

Radiazione ottica **artificiale: rischi e misure di protezione dei lavoratori anche alla luce del**

CAPO V del D. Lgs. 81/08

Rita Borio

Fonti:

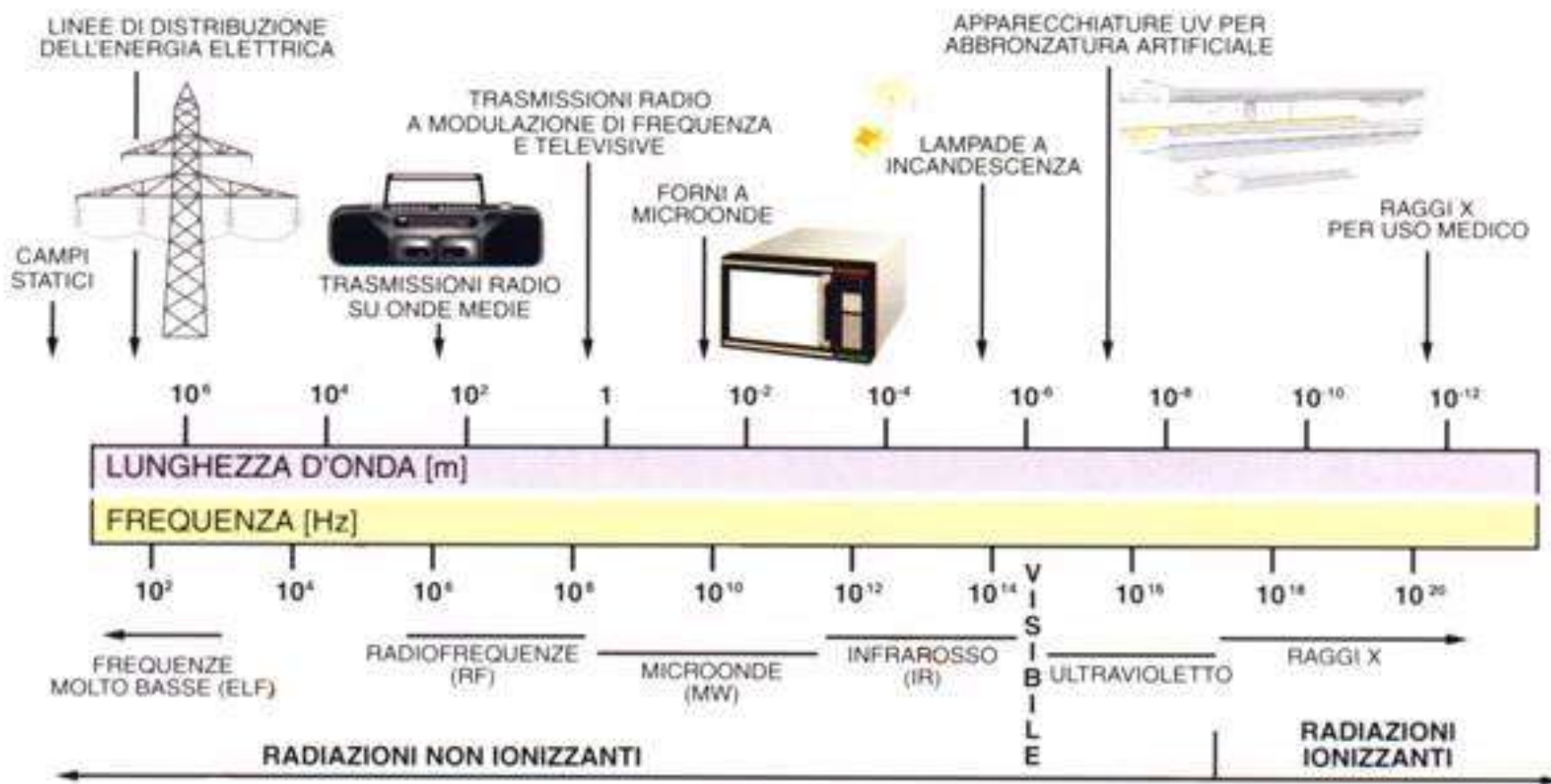
- CAPO V del D. Lgs. 81/08
- IEC (Commissione Elettrotecnica Internazionale) **per LASER**
- CIE (Commissione Internazionale per l'illuminazione) **per radiazione incoerente**
- CEN (Comitato Europeo di normazione) **per radiazione incoerente**

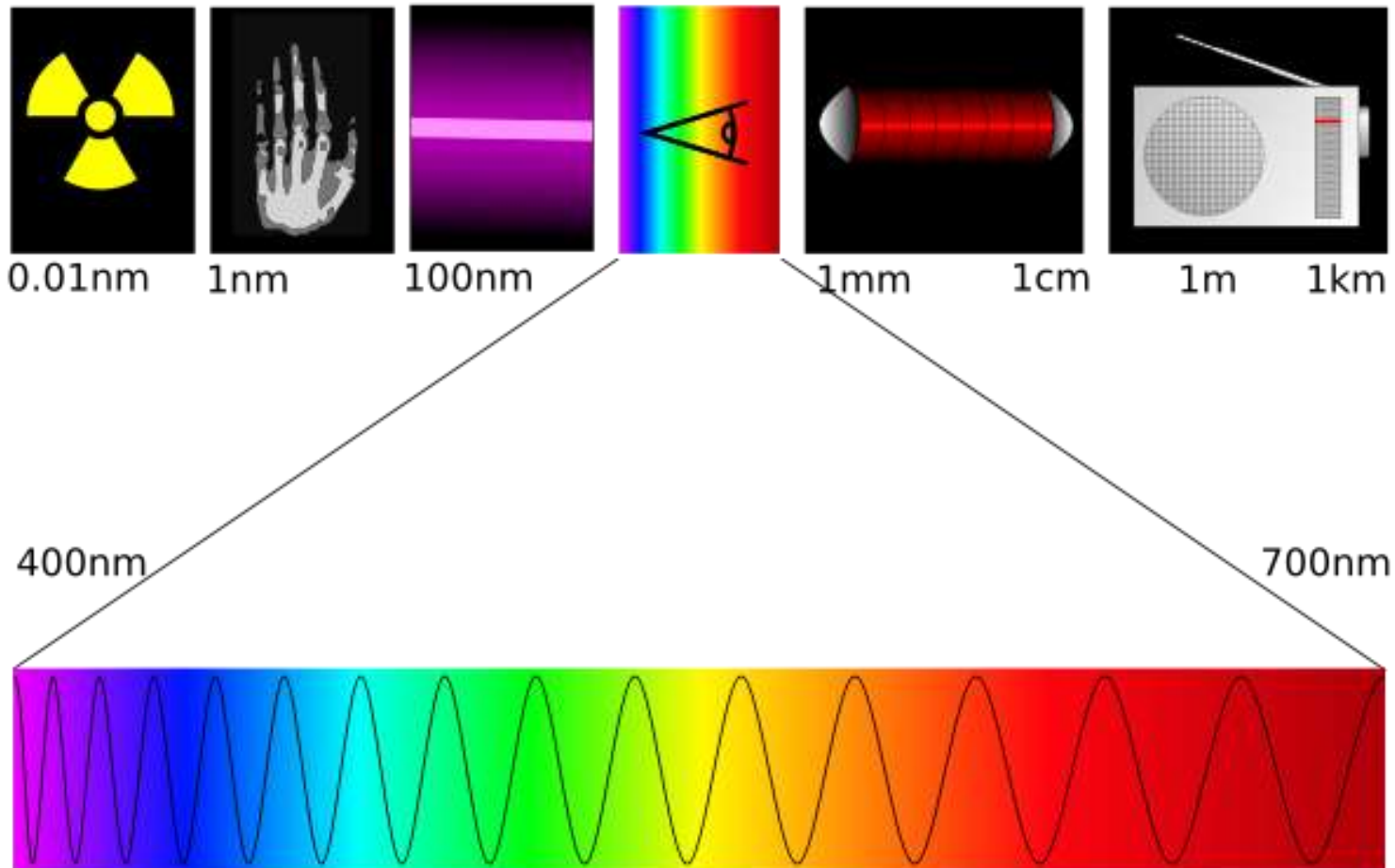


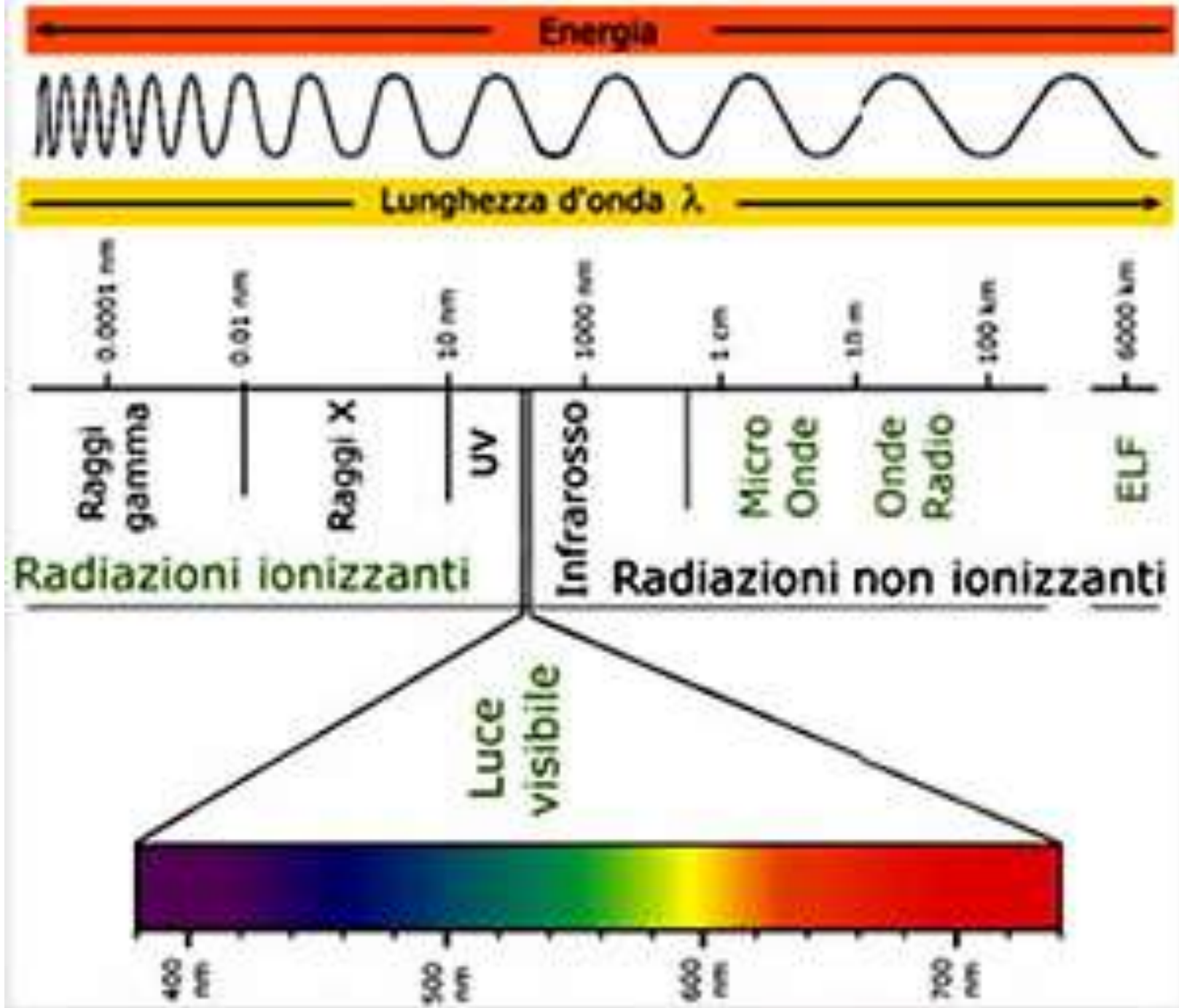
Fonti (segue) :

- **ICNIRP** (Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti)
- **IARC** (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro)
- **AICGH** (American Conference of Governmental Hygienists)
- **Corsi formazione INFN** (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)
- **Regolamento interno Università di Pavia**
- **Lawrence Berkeley National Laboratory** (Divisione Scienze dei materiali; gruppo sicurezza)
- **Laser safety in UK**

Spettro elettromagnetico







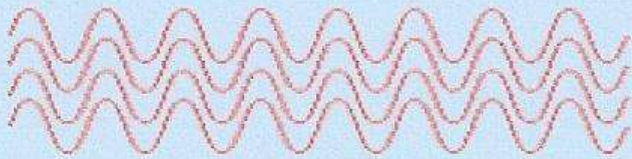
Radiazione ultravioletta

Rischi e misure di prevenzione e
protezione

Alcune sorgenti di radiazione UV (non coerente) utilizzate in strutture sanitarie (diagnosi, terapia, laboratorio, ricerca, servizi)

- **Dermatologia** (diagnosi – es. per allergie - e terapia non oncologica e oncologica, ricerca su cosmetici, farmaci fotoattivabili, fitofarmaci)
- **Neonatalogia** (per terapia dell'ittero neonatale) *Nota: ora esistono culle completamente schermate*
 - **Laboratori** (visori per cromatografia, transilluminatori, lampade germicide)
 - **Strutture** o stanze **per sterilizzazione apparecchi e strumenti** chirurgici, ..., cappe sterili per colture cellulari (lampade germicide)
- **Odontoiatria** per “indurimento” resine per ricostruzione denti *Nota: ormai obsolete e in disuso*
 - **Servizi tecnici** (saldatori ad arco, ..)

