

ROA

Radiazioni Ottiche Artificiali



Cosa sono le radiazioni ottiche naturali?

Le radiazioni ottiche naturali sono sostanzialmente le radiazioni ultraviolette solari. Le radiazioni ottiche hanno origine sia naturale che artificiale. La sorgente naturale per eccellenza è il sole che emette in tutto lo spettro elettromagnetico raggi che vanno dall'ultravioletto (**UV**) all'infrarosso (**IR**), passando per il visibile (**VIS**). Quelli più pericolosi sono i raggi UV che si suddividono a loro volta in:

I **raggi ultravioletti (UV)** sono radiazioni elettromagnetiche con lunghezze d'onda più corte della luce visibile ma più lunghe dei raggi X. Sono suddivisi in tre categorie principali: **UVA**, **UVB** e **UVC**, in base alla loro lunghezza d'onda e agli effetti biologici.

1. UVA (315-400 nm)

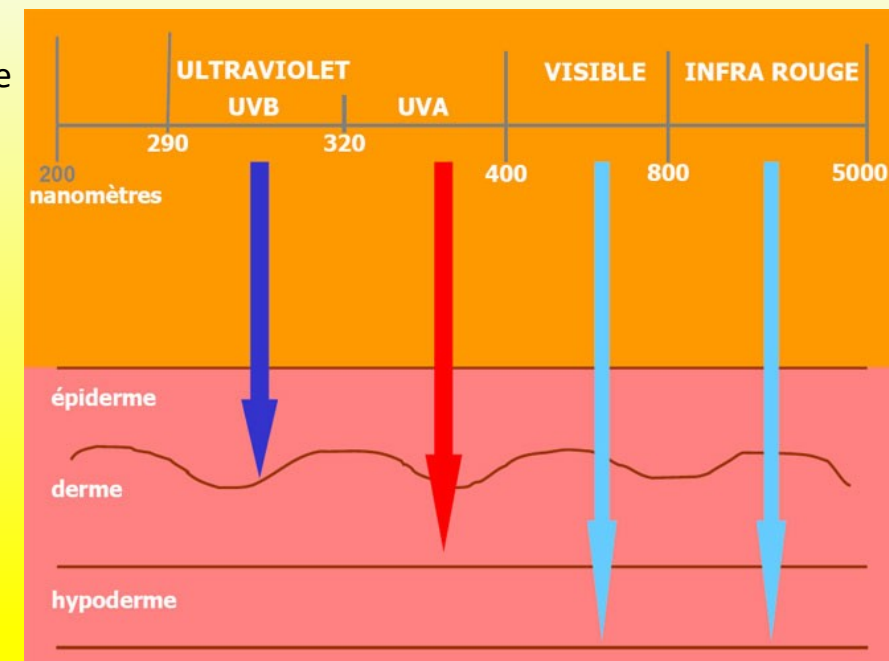
- **Lunghezza d'onda più lunga**, più penetrante.
- Rappresentano **circa il 95% dei raggi UV** che raggiungono la superficie terrestre.
- Penetrano in profondità nella pelle (fino al derma).
- Responsabili dell'**invecchiamento cutaneo** (fotoinvecchiamento) e possono danneggiare il DNA indirettamente.
- Usati nei **lettini abbronzanti**.
- Possono **favorire lo sviluppo di tumori cutanei**.

2. UVB (280-315 nm)

- Più energetici degli UVA.
- Solo il **5% circa** dei raggi UV che raggiungono la Terra (la maggior parte è assorbita dall'ozono).
- Responsabili di:
 - **Scottature solari**
 - Sintesi della **vitamina D**
 - **Mutazioni del DNA** (direttamente), quindi più coinvolti nel **melanoma** e in altri tumori cutanei.

3. UVC (100-280 nm)

- **Altamente energetici**, ma fortunatamente **completamente assorbiti** dallo **strato di ozono** e dall'atmosfera.
- Non raggiungono naturalmente la superficie terrestre.
- Utilizzati in **lampade germicide** e sistemi di **disinfezione UV**.
- Estremamente dannosi per tutte le forme di vita se non filtrati.



- **UVC**, radiazioni che vengono arrestate dall'atmosfera e che non giungono sulla superficie terrestre;
- **UVB**, radiazioni che abbronzano e che provocano eritemi e scottature; queste radiazioni vengono correlate all'aumento di rischio di tumori della pelle e degli occhi;
- **UVA**, radiazioni che abbronzano e che provocano l'invecchiamento della pelle e anch'essi sono correlati all'aumento del rischio per l'insorgenza di tumori.

Tipo	Lunghezza d'onda	Penetrazione	Effetti	Presenza sulla Terra
UVA	315–400 nm	Alta (fino al derma)	Invecchiamento cutaneo, danno DNA indiretto	95% dei raggi UV
UVB	280–315 nm	Media (epidermide)	Scottature, vitamina D, mutazioni DNA	5% dei raggi UV
UVC	100–280 nm	Bassa (assorbiti)	Germicida, estremamente dannoso	Nessuna (assorbiti dall'ozono)

Radiazioni ottiche naturali: classificazione dei fototipi

L'esposizione al rischio di radiazioni ottiche naturali varia in base a diversi fattori, alcuni legati all'ambiente e altri al soggetto, come il **fototipo**. Per questo motivo l'attuazione delle misure di tutela a seguito alla valutazione dell'esposizione va effettuata individualmente, lavoratore per lavoratore, in relazione ai dati personali, come appunto al fototipo, all'assunzione di farmaci, alla presenza di patologie, ecc.

Il **fototipo** consente di classificare la pelle in diverse tipologie e **indica** come quest'ultima **reagisce all'esposizione del sole**. Conoscere il fototipo di appartenenza può aiutare a comprendere se si è maggiormente esposti al rischio. É fondamentale valutare preventivamente questo fattore in relazione all'attività che il lavoratore dovrà svolgere all'aperto.

Esistono **6 fototipi** di seguito elencati:

FOTOTIPO	DESCRIZIONE	COMPORTAMENTO AL SOLE
FOTOTIPO 1	Capelli rossi o biondi. Pelle lattea, spesso con efelidi.	Si scotta sempre. Non si abbronzia mai.
FOTOTIPO 2	Capelli biondi o castano chiari. Pelle chiara.	In genere si scotta. Si abbronzia con difficoltà.
FOTOTIPO 3	Capelli castani. Pelle chiara con minimo colorito.	Si scottano frequentemente. Abbronzatura chiara.
FOTOTIPO 4	Capelli bruni o castano scuri. Pelle olivastro.	Si scottano raramente. Si abbronzia con facilità.
FOTOTIPO 5	Capelli neri. Pelle olivastro.	Non si scottano quasi mai. Abbronzatura facile e molto scura.
FOTOTIPO 6	Capelli neri. Pelle nera.	Non si scottano mai.

Fototipo	Azione del sole sulla pelle	Caratteristiche pigmentose
I 	si scottano facilmente, non si abbronzano mai, si arrossano	soggetti con lentiggini, capelli rossi, di razza celtica
II 	si scottano facilmente, si abbronzano poco	biondi
III 	si scottano moderatamente, si abbronzano progressivamente	bruni
IV 	si scottano poco, si abbronzano sempre bene	latini
V 	si scottano raramente, sono sempre abbronzati	arabi, asiatici
VI 	si scottano molto raramente, sono molto pigmentati	neri

Chi sono i lavoratori outdoor?

I **lavoratori outdoor** sono i lavoratori che svolgono una frazione significativa del proprio orario lavorativo all'aperto e sono interessati dalle patologie correlate con l'esposizione a luce solare.

Le **attività** che possono comportare un **rischio elevato** di esposizione a radiazione sono:

- lavorazioni agricolo o forestali;
- floricoltura e giardinaggio;
- addetti alla balneazione e ad altre attività in spiaggia o a bordo piscina;
- edilizia e cantieristica stradale, ferroviaria o navale;
- lavorazioni in cave e miniere a cielo aperto;
- pesca e lavori a bordo di imbarcazioni, ormeggiatori, attività portuali;
- addetti di piazzale, movimentazione merci in varie tipologie lavorative (compresi addetti di scalo aeroportuali);
- addetti alle attività alla ricerca e stoccaggio idrocarburi liquidi e gassosi nel territorio, nel mare e nelle piattaforme continentali;
- maestri di sci o addetti impianti di risalita;
- altri istruttori di sport all'aperto.

Ci sono poi altre **attività** che, invece, comportano il **rischio di esposizione** a radiazione solare, come:

- parcheggiatori;
- operatori ecologici e netturbini;
- addetti agli automezzi per la movimentazione di terra;
- rifornimento carburante: stradale/aeroportuale;
- portalettere/recapito spedizioni;
- conducente di taxi, autobus, autocarri etc.
- forze dell'ordine e militari con mansioni all'aperto;
- addetti alla ristorazione all'aperto e venditori ambulanti;
- operatori di eventi all'aperto;
- manutenzioni piscine;
- manutenzione linee elettriche ed idrauliche esterne.



Valutazione del rischio da esposizione a radiazioni ottiche naturali

Esistono diverse procedure che possono essere applicate per determinare e valutare le esposizioni alle radiazioni ottiche naturali:

- valutazione mediante l'**indice UV**;
- determinazione del **fattore di esposizione** cutaneo ed oculare;
- misurazione dell'**esposizione radiante efficace** o dose efficace (H_{eff}).

Indice UV

L'indice UV è uno dei metodi per effettuare la valutazione e descrive l'intensità della radiazione ultravioletta solare che raggiunge la superficie terrestre in una determinata area. L'indice UV si basa sulla:

- posizione del sole;
- nuvolosità prevista;
- altitudine;
- dati dell'ozono.

La scala dell'indice UV può andare da 1 ad un massimo di 12, dove al crescere del numero aumenta l'intensità degli UV.

