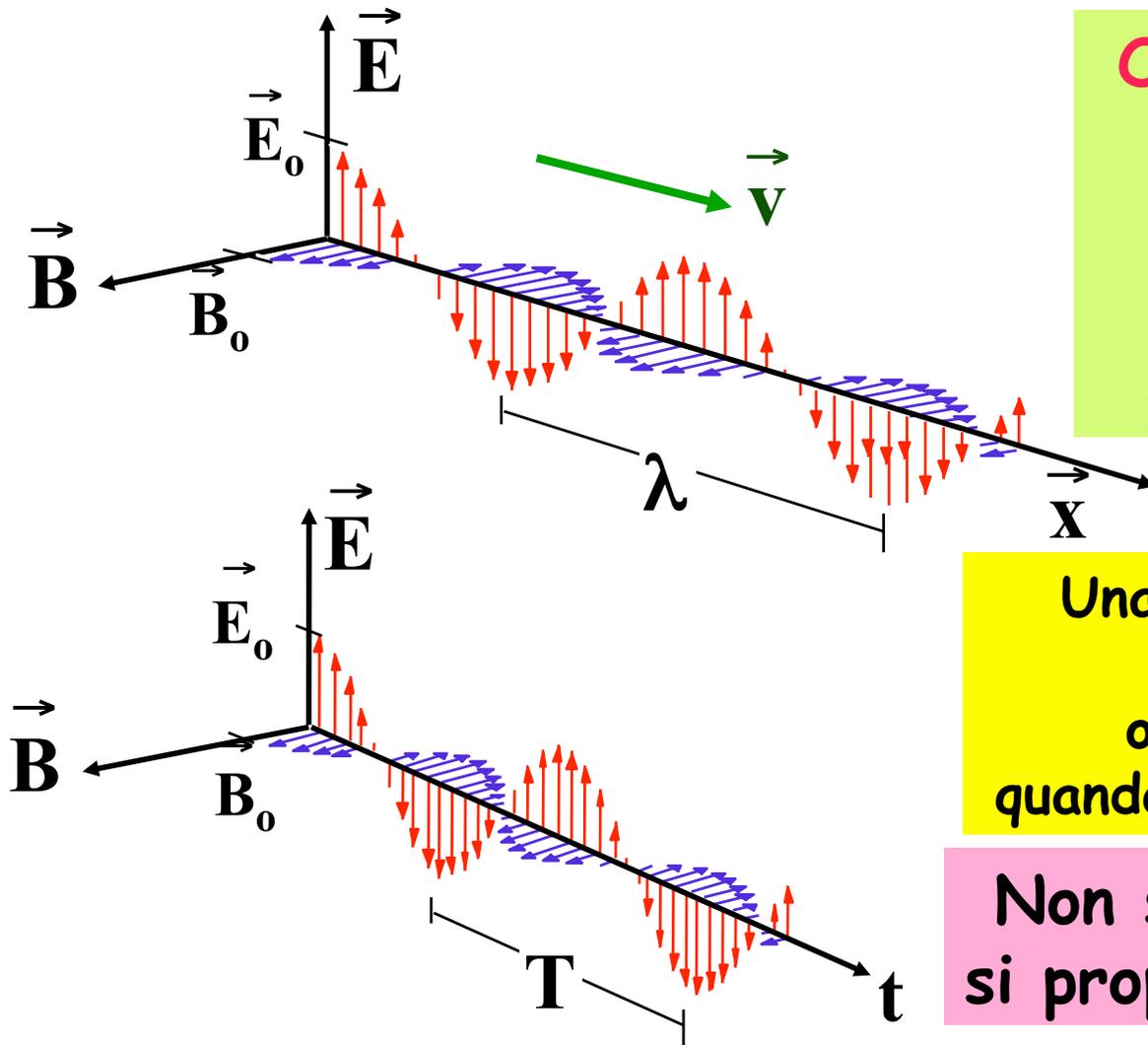


# Onde elettromagnetiche



Onda elettromagnetica:  
“vibrazione”  
del campo elettrico  
e del campo magnetico  
in direzione  
perpendicolare a entrambi

Una carica elettrica in moto  
**emette o assorbe**  
onde elettromagnetiche  
quando soggetta ad accelerazione

Non serve materia: i campi  
si propagano **anche nel vuoto!**

# Velocità della luce

Le onde elettromagnetiche si propagano  
anche nel vuoto  
secondo la consueta legge:

$$\lambda \nu = v$$

La loro velocità nel vuoto è sempre  
 $c = 3 \cdot 10^8$  m/s (= 300000 km/s)

$c$  è la velocità della luce  
ma anche di tutte le altre onde elettromagnetiche.

