

# ILLUMINOTECNICA

**Lezione 1**  
**Lezione 2**  
**Lezione 3**

La luce - Temperature di colore - Resa cromatica - Grandezze fotometriche

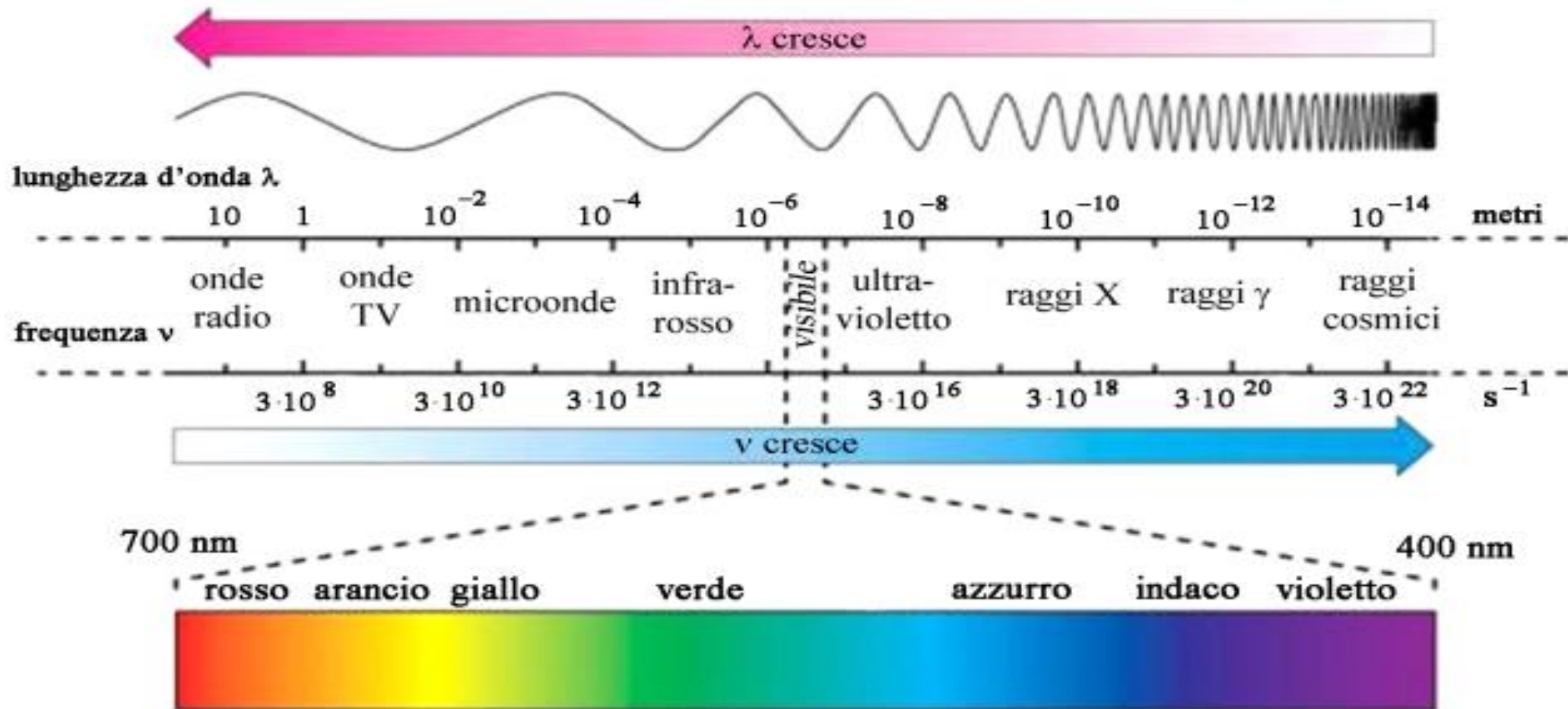
# Lo spettro elettromagnetico

2

- Lo **spettro elettromagnetico** (abbreviato spettro EM) indica l'insieme di tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche.
- Pur essendo lo spettro continuo, è possibile una suddivisione puramente convenzionale ed indicativa in vari intervalli o *bande di frequenza*, dettata a partire dallo spettro ottico. L'intero spettro è suddiviso nella parte di **spettro visibile** che **dà vita alla luce** e le parti di spettro non visibile a lunghezza d'onda maggiori e minori dello spettro visibile.

