

IL LASER, PREVENZIONE E PROTEZIONE

Utilizzo in sicurezza delle apparecchiature Laser

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

UNI EN 166: 2004	Protezione personale dagli occhi - Specifiche		Protezione personale degli occhi - Filtri e protettori dell'occhio contro
UNI EN 167: 2003	Protezione personale degli occhi - Metodi di prova ottici	UNI EN 207: 2017	radiazioni laser (protettori dell'occhio per laser)
UNI EN 168: 2003	Protezione personale degli occhi - Metodi di prova non ottici		Protezione personale degli occhi - Protettori dell'occhio per i lavori di
CEI EN 60825: 2017	Sicurezza dei prodotti Laser -sistema di classificazione - valutazione - misure di controllo – definizione dei requisiti che permettono adeguate precauzioni	UNI EN 208: 2017	regolazione sui laser e sistemi laser (protettori dell'occhio per regolazione laser)
		D.Lgs. 81/08	Testo Unico Titolo VIII – Capo V Protezione dai rischi di radiazioni ottiche artificiali

Distinzione tra radiazioni coerenti e incoerenti

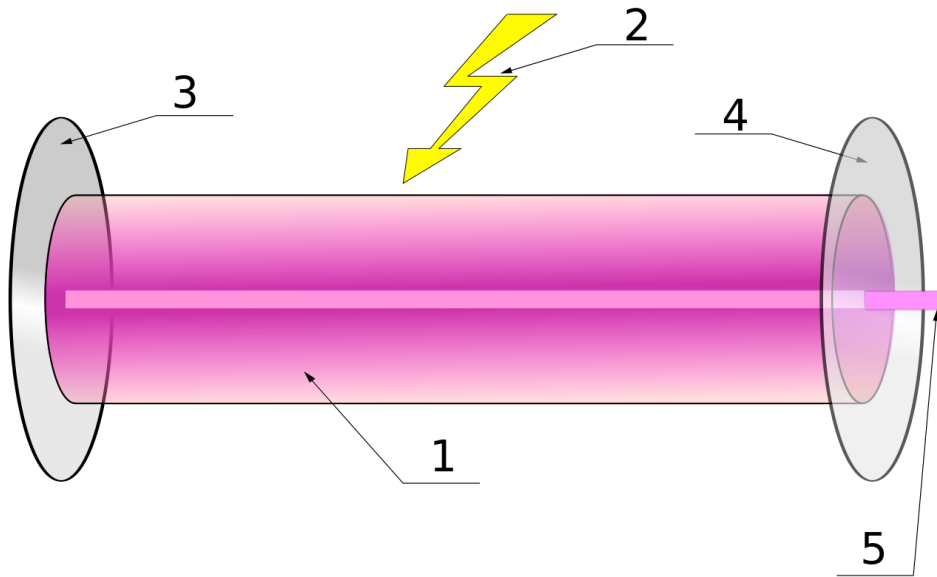
- ***coerenti*** quando la fonte di radiazioni emette radiazioni in fase fra loro ovvero radiazioni ottiche di **un'unica lunghezza d'onda**, direzionali e di elevata intensità

Esempio: Laser

- ***non coerenti*** quando la fonte di radiazioni emette radiazioni sfasate ovvero con più lunghezze d'onda, e/o direzioni.

Esempio: la luce solare ma anche lampade ultravioletto

COME FUNZIONA UNA SORGENTE LASER



1. Mezzo ottico attivo
2. Energia fornita al mezzo ottico
3. Specchio
4. Specchio semiriflettente
5. Fascio laser in uscita

Il laser è composta principalmente da 3 parti:

- Mezzo attivo (solitamente gas o cristallo)
- Un sistema di pompaggio che fornisce energia al mezzo attivo
- Una cavità ottica o risonatore ottico

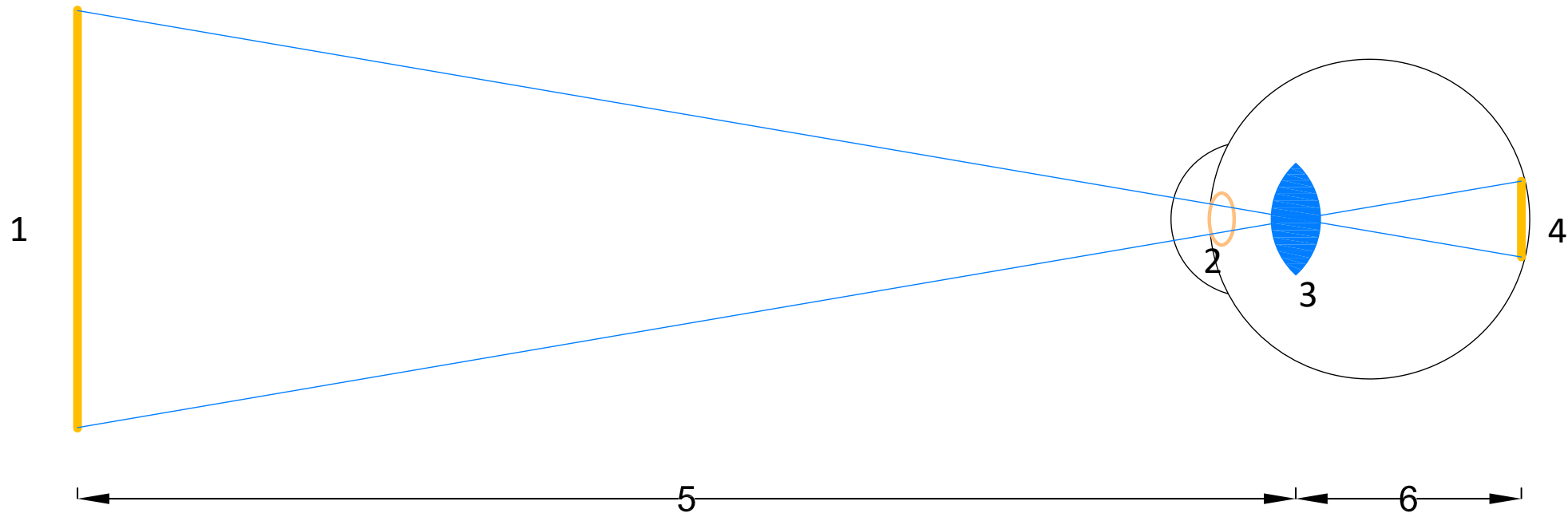
Il mezzo ottico attivo ha la capacità di emettere fotoni quando viene fornita energia dall'esterno;