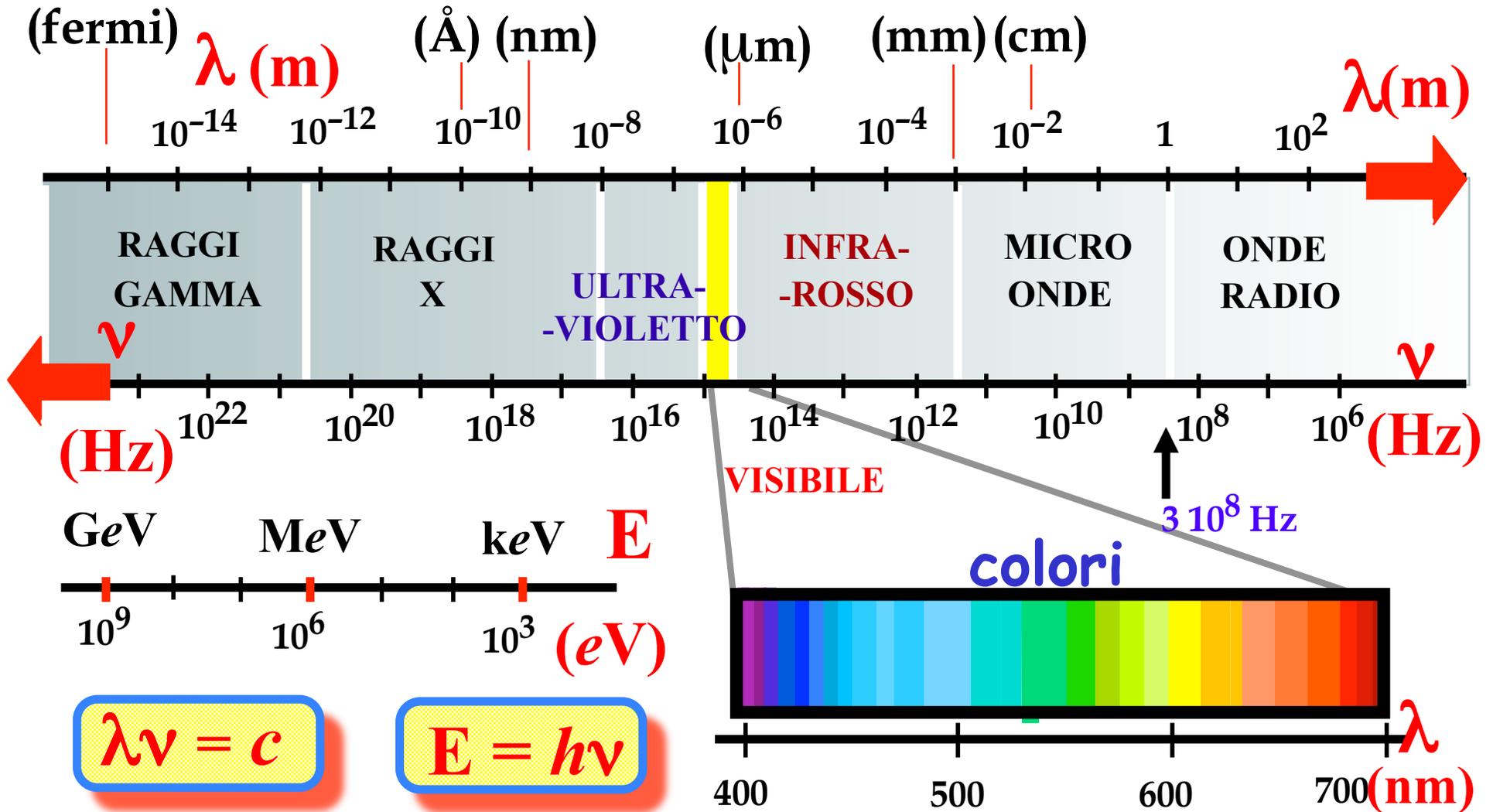
$c$  è la massima velocità raggiungibile in natura.  
Nei mezzi materiali la velocità è  $c/n$  ( $< c$ ).

$n$ =indice di rifrazione del mezzo

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

pag.2

# Spettro elettromagnetico



# Energia dell'onda elettromagnetica

(onde e.m. = radiazione e.m.)

Le onde elettromagnetiche trasportano energia sotto forma di “particelle di luce” dette **fotoni**, emessi o assorbiti in transizioni atomiche o molecolari. L'energia è proporzionale alla frequenza:

$$E = h\nu$$

con  $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  (costante di Planck).

Nella luce visibile l'emissione o l'assorbimento dei fotoni determina il colore dei corpi:

bianco = emissione di tutte le frequenze visibili

nero = assorbimento di tutte le frequenze visibili

**Luce gialla:  $\lambda = 600 \text{ nm}$**

$$\rightarrow \nu = c/\lambda = (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (6 \cdot 10^{-7} \text{ m}) = 0.5 \cdot 10^{15} \text{ Hz} = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

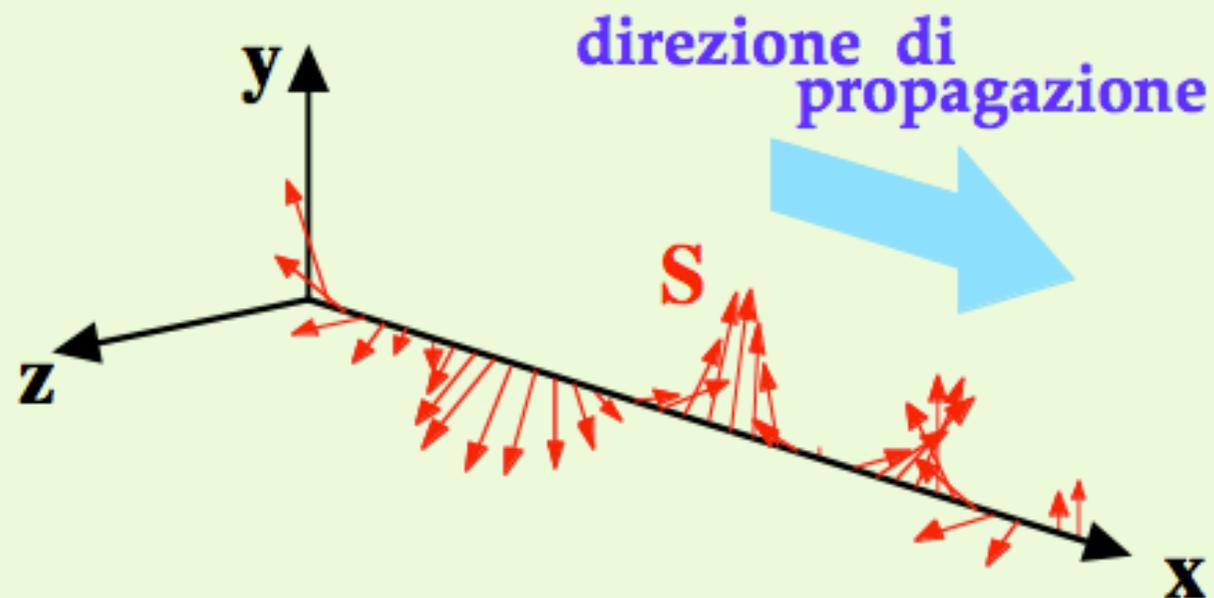
$$\rightarrow E = h\nu = (6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}) = 3.3 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2 \text{ eV}$$