Coerenza temporale e monocromaticità

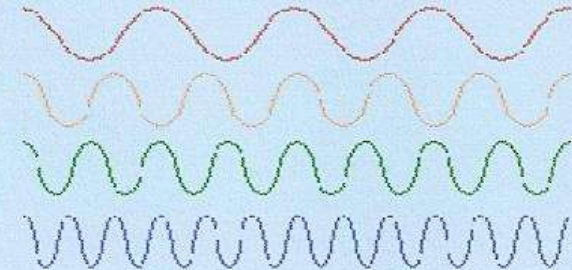


LASER

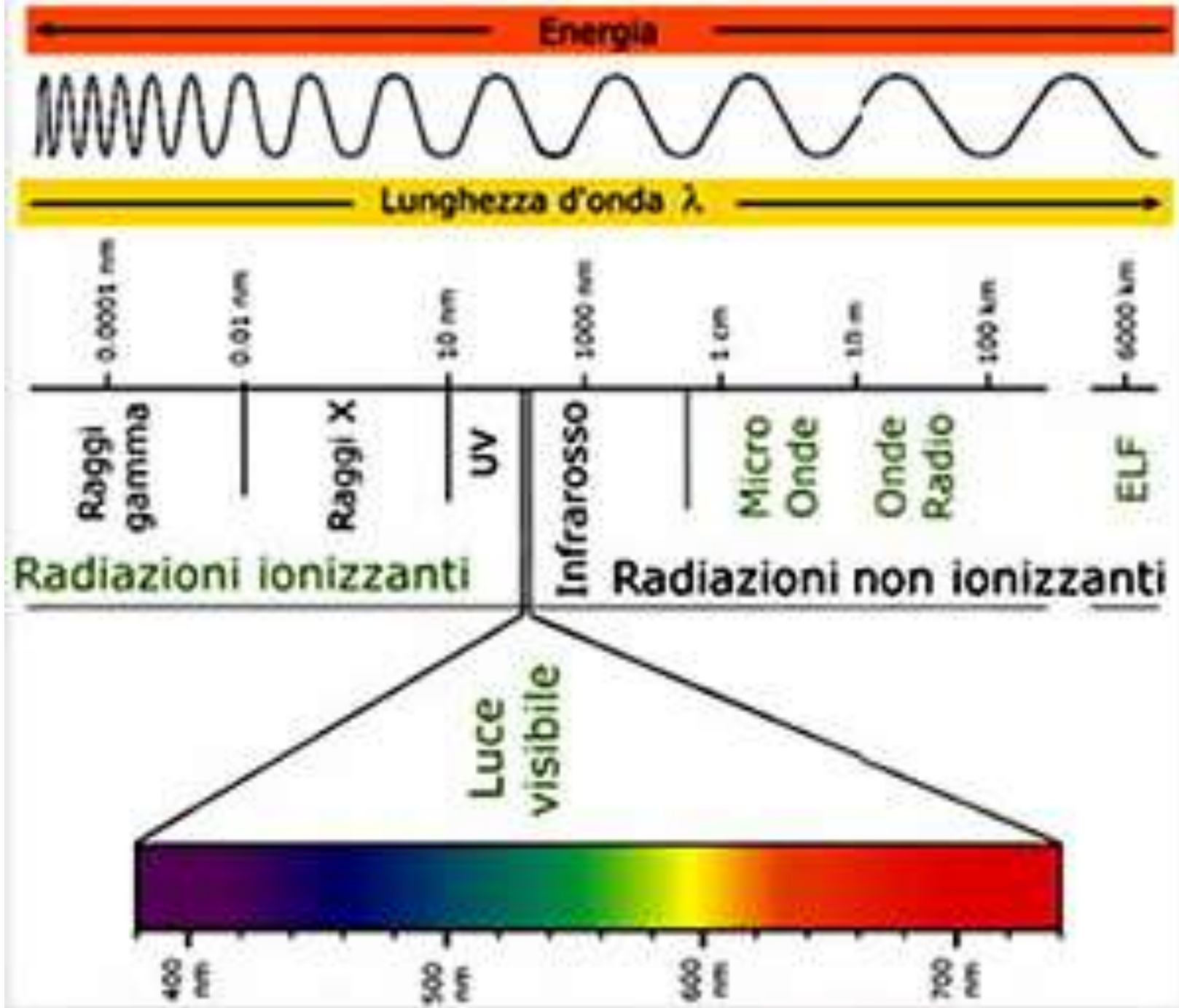
**LUCE MONOCROMATICA
E COERENTE**



**LAMPADA A
INCANDESCENZA**



**LUCE POLICROMATICA
E INCOERENTE**



GENERALITA' SULLA RADIAZIONE UV

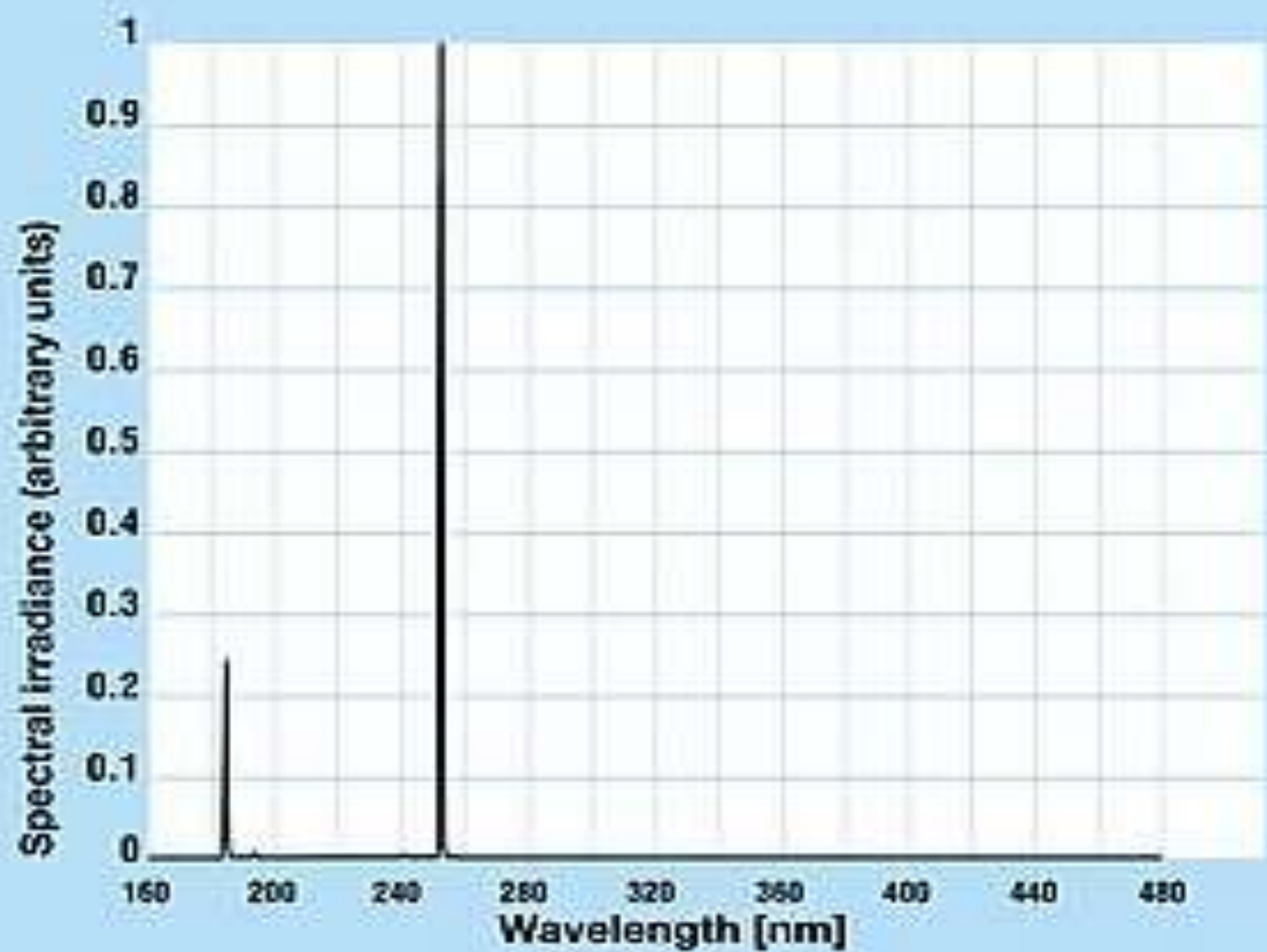
La **radiazione ultravioletta** costituisce quella porzione di spettro elettromagnetico compreso fra la banda visibile e la regione dei raggi X ($100 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$).

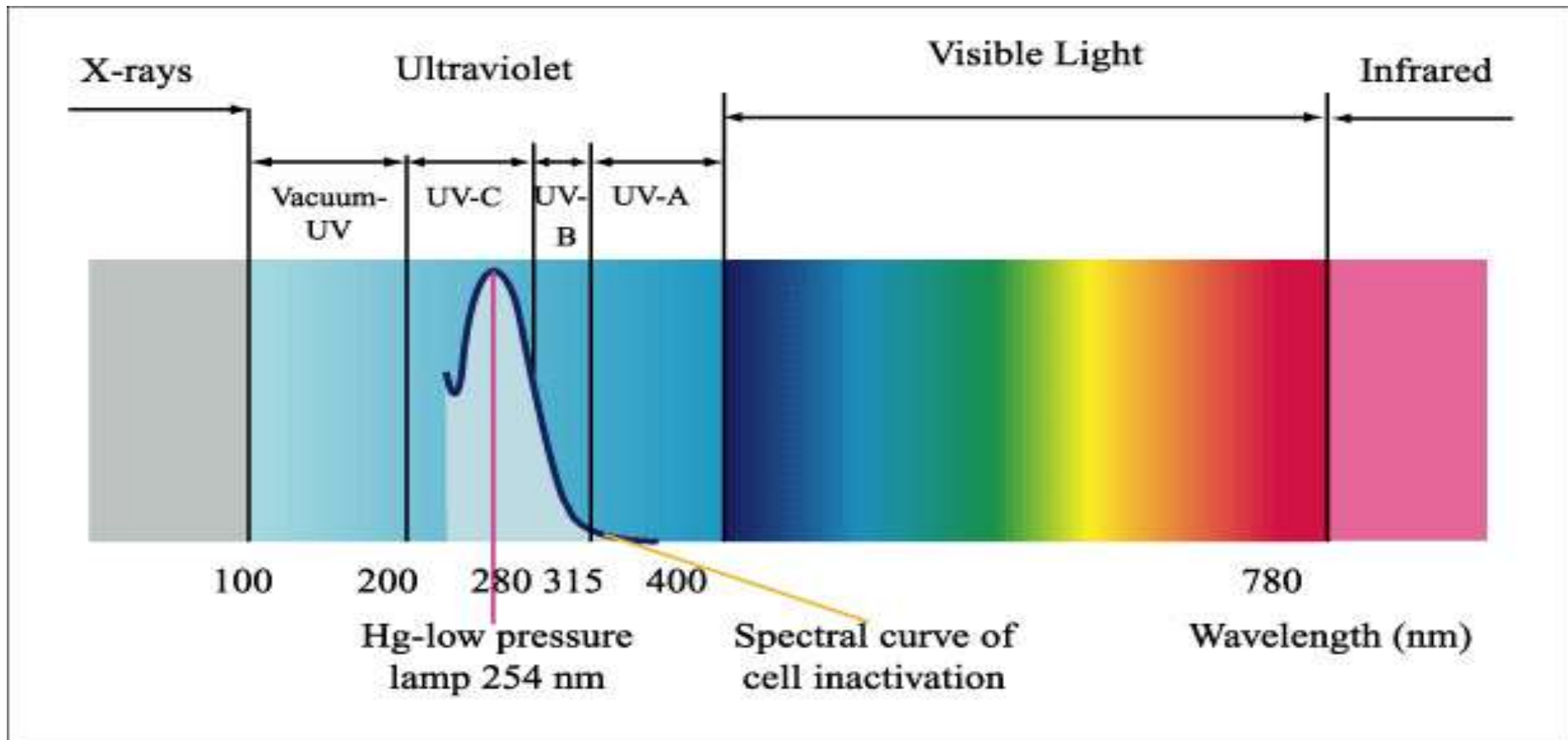
L'intervallo citato, secondo il criterio **dell'efficacia delle differenti frequenze nel determinare il danno biologico**, è stato ulteriormente suddiviso dal Comitato Tecnico Internazionale CIE (Commission Internationale dell'Eclairage) in tre fasce:

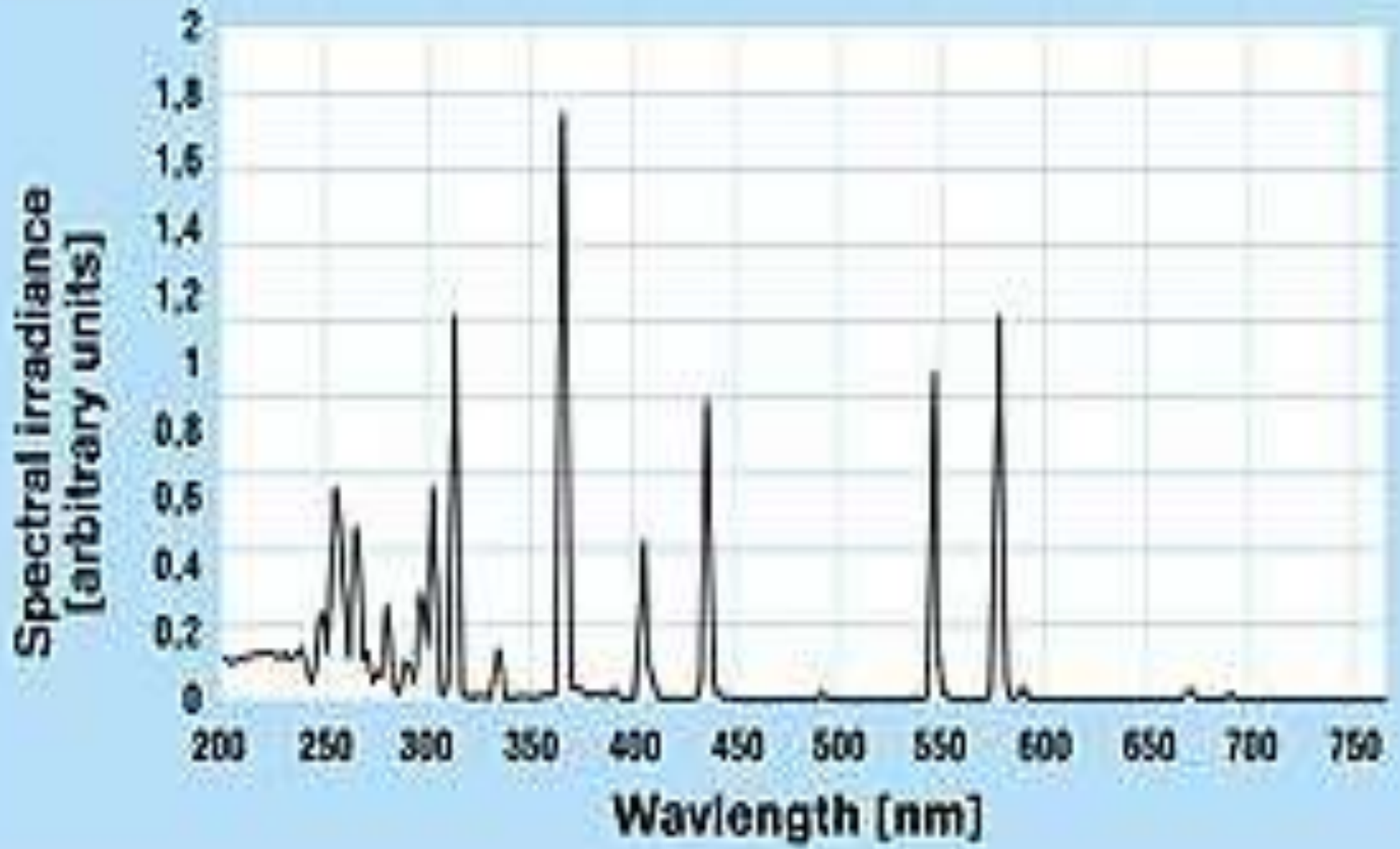
UVC : 100 nm 280 nm

UVB : 280 nm 315 nm

UVA : 315 nm 400 nm







Le radiazioni ultraviolette sono **radiazioni non ionizzanti** e trasportano energia attraverso un campo elettromagnetico; l'energia viene in parte assorbita e in parte riflessa dagli oggetti che l'onda incontra sul suo percorso.

L'energia assorbita dai tessuti biologici può produrre, superati taluni livelli di esposizione, effetti di natura chimica e di natura termica con **eventuali danni per le persone esposte**.

Le sorgenti di radiazione UV (luce non coerente) utilizzate nei laboratori e nelle strutture dell'Università e dell'Azienda Ospedaliera di Perugia si possono suddividere in due categorie con relazione alla presenza degli operatori nella zona irraggiata:

- **Sorgenti il cui uso non prevede la presenza degli operatori :** queste sono sostanzialmente costituite da lampade germicide
- **Sorgenti il cui uso prevede la presenza degli operatori :** ad esempio lampade per fototerapia neonatale e di adulti, lampade per fotopatch test, per uso dentistico –ora raro- (si tratta di lampade ad incandescenza, a scarica di un gas a bassa, media e alta pressione), i visori, i transilluminatori, i saldatori ad arco,...

RISCHI CONNESSI ALLE RADIAZIONI UV

Gli organi bersaglio per esposizione a radiazione UV sono gli occhi e la cute.

Relativamente agli **occhi**, i principali **effetti dannosi a breve termine** sono la fotocongiuntivite e la fotocheratite, mentre **quelli a lungo termine** sono il pterigo (ispessimento della congiuntiva), la formazione di cataratta, la formazione di cellule cancerose.

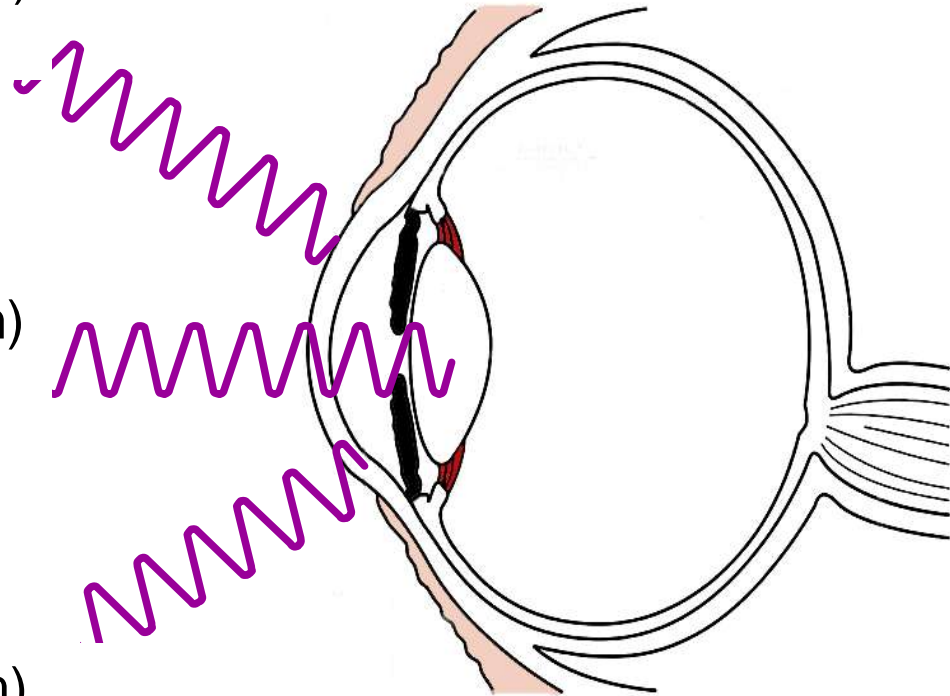
Relativamente alla **pelle**, il principale **effetto dannoso a breve termine** è l'eritema, mentre quello **a lungo termine** può essere l'induzione di tumori (melanomi e carcinomi cutanei non-melanocitici)

LUCE ULTRAVIOLETTA

UV-C (100-280nm)
Cornea surface

UV-A (315-400nm)
Affects the lens

UV-B (280-315nm)
Absorbed by the cornea



Alla luce delle attuali conoscenze sono ipotizzabili **controindicazioni** all'esposizione a radiazione UV per i seguenti soggetti (gruppi a rischio):

- persone dalla pelle molto poco pigmentata (ad esempio: popolazione celtica)
- persone affette da malattie del sistema immunitario o in cura con farmaci fotosensibilizzanti (es. antibiotici, soprattutto a largo spettro, pillola anticoncezionale,...) o utilizzando altri agenti fotosensibilizzanti per altri scopi (es. cosmetici)
- età inferiore a 16 anni

RISCHI COLLATERALI ASSOCIATI A PARTICOLARI SORGENTI UV

- **produzione di O₃ (ozono)** mediante assorbimento di radiazione UVC da parte dell'ossigeno presente in aria; nei locali in cui sono installate sorgenti di elevata intensità si devono, pertanto, prevedere sistemi di aspirazione e un adeguato numero di ricambi d'aria (le lampade al alta pressione, lampade al mercurio compatte e lampade allo xenon richiedono un sistema di estrazione per rimuovere l'ozono o un deozonizzatore)
- possibilità di **elettrocuzione** insita in un'apparecchiatura alimentata a tensioni pericolose
- **rischio chimico e biologico** associati alla manipolazione di campioni, di farmaci, di contatto diretto con pazienti
- **esposizione a fumi e vapori** connessi all'utilizzo di sostanze chimiche pericolose e non
- **interazione “liquido-materiali sotto tensione”**, a causa di possibili perdite di refrigerante (di solito acqua) per le lampade che hanno un circuito₁₉ di raffreddamento

LIMITI DI ESPOSIZIONE

I valori limite di esposizione ICNIRP e quelli limite di soglia (TLV) dell'ACGIH (American Conference Governmental Industrial Hygienists) sono gli stessi, per organi non protetti, espressi in energia per unità di superficie (J m^{-2}) per ciascuna lunghezza d'onda all'interno dello spettro della radiazione UV. I limiti di esposizione e di efficacia spettrale (fattore di peso S_λ) alle varie lunghezze d'onda sono riportati nella tabella che segue.

Lunghezza d'onda λ (nm)	Limiti di esposizione (Jm^{-2})	Fattore di peso S_λ	Lunghezza d'onda λ (nm)	Limiti di esposizione (Jm^{-2})	Fattore di peso S_λ
180	2500	0.012	290	47	0.640
190	1600	0.019	300	100	0.300
200	1000	0.030	310	2000	0.015
210	400	0.075	320	$2.9 \cdot 10^4$	0.0010
220	250	0.120	330	$7.3 \cdot 10^4$	0.00041
230	160	0.190	340	$1.1 \cdot 10^5$	0.00028
240	100	0.300	350	$1.5 \cdot 10^5$	0.00020
250	70	0.430	360	$2.3 \cdot 10^5$	0.00013
260	46	0.650	370	$3.2 \cdot 10^5$	0.000093
270	30	1000	380	$4.7 \cdot 10^5$	0.000064
280	34	0.880	390	$6.8 \cdot 10^5$	0.000044

Le linee Guida ICNIRP adottano i seguenti limiti per l'esposizione continua per 8 ore (intera giornata lavorativa):

- **organo bersaglio: occhi non protetti**

Devono essere soddisfatte contemporaneamente le seguenti relazioni:

$$E_{\text{eff}} \times T \leq 30 \text{ J m}^{-2} \quad \text{per } 180 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$$

$$E_{\text{tot}} \times T \leq 10000 \text{ J m}^{-2} \quad \text{per } 315 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$$

- **organo bersaglio: pelle non protetta**

Deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$E_{\text{eff}} \times T \leq 30 \text{ J m}^{-2} \quad \text{per } 180 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$$

Dove: E_{eff} = irradianza efficace = $\sum_{\lambda} (E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times \Delta_{\lambda})$ [W m^{-2}]

E_{λ} = irradianza spettrale [$\text{W nm}^{-1} \text{m}^{-2}$]

S_{λ} = efficacia spettrale o fattore di peso

Δ_{λ} = intervallo all'interno del quale viene rilevata E_{λ} (nm)

T = tempo di esposizione (s)

E_{tot} = irradianza totale non pesata = $\sum_{\lambda} (E_{\lambda} \times \Delta_{\lambda})$ [W m^{-2}]

Quando gli **organi bersaglio** sono **simultaneamente** **gli occhi e la pelle** tutte e tre le relazioni soprascritte devono valere **contemporaneamente** nell'arco della giornata lavorativa (8 ore).