Dal mezzo ottico dipende la lunghezza d'onda.

Grandezze fisiche in gioco

- **TEMPO DI ESPOSIZIONE: s**
- **DIAMETRO DEL FASCIO: m**
- **DIVERGENZA: rad**
- **DISTANZA DELL'OPERATORE DAL FASCIO: m**
- **LUNGHEZZA D'ONDA: nm**
- **FREQUENZA (per i laser impulsati): Hz**
- **LARGHEZZA DI IMPULSO (per i laser impulsati): s**
- **POTENZA RADIANTE (W)**
- **ENERGIA RADIANTE (J)**
- **IRRADIANZA (W/m²)**
- **ESPOSIZIONE RADIANTE (J/m²)**

INTERAZIONE SORGENTE-OCCHIO



1. Oggetto osservato

2. Diaframma circolare (pupilla)

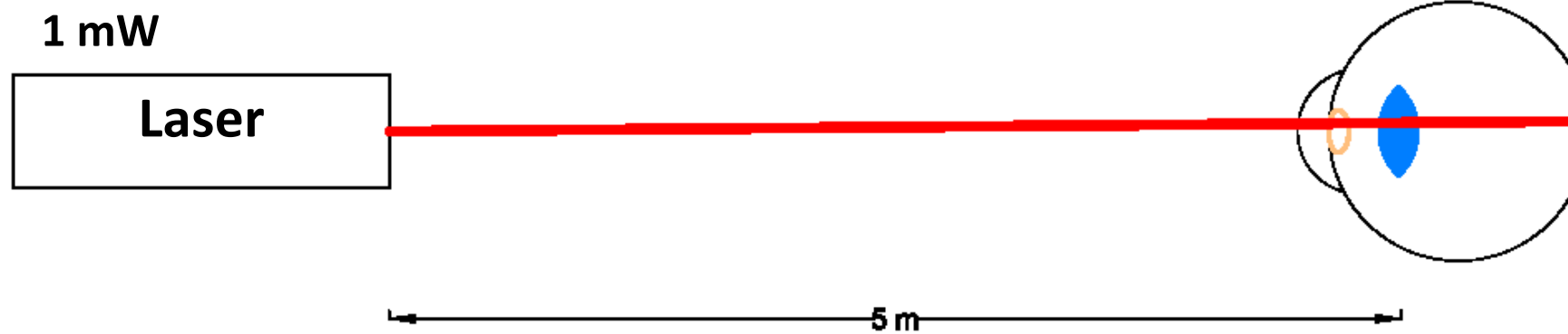
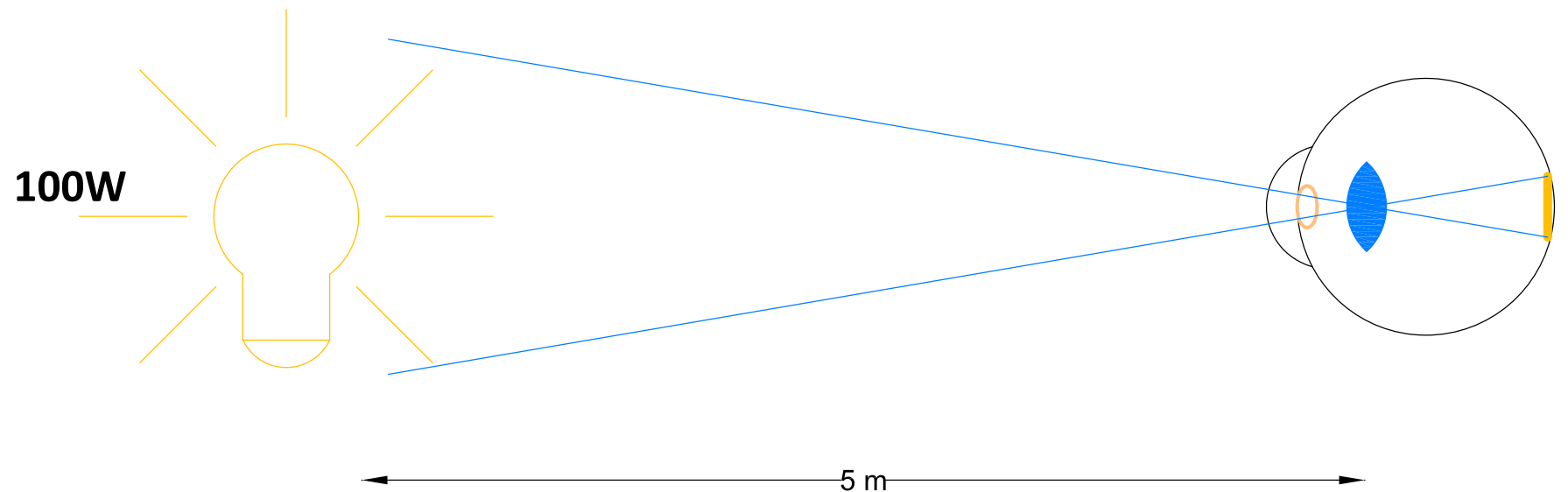
3. Lente (cristallino)

