



Wave S.n.c.  
Via Principi d'Acaja 14 - Torino (TO)  
Via Serra 26/A - Bra (CN)

# **RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI Sorgenti non coerenti**

## **La valutazione del rischio**

**Relatore  
Vincenzo Della Crociata**

dr.ssa Margherita Dallorto  
p.ind. Vincenzo Della Crociata  
dr. Sergio Ravera

[www.wavelab.it](http://www.wavelab.it)

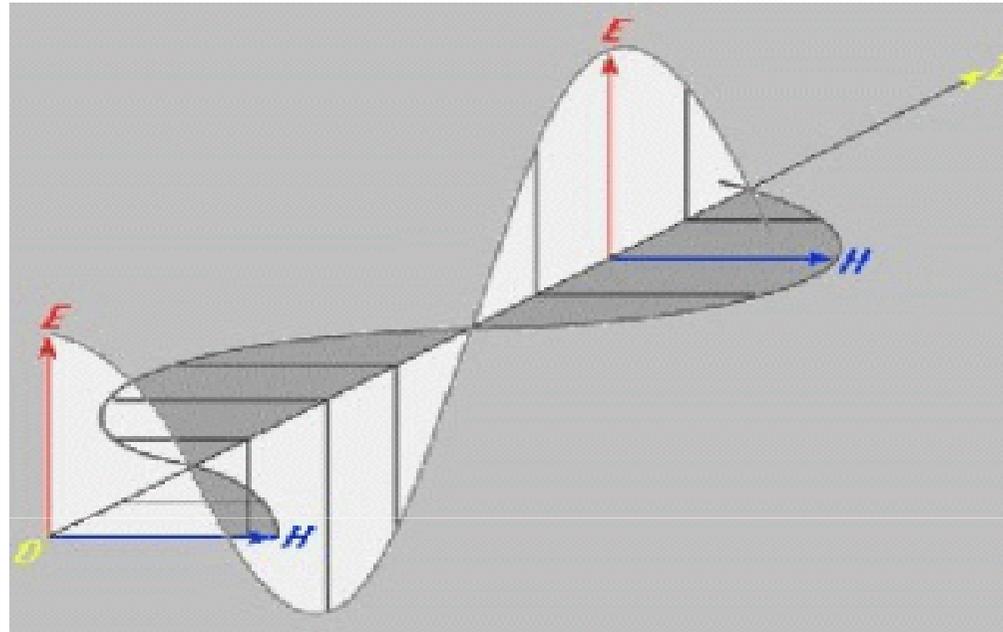
# **Radiazioni ottiche artificiali (R.O.A.)**

**Tutte le radiazioni elettromagnetiche  
nella gamma di lunghezza d'onda  
compresa tra**

**100 nm e 1 mm**

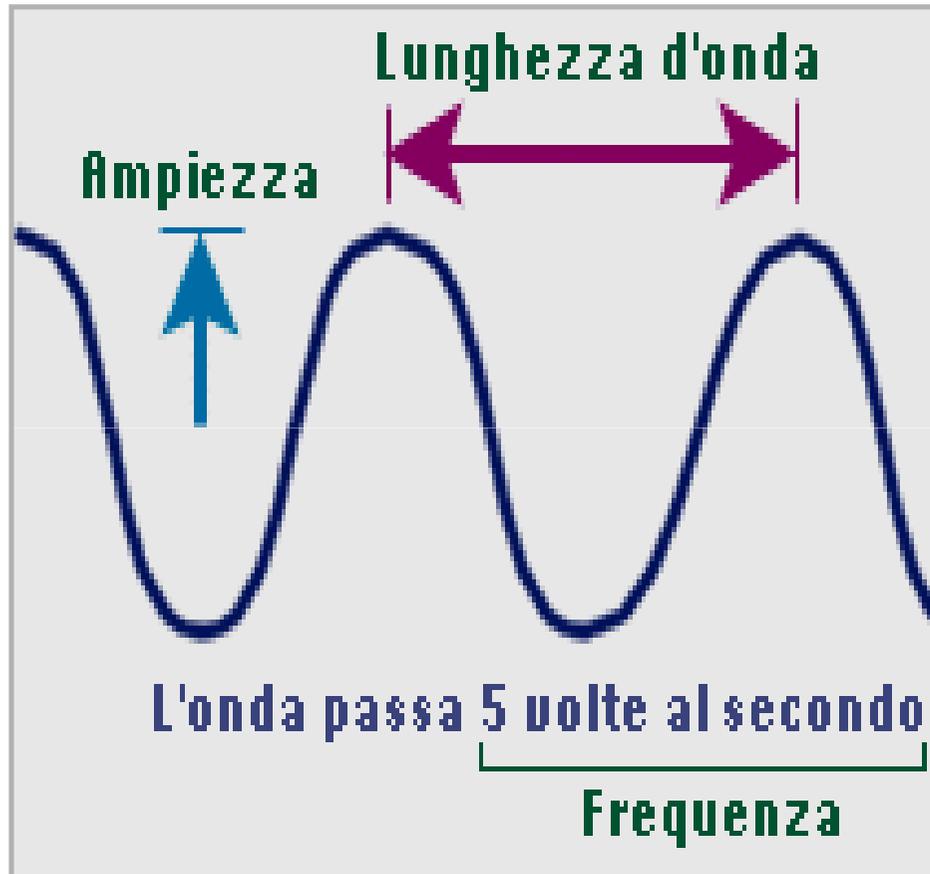
**che siano generate da sorgenti non  
naturali**

# Le onde elettromagnetiche



- **Generate da cariche elettriche accelerate**
- **Sono caratterizzate da un campo elettrico e un campo magnetico tra loro perpendicolari di ampiezza variabile periodicamente**
- **La loro velocità di propagazione nel vuoto è una costante pari a  $300\,000\text{ km s}^{-1}$**

# Le caratteristiche



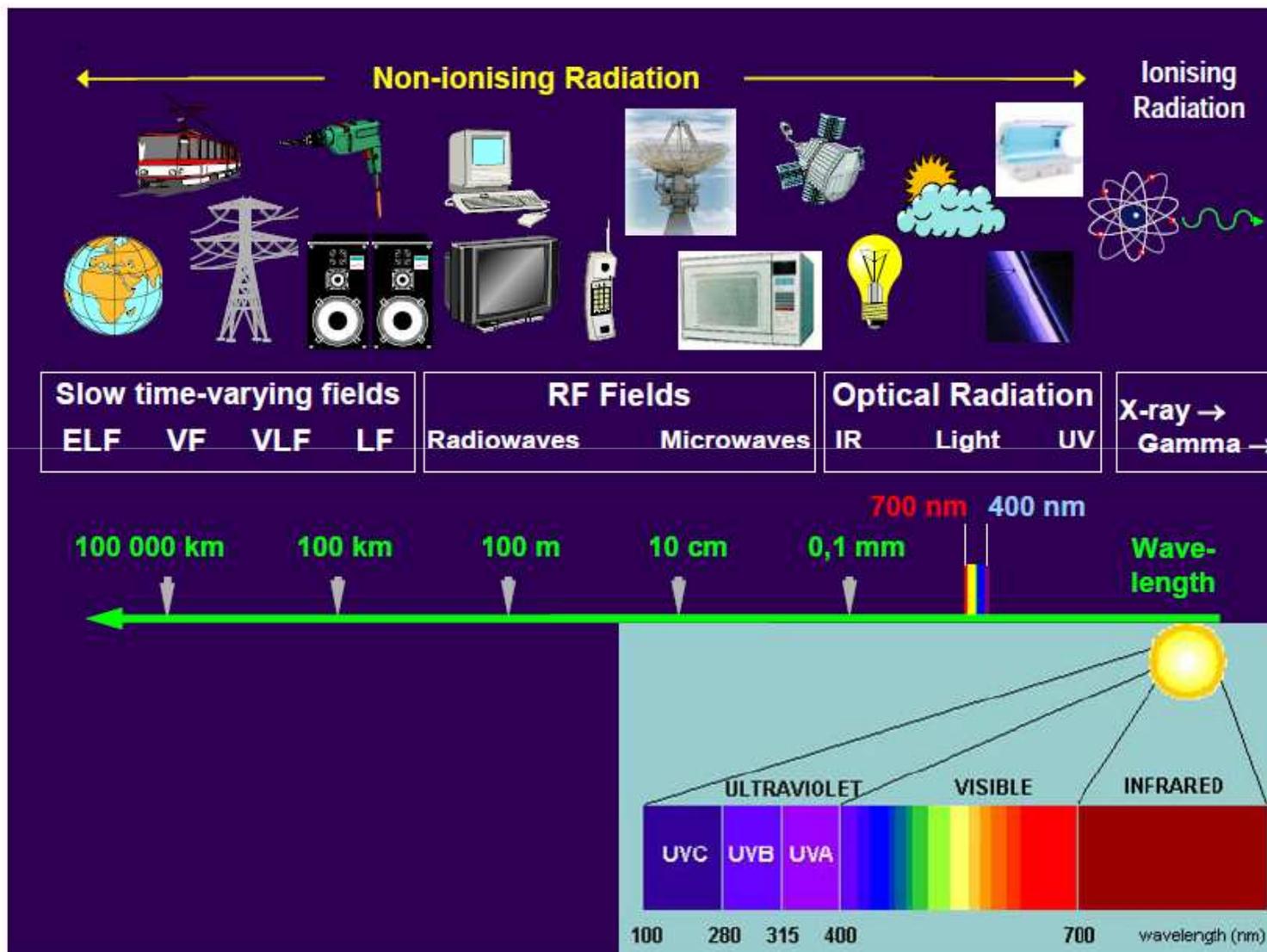
Tutte le onde hanno le seguenti caratteristiche:

- **Ampiezza:** l'intensità della vibrazione.
- **Frequenza [ $\nu$ ]:** il numero di onde che passano per un punto nell'unità di tempo
- **Lunghezza d'onda [ $\lambda$ ]:** la distanza tra due picchi.