Es.

# POLARIZZAZIONE

**solo onde trasversali**

onda **non** polarizzata



# POLARIZZAZIONE

onda polarizzata: **direzione di vibrazione costante**



- **polarizzazione rettilinea**
- **polarizzazione circolare (ellittica)**  
(combinazioni di 2 polarizzazioni rettilinee con diverse direzioni di vibrazione)



# TRANSIZIONI ATOMICHE

quanto di energia elettromagnetica :

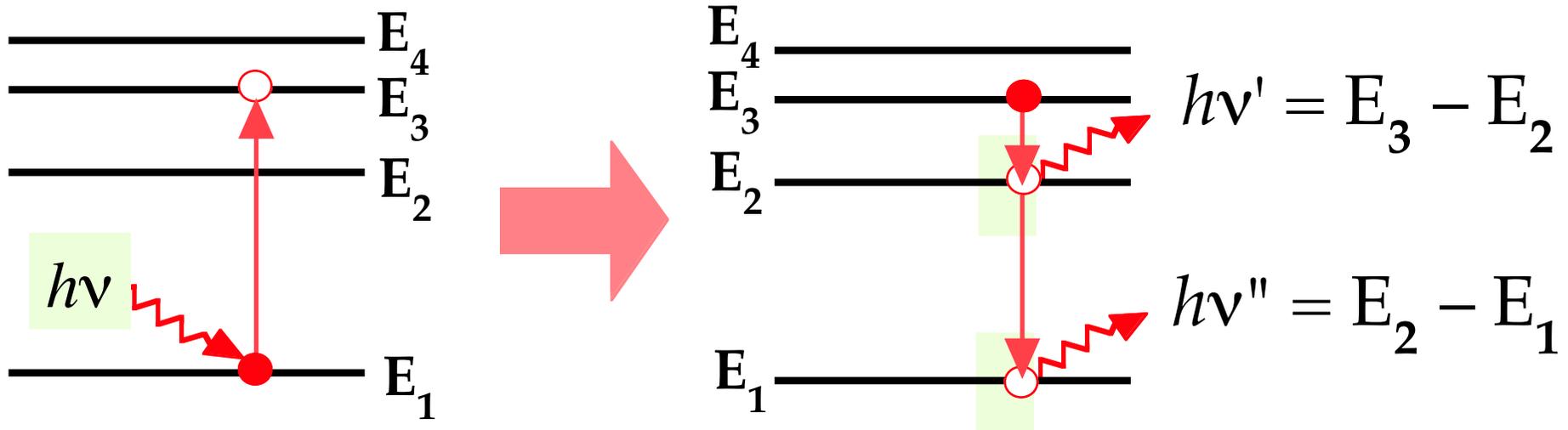
fotone

$$E = h\nu$$

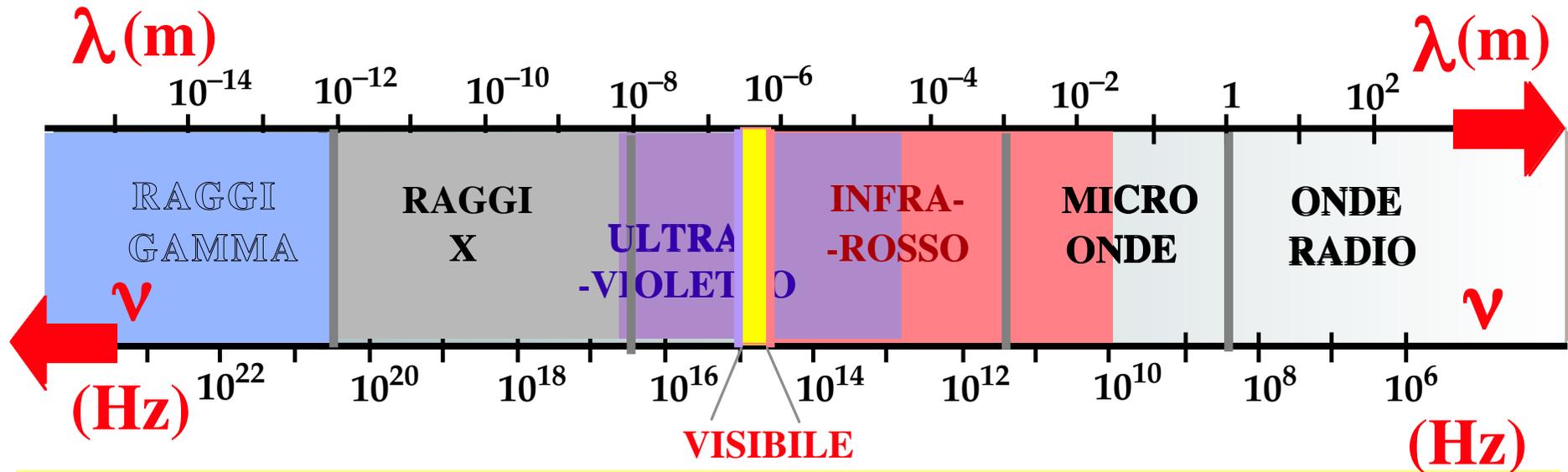
(TEORIA QUANTISTICA)

emissione, assorbimento :