Fattore di esposizione cutaneo ed oculare

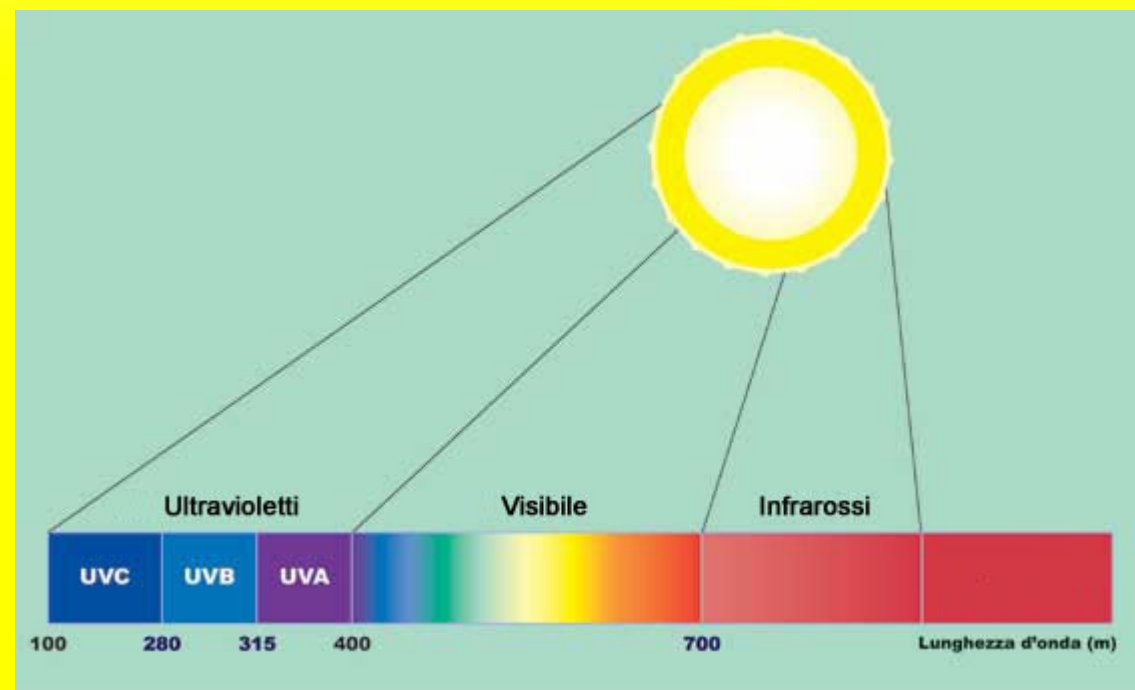
La determinazione del fattore cutaneo si basa su una serie di fattori che influenzano quantitativamente l'esposizione della pelle e degli occhi.

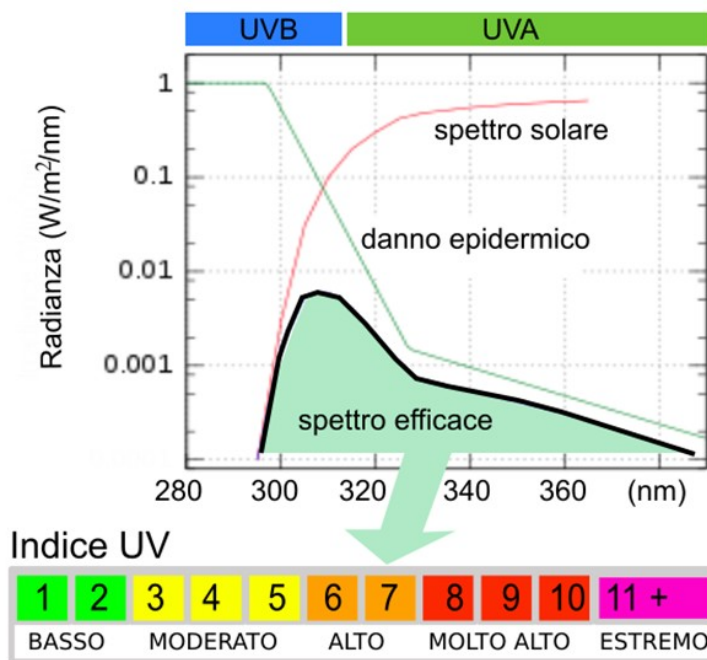
Il **fattore di rischio pelle F_p** , è dato dalla seguente espressione in cui ad ogni fattore, corrispondono dei valori che moltiplicati tra loro restituiscono il fattore di rischio.

$$F_p = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6$$

dove:

- F_1 fa riferimento alla stagione;
- F_2 fa riferimento alla copertura nuvolosa;
- F_3 fa riferimento alla durata di esposizione;
- F_4 fa riferimento alla riflettanza del suolo;
- **F_5 fa riferimento al vestiario;**
- F_6 fa riferimento all'ombreggiamento.





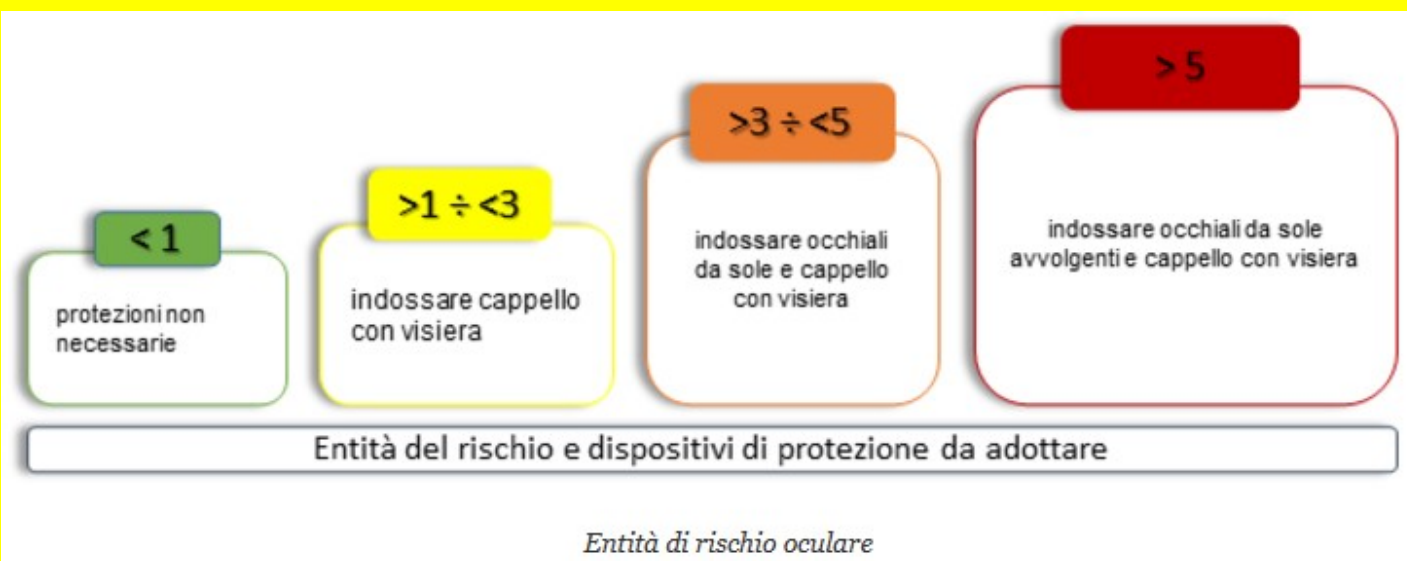
A seconda del risultato, vengono indicati i dispositivi di protezione da adottare e l'entità del rischio come da tabella:



Il **fattore di rischio oculare F_o** , invece, è dato dall'espressione:

$$F_o = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6$$

dove:



- F_1 fa riferimento alla stagione;
- F_2 fa riferimento alla copertura nuvolosa;
- F_3 fa riferimento alla durata di esposizione;
- F_4 fa riferimento alla riflettanza del suolo;
- **F_5 fa riferimento agli occhiali protettivi;**
- F_6 fa riferimento all'ombreggiamento.

Anche in questo caso, in base al risultato vengono indicati i dispositivi di protezione da adottare e l'entità del rischio come indicato nella seguente tabella:

Esposizione radiante efficace (H_{eff})

La quantità utilizzata ai fini protezionistici per quantificare il rischio di insorgenza di danno per patologie foto indotte della pelle è l'**esposizione radiante efficace** o **dose efficace** (H_{eff}) che si ottiene dall'integrale dell'irradianza spettrale ponderata con uno spettro d'azione relativo al rischio di induzione dell'eritema.

Lo spettro di azione per induzione di eritema è stato standardizzato dalla CIE (*Commission International d'Eclairage*) e viene impiegato anche come curva di ponderazione per altre patologie della pelle fotoindotte, come ad esempio i tumori cutanei. La **dose minima per l'eritema (MED)** descrive le potenzialità della radiazione UV nell'indurre la formazione dell'eritema dove 1 MED corrisponde alla dose di UV efficace in grado di provocare un arrossamento percettibile della pelle umana non precedentemente esposta al sole.

Poiché le persone non sono ugualmente sensibili alla radiazione UV a causa delle differenti capacità di autodifesa della pelle (pigmentazione), il MED varia fra le popolazioni europee in un intervallo compreso fra 200 e 500 (J/m²).

La seguente tabella indica i valori di MED in funzione dei differenti tipi di pelle secondo le norme **DIN-5050**:

TIPO CUTE	SI ABBRONZA	SI SCOTTA	CAPELLI	OCCHI	1 MED
I	mai	sempre	rossi	blue	200 J/m ²
II	talvolta	talvolta	biondi	blue/verdi	250 J/m ²
III	sempre	raramente	castani	marroni	350 J/m ²
IV	sempre	mai	neri	marroni	450 J/m ²

L'**esposizione radiante efficace** (H_{exx} o H_{eff}) è una **grandezza radiometrica ponderata**, utilizzata per valutare gli **effetti biologici dell'esposizione a radiazioni ultraviolette (UV)** sulla pelle o sugli occhi, tenendo conto della **diversa pericolosità** delle varie lunghezze d'onda.

Definizione

L'**esposizione radiante efficace** H_{eff} si calcola come:

$$H_{eff} = \int_{\lambda} E(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda$$

dove:

$E(\lambda)$ = **irradianza spettrale** (in W/m²·nm) a una data lunghezza d'onda

$S(\lambda)$ = **funzione di azione spettrale** (p.es. la curva di sensibilità dell'eritema solare)

L'integrale è esteso sulle lunghezze d'onda di interesse (tipicamente 200–400 nm)

Unità di misura

L'unità di misura di H_{eff} è il **joule per metro quadrato (J/m²)**, come per una dose energetica superficiale.

È una misura **ponderata biologicamente**: tiene conto non solo dell'energia, ma anche della **capacità di provocare effetti dannosi** (es. eritema solare, danno oculare).

