

Nell campo delle radiazioni visibili, l'occhio umano non reagisce sempre allo stesso modo, ma ha sensibilità massima per lunghezze d'onda attorno ai 555 nm che corrispondono al colore giallo-verde.

Questo fenomeno è chiaramente visibile dalla curva della sensibilità che mostra allo stesso tempo che all'avvicinarsi dei toni del rosso e del violetto la sensibilità dell'occhio umano cala notevolmente.

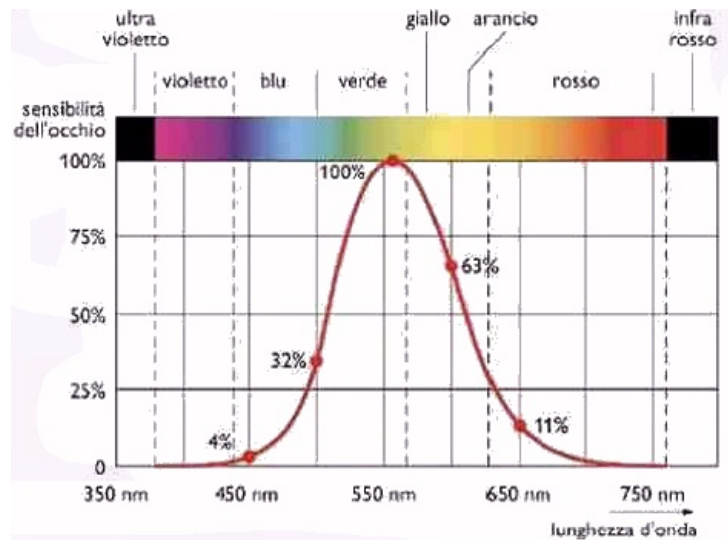
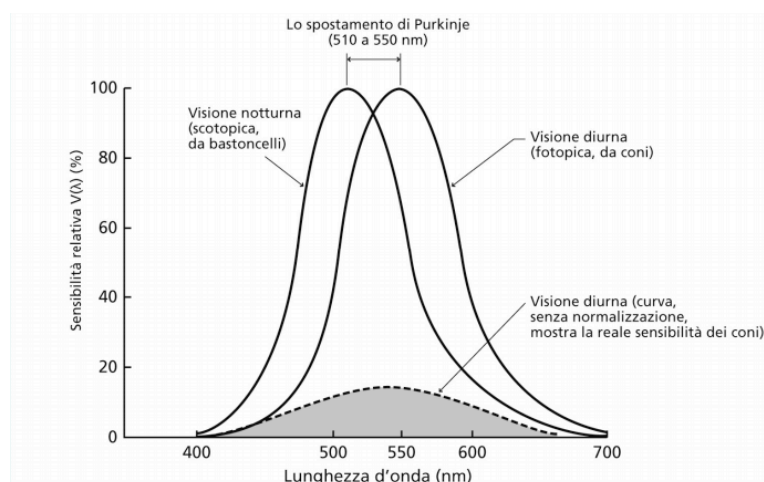


Figura 4. Curva di sensibilità dell'occhio umano

Quando parliamo di condizioni di luce scarsa (condizioni scotopiche), il picco della massima sensibilità, che è 555 nm in visione diurna (visione fotopica), subisce uno spostamento chiamato spostamento di Purkinje a 510 nm.



La frequenza

La frequenza è il numero di periodi che l'onda elettromagnetica compie in un secondo e si misura in hertz (Hz).

La radiazione visibile ha frequenze che vanno da $4 \cdot 10^{14}$ Hz e $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz.