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$



# SPETTRO ELETTRROMAGNETICO: produzione



tubo raggi X

radiazione termica

transizioni nucleari

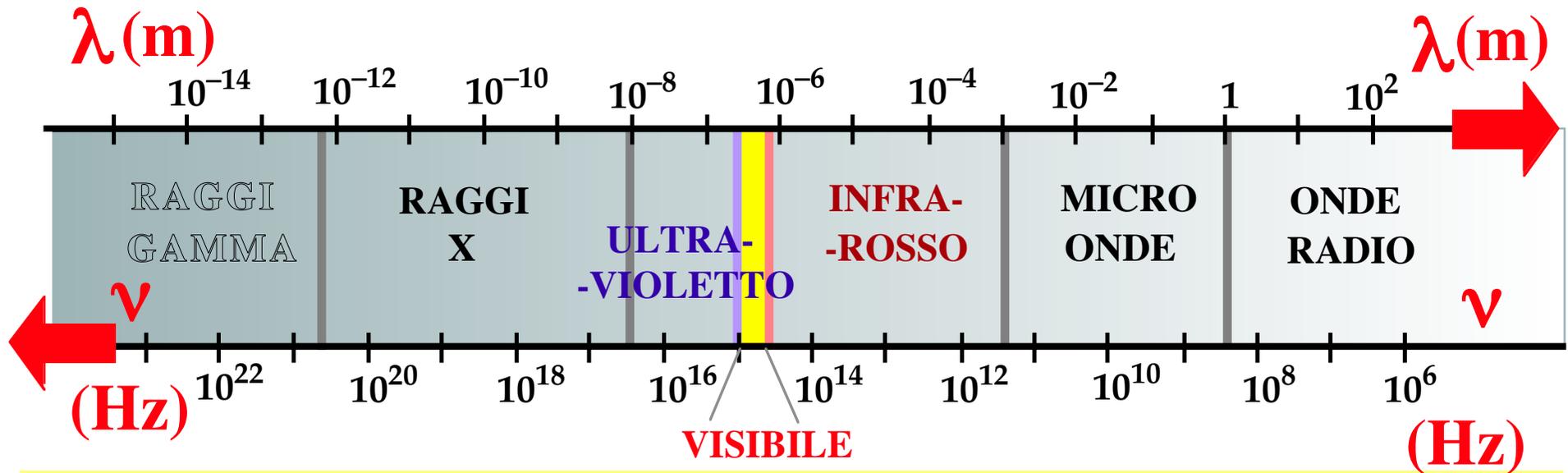
circuiti oscillanti

e acceleratori

transizioni atomiche

laser

# SPETTRO ELETTROMAGNETICO: impiego



diagnostica (RX , CT)