4. Sorgente apparente sulla retina

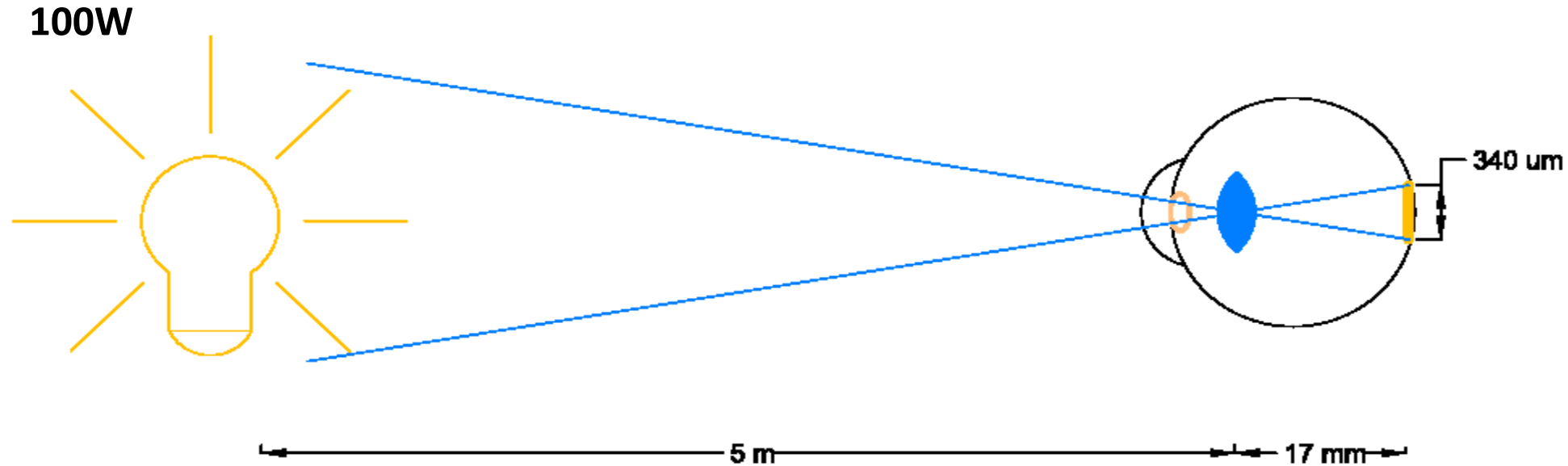
5. Distanza dell'occhio dalla sorgente

6. Distanza Cristallino-Retina (circa 17 mm)

CONFRONTO FRA SORGENTI



CALCOLO DELL'IRRADIANZA SULLA RETINA



SULLA PULIPPA (dia 7mm) LA PONTENZA RADIANTE DI UNA LAMPADINA DA 100W POSTA 5 METRI DI DISTANZA E' DI CIRCA

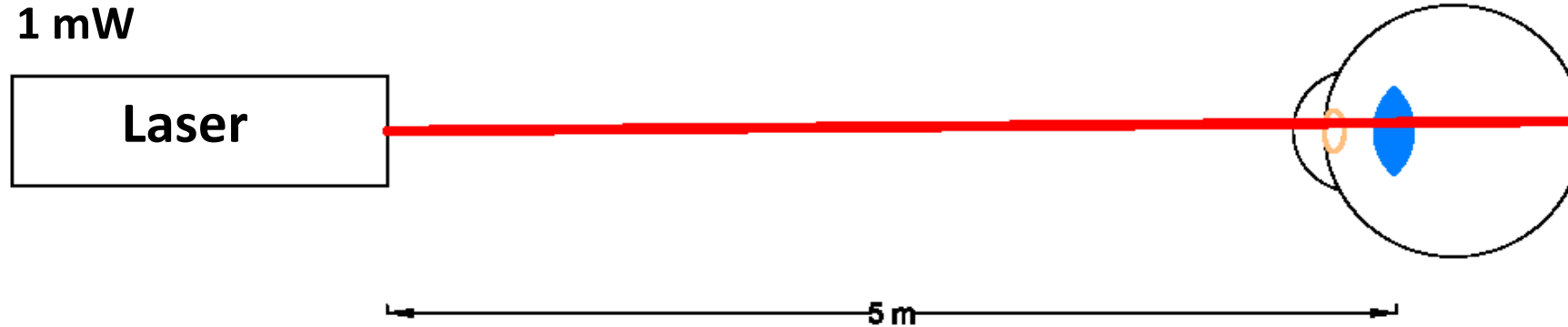
$$1,23 e^{-5} \text{ W}$$

SULLA RETINA VIENE GENERATA UN'IMMAGINE DEL DIAMETRO DI 340μm OVVERO CIRCA $0,09\text{mm}^2$ QUINDI L'IRRADIANZA SULLA RETINA SARA':