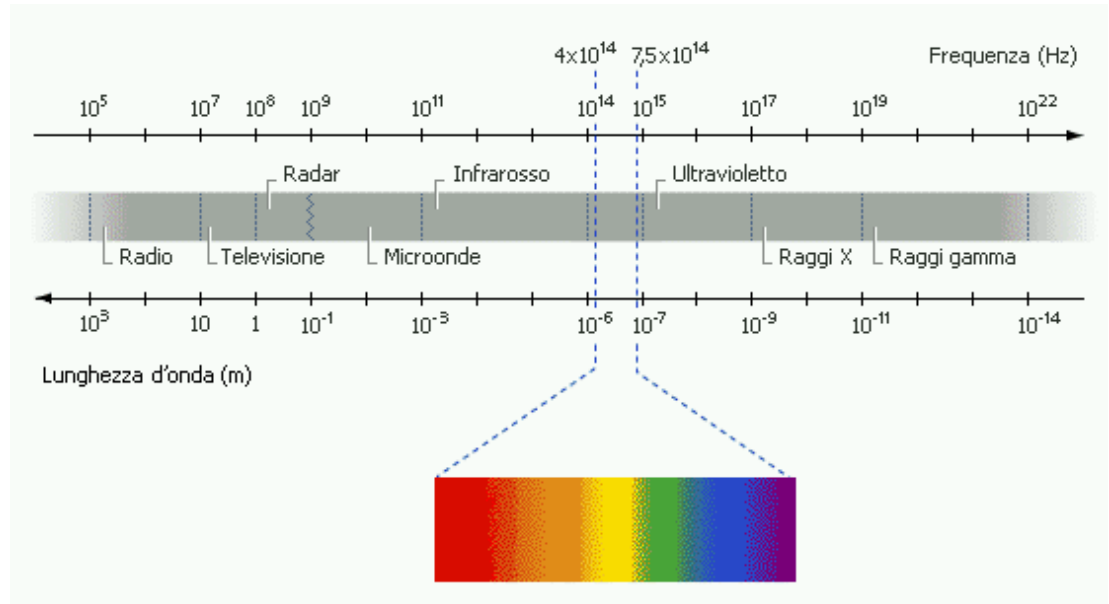


Figura 5. Frequenza onda elettromagnetica

Le principali grandezze fotometriche

La fotometria si occupa solo delle radiazioni luminose visibili.

Quantità di luce ($\text{Im} \cdot \text{h}$)

La quantità di luce è l'energia associata alla radiazione luminosa moltiplicata per la visibilità relativa media dell'occhio umano.

$$\text{Visibilità relativa} = \frac{E_{\text{percepita}}}{E_{\text{incidente}}}$$

Possiamo considerare il lumen come il Watt percepito dall'occhio umano, la quantità di luce è, infatti, la quantità di energia pesata dalla curva di sensibilità.

Quindi, quando ci troviamo alla massima sensibilità e la lampada emette un watt di luce giallo-verde a 555 nm, produce circa 683 lumen.

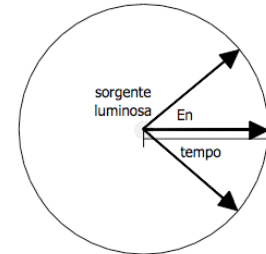
L'unità di misura della quantità di luce è quindi il **lumen·ora**.

Flusso luminoso (lm)

Il flusso luminoso è la quantità di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo ed è espresso in **lumen**.

$$\Phi = \frac{En}{t} = I \cdot \omega$$

$$\Phi = [cd \cdot sr] = [lm]$$

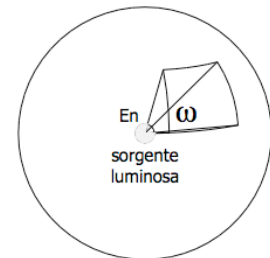


Intensità luminosa (cd)

L'intensità luminosa è data dal rapporto tra il flusso luminoso in lumen e l'angolo solido misurato in steradiani (sr) su cui il flusso insiste.

$$I = \frac{En}{t \cdot \omega} = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$I = \left[\frac{lm}{sr} \right] = [cd]$$



Conseguentemente, per una lampada omnidirezionale, che ha quindi la stessa intensità in tutte le direzioni, avremo:

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

L'unità di misura dell'intensità luminosa è la **candela**, cioè il flusso luminoso di 1 lumen confinato in un angolo solido di 1 steradiante.

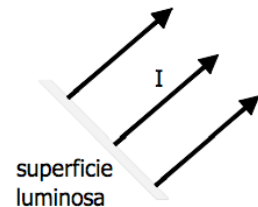
Modificando il paralume, la stessa lampada può produrre un numero di candele diverso e quindi avere differente intensità luminosa.

