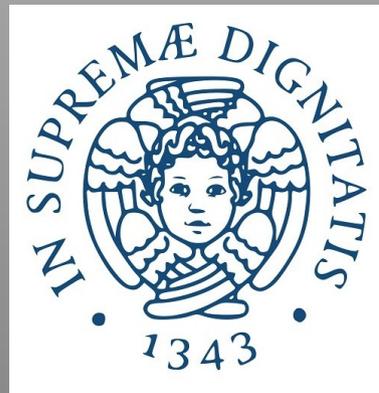


PROTEZIONE DAI RISCHI DI ESPOSIZIONE A RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

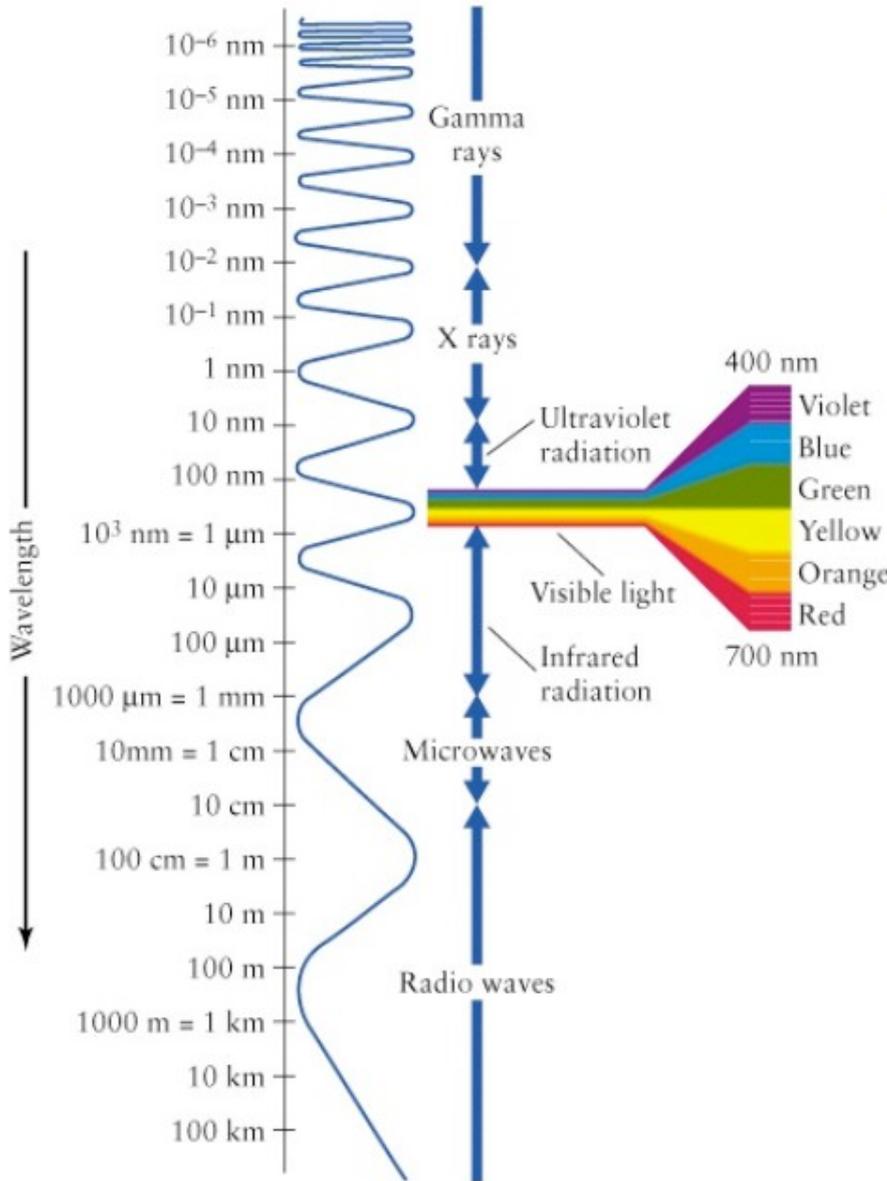
10 luglio 2018

ENRICO MACCIONI

**Dipartimento di Fisica
Università di Pisa**



Spettro elettromagnetico



RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

ROA

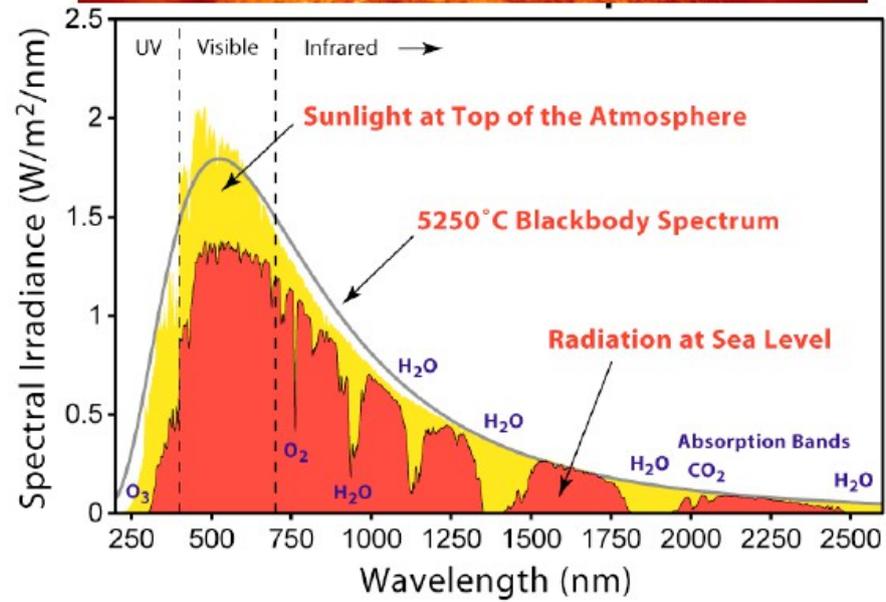
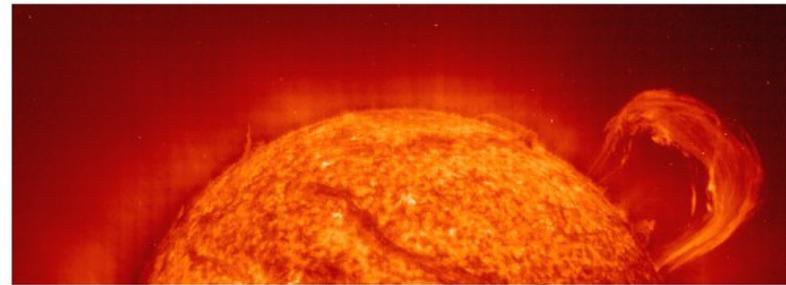
<i>Banda</i>	IR-C	IR-B	IR-A	VISIBILE	UV-A	UV-B	UV-C
λ (nm)	$10^6 \div 3000$	$3000 \div 1400$	$1400 \div 780$	$780 \div 400$	$400 \div 315$	$315 \div 280$	$280 \div 100$
ν (GHz)	$300 \div 0,4 \times 10^6$			$0,4 \times 10^6 \div 0,75 \times 10^6$	$0,75 \times 10^6 \div 3 \times 10^6$		
E (eV)	$\sim 10^{-3} \div 1,6$			$1,6 \div 3,3$	$3,3 \div 12$		

Tutte le radiazioni elettromagnetiche di origine artificiale di lunghezza d'onda compresa tra 1mm e 100 nm

AL LIVELLO DEL MARE LA DENSITA' DI POTENZA DELL'IRRAGGIAMENTO

SOLARE E' CIRCA $1 \text{ kW} / \text{m}^2$

Il Sole

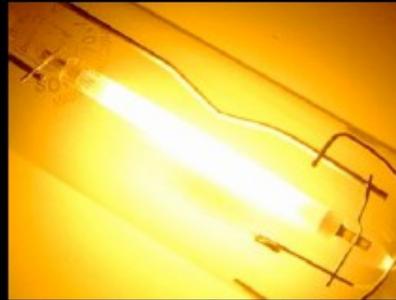


Sorgenti artificiali

a incandescenza



a scarica



a fluorescenza



LED



INCOERENTI

COERENTI

LASER



LA NORMATIVA NON E' LEGGE

ma stabilisce le regole di buona tecnica per garantire la salute e la sicurezza dei lavoratori

Direttiva 2006/25/CE

Dlgs 81/2008

Norme e Guide CEI

Art. 215.

Valori limite di esposizione

1. I valori limite di esposizione per le radiazioni incoerenti sono riportati nell'allegato XXXVII, parte I.
2. I valori limite di esposizione per le radiazioni laser sono riportati nell'allegato XXXVII, parte II.

Art. 216.

Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi

..il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura e/o calcola i livelli delle radiazioni ottiche a cui possono essere esposti i lavoratori.

La metodologia seguita nella valutazione, nella misurazione e/o nel calcolo rispetta le norme della Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC), per quanto riguarda le radiazioni laser...

... la valutazione tiene conto dei dati indicati dai fabbricanti delle attrezzature, se contemplate da pertinenti direttive comunitarie di prodotto.

Art. 217.

Disposizioni miranti ad eliminare o a ridurre i rischi

1. ... il datore di lavoro definisce e attua un programma d'azione che comprende **misure tecniche e/o organizzative** destinate ad evitare che l'esposizione superi i valori limite, tenendo conto in particolare:

....

c) delle misure tecniche per **ridurre l'emissione** delle radiazioni ottiche, incluso, quando necessario, l'uso di dispositivi di sicurezza, schermatura o analoghi meccanismi di protezione della salute;

d) degli opportuni programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei luoghi e delle postazioni di lavoro;

e) della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro;

f) della **limitazione della durata e del livello dell'esposizione**;

g) della disponibilità di adeguati **dispositivi di protezione individuale**;

h) delle istruzioni del fabbricante delle attrezzature.

Art. 217.

Disposizioni miranti ad eliminare o a ridurre i rischi

2. In base alla valutazione dei rischi di cui all'articolo 216, i luoghi di lavoro in cui i lavoratori potrebbero essere esposti a livelli di radiazioni ottiche che superino i valori di azione devono essere indicati con un'**apposita segnaletica**. Dette **aree** sono inoltre identificate e l'**accesso** alle stesse e' **limitato**, laddove ciò sia tecnicamente possibile.

Norma CEI 76-10

Linee Guida IEC 62471

4 Gruppi di rischio applicati per le valutazioni della sicurezza della radiazione ottica

4.1 Principio per la classificazione della sicurezza della radiazione ottica

La IEC 62471 fornisce il metodo per determinare il gruppo di rischio di qualsiasi lampada o prodotto che incorpora una lampada. I gruppi di rischio nella IEC 62471 indicano il grado di rischio derivante dai potenziali pericoli della radiazione ottica e riduce al minimo la necessità di ulteriori misure. I gruppi di rischio sono stati sviluppati basandosi sull'esperienza decennale dell'utilizzo di una lampada e sull'analisi delle lesioni accidentali correlate all'emissione della radiazione ottica (dove le lesioni erano principalmente alquanto rare eccetto per le lampade che emettono radiazione ultravioletta o lampade ad arco). Ci sono quattro gruppi di rischio base:

- Gruppo Esente (RG 0), quando ragionevolmente non si prevede nessun rischio ottico, anche per un uso continuo e illimitato. Esempi tipici sono la maggior parte delle lampade ad incandescenza opali e lampade a fluorescenza utilizzate in applicazioni domestiche;
- Gruppo di Rischio 1 (RG 1), prodotti che sono sicuri per la maggior parte delle applicazioni di utilizzo, fatta eccezione per esposizioni molto prolungate dove possono essere previste esposizioni oculari dirette. Un esempio di un prodotto di Gruppo di Rischio 1 è una torcia domestica a batteria (torcia elettrica);
- Gruppo di Rischio 2 (RG 2), prodotti che generalmente non presentano un rischio ottico realistico se le reazioni di avversione limitano la durata dell'esposizione o quando esposizioni lunghe non sono realistiche;
- Gruppo di Rischio 3 (RG 3), prodotti che presentano un potenziale pericolo anche per esposizioni momentanee, e quando i requisiti di sicurezza del sistema sono essenziali.