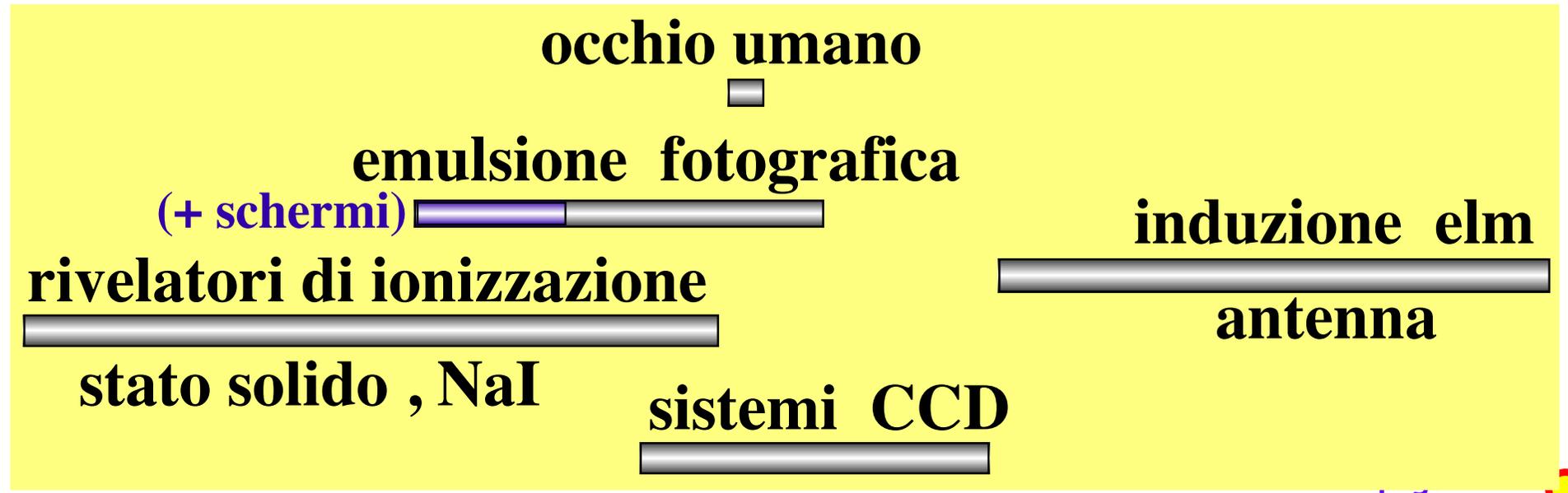
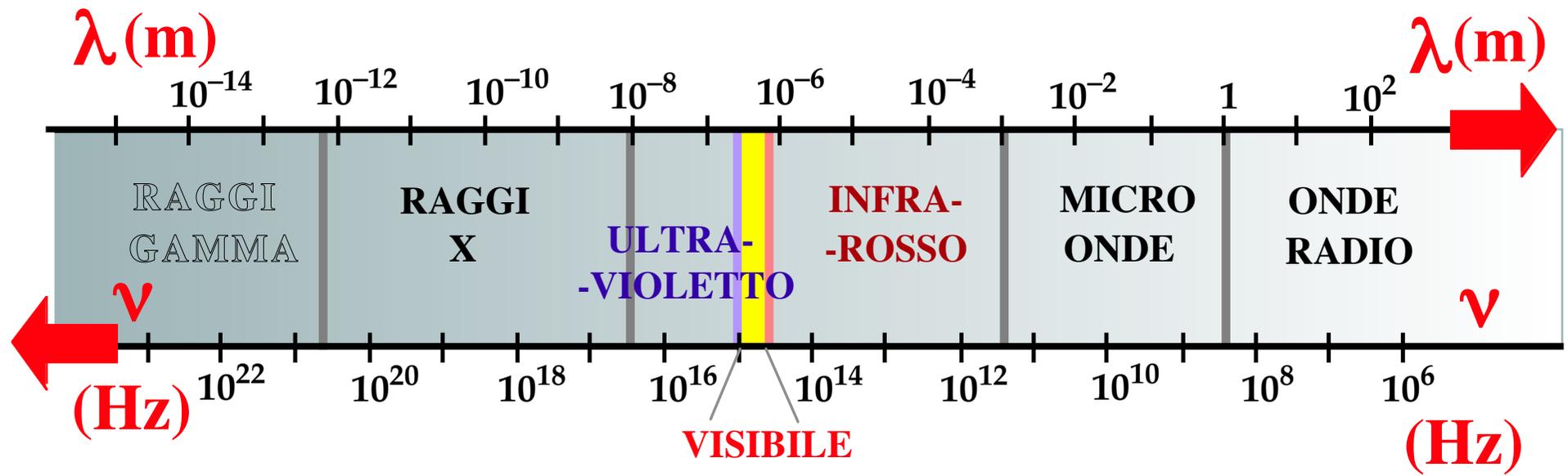
terapia

diagnostica (PET, SPET)

diagnostica (IR e visibile)

terapia

# SPETTRO ELETTRROMAGNETICO: rivelazione



# RADIAZIONE TERMICA

(onde e.m. = radiazione e.m.)

**trasporto di energia nei fenomeni ondulatori: intensità I**

- energia trasportata nell'unità di tempo e attraverso l'unità di superficie :

$$I = \frac{\text{energia}}{\Delta t \cdot S}$$

- unità di misura: S.I.  $\frac{\text{joule}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$   
sistema pratico  $\text{cal s}^{-1} \text{m}^{-2}$

# RADIAZIONE TERMICA

## IRRAGGIAMENTO TERMICO

(RADIAZIONE TERMICA)

emissione di onde elettromagnetiche  
da parte di corpo a temperatura T

intensità  $I = \frac{Q}{\Delta t \Delta S}$  cal s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> oppure watt m<sup>-2</sup>