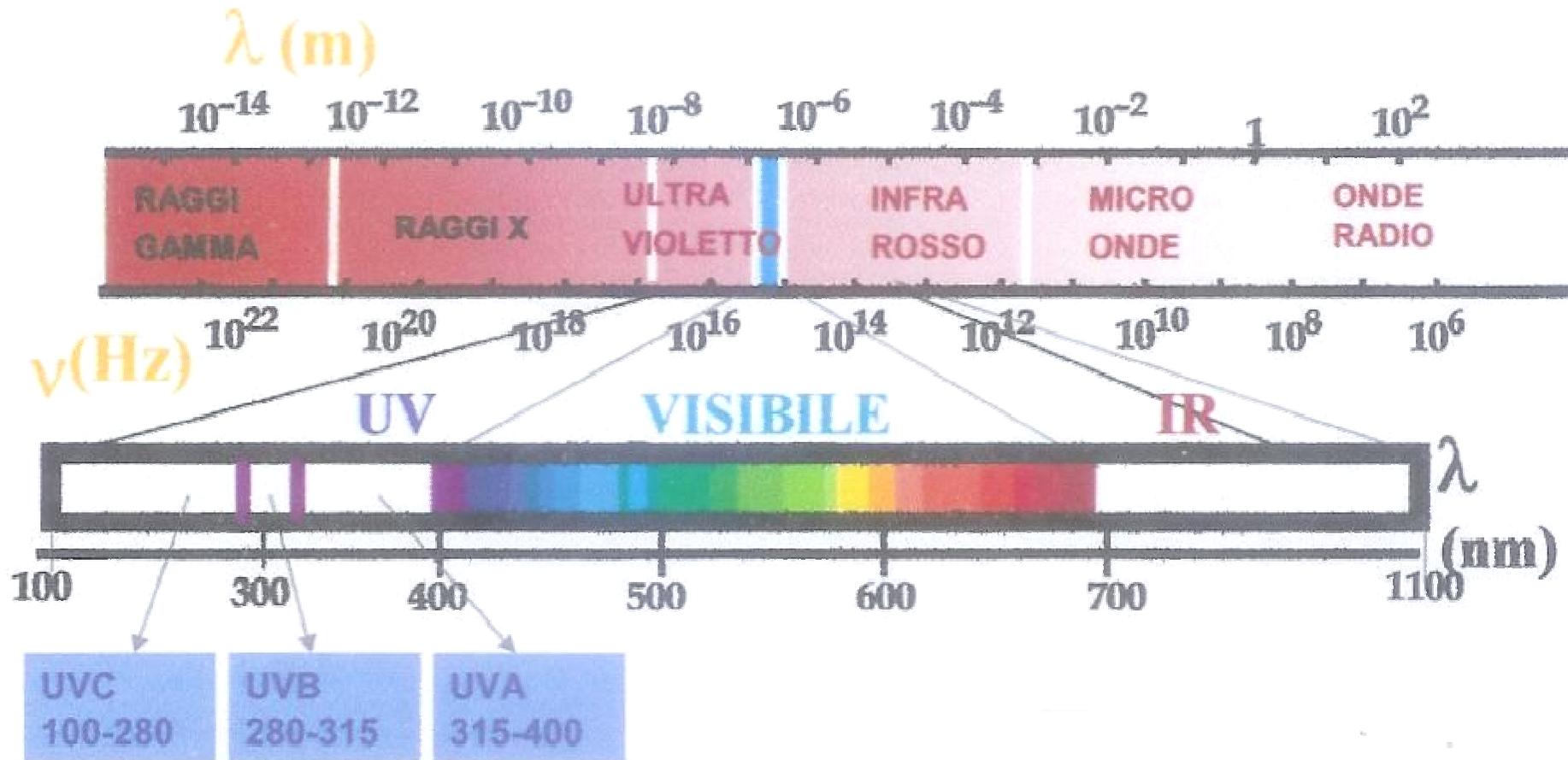
$\nu$ : [Hz = 1/s]       $\lambda$ : [m]

$$\lambda = c / \nu ; \nu = c / \lambda$$

# Lo spettro elettromagnetico



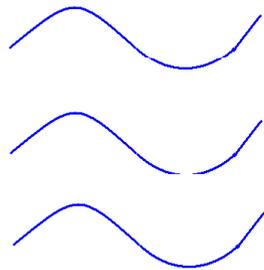
# Lo spettro elettromagnetico



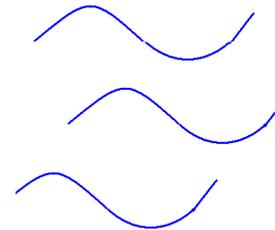
# Radiazioni coerenti e non coerenti

**NON COERENTI:** l'emissione avviene in modo caotico, i massimi ed i minimi tendono a sottrarsi in alcuni punti e a sommarsi in altri;

**COERENTI:** esiste una quasi perfetta relazione di fase per tutte le onde emesse, l'onda risultante si "rafforza" sempre.



Coerente

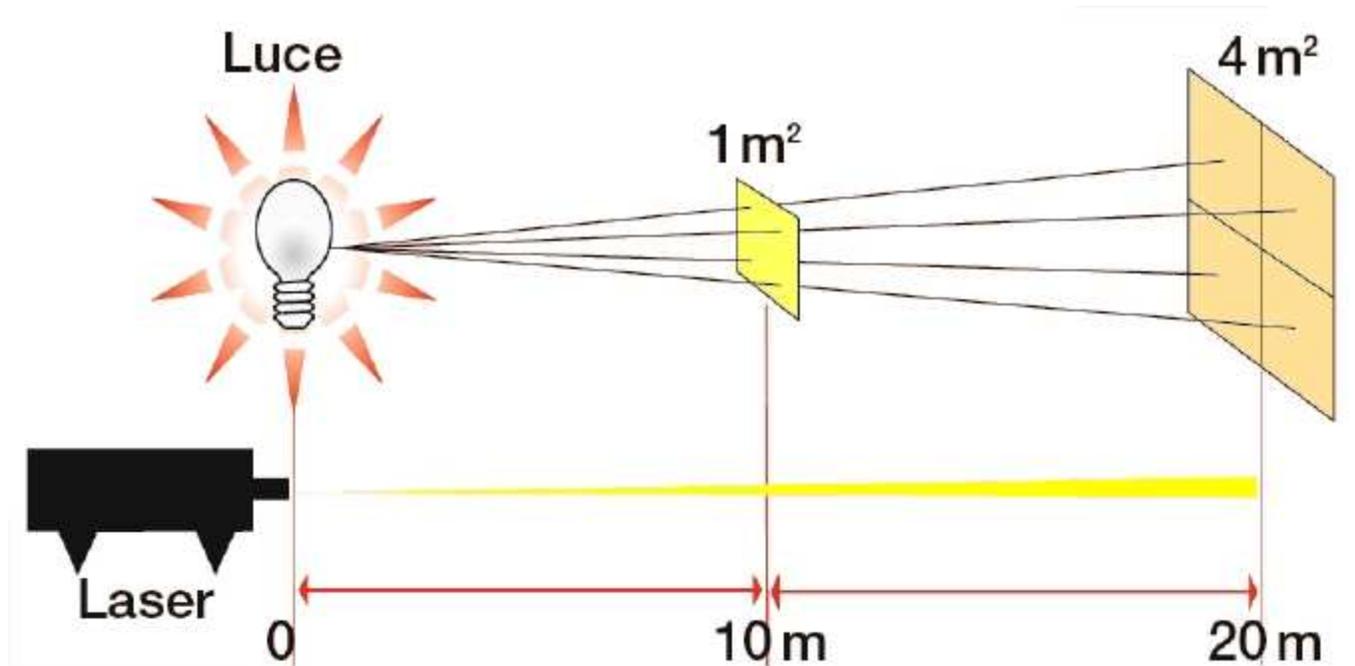


Incoerente

**Monocromaticità (coerenza temporale):** la radiazione laser presenta sempre una stessa frequenza mentre una lampadina a incandescenza emette radiazione composta da fotoni di frequenze differenti.

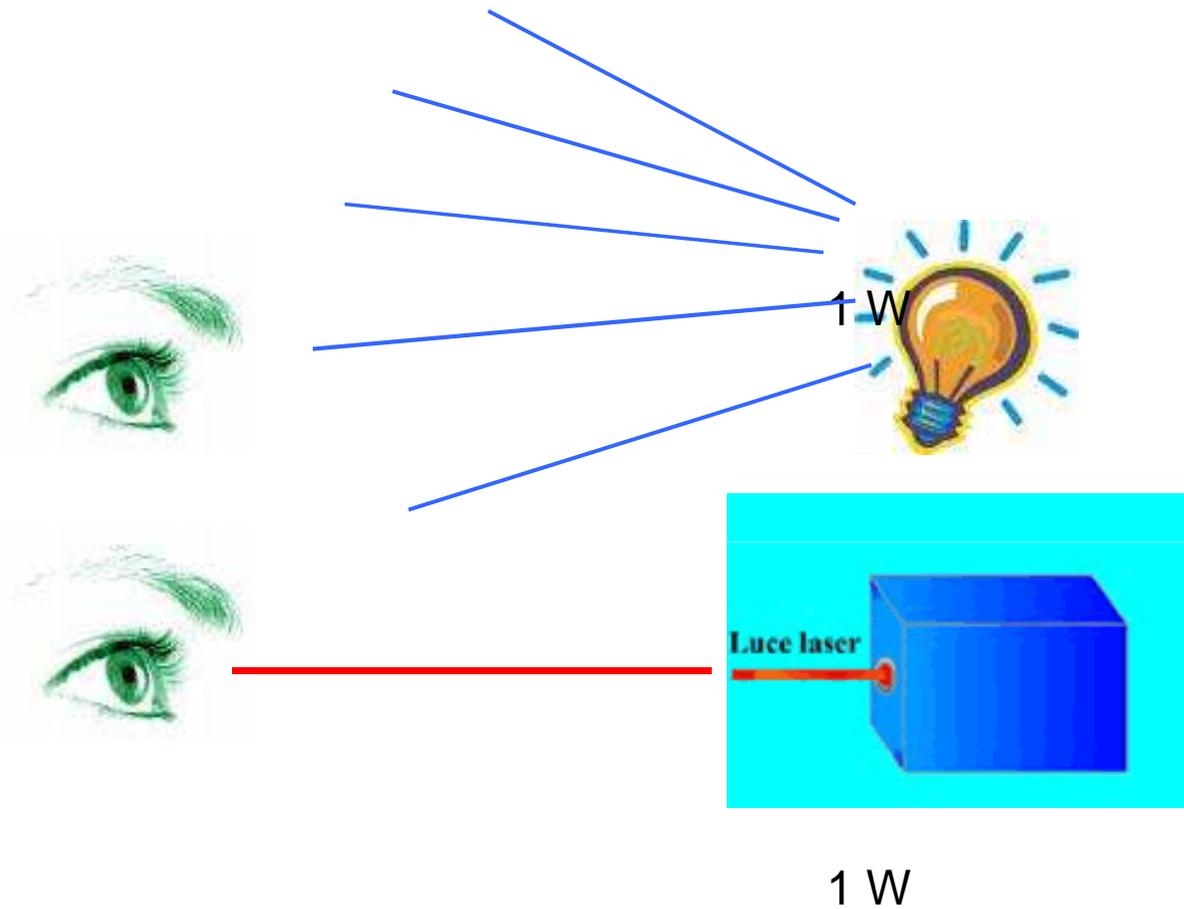
**Collimazione (coerenza spaziale):** grande unidirezionalità dei fasci laser, la cui luce non si disperde in ogni direzione

# Propagazione



- **Luce non coerente:** si propaga col quadrato della distanza
- **Luce laser:** si disperde con la sola divergenza (spesso trascurabile anche alle grandi distanze)