La IEC 62471 non fornisce requisiti costruttivi e misure di controllo. Queste problematiche dovrebbero essere affrontate nelle Norme verticali secondo l'applicazione specifica (vedi 4.3.3). Tuttavia, al fine di fornire un approccio coerente su tutti i prodotti, in questo rapporto tecnico vengono delineati i requisiti (non normativi) di etichettatura (vedi 5.4).

ETICHETTATURA LAMPADE / LED

1/2

Norma CEI 76-10

Tabella 1 – Etichettatura dei gruppi di rischio dei sistemi di lampada in relazione al pericolo

Rischio	Gruppo di Rischio Esente	Gruppo di Rischio 1	Gruppo di Rischio 2	Gruppo di Rischio 3
Rischio ultravioletto da 200 nm a 400 nm	Non richiesta	AVVISO UV emessi da questo prodotto	ATTENZIONE UV emessi da questo prodotto	AVVERTENZA UV emessi da questo prodotto
Rischio retinico da luce blu da 300 nm a 400 nm	Non richiesta	Non richiesta	ATTENZIONE Possibile radiazione ottica rischiosa emessa da questo prodotto	AVVERTENZA Possibile radiazione ottica rischiosa emessa da questo prodotto
Rischio retinico da luce blu o rischio termico da 400 nm a 780 nm	Non richiesta	Non richiesta	ATTENZIONE Possibile radiazione ottica rischiosa emessa da questo prodotto	AVVERTENZA Possibile radiazione ottica rischiosa emessa da questo prodotto
Rischio infrarosso per la cornea/cristallino da 780 nm a 3 000 nm	Non richiesta	AVVISO IR emessi da questo prodotto	ATTENZIONE IR emessi da questo prodotto	AVVERTENZA IR emessi da questo prodotto
Rischio retinico termico, stimolo visivo debole da 780 nm a 1 400 nm	Non richiesta	AVVERTENZA IR emessi da questo prodotto	AVVERTENZA IR emessi da questo prodotto	AVVERTENZA IR emessi da questo prodotto

ETICHETTATURA LAMPADE / LED Norma CEI 76-10

Tabella 2 – Spiegazione delle informazioni di etichettatura e guida sulle misure di controllo

Rischio	Gruppo di Rischio Esente	Gruppo di Rischio 1	Gruppo di Rischio 2	Gruppo di Rischio 3
Rischio ultravioletto da 200 nm a 400 nm	Non richiesta	Ridurre al minimo l'esposizione di occhi o cute. Utilizzare schermi appropriati.	L'esposizione può provocare irritazione agli occhi o alla cute. Utilizzare schermi appropriati.	Evitare l'esposizione di occhi e cute al prodotto non schermato.
Rischio retinico da luce blu da 300 nm a 400 nm	Non richiesta	Non richiesta	Non fissare la lampada in funzione. Può essere pericoloso per gli occhi.	Non guardare la lampada in funzione. Può provocare una lesione oculare.
Rischio retinico da luce blu o rischio termico da 400 nm a 780 nm	Non richiesta	Non richiesta	Non fissare la lampada in funzione. Può essere pericoloso per gli occhi.	Non guardare la lampada in funzione. Può provocare una lesione oculare.
Rischio infrarosso per la cornea/cristallino da 780 nm a 3 000 nm	Non richiesta	Utilizzare schermi appropriati o protezioni per gli occhi.	Evitare l'esposizione degli occhi. Utilizzare schermi appropriati o protezioni per gli occhi.	Evitare l'esposizione degli occhi. Utilizzare schermi appropriati o protezioni per gli occhi.
Rischio retinico termico, stimolo visivo debole da 780 nm a 1 400 nm	Non richiesta	Non fissare la lampada in funzione.	Non fissare la lampada in funzione.	Non guardare la lampada in funzione.

Esempio di etichettatura

RISK GROUP 3
WARNING IR emitted from this product. Do not look at operating lamp
CAUTION UV emitted from this product. Eye or skin irritation may result from exposure. Use appropriate shielding

Limiti di Emissione per Sorgenti NON Coerenti

Tabella 6.1 Limiti di emissione per i gruppi di rischio per le lampade a onda continua

Rischio	Spettro di azione	Simbolo	Limiti di emissione			Unità
			Esente	Rischio basso	Rischio moderato	
UV Attinico	$S_{UV}(\lambda)$	E_s	0,001	0,003	0,03	$W \cdot m^{-2}$
Vicino UV		E_{UVA}	10	33	100	$W \cdot m^{-2}$
Luce blu	$B(\lambda)$	L_B	100	10000	4000000	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Luce blu sorgente piccola	$B(\lambda)$	E_B	1,0*	1,0	400	$W \cdot m^{-2}$
Termico retinico	$R(\lambda)$	L_R	$28000/\alpha$	$28000/\alpha$	$71000/\alpha$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Termico retinico, stimolo visivo debole **	$R(\lambda)$	L_{IR}	$6000/\alpha$	$6000/\alpha$	$6000/\alpha$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Radiazione IR, occhio		E_{IR}	100	570	3200	$W \cdot m^{-2}$

* Sorgente piccola definita come avente $\alpha < 0,011$ radianti. Il campo di vista a 10000 s è 0,1 radianti

** Comporta la valutazione di una sorgente non GLS.

NOTA Funzioni di azione: vedere Tabella 4.1 e Tabella 4.2
 Diametri dell'apertura applicabili: vedere 4.2.1
 Limitazioni per gli angoli sottesi: vedere 4.2.2
 Condizioni di misura 5.2.3 e gamma degli angoli di accettazione: vedere Tabella 5.5.

VLE per radiazioni ottiche non coerenti (All. XXXVII parte 1 Dlgs 81/2008)

Tabella 1.1
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 ⁻²]		occhio: cornea congiuntiva cristallino cute	Foto cheratite Congiuntivite Catarattogenesi eritema elastosi tumore della cute catarrattogenesi
b.	315-400 (UVA)	$H_{UVA} = 10^3$ Valore giornaliero 8 ore	[J m ⁻²]		occhio: cristallino	
c.	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$L_b = \frac{10^6}{t}$ Per $t \leq 10000$ s	L_b : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [secondi]	Per $\alpha \geq 11$ mrad	occhio: retina	fotoretinite
d.	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$L_b = 100$ Per $t > 10000$ s	[W m ⁻² sr ⁻¹]			
e.	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$E_s = \frac{100}{t}$ Per $t \leq 10000$ s	E_s : [W m ⁻²] t: [secondi]	Per $\alpha < 11$ mrad Cfr. nota 2		
f.	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$E_s = 0,01$ t > 10000 s	[W m ⁻²]			
g.	380-1400 (Visibile e IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_a}$ Per $t > 10$ s	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$C_a = 1,7$ per $\alpha \leq 1,7$ mrad $C_a = \alpha$ per $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad	occhio: retina	ustione retina
h.	380-1400 (Visibile e IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a \cdot t^{0,25}}$ Per $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [secondi]	$C_a = 100$ per $\alpha > 100$ mrad $\lambda_1 = 380$; $\lambda_2 = 1400$		
i.	380-1400 (Visibile e IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ Per $t < 10 \mu s$	[W m ⁻² sr ⁻¹]			
j.	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_a}$ Per $t > 10$ s	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$C_a = 11$ per $\alpha = 11$ mrad	occhio: retina	ustione retina
k.	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a \cdot t^{0,25}}$ Per $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [secondi]	$C_a = \alpha$ per $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_a = 100$ per $\alpha > 100$ mrad (campo di vista per la misurazione: 11 mrad)		
l.	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ Per $t < 10 \mu s$	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$\lambda_1 = 780$; $\lambda_2 = 1400$		
m.	780-3000 (IRA e IRB)	$E_{IR} = 18000 t^{-0,75}$ Per $t \leq 1000$ s	E: [W m ⁻²] t: [secondi]		occhio: cornea cristallino	ustione cornea catarrattogenesi
n.	780-3000 (IRA e IRB)	$E_{IR} = 100$ Per $t > 1000$ s	[W m ⁻²]			
o.	380-3000 (Visibile, IRA e IRB)	$H_{skin} = 20000 t^{0,75}$ Per $t < 10$ s	H: [J m ⁻²]		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.

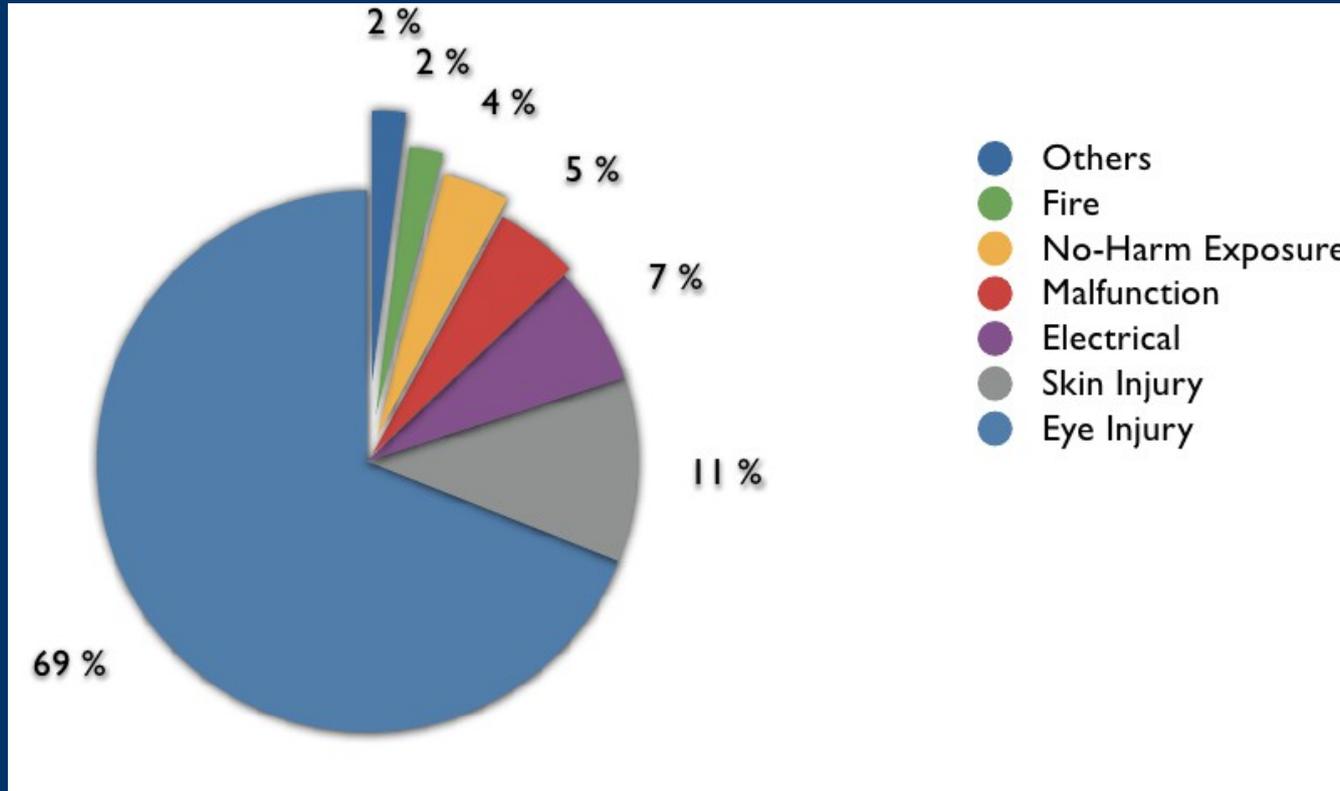
Nota 2: Per la fissazione costante di sorgenti piccolissime che sottendono angoli < 11 mrad, L_b può essere convertito in E_s . Ciò si applica di solito solo agli strumenti oftalmici o all'occhio stabilizzato sotto anestesia. Il «tempo di fissazione» massimo è dato da $t_{max} = 100/E_s$ dove E_s è espressa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