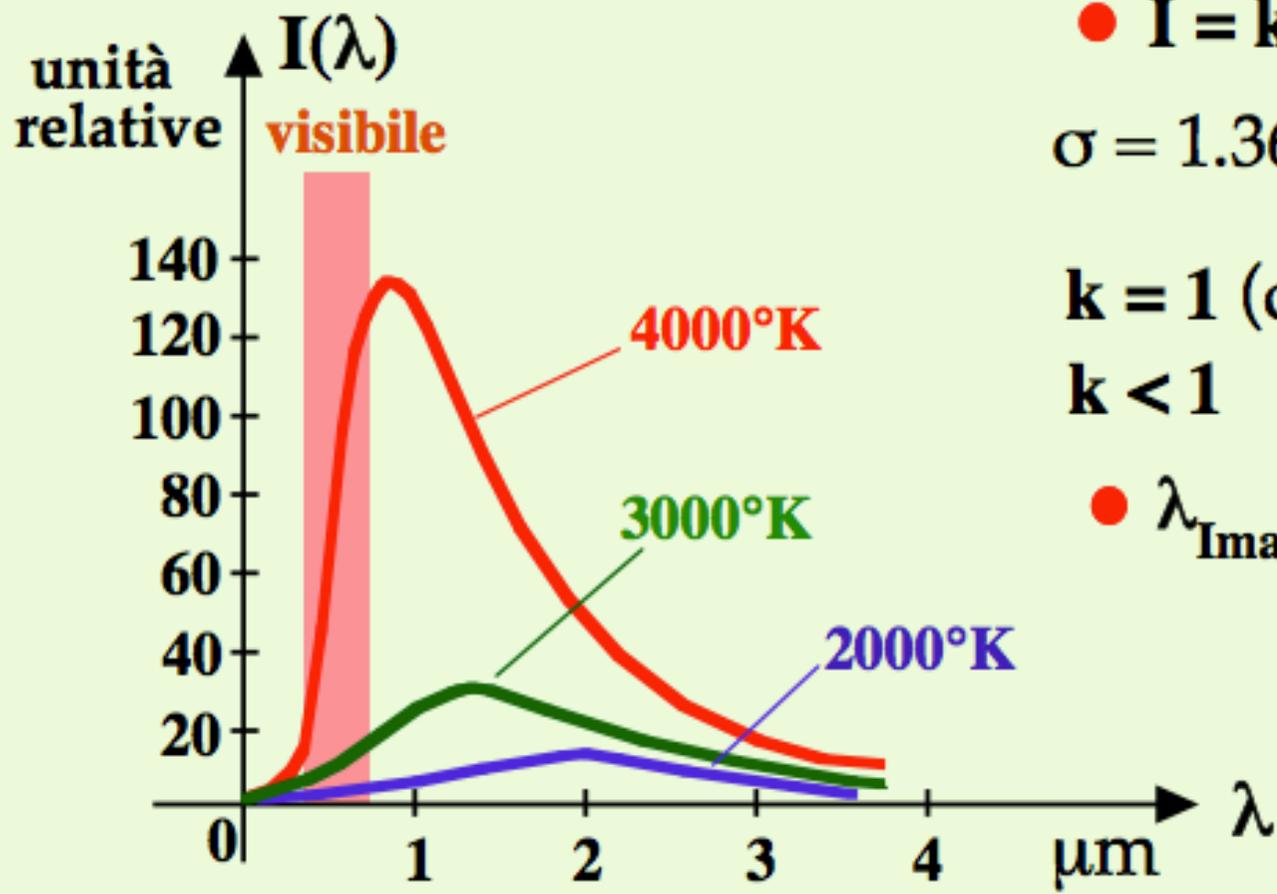
## LEGGI DELL'EMISSIONE TERMICA

legge di Stefan  $I = \sigma T^4$  (watt m<sup>-2</sup>)

legge di Wien  $\lambda_{\text{Imax}} = \frac{0.2897}{T}$  (cm)

# RADIAZIONE TERMICA

transizioni tra stati vibrazionali e rotazionali



●  $I = k \sigma T^4$

$\sigma = 1.36 \cdot 10^{-12} \frac{\text{cal } ^\circ\text{K}^4}{\text{cm}^2 \text{ s}}$

$k = 1$  (corpo nero)

$k < 1$

●  $\lambda_{\text{Imax}} = \frac{0.2897}{T} \text{ (cm)}$



# MICROONDE IN MEDICINA

radiazioni **non** ionizzanti



$$300 \text{ MHz} < \nu < 300 \text{ GHz}$$
$$10^{-6} \text{ eV} < E = h\nu < 10^{-3} \text{ eV}$$

$$100 \text{ cm} < \lambda < 0.1 \text{ cm}$$

effetti : calore (**diatermia**)

assorbimento :