# La pericolosità



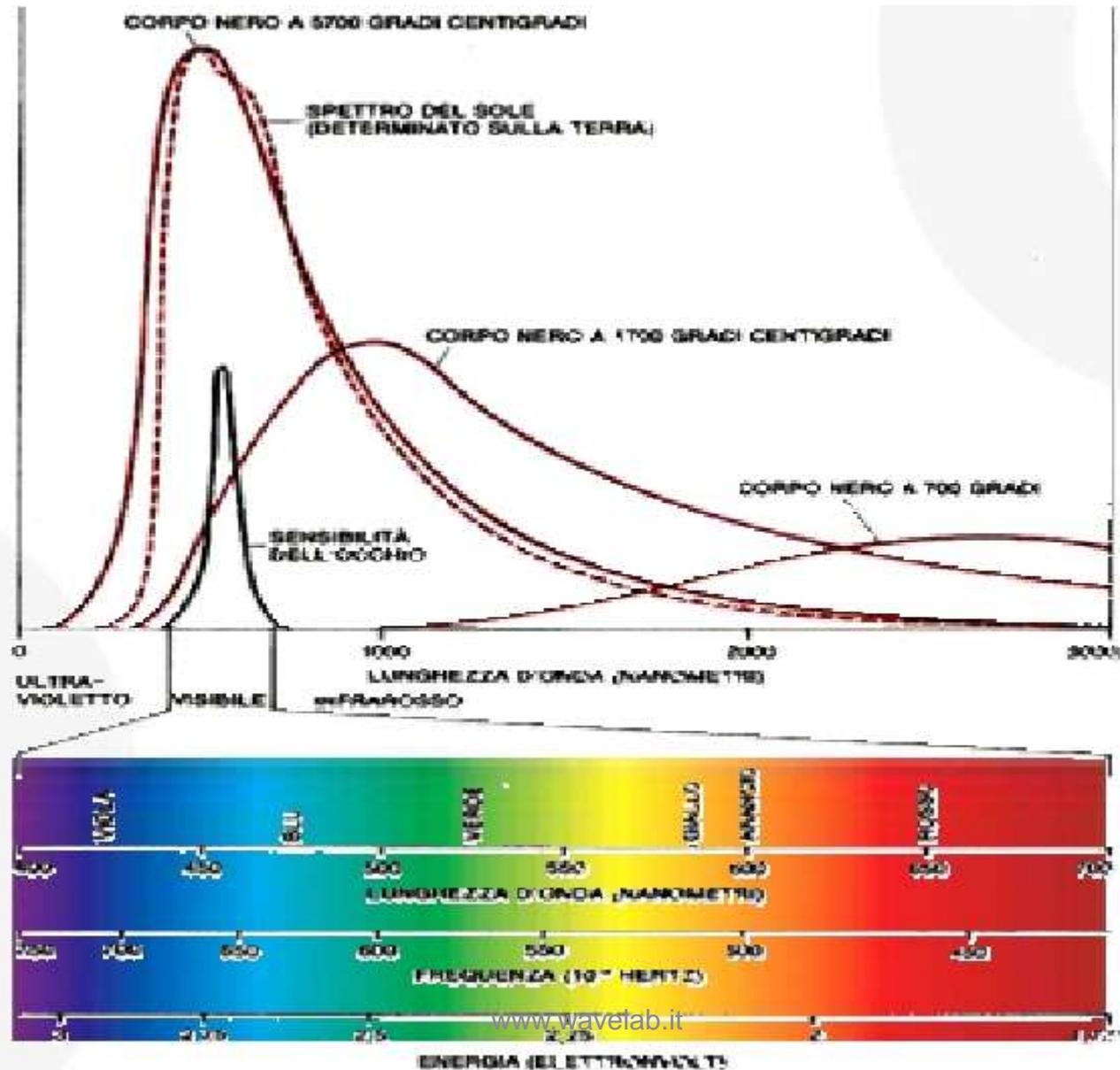
Tutta l'energia entra nell'occhio ed è 100 000 volte ( a un metro) più potente

# Sorgenti non coerenti

<i>ESEMPI DI SORGENTI NON COERENTI*</i>	
IR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riscaldatori radianti</li> <li>• Forni di fusione metalli e vetro</li> <li>• Cementerie</li> <li>• Lampade per riscaldamento a incandescenza</li> <li>• Dispositivi militari per la visione notturna</li> </ul>
VISIBILE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sorgenti di illuminazione artificiale (lampade ad alogenuri metallici, al mercurio, sistemi LED ...)</li> <li>• Lampade per uso medico (fototerapia neonatale e dermatologica) / estetico</li> <li>• Luce pulsata –IPL (Intense Pulsed Light)–</li> <li>• Saldatura</li> </ul>
UV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sterilizzazione</li> <li>• Essiccazione inchiostri, vernici</li> <li>• Fotoincisione</li> <li>• Controlli difetti di fabbricazione</li> <li>• Lampade per uso medico (es.: fototerapia dermatologica) e/o estetico (abbronzatura) e/o di laboratorio</li> <li>• Luce pulsata –IPL–</li> <li>• Saldatura ad arco / al laser</li> </ul>
* Alcune delle sorgenti di cui sopra emettono non solo nella banda di riferimento, ma anche in quelle vicine	

D.L 81/2008  
 Titolo VIII, Capo I,II, III, IV e V  
 Indicazioni operative  
 Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome

# Emissione del Corpo Nero



# Temperatura di Colore

La **Legge di Wien** ci da la relazione tra la lunghezza d'onda del picco di un'emissione da parte di un corpo nero, e la sua temperatura:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

dove T è la temperatura del corpo nero espressa in kelvin,  $\lambda_{\max}$  è la lunghezza d'onda espressa in metri del picco massimo di energia, e b è una costante di proporzionalità, chiamata **costante dello spostamento di Wien**, il cui valore è:

$$b = 2.8977685(51) \times 10^{-3} \text{ m K}$$

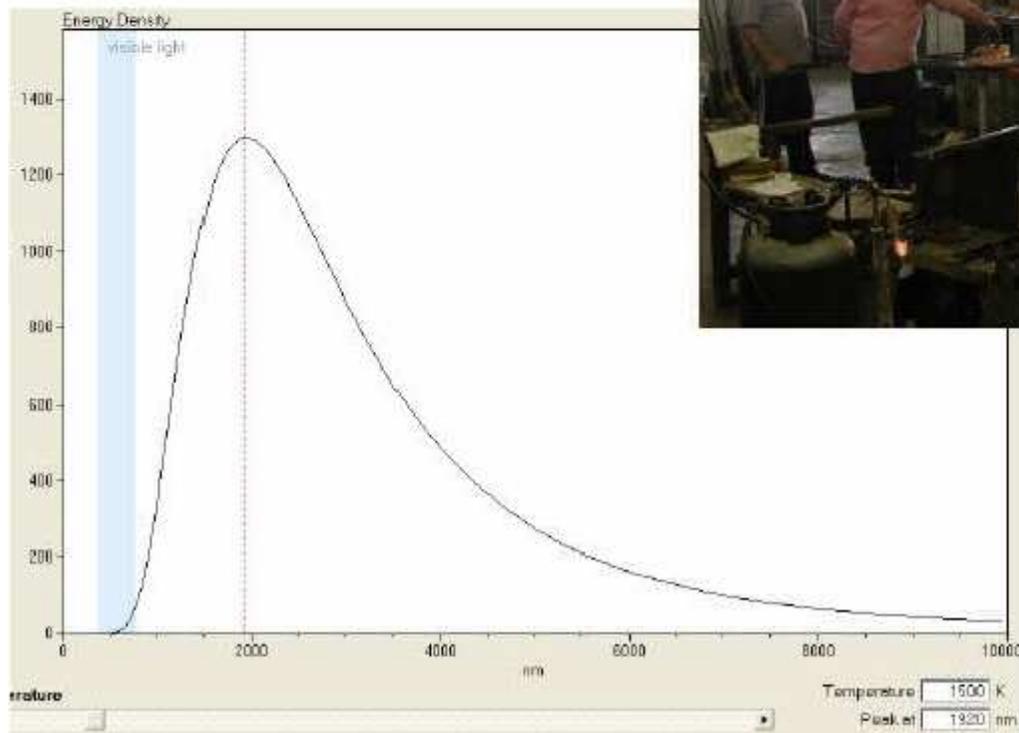
In pratica, più caldo è un oggetto, più corta è la lunghezza d'onda a cui emetterà radiazione. Per esempio, la temperatura superficiale del Sole è di 5778 K, il che dà un picco a circa 500 nm. Questa lunghezza d'onda è vicina al centro dello spettro visibile.

Una lampadina ha un filamento luminoso con una temperatura leggermente più bassa, che risulta in un'emissione di luce gialla, mentre un oggetto che si trovi al "calor rosso" è ancora più freddo.



# Sorgenti non Coerenti

- Sorgenti infrarosse
  - Fornace a 1500 K

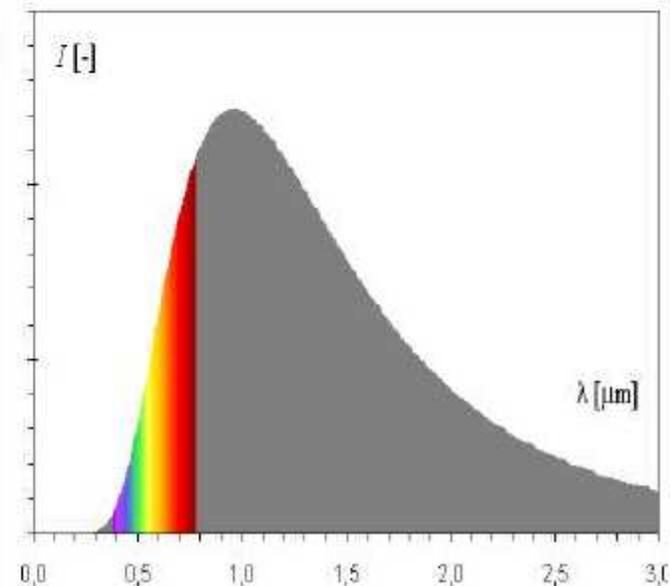
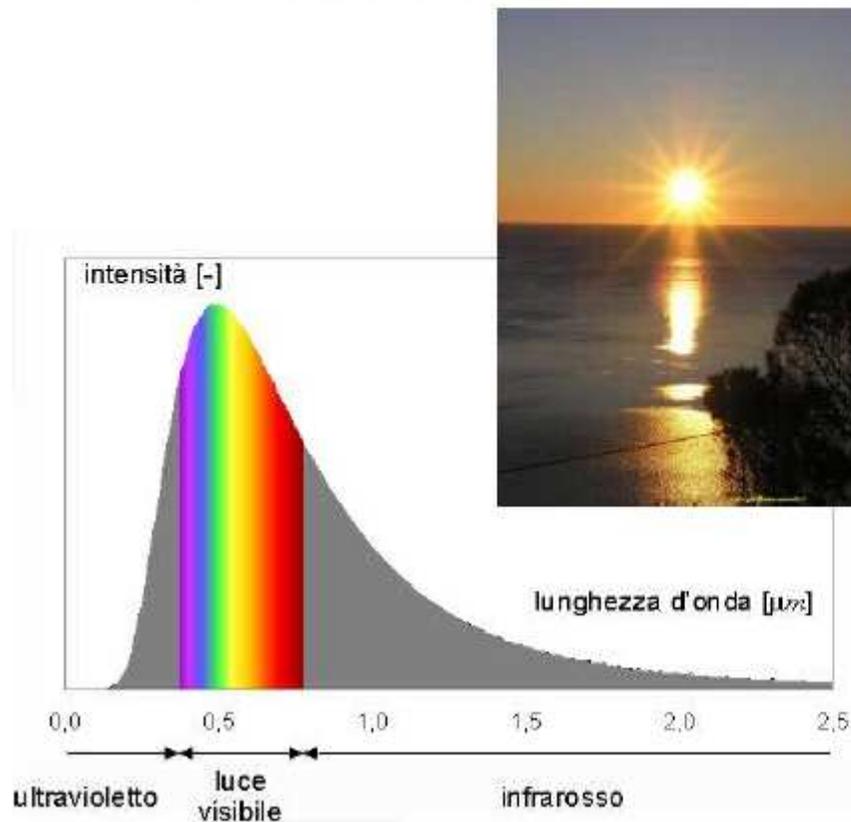