Rischio LASER **e** **Sicurezza**



Incidenti LASER

Tipologia

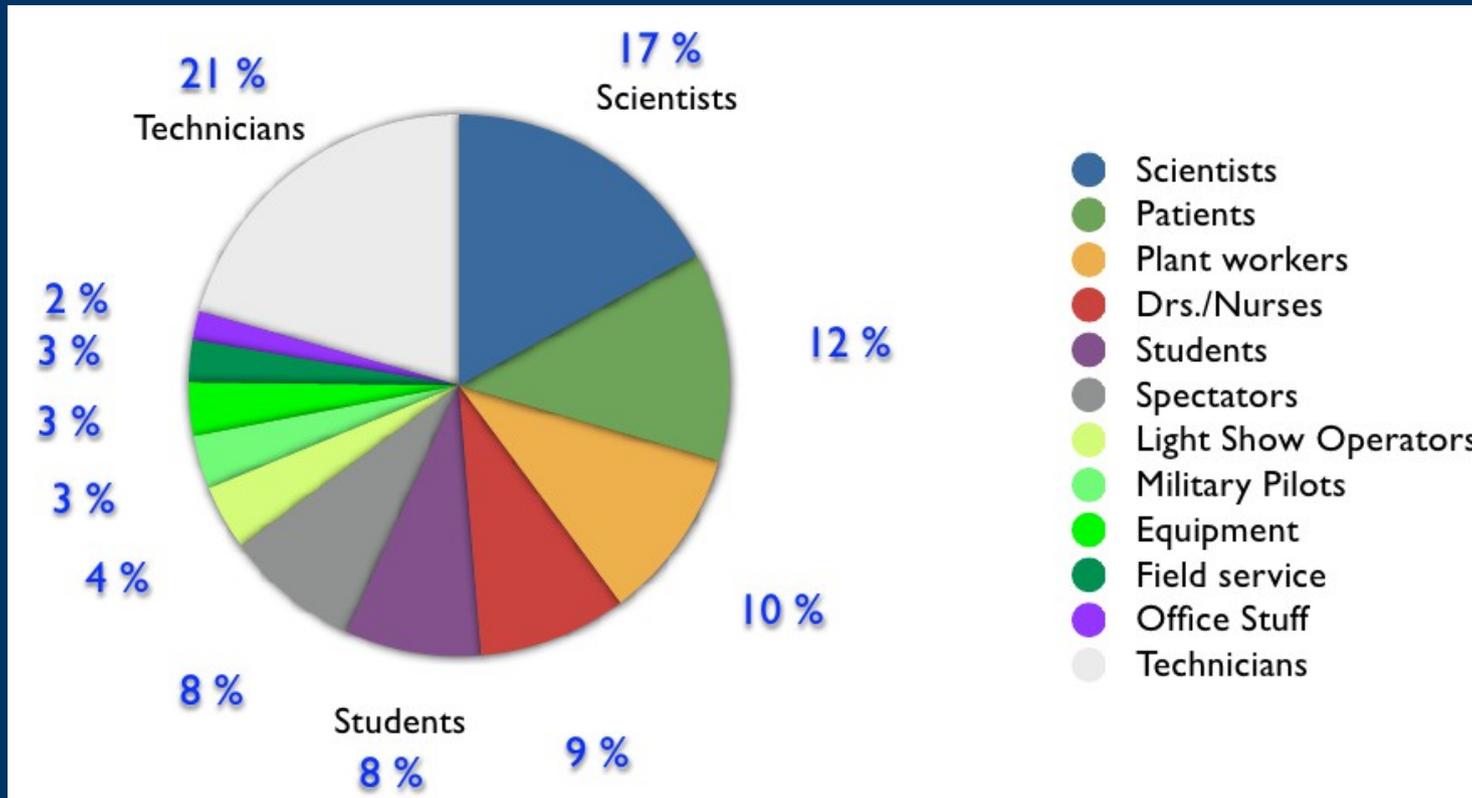


Totale di circa 300 eventi per tipologia in 30 anni

from Rockwell Lasers Industries, Inc.
[2004]

Incidenti LASER

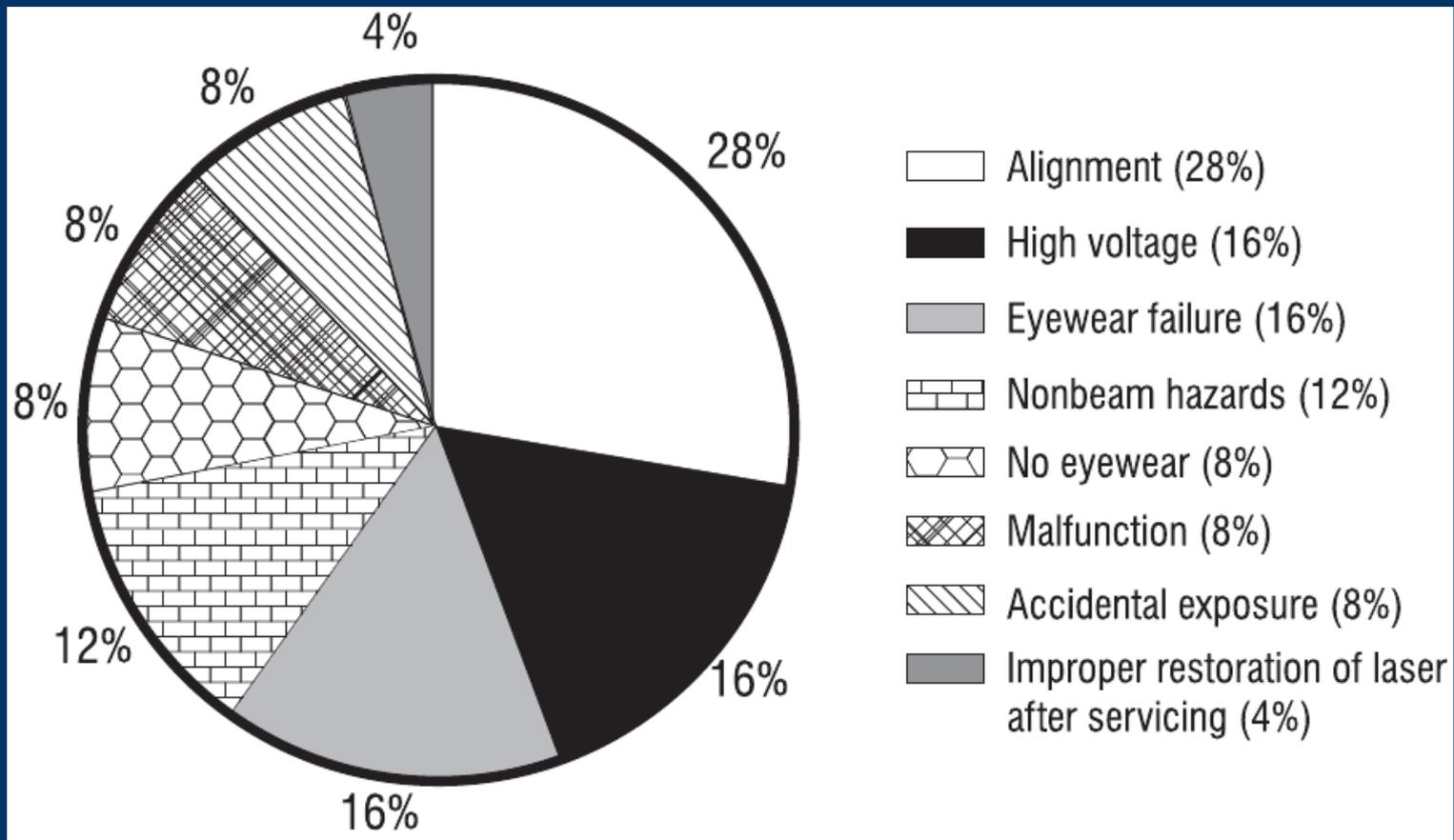
Vittime



from Rockwell Lasers Industries, Inc.
[2004]

Incidenti LASER

Cause

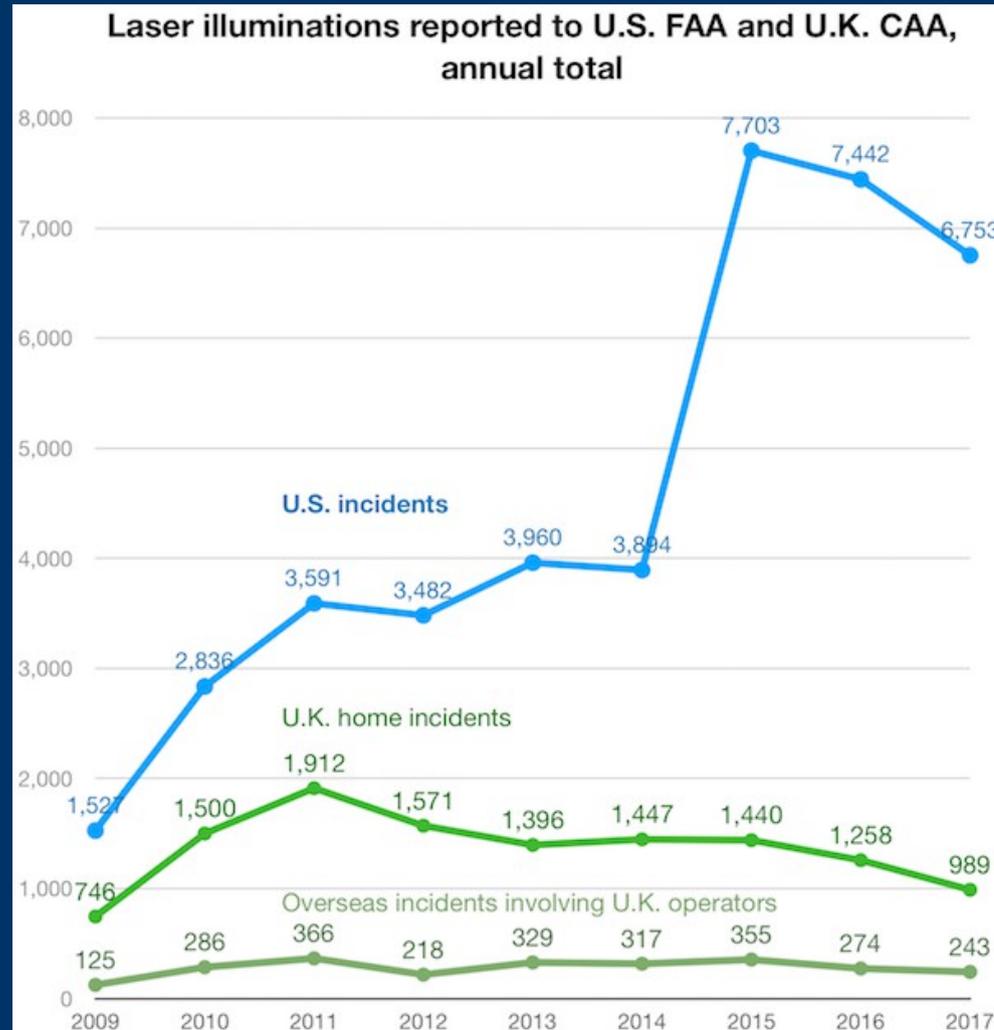


from Rockwell Lasers Industries, Inc.
[2004]

EPISODI DI ABBAGLIAMENTO LASER

RIFERITI DAI CONDUCENTI DI VEICOLI, AEREI COMPRESI

(in circa 1% dei casi si sono avuti danni effettivi agli occhi o a cose o persone)



Sommario

1. Radiazione LASER

Proprietà e rischi associati

2. Meccanismi di danneggiamento

Gli occhi

La pelle

3. Normativa

Definizioni e riferimenti

4. Rischio Laser

Tipologie ed esempi

5. Rischi non-ottici

Elettrico, Chimico, Meccanico



Sole



$$I = 1 \text{ kW/m}^2 = 1 \text{ mW/mm}^2$$

Pupil diameter = 2 mm, pupil area = 3 mm²

Power entering the eye: 3 mW

Retinal Image 0.0003 mm²

$$I = 3 \text{ mW} / 0.0003 \text{ mm}^2 = 10 \text{ W/mm}^2$$

He-Ne laser or Laser pointer

$P = 3 \text{ mW}$; Spot diam. 2 mm

$$A = 3 \text{ mm}^2$$

Retinal Image dimension $3 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$

Intensity on the retina = 10 W/mm²



E' la stessa intensità del sole !