Il **tempo massimo permesso** sarà il minimo tra quelli calcolati nelle disuguaglianze di cui sopra.

MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

Il **livello di rischio** connesso all'esposizione alla radiazione UV non coerente e le conseguenti **misure di tutela** dipendono da:

- **tipo di sorgente** (potenza, caratteristiche delle sue schermature intrinseche)
- **livelli di intensità di campo** nelle zone di stazionamento degli operatori
 - **tempo di esposizione giornaliero**
- presenza di **superfici riflettenti**
 - **modalità di lavoro** corrette o no (informazione specifica!)
- disponibilità e corretto uso dei dispositivi di protezione individuale (**D.P.I.**) (**informazione specifica!**)

Misure di protezione attive (agiscono direttamente sul campo e.m. in modo da ridurlo entro i limiti di sicurezza)

- Introduzione di **schermature** della sorgente e/o dell'area operativa.

La schermatura delle sorgenti può essere realizzata agendo direttamente sulla sorgente/apparecchiatura o agendo nella regione che comprende l'area operativa; si raccomanda di evitare soluzioni di continuità delle superfici schermanti.

- **eliminazione di superfici riflettenti.**
- **utilizzo dei D.P.I.**

D.P.I.*

Ricordiamo che gli organi bersaglio della radiazione UV sono gli occhi e la pelle

Pelle : il modo più efficace per proteggerla è quello di coprirla mediante **camici, manicotti, guanti e maschere per il viso** a seconda delle modalità operative e delle zone corporee potenzialmente (o necessariamente) esposte alla radiazione UV

Occhi : il modo più efficace per proteggerli è quello di indossare **occhiali** o, meglio ancora **maschere** (queste ultime proteggono anche la pelle del viso) sia per la protezione dalla radiazione UV che per gli eventuali **rischi collaterali** relativi al tipo di attività condotta (schizzi di sangue o di liquidi tipo farmaci o altro, spruzzi, polveri,...)

Nella **scelta** dei tessuti per la **protezione** della **pelle** si deve tener conto della trama e del materiale.

Nella **scelta** degli **occhiali** e degli **schermi facciali** si deve tener conto dei seguenti fattori:

- distribuzione spettrale della sorgente UV
- grado di abbagliamento (se non evitabile)
- intensità di esposizione nella/e postazioni di lavoro
- proprietà di trasmissione del materiale
- “stabilità” del materiale
- design della montatura (presenza di protezione laterale); i normali occhiali da vista non proteggono dalla radiazione UV.

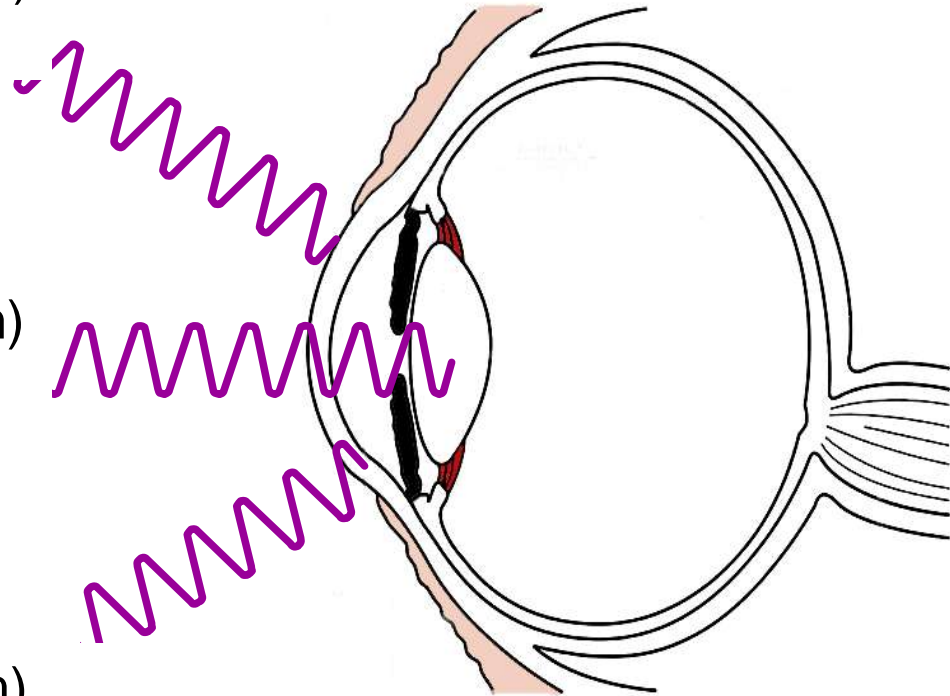
Per alcune **lampade** ad alta pressione (es. quelle i cui vapori di mercurio sono a pressione compresa tra 50 e 200 atm), **soggette a potenziale rischio di esplosione**, gli occhi e il viso devono comunque essere protetti da maschere resistenti ai possibili frammenti dell'involucro della maschera.

LUCE ULTRAVIOLETTA

UV-C (100-280nm)
Cornea surface

UV-A (315-400nm)
Affects the lens

UV-B (280-315nm)
Absorbed by the cornea



Numeri di graduazione dei filtri per occhi

N° grad.	Percezione colori	Applicazioni tipiche	Sorgenti tipiche
2-1.2	Può essere alterata	Sorgenti che emettono per lo più UV, abbagliamento non importante	Lampade a vapori di Hg a bassa pressione
2-1.4	Può essere alterata	Sorgenti che emettono per lo più UV e richiesta assorbimento luce visibile	Lampade a vapori di Hg a bassa pressione
3-1.2 3-1.4 3-1.7	Nessuna modificazione sensibile	Sorgenti che emettono per lo più UV, $\lambda < 313$ nm; abbagliamento non importante	Lampade a vapori di Hg a bassa pressione (es. germicide)
3-2.0 3-2.5	Nessuna modificazione sensibile	Sorgenti che emettono nell'UV e nel visibile, richiesta attenuazione visibile	Lampade a vapori di Hg a media pressione (fotochim)
3-3 3-4	Nessuna modificazione sensibile	Sorgenti che emettono nell'UV e nel visibile, richiesta attenuazione visibile	Lampade a vapori Hg ad alta pressione e a vapori alogenuri metallici
3-5	Nessuna modificazione sensibile	Sorgenti che emettono nell'UV e nel visibile, richiesta attenuazione visibile	Lampade a vapori Hg ad alta e altissima pressione e allo Xe (es. pulsanti)

Proprietà di trasmissione della radiazione UVB di alcuni tessuti e relativo fattore di protezione UPF

Tessuto	Struttura	Colore	Spessore (mm)	% UV trasmessa	UPF
Poliestere	Maglia	Beige	0.4	5	19
Poliestere	Maglia	Nero	0.5	4.4	23
Poliestere	Maglia	Verde	0.4	6	16
Nylon	Intrecc.	Bianco	0.1	1.7	55
Nylon-Viscosa	Intrecc.	Nero	0.2	0.2	500
Nylon-acetato	Maglia	Rosa	0.3	24	4
Poliestere	Intrecc.	Rosso	0.3	7	14
Cotone	Maglia	Blu	0.5	<0.1	>1000
Cotone	Maglia	Marrone	0.3	<0.1	>1000
Lana	Intrecc.	Rosso	0.7	0.7	150

Misure di protezione passiva

La protezione passiva si attua mediante:

- **regolamentazione e limitazione dell'accesso** alle zone interessate da campi intensi
- **riduzione dei tempi di esposizione** al minimo indispensabile per le operazioni da condurre
- **allontanamento delle postazioni di lavoro** (ove possibile) e dei **comandi** delle apparecchiature dalle zone di campo più intenso

Formazione e Informazione

La formazione e l'informazione sui rischi specifici e sulle misure di prevenzione e protezione ai lavoratori potenzialmente esposti alla radiazione UV non coerente deve, come per gli altri settori lavorativi, essere **effettuata, accertata e attestata**. Tale formazione **deve comprendere**, in particolare, i seguenti punti:

- **tipologia e caratteristiche** delle sorgenti UV presenti nel luogo di lavoro e loro **corretto utilizzo** anche dal punto di vista della prevenzione e protezione
- **organi bersaglio** della radiazione UV, **controindicazioni personali** che possono comportare un livello di rischio non accettabile ed **effetti sanitari** associati all'esposizione agli UV
- eventuale **sorveglianza sanitaria** e suo significato

- **parametri** e **grandezze** associate al controllo del rischio da esposizione a radiazione UV, **limiti di esposizione** e loro **significato**
 - **corretto utilizzo** e **cura** dei dispositivi di protezione individuale e collettiva (in quest'ultimo caso i D.P.I. devono essere di volta in volta sterilizzati)
 - **verifiche periodiche** di sicurezza e di manutenzione delle apparecchiature sorgenti di UV
 - **segnaletica di sicurezza**
 - **normativa** vigente generale e specifica e **organizzazione interna** della sicurezza
 - **procedure** di intervento in caso di **emergenza**

Norme di sicurezza di carattere generale e misure di controllo di tipo fisico

- Indicazione con **segnaletica** ben visibile delle **aree** in cui si utilizzano sorgenti UV
- **Segnalazione di divieto di accesso** alle persone non autorizzate
- **Segnalazione di divieto di accesso** con sorgenti accese alle categorie di persone per cui esista controindicazione
- **Segnalazione di obbligo d'uso dei D.P.I.**
- **Segnalazione per visitatori e per gli addetti alle pulizie** di possibilità di accesso alle zone in cui si svolgono attività che possono comportare esposizione a radiazione UV solo quando le sorgenti sono spente o completamente schermate
- **Smaltimento** sorgenti UV a norma legge

A chi competono detti compiti?

DISCUSSIONE

- Provvedere a che siano effettuate le **verifiche** e i **controlli periodici** di **funzionalità** dei **sistemi** di **sicurezza** delle apparecchiature in uso (pulsanti di sicurezza, interblocchi, continuità di terra,)
- Provvedere a che siano effettuati **controlli periodici** degli interventi di **manutenzione** delle apparecchiature (come indicato dal costruttore) con riferimento a:
 - **involucro della lampada** : occorre provvedere alla sua **pulizia** (dopo aver tolto tensione e aver raffreddato la lampada) mediante tessuti puliti e soluzioni idonee al fine di evitare la deposizione di materiale che a causa del calore prodotto potrebbe bruciare
 - mantenere pulito il **riflettore**
 - controllare i **sistemi** di **raffreddamento** (es. lampade ad alta pressione)
 - controllare **parti elettriche**

Norme di sicurezza e controllo di tipo gestionale

- il personale potenzialmente esposto ha l'**obbligo** di indossare i **D.P.I.** nei casi in cui non sia possibile utilizzare adeguate schermature
- il personale **non** deve **manomettere** i dispositivi di sicurezza e deve **segnalare**, non appena rilevati, ogni loro **malfunzionamento** al Responsabile delle attività (e ai **R.L.S.** **DISCUSSIONE!!**) astenendosi, nel contempo, dall'uso della/e apparecchiature
- **limitare** il **tempo** di **esposizione** del corpo, o di parti di esso, al minimo indispensabile, compatibilmente con l'attività da svolgere e spegnere a sorgente quando non serve
- **utilizzare** sempre i **contenitori a tenuta di luce** e gli **schermi** di cui dispone la sorgente avendo cura di evitare possibili fessure che potrebbero dar luogo a esposizione anche presso postazioni limitrofe

- mantenersi alla **massima distanza possibile dalla sorgente** (ovviamente, quando non è necessaria la presenza dell'operatore accanto ad essa, in ogni caso limitare stazionamento allo stretto indispensabile e per tempi compatibili con i limiti di esposizione), l'irradianza diminuisce all'aumentare della distanza
- **comunicare tempestivamente** al Responsabile delle attività **eventuali sopraggiunte controindicazioni** all'esposizione alla radiazione UV (es. inizio particolari terapie farmacologiche)
- qualora il lavoratore **riscontri o sospetti anomalie nel funzionamento delle apparecchiature** o, ancora, si accorga di **imminente pericolo**, deve astenersi dal proseguire l'attività in corso, spegnere la lampada (occuparsi di **tutelare il paziente se presente**) e avvertire immediatamente il Responsabile delle attività per il seguito di competenza
- osservare le procedure operative **predisposte** per l'utilizzo in sicurezza di ciascuna specifica macchina