# Sorgenti non Coerenti

- Sorgenti nel visibile
  - Lampada a incandescenza a 2800 K
  - Sole a 5800 K

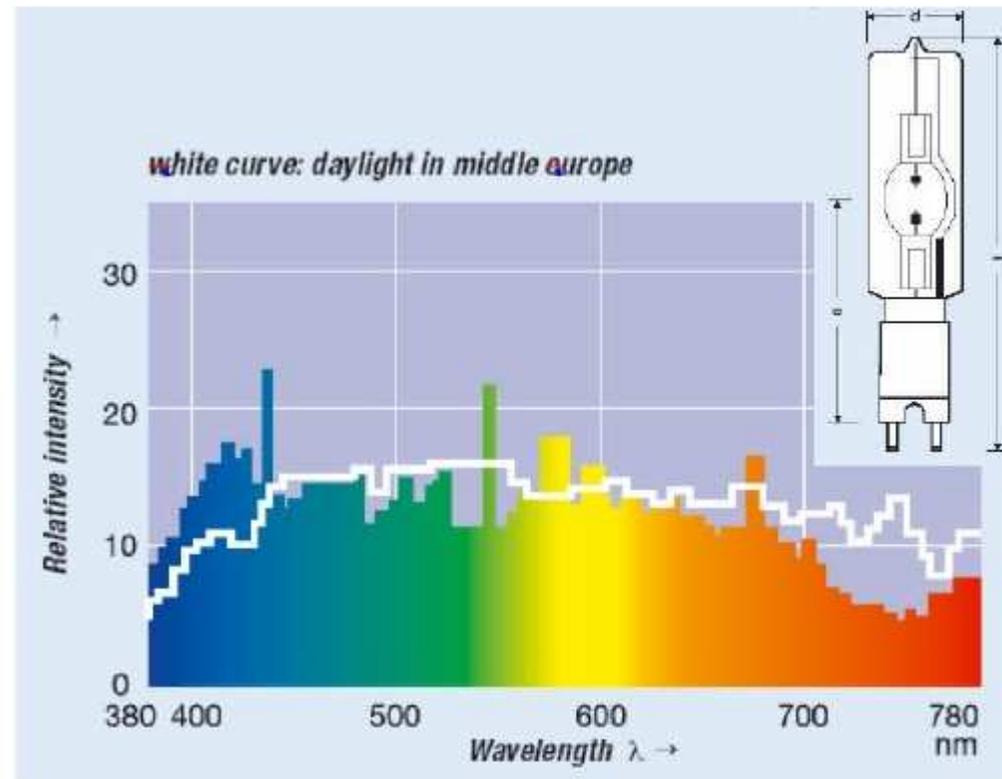
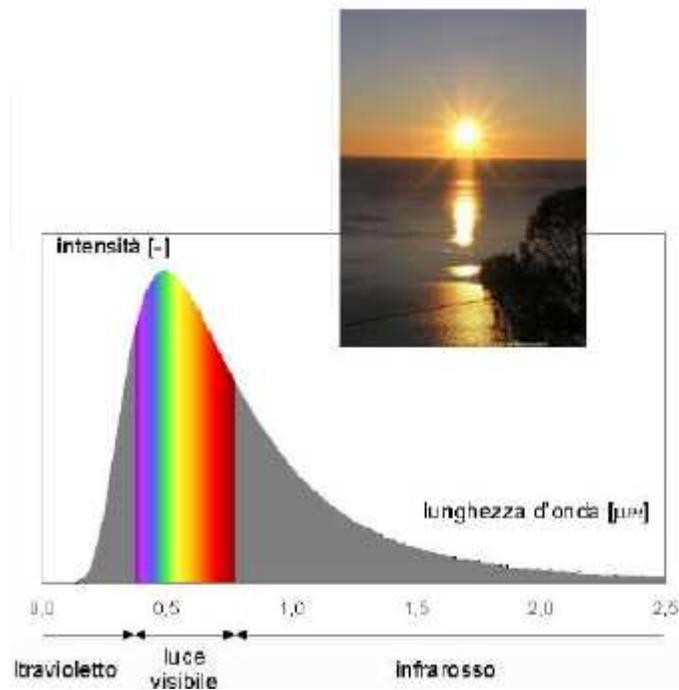


*Corso di Illuminotecnica - Philips*



# Sorgenti non Coerenti

- Sorgenti nell'ultravioletto
  - Sole a 5800 K
  - Lampada HID agli alogenuri metallici a 6000 K



HMI® 18000 W/SE/GX51 and 12000 W/SE/GX51 – Good colour rendering. Daylight. Brilliant OSRAM quality.

# Sorgenti non Coerenti

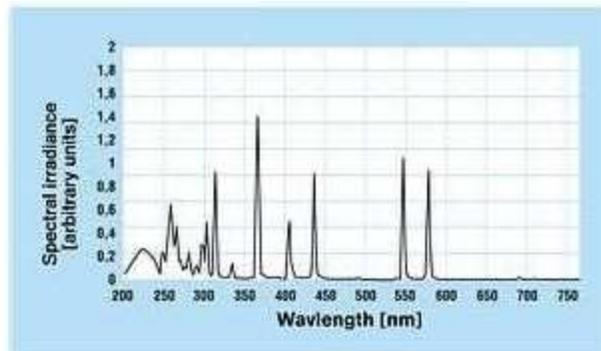
## SISTEMI DI DISINFEZIONE ARIA E SUPERFICI

### Le lampade al mercurio a media pressione

emettono raggi UV e nello spettro del visibile, compreso tra 200 e 600 nm ad elevata intensità di energia.

L'intensa radiazione UV permette una profonda penetrazione e un'efficiente Decontaminazione rendendo questo tipo di lampade particolarmente adatte nei processi fotochimici.

P.es. nello spettro di emissione sui 200 nm, la radiazione UV produce radicali OH da  $H_2O_2$ , utilizzati per l'ossidazione di materiali organici.



www.wavelab.it



# Sorgenti non Coerenti

## LAMPADE AD ALOGENURI AD ALTA PRESSIONE

Le lampade ad alogenuri metallici sono lampade a scarica ad alta intensità (HID) che utilizzano speciali composti chimici detti "alogenuri".

Per la loro alta efficienza, ottima resa di colore (Riempite di vapori di mercurio Hg e xenon Xe hanno emissione spettrale molto prossime ad un'emissione di corpo nero a 6000 °K) e durata queste lampade sono grandemente usate nelle applicazioni all'aperto e all'interno di centri commerciali.

Emissione **intensa nel Blu, con componente spettrale UV non trascurabile.**

In generale sono costruite con bulbo in quarzo e rivestimento esterno in vetro.

**Vista la potenziale pericolosità delle irradiazioni UV** negli USA esistono in commercio lampade che si "spengono" se l'involucro esterno si danneggia

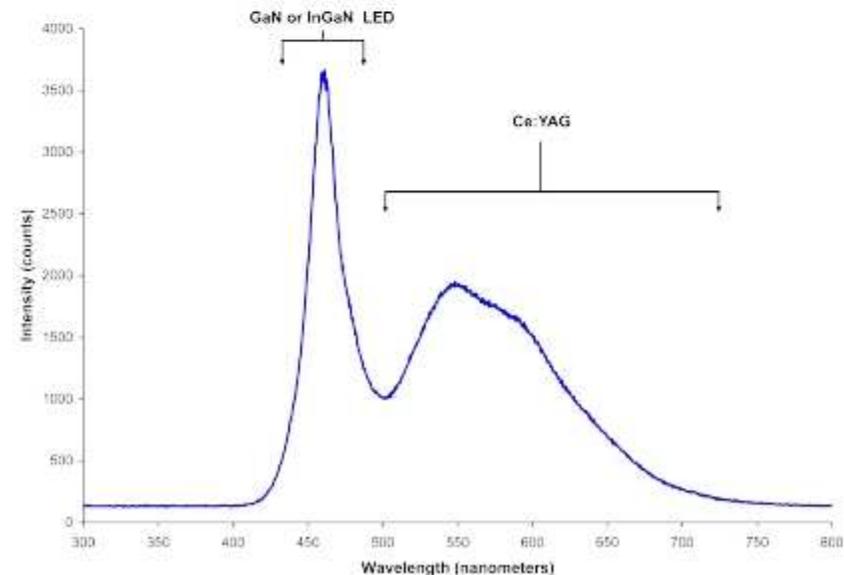
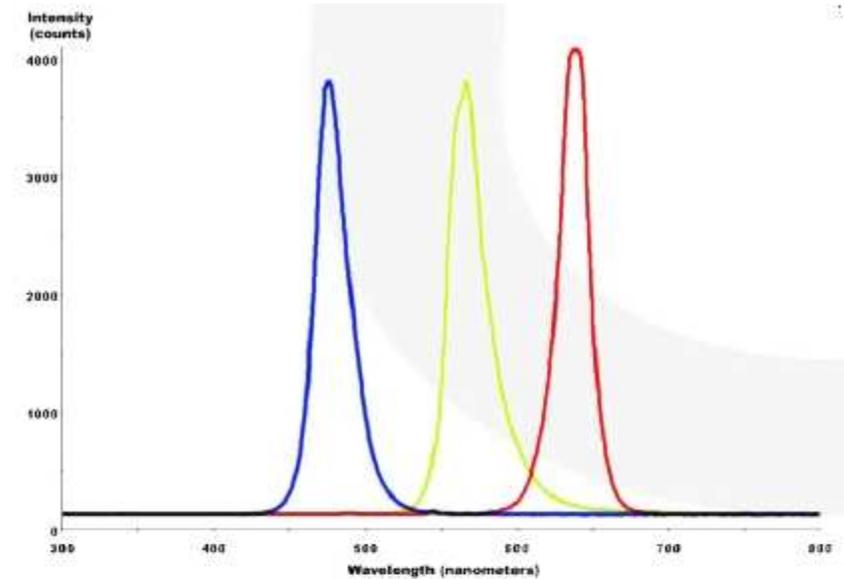
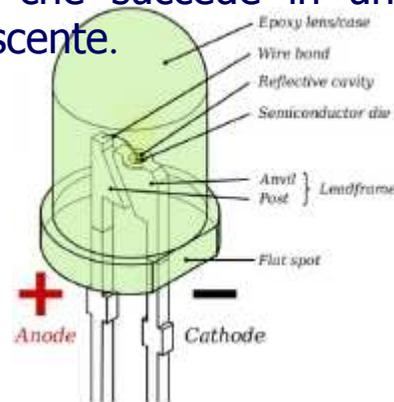


# Sorgenti non Coerenti

## LED A LUCE BIANCA

Ci sono due modi di produzione ad alta intensità di luce bianca utilizzando LED.

- Uno è quello di usare i singoli LED che emettono tre colori primari rosso, verde e blu, e poi mescolare tutti i colori per la produzione di luce bianca.
- L'altro è quello di utilizzare un materiale di fosforo per convertire da una luce monocromatica blu o UV ad ampio spettro di luce bianca, molto similmente a quello che succede in una lampadina fluorescente.



# Unità di misura fotometriche

La **candela (cd)** è l'unità di misura dell'**intensità luminosa in una data direzione**

Equivale all'intensità luminosa di una sorgente che emette radiazione monocromatica di frequenza pari a  $540 \cdot 10^{12}$  Hz (555 nm) e con una intensità radiante in detta direzione di  $1/683$  W per steradiante.

Il **lumen (lm)** è l'unità di misura del **flusso luminoso**.

Equivale al flusso luminoso rilevabile in un angolo solido di 1 steradiante emesso da una sorgente isotropica con intensità luminosa di 1 candela.