$$E = 4P / A$$

$$1,23e^{-5} / 9e^{-8} = 134\text{W}/\text{m}^2$$

CALCOLO DELL'IRRADIANZA SULLA RETINA



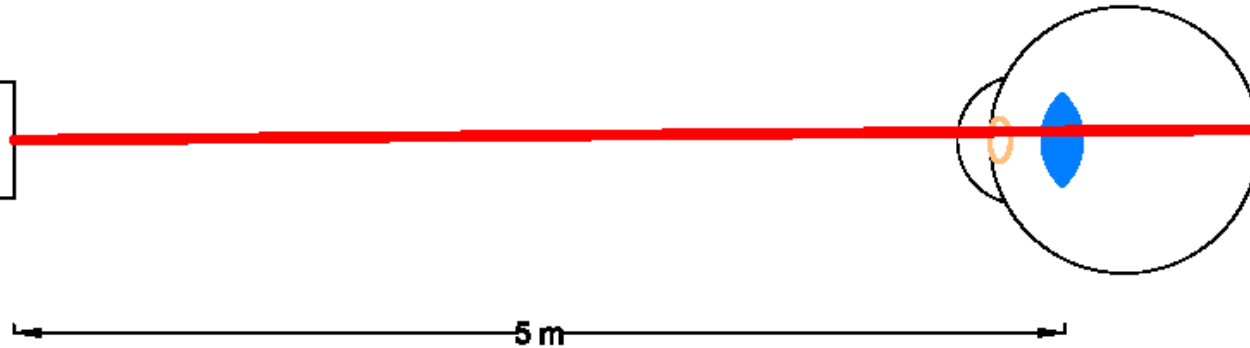
Una sorgente puntiforme con fascio da 1mm crea un'immagine retinica di dimensioni di 20um di diametro pertanto a 5 m tutta la potenza entra nell'occhio (fascio ideale)

$$E = 4P / A$$

$$E = 4 \times 1 \text{ mW} / \pi \times (20 \text{ e}^{-6})^2 \approx 3,2 \text{ MW} / \text{m}^2$$

CALCOLO DELL'IRRADIANZA SULLA RETINA

1 mW



In verità la formula tiene in conto anche della divergenza del fascio in relazione alla distanza

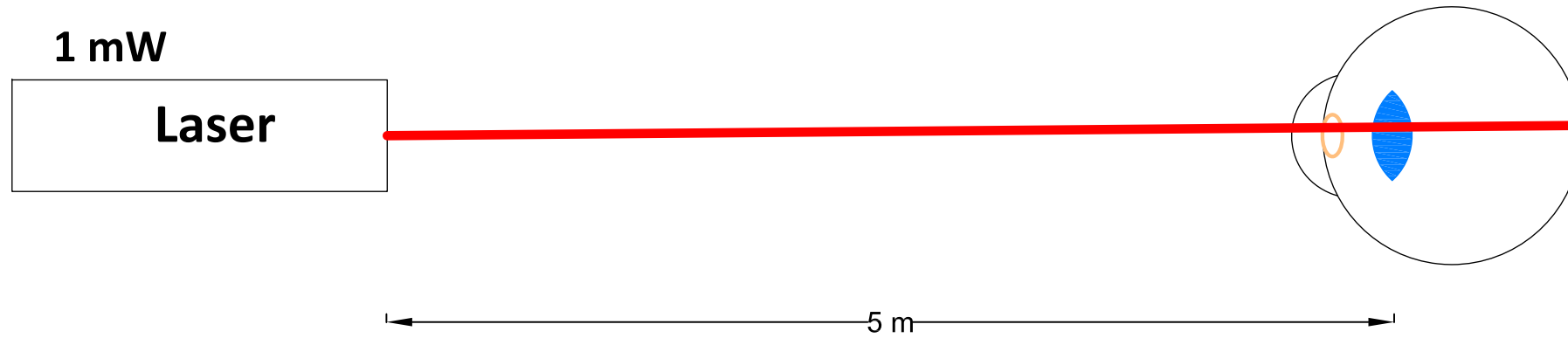
Quindi la formula corretta è $H = 4 E / \pi ar^2$ dove $ar = a + d \Phi$