Rischio diretto

Esposizione diretta al fascio laser. La natura del danno causato, così come il livello di soglia, dipendono da vari parametri:

lunghezza d'onda

divergenza del fascio

tempo di esposizione

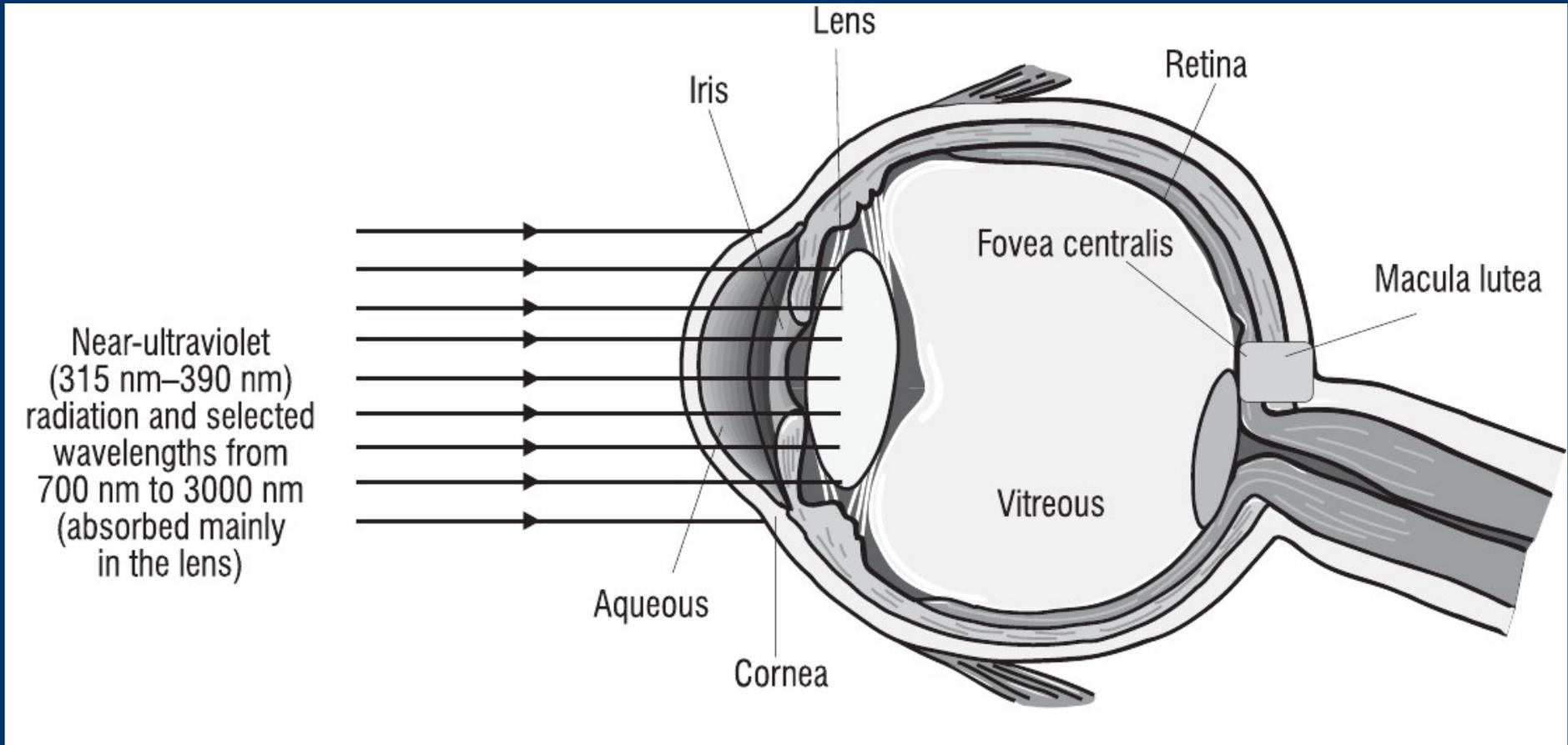
Per laser impulsati si devono considerare anche:

lunghezza (temporale) dell'impulso

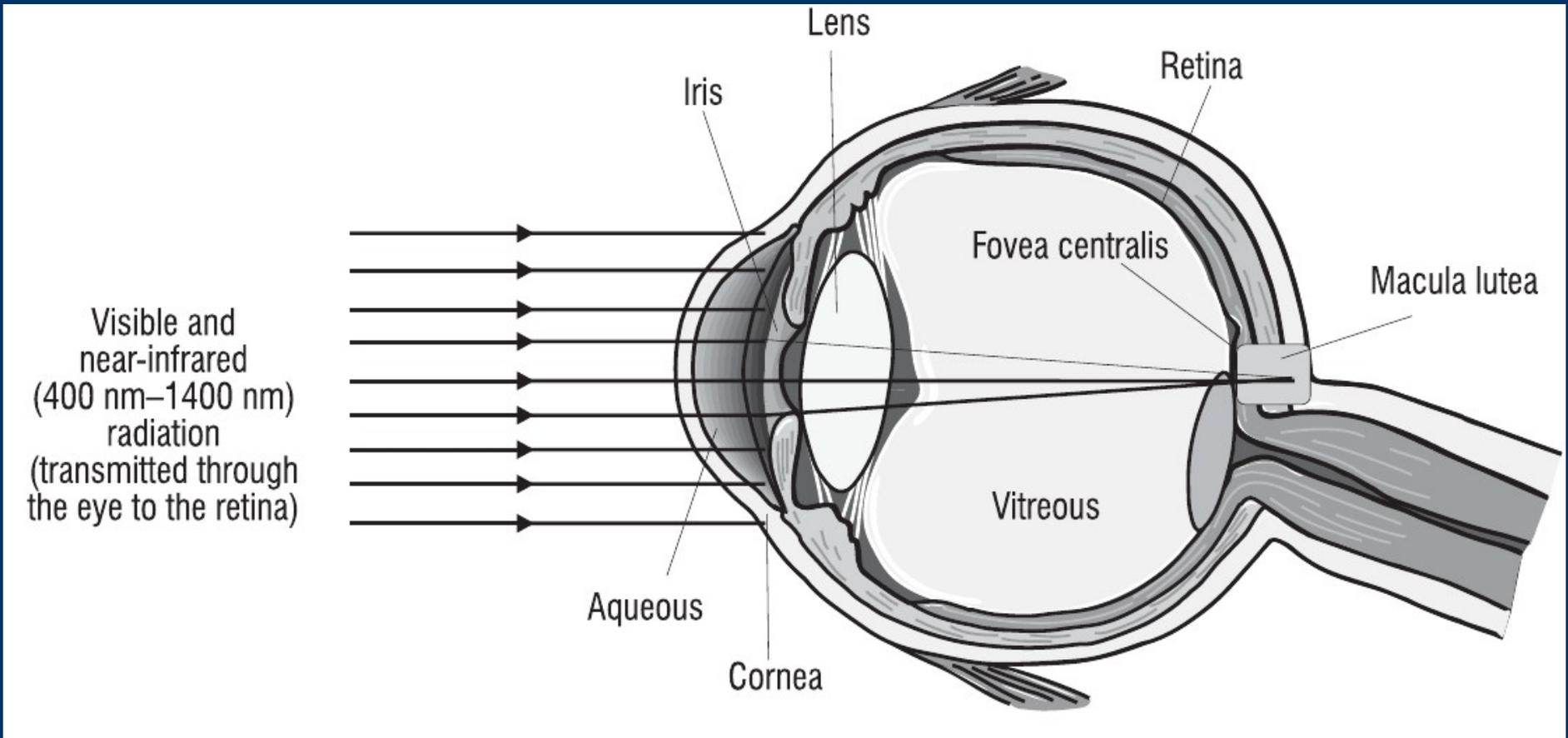
frequenza di ripetizione dell'impulso



Rischio oculare 1/2



Rischio oculare 2/2



Danni alla pelle

Avendo a che fare con sistemi laser di alta potenza, non deve essere trascurata la possibilità di danni alla pelle. In particolare **con i laser ultra-violetti** la pelle non protetta può essere esposta a livelli di irraggiamento pericolosi.



Danni alla pelle

Pigmentazione ed Eritema

UV-A (0.315 μm -0.400 μm)

Possibilità di Carcinogenesi

L'esposizione agli UV-B (0.280 μm - 0.315 μm) è la più pericolosa per la pelle. In aggiunta al danno puramente termico (bruciatura), c'è la possibilità di carcinogenesi direttamente sul DNA o su strutture intra-cellulari.

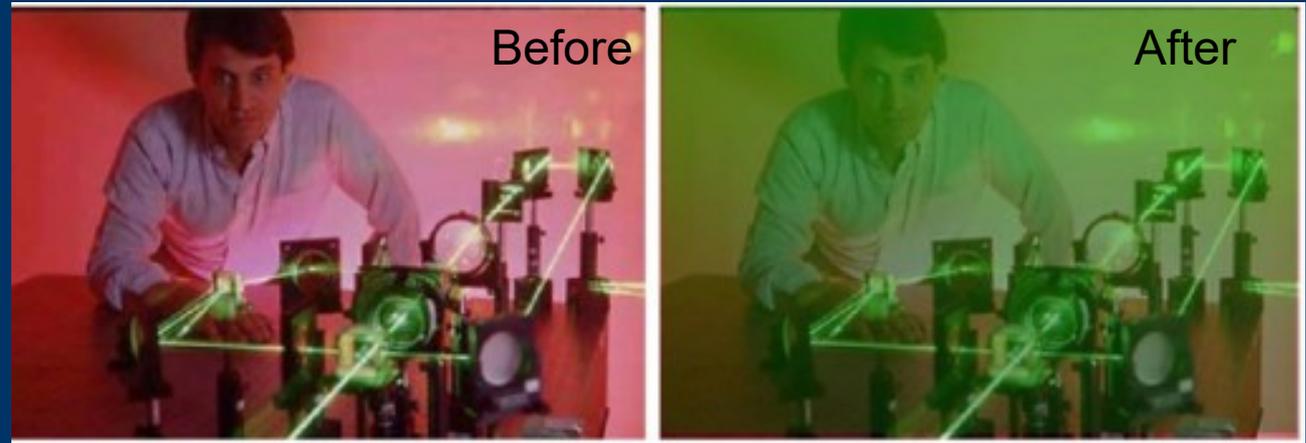
Scurimento del pigmento

L'esposizione alla UV-C più corta (0,200 μm -0,280 μm) e le gamme UV-A più lunghe sembrano meno dannose per la pelle umana. Le lunghezze d'onda più corte vengono assorbite negli strati morti esterni dell'epidermide (strato corneo) e le lunghezze d'onda più lunghe hanno un iniziale effetto di scurimento del pigmento seguito da eritema se vi è esposizione a livelli eccessivi.

SINTOMI

Vista:

Flash e immagine
a colori invertiti



Sensazione:

Bruciore della cornea



PROCEDURE DI EMERGENZA

Spengere il laser



Switch off the driver



Unplug
power supply



Post a message

Chiedere assistenza medica



118



NORMATIVE SICUREZZA LASER

CEI EN608251

Regolamentazione europea per la sicurezza dei prodotti laser che emettono radiazioni laser nell'intervallo di lunghezze d'onda da 180 nm a 1 mm

Direttiva 2006/25/CE

In merito ai requisiti minimi di sicurezza e di salute relativi all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche artificiali)

Decreto legge 81/2008

Regolamentazione italiana della salute e sicurezza sul lavoro
Protezione dalle radiazioni ottiche artificiali (LED, laser, lampade)

Sicurezza laser: art. 215, 216, 217, 218

Art. 218 c. 1

Sorveglianza sanitaria

La sorveglianza sanitaria viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità inferiore decisa dal medico competente con particolare riguardo ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio, tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi trasmessi dal datore di lavoro. La sorveglianza sanitaria è effettuata con l'obiettivo di prevenire e scoprire tempestivamente effetti negativi per la salute, nonché prevenire effetti a lungo termine negativi per la salute e rischi di malattie croniche derivanti dall'esposizione a radiazioni ottiche.