Brillanza (sb)

La brillanza è il rapporto tra l'intensità di luce emessa da una sorgente non puntiforme e l'area della superficie emittente.

$$L = \frac{I}{S}$$

$$L = \left[\frac{cd}{cm^2} \right] = [sb]$$



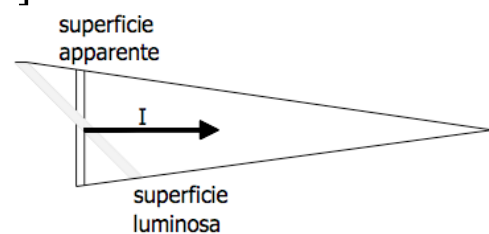
L'unità di misura della brillanza è lo **stilb**.

Luminanza ($\frac{cd}{m^2}$)

La luminanza è il rapporto tra l'intensità di luce emessa da una sorgente non puntiforme in una determinata direzione e l'area della superficie perpendicolare a tale direzione (superficie apparente).

$$L = \frac{I}{S}$$

$$L = \left[\frac{cd}{m^2} \right]$$



La superficie apparente è data dalla proiezione della superficie effettiva nella direzione di osservazione.

La luminanza è costante per qualsiasi angolo α .

Per la legge di Lambert:

$$I(\alpha) = I_{normale} \cdot \cos(\alpha)$$

e poichè anche la superficie apparente varia al variare dell'angolo α :

$$S_{app} = S \cdot \cos(\alpha)$$

si capisce immediatamente che facendo il rapporto:

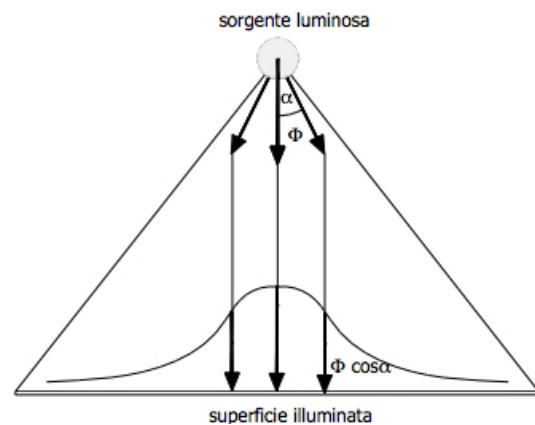
$$L = \frac{I_{normale}}{S}$$

Illuminamento (lx)

L'illuminamento è il rapporto tra la componente perpendicolare del flusso luminoso ($\Phi \cos\alpha$) che incide su una superficie e l'area della superficie stessa.

$$E = \frac{\Phi}{S} \cdot \cos \alpha = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha$$

$$E = \left[\frac{lm}{m^2} \right] = [lx]$$



L'illuminamento può essere considerato come il flusso che “cade” su una superficie ed è per questo espresso in lumen · m², cioè **lux**.

Luminosità o radianza (lambert)

La luminosità o radianza è il rapporto tra il flusso luminoso diffuso da una superficie illuminata e l'area della superficie stessa.

$$R = \frac{\Phi}{S}$$
$$R = \left[\frac{lm}{cm^2} \right] = [lambert]$$

Nel caso della radianza il flusso è un flusso riemesso da cui:

$$R = \frac{\Phi_{riemesso}}{S} = \frac{r \cdot \Phi_{incidente}}{S}$$

con r coefficiente di riflessione sempre minore o uguale a 1:

$$r = \frac{R}{E}$$

Indice di resa cromatica

L'indice di resa cromatica è un dato qualitativo che rappresenta in che misura la luce emessa da una sorgente luminosa ci consente di apprezzare le sfumature di colore degli oggetti illuminati.

L'indice è rappresentato da un numero che varia da 1 a 100, il cui valore di riferimento massimo è la luce del sole.