a= apertura del fascio

d= distanza della sorgente dall'occhio

Φ = divergenza del fascio

L'ESPOSIZIONE ENERGETICA DELL'OCCHIO



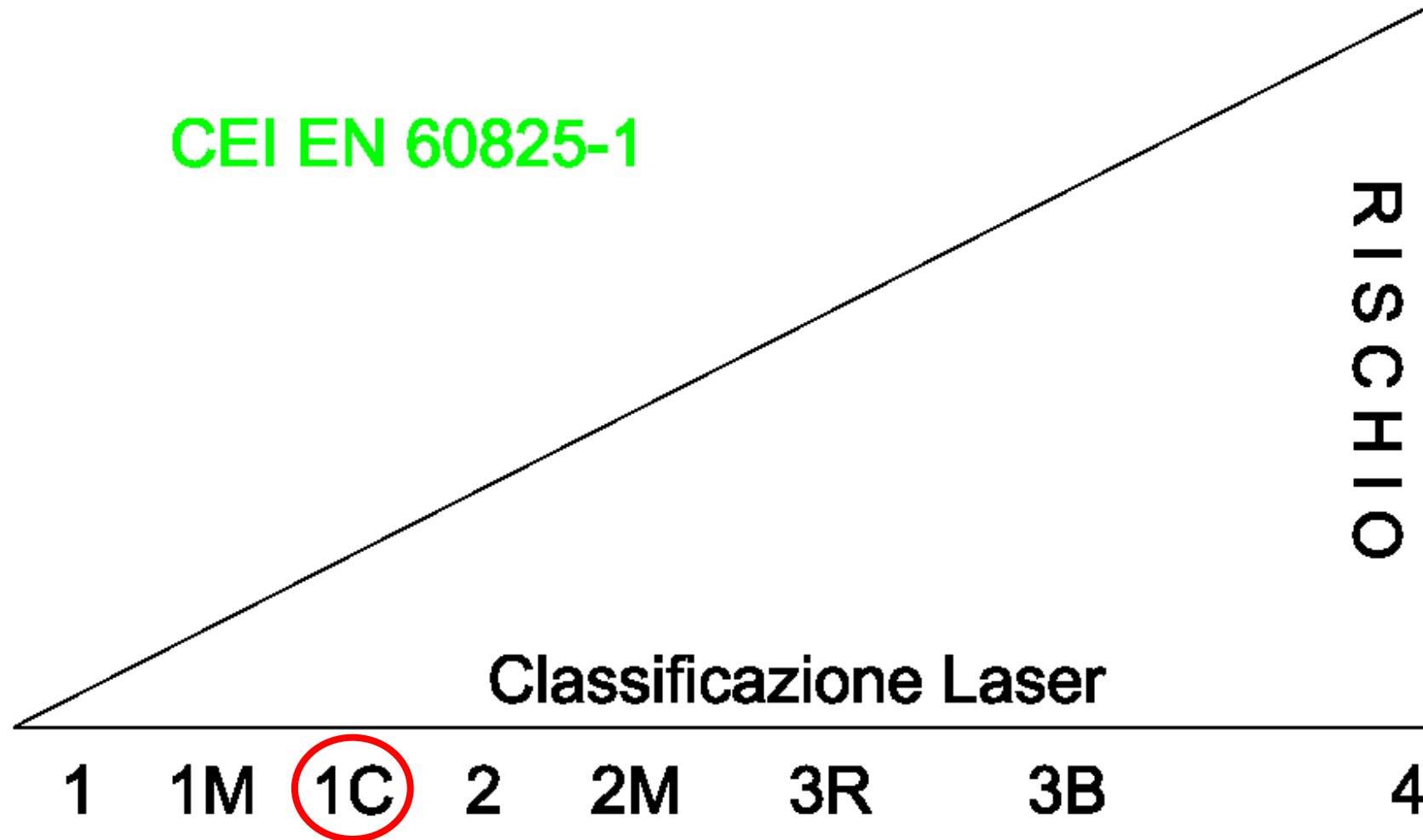
Altro parametro fondamentale è l'esposizione energetica ovvero l'energia rilasciata nell'occhio per unità di tempo misurata in

J/m^2

$3,2 MW/m^2$ (Irradianza) moltiplicato 10 ms (riflesso palpebrale) \rightarrow **$32 KJ/m^2$**

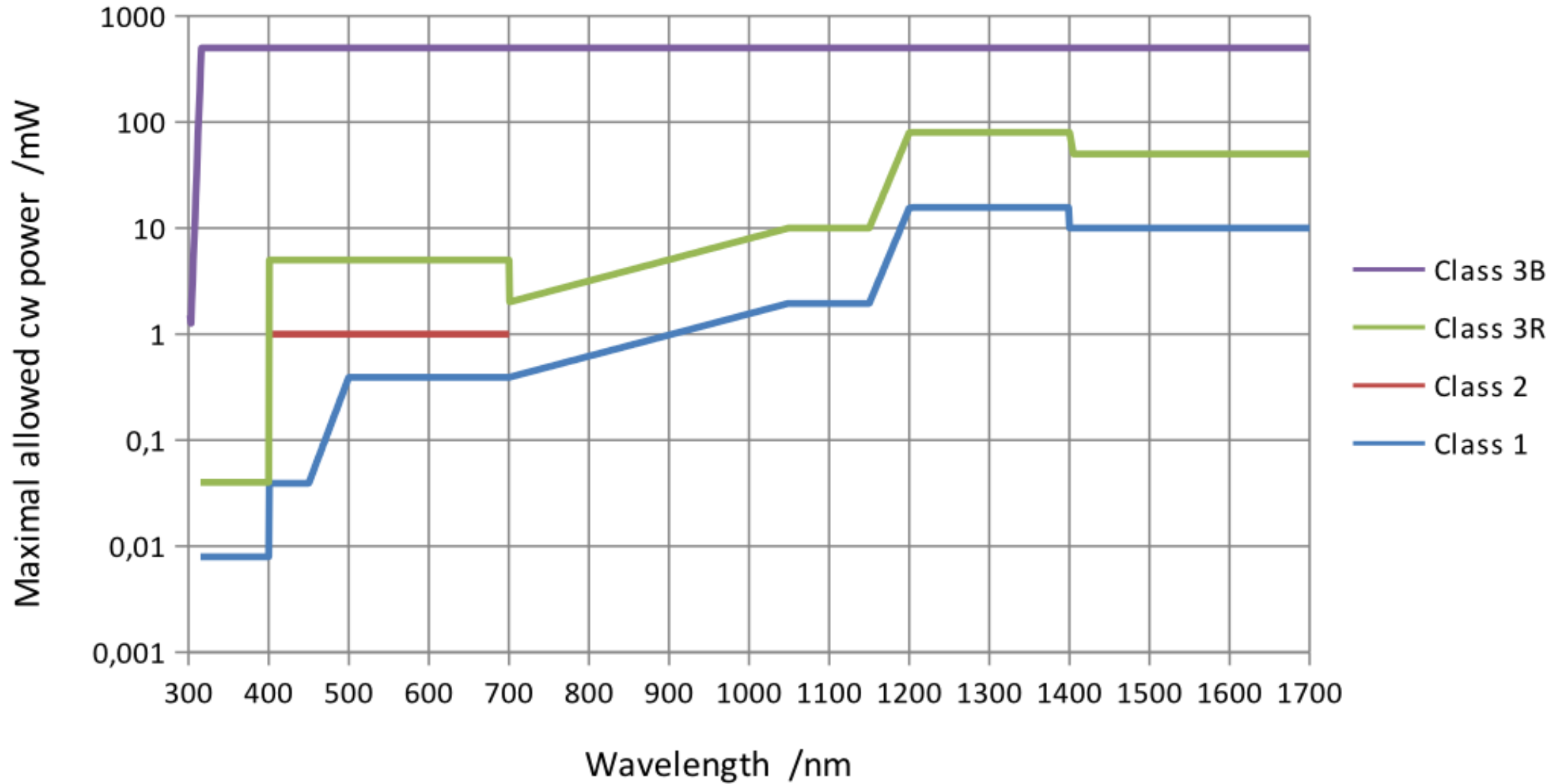
CLASSIFICAZIONE DEI LASER

CEI EN 60825-1



Requisiti di Sicurezza

Laser class (EN 60825-1:2007)