Esempi di norme operative specifiche per alcune tipologie di sorgenti

Lampade germicide

- non soggiornare negli spazi (laboratori, stanze,..) interessati dalla luce UV; assicurarsi che **eventuali pareti trasparenti** della stanza siano schermanti per gli UV
- **segnalare**, all'esterno dello spazio irraggiato, mediante indicatori luminosi a comando manuale o automatico, che la lampada è accesa
- **spegnere** la lampada prima di accedere all'area irraggiata
- se tali lampade sono utilizzate nelle **cabine** e nelle **cappe a flusso laminare** non lavorare con la lampada accesa (le migliori cabine hanno dispositivi di interdizione delle lampade UV durante il lavoro; le **pareti** delle **cabine** devono essere **schermanti** per l'UV³⁸

Lampade utilizzate per indurre reazioni fotochimiche su campioni o su pazienti

- predisporre quanto necessario per l'attività **posizionando** il **campione** (esperimenti o lavoro “in vitro”) sul quale indurre **reazioni fotochimiche** o il **fotofarmaco** su paziente **prima** di accendere la lampada UV
- accertarsi che siano posizionate correttamente le **schermature** predisposte prima di accendere la sorgente e allontanarsi dalla stessa
- prima di agire nuovamente e direttamente sul campione/paziente irraggiato si deve **spegnere o oscurare la sorgente**
- nei **casi straordinari** in cui l'attività imponga l'accesso di parti del corpo in zona irraggiata, l'operatore deve indossare gli **adeguati D.P.I.**

Esempio di “caso speciale” in ambito ospedaliero (Dermatologico)

Per fototest diagnostici, macchina con emissione separata nelle bande UVA e UVB, nessuna cabina e comando di accensione su macchina ;

carico di lavoro : 60÷70 pazienti per anno e tempo di trattamento per ciascun paziente, sia nella banda UVA che in quella UVB di circa 1 min e 45 s;

Necessario l'intervento manuale dell'operatore per chiudere le 6 finestre per paziente e per banda di emissione (durata esposizione mani, parte dell'avambraccio e parte del viso per 48÷60 s per ogni paziente).

Visori per cromatografia

- posizionare il campione da leggere
- accertarsi che siano efficaci le **schermature** predisposte **oppure** indossare gli adeguati **D.P.I.**
- accendere la sorgente UV al fine di **eseguire la lettura il più rapidamente possibile**
- **prima** di accendere a lampada, l'operatore deve **accertarsi** che nello spazio di irraggiamento **non** sia presente **personale** o che sia presente **personale che indossa i D.P.I. adeguati alla banda UV interessata**

Transilluminatori

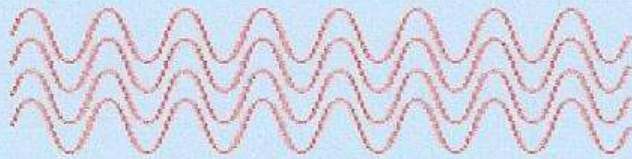
- Posizionare il gel sul transilluminatore spento
- **se** l'operatore deve **visionare rapidamente**, **prima** interpone gli schermi davanti alla sorgente, quindi, esegue la lettura
- **se** l'operatore deve **manipolare il gel a lampada accesa** (es. per selezionare una singola banda) **prima indossa i D.P.I.** (in particolare è d'obbligo l'uso della maschera, dei guanti e del camice di cotone a magli fitta e a manica lunga) **poi opera** sul gel il più rapidamente possibile
- **prima** di accendere a lampada, l'operatore deve **accertarsi** che nello spazio di irraggiamento **non** sia presente **personale o** che sia presente **personale che indossa i D.P.I. adeguati alla banda UV interessata**

LASER

(Light Amplification by Stimulated
Emission of Radiation)

principi di funzionamento e
applicazioni

Coerenza temporale e monocromaticità

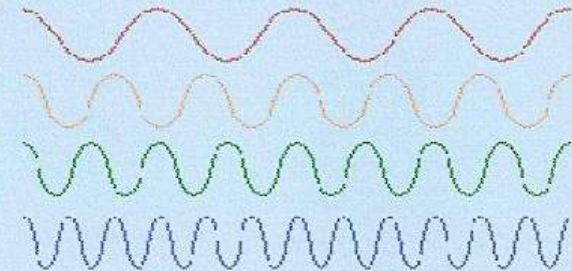


LASER

**LUCE MONOCROMATICA
E COERENTE**



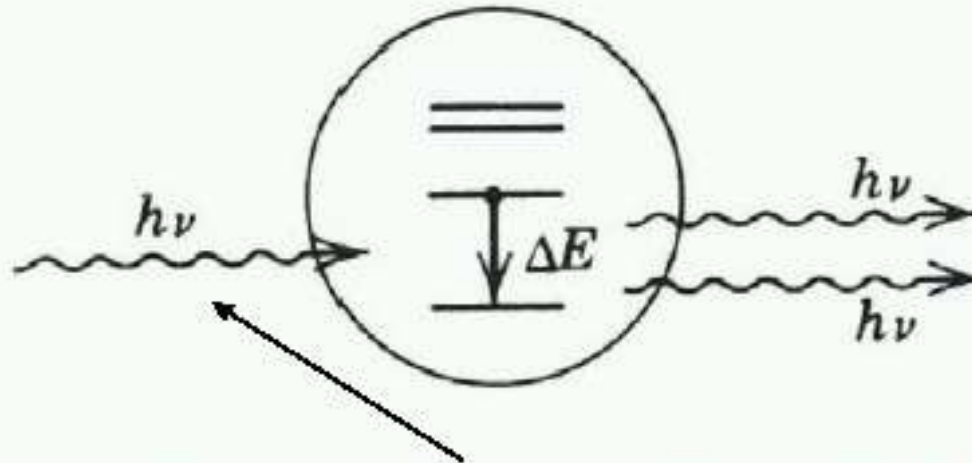
**LAMPADA A
INCANDESCENZA**



**LUCE POLICROMATICA
E INCOERENTE**

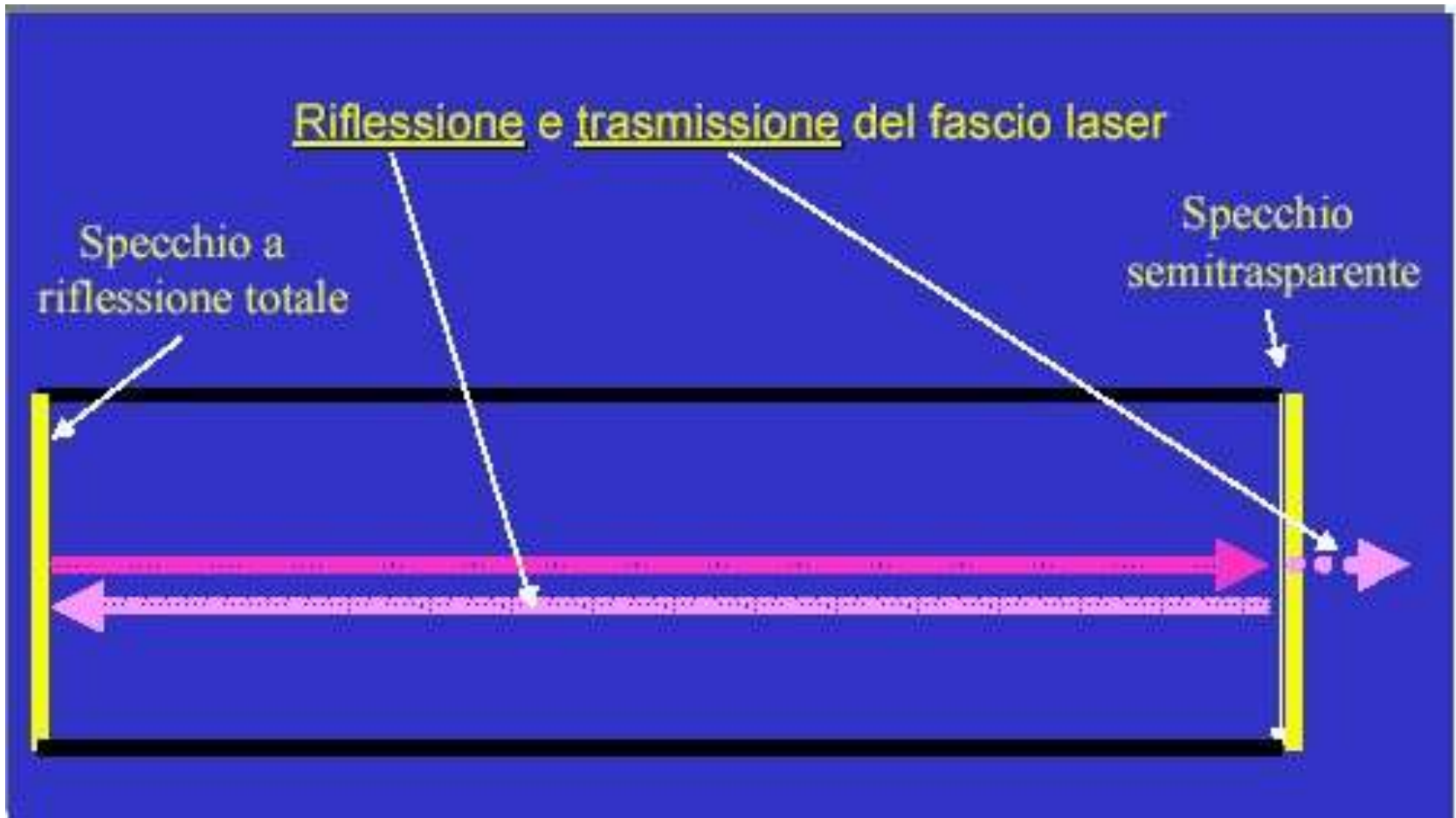
Emissione stimolata

Emissione stimolata



Il processo è *stimolato* dal fotone incidente. La direzione e la frequenza del fotone emesso sono *identiche* a quelle del fotone incidente.

Cavità LASER



Emissione stimolata

Fotoni incidenti passando "vicino" agli atomi eccitati producono il decadimento degli elettroni

dall'orbita instabile a maggiore energia, a quella stabile a energia inferiore

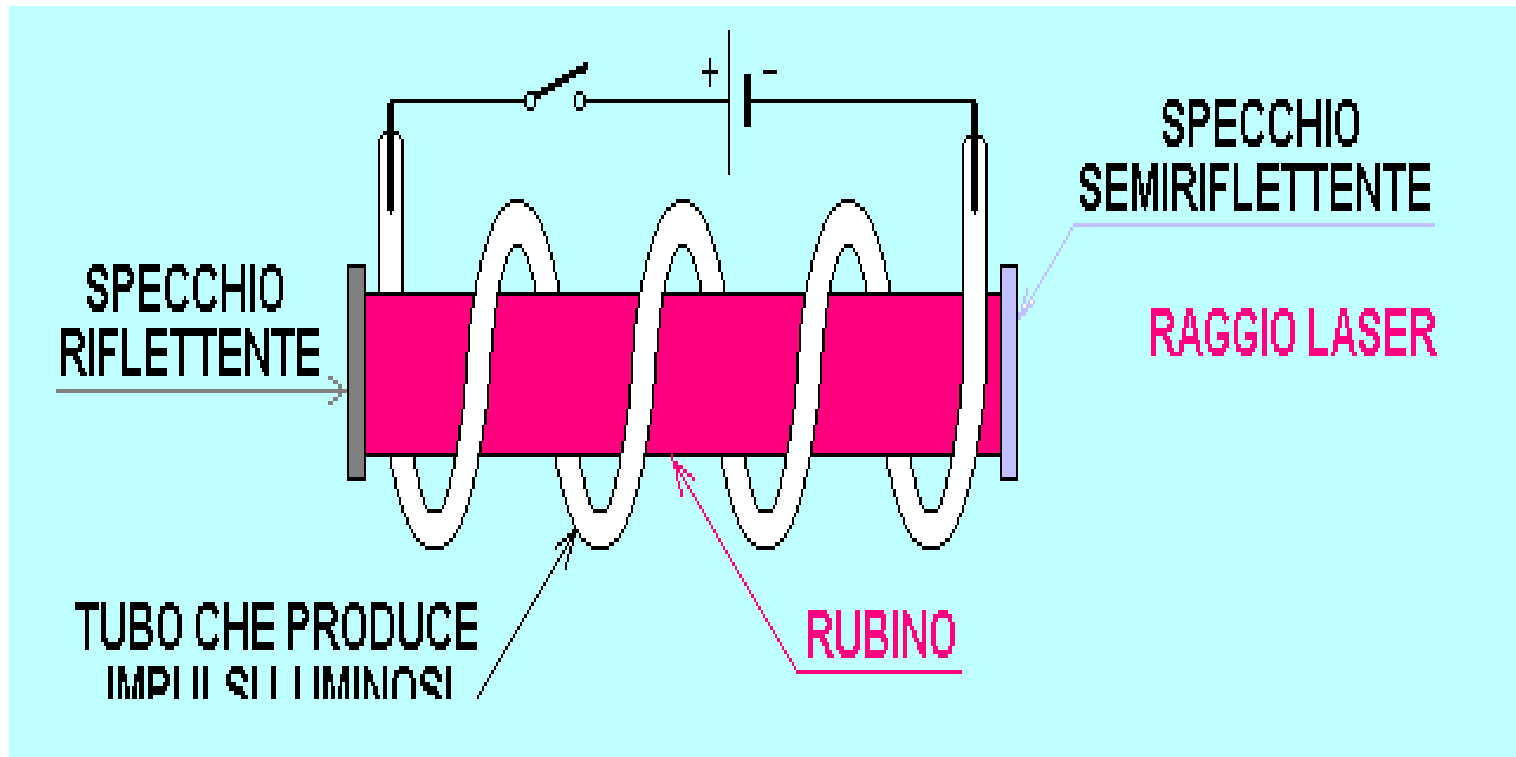
con conseguente emissione di altri fotoni tutti rigorosamente della stessa frequenza e della stessa fase,

che vengono anche loro "costretti" a oscillare fra i due specchi.