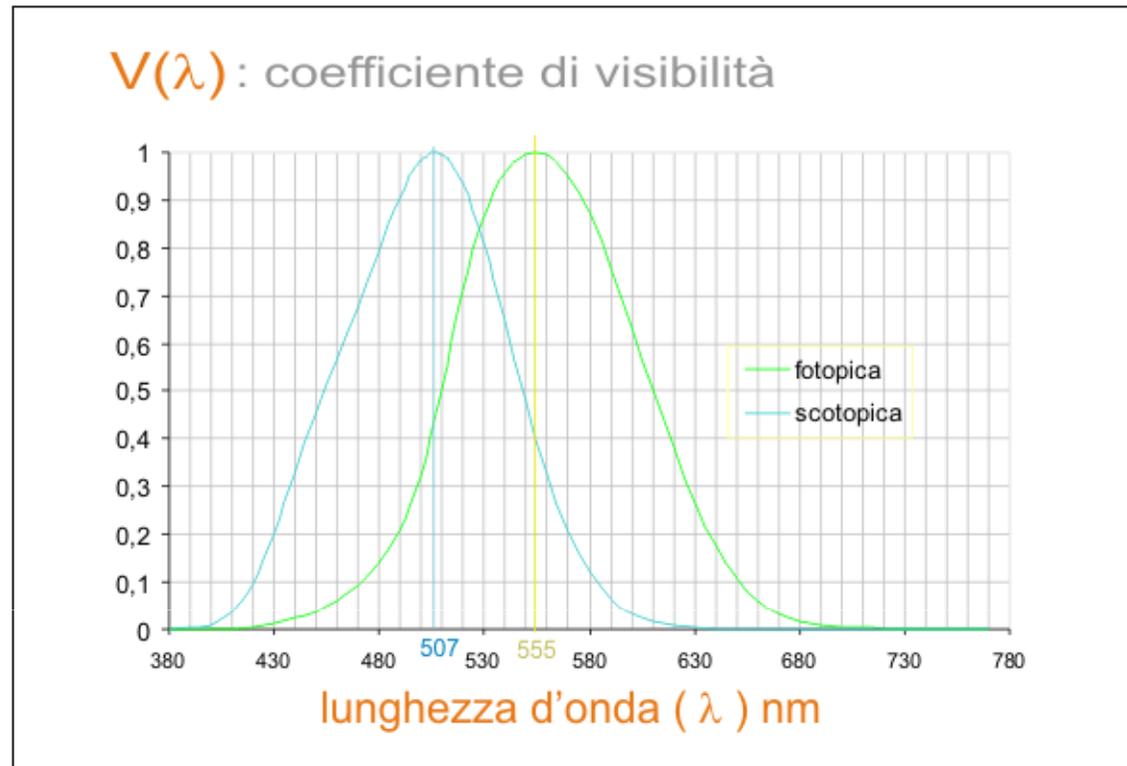
Il **lux (lx)** è l'unità di misura per l'**illuminamento**.

Un lux è pari a un lumen al metro quadrato.

$$\text{lx} = \frac{\text{cd} \cdot \text{sr}}{\text{m}^2}$$

La **candela al metro quadrato (cd m<sup>-2</sup>)** è l'unità di misura della **luminanza**.

È il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una sorgente verso una superficie normale alla direzione del flusso e l'area della superficie stessa.



$\Phi(\lambda)$  flusso luminoso alla lunghezza d'onda  $\lambda$  (lm)

$P(\lambda)$  potenza radiante alla lunghezza d'onda  $\lambda$  (W)

$V(\lambda)$  fattore di visibilità (lm/W)

A  $\lambda = 555 \text{ nm} \rightarrow V_{\text{max}} = 683 \text{ lm/W}$

Irradianza efficace fotopica [ $\text{W m}^{-2} * 683$ ] = illuminamento [lx]

Illuminamento [lx] / angolo solido sotteso [sr] = luminanza [ $\text{cd m}^{-2}$ ]

# Grandezze Radiometriche

$E_\lambda(\lambda, t)$ ,  $E_\lambda$     **irradianza spettrale** o densità di potenza spettrale: la potenza radiante incidente per unità di area su una superficie, espressa in watt su metro quadrato per nanometro [ $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ ]; i valori di  $E_\lambda(\lambda, t)$  ed  $E_\lambda$  sono il risultato di misurazioni o possono essere forniti dal fabbricante delle attrezzature;

$L_\lambda(\lambda)$ ,  $L_\lambda$     **radianza spettrale della sorgente**, espressa in watt su metro quadrato per steradiano per nanometro [ $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$ ];

$E_{\text{eff}}$     **irradianza efficace (gamma UV)**: irradianza calcolata nell'intervallo di lunghezza d'onda UV da 180 a 400 nm, ponderata **spetttralmente con  $S(\lambda)$** , espressa in watt su metro quadrato [ $\text{W m}^{-2}$ ];

$H$     **esposizione radiante**: integrale nel tempo dell'irradianza, espressa in joule su metro quadrato [ $\text{J m}^{-2}$ ];

$H_{\text{eff}}$     **esposizione radiante efficace**: esposizione radiante ponderata **spetttralmente con  $S(\lambda)$** , espressa in joule su metro quadrato [ $\text{J m}^{-2}$ ];

$E_{\text{UVA}}$     **irradianza totale (UVA)**: irradianza calcolata nell'intervallo di lunghezza d'onda UVA da 315 a 400 nm, espressa in watt su metro quadrato [ $\text{W m}^{-2}$ ];

$H_{\text{UVA}}$     **esposizione radiante**: integrale o somma nel tempo e nella lunghezza d'onda dell'irradianza nell'intervallo di lunghezza d'onda UVA da 315 a 400 nm, espressa in joule su metro quadrato [ $\text{J m}^{-2}$ ];

# GRANDEZZE RADIOMETRICHE

- $L_B$**  **radianza efficace (luce blu):** radianza calcolata ponderata spettralmente con  $B(\lambda)$ , espressa in watt su metro quadrato per steradiano [ $W m^{-2} sr^{-1}$ ];
- $E_B$**  **irradianza efficace (luce blu):** irradianza calcolata ponderata spettralmente con  $B(\lambda)$  espressa in watt su metro quadrato [ $W m^{-2}$ ];
- $E_{IR}$**  **irradianza totale (lesione termica):** irradianza calcolata nell'intervallo di lunghezze d'onda dell'infrarosso da 780 nm a 3000 nm, espressa in watt su metro quadrato [ $W m^{-2}$ ];
- $E_{skin}$**  **irradianza totale (visibile, IRA e IRB):** irradianza calcolata nell'intervallo di lunghezze d'onda visibile e dell'infrarosso da 380 nm a 3 000 nm, espressa in watt su metro quadrato [ $W m^{-2}$ ];
- $H_{skin}$**  **esposizione radiante:** integrale o somma nel tempo e nella lunghezza d'onda dell'irradianza nell'intervallo di lunghezze d'onda visibile e dell'infrarosso da 380 nm a 3 000 nm, espressa in joule su metro quadrato ( $J m^{-2}$ );
- $\alpha$  **angolo sotteso:** angolo sotteso da una sorgente apparente, visto in un punto nello spazio, espresso in milliradiani (mrad). La sorgente apparente è l'oggetto reale o virtuale che forma l'immagine retinica più piccola possibile.

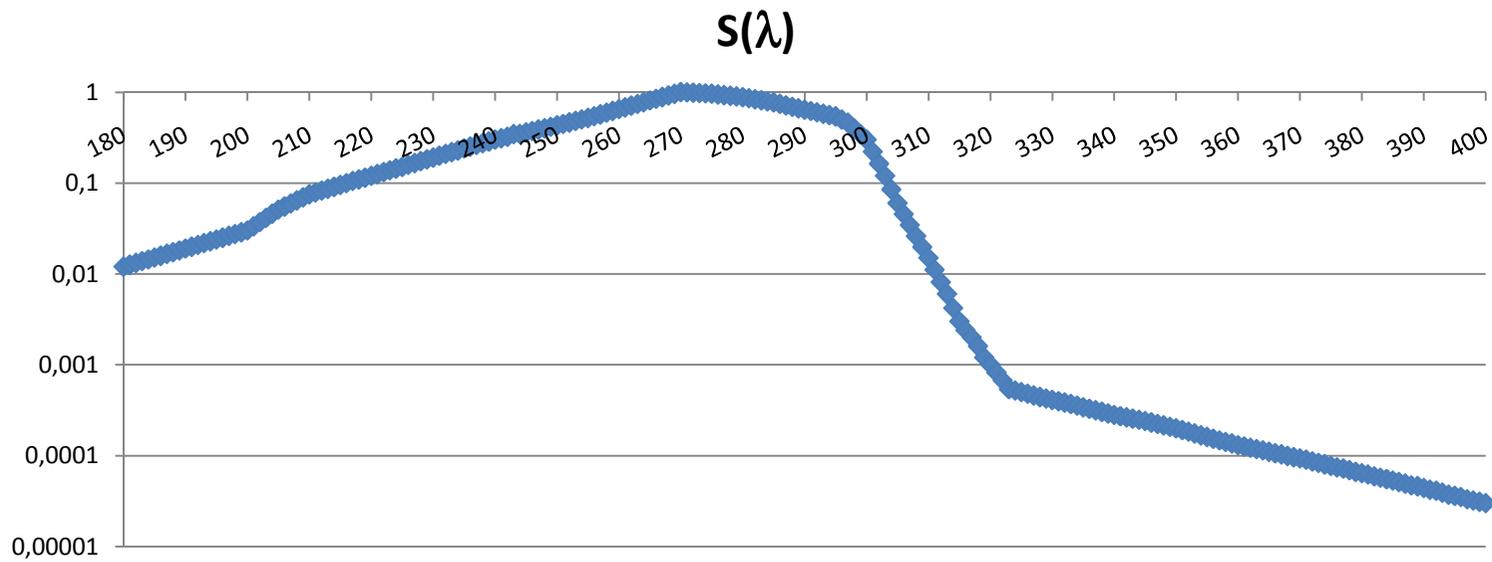
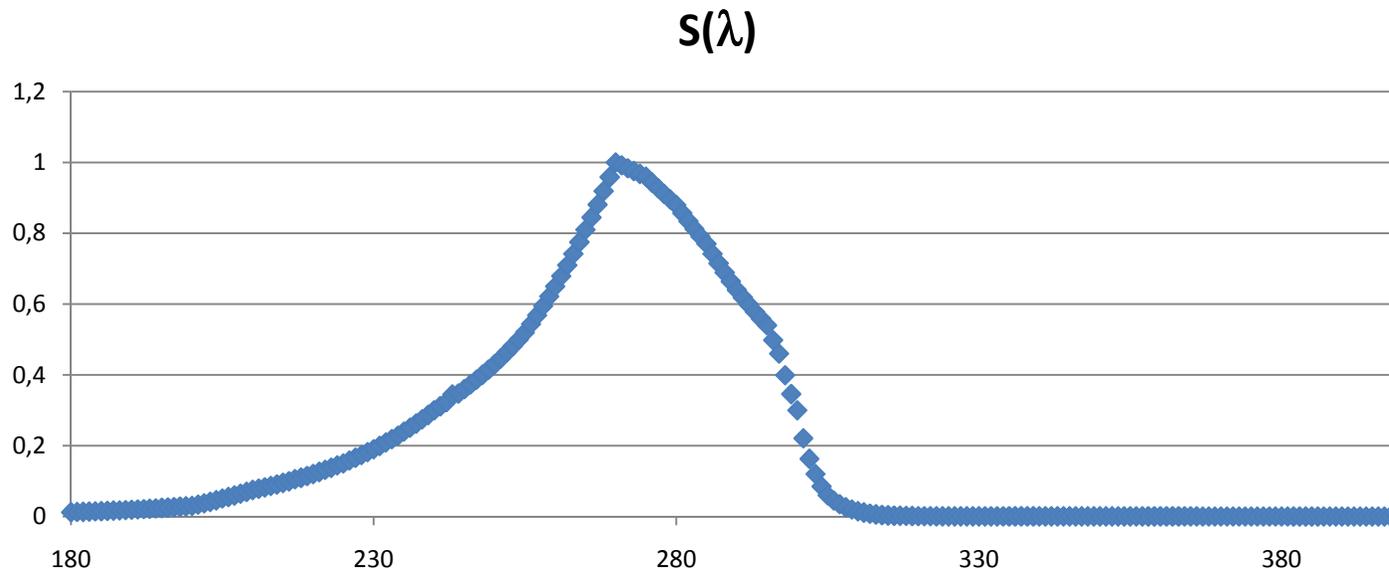
# GRANDEZZE RADIOMETRICHE