Esempio pratico

Una lampada UV con:

- $E(\lambda)$ =0.1 W/m² a 280 nm,
- $S(280 \text{ nm})$ = 0.5 (secondo la curva dell'eritema),
- esposizione di 10 minuti (600 s)

Risultato:

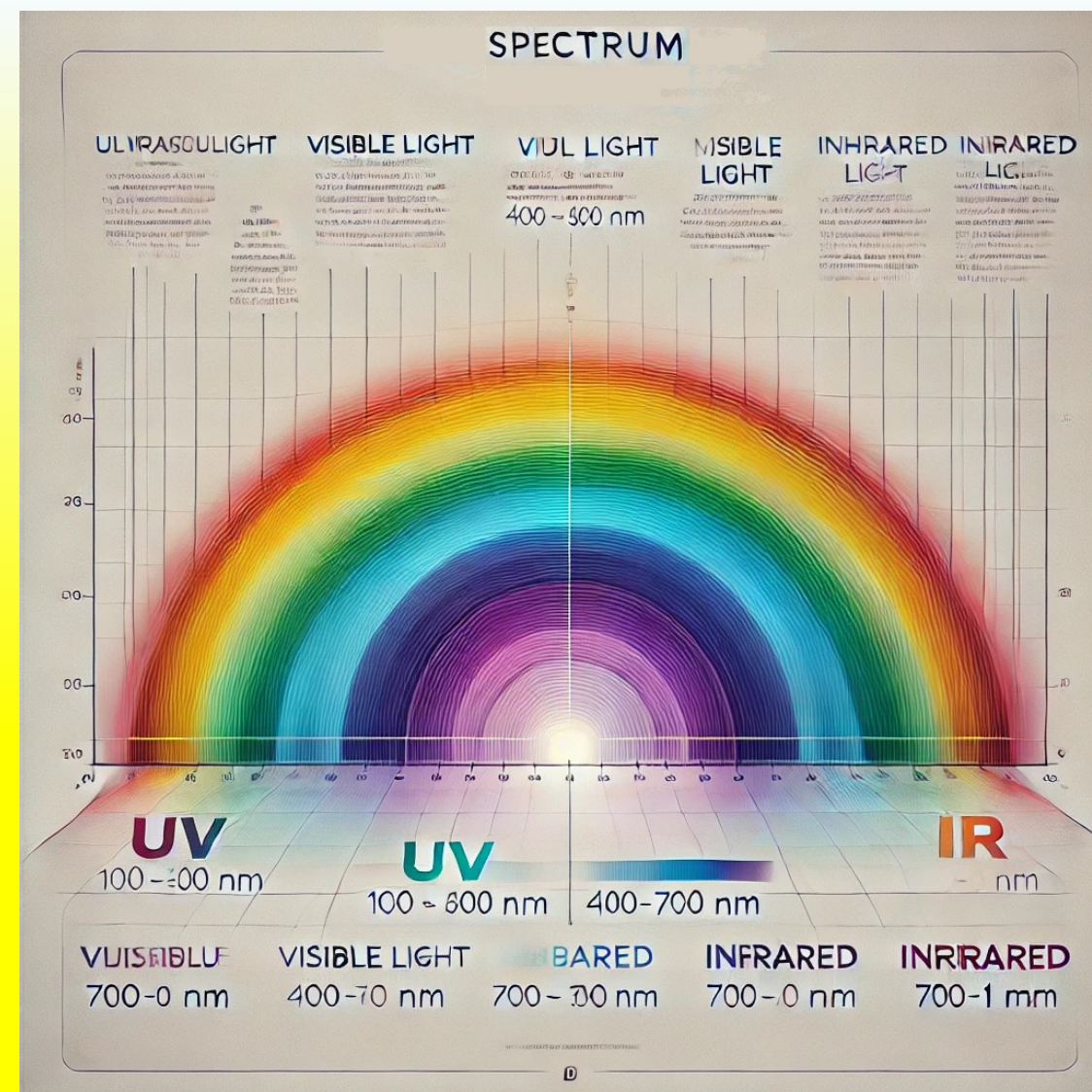
$H_{eff}=E \cdot S \cdot t=0.1 \cdot 0.5 \cdot 600=30 \text{ J/m}^2 \rightarrow$ **raggiunto il limite massimo giornaliero!**

Le **radiazioni ottiche artificiali** (ROA) sono una forma di energia elettromagnetica generata da fonti artificiali, che rientra nello spettro delle radiazioni ottiche, ovvero tra i 100 nanometri (nm) e 1 millimetro (mm) di lunghezza d'onda. Queste radiazioni comprendono:

1. **Ultravioletti (UV)**: da 100 a 400 nm.
2. **Luce visibile**: da 400 a 700 nm.
3. **Infrarossi (IR)**: da 700 nm a 1 mm.

Le ROA sono emesse da diverse fonti utilizzate in ambito industriale, medico e quotidiano, come:

- Lampade a LED o fluorescenti.
- Laser.
- Lampade UV per sterilizzazione o abbronzatura.
- Forni a infrarossi.
- Apparecchiature per saldatura o taglio.



energia che si propaga senza bisogno di un supporto materiale, e sono caratterizzate da una **lunghezza d'onda** e da una **frequenza**.

SOLE:

Intensità massima luce solare a terra = 1 kW/m^2 o 1 mW/mm^2

Assumendo un diametro pupillare di 2 mm l'area è circa 3 mm^2

Quindi la potenza raccolta dall'occhio è = 3 mW

Il sole forma un'immagine $\approx 100 \text{ }\mu\text{m}$ di raggio sulla retina (area = 0.03 mm^2)

L'intensità sulla retina (Potenza/Area) = $3 \text{ mW}/0.03 \text{ mm}^2 = 100 \text{ mW/mm}^2$.

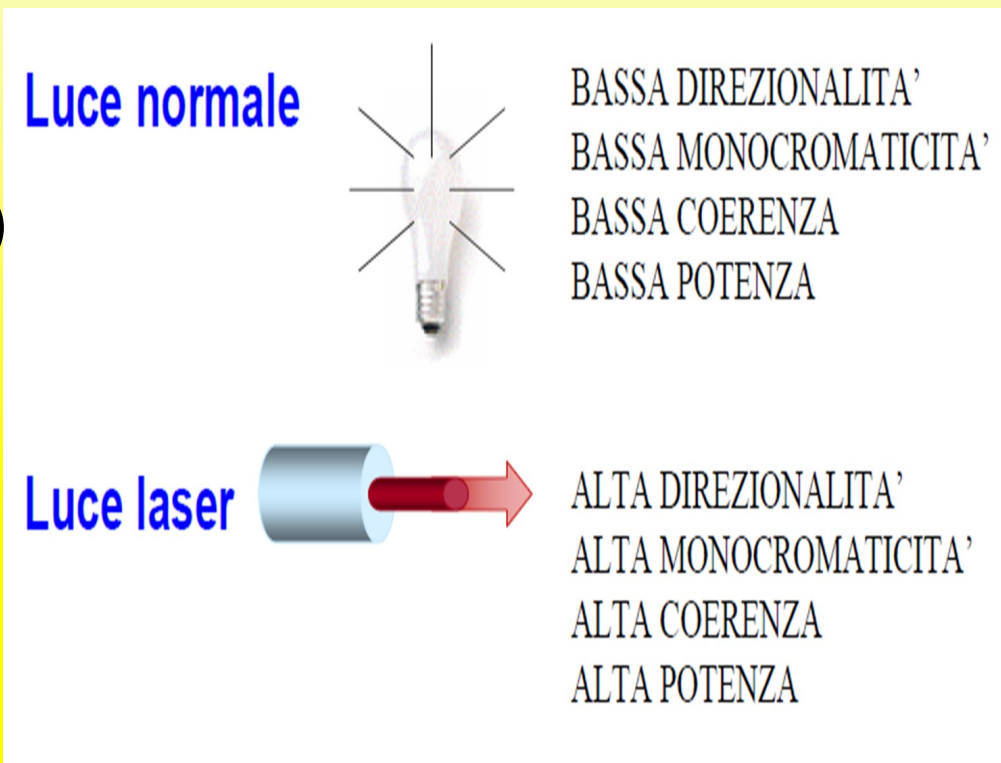
Tipico laser He Ne da 1 mW (o laser pointer):

Potenza = 1 mW, raggio del fascio = 1 mm

Forma un'immagine con raggio di $10 \text{ }\mu\text{m}$ (area dello spot = $3 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$)

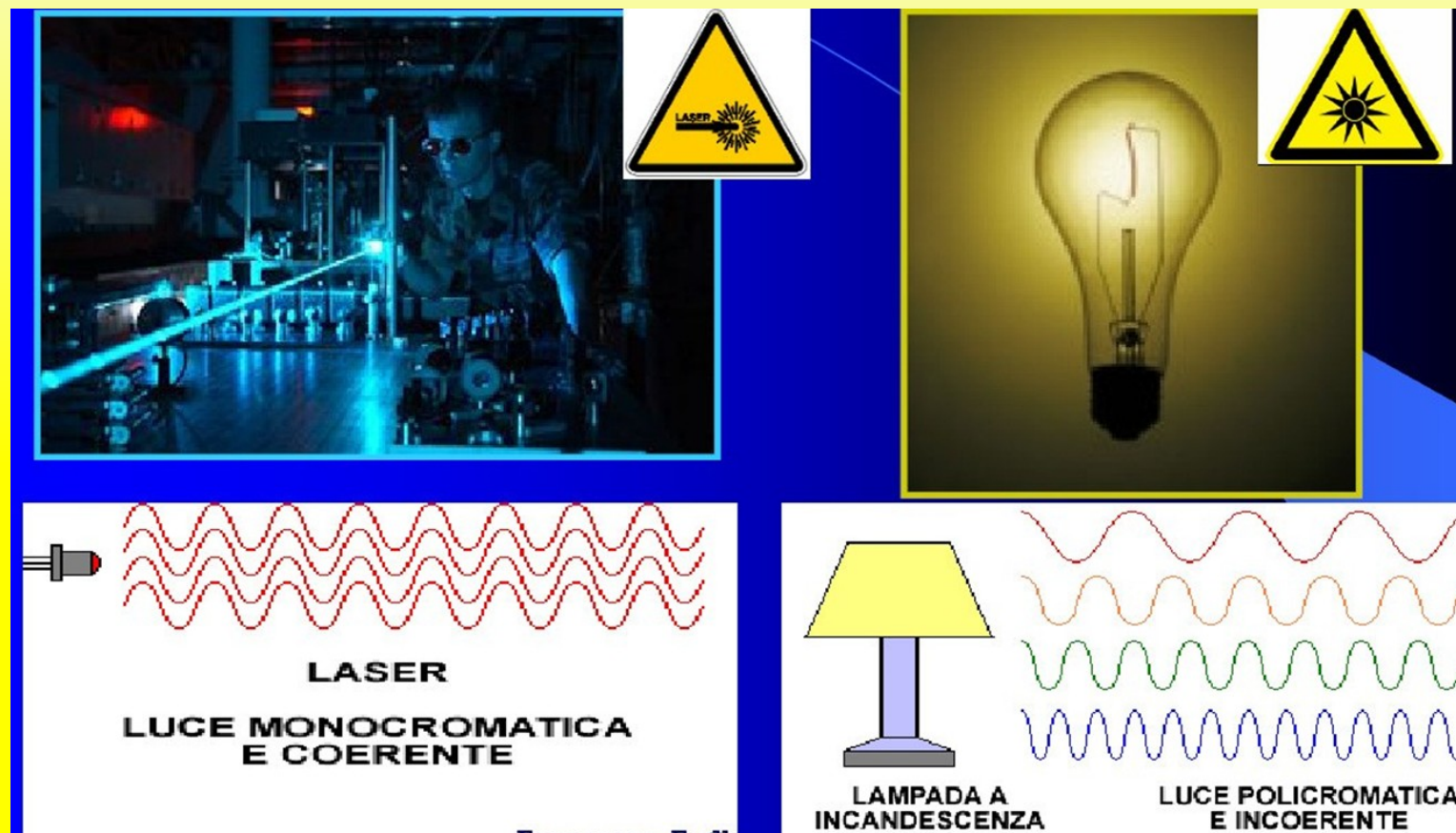
L' **intensità** dell'HeNe sulla retina è $1 \text{ mW}/(3 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2) = 3100 \text{ mW/mm}^2$

31 volte l'intensità del Sole!!