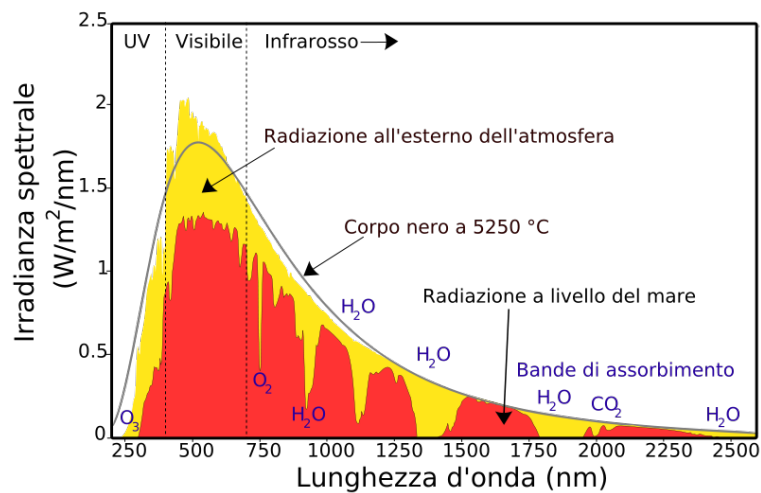


Figura 6. Spettro della luce solare

In presenza di una lampada con uno spettro differente da quello solare, avremo un indice di resa cromatica più basso e quindi una luce peggiore.

IRC basso	50-70
IRC buono	70-85
IRC ottimo	85-100

Figura 7. Indice di resa cromatica

Tonalità

Per parlare di tonalità dobbiamo fare riferimento alla **temperatura di colore** e quindi allo spettro di radiazioni di un corpo nero in cui, al crescere della temperatura, lo spettro si sposta dal rosso verso colori più azzurri.

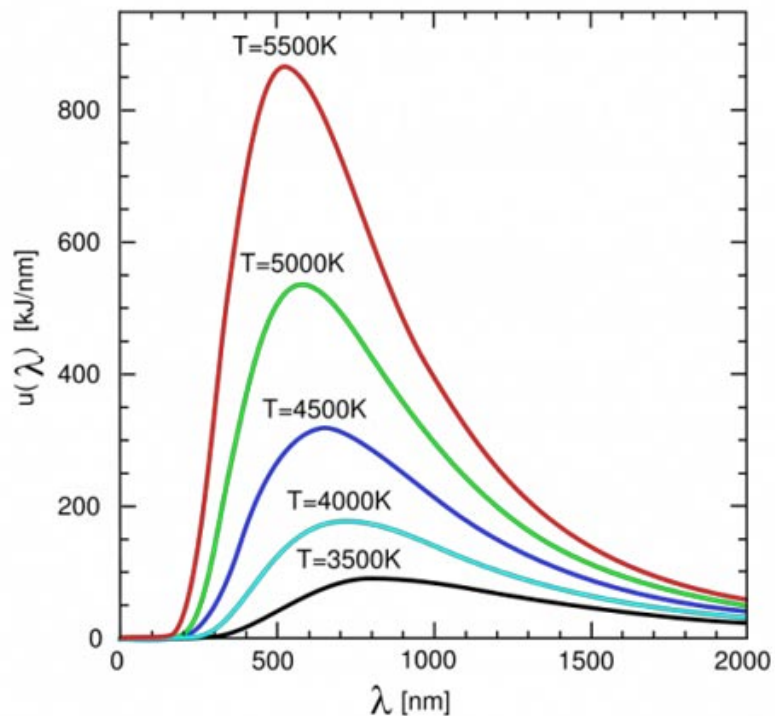


Figura 8. Spettro di radiazione del corpo nero

Il picco di emissione ci dà il colore della luce: a un'elevata temperatura di colore corrisponde una luce fredda, mentre ad una bassa temperatura di colore corrisponde una luce calda.

La **tonalità** della luce è in funzione della temperatura di colore della sorgente luminosa e si misura in Kelvin (K).

Tonalità calda	2000-3000
Tonalità bianca standard	3000-4000
Tonalità bianchissima o extra bianca	4000-4500
Tonalità fredda o diurna	> 4500

Figura 9. Tonalità in funzione della temperatura di colore