**S ( $\lambda$ ) fattore di peso spettrale:** tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda degli effetti sulla salute delle radiazioni UV sull'occhio e sulla cute (tabella 1.2) [adimensionale];

**R ( $\lambda$ ) fattore di peso spettrale:** tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda delle lesioni termiche provocate sull'occhio dalle radiazioni visibili e IRA (tabella 1.3) [adimensionale];

**B ( $\lambda$ ) ponderazione spettrale:** tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda della lesione fotochimica provocata all'occhio dalla radiazione di luce blu (Tabella 1.3) [adimensionale];

**L<sub>R</sub> radianza efficace (lesione termica):** radianza calcolata ponderata spettralmente con R ( $\lambda$ ), espressa in watt su metro quadrato per steradiante [ $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ];



# GRANDEZZE RADIOMETRICHE

## Forma finita

a) 
$$E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda = 180 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 e 
$$H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t$$

b) 
$$E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda = 315 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$
 e 
$$H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t$$

c), d) 
$$L_{\text{B}} = \sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

e), f) 
$$E_{\text{B}} = \sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

g)-l) 
$$L_{\text{R}} = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 (Cfr. tabella 1.1 per i valori appropriati di  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ )

m), n) 
$$E_{\text{IR}} = \sum_{\lambda = 780 \text{ nm}}^{\lambda = 1400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

# Grandezze Radiometriche

## Forma integrale

a) 
$$H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda = 180 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{\text{eff}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 180 a 400 nm)

b) 
$$H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda = 315 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{\text{UVA}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 315 a 400 nm)

c), d) 
$$L_{\text{B}} = \int_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $L_{\text{B}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 300 a 700 nm)

e), f) 
$$E_{\text{B}} = \int_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $E_{\text{B}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 300 a 700 nm)

g)-l) 
$$L_{\text{R}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (Cfr. tabella 1.1 per i valori appropriati di  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ )

m), n) 
$$E_{\text{IR}} = \int_{\lambda = 780 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $E_{\text{IR}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 780 a 3 000 nm)

o) 
$$H_{\text{skin}} = \int_0^t \int_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{\text{skin}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 380 a 3 000 nm)

# LIMITI DI ESPOSIZIONE

I limiti sono definiti per:

- Irradianza  $W m^{-2}$
- Esposizione radiante  $J m^{-2}$
- Radianza  $W m^{-2} sr^{-1}$

Irradianza (E) = Potenza / Superficie (W/m<sup>2</sup>)

Esposizione radiante (dose, H) = Energia /Superficie (J/m<sup>2</sup>):

$$H = \int E(t) dt$$

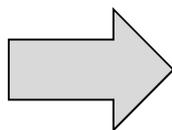
Se l'irradianza è costante:

$$H = E \times \Delta t$$

A parità di dose:

$$E = H/\Delta t$$

Reciprocità



L'effetto della radiazione elettromagnetica è dato dal prodotto dell'intensità e della durata della radiazione.

**Per esempio, una dose di 100 J/m<sup>2</sup> può corrispondere a:**

$$E = 1 \text{ W/m}^2$$

$$\Delta t = 100 \text{ secondi}$$

**oppure:**

$$E = 0,1 \text{ W/m}^2$$

$$\Delta t = 1000 \text{ secondi}$$

# Valori limite di esposizione

Tabella T.1  
Valori limiti di esposizione per radiazioni ottiche non coerenti

Indice	Lunghezza d'onda nm	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parte del corpo	Rischio
a.	180-400 (UVA, UVB e UVC)	$H_{UV} = 30$ Valore giornaliero 8 ore	[J m <sup>-2</sup> ]		occhio: cornea congiuntiva cristallino cute	fotokeratite congiuntivite catarattogenesi eritema elastosi tumore della cute
b.	315-400 (UVA)	$H_{UVa} = 10^4$ Valore giornaliero 8 ore	[J m <sup>-2</sup> ]		occhio: cristallino	catarattogenesi
c.	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$I_a = \frac{10^4}{t}$ per $t \leq 10\,000$ s	$I_a$ [W m <sup>-2</sup> sr <sup>2</sup> ] t: [secondi]	per $\alpha \geq 11$ mrad	occhio: retina	fotoretinite
d.	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$I_a = 100$ per $t > 10\,000$ s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>2</sup> ]			
e.	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$E_B = \frac{100}{t}$ per $t \leq 10\,000$ s	$E_B$ [W m <sup>-2</sup> ] t: [secondi]	per $\alpha < 11$ mrad Cfr. nota 2		
f.	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$E_B = 0,01$ t > 10 000 s	[W m <sup>-2</sup> ]			

# Valori limite di esposizione

Indice	Lunghezza d'onda nm	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parte del corpo	Rischio
g.	380-1 400 (Visibile e IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_a}$ per $t > 10$ s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	$C_a = 1,7$ per $\alpha \leq 1,7$ mrad $C_a = \alpha$ per $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_a = 100$ per $\alpha > 100$ mrad $\lambda_1 = 380; \lambda_2 = 1 400$	occhio: retina	ustione retina
h.	380-1 400 (Visibile e IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a^{0,25}}$ per $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	$L_R$ : [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ] t: [secondi]			
i.	380-1 400 (Visibile e IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ per $t < 10 \mu s$	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]			
j.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_a}$ per $t > 10$ s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	$C_a = 11$ per $\alpha \leq 11$ mrad $C_a = \alpha$ per $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_a = 100$ per $\alpha > 100$ mrad (campo di vista per la misurazione: 11 mrad) $\lambda_1 = 780; \lambda_2 = 1 400$	occhio: retina	ustione retina
k.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a^{0,25}}$ per $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	$L_R$ : [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ] t: [secondi]			
l.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ per $t < 10 \mu s$	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]			
m.	780-3 000 (IRA e IRB)	$E_{iR} = 18 000 t^{0,75}$ per $t \leq 1 000$ s	E: [W m <sup>-2</sup> ] t: [secondi]		occhio: cornea cristallino	ustione cornea catarattogenesi
n.	780-3 000 (IRa e IRB)	$E_{iR} = 100$ per $t > 1 000$ s	[W m <sup>-2</sup> ]			

# Valori limite di esposizione

Indice	Lunghezza d'onda nm	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parte del corpo	Rischio
o.	380-3 000 (Visibile, IRA e IRB)	$H_{skin} = 20\,000 t^{0.25}$ per $t < 10$ s	H: [ $J\ m^{-2}$ ] t: [secondi]		cute	ustione

Nota 1: L'intervallo di lunghezze d'onda 300-700 nm copre in parte gli UVB, tutti gli UVA e la maggior parte delle radiazioni visibili; tuttavia il rischio associato è normalmente denominato rischio da «luce blu». In senso stretto la luce blu riguarda soltanto approssimativamente l'intervallo 400-490 nm.

Nota 2: Per la fissazione costante di sorgenti piccolissime che sottendono angoli  $< 11$  mrad,  $L_{\eta}$  può essere convertito in  $E_{\eta}$ . Ciò si applica di solito solo agli strumenti oftalmici o all'occhio stabilizzato sotto anestesia. Il «tempo di fissazione» massimo è dato da  $t_{max} = 100/E_{\eta}$  dove  $E_{\eta}$  è espressa in  $W\ m^{-2}$ . Considerati i movimenti dell'occhio durante compiti visivi normali, questo valore non supera i 100s.

# **MODALITA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

**A Non-Binding Guide to the Artificial  
Optical  
Radiation Directive 2006/25/EC  
Radiation Protection Division,  
Health Protection Agency**

---

NORMA  
EUROPEA

---

**Misurazione e valutazione dell'esposizione personale  
a radiazioni ottiche incoerenti**  
Parte 1: Radiazioni ultraviolette emesse da sorgenti artificiali  
nel posto di lavoro

---

UNI EN 14255-1

OTTOBRE 2005

---

Measurement and assessment of personal exposures to incoherent  
optical radiation  
Part 1: Ultraviolet radiation emitted by artificial sources in the workplace

---

La norma specifica le procedure per la misurazione e valutazione  
dell'esposizione personale alle radiazioni ultraviolette (UV) emesse  
da sorgenti artificiali, quando gli effetti negativi di questa esposi-  
zione non possono essere facilmente esclusi.

---

## NORME TECNICHE (NON COERENTI)

✓ UNI EN 14255

Esposizione personale a radiazioni ottiche non coerenti

✓ UNI EN 12198

Valutazioni e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal  
macchinario

✓ CIE S009 – IEC 62471

sicurezza delle lampade e dei sistemi di lampade

# MODALITA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

## Conoscenza delle sorgenti

Preliminarmente censire le sorgenti ROA ed acquisirne i dati forniti dai fabbricanti o, in loro assenza, da documenti tecnici o lavori presenti in Letteratura che trattano sorgenti analoghe.

Utilizzare, ove disponibile, la classificazione delle sorgenti secondo le norme tecniche specifiche o **la conformità a standard tecnici**, può consentire la **“giustificazione” che permette di non effettuare una valutazione approfondita del rischio in quanto trascurabile.**

Il termine “giustificazione” riportato dal legislatore nell’art.181, comma 3, si riferisce a tutte quelle situazioni espositive per le quali non è necessario effettuare un approfondimento della valutazione. D’altra parte l’approfondimento della valutazione è necessario in tutti quei casi di esposizione a ROA i cui effetti negativi non possono essere ragionevolmente esclusi.

# MODALITA' DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

## Conoscenza delle modalità espositive

Tutte le attività che comportano o possono comportare l'impiego di sorgenti ROA devono essere censite e conosciute a fondo.

- in particolare devono essere individuate le tipologie di sorgenti, le modalità di impiego ed i luoghi in cui sono operanti, acquisendo, se possibile, i "layout" o le **planimetrie** dove sono installate le sorgenti.
- Per potere valutare i lavoratori a rischio e la loro effettiva esposizione è importante acquisire anche i **tempi di permanenza**, le **distanze** e le **modalità di** esposizione e l'eventuale **fotosensibilità** del lavoratore.

# MODALITA' DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

## Quando non serve approfondire?

Sono giustificabili tutte le apparecchiature che:

- emettono radiazione ottica non coerente classificate nella categoria 0 secondo lo standard UNI EN 12198:2009 ;
- le lampade e i sistemi di lampade, anche a LED, classificate nel gruppo "Esente" dalla norma CEI EN 62471:2009;

### Attenzione

le norme tecniche indicate sono di recente emanazione, per tutte le sorgenti antecedenti il 2009 ci si dovrà rivolgere al fabbricante per ottenere le necessarie informazioni.