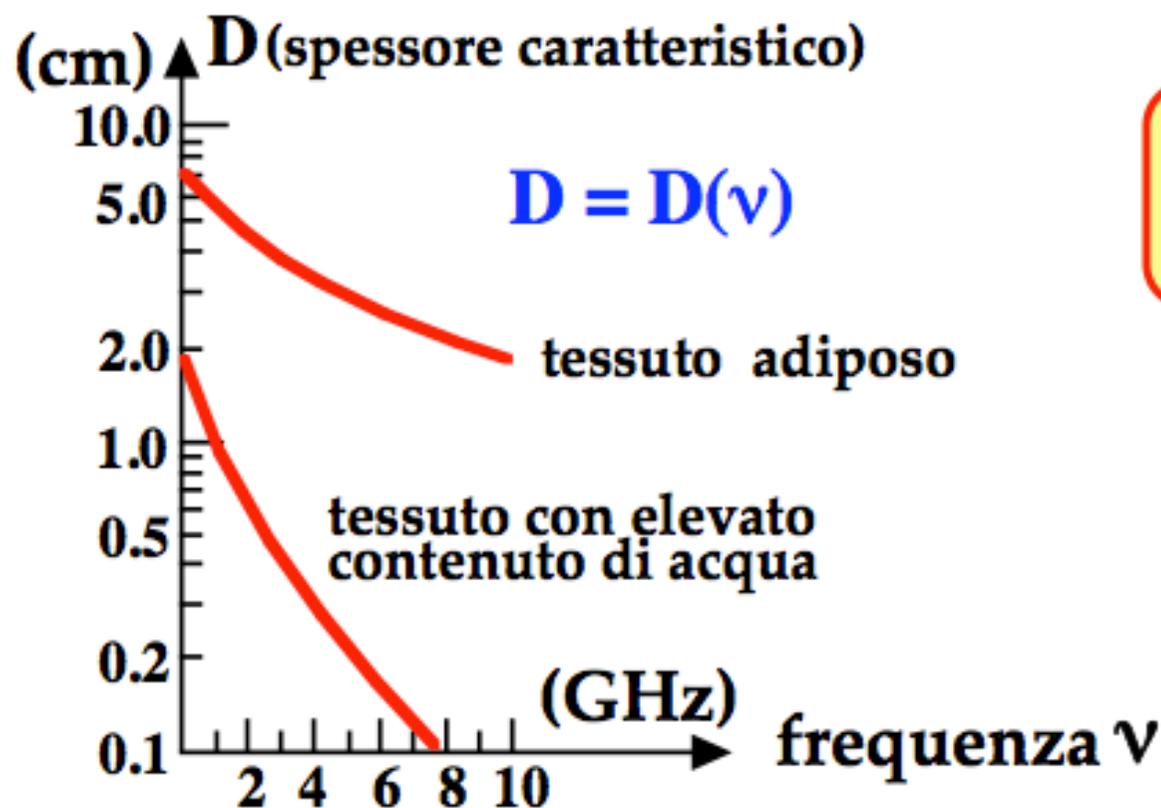
$$I(x) = I_0 e^{-\frac{x}{D}}$$

$$D = D(\nu)$$

terapia  $\nu \approx 2450 \text{ MHz}$



# MICROONDE IN MEDICINA

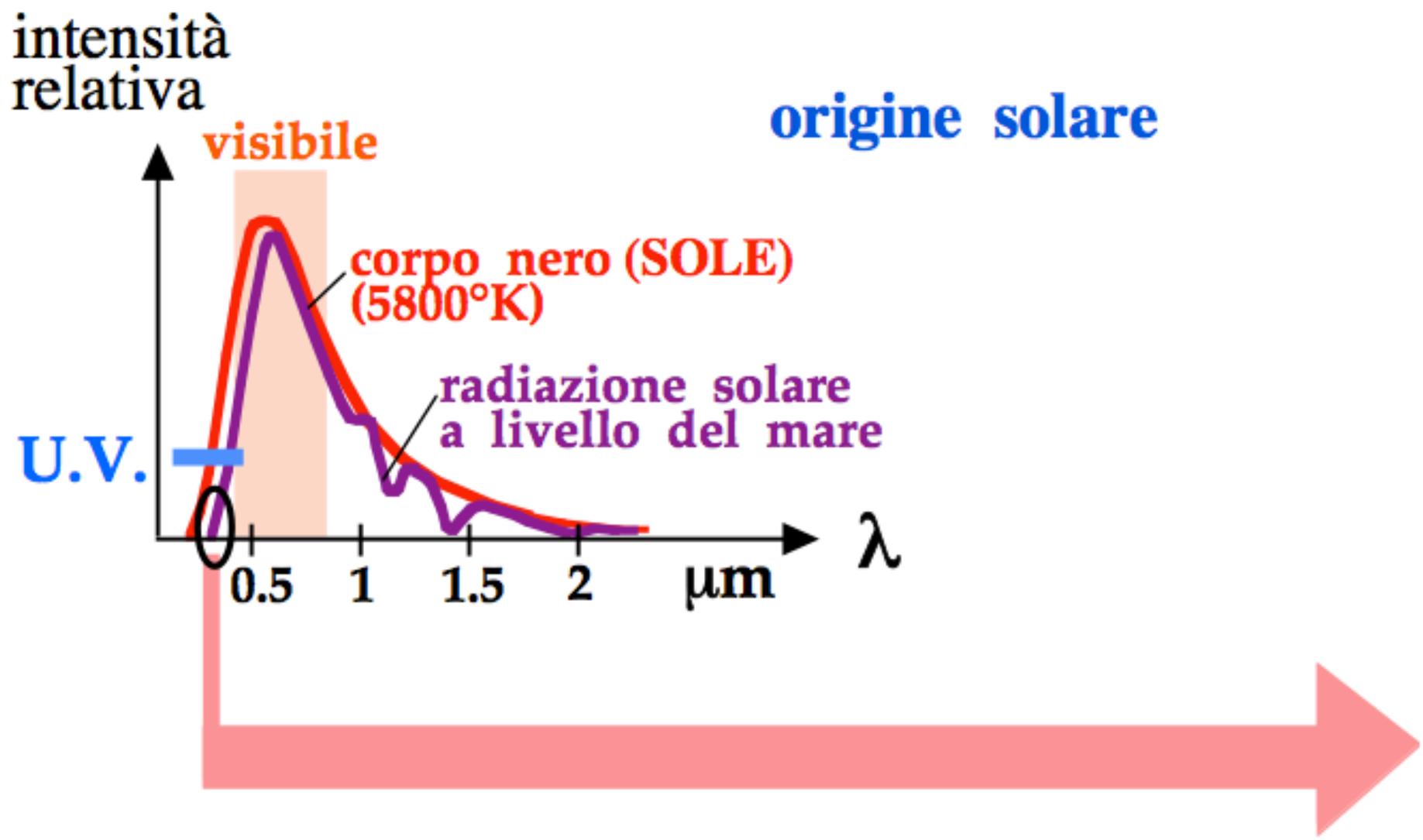


$$I(x) = I_0 e^{-\frac{x}{D}}$$

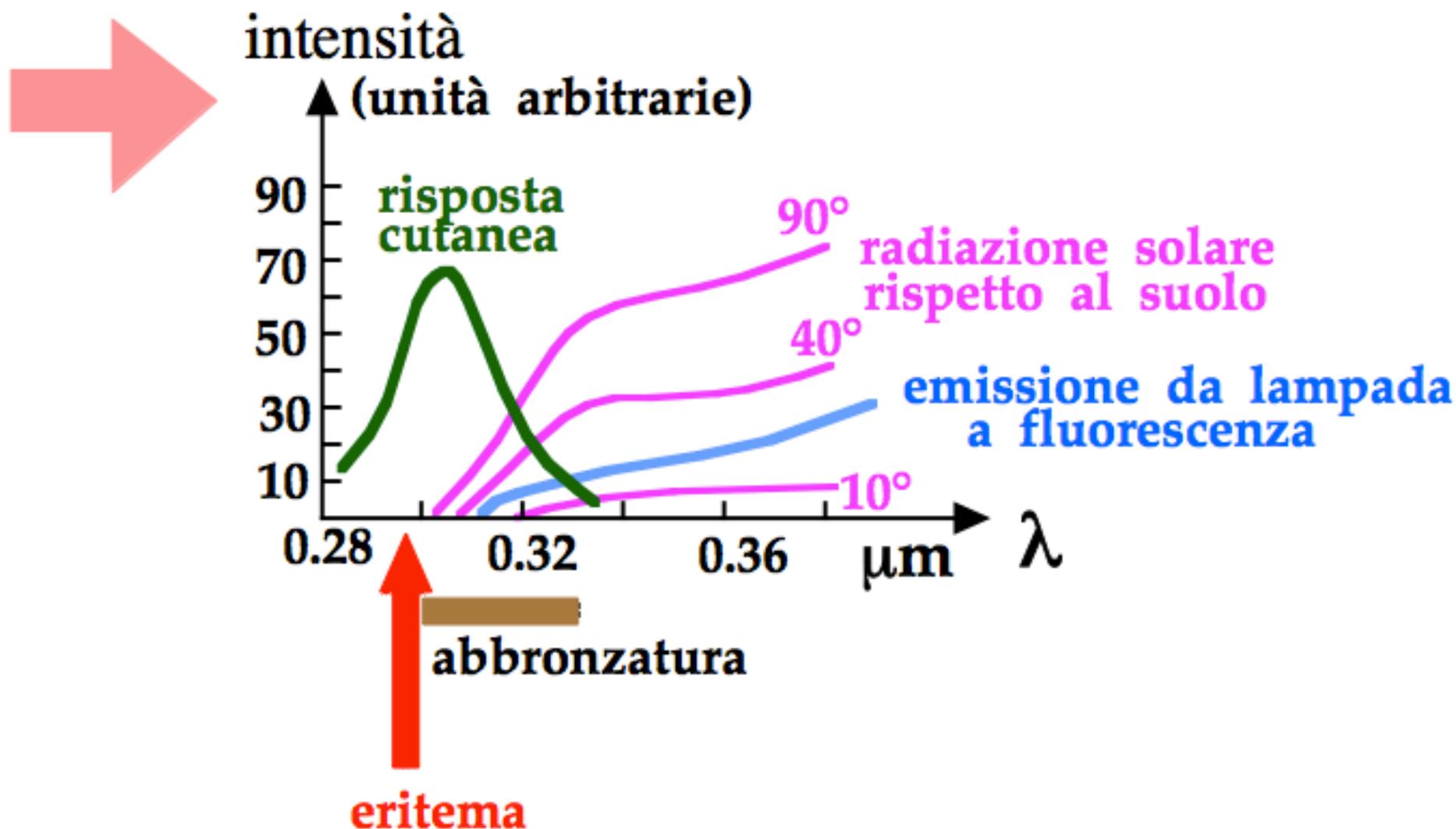
- esposizione limite per l'uomo :  $I \leq 10 \text{ mW cm}^{-2}$

massima potenza radiante solare assorbita dall'uomo:  
 $I \approx 100 \text{ mW cm}^{-2}$

# ULTRAVIOLETTI IN MEDICINA



# ULTRAVIOLETTI IN MEDICINA



# ULTRAVIOLETTI IN MEDICINA

**UVA : 400 ÷ 315 nm** ■

**UVB : 315 ÷ 280 nm** ■

**UVC : 280 ÷ 100 nm** ■

**produzione**

- emissione termica (Sole)
- transizioni atomiche



**produzione naturale (Sole)**

(assorbimento)  
**I(500 nm)** Sole → **I(600 nm)** suolo

**UV**

- 300 ÷ 200 nm **assorbiti da O<sub>3</sub>**
- 200 ÷ 100 nm **assorbiti in aria**  
(produzione ozono O<sub>3</sub> e ossidi di azoto)

\* spessore atmosfera

\* nuvole

\* fumi e smog

→ **diffusione**