# Lo spettro elettromagnetico

3



## Ma i colori esistono?

No, i colori che vedete attorno a voi non esistono, almeno non nel modo in cui avete sempre creduto. In realtà i colori non sono altro che radiazioni elettromagnetiche con lunghezze d'onda diverse che vengono percepiti dai fotorecettori centrali del nostro occhio (i coni della retina), trasformati in segnali elettrici, trasportati dal nervo ottico ed inviati alla corteccia visiva (che ha sede nel lobo occipitale del cervello) che si occupa di tradurli e interpretarli per fornirli alla nostra coscienza così come noi li vediamo.

Il termine **luce** (dal latino *lux*) si riferisce alla porzione dello spettro elettromagnetico visibile dall'occhio umano, approssimativamente compresa tra 400 e 700 nm di lunghezza d'onda, ossia tra 790 e 435 THz di frequenza.

Questo intervallo coincide con il centro della regione spettrale della luce emessa dal Sole che riesce ad arrivare al suolo attraverso l'atmosfera.

I limiti dello spettro visibile all'occhio umano non sono uguali per tutte le persone, ma variano soggettivamente e possono raggiungere i 720 nm, avvicinandosi agli infrarossi, e i 380 nm avvicinandosi agli ultravioletti.

La presenza contemporanea di tutte le lunghezze d'onda visibili, in quantità proporzionali a quelle della luce solare, forma la *luce bianca*.

# La lunghezza d'onda

7

La **lunghezza d'onda** elettromagnetica è la distanza tra due *creste* o fra due *ventri* della sua forma d'onda, e viene comunemente indicata dalla lettera greca  $\lambda$  e si misura in metri (o sottomultipli).

Essa è anche la distanza che l'onda percorre in un periodo alla sua velocità di propagazione:

$$\lambda = v \cdot T$$

essendo poi

$$T = \frac{1}{f}$$

si ha anche:

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

$\lambda$  = lunghezza d'onda [m]

$v$  = velocità di propagazione [m/s] e dipende dal mezzo in cui si propaga

$T$  = periodo [s]

Quando le onde, solitamente quelle elettromagnetiche, passano attraverso un materiale, **la loro velocità di propagazione viene ridotta** di un fattore pari all'indice di rifrazione  $n$  del materiale, mentre la frequenza non cambia.

Detta  $\lambda_0$  la lunghezza d'onda nel vuoto, la lunghezza d'onda  $\lambda'$  in un materiale con indice di rifrazione  $n$  è data da:

$$\lambda' = \frac{\lambda_0}{n}$$



Le lunghezze d'onda della radiazione elettromagnetica sono normalmente riferite al vuoto come mezzo di propagazione (anche se questo non è sempre dichiarato esplicitamente).

La velocità  $v$  delle onde elettromagnetiche è pari alla velocità della luce, cioè circa  $3 \times 10^8$  m/s (300.000 km/s). Quindi per esempio la lunghezza d'onda di un segnale a 100 MHz (un'onda radio), è di circa  $3 \times 10^8$  m/s diviso  $100 \times 10^6$  Hz = 3 metri.

Una **luce** è detta **monocromatica** se è costituita da onde elettromagnetiche aventi tutte la stessa lunghezza d'onda è quindi fanno rilevare all'occhio umano un solo colore.

Un esempio di luce monocromatica è quella prodotta dalle lampade a vapore di sodio a bassa pressione.

La luce prodotta dalle lampade ad incandescenza è come quella del sole: è a spettro continuo e comprende tutta la gamma delle lunghezze d'onda visibili.

Si dice «corpo nero» una sorgente ideale di energia che emette radiazioni elettromagnetiche in tutto lo spettro e in grado di assorbire completamente le onde elettromagnetiche che lo colpiscono.

A seconda della sua temperatura il colore del «corpo nero» cambia: per esempio a 3500 K (si ricorda che 0 Kelvin equivalgono a  $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$  è di colore giallastro.

**Si definisce pertanto temperatura di colore di una data radiazione luminosa la temperatura associata a un corpo nero ideale che emette una radiazione luminosa cromaticamente simile alla radiazione in esame.**

Una temperatura intorno ai 2000 K corrisponde invece al colore arancione.

A valori di temperatura inferiori corrispondono il rosso e, ancora più in basso, l'infrarosso, non più visibile; mentre in ordine crescente la luce è dapprima bianca, quindi azzurra, violetta e ultravioletta.