In mancanza di queste, occorrerà necessariamente procedere con una valutazione del rischio più approfondita

# Uniche fonti in grado di produrre esposizioni insignificanti, che si possono considerare "sicure"

- ✓ Lampade fluorescenti a soffitto con diffusori sulle lampade
- ✓ Schermi di computer o apparecchiature analoghe
- ✓ Fotocopiatrici
- ✓ Indicatori LED
- ✓ Illuminazione stradale
- ✓ Illuminazione fluorescente compatta
- ✓ Lavagna interattiva e accessori per la presentazione
- ✓ Lampade a soffitto al tungsteno
- ✓ Lampade alogene a soffitto al tungsteno
- ✓ Flash di macchine fotografiche

# **MODALITA' DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

## **Misure o Calcoli dei Livelli di Esposizione**

### **Misure sperimentali**

Nel caso non siano disponibili i dati del fabbricante o non vi siano riferimenti a standard tecnici specifici, è necessario effettuare delle misure strumentali secondo le indicazioni fornite da norme tecniche specifiche.

### **Esecuzione di calcoli**

Partendo dai dati forniti dal fabbricante, dai dati di letteratura o dai valori misurati, mediante appositi calcoli si ottengono le grandezze necessarie al confronto con i valori limite.

I dati acquisiti devono essere confrontati con i valori limite previsti nell'Allegato XXXVII del D. Lgs.81/2008 per stabilire il possibile superamento o no di tali valori.

## FABBRICANTI E LIVELLI DI EMISSIONE ROA

Le attrezzature che emettono radiazioni ottiche artificiali **devono essere corredate** dalle informazioni sulle emissioni, in conformità a specifiche norme tecniche che fanno riferimento ai seguenti filoni principali:

- la direttiva europea 2006/42/CE (nuova direttiva macchine) recepita con il DLgs.27/01/2010 n.17, in vigore dal 06/03/2010 (che ha sostituito la precedente direttiva macchine, la 98/37/CE, recepita con DPR 459/96);
- la direttiva 93/42/CE (direttiva dispositivi medici) modificata Direttiva 2007/47/CE, recepita dal DECRETO LEGISLATIVO 25 gennaio 2010, n. 37, in vigore dal 21/03/2010
- la direttiva 98/79/CE (direttiva dispositivi medici diagnostici in vitro), recepita con DLgs.332/00, attualmente in vigore.

Tra le categorie di attrezzature non ricomprese dalle suddette norme principali, ricordiamo invece le lampade e i sistemi di lampade, anche a LED, per le quali il riferimento è alla direttiva 2006/95/CE (direttiva bassa tensione) ed i lettini abbronzanti e le lampade UV per uso estetico secondo CEI EN 60335-2-27

# Photobiological safety of lamps and lamp systems

CLASSE	RISCHIO	MASSIMA DURATA DI ESPOSIZIONE <i>f</i> (regione dello spettro considerata)				
		UV (occhio e cute)	UVA (cristallino)	Rischio fotochimico (retina)	Rischio termico (retina)	IR (occhio)
Esente	Assente	30000s	1000s	10000s	10s	1000s
Gruppo con rischio 1	Basso	10000s	300s	100s	10s	100s
Gruppo con rischio 2	Moderato	1000s	100s	0,25s	0,25s	10s
Gruppo con rischio 3	Alto	< 1000s	< 100s	< 0,25s	< 0,25s	< 10s

# Distanza di rischio

- La distanza a cui l'esposizione è scesa al di sotto dei valori limite di esposizione è conosciuta come la distanza di rischio : al di là di questa distanza non esiste alcun rischio.
- La distanza di rischio dovrebbe essere presa in considerazione quando si specificano i confini della zona all'interno della quale l'accesso alle radiazioni ottiche e l'attività del personale è soggetto a controllo e vigilanza ai fini della protezione dalle radiazioni ottiche.
- La distanza di rischio può essere definita per l'esposizione degli occhi o della pelle.

# Valore di rischio

- E' utile definire un valore di rischio per le diverse zone definito come rapporto tra il livello di esposizione ad una distanza per il valore limite di esposizione a detta distanza.
- Se  $< 1$  si è in zona sicura

# VALUTAZIONE DEL RISCHIO IN CASI SEMPLICI IN AMBIENTI DI LAVORO

Il metodo si basa su EN 62471 (2008) con l'aggiunta di eventuali ipotesi sempre cautelative.

Descrizione della **SORGENTE**

Scelta **DISTANZA DI ESPOSIZIONE**

Scelta dei **LIMITI DI ESPOSIZIONE**

Calcolo dei **FATTORI GEOMETRICI**

**VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

## Descrizione della SORGENTE

### Fattori geometrici

(se la sorgente emette solo UVR non servono)

- $\theta$  angolo tra la perpendicolare alla superficie della sorgente e la linea dello sguardo
- $Z$  dimensione media sorgente
- $\alpha$  angolo sotteso dalla sorgente
- $C_{\alpha}$  fattore correttivo  $f(\alpha)$
- $\omega$  angolo solido sotteso dalla sorgente

## Scelta dei LIMITI DI ESPOSIZIONE

Per essere conservativi si considera la peggiore esposizione possibile (il soggetto fissa la sorgente per 8 h)



Tabella dalla direttiva

Index	Wavelength, nm	Units	Part of the body	Hazard	Appropriateness	
a	180-400 (UVA, UVB, UVC)	$J m^{-2}$	eye cornea conjunctiva lens skin	photokeratitis photoconjunctivitis cataractogenesis erythema elastosis skin cancer	Yes, if source emits UVR	
b	315 - 400 (UVA)	$J m^{-2}$	eye lens	cataractogenesis	Yes, if source emits UVR	
c	300 -700 (Blue Light) (where $\alpha \geq 11$ mrad and $t \leq 10000$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$	eye retina	photoretinitis	No, worst case would be for longest exposure	
d	300 -700 (Blue Light) (where $\alpha \geq 11$ mrad and $t > 10000$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$			Yes, if source emits in visible region. This limit covers a worst case exposure of 8 hours	
e	300 -700 (blue light) (where $\alpha < 11$ mrad and $t \leq 10000$ s)	$W m^{-2}$			Not often, as common sources are usually quite large	
f	300 -700 (blue light) (where $\alpha < 11$ mrad and $t > 10000$ s)	$W m^{-2}$				
g	380 - 1400 (visible and IRA) (for $t > 10$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$	eye retina	retinal burn	Yes, if source emits in visible region. This limit covers a worst case exposure of 8 hours	
h	380 - 1400 (visible and IRA) (for $t 10 \mu s$ to $10$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$			No, worst case is for longest exposure	
i	380 - 1400 (visible and IRA) (for $t < 10 \mu s$ )	$W m^{-2} sr^{-1}$				
j	780 -1400 (IRA) (for $t > 10$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$	eye retina	retinal burn	Not often, as common sources usually emit visible radiation which makes limits g, h and I more appropriate	
k	780 -1400 (IRA) (for $t 10 \mu s$ to $10$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$				
l	780 -1400 (IRA) (for $t < 10 \mu s$ )	$W m^{-2} sr^{-1}$				
m	780 -1400 (IRA, IRB) (for $t \leq 10000$ s)	$W m^{-2}$	eye cornea lens	corneal burn		
n	780 - 3000 (IRA, IRB) (for $t > 10000$ s)	$W m^{-2}$				
o	380 - 3000 (visible, IRA, IRB)	$J m^{-2}$	skin	burn	Not often, as this is only a concern for powerful heat generating industrial sources	

## VERIFICA PRELIMINARE

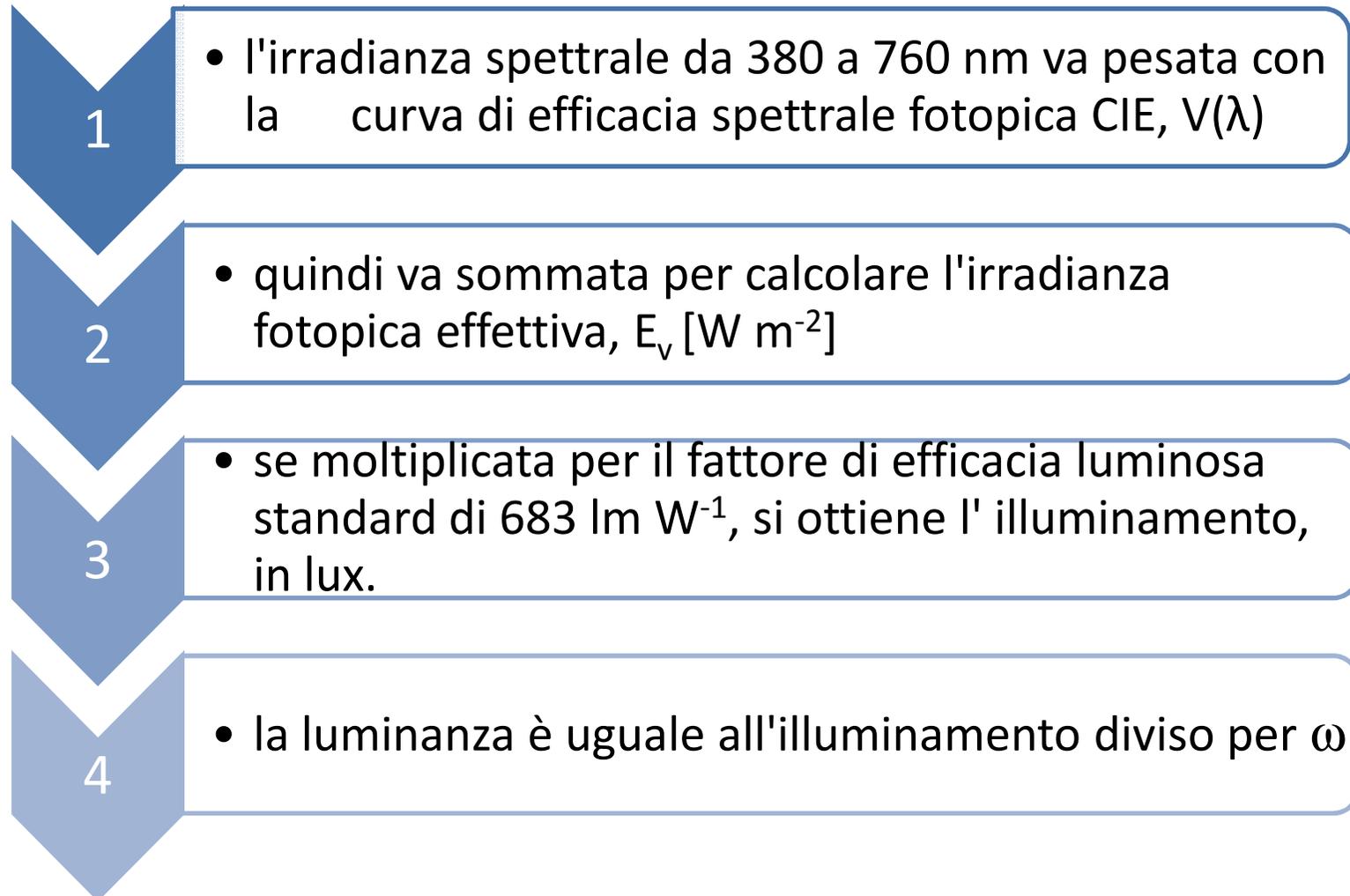
Secondo l'ICNIRP se

$$\text{luminanza} < 10^4 \text{ cd m}^{-2}$$

NON è necessario effettuare un'analisi completa della spettro luminoso per rilevare i pericoli alla retina derivati da una sorgente luminosa di luce bianca.

Questo limite di riferimento non serve per accettare i rischi derivanti dalle emissioni ultraviolette.