Radiazioni ottiche artificiali (ROA)

- Possono essere emesse in modo:
 - “coerente” o “incoerente”
 - continuo o pulsato
- Sono “**coerenti**” (e monocromatiche) le radiazioni ottiche emesse da una sorgente LASER (*amplificazione di luce mediante emissione stimolata di radiazione*). La “coerenza” è una caratteristica legata alla “fase” dell’onda durante la propagazione. In particolare nelle sorgenti coerenti gli atomi si diseccitano tutti in fase tra loro.
- Sono “**incoerenti**” (e policromatiche) le radiazioni ottiche emesse dal sole o dalle lampadine a incandescenza o a scarica di gas.



Confronto fra laser e luce policromatica

Effetti Biologici

L'esposizione alle radiazioni ottiche può provocare effetti biologici significativi:

- **Pelle:** Gli UV causano ustioni e invecchiamento precoce. Gli IR possono generare lesioni termiche.
- **Occhi:** Gli UV possono danneggiare la cornea (cheratite) e causare cataratte, mentre la luce visibile intensa può danneggiare la retina.

Questi effetti dipendono dall'intensità della sorgente, dal tempo di esposizione e dalla distanza.

Rischi delle ROA

L'esposizione a radiazioni ottiche artificiali può comportare rischi per la salute, in particolare per la **pelle** e gli **occhi**:

- **Danni agli occhi:** come cataratte, fotoretinite o ustioni alla retina.
- **Danni alla pelle:** ustioni, invecchiamento precoce o, nei casi più gravi, rischio di tumori cutanei.



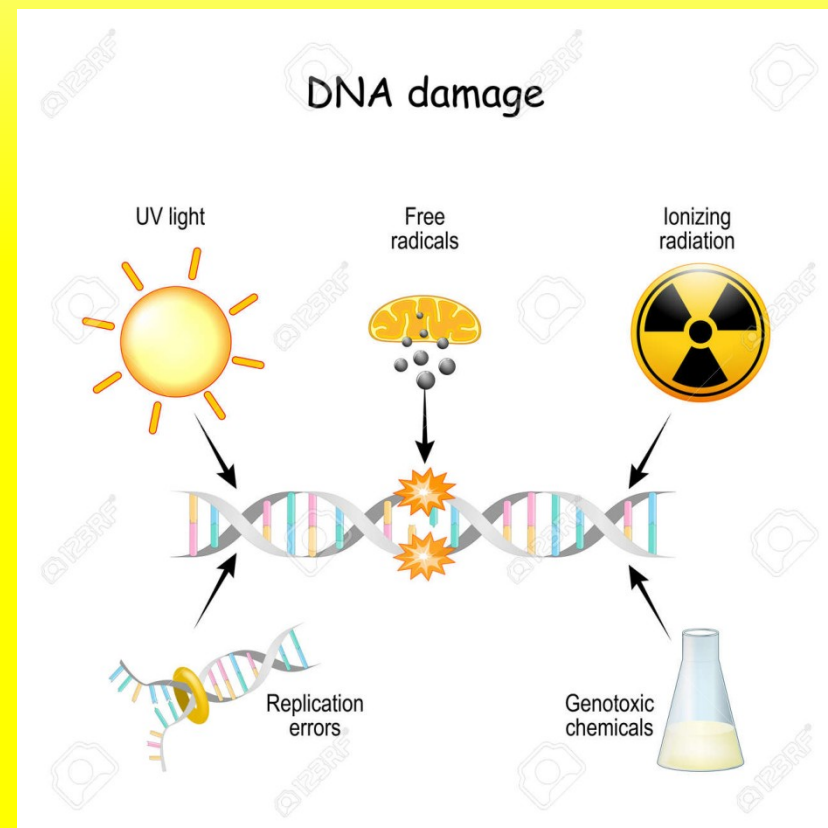
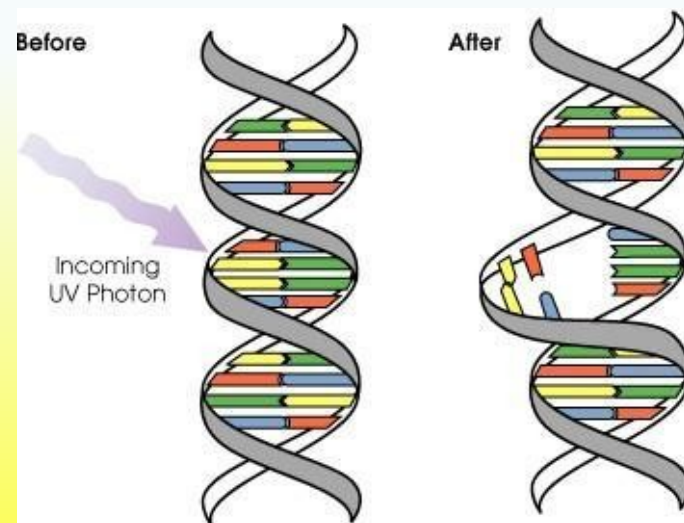
La pericolosità delle sorgenti ROA è relativa a:

- energia emessa dalla sorgente
- energia ricevuta dal lavoratore
- lunghezza d'onda (o frequenza)
- modalità di impiego
- tempo di esposizione.

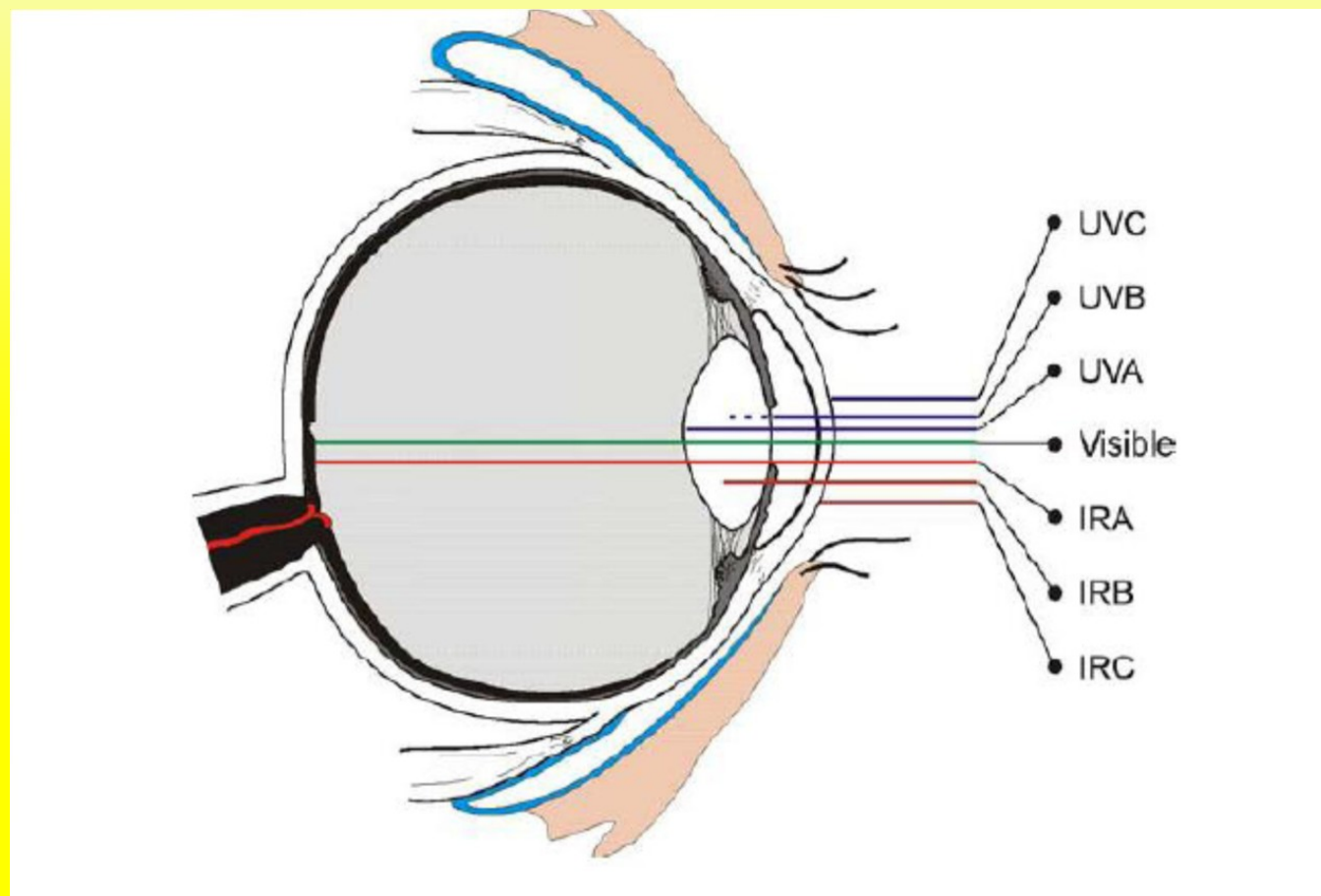
Effetti sulla salute e sulla sicurezza

Meccanismo della radiazione UV

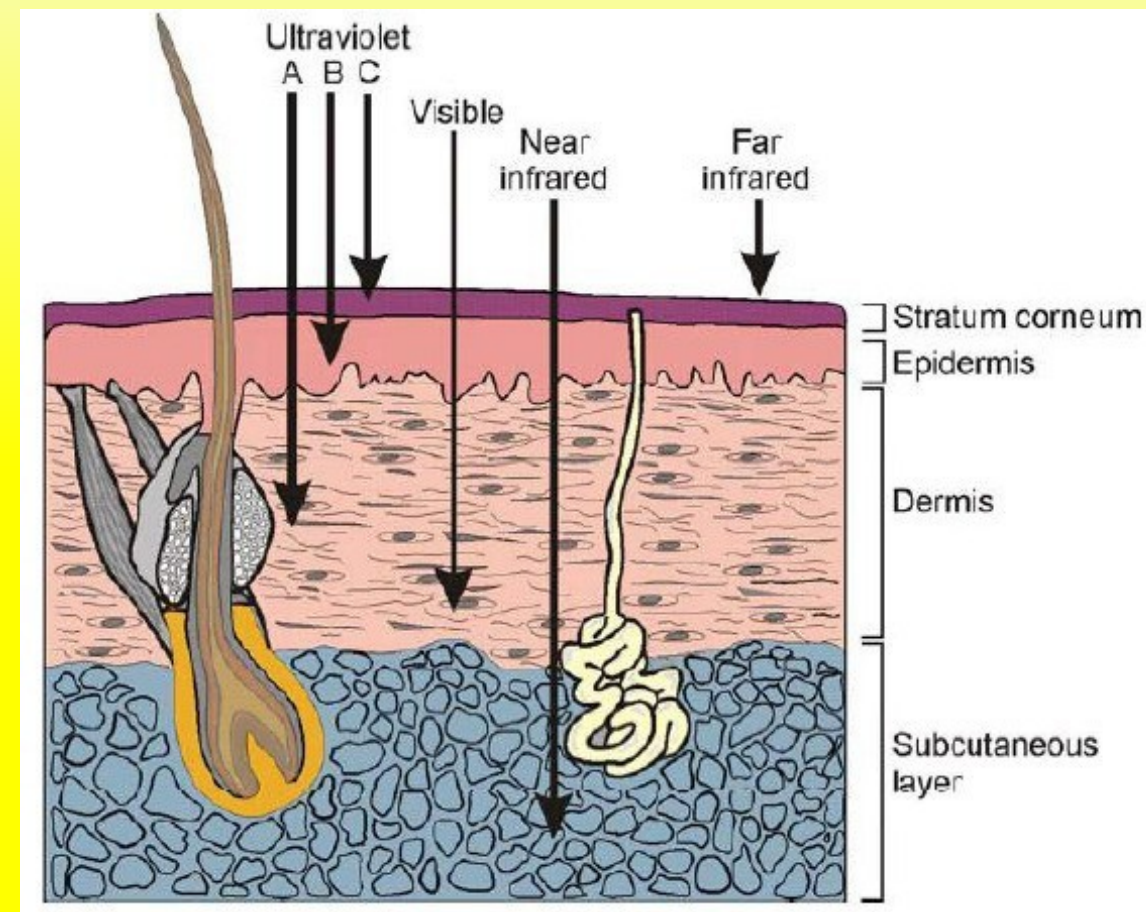
- La radiazione UV altera le molecole di DNA delle cellule della pelle, inducendo basi adiacenti di timina a formare legami covalenti.
- Due basi adiacenti di timina non si legano in modo normale, ma causano una distorsione dell'elica del DNA, interferiscono con i meccanismi di copia e in generale con il funzionamento del DNA.
- Il tutto porta facilmente a delle mutazioni, che possono sfociare in episodi di cancro. Questo effetto degli UV può essere facilmente osservato in colture batteriche.