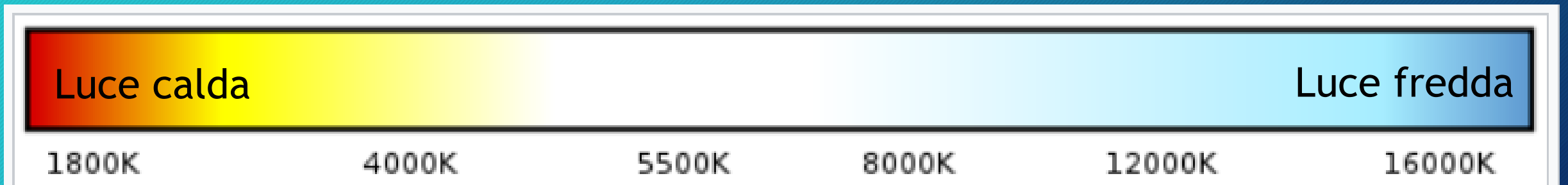
Controintuitivamente, quindi, la luce definita nell'uso comune come “calda” (ovvero con tonalità tendenti al rosso-giallo) ha in effetti una temperatura inferiore a quella definita “fredda” (tendente all'azzurro chiaro-bianco).

# La temperatura di colore

13

Le onde elettromagnetiche responsabili della trasmissione di calore, sono in realtà quelle con frequenza più bassa, da cui la comune associazione dell'idea di “caldo” a tonalità di colore prossime all'infrarosso e “freddo” a quelle invece tendenti all'ultravioletto.

Si precisa che ha senso parlare di temperatura di colore solo se la sorgente di luce emette uno spettro di energia continuo: di conseguenza, ciò non si verifica per tutte le sorgenti luminose.



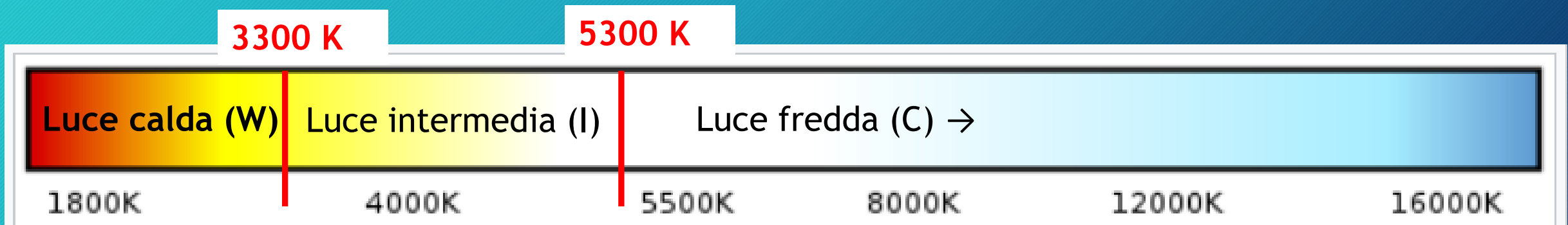
Lo spettro cromatico corrispondente alle varie temperature di colore

# La temperatura di colore

14

Comunemente si identificano **3 categorie di temperature di colore:**

- **Calda (W)** : Luce calda con temperature di colore  $< 3300$  K
- **Intermedia (I)** : Luce neutra con temperature di colore tra  $3300$  K e  $5300$  K
- **Fredda (C)** : Luce fredda con temperature di colore  $> 5300$  K



Lo spettro cromatico corrispondente alle varie temperature di colore

# La temperatura di colore

15

**TAB. 1** Temperature di colore di alcune sorgenti luminose

<b>Sorgenti naturali</b>	Luna	4100 K
	Sole d'estate a mezzogiorno	5300-5800 K
	Cielo coperto	6400-6900 K
	Cielo sereno blu intenso	10000-25000 K
<b>Lampade fluorescenti</b>	Luce bianca calda	3000 K
	Luce bianca	4000 K
<b>Lampade incandescenti</b>	Tipo standard (lampadina)	2800 K
	Alogena	3000 K
<b>Lampade a LED</b>	Luce bianca calda	3000 K
	Luce bianca fredda	9000 K

**L'Indice di Resa Cromatica Ra** (spesso citato con la dizione anglosassone Color Rendering Index - **CRI**) è un indice adimensionale che varia da **0 a 100**, e descrive la capacità di una sorgente di restituire fedelmente i colori di un oggetto illuminato.