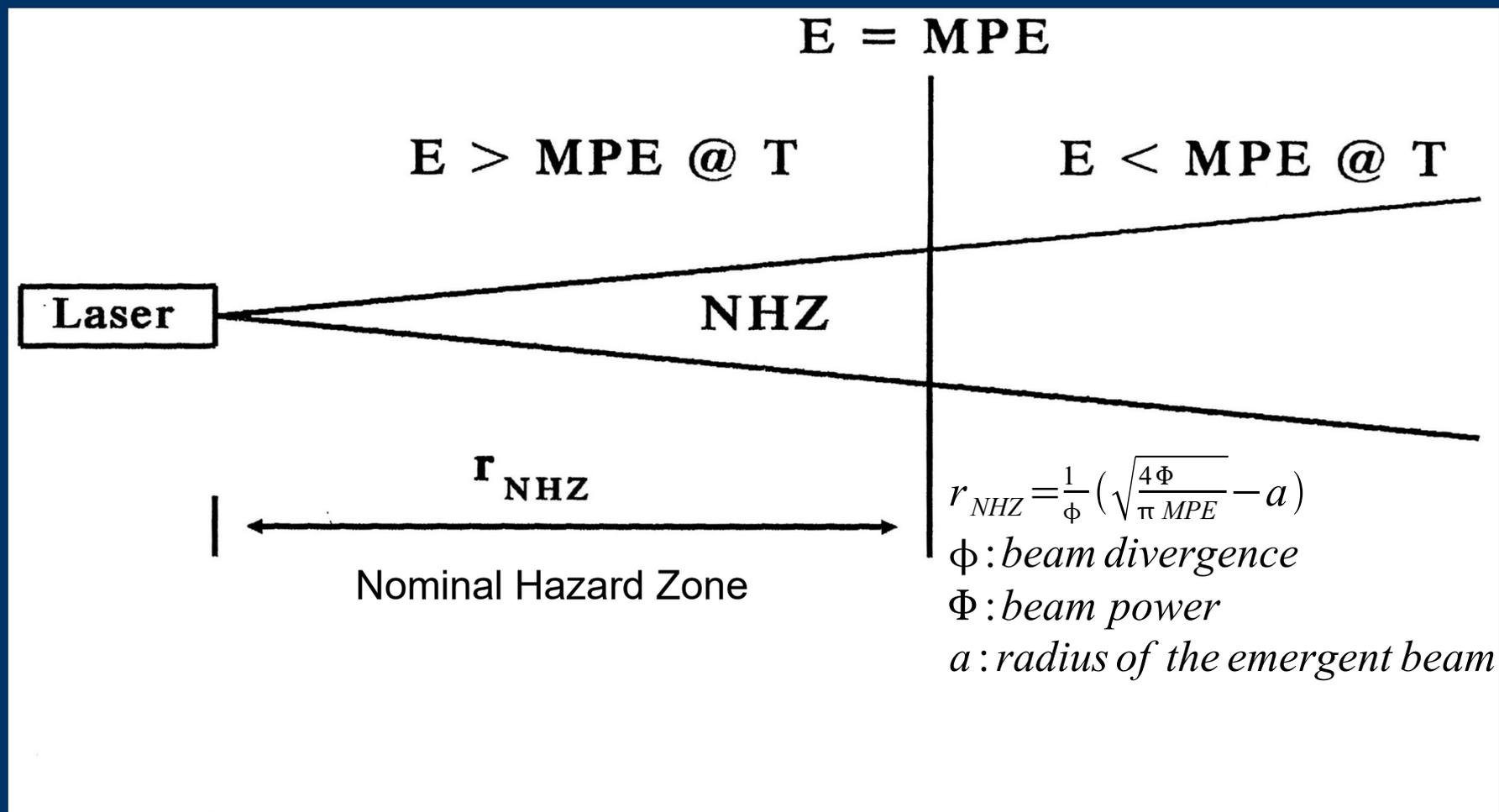
Sorveglianza sanitaria

(richiesta anche a scopi assicurativi)

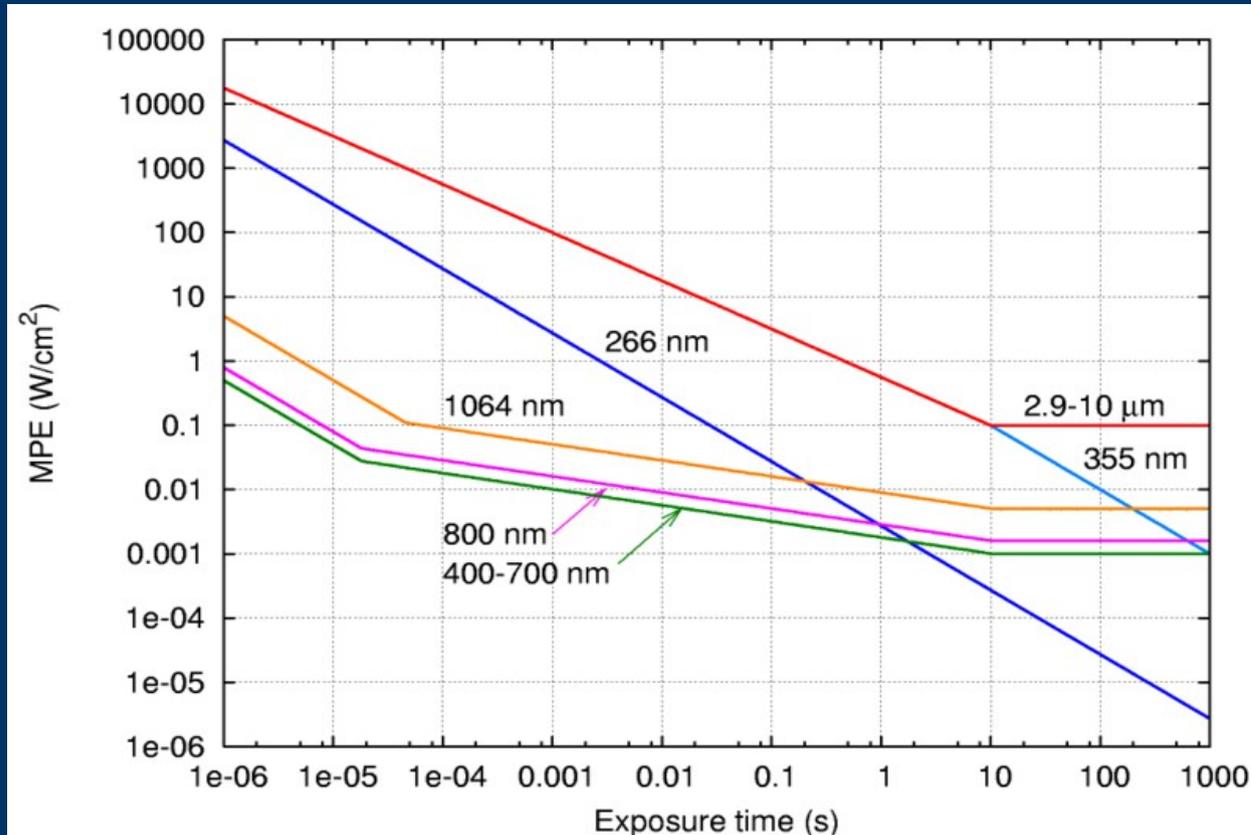
- Visita medica iniziale
(prima di iniziare l'attività nel laboratorio laser)
 - Controllo periodico da specialista (ogni anno)
 - Esame medico prima di terminare l'attività
-
-

Esposizione Massima Permissa (EMP)

E' la massima potenza o densità di energia (in W / cm^2 o J / cm^2) di una sorgente luminosa considerata sicura (NON DIPENDE DAL TIPO SPECIFICO DEL LASER)

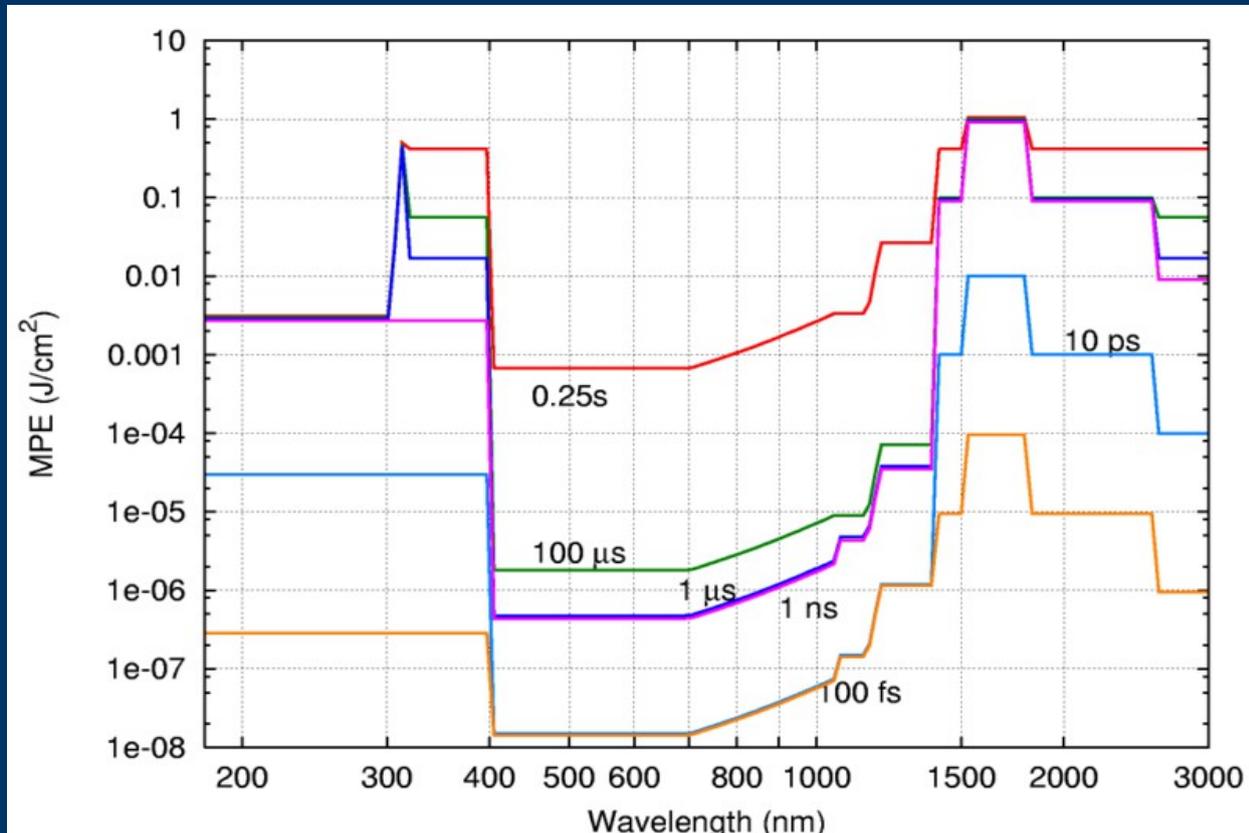


Laser Continui



EMP come densità di potenza in funzione del tempo di esposizione

Laser Impulsati



EMP come densità di energia in funzione della l. d'onda per varie durate di impulso

NORMA CEI 76/11

EMP / MPE

Table 5 – Maximum permissible exposure (MPE) at the cornea for direct exposure to laser radiation