Penetrazione delle ROA nell'occhio



Penetrazione delle ROA nella cute



Effetti sulla salute e sulla sicurezza



FOTOCHEMATITE



CATARATTA FOTOCHEMICA

Regione spettrale	Occhio	Pelle	
Ultravioletto C (da 100 nm a 280 nm)	Fotocheratite Fotocongiuntivite	Eritema (scottatura della pelle)	Tumori cutanei Processo accelerato di invecchiamento della pelle (elastosi)
Ultravioletto B (da 280 nm a 315 nm)			
Ultravioletto A (da 315 nm a 400 nm)	Cataratta fotochimica	Reazione di fotosensibilità	
Visibile (da 400 nm a 780 nm)	Lesione fotochimica e termica della retina		
Infrarosso A (da 780 nm a 1400 nm)	Cataratta bruciatura della retina		Bruciatura della pelle
Infrarosso B (da 1400 nm a 3000 nm)	Cataratta, bruciatura della cornea		
Infrarosso C (da 3000 nm a 1 mm)	Bruciatura della cornea		

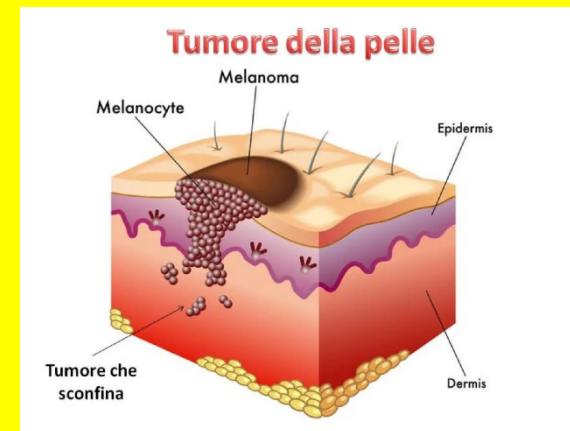
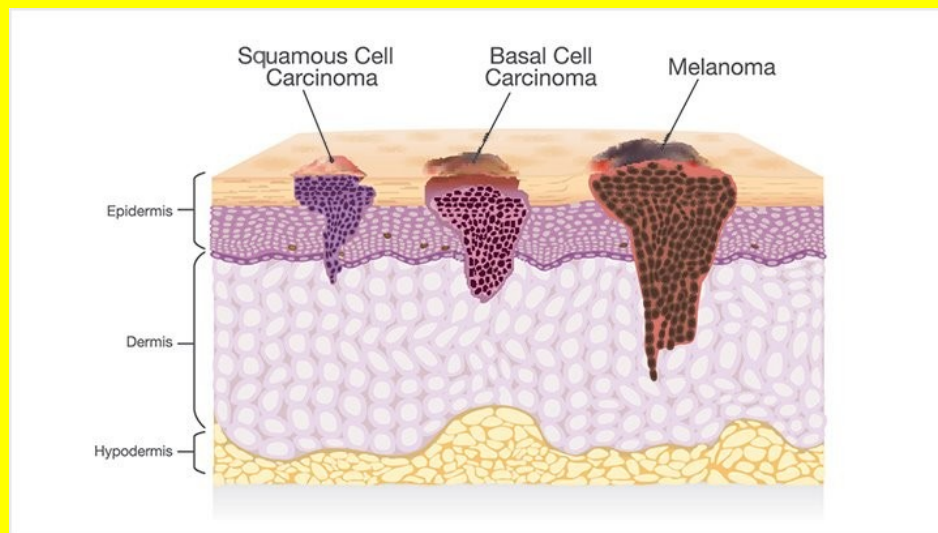
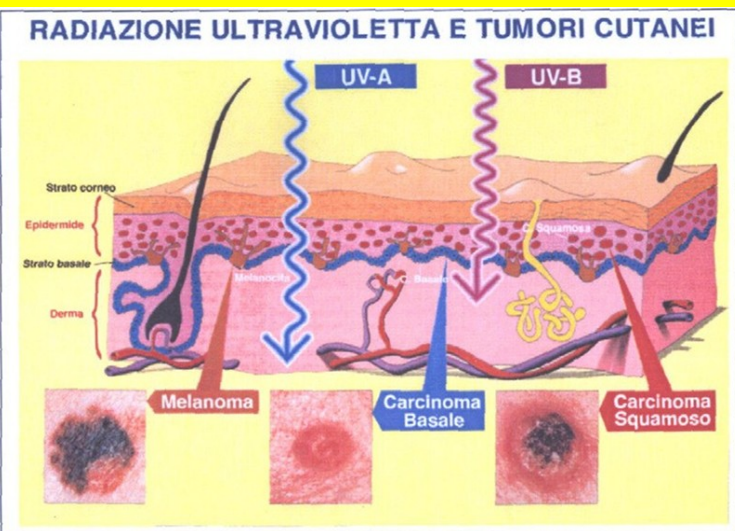
Effetti dell'esposizione a UV

Organo critico: Cute	
Effetti precoci	Effetti tardivi
- Pigmentazione immediata - Eritema attinico - Fotodermatosi - Pigmentazione ritardata - Iperplasia epidermica	- Fotoinvecchiamento - Alterazioni funzionali: cisti, comedoni, elastosi solare, alterazioni vascolari - Sofferenza cellulare: atrofia epidermica, depigmentazione - Carcinogenesi, mutazioni somatiche: cheratosi attiniche, epiteliomi basocellulari, epiteliomi spinocellulari, melanomi maligni

Effetti deterministici	Effetti probabilistici
•Esiste una soglia per il fenomeno •La gravità aumenta con la dose assorbita	•Non esiste soglia •La probabilità aumenta con la dose assorbita
•Eritema •Fotocheratite e fotocongiuntivite •Cataratta	•Tumori cutanei (UV=gruppo 1 IARC) •Fotoelastosi

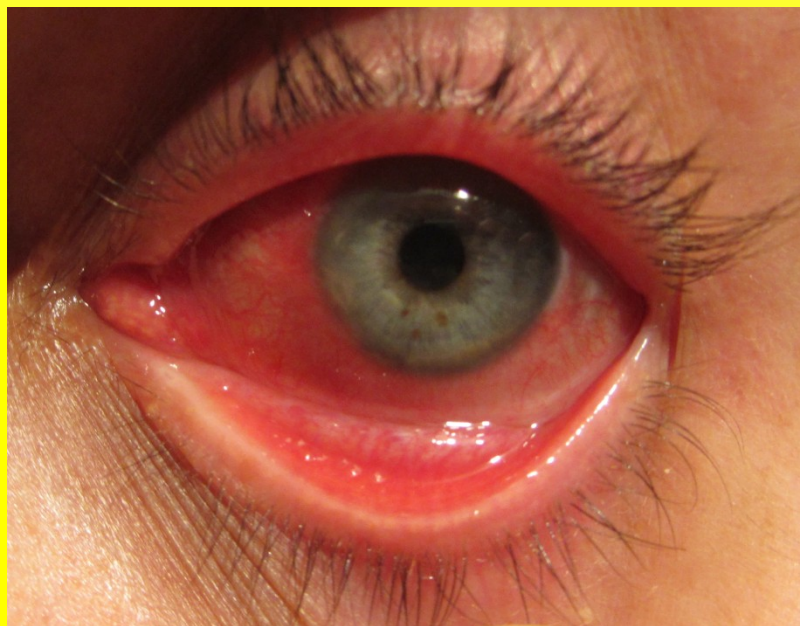
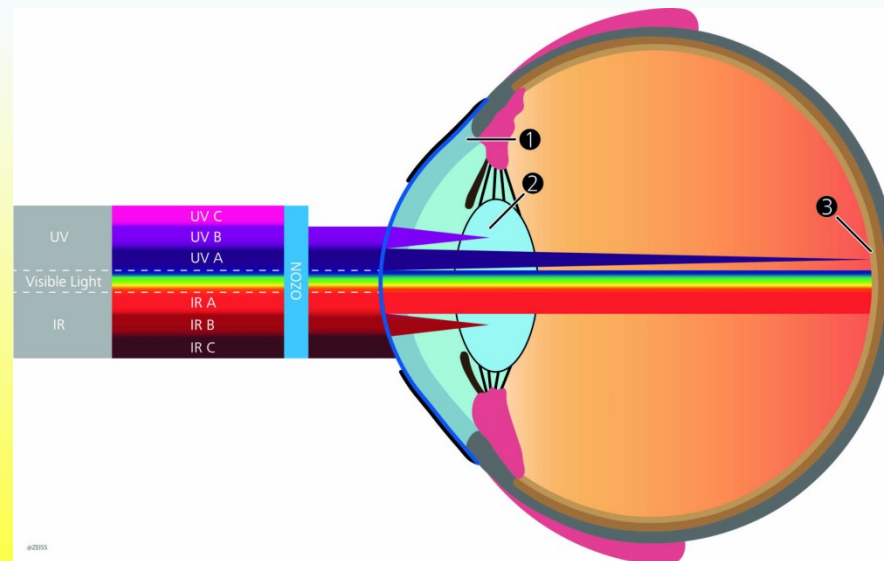