Tanto più elevato è l'indice di resa cromatica di una sorgente luminosa tanto più naturali (cioè simili a quelli illuminati dalla luce solare) saranno i colori dell'oggetto illuminato.



Un Indice di Resa Cromatica Ra **superiore a 85** (anche indicato con 85%) **è un ottimo indice di resa cromatica.**

Ogni sorgente luminosa ha un valore indicativo di resa cromatica.

TIPO DI SORGENTE LUMINOSA	INDICE DI RESA CROMATICA Ra
Incandescenza	100
Alogene a bassa tensione	100
Vapori di mercurio ad alta pressione	40 - 50
Fluorescente compatta	70 - 80
Alogenuri metallici	90
Fluorescente lineare	70 - 90
Vapori di sodio a bassa pressione	0

E i LED ?

**I LED hanno un Ra (IRC) compreso tra 70 e 95**

Per ogni ambiente è richiesto, dalla **Norma UNI EN 12464-1**, uno specifico intervallo dell'Indice di Resa Cromatica Ra.

**TAB. 2** Gruppi di indice di resa cromatica

Gruppo	Valori di $R_a$	Utilizzo
1A	$R_a \geq 90$	abitazioni, musei, studi grafici, ospedali, studi medici ecc.
1B	$80 \leq R_a < 90$	uffici, scuole, negozi, palestre, teatri ecc.
2	$60 \leq R_a < 80$	locali di passaggio, corridoi, scale, ascensori, palestre, aree servizio ecc.
3	$40 \leq R_a < 60$	interni industriali, officine, magazzini, depositi ecc.
4	$20 \leq R_a < 40$	parcheggi, cantieri, scavi, aree di carico e scarico ecc.

# Le principali grandezze fotometriche

19

Le principali grandezze fotometriche sono:

1. Intensità luminosa
2. Flusso luminoso
3. Efficienza luminosa
4. Illuminamento
5. Luminanza

*Analizziamole →*

**1. Intensità luminosa :** è la quantità di luce emessa in una certa direzione. Essa dipende in buona parte dagli elementi che «guidano» cioè che orientano la luce, come ad esempio i riflettori. Il grafico che la rappresenta si chiama curva fotometrica (LVK).

**$I$  [cd]**

L'unità di misura è la candela (cd) che rappresenta l'intensità luminosa emessa in una data direzione, da una sorgente monocromatica di frequenza  $540 \cdot 10^{12}$  Hz di potenza pari a  $1/683$  W per steradiante.

*Una lampadina fluorescente da 40 W ha un'intensità luminosa di circa 320 cd mentre una a LED da 12 W ha una intensità luminosa di circa 100 cd.*

# Le principali grandezze fotometriche

21

2. **Flusso luminoso** : è la quantità di energia luminosa emessa da una sorgente luminosa nell'unità di tempo. Analiticamente è pari a:

$\Phi$  [lm]

$$\Phi = \frac{dE}{dt}$$

L'unità di misura è il lumen (lm) che rappresenta la quantità di luce irradiata in 1 secondo da una apertura di 1 m<sup>2</sup> ricavata in una sfera di raggio 1 metro con la parte interna annerita (*cioè che assorbe ma non riflette la luce*) al centro della quale è posta una sorgente luminosa puntiforme di intensità pari a 1 candela.

*Una lampadina fluorescente da 58 W emette circa 5000 lm mentre una a LED da 70 W circa 6500 lm.*

## Sorgenti luminose isotrope

22

### Flusso luminoso di una sorgente isotropa:

Una sorgente luminosa è chiamata isotropa se emette energia (luce) in modo uguale in tutte le direzioni (cioè  $I = \text{costante}$ ), un esempio di simmetria sferica è quella di una stella.

Se mettiamo una superficie sferica  $S_1$  ed  $S_2$  ad un raggio  $r_1$  e  $r_2$  rispettivamente rispetto alla sorgente, sappiamo dalla conservazione dell'energia che l'energia totale passante attraverso  $S_1$  deve essere la stessa che passa attraverso  $S_2$ .

Se:  $I = \text{costante}$

Si dimostra che :  $\phi = I \cdot 4\pi$

# Le principali grandezze fotometriche

23

**3. Efficienza luminosa** : è il rapporto tra il flusso luminoso [lm] e la potenza elettrica assorbita [W]:

**$K$  [lm/W]**

$$K = \frac{\phi}{P}$$

Dimensionalmente è espressa in lumen/Watt.