## Come applicare il limite stabilito dalle linee guida



ESEMPIO 1

## SINGOLA LAMPADA A FLUORESCENZA SENZA DIFFUSORE



Descrizione della  
SORGENTE

- 153 cm x 2 cm
- lampada fluorescente da 58 W
- montata a soffitto
- con riflettori
- sorgente non omogenea

Scelta dei LIMITI DI  
ESPOSIZIONE

- non emissioni significative nell'infrarosso
- ogni rischio deriva da esposizione alla luce visibile o ultravioletta
- si applicano i limiti **a**, **b** e **d**

## FATTORI GEOMETRICI

- irradianza spettrale a 100cm dalla lampada
- dimensione media lampada 77.5 cm
- $\alpha = 0.775$  rad
- superficie 306 cm<sup>2</sup>
- $\omega = 0.03$  sr  $\omega_B = 0.03$  sr  $\omega_R = 0.03$  sr

## VALUTAZIONE PRELIMINARE

- l'irradianza effettiva fotopica è 1640 mWm<sup>-2</sup>
- illuminamento = 1120 lx
- luminanza = 37333 cd m<sup>-2</sup>

SONO NECESSARIE ULTERIORI VALUTAZIONI PER IL RISCHIO RETINICO. A PARTE DEVONO ESSERE VALUTATI GLI UVR

## DATI RADIOMETRICI

- $E_{\text{eff}} = 0.6$  mW m<sup>-2</sup>
- $E_{\text{UVA}} = 120$  mW m<sup>-2</sup>
- $E_B = 561$  mW m<sup>-2</sup>
- $E_R = 7843$  mW m<sup>-2</sup>

## IPOTESI SEMPLIFICATIVE

- $L_B = 19$  W m<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>
- $L_R = 261$  W m<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>

ESEMPIO 1

## CONCLUSIONI

Confronto coi LIMITI  
DI ESPOSIZIONE



LIMITI DI ESPOSIZIONE	LIMITE DA NORMATIVA	DUNQUE...
$H_{\text{eff}}=30 \text{ J m}^{-2}$	$E_{\text{eff}}=0.6 \text{ mW m}^{-2}$	Il tempo MPE è >8 ore
$H_{\text{UVA}}= 10^4 \text{ J m}^{-2}$	$E_{\text{UVA}}=120 \text{ mW m}^{-2}$	Il tempo MPE è >8 ore
$100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$L_{\text{B}}=19 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	Limite di esposizione non superato
$280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$L_{\text{R}}=261 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	Limite di esposizione non superato

\*MPE = massima emissione permessa

ESEMPIO 2

## INSIEME DI LAMPADE A FLUORESCENZA SENZA DIFFUSORE



Descrizione della  
SORGENTE

- 4 lampade fluorescenti da 18 W
- 57 cm x 2cm
- montata a soffitto
- con riflettori
- sorgente non omogenea

Scelta dei LIMITI DI  
ESPOSIZIONE

- non emissioni significative nell'infrarosso
- ogni rischio deriva da esposizione alla luce visibile o ultravioletta
- si applicano i limiti **a**, **b** e **d**

## FATTORI GEOMETRICI

- irradianza spettrale a 100 cm dalla lampada
- dimensione media lampada 29.5 cm
- $\alpha = 0.295$  rad
- superficie 114 cm<sup>2</sup>
- $\omega = 0.011$  sr  $\omega_B = 0.011$  sr  $\omega_R = 0.011$  sr

## VALUTAZIONE PRELIMINARE

- l'irradianza effettiva fotopica è 1788 mWm<sup>-2</sup>
- illuminamento = 1120 lx
- luminanza = 28000 cd m<sup>-2</sup>

SONO NECESSARIE ULTERIORI VALUTAZIONI PER IL RISCHIO RETINICO  
A PARTE DEVONO ESSERE VALUTATI GLI UVR

## DATI RADIOMETRICI

- $E_{\text{eff}} = 1.04$  mW m<sup>-2</sup>
- $E_{\text{UVA}} = 115$  mW m<sup>-2</sup>
- $E_B = 139$  mW m<sup>-2</sup> per lampada
- $E_R = 2009$  mW m<sup>-2</sup> per lampada

## IPOSTESI SEMPLIFICATIVE

- $L_B = 13$  W m<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>
- $L_R = 183$  W m<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>

ESEMPIO 2

Confronto coi LIMITI DI ESPOSIZIONE



LIMITI DI ESPOSIZIONE	LIMITE DA NORMATIVA	DUNQUE...
$H_{\text{eff}}=30 \text{ J m}^{-2}$	$E_{\text{eff}}=1.04 \text{ mW m}^{-2}$	Il tempo MPE è ~ 8 ore
$H_{\text{UVA}}= 10^4 \text{ J m}^{-2}$	$E_{\text{UVA}}=115 \text{ mW m}^{-2}$	Il tempo MPE è >8 ore
$100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$L_{\text{B}}=13 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	Limite di esposizione non superato
$280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$L_{\text{R}}=183 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	Limite di esposizione non superato

\*MPE = massima emissione permessa

# Tipi di dispositivi utilizzabili per misure di radiazione

- Spettroradiometro con monocromatore a scansione
- Spettroradiometro con detector di linea (a una o due dimensioni)
- Radiometro a sensibilità spettrale costante
- Radiometro a sensibilità spettrale pesata da specifiche funzioni
- Dosimetri passivi o attivi

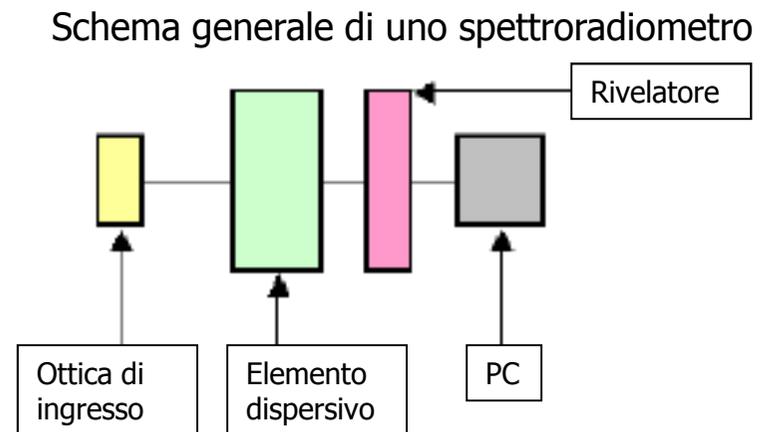


# Metodi e strumenti di misura

Fattori da tener presente nel determinare la scelta dello strumento di misura:

- Grandezze radiometriche da valutare
- Il tipo di sorgente (dimensioni, spettro, intensità)

Per applicare le indicazioni richieste dal D.L. 81 per Radianza e Irradianza efficace è necessario conoscere il contributo spettrale delle emissioni provenienti dalla sorgente



# Dosimetri elettronici

Sistemi a fotodiode corredato di filtri ottici la cui risposta approssima lo spettro d'azione dell'effetto biologico che si vuole studiare. Permettono di ricavare direttamente la dose efficace  $H_{\text{eff}}$  in un punto del corpo relativa ad un tempo di esposizione  $t$ .

Ve ne sono di vario tipo (opportunamente filtrati per riprodurre i diversi spettri d'azione). Sono radiometri a larga banda e integrati con un data logger. Forniscono la time history dell'irradianza

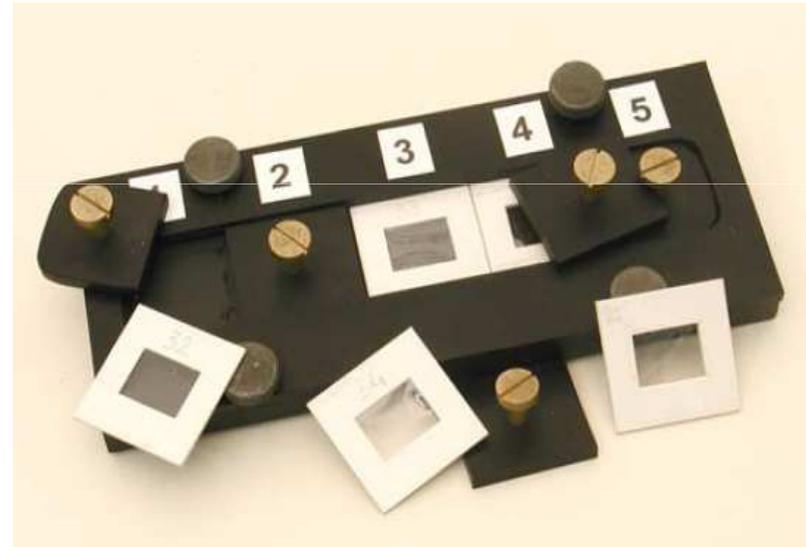


## Dosimetri biologici (spore di *Bacillus Subtilis*)

La radiazione UV modifica l'attività biologica delle spore. Dalla variazione della torbidità di una sospensione (quantificabile in termini di variazione della densità ottica) si risale alla dose assorbita.

# Dosimetri chimici

Sono costituiti da una sottile pellicola (40  $\mu\text{m}$ ) di polimero che in seguito all'esposizione alla radiazione UV subiscono una degradazione fotochimica quantificabile in termini di variazione dell'assorbanza (densità ottica) del materiale.



# SEGNALETICA



**No admittance  
Authorised  
personnel only**



**Caution  
ultraviolet radiation**



# DPI

## ALLEGATO 6 SPECIFICHE DEI DPI PER LA PROTEZIONE DA RADIAZIONI OTTICHE

### 1) Radiazioni non coerenti

Sono riportate di seguito i numeri di codice identificativi per tipo di protezione da radiazioni luminose:

- 2 filtro per ultravioletti, il riconoscimento dei colori può risultare alterato
- 2 C filtro per ultravioletti con buon riconoscimento dei colori
- 4 filtro per infrarossi
- 5 filtro solare senza requisiti per gli infrarossi
- 6 filtro solare con requisiti per infrarossi

D.L 81/2008  
Titolo VIII, Capo I,II, III, IV e V  
Indicazioni operative  
**Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome**

# DPI

**Tabella A6-A**

N° di scala	Percezione del colore	Applicazioni tipiche	Sorgenti tipiche (esempi)
2-1.2 2-1.4 2-1.7	Può essere alterata, salvo se il filtro è marcato <b>2C</b>	Da utilizzare con sorgenti che emettono prevalentemente radiazione UV a lunghezza d'onda minori di 313 nm e quando l'abbagliamento non è un fattore importante. Questo copre le bande UVC (da 100 nm a 280 nm) e la maggior parte delle bande UVB (da 280 nm a 315 nm).	Lampade a vapori di mercurio a bassa pressione, come le lampade utilizzate per stimolare la fluorescenza o "luci nere", le lampade attiniche e le lampade germicide.
2-2 2-2.5		Da utilizzare con sorgenti che emettono una forte radiazione contemporaneamente nel campo spettrale UV e nel campo visibile e perciò è richiesta l'attenuazione della radiazione visibile	Lampade a vapori di mercurio a media pressione, come le lampade fotochimiche
2-3 2-4			Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione e lampade a vapori di alogenuri metallici, come le lampade solari per solarium
2-5			Sistemi a lampade pulsanti. Lampade a vapori di mercurio ad alta ed altissima pressione come le lampade solari per solarium

D.L 81/2008

Titolo VIII, Capo I, II, III, IV e V

Indicazioni operative

**Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome**

**FINE**