Wavelength λ in nm	Exposure time t in seconds (s)											
	10 ⁻¹³ to 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ to 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ to 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ to 1,8 × 10 ⁻⁵	1,8 × 10 ⁻⁵ to 5 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵ to 1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³ to 10	10	10 ² to 10 ⁴	10 ³ to 3 × 10 ⁴		
180 to 302,5	30 J·m ⁻²											
302,5 to 315	3 × 10 ¹⁰ W·m ⁻²		(t ≤ T ₁) C ₁ J·m ⁻²				C ₂ J·m ⁻² (t > T ₁)				C ₂ J·m ⁻²	
315 to 400			C ₁ J·m ⁻²				10 ⁴ J·m ⁻²		10 W·m ⁻²			
400 to 450 ^a	1,5 × 10 ⁻⁴ J·m ⁻²	2,7 × 10 ⁴ t ^{0,75} J·m ⁻²	5 × 10 ⁻³ J·m ⁻²	18 t ^{0,75} J·m ⁻²	100 J·m ⁻²		C ₃ W·m ⁻²					
450 to 500 ^a					100 C ₃ J·m ⁻² and ^b 10 W·m ⁻²							
500 to 700 ^a					10 W·m ⁻²							
700 to 1 050 ^a	1,5 × 10 ⁻⁴ C ₄ J·m ⁻²	2,7 × 10 ⁴ t ^{0,75} C ₄ J·m ⁻²	5 × 10 ⁻³ C ₄ J·m ⁻²	18 t ^{0,75} C ₄ J·m ⁻²		10 C ₄ C ₇ W·m ⁻²						
1 050 to 1 400 ^a	1,5 × 10 ⁻³ C ₇ J·m ⁻²	2,7 × 10 ⁵ t ^{0,75} C ₇ J·m ⁻²	5 × 10 ⁻² C ₇ J·m ⁻²		90 t ^{0,75} C ₇ J·m ⁻²		1 000 W·m ⁻²					
1 400 to 1 500	10 ¹² W·m ⁻²		10 ³ J·m ⁻²		5 600 t ^{0,25} J·m ⁻²							
1 500 to 1 800	10 ¹³ W·m ⁻²		10 ⁴ J·m ⁻²									
1 800 to 2 600	10 ¹² W·m ⁻²		10 ³ J·m ⁻²		5 600 t ^{0,25} J·m ⁻²							
2 600 to 10 ⁶	10 ¹¹ W·m ⁻²		100 J·m ⁻²	5 600 t ^{0,25} J·m ⁻²								

NOTE 1 For correction factors and units, see Table 8.

NOTE 2 The MPEs for exposure times below 10⁻⁹ s and for wavelengths less than 400 nm and greater than 1 400 nm have been derived by calculating the equivalent irradiance from the radiant exposure limits at 10⁻⁹ s. The MPEs for exposure times below 10⁻¹³ s at all wavelengths are set to be equal to the equivalent irradiance values of the MPEs at 10⁻¹³ s.

^a The MPEs given in this table for the wavelength range 400 to 1 400 nm (the retinal hazard region) apply to apparent source sizes no greater than 1,5 mrad. (This covers the direct viewing of most single laser sources.) Increased limits that are applicable to larger sources (such as certain multiple sources or diffuse reflections) are given in Table 6.

^b In the wavelength range between 450 nm and 500 nm, dual limits apply for exposure durations from 10 to 100 s and the exposure must not exceed either limit applicable.

ESPOSIZIONE MASSIMA PERMESSA PER LA PELLE

Norma CEI 76 - 11

Table 7 – Maximum permissible exposure (MPE) of skin to laser radiation

Wavelength λ in nm	Exposure time t in seconds (s)					
	$<10^{-9}$	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to 10^{-3}	10^{-3} to 10	10 to 10^3	10^3 to 3×10^4
180 to 302,5				30 J·m ⁻²		
302,5 to 315	3×10^{10} W·m ⁻²	C ₁ J·m ⁻² ($t > T_1$)			C ₂ J·m ⁻² ($t > T_1$)	
315 to 400					C ₂ J·m ⁻²	
400 to 700	2×10^{11} W·m ⁻²	200 J·m ⁻²		$1,1 \times 10^4 t^{0,25}$ J·m ⁻²	2 000 W·m ⁻²	
700 to 1 400	2×10^{11} C ₄ W·m ⁻²	200 C ₄ J·m ⁻²		$1,1 \times 10^4 C_4 t^{0,25}$ J·m ⁻²	2 000 C ₄ W·m ⁻²	
1 400 to 1 500	10^{12} W·m ⁻²	10^3 J·m ⁻²		$5 600 t^{0,25}$ J·m ⁻²	1 000 W·m ⁻² ^a	
1 500 to 1 800	10^{13} W·m ⁻²	10^4 J·m ⁻²				
1 800 to 2 600	10^{12} W·m ⁻²	10^3 J·m ⁻²		$5 600 t^{0,25}$ J·m ⁻²		
2 600 to 10^6	10^{11} W·m ⁻²	100 J·m ⁻²	$5 600 t^{0,25}$ J·m ⁻²			
NOTE 1 For correction factors and units see Table 8.						
NOTE 2 There is only limited evidence about effects for exposures of less than 10^{-9} s. The MPEs for these exposure times have been derived by maintaining the irradiance applying at 10^{-9} s.						
^a For exposed skin areas greater than 0,1 m ² , the MPE is reduced to 100 W·m ⁻² . Between 0,01 m ² and 0,1 m ² , the MPE varies inversely proportional to the irradiated skin area.						

Classi Laser

Tutti gli standard internazionali suddividono i laser in quattro categorie di rischio principali.

Le classi si basano su uno schema di rischio graduale. Sono distinte sulla capacità di un raggio di causare danni biologici all'occhio o alla pelle.

Ai laser e ai sistemi laser viene assegnata una delle quattro Classi (da I a IV) in base al potenziale rischio di danno biologico.

La classificazione di un laser si basa sul concetto di Limiti di Emissione Accessibile (LEA). Il LEA è determinato come il prodotto del limite di esposizione massima permessa (EMP) e dell'area dell' apertura limite del fascio laser.



CLASSI DI SICUREZZA DELLE SORGENTI LASER

I laser vengono classificati in classi in base alle loro condizioni di pericolosità secondo la tabella seguente:

CLASSE	OSSERVAZIONI	PRECAUZIONI
1	Intrinsecamente sicure. L'osservazione diretta del fascio non risulta pericolosa.	Nessuna precauzione
1M (°)	Emissione di radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 302,5 e 4000 nm. Sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, ma potenzialmente pericolosi se l'utilizzatore impiega ottiche (lenti, binoculari, etc.) all'interno del fascio.	
2	Emissione di radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm. Nell'osservazione diretta del fascio la protezione dell'occhio è generalmente assicurata dai riflessi di difesa (riflesso palpebrale); danni possono essere provocati con deliberata e prolungata visione del fascio o quando i riflessi sono compromessi.	Non osservare direttamente il fascio laser
2M (°)	Come classe 2. L'osservazione del fascio può essere pericolosa se l'utilizzatore impiega ottiche (lenti, binoculari, etc.) all'interno del fascio.	
3R (°)	Pericoli per l'osservazione diretta del fascio con strumenti ottici (binocoli, microscopi, cannocchiali) comunque con rischio inferiore a quelli di classe 3B. Sicuri solo per la visione ad occhio nudo come per la classe 2	
3B	Visione diretta del fascio sempre pericolosa. Visione di riflessioni diffuse normalmente pericolosa.	Non fissare il fascio né ad occhio nudo né utilizzando strumenti ottici
4	Pericoli per la visione diretta e per quella diffusa. Possono causare lesioni alla pelle e costituire anche pericolo d'incendio. E' necessario evitare l'esposizione dell'occhio e della pelle alla radiazione diretta o diffusa.	Evitare l'esposizione dell'occhio e della pelle a radiazione diretta o diffusa; usare particolare cautela in quanto probabile fonte d'incendio.

(°) 1M,2M introdotte e 3R (vecchia 3A modificata) dalla [Norma Europea CEI EN 60825/1, Edizione Quarta](#).

E' **responsabilità del costruttore fornire la classificazione di un apparecchiatura laser**. Chi apporti modifiche (che influenzino le prestazioni e le funzioni) ad un apparecchio già classificato, ha la responsabilità di procedere alla riclassificazione.

La “nuova” Classe 1C

La **Classe 1C** è applicabile quando la radiazione laser deve essere applicata a contatto della pelle e si dispone di protezioni che impediscano la fuoriuscita di radiazioni laser in eccesso al LEA della Classe 1. Il prodotto laser può essere assegnato alla Classe 1C solo se anche conforme ad una serie di requisiti di sicurezza per i prodotti laser di classe 1C che possono essere trovati in un standard verticale IEC applicabile.

I laser destinati ad essere utilizzati in contatto con la pelle umana (non oculare) possono essere classificati di Classe 1C solo se rispettano uno standard della serie IEC 60601 o IEC 60335.

Si applicano e rispettano una serie di requisiti di sicurezza specifici.

Tali prodotti laser di Classe 1C devono incorporare misure di sicurezza strutturali per garantire che l'esposizione per gli occhi non sia ragionevolmente prevedibile al di sopra del LEA di Classe 1.

NOTA I prodotti laser tipici di Classe 1C includono quelli destinati alla rimozione dei peli, delle rughe della pelle, alla riduzione dell'acne, compresi quelli per uso domestico.

TARGHETTATURA

Ogni laser deve essere dotato di segnale giallo triangolare recante, in nero, il simbolo del raggio laser. Le targhette devono essere fissate in modo permanente ed essere leggibili. I bordi ed i segni grafici devono essere in nero su sfondo giallo. Il testo deve essere:

CLASSE	TESTO
1	apparecchio laser di classe 1
1M	radiazione laser – non osservare direttamente con strumenti ottici - apparecchio laser di classe 1M
2	radiazione laser - non fissare il fascio - apparecchio laser di classe 2
2M	radiazione laser - non fissare il fascio ad occhio nudo né guardare direttamente con strumenti ottici - apparecchio laser di classe 2M
3R	radiazione laser – evitare l'esposizione diretta degli occhi - apparecchio laser di classe 3R
3B	radiazione laser - evitare l'esposizione al fascio - apparecchio laser di classe 3B
4	radiazione laser - evitare l'esposizione dell'occhio o della pelle alla radiazione diretta o diffusa - apparecchio laser di classe 4