Le sorgenti luminose ad alta efficienza sono quindi quelle che a parità di potenza emettono un maggior flusso luminoso che equivale a dire che a parità di flusso luminoso emesso assorbono minore potenza.

*Una lampadina a LED sono tra le sorgenti luminose quelle che presentano la maggiore efficienza.*

# Le principali grandezze fotometriche

24

4. **Illuminamento** : è il rapporto tra il flusso luminoso ( $F$ ) (misurato in lumen) emesso da una sorgente e la superficie  $S$  dell'oggetto illuminato:

$E$  [lx]

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Dimensionalmente è espressa in lumen/m<sup>2</sup>.

L'illuminamento dipende però anche da altri fattori (*tipo di illuminazione se diretta o indiretta, colore delle pareti e degli oggetti, invecchiamento e pulizia della sorgente luminosa*) che complessivamente possiamo indicarli con  $\eta$  (*mediamente compreso tra 0,1 e 0,6*) cioè con un «rendimento» e quindi:

$E_{eff} = E \cdot \eta$



## 5. **Luminanza** :

**$L$  [cd/m<sup>2</sup>]**

è il rapporto tra l'intensità luminosa ( $I$ ) emessa da una sorgente nella direzione dell'osservatore e l'area apparente  $A$  della superficie emittente, così come vista dall'osservatore

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

**Dimensionalmente è espressa in cd/m<sup>2</sup>.**

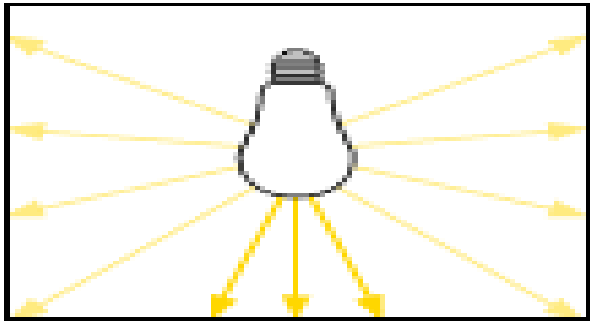
La luminanza è l'unica grandezza fotometrica effettivamente percepita dagli occhi.

*Una sorgente di tipo fluorescente ha una luminanza di circa 1 cd/m<sup>2</sup> mentre una a LED circa 1000 cd/m<sup>2</sup>.*