Requisiti di Sicurezza

	Classe 1	Classe 1M	Classe 2	Classe 2M	Classe 3R	Classe 3B	Classe 4
Potenza del fascio			< 1mW	< 1mW	< 5mW	< 500mW	oltre 500mW
Formazione/informazione	Seguire le istruzioni del produttore	Raccomandata	Seguire le istruzioni del produttore	Raccomandata	Richiesta	Richiesta	Richiesta
DPI (occhiali)	Non richiesti	Possono essere necessari	Non richiesti	Possono essere necessari	Possono essere necessari	Richiesti	Richiesti
Misure di prevenzione	Evitare di fissare il fascio	Evitare di modificare la messa a fuoco o la collimazione ottica del fascio	Evitare di fissare il fascio	Evitare di modificare la messa a fuoco o la collimazione ottica del fascio	Evitare esposizione diretta dell'occhio	Evitare esposizione diretta dell'occhio e della pelle. Evitare riflessioni accidentali del fascio	Evitare esposizione diretta dell'occhio e della pelle. Evitare riflessioni accidentali del fascio
Comando a chiave	Non richiesto	Non richiesto	Non richiesto	Non richiesto	Non richiesto	Richiesto	Richiesto
Segnali di avvertimento	Non richiesti	Non richiesti	Non richiesti	Non richiesti	Raccomandati	Richiesti	Richiesti
Cartelli di avvertimento	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Interblocco	Non richiesto	Non richiesto	Non richiesto	Non richiesto	Raccomandato	Richiesto	Richiesto
Pulsante di emergenza	Non richiesto	Non richiesto	Non richiesto	Non richiesto	Raccomandato	Richiesto	Richiesto
Tecnico Sicurezza Laser (TSL)	Non richiesto	Non richiesto	Non richiesto	Non richiesto	Raccomandato	Richiesto	Richiesto
Area controllata	Non richiesto	Localizzata o delimitata (chiusa)	Non richiesto	Localizzata o delimitata (chiusa)	delimitata (chiusa)	Delimitata e protetta da interblocco	Delimitata e protetta da interblocco

Requisiti di Sicurezza

- Per i Laser di classe uguale o superiore alla 3B è obbligatorio nominare il tecnico di sicurezza laser (T.S.L.) che redige una relazione sul laser in uso.
- E' obbligatorio individuare un Responsabile del laser e gli eventuali addetti il cui elenco deve essere affisso fuori dalla porta di ingresso.
- La chiave del laser è custodita dal Responsabile del laser.
- E' vietato manomettere le attrezzature e/o farne un uso diverso da quello per cui sono state progettate.

Requisiti di Sicurezza

E' opportuno scrivere insieme al TSL le procedure di utilizzo che prevedano anche le emergenze

Esempio:

- Chiudere la porta del laboratorio;
- Apporre un cartello con l'indicazione "Calibrazione in corso, NON entrare"
- Indossare gli occhiali di protezione;
- Escludere gli interblocchi;
- Aprire la porta della scatola;
- Posizionare/regolare la fibra;
- Accendere il controller;
- Attivare il fascio laser;
- Eseguire le operazioni calibrazione;
- Riposizionare gli interblocchi e verificarne il corretto funzionamento;
- Spegnerne il laser;
- Togliere gli occhiali di protezione;
- Riaprire la porta e rimuovere il cartello "Calibrazione in corso, NON entrare"

PRECAUZIONI PER GLI OCCHI

L'Esposizione Massima Permissa (EMP) è quel livello di radiazione laser a cui, in normali circostanze, l'occhio o la pelle possono essere esposti senza riportare effetti dannosi.

La distanza per la quale l'irradiazione o l'esposizione energetica del fascio è uguale alla EMP per la cornea, viene definita **distanza nominale di rischio oculare (DNRO)**.

La DNRO è tenuta in considerazione nel definire i confini della zona laser controllata.

CALCOLO DELLA DISTANZA NOMINALE DI RISCHIO OCULARE D.N.R.O.

$$DNRO = [(4 P / \pi EMP)^{0,5} - a] / \Phi$$

Dove:

a= apertura del fascio

Φ = divergenza del fascio

distanza > DNRO (EMP) → NO DANNO

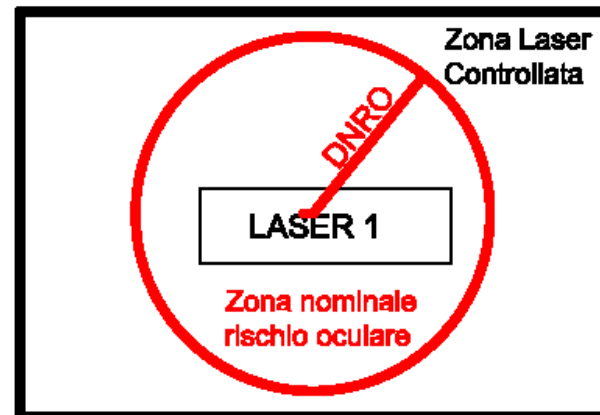
distanza < DNRO (EMP) → SI DANNO

Distanza Nominale di Rischio Oculare

DNRO

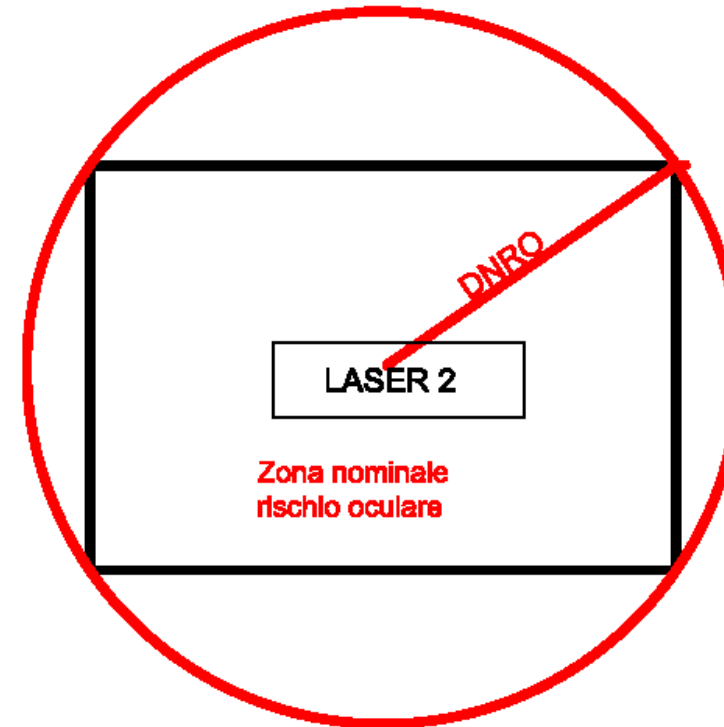
DNRO <
Dimensione della stanza

Gli operatori fuori dalla zona nominale di rischio oculare non sono obbligati ad indossare i DPI



DNRO >
Dimensione della stanza


Tutti gli operatori all'interno della zona nominale di rischio oculare sono obbligati ad indossare i DPI



Schematizzazione esposizioni

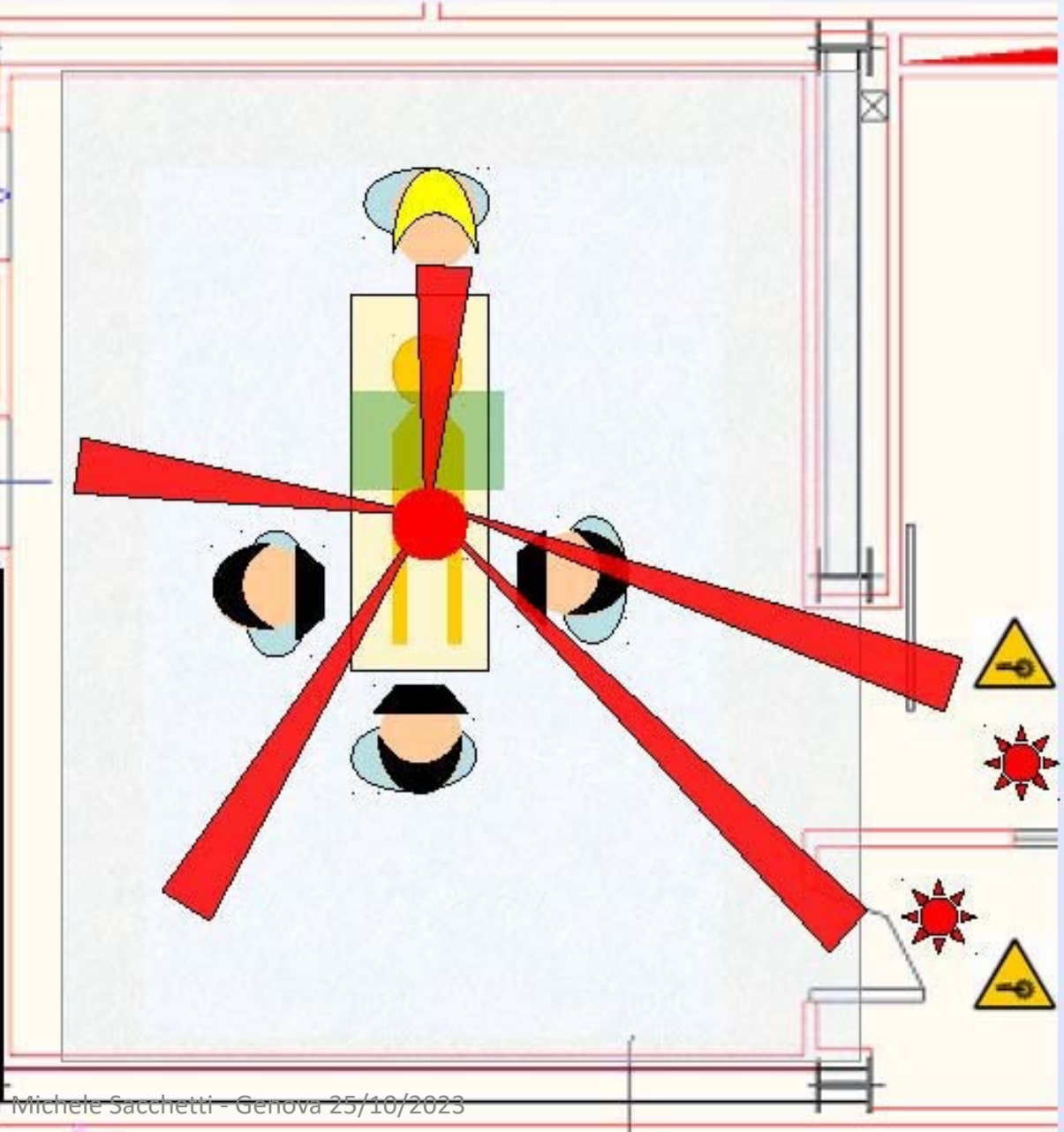
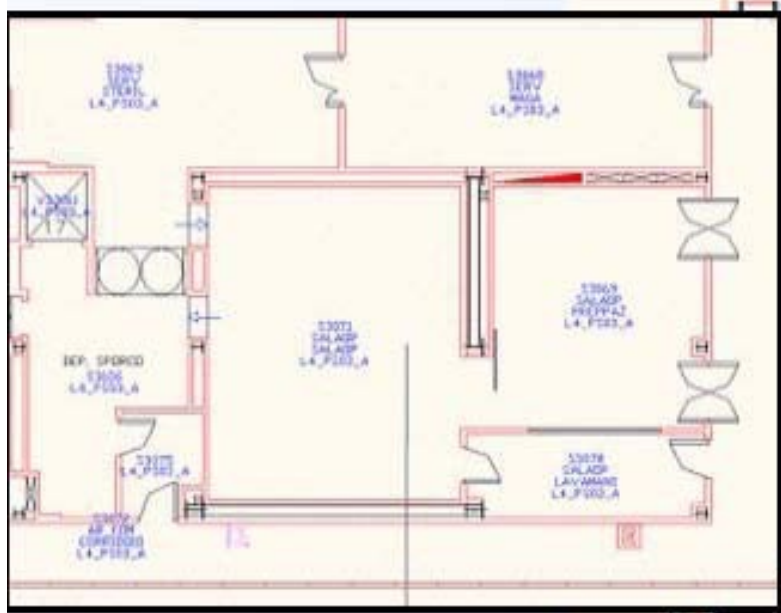
Allegato 1