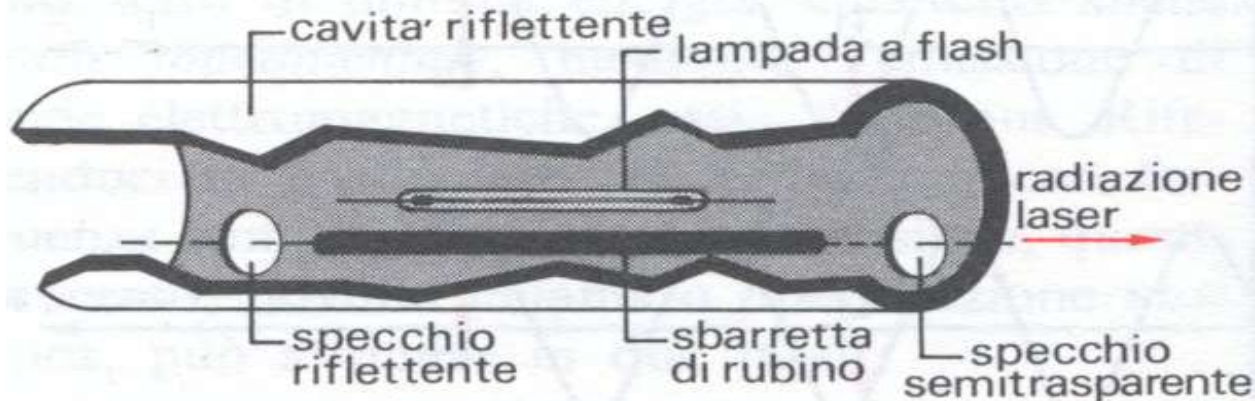
Questi costituiscono una cavità risonante ottica essendo la distanza fra i due specchi

un multiplo intero di mezza lunghezza d'onda della radiazione **LASER**.

Laser a Rubino



LASER A RUBINO



- Vediamo ora di descrivere brevemente un dispositivo laser, per esempio un laser a rubino, che rappresenta il primo laser a stato solido. L'apparato schematizzato in figura è essenzialmente formato da una cavità speculare nel cui interno sono inserite una lampada flash e una sbarretta di rubino. La sorgente, detta lampada di pompaggio, serve per innescare mediante un lampo di luce molto intenso l'eccitazione iniziale. Il cristallo di rubino, opportunamente dimensionato, rappresenta il materiale otticamente attivo, ossia il mezzo da eccitare; esso è delimitato da due specchi paralleli, uno perfettamente riflettente, l'altro semitrasparente per consentire la parziale emissione della radiazione coerente che si forma nella cavità.

Lunghezze d'onda caratteristiche dei diversi tipi di LASER

Tipo laser	Lunghezza d'onda (nm)		
• Argon fluoride (UV)	193	}	V I S I B I L E
• Krypton Fluoride (UV)	248		
• Nitrogen (UV)	337		
• Argon (blue)	488		
• Argon (green)	514		
• Helium neon (green)	543		
• Helium neon (red)	633		
• Rhodamine 6G dye (tunable)	570-650		
• Ruby (CrAlO ₃) (red)	694	}	I R
• Nd: YAG (NIR)	1064		
• Carbon Dioxide	10600		

LASER IN REGIME CONTINUO

<i>tipo</i>	<i>materiale</i>	<i>lunghezza d'onda (μm)</i>	<i>potenza (W)</i>	<i>divergenza (mrad)</i>
He-Ne	gas neutro	0,6328	0,005 - 0,05	0,8
Argon	gas ionizzato	0,4880 0,5145 altre	2 - 15	0,8
CO ₂	gas molecolare	10,6	30 - 60	2
Nd-Yag	stato solido	1,06	10 - 100	5
GaAs	semiconduttore	0,85 - 0,905	0,02 - 1	25
Rod 6G	colorante	accordabile	0,2 - 1	1

LASER IN REGIME IMPULSATO

<i>tipo</i>	<i>mater attivo</i>	<i>regime</i>	<i>lungh. d'onda</i> <i>(μm)</i>	<i>durata impulso</i> <i>(ms)</i>	<i>freq. ripetiz</i> <i>(Hz)</i>	<i>potenza</i> <i>(W)</i>	<i>diverg.</i> <i>(mrad)</i>
CO2	gas mol	impulsi	10,6	0,5	200	100	4
N	gas mol	impulsi	0,3371	10 μ	100	1	10
Rubino	st solido	impulsi	0,6943	0,5	1-30	-	5
Rubino	st solido	Q-switch	0,6943	15 μ	1-30	-	5
NdYag	st solido	impulsi	1,06	1	100	100	5
NdYag	st solido	Q-switch	0,6943	15 μ	50k	10	5
Ndvetro	st solido	impulsi	1,06	1	1-30	-	5
Ndvetro	st solido	Q-switch	1,06	20 μ	1-30	-	5
Ga As	semicon	impulsi	0,85/0,905	100 μ	5k	6m	25
Rod 6G	color	impulsi	tunable	2 μ	100	10m	2

PRINCIPALI TIPI DI LASER

I diversi tipi di laser si distinguono per consuetudine in base allo stato di aggregazione del materiale attivo. Si hanno così:

- laser **a stato solido, a cristalli e vetri o a semiconduttori**
- laser **a liquidi**
- laser **a gas** (ulteriormente suddivisi in laser ad atomi neutri, laser a ioni, laser molecolari, laser ad eccimeri e laser ad elettroni liberi)

Laser light

- **Laser light has the following properties:**
 - it is **monochromatic**
 - it is **very intense**
 - it has **low divergence**
 - it is **coherent**.
- **Lasers can have different types of beam output**
 - **continuous wave** (CW), or
 - **pulsed**.
- Laser “speckle” is caused by **scattered laser radiation interfering with incident laser radiation**.

PRINCIPALI APPLICAZIONI DEI LASER

Lavorazioni di materiali

- Foratura, taglio, saldatura, trattamenti termici, etc.

Misure industriali, civili ed ambientali

- *Settore industriale*: interferometri laser per metrologia, misuratori di diametri di fili, granulometri, rugosimetri sistemi di rilievo di campi di deformazione.
- *Settore civile*: sistemi laser di allineamento livelle laser, telemetri topografici e geodimetri.
- *Settore ambientale*: Lidar e rilevatori di inquinamento.
- *Settore della presentazione*: laser per la visualizzazione di ologrammi, pointer laser per conferenze, sistemi laser per la didattica.
- *Settore giochi di luce*: laser per effetti speciali in discoteche, mostre spettacoli all'aperto e simili.
- *Settore beni durevoli*: lettori al laser di codici a barre, lettori di compact disk, stampanti laser e simili.

PRINCIPALI APPLICAZIONI DEI LASER

Telecomunicazioni e fibre ottiche

- Sorgenti laser a semiconduttore per applicazioni, tramite fibra ottica, nella trasmissione ed elaborazione ottica di dati.

Applicazioni mediche

- Applicazioni dei laser in *Oftalmologia*
- Applicazioni cliniche dei laser in *Chirurgia Generale*
- Applicazioni cliniche dei laser in *Chirurgia con microscopio operatorio*
- Applicazioni cliniche dei laser in *Chirurgia Endoscopica*

Applicazioni nei laboratori di ricerca

- Ottica non lineare
- Spettroscopia lineare e non lineare
- Interazione radiazione materia

EFFETTI BIOLOGICI DELLA RADIAZIONE LASER

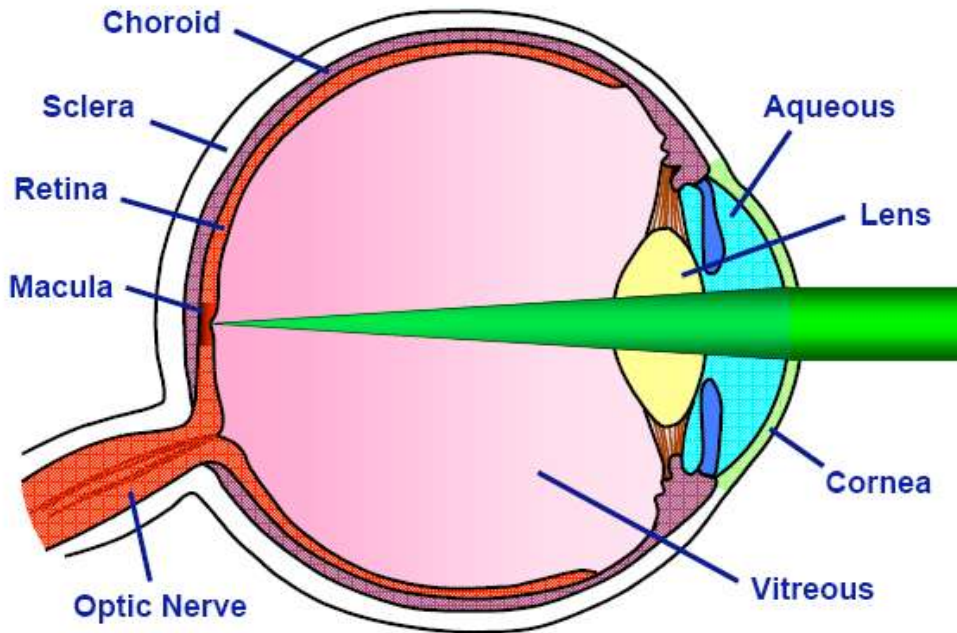
- **L'occhio**, per la sua configurazione anatomofunzionale e per il suo comportamento ottico, è l'organo più vulnerabile nei confronti della luce laser e rappresenta pertanto **l'organo "critico" per eccellenza**. A seconda della radiazione ottica (ultravioletto 100-400nm, visibile 400-760 nm, infrarosso 760-1mm) e dell'intensità di dose si possono avere diversi tipi di danno a carico di questo organo quali: **danni retinici di natura fotochimica, alterazioni retiniche caratterizzate da piccoli addensamenti di pigmento, discromie, effetti catarattogeni di origine fotochimica e termica, fotocheratocongiuntivite, ustioni corneali.**
- **Di minore importanza** è **l'eventuale danno a carico della cute** e i più comuni sono: **eritemi, ustioni cutanee, superficiali e profonde, la cui gravità sarà in rapporto, oltre che all'energia calorica incidente, al grado di pigmentazione, all'efficienza dei fenomeni locali di termoregolazione, alla capacità di penetrazione nei vari strati delle radiazioni incidenti.** Laser di potenza notevolmente elevata possono danneggiare seriamente anche gli organi interni.