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



Intensità luminosa  $I$

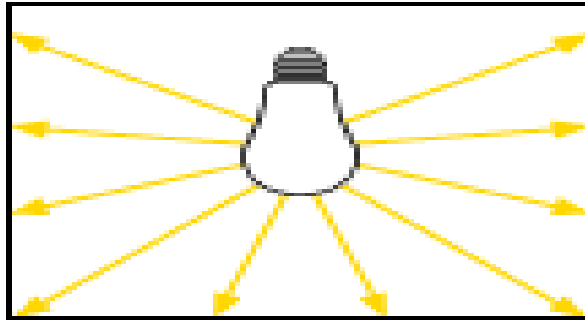


Candela  $[\text{lm}/\text{sr}] = [\text{cd}]$

$$L = \frac{I}{A_L \cdot \cos \epsilon}$$



Flusso luminoso  $\Phi$

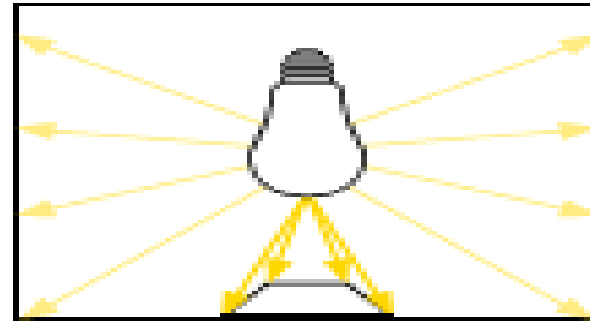


Lumen  $[\text{lm}]$

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

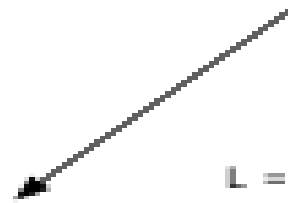


Illuminamento  $E$

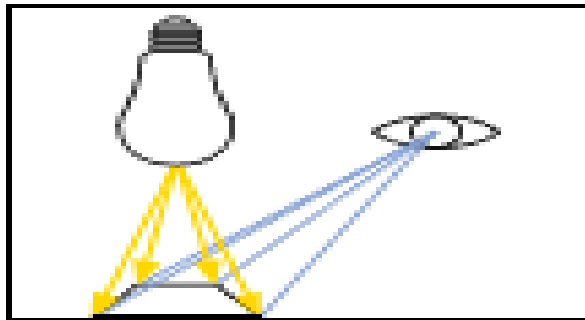


Lux  $[\text{lm}/\text{m}^2] = [\text{lx}]$

$$L = \frac{E \cdot \rho^r}{\pi}$$



Luminanza  $L$

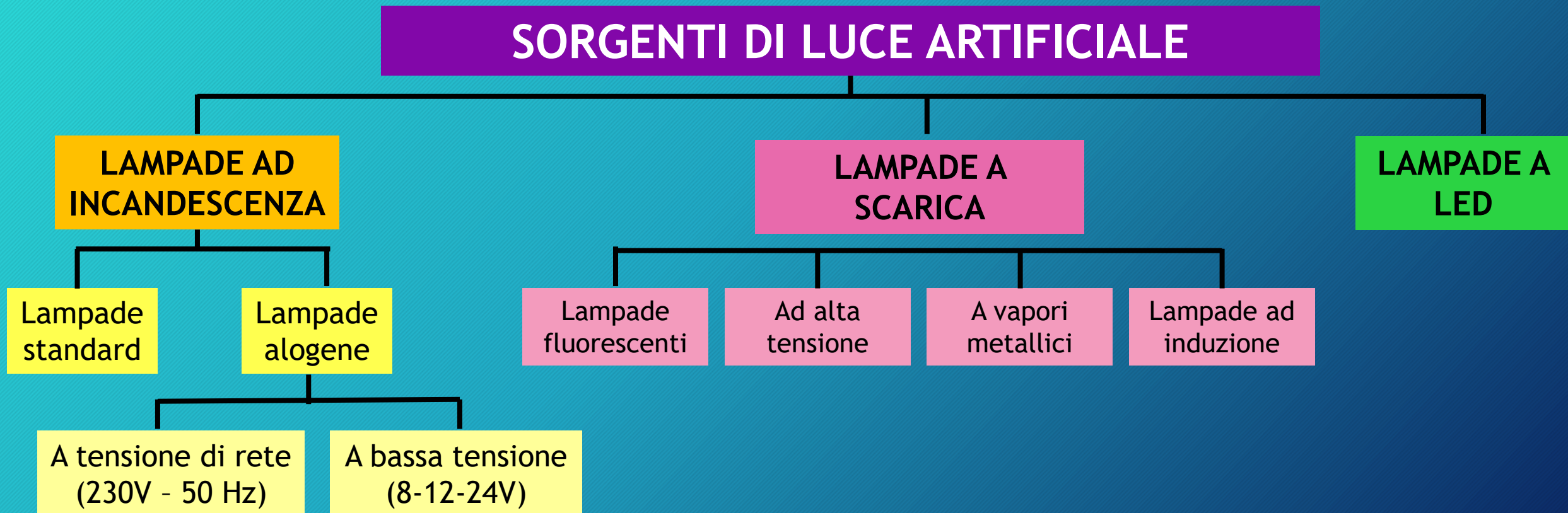


$[\text{lm}/\text{sr} \cdot \text{m}^2] = [\text{cd}/\text{m}^2]$

# Tipologie di sorgenti di luce artificiale

27

Nello schema seguente è rappresentata la classificazione delle sorgenti di luce artificiale



Fine prima parte

28

# Buon studio a Tutti

*Prof. Enrico Cinalli*

## **Bibliografia**

- *Tecnologie elettrico-elettroniche e applicazioni - Vol.2 - M. Coppelli B- Stortoni - Ed. Mondadori*
- *Manuale illuminotecnico pratico - Zumtobel Lighting GmbH Schweizer Strasse 30 Postfach 72 6851 Dornbirn, AUSTRIA T +43/ (0)5572/390-0 info@zumbobel.info*

## **Sitografia:**

- [https://it.wikipedia.org/wiki/Wikipedia\\_in\\_italiano](https://it.wikipedia.org/wiki/Wikipedia_in_italiano)
- [https://architettura.unige.it/did/l2/architettura/terzo0809/fisicatecnica/esercizi/svolti/es.cap6\\_2.pdf](https://architettura.unige.it/did/l2/architettura/terzo0809/fisicatecnica/esercizi/svolti/es.cap6_2.pdf)
- <http://www.edutecnica.it/>