# ULTRAVIOLETTI IN MEDICINA

**UVA : 400 ÷ 315 nm** ■

**UVB : 315 ÷ 280 nm** ■

**UVC : 280 ÷ 100 nm** ■



**produzione artificiale**

- lampade U.V.  $\lambda = 400 \div 270$  nm

**assorbimento:**

- **H<sub>2</sub>O** 400 ÷ 300 nm (in 2÷5 cm)
- **vetro** opaco
- **quarzo** trasparente

**effetti biologici:**

- **eccitazione atomi e molecole**
- **debole effetto termico**



# ULTRAVIOLETTI IN MEDICINA

## uomo

- **sintesi vitamina D** ( $\approx 280$  nm)
- **abbronzatura**  
(formazione pigmento  $\rightarrow$  protezione da U.V.)
- **eritema (UVB, UVC)**  
(dilatazione vasi da sostanze prodotte)

**risposta cutanea massima  $\lambda \approx 300$  nm**  
( $\approx 4$  eV  $\rightarrow$  dissociazione legame C—C)

- **lesioni oculari (cataratta)**
- **azione battericida**

# PRODUZIONE di FOTONI di ALTA ENERGIA

## raggi X

- **produzione artificiale**
  - **tubo a raggi X**

## raggi $\gamma$

- **produzione naturale**
  - **emissione  $\gamma$  da decadimento nuclei instabili (radionuclidi)**
- **produzione artificiale**
  - **acceleratori di particelle**