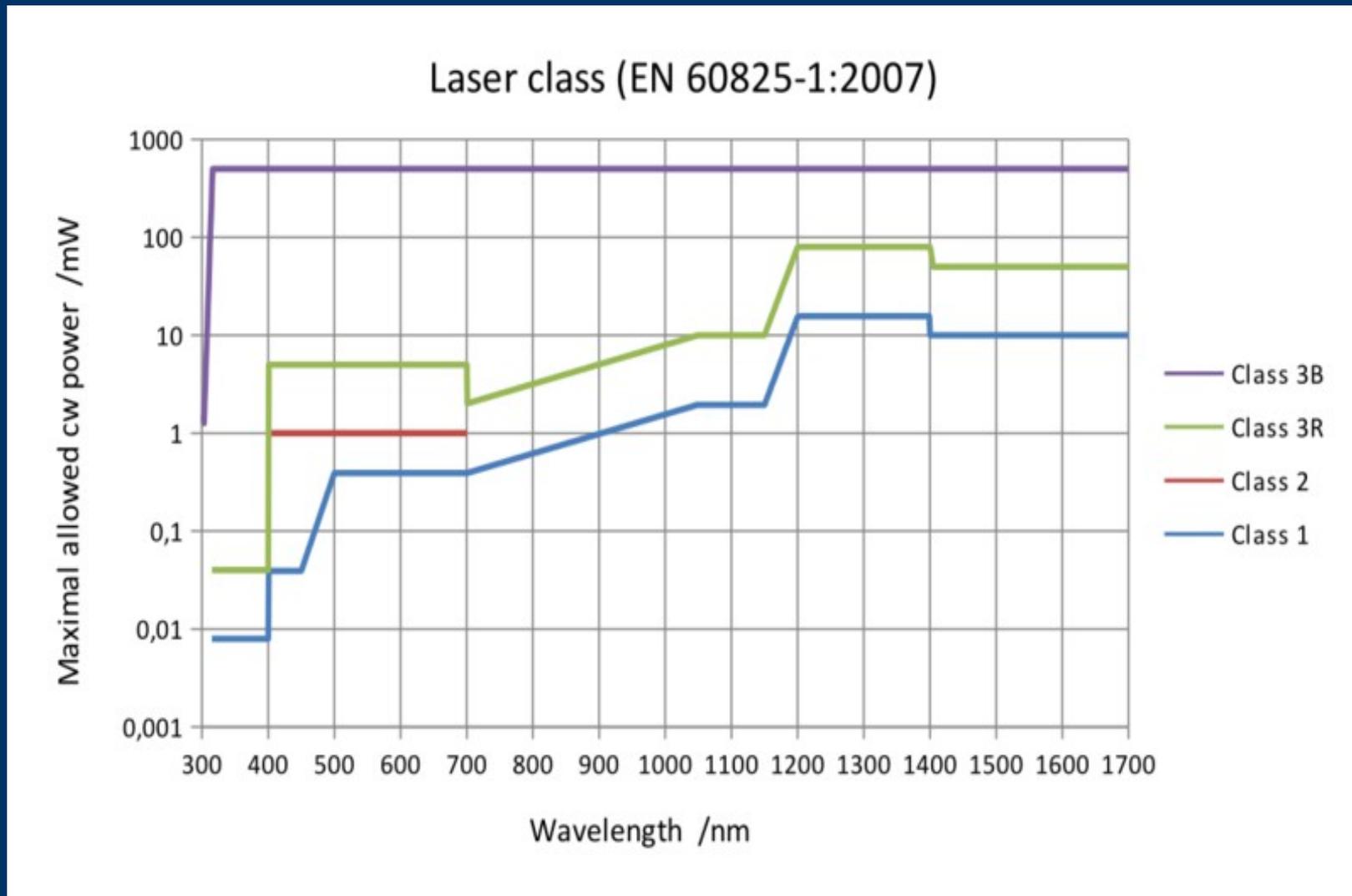


Su ogni pannello che una volta spostato permetta l'accesso umano alla radiazione laser deve essere affissa una targhetta che riporti le parole "attenzione - radiazione laser in caso di apertura" e inoltre:

CLASSE	TESTO
1M	attenzione – radiazione laser di classe 1M in caso di apertura non guardare direttamente con strumenti ottici
2	attenzione – radiazione laser di classe 2 in caso di apertura non fissare il fascio
2M	attenzione – radiazione laser di classe 2M in caso di apertura non fissare il fascio ad occhio nudo né guardare direttamente con strumenti ottici
3R	attenzione – radiazione laser di classe 3R in caso di apertura evitare l'esposizione al fascio
3B	attenzione – radiazione laser di classe 3B in caso di apertura evitare l'esposizione al fascio
4	attenzione – radiazione laser di classe 4 in caso di apertura evitare l'esposizione di occhi o pelle alla radiazione diretta o diffusa

Oltre a queste scritte se i pannelli sono muniti di blocco di sicurezza devono comparire anche le parole "attenzione - radiazione laser pericolosa in caso di apertura e quando il blocco di sicurezza è guasto", questa targhetta deve essere visibile prima e durante l'operazione di esclusione del blocco e molto vicina all'apertura.

CLASSIFICAZIONE



Potenza massima consentita per i LEA delle Classi laser 1, 2, 3R e 3B secondo lo standard EN 60825-1: 2007.

Table 9 – Laser controlled areas

Laser class	Nature of hazard	Example of controlled area	Outline of protective control measures
Class 1 Class 2	Minimal (N.B. Embedded lasers may present associated hazards.)	Unrestricted i.e., a designated laser area is not normally required.	Follow warnings on labels and manufacturer's instructions for safe use.
Divergent-beam Class 1M Divergent-beam Class 2M (i.e. products that have failed Class 1 or Class 2 under Condition 2)	Localised eye hazard if optical viewing instruments such as eye loupes are used.	Localised Can be open-plan, if effective procedural control is exercised over the immediate area around the laser.	Training recommended. Prevent use of eye-loupes and other magnifiers in vicinity of the laser. Prevent re-focusing or collimation of the beam.
Collimated-beam Class 1M Collimated-beam Class 2M (i.e. products that have failed Class 1 or Class 2 under Condition 1)	Long range eye hazard if optical viewing instruments such as binoculars or telescopes are used.	Enclosed or open-plan Access to the ENOHA to be controlled by procedural means, i.e. by the use of signs, instructions and training. Where open-plan, public access into the ENOHA must be prevented.	Training required. LSO recommended. Prevent use of telescopes and binoculars. Prevent re-focusing of the beam.
Class 3R	Low-level eye hazard.	Unrestricted i.e. safety depends on responsible use.	Training recommended. Prevent direct eye exposure.
Class 3B	Eye hazard. Possible skin hazard at higher levels of class.	Enclosed and interlock-protected i.e. access controlled by engineering means.	Training and LSO required. Ensure key security. Enclose as much of beam as possible, using complete enclosure where feasible. Implement safe systems of work. Use PPE if exposure risk is unavoidable.
Class 4	Eye and skin hazard. Possible fire and fume hazards.	Enclosed and interlock-protected i.e., access controlled by engineering means.	Training and LSO required. Ensure key security. Enclose as much of beam as possible, using complete enclosure where feasible. Implement safe systems of work. Use PPE if exposure risk is unavoidable. Protect against associated hazards (e.g., fire, fume).
<p>NOTE This table covers the normal operation of lasers (i.e. not maintenance or servicing) and is intended only as a guide to laser controlled areas. A risk assessment may indicate that a laser of a given class should be placed in a higher or lower category of controlled area, or that a different system of protective controls is necessary in order to adequately reduce the risk.</p>			

Class 1

“Very low power lasers or encapsulated lasers”

Un laser di Classe 1 è sicuro in tutte le condizioni di utilizzo normale. Ciò significa che l'esposizione massima consentita (MPE) non può essere superata quando si osserva un laser ad occhio nudo o con l'ausilio di ottiche di ingrandimento tipiche (ad esempio telescopio o microscopio). È importante rendersi conto che alcuni laser classificati come Classe 1 possono ancora rappresentare un rischio se visti con un telescopio o un microscopio di apertura sufficientemente grande.

examples: laser printers and compact disc players



Class 1M

“Very low power lasers; either collimated with large beam diameter or highly divergent”

Un laser di Classe 1M è sicuro per tutte le condizioni di utilizzo tranne quando vengono usate ottiche di ingrandimento come microscopi e telescopi. I laser di classe 1M producono fasci di grande diametro o fasci divergenti. L'MPE per un laser di Classe 1M non può normalmente essere superato a meno che non vengano utilizzate le ottiche di messa a fuoco o di imaging per restringere il raggio.

examples: fibre-optic communication systems



Class 2

"Visible low power lasers"

Si applica solo ai laser a luce visibile (400-700 nm).

Un laser di Classe 2 è sicuro perché il riflesso palpebrale limiterà l'esposizione a non più di 0,25 secondi. I laser di classe 2 sono limitati a 1 mW di onda continua, o più se il tempo di emissione è inferiore a 0,25 secondi o se la luce non è spazialmente coerente.

Example: amusement laser guns, laser pointers and barcode scanners



$P < 1\text{mW}$

Class 2M

Visible low power lasers; either collimated with large beam diameter or highly divergent

Un laser di Classe 2M è sicuro a causa del riflesso palpebrale e se non è visto attraverso strumenti ottici. Come per la classe 1M, ciò vale per i raggi laser con un diametro grande o una grande divergenza, per i quali la quantità di luce che passa attraverso la pupilla non può superare i limiti per la classe 2.

example: level and orientation instruments for civil engineering applications



Class 3R

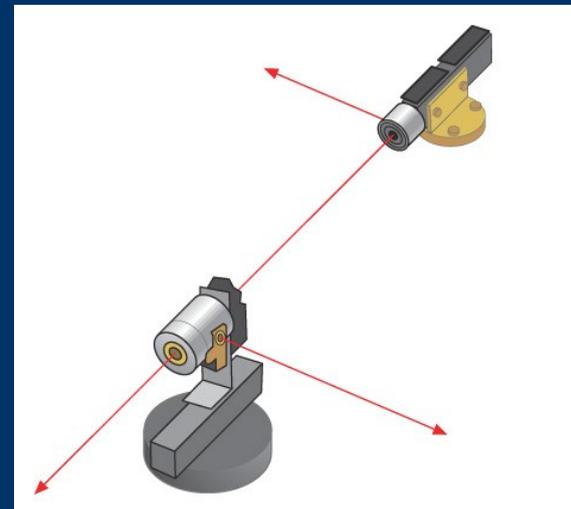
"Low power lasers"

Un laser di Classe 3R è considerato sicuro se maneggiato con cura.

-5 volte il limite di Classe 1 in UV e IR

-5 volte il limite per la Classe 2 nel visibile, ovvero 5 mW

example: laser pointers and alignment lasers



Class 3B

“Medium power lasers”

Un laser di Classe 3B è pericoloso se l'occhio è esposto direttamente, ma i riflessi diffusi come quelli della carta o altre superfici non sono dannosi. Il LEA per i laser continui nella gamma di lunghezze d'onda da 315 nm all'infrarosso lontano è 0,5 W. Per i laser a impulsi tra 400 e 700 nm, il limite è 30 mJ. Gli occhiali protettivi sono in genere necessari laddove si possa verificare la visione diretta di un raggio laser di classe 3B. I laser di classe 3B devono essere dotati di un interruttore a chiave e di un dispositivo di blocco di sicurezza.

examples: lasers for physiotherapy treatments



Class 4

"High power lasers"

La classe 4 è la classe laser più alta e pericolosa. Per definizione, un laser di classe 4 può bruciare la pelle o causare danni agli occhi devastanti e permanenti a causa della visualizzazione diretta, diffusa o indiretta del raggio. Questi laser possono incendiare materiali combustibili e quindi possono rappresentare un rischio di incendio. Questi rischi possono anche essere applicati a riflessioni indirette o non speculari del fascio, il che significa che occorre prestare molta attenzione per controllare il percorso del raggio. I laser di classe 4 devono essere dotati di un interruttore a chiave e di un dispositivo di blocco di sicurezza

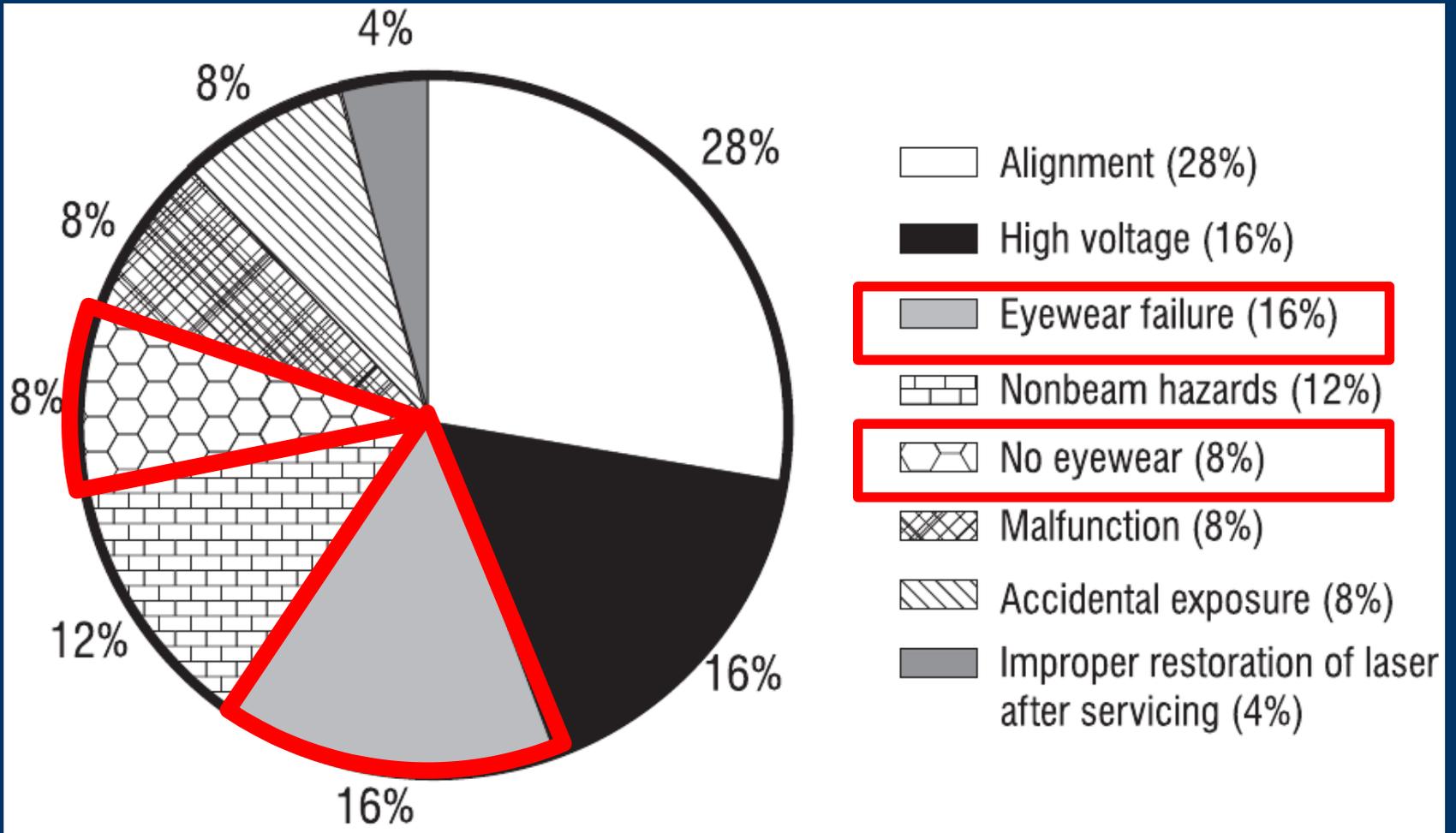
examples: laser surgery devices and laser metal cutting devices, scientific research