- laser beam can be focused by cornea and the lens to a very tight spot on the retina

Human Eye



400-1400 nm
Retinal damage

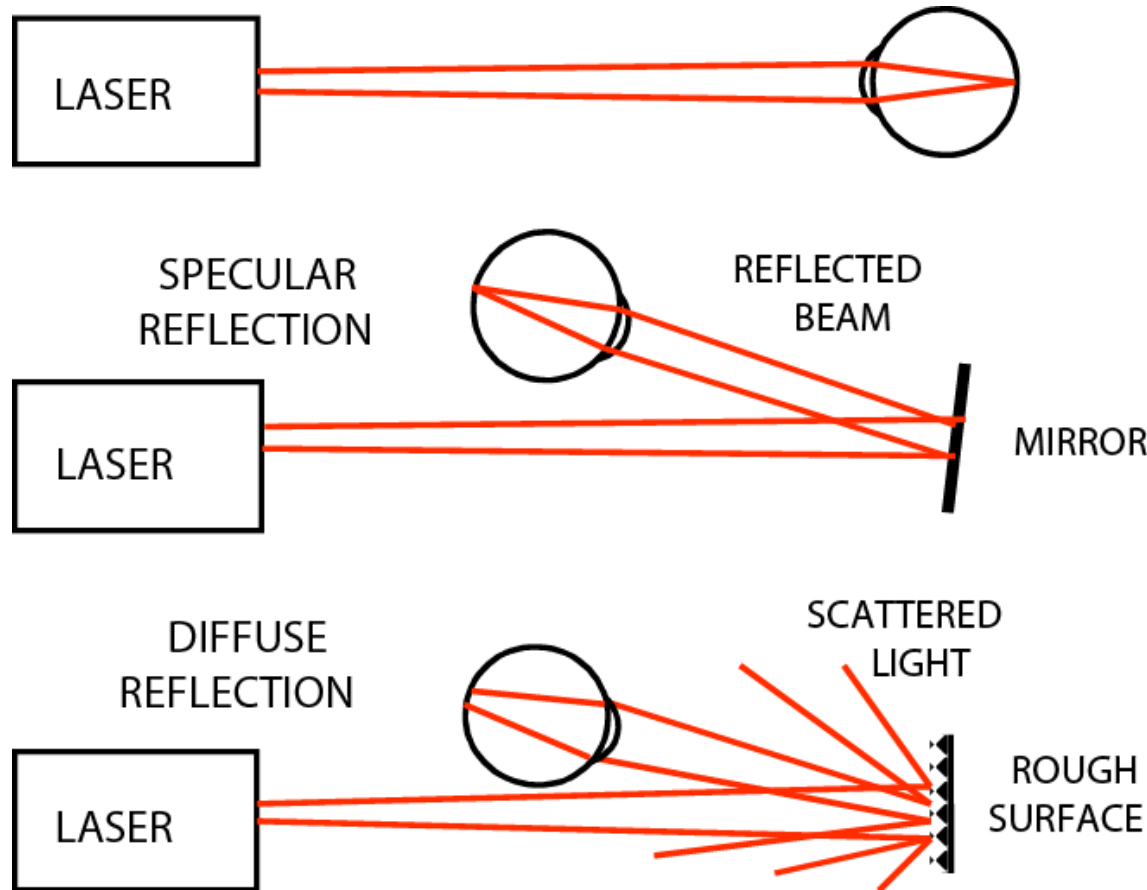


<400, >1400 nm

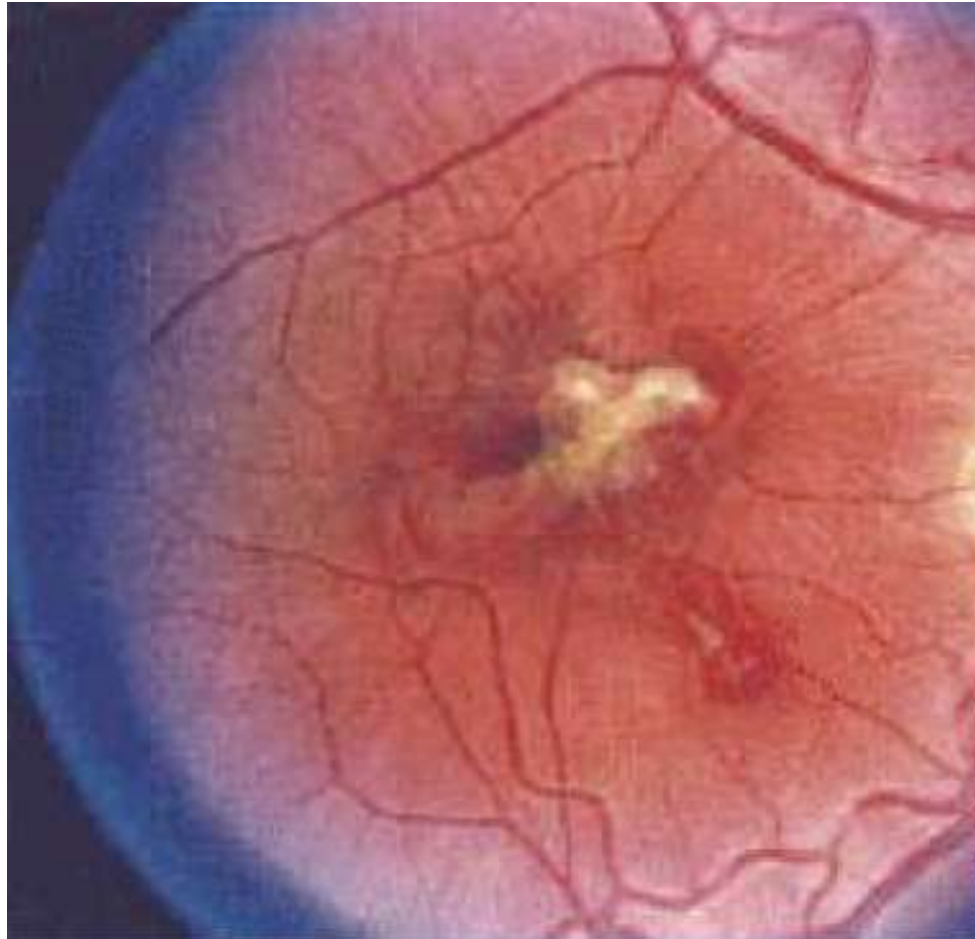
<400, >1400 nm

Burns, cataracts

Types of laser eye exposure



Eye Injury



Skin Burns

- CO2 laser reflected from a metal surface



CLASSIFICAZIONE DELLE SORGENTI LASER SECONDO LA NORMA CEI 76-2

- La grande varietà di lunghezze d'onda, energie e caratteristiche d'impulso dei laser e sistemi che includono laser, e delle applicazioni e dei modi di impiego di tali sistemi, rendono indispensabile, ai fini della sicurezza, il loro raggruppamento in categorie, o classi, di pericolosità. E' risultato **molto utile pertanto l'introduzione di un nuovo parametro chiamato Limite di Emissione Accettabile (LEA), che descrive i livelli di radiazione emergente da un sistema laser, la cui valutazione permette la collocazione dell'apparecchio nell'opportuna categoria di rischio.** La determinazione del LEA deve essere effettuata nelle condizioni più sfavorevoli ai fini della sicurezza.
- Si sono individuate 5 classi: 1, 2, 3A, 3B e 4, con indice di pericolosità crescente con il numero di classe.

CLASSIFICAZIONE DELLE SORGENTI

LASER SECONDO LA NORMA CEI 76-2*

- Nella **Classe 1** vengono raggruppati i laser cosiddetti **intrinsecamente sicuri**, poiché il livello di esposizione massima permesso non viene mai superato, o quei sistemi laser non pericolosi grazie alla loro progettazione ed ingegnerizzazione: **involucri fissi e sicurezze intrinseche come ad esempio sistemi che bloccano definitivamente l'emissione in caso di guasto o di apertura involontaria o volontaria dell'apparato**. I LEA per la classe 1 sono le condizioni di esposizione massima permessa più rigide e limitative per ciascuna lunghezza d'onda e durata di esposizione.
- Di **classe 2** sono quelle sorgenti o sistemi che **emettono radiazione nell'intervallo 400 e 700 nm (cioè nel visibile) a bassa potenza**.
- La **classe 3A** comprende i laser con potenze di uscita non inferiori a **5 mW**.
- Per la **classe 3B** i livelli, sia per radiazione visibile che per quella non visibile, non devono superare i **500 mW**.
- I laser di **classe 4** sono i più potenti e pericolosi. La classe 4 comprende tutti quei sistemi che superano i livelli imposti alla classe 3B.

CLASSI DI RISCHIO DELLA RADIAZIONE LASER*

- Le classi di rischio possono essere anche riassunte nel seguente modo:
- **Classe 1** : sono **intrinsecamente sicuri** perché di bassa potenza.
- **Classe 2**: non sono intrinsecamente sicuri, ma la protezione dell'occhio è normalmente facilitata dal riflesso di ammiccamento. **Bisogna evitare di guardare nel fascio.**
- **Classe 3A**: la protezione dell'occhio è facilitata dal riflesso di ammiccamento. **Bisogna evitare di guardare nel fascio, né osservare direttamente con strumenti ottici.**
- **Classe 3B**: **la visione diretta nel fascio è sempre pericolosa**, mentre non è a rischio la visione di radiazioni non focalizzate, mediante riflessione diffusa.
- **Classe 4** : il loro uso richiede un'estrema prudenza. Sono **pericolosi anche per riflessione diffusa**. Essi possono causare danni a carico della cute e presentano anche un **rischio di incendio. E' necessario evitare l'esposizione dell'occhio e della pelle alla radiazione diretta o diffusa.**

RISCHI COLLATERALI NEL FUNZIONAMENTO DEI LASER

- • *contaminazione ambientale*
- *a)* materiale bersaglio vaporizzato e prodotti provenienti da operazioni di taglio, perforatura e saldatura
- *b)* gas provenienti da sistemi laser flussati a gas o da sottoprodotti di reazioni laser (bromo, cloro, acido cianidrico, etc.)
- *c)* gas o vapori da criogenici (azoto, idrogeno ed elio allo stato liquido)
- *d)* coloranti (p. es. cianina) e relativi solventi (dimetilsolfossido)
- *e)* policlorodifenili (condensatori e trasformatori)

RISCHI COLLATERALI NEL FUNZIONAMENTO DEI LASER

- • *radiazioni ottiche collaterali (non da luce laser)*
- *a)* radiazioni UV provenienti da lampade flash e da tubi di scarica dei laser in continua (ottiche al quarzo)
- *b)* radiazioni nel visibile e nell'IR emesse da tubi del flash, da sorgenti di pompaggio ottico e da reirradiazione emessa dai bersagli
- • *elettricità*
- *a)* maggior parte dei laser ad alta tensione (>1 kV)
- *b)* banchi di condensatori per laser pulsati
- • *radiazioni ionizzanti*
- *a)* emissione di raggi X da tubi elettronici con tensioni maggiori di 5 kV

RISCHI COLLATERALI NEL FUNZIONAMENTO DEI LASER

- *refrigeranti criogenici*

- a) ustioni da freddo
- b) esplosione (gas a pressione)
- c) incendio
- d) asfissia (condensazione dell'ossigeno atmosferico)
- e) intossicazione (CO₂, f)

- *esplosioni*

- *a)* banco dei condensatori o sistema di pompaggio ottico (laser di alta potenza)
- *b)* reazioni esplosive di reagenti nei laser chimici o di altri gas usati nel laboratorio

- *incendio*

- *a)* fasci laser di energia elevata
- *b)* apparati elettrici

- *rumore*

- *a)* condensatori di laser pulsati di potenza molto elevata
- *b)* interazioni con il bersaglio

MISURE DI SICUREZZA, RISCHI, PROCEDURE E CONTROLLO DEI RISCHI

- Nei laboratori dove si usano **laser di classe superiore alla Classe 3 A**, l'utilizzatore deve servirsi della consulenza specialistica di un **Tecnico Laser con competenze specifiche relative ai problemi di sicurezza (TSL)** per la verifica del rispetto della Normativa corrispondente (**CEI 1384 G – CT-76 del CEI Guida E**) e per l'adozione delle necessarie misure di prevenzione

Misure di sicurezza

- Protezione sulla sorgente
 - • **Segnali di avvertimento**
 - • **Schermi protettivi**
 - • **Cartelli** di avvertimento
 - • **Connettore di blocco a distanza** collocato a <5m dalla zona in cui si svolge l'attività
 - • **Chiave di comando**, per un utilizzo dell'apparecchio solo delle persone autorizzate
 -
- Protezione dal fascio laser
 - • **Arresto di fascio automatico in caso di radiazione eccedente i livelli prestabiliti**
 - • **Tragitto dei fasci su materiali con proprietà termiche e di riflessività adeguate e schermature**
 - • **Evitare assolutamente le riflessioni speculari**

Misure di sicurezza

- Protezione degli occhi

- • Un protettore oculare previsto per assicurare una **protezione adeguata contro le radiazioni laser specifiche** deve essere utilizzato in tutte le zone pericolose dove sono in funzione **laser della classe 3 e 4**.

- Vestiti protettivi

- • Da prevedere nel caso il personale sia sottoposto a livelli di radiazione che superano le EMP (esposizione massima permessa) per la pelle (**i laser di classe 4 rappresentano un potenziale di pericolo di incendio e i vestiti di protezione devono essere fabbricati con materiali appositi**).

- Formazione

- • I laser di classe 3 e 4 possono rappresentare un pericolo non solo per l'utilizzatore, ma anche per altre persone, anche a considerevole distanza. Il personale, quindi, che opera in questi ambienti deve avere adeguata preparazione al fine di rendere minimo il rischio professionale.