Radiazione UV e tumori cutanei



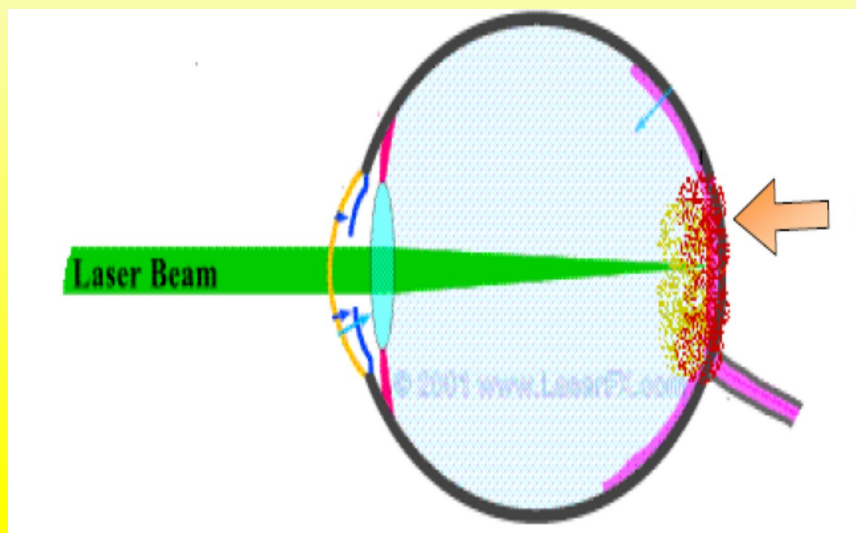
Effetti dell'esposizione a UV

Organo critico: Occhio		
Cornea	Cristallino	Retina
Acuti: fotocheratite congiuntivite	Cataratta (esposizioni oblique particolarmente pericolose)	Fotoretiniti
Tardivi: pterigio ispessimento endoteliale	Fotoinvecchiamento Irrigidimento e brunescenza	Rischio più elevato per afachici



Lo pterigio è una crescita anomala di tessuto fibrovascolare che si sviluppa dalla congiuntiva (la membrana trasparente che ricopre la parte bianca dell'occhio) e può estendersi fino alla cornea (la parte trasparente dell'occhio). Questa crescita, spesso di forma triangolare, può causare irritazione, arrossamento, e, in casi più avanzati, compromettere la vista.

RADIAZIONE LASER



DANNO RETINICO (FOTOTERMICO + FOTOCHIMICO)

Regione spettrale CIE*	Occhio	Pelle	
Ultravioletto C (da 180 nm a 280 nm)	Fotocheratite	Eritema (bruciatura della pelle)	Processo accelerato di invecchiamento della pelle
Ultravioletto B (da 280 nm a 315 nm)		Aumento della pigmentazione	
Ultravioletto A (da 315 nm a 400 nm)	Cataratta fotochimica	Colore più intenso della pigmentazione, reazione di fotosensibilità	
Visibile (da 400 nm a 780 nm)	Lesione fotochimica e termica della retina		Bruciatura della pelle
Infrarosso A (da 780 nm a 1400 nm)	Cataratta e bruciatura della retina		
Infrarosso B (da 1400 nm a 3000 nm)	Infiammazione acquosa, cataratta, bruciatura della cornea		
Infrarosso C (da 3000 nm a 1 mm)	Bruciatura della sola cornea		

Livelli di Esposizione (Articolo 3 e Allegato II)

1. Radiazioni Ultraviolette (UV)

E_{eff} = Irradianza efficace ponderata rispetto alla lunghezza d'onda (W/m^2).

Limite massimo:

$$E_{eff} \leq 30 J/m^2 \text{ (sull'arco di 8 ore lavorative).}$$

2. Luce Visibile e Radiazioni Infrarosse (IR)

a) Irradianza massima consentita:

$$E \leq 1 mW/cm^2 \text{ (per esposizioni prolungate).}$$

b) Dose energetica massima per esposizioni brevi:

$$H \leq 10 J/cm^2.$$

3. Radiazioni Laser

a) Limiti di esposizione:

$$E_L \leq \frac{C_A}{T}$$

dove C_A è il coefficiente di ponderazione spettrale e T è il tempo di esposizione.

La **Direttiva 2006/25/CE** riguarda la protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizione a radiazioni ottiche artificiali (ROA). Include prescrizioni minime relative ai livelli di esposizione e ai limiti di emissione per prevenire effetti nocivi sulla salute. Ecco i punti chiave e le formule principali previste:

Formule Specifiche

1. Irradianza efficace ponderata

$$E_{eff} = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda$$

Dove:

- $E(\lambda)$ = Irradianza spettrale ($W/m^2/nm$).
- $S(\lambda)$ = Fattore di ponderazione spettrale.
- λ_{min} e λ_{max} = intervallo di lunghezze d'onda rilevanti.

2. Esposizione cumulativa

$$H = E \cdot t$$

Dove:

- H = Dose energetica cumulativa (J/m^2).
- E = Irradianza (W/m^2).
- t = Tempo di esposizione (s).

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad H_{eff} &= \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt && (H_{eff} \text{ è pertinente solo nell'intervallo da 180 a 400 nm}) \\ \text{b)} \quad H_{UVA} &= \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt && (H_{UVA} \text{ è pertinente solo nell'intervallo da 315 a 400 nm}) \\ \text{c), d)} \quad L_B &= \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda && (L_B \text{ è pertinente solo nell'intervallo da 300 a 700 nm}) \end{aligned}$$

Un sistema di protezione efficace contro le **radiazioni ottiche artificiali (ROA)** deve integrare misure tecniche, organizzative e personali per prevenire o minimizzare l'esposizione ai rischi. Ecco una guida strutturata:

1. Valutazione dei Rischi

Prima di implementare un sistema di protezione, è fondamentale effettuare una **valutazione dei rischi**:

- Identificazione delle sorgenti di ROA (UV, visibile, IR, laser).
- Misurazione o calcolo dei livelli di esposizione.
- Confronto con i **limiti di esposizione** definiti dalla Direttiva 2006/25/CE.
- Determinazione delle aree a rischio e dei lavoratori potenzialmente esposti.

2. Misure Tecniche

Queste misure riguardano modifiche o adattamenti ai dispositivi e ai processi per ridurre l'emissione di ROA.

a) Sostituzione e Riduzione alla Sorgente

- Utilizzo di sorgenti luminose con emissioni ridotte.
- Sostituzione delle tecnologie che emettono radiazioni ad alta intensità con alternative meno pericolose.

b) Schermature

- Installazione di **schermi protettivi** o barriere che bloccano specifiche lunghezze d'onda.
- Utilizzo di materiali come vetri assorbenti per UV o filtri per IR.

c) Distanza e Direzione

- Aumentare la distanza tra il lavoratore e la sorgente di radiazioni.
- Posizionare le sorgenti in modo che l'emissione sia diretta lontano dalle aree di lavoro.

3. Misure Organizzative

Gestire l'esposizione attraverso un'organizzazione del lavoro sicura:

a) Segnaletica e Zone di Sicurezza

- Contrassegnare le aree a rischio con cartelli di avviso per radiazioni ottiche.
- Definire **zone controllate** e limitare l'accesso ai lavoratori autorizzati.

b) Piani di Lavoro

- Ridurre al minimo il tempo di esposizione tramite una pianificazione efficiente.
- Alternare i turni per evitare esposizioni prolungate.

c) Manutenzione

- Controllare regolarmente le sorgenti di radiazioni e i dispositivi di protezione.
- Garantire che i filtri e le schermature non siano danneggiati o usurati.

4. Dispositivi di Protezione Individuale (DPI)

Quando le misure tecniche e organizzative non sono sufficienti, è necessario fornire **DPI adeguati**.

a) Occhiali Protettivi

- Occhiali con filtri specifici per le lunghezze d'onda coinvolte (es. UV o IR).
- Devono garantire una copertura completa e non ridurre la visibilità.

b) Schermi Facciali

- Protezioni facciali per lavorazioni con laser o sorgenti ad alta intensità.

c) Guanti e Indumenti Protettivi

- Indumenti riflettenti o assorbenti che impediscono la penetrazione delle radiazioni.

5. Formazione e Sensibilizzazione

a) Formazione del Personale

- Informare i lavoratori sui rischi associati alle ROA e sulle misure di protezione.
- Addestramento sull'uso corretto dei DPI.

b) Procedure di Emergenza

- Stabilire piani per gestire incidenti legati a esposizioni accidentali.

6. Monitoraggio Continuo

Implementare un sistema di monitoraggio per garantire che i livelli di radiazioni rimangano entro i limiti:

- Utilizzo di dosimetri per la misurazione personale dell'esposizione.
- Controlli periodici delle sorgenti e delle aree di lavoro.

Esempio Pratico

Un laboratorio con sorgenti UV per sterilizzazione:

1. **Barriere protettive** attorno alle lampade.
2. **Occhiali specifici** per UV per i tecnici.
3. **Segnaletica visibile** che indica il rischio UV.
4. Formazione sui **tempi di esposizione sicuri** e procedure di manutenzione.

Misure tecniche e organizzative adottate all'esito della valutazione

Scopo delle misure di tutela è quello di eliminare o ridurre al minimo tutti i rischi (diretti o indiretti) per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione a radiazioni ottiche di livello pericoloso ed eventuali altri rischi associati.

Il DLgs.81/2008 richiede che vengano adottate specifiche azioni di prevenzione solo qualora la valutazione evidenzi la possibilità di superamento dei VLE (Valori Limite Esposizione) oppure la sorveglianza sanitaria evidenzi alterazioni apprezzabili dello stato di salute dei lavoratori correlata all'esposizione a ROA.

a) Sorgenti incoerenti

Oltre all'adozione delle misure di tutela previste dai manuali di istruzione delle attrezzature di lavoro (macchine) marcate CE, una volta verificata l'indispensabilità o insostituibilità della sorgente o dell'attività-sorgente, per limitare o prevenire l'esposizione, si possono adottare soluzioni tecniche e procedurali quali:

- 1) il contenimento della sorgente all'interno di ulteriori idonei alloggiamenti schermanti completamente ciechi oppure di attenuazione nota, in relazione alle lunghezza d'onda di interesse; ad esempio, la radiazione UV si può schermare con finestre di vetro o materiali plastici trasparenti nel visibile;
- 2) l'adozione di schermi ciechi o inattinici a ridosso delle sorgenti (es.: i normali schermi che circondano le postazioni di saldatura, come da UNI EN ISO 25980:2014);
- 3) la separazione fisica degli ambienti nelle quali si generano ROA potenzialmente nocive dalle postazioni di lavoro vicine;
- 4) l'impiego di automatismi (interblocchi) per disattivare le sorgenti ROA potenzialmente nocive (es.: lampade germicide a raggi UV) sugli accessi ai locali nei quali queste sono utilizzate;
- 5) la definizione di "[zone ad accesso limitato](#)", contrassegnate da idonea segnaletica di sicurezza, ove chiunque acceda deve essere informato e formato sui rischi di esposizione alla radiazione emessa dalle sorgenti in esse contenute e sulle appropriate misure di protezione, soluzione particolarmente utile per evitare esposizioni indebite, vale a dire di lavoratori non direttamente coinvolti nelle operazioni con sorgenti ROA potenzialmente nocive, nonché esposizioni di soggetti particolarmente sensibili.

b) Apparat*i laser*

La norma CEI EN 60825-1 fissa le principali misure di tutela per l'installazione e l'impiego dei laser e richiede, in funzione della classe dell'apparato laser, specifiche misure di prevenzione, la cui opportunità deve essere valutata nel contesto specifico, quali:

- schermare adeguatamente il fascio al termine del suo percorso utile;
- trattare o proteggere le eventuali superfici riflettenti presenti sul percorso del fascio e per le specifiche lunghezze d'onda al fine di evitarne la riflessione o la diffusione;
- collegare i circuiti del locale o della porta ad un connettore di blocco remoto;
- abilitazione dello strumento mediante comando a chiave, hardware o software;
- inserimento di un attenuatore di fascio;
- installare segnaletica di sicurezza e segnali di avvertimento sugli accessi alle aree (ZLC e ZNRO, vedi Punto 5.25) o agli involucri di protezione;
- predisposizione di procedure per l'accesso in sicurezza alle aree a rischio (es.: evitare oggetti riflettenti introdotti dal personale).