Sommario

IEC 60825	CDRH 1040	ANSI Z136,1	Safety Aspects
Class 1	I	1 - 1	Safe
Class 1M	IIa	- 1M	Safe provided optical instruments are not used
Class 2	II	2	Visible lasers, safe for accidental exposure <0.25
Class 2M	IIIA	- 2M	Visible lasers, safe for accidental exposure <0.25 provided optical instruments are not used
Class 3R	IIIb	3a - 3R	Not safe, low risk
Class 3B	IV	3B	Hazardous, Viewing of diffuse reflection is safe.
Class 4	IV	4	Hazardous, Viewing of diffuse reflection is also hazardous, Fire risk

PROTEZIONI OCULARI



PROTEZIONI OCULARI

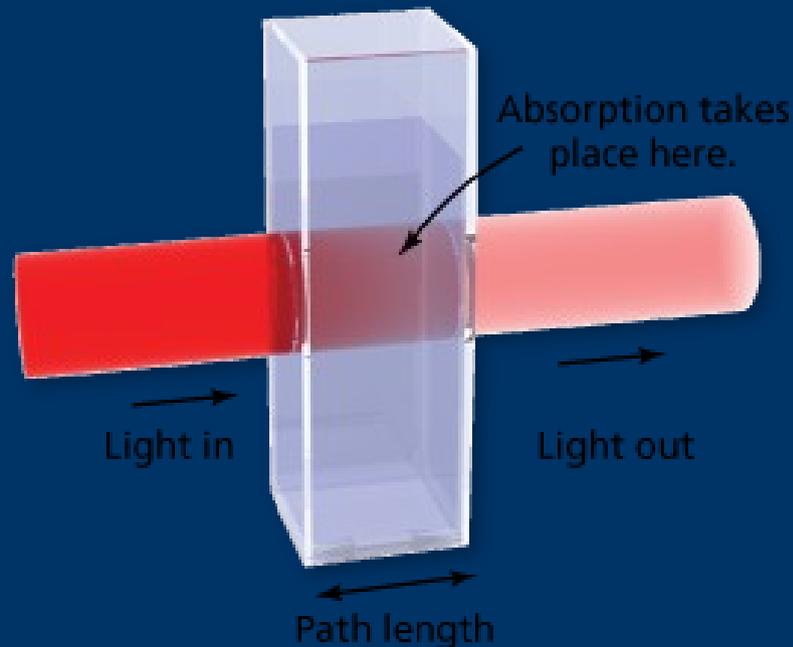


La protezione per gli occhi è disponibile sotto forma di occhiali e maschere. La lente può essere fatta di vetro o materiale filtrante cristallino o di plastica.

PROTEZIONE OCULARE

Gli occhiali protettivi laser devono essere disponibili e indossati da tutto il personale all'interno della Zona a Rischio Nominale (NHZ) dei laser di Classe 3B e di Classe 4 dove possono verificarsi esposizioni al di sopra dell'Esposizione massima consentita (MPE).

Tutti gli occhiali protettivi laser devono essere chiaramente etichettati con la densità ottica (OD) e la lunghezza d'onda specifica per la quale è prevista la protezione.



$$T = \frac{I_o}{I_i} = 10^{-OD}$$
$$OD = -\log_{10}(T)$$

Misure di Sicurezza Strutturali

Barriere laser e tende protettive:

Importante nel design è il fattore di infiammabilità della barriera. È essenziale che la barriera non sostenga la combustione e sia consumata dalle fiamme dopo un'esposizione.



Custodia protettiva:

Un laser deve avere un involucro che limiti la radiazione accessibile al livello MPE applicabile o inferiore. È necessaria una custodia protettiva per tutte le classi di laser.



Misure di Sicurezza Strutturali

Controllo interruttore principale:

Tutti i laser e i sistemi laser di Classe IV necessitano un controllo dell'interruttore principale. Solo gli operatori autorizzati devono poter accedere alla chiave o al codice. Per laser di Classe IIIB il controllo dell'interruttore principale non è obbligatorio.



Sicurezza del sistema di visione ottica:

Interblocchi, filtri o attenuatori devono essere incorporati in congiunzione con gli otturatori del fascio quando i sistemi di visione ottica come telescopi, microscopi, porte di visualizzazione o schermi vengono utilizzati per visualizzare l'area di riflessione del raggio.

Misure di Sicurezza Strutturali



- Sistema di avviso di attivazione laser:
 - Si consiglia un segnale acustico e / o un avviso visivo (ad esempio una luce lampeggiante) come controllo di area per il funzionamento del laser della CLASSE IIIB. Tale sistema di allarme è obbligatorio per i laser di CLASSE IV. Tali dispositivi di allarme devono essere attivati all'avvio del sistema e devono essere identificati in modo univoco con il funzionamento del laser.



- Connettore di blocco remoto:
- Tutti i laser o sistemi laser di CLASSE IV devono essere dotati di un connettore di blocco remoto per consentire i collegamenti elettrici a un dispositivo di disconnessione di emergenza (tasto "Panic") o a una stanza, porta o interblocchi di fissaggio. Il connettore di interblocco remoto è consigliato anche per i laser di CLASSE IIIB.

Misure di Sicurezza Strutturali

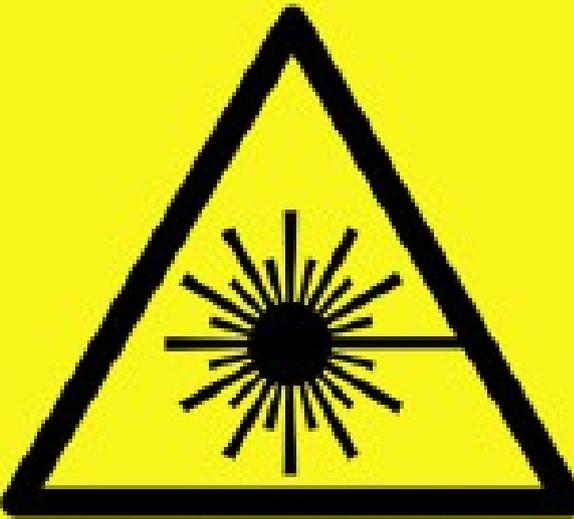


**LASER RADIATION -
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE
TO DIRECT OR SCATTERED
RADIATION**



(LASER TYPE, WAVELENGTH,
PULSE DURATION, MAXIMUM OUTPUT)

CLASS 4 LASER PRODUCT



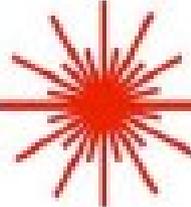
LASER RADIATION



DANGER

**VISIBLE AND/OR INVISIBLE LASER
RADIATION**

**AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO DIRECT
OR SCATTERED RADIATION**



James Bldg Rm. 142 - R. Smith

Er:YAG Laser: 2.9 μm , 20 W max, 10 Hz, minimum CD 3.0
Class 4 laser

Ho:Ar Laser: 0.633 μm , 10 mW, minimum CD 1.0
Class 3B laser

Le 10 regole

1) Non guardare il raggio laser.

Non guardare le riflessioni speculari (ad es. da specchi o altre superfici riflettenti). Non fissare i raggi diffusi. Se sembra luminoso, non fissarlo.

2) Se possibile, mantenere le luci della stanza accese.

Migliore è il livello di illuminazione ambientale, minore sarà il diametro della pupilla e diminuirà la probabilità che un raggio laser entri nell'occhio.

3) Rimuovere gioielli personali.

Orologi, anelli ecc. fungono da riflettori. Quando si entra in un laboratorio laser rimuovere tutto ciò che può rappresentare un rischio di riflessione accidentale.

4) Individuare e bloccare tutti i raggi laser vaganti.

Assicurarsi che tutti i fasci vaganti siano bloccati con uno schermo opaco.

5) Assicurare saldamente tutti i componenti ottici.

Morsetto e dove possibile doppio morsetto su tutti i componenti ottici.



6) Mantenere i fasci laser orizzontali

In questo modo è più semplice lavorare e le traiettorie sono più prevedibili. Evitare, se possibile, fasci verticali e obliqui. Se occorre, modificare l'altezza del fascio con un periscopio e prestare attenzione quando si allinea.

7) Non chinarsi sotto l'altezza del raggio.

Se lasci cadere qualcosa, blocca il raggio laser prima di raccogliere l'oggetto. Se non puoi fermare il raggio (ad esempio, se ti trovi nel corso di un run sperimentale), calcia lontano l'oggetto in modo di non inciampare. Se, per un motivo o per un altro, devi chinarti, chiudi gli occhi quando lo fai o proteggili con le mani.

8) Ricorda, i componenti ottici riflettono, trasmettono e assorbono la luce.

Spesso, un componente trasmittente rifletterà anche la luce, un componente riflettente trasmetterà luce, ecc. Ciò può portare a raggi vaganti.

9) Non dimenticare i rischi non ottici.

Spesso esistono anche altri rischi possibili: pensaci !

10) Indossare occhiali di protezione laser.

Se gli occhiali sono in dotazione, assicurarsi che siano adatti e indossarli.

Ricorda: la radiazione laser può essere invisibile, quindi solo perché non vedi nulla che non significa che non c'è niente!



Rischio da Fibre Ottiche

- 1) La maggior parte dei sistemi in fibra singolo / multi modo utilizzano la luce a infrarossi, invisibile all'occhio umano. In questo caso, non esiste una "risposta di avversione degli occhi".
 - 2) Un caso particolare sono i sistemi che funzionano a 670-1000 nm, dove il raggio può sembrare un rosso opaco, anche se il raggio di luce è in realtà molto intenso.
 - 3) I tecnici possono anche utilizzare laser rossi per la ricerca di guasti a circa 628-670 nm. Questi possono creare un rischio significativo se visualizzati in modo errato, in particolare se hanno una potenza anormalmente elevata.
-
-

Non-Beam Hazards (RISCHI COLLATERALI)



CONCLUSIONI

Lavorando regolarmente con lo stesso dispositivo, le persone prendono “confidenza” e tendono a **sottostimare il rischio**

I rischi sono accresciuti dalla presenza di persone senza esperienza (tesisti, tirocinanti, personale non formato in genere)

Non c'è bisogno di “terrorizzare”, ma di **conoscere il rischio e prevenire**

La prevenzione è lo strumento di sicurezza più efficace !