- Sorveglianza medica

- • **Esami oculistici di preimpiego dovrebbero essere eseguiti limitatamente ai lavoratori che utilizzano laser di Classe 3 e 4.**

PROCEDURE E MEZZI DI CONTROLLO DEI RISCHI

- Nella valutazione dei rischi e nell'applicazione delle misure di controllo vanno presi in considerazione tre aspetti:
 - La **possibilità** per il laser o il sistema laser **di nuocere alle persone**
 - L'**ambiente** nel quale il laser viene utilizzato
 - Il **livello di formazione del personale** che fa funzionare il laser o che può essere esposto alla sua radiazione

PROTEZIONE PERSONALE

Classe 1

- a) **Utilizzo senza prescrizioni**

Classe 2

- a) **Evitare una visione continua del fascio diretto**
- b) **Non dirigere il fascio laser deliberatamente sulle persone**

Classe 3 A

- a) **Evitare l'uso di strumenti ottici quali binocoli o teodoliti**
- b) **Affiggere un segnale di avvertimento laser**
- c) **Allineamento laser tramite mezzi meccanici o elettronici**
- d) **Terminare il fascio laser in una zona esterna al luogo di lavoro o delimitare tale zona**
- e) **Fissare la quota del raggio laser molto al di sopra o al di sotto dell'altezza dell'occhio**
- f) **Evitare che il fascio laser sia diretto verso superfici riflettenti**
- g) **Immagazzinare il laser portatile non in uso in un luogo inaccessibile alle persone non autorizzate**

PROTEZIONE PERSONALE

Classe 3 B

Può causare danni a un occhio non protetto.

Valgono le **precauzione della classe 3 A e inoltre**

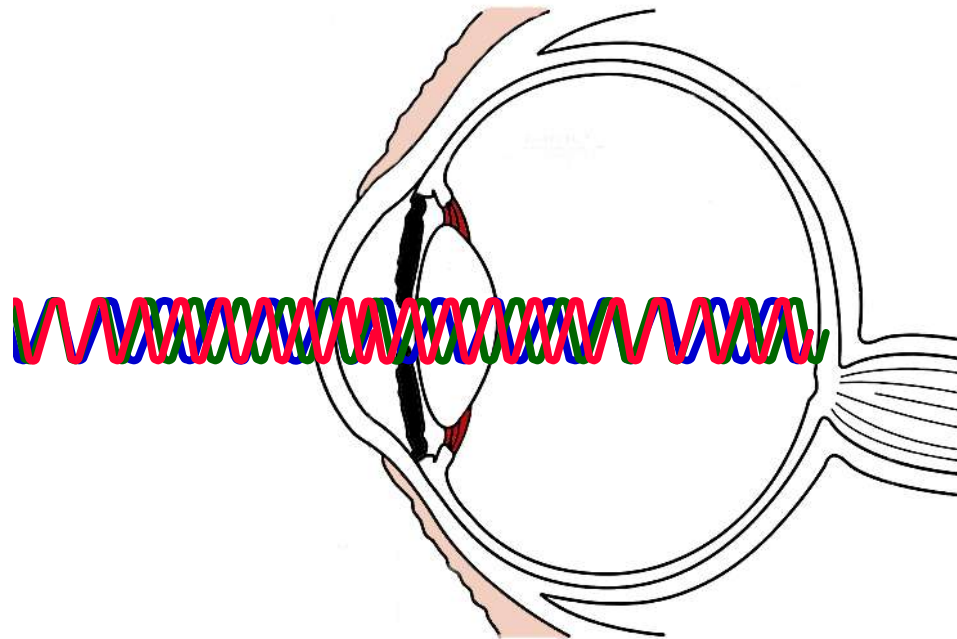
- a) **Funzionamento solo in zone controllate dagli operatori**
- b) **Evitare assolutamente riflessioni speculari**
- c) Far **terminare il fascio su un materiale atto a disperdere calore e riflessione**
- d) Indossare le **protezioni oculari**

PROTEZIONE PERSONALE

- *Classe 4*
- Causa **danni all'occhio sia tramite il fascio diretto, riflessioni speculari e diffuse**. Rappresentano anche un **potenziale pericolo di incendio**. Valgono le **precauzione della classe 3 B e inoltre**
 - a) **Tragitti dei fasci protetti** da un riparo
 - b) Durante il funzionamento **presenza solo di personale tecnico munito di protettori oculari e idonei vestiti protettivi**
 - c) Per evitare la presenza di personale sarebbe **preferibile** se fossero **comandati a distanza**
 - d) Preferibili **bersagli metallici non piani e adeguatamente raffreddati come coni e assorbitori**
 - e) Per evitare riflessioni indesiderate nella parte invisibile dello spettro per la radiazione laser situata nell'infrarosso lontano, il **fascio e la zona di impatto dovrebbero essere avvolte da un materiale opaco per la lunghezza d'onda del laser**

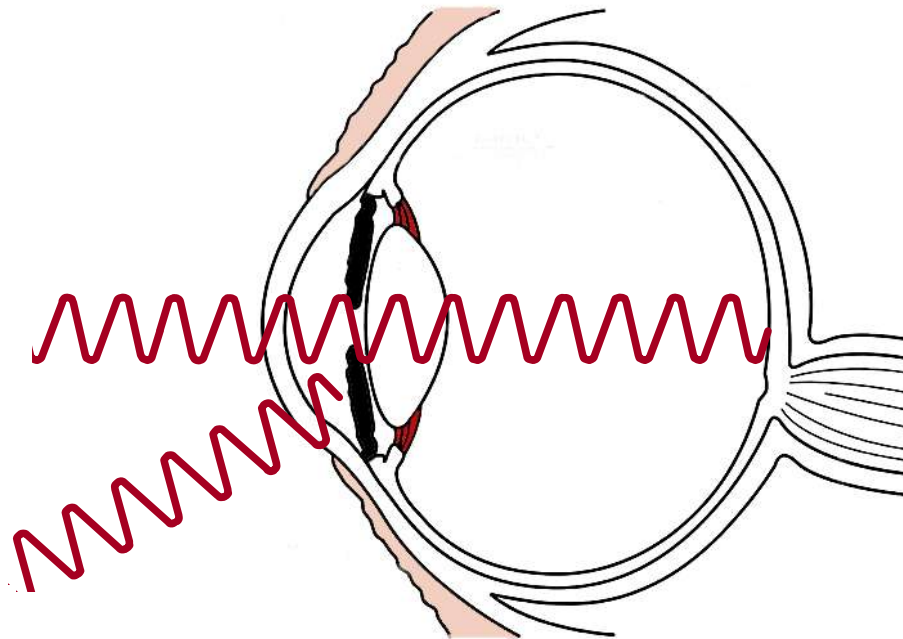
Regione del rischio alla retina

400-1400nm
Affects the retina



Regione dell'infrarosso

Near IR (< 1400nm)
Affects the retina



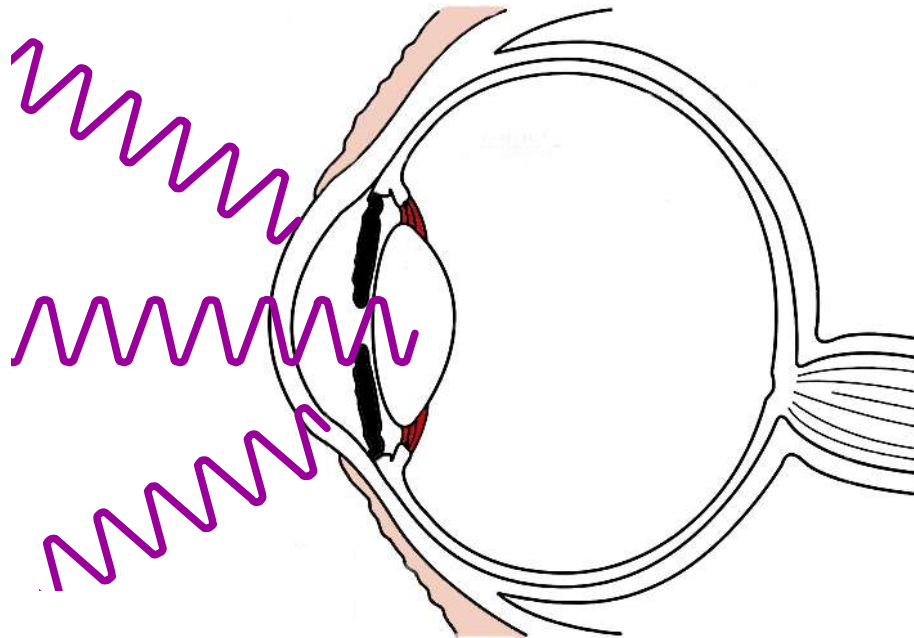
Far IR
Affects cornea and aqueous humor

Luce Ultravioletta





UV-C (100-280nm)
Cornea surface

UV-A (315-400nm)
Affects the lens

UV-B (280-315nm)
Absorbed by the cornea



Segnaletica

Class 1		CLASS 1 LASER PRODUCT
Class 2		LASER RADIATION DO NOT STARE INTO BEAM CLASS 2 LASER PRODUCT
Class 2M		LASER RADIATION DO NOT STARE INTO BEAM OR VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS CLASS 2M LASER PRODUCT
Class 3B		LASER RADIATION AVOID EXPOSURE TO BEAM CLASS 3B LASER PRODUCT
Class 4		LASER RADIATION AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO DIRECT OR SCATTERED RADIATION CLASS 4 LASER PRODUCT

Labels on setups

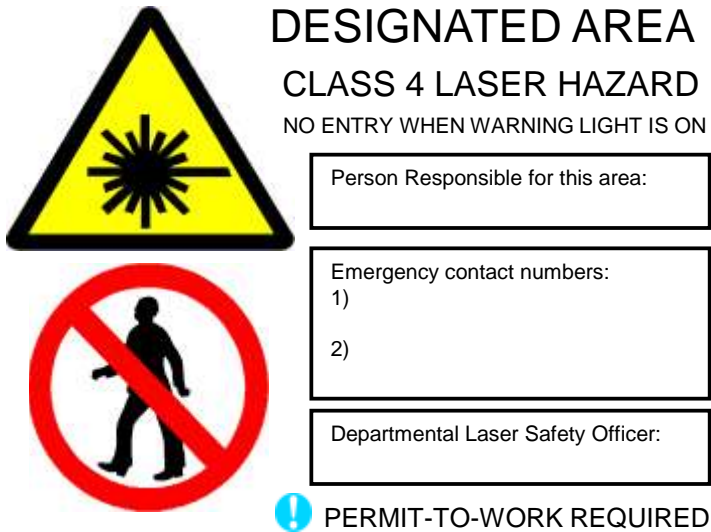


Class II
Class IIIa with expanded beam



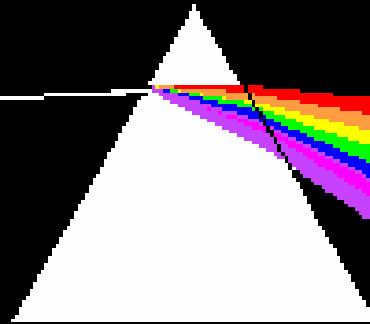
Class IIIa with small beam
Class IIIb
Class IV

Designated Areas

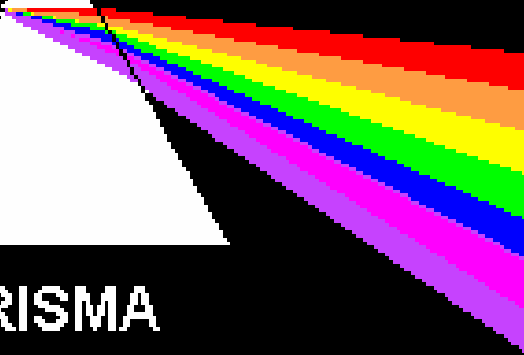


- Areas where Class 3B and Class 4 lasers are used must be registered with the College Safety Unit.
- A sign must be affixed near to the entrance of each Designated Area and contain the details of the person responsible for the area, emergency contacts and the name of the Departmental Laser Safety Officer.

LUCE BIANCA

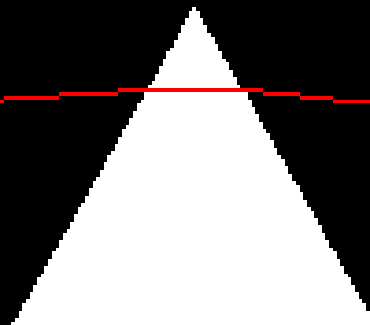


PRISMA
DI VETRO



COLORI
DELL'IRIDE

LUCE LASER



PRISMA
DI VETRO

COLORE
ROSSO