Delimitazione Aree

Ai sensi dell'art. 217, comma 2, del DLgs.81/2008 (ma anche dell'Allegato XXV, punti 3.2 e 3.3, richiamati dall'art.163 dello stesso Decreto), è necessario delimitare le aree in cui i lavoratori o le persone del pubblico possono essere esposti a tale rischio.

L'area va indicata tramite segnaletica e l'accesso alla stessa va limitato laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista un rischio di superamento dei valori limite di esposizione.

Nel caso delle radiazioni ottiche incoerenti, mancando uno specifico cartello di avvertimento, si fornisce l'indicazione di utilizzare quello previsto per la marcatura delle macchine che emettono ROA non coerenti ai sensi della norma EN 12198, come riportato in Figura 1. Nel caso in cui all'interno dell'area sia necessario l'utilizzo di DPI, quali ad esempio gli occhiali, all'ingresso deve essere esposto l'apposito segnale di prescrizione, ad esempio quello indicato nella Figura 2.

Figura 1	Figura 2
	
Segnaletica di Pericolo Emissione Radiazioni Ottiche Artificiali	Obbligo uso DPI oculari

Nel caso di radiazione laser la segnaletica di identificazione della presenza di Zona Laser Controllata (ZLC) si trova nella norma CEI EN 60825-1:2009 in cui si richiede che agli accessi delle aree che contengono apparecchi laser di Classe 3B e Classe 4 siano affissi segnali di avvertimento indicanti la presenza di un laser con indicata la classe di appartenenza (vedi Figura 3 e 4). Nel caso in cui all'interno della ZLC sia necessario l'utilizzo di DPI, quali ad esempio gli occhiali, all'ingresso deve essere esposto l'apposito segnale di prescrizione che nell'esempio fatto è ancora quello indicato nella Figura 2.

Figura 3	Figura 4
	
Pittogramma del Laser	Eventuale ulteriore targhetta per i Laser

Nel caso di un'area in cui sono presenti una o più sorgenti laser, l'area, secondo la norma CEI EN 60825-1, viene suddivisa in "Zone" come di seguito indicato:

- **Zona Laser Controllata (ZLC)** = zona dove la presenza e l'attività delle persone al suo interno sono regolate da apposite procedure di controllo al fine della protezione dai rischi da radiazione;
- **Zona Nominale Rischio Oculare (ZNRO)** = zona all'interno della quale l'irradiazione o l'esposizione energetica del fascio supera l'esposizione massima permessa (EMP) per la cornea; essa include la possibilità di errato puntamento accidentale del fascio laser. Se la ZNRO comprende la possibilità di visione assistita otticamente, viene detta "ZNRO estesa".

La ZNRO è inclusa all'interno della ZLC.

Se l'area è delimitata da pareti fisiche di qualsiasi natura che risultano una barriera per la radiazione laser, eventualmente incidente la ZLC può coincidere con la superficie individuata da tali pareti.

Nel caso di un'area non delimitata da pareti fisiche, deve essere implementato un accesso regolamentato all'interno della ZLC e della ZNRO.



Dispositivi di Protezione Individuale (DPI)

Al fine di proteggere i lavoratori dai rischi che possono provocare danni agli occhi e al viso, una volta identificati e valutati i rischi ed adottate tutte le misure concretamente attuabili per la loro eliminazione o riduzione, il datore di lavoro ha l'obbligo di adottare anche i dispositivi di protezione degli occhi e del viso più efficaci per contrastare i tipi di rischio presenti.

Per la protezione di occhi e viso si utilizzano occhiali (con oculare doppio o singolo), maschere (del tipo a scatola o a coppa) e ripari facciali (per saldatura o altro uso). I rischi per gli occhi e il viso riscontrabili in ambiente di lavoro possono essere suddivisi in rischi meccanici ed elettrici, rischi chimici e biologici e rischi da radiazioni; le norme tecniche di riferimento sono riportate in Tabella



Occhiali Protettivi Laser

Occhiali protettivi Luce Pulsata



NORMA	ARGOMENTO
UNI EN 166: 2004	Protezione personale dagli occhi - Specifiche
UNI EN 167: 2003	Protezione personale degli occhi - Metodi di prova ottici
UNI EN 168: 2003	Protezione personale degli occhi - Metodi di prova non ottici
UNI EN 169: 2003	Protezione personale degli occhi – Filtri per saldatura e tecniche connesse – Requisiti di trasmissione e utilizzazioni raccomandate
UNI EN 170: 2003	Protezione personale degli occhi - Filtri ultravioletti - Requisiti di trasmissione e utilizzazioni raccomandate
UNI EN 171: 2003	Protezione personale degli occhi - Filtri infrarossi – Requisiti di trasmissione e utilizzazioni raccomandate
UNI EN 172: 2003	Protezione personale degli occhi - Filtri solari per uso industriale
UNI EN 175: 1999	Protezione personale degli occhi – Equipaggiamenti di protezione degli occhi e del viso durante la saldatura e i procedimenti connessi
UNI EN 207: 2004	Protezione personale degli occhi - Filtri e protettori dell'occhio contro radiazioni laser (protettori dell'occhio per laser)
UNI EN 208: 2004	Protezione personale degli occhi - Protettori dell'occhio per i lavori di regolazione sui laser e sistemi laser (protettori dell'occhio per regolazione laser)
UNI EN 379: 2004	Protezione personale degli occhi – Filtri automatici per saldatura
UNI 10912: 2000	Dispositivi di protezione individuale - Guida per la selezione, l'uso e la manutenzione dei dispositivi di protezione degli occhi e del viso per attività lavorative.

a) Radiazioni ottiche incoerenti

I DPI destinati a prevenire gli effetti acuti e cronici delle radiazioni sull'occhio devono poter assorbire la maggior parte dell'energia irradiata nelle lunghezze d'onda nocive. Non devono alterare in modo eccessivo la trasmissione della parte non nociva dello spettro visibile, la percezione dei contrasti e la distinzione dei colori qualora le condizioni prevedibili d'impiego lo richiedano. Le lenti inoltre non devono deteriorarsi o perdere le loro proprietà per effetto dell'irraggiamento emesso in normali condizioni di impiego.

Tutti i dispositivi di protezione degli occhi e del viso da radiazioni ottiche appartengono almeno alla II categoria del DLgs.475/92 e pertanto comportano l'obbligo di una formazione specifica all'uso.

I dispositivi di protezione degli occhi e del viso, oltre alla marcatura CE, devono avere obbligatoriamente la marcatura specifica sia dell'oculare che della montatura, entrambe rappresentate da una sequenza orizzontale di lettere e numeri che stanno ad indicare le capacità protettive e le caratteristiche delle due parti del dispositivo. La nota informativa che accompagna il DPI contiene le spiegazioni che permettono di interpretare il significato della marcatura e si rivela particolarmente utile poiché la marcatura utilizza diversi codici alfanumerici stabiliti dalle norme tecniche specifiche.

L'oculare presenta un codice alfanumerico prima del marchio di identificazione del fabbricante che, se funzionale alla riduzione dell'esposizione a radiazioni ottiche incoerenti, nella prima posizione presenta un numero di scala che identifica il tipo di protezione da radiazioni luminose. Il numero di scala è una combinazione di numero di codice (che identifica la regione spettrale per la quale i filtri sono destinati) e numero di graduazione (che rappresenta la capacità del filtro di trattenere la radiazione incidente pericolosa), staccati da un trattino. Se compare un solo numero si deve intendere che si tratta di un protettore per saldatura (i relativi filtri non hanno infatti uno specifico numero di codice) e il singolo numero identificherà direttamente la graduazione.

Occorre infine ricordare che la protezione complessiva del lavoratore si avvale spesso di DPI che non riguardano solo la protezione di occhi e volto. Ad esempio, nelle lavorazioni che comportano l'esposizione dell'operatore alle radiazioni emesse da archi elettrici, torce al plasma, ecc. (radiazione UV, visibile e infrarossa) la protezione si attua prescrivendo al lavoratore di utilizzare, oltre alle maschere munite di idonei filtri o agli elmetti provvisti di filtri elettronici a cristalli liquidi, i guanti da saldatore e indumenti resistenti al calore (es.: grembiule). Per inciso occorre anche che nell'ambiente dove si lavora con tali protezioni il microclima sia regolato di conseguenza.

b) Radiazioni laser

I protettori oculari per radiazioni laser specifiche devono essere utilizzati in tutte le zone pericolose dove sono in funzione laser della classe 3B o 4.

La norma europea UNI EN 207 descrive i requisiti cui i filtri laser devono rispondere ed elenca i livelli protettivi possibili, indicati da un numero di graduazione espresso con il simbolo L, seguito da un numero da 1 a 10.

Per ogni livello protettivo è indicato il fattore spettrale massimo di trasmissione per lunghezza d'onda, nonché le densità di potenza e/o di energia utilizzata per i test di prova; tali test vengono eseguiti per le varie tipologie di laser (a onda continua, pulsata, a impulsi giganti e a impulsi a modo accoppiato), ognuna contraddistinta da una lettera identificativa (rispettivamente D, I, R e M).

Per calcolare il livello protettivo necessario ad un determinato laser, la norma tecnica sopra citata fornisce le formule necessarie ed una tabella di riferimento (riportata in Allegato 6 – Tabella A6-G) per poter eseguire gli opportuni calcoli; in alternativa, si consiglia di far riferimento ai fabbricanti di occhiali antilaser, fornendo tutte le caratteristiche del laser da cui ci si deve proteggere.

Oltre al livello protettivo, ai fini della scelta del dispositivo idoneo, è necessario prendere in considerazione anche:

- **la trasmissione luminosa per avere la visione più nitida possibile;**
- **il riconoscimento dei colori;**
- **il campo visivo che deve essere il più vasto possibile.**

Inoltre i protettori degli occhi devono restare aderenti al volto, permettendo comunque una ventilazione sufficiente per evitare l'appannamento. La montatura e i ripari laterali devono dare una protezione equivalente a quella assicurata dalle lenti.

È comunque opportuno precisare che, anche indossando un occhiale protettivo, non si deve per nessun motivo fissare il raggio; i test di prova effettuati sugli occhiali prevedono una resistenza dell'occhiale stesso per un periodo di almeno 10 secondi e per 100 impulsi.

Per quanto riguarda le operazioni di puntamento e allineamento del raggio laser esistono delle protezioni specifiche i cui requisiti sono specificati in un'altra norma tecnica, la UNI EN 208. Si tratta di occhiali che proteggono durante la regolazione di laser, con emissione nel campo spettrale visibile da 400 a 700 nm, in cui il raggio è visibile. Anche in questo caso, i filtri certificati secondo la norma appena citata non devono essere utilizzati per guardare direttamente nel raggio, ma solo per la protezione da impatto accidentale.

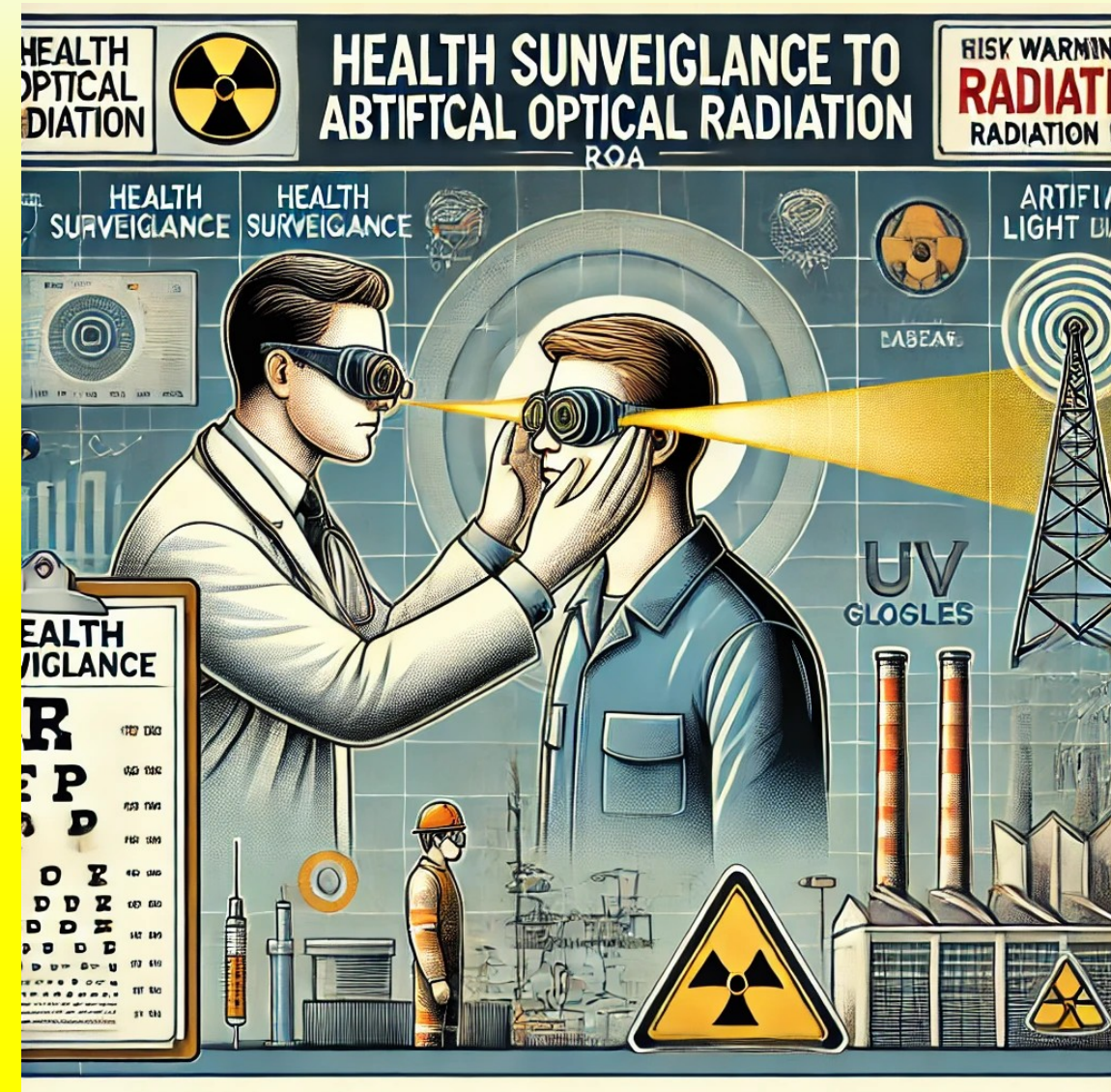
La stessa norma, come sempre, prevede una scala di protezioni: nella marcatura apposta sull'occhiale il livello protettivo è contrassegnato dalla lettera R, seguita da un numero di graduazione da 1 a 5.

Sorveglianza Sanitaria

Premesso che in ogni caso deve essere previsto un tempestivo controllo del Medico Competente ove si fosse riscontrata un'esposizione superiore ai valori limite, in considerazione del fatto che la sorveglianza sanitaria di cui all'art.218 del DLgs. 81/08 è effettuata con lo scopo di prevenire tutti gli effetti dannosi derivanti dall'esposizione, appare logico attivare gli accertamenti sanitari preventivi e periodici certamente per quei lavoratori che, sulla base dei risultati della valutazione del rischio, debbano indossare DPI di protezione degli occhi o della pelle in quanto altrimenti potrebbero risultare esposti a livelli superiori ai valori limite di legge (nonostante siano state adottate tutte le necessarie misure tecniche di prevenzione, mezzi di protezione collettiva nonché misure, metodi o procedimenti di riorganizzazione del lavoro). Con specifico riferimento alla radiazione ultravioletta e alla luce blu, possono essere messi in atto interventi mirati di sorveglianza sanitaria finalizzata alla prevenzione dei danni a lungo termine quando le esposizioni, anche se inferiori ai valori limite, si possono protrarre nel tempo (mesi, anni) (vedi Allegato 3).

La sorveglianza sanitaria è di norma annuale.

Per quanto riguarda i soggetti particolarmente sensibili, che potrebbero essere esposti ad un rischio significativo anche a valori inferiori ai limiti di legge, saranno individuate dal Medico Competente la periodicità dei controlli sanitari e le misure protettive specifiche da mettere in atto in relazione alla tipologia ed entità dell'esposizione ed alle condizioni di suscettibilità individuale emerse dal controllo sanitario.



Soggetti particolarmente sensibili al rischio

Viene di seguito fornito un elenco, da ritenersi non esaustivo, di soggetti particolarmente sensibili (ove non diversamente specificato si intende a tutto lo spettro ottico):

- donne in gravidanza: per quanto disposto agli artt.28 e 183 del DLgs.81/08 nonché all'art.11 del DLgs.151/01, in assenza di sicure informazioni reperibili nella letteratura scientifica, sarà cura del Medico Competente valutare l'eventuale adozione di cautele specifiche. Particolare attenzione va riservata alla possibile azione sinergica di condizioni microclimatiche e IR: per esempio nel caso di lavoratrici operanti in prossimità di forni;
- minorenni: in assenza di sicure informazioni reperibili nella letteratura scientifica, sarà cura del Medico Competente valutare l'eventuale adozione di cautele specifiche. Si ricorda comunque che la legislazione vieta di adibire gli adolescenti - ad eccezione dei casi derogati dalla competente Direzione Provinciale del Lavoro - alle lavorazioni, ai processi e ai lavori quali le lavorazioni nelle fonderie, la produzione dei metalli ferrosi e non ferrosi e loro leghe e la saldatura e taglio dei metalli con arco elettrico o con fiamma ossidrica o ossiacetilenica, che possono comportare esposizioni considerevoli a ROA;
- albinici e individui di fototipo 1 per esposizione a radiazioni UV;
- i portatori di malattie del collagene (Sclerodermia e Lupus Eritematoso nelle sue varie forme, dermatomiosite, poliartrite nodosa, sindrome di Wegener, sindrome antifosfolipidi, ecc.) per esposizioni a radiazioni UV;
- i soggetti in trattamento cronico o ciclico con farmaci fotosensibilizzanti (quali ad esempio: antibiotici come le tetracicline ed i fluorochinolonici; antinfiammatori non steroidei come l'ibuprofene ed il naprossene; diuretici come la furosemide; ipoglicemizzanti come la sulfonilurea; psoraleni; acido retinoico; acido aminolevulinico, neurolettici come le fenotiazine; antiaritmici come l'amiodarone); vedasi Tabella 2;
- i soggetti affetti da alterazioni dell'iride (colobomi, aniridie) e della pupilla (midriasi, pupilla tonica);
- i soggetti portatori di drusen (corpi colloidali) per esposizioni a luce blu;
- lavoratori che abbiano lesioni cutanee maligne o pre-maligne, per esposizioni a radiazioni UV;
- lavoratori affetti da patologie cutanee fotoindotte o fotoaggravate, per esposizioni a radiazioni UV e IR;
- lavoratori affetti da xeroderma pigmentosus, per esposizioni a radiazioni UV;
- soggetti epilettici per esposizioni a luce visibile di tipo intermittente, cioè tra i 15 e i 25 flash al secondo.

Ai fini della sorveglianza sanitaria devono essere cautelativamente considerati particolarmente sensibili al danno retinico di natura fotochimica i lavoratori che hanno subito un impianto IOL (Intra Ocular Lens; "cristallino artificiale"), in particolare se esposti a radiazioni tra 300 nm e 550 nm,.

La **luce blu** è una componente della luce visibile, con **lunghezze d'onda comprese tra circa 380 e 500 nanometri**. È una luce **ad alta energia** e viene emessa sia da **fonti naturali** (come il sole) che da **fonti artificiali**, come:

- schermi di computer, smartphone, tablet, TV;
- lampade LED e a fluorescenza.



Caratteristiche principali

- È **parte della luce visibile**: non è ultravioletta né infrarossa.
- Ha **energia più elevata** rispetto ad altri colori visibili (tranne il violetto).
- Penetra **in profondità nell'occhio**, fino alla **retina**.



Fonti principali

Fonte	Intensità di luce blu
Sole	Molto alta
Schermi digitali	Media
LED/lampade fredde	Variabile



Effetti sull'organismo



Effetti positivi:

- Regola il **ritmo circadiano** (sonno-veglia);
- Aumenta **attenzione e vigilanza** durante il giorno;
- Usata in alcune **terapie della depressione stagionale**.



Effetti negativi (esposizione eccessiva):

- Affaticamento visivo digitale** (bruciore, secchezza, mal di testa);
- Disturbi del sonno** se usata la sera (inibisce la melatonina);
- Possibile danno retinico** a lungo termine (ipotesi in studio, non ancora dimostrata con certezza).



Protezione e consigli pratici

- Attivare il **filtro luce blu** su smartphone e PC (modalità "notte");
- Ridurre l'uso di schermi prima di dormire;
- Usare **occhiali con filtro luce blu**, se si lavora molte ore al computer;
- Preferire **luci calde** nelle ore serali.