 Segnaletica luminosa
"emissione radiazione laser"

 Segnaletica pericolo
radiazione laser

 ZNRO

 ZLC



ESPOSIZIONE MASSIMA PERMESSA E.M.P.

E' il valore di esposizione al di sotto del quale non c'è rischio oculare

L'E.M.P. dipende:

- della lunghezza d'onda,**
- dai tempi di esposizione**
- da alcuni fattori di correzione**

Tabella 2.2

Valori limite di esposizione dell'occhio a radiazioni laser — Durata di esposizione breve < 10 s

Lunghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]									
			$10^{-13} - 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^1$			
UVC	180 - 280	1 mm per $t < 0,3$ s; $1,5 \cdot t^{0,375}$ per $0,3 < t < 10$ s	$E = 3 \cdot 10^{10} \cdot [W m^{-2}]$ Cfr. nota ^c			H = 30 [J m ⁻²]						
UVB	280 - 302					H = 40 [J m ⁻²]			se $t < 2,6 \cdot 10^{-9}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	303					H = 60 [J m ⁻²]			se $t < 1,3 \cdot 10^{-8}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	304					H = 100 [J m ⁻²]			se $t < 1,0 \cdot 10^{-7}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	305					H = 160 [J m ⁻²]			se $t < 6,7 \cdot 10^{-7}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	306					H = 250 [J m ⁻²]			se $t < 4,0 \cdot 10^{-6}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	307					H = 400 [J m ⁻²]			se $t < 2,6 \cdot 10^{-5}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	308					H = 630 [J m ⁻²]			se $t < 1,6 \cdot 10^{-4}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	309					H = 10 ³ [J m ⁻²]			se $t < 1,0 \cdot 10^{-3}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	310					H = 1,6 · 10 ³ [J m ⁻²]			se $t < 6,7 \cdot 10^{-3}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	311					H = 2,5 · 10 ³ [J m ⁻²]			se $t < 4,0 \cdot 10^{-2}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	312					H = 4,0 · 10 ³ [J m ⁻²]			se $t < 2,6 \cdot 10^{-1}$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	313					H = 6,3 · 10 ³ [J m ⁻²]			se $t < 1,6 \cdot 10^0$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d			
	314					H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²]						
	UVA					315 - 400		H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²]				
Visibile e IRA	400 - 700					7 mm	H = 1,5 · 10 ⁻⁴ C _E [J m ⁻²]		H = 2,7 · 10 ⁴ t ^{0,75} C _E [J m ⁻²]		H = 5 · 10 ⁻³ C _E [J m ⁻²]	
	700 - 1 050	H = 1,5 · 10 ⁻⁴ C _A C _E [J m ⁻²]		H = 2,7 · 10 ⁴ t ^{0,75} C _A C _E [J m ⁻²]			H = 5 · 10 ⁻³ C _A C _E [J m ⁻²]		H = 18 · t ^{0,75} C _A C _E [J m ⁻²]			
	1 050 - 1 400	H = 1,5 · 10 ⁻³ C _C C _E [J m ⁻²]		H = 2,7 · 10 ⁵ t ^{0,75} C _C C _E [J m ⁻²]			H = 5 · 10 ⁻² C _C C _E [J m ⁻²]		H = 90 · t ^{0,75} C _C C _E [J m ⁻²]			
IRB e IRC	1 400 - 1 500	Cfr. nota ^b	E = 10 ¹² [W m ⁻²]		Cfr. nota ^c		H = 10 ³ [J m ⁻²]		H = 5,6 · 10 ³ · t ^{0,25} [J m ⁻²]			
	1 500 - 1 800		E = 10 ¹³ [W m ⁻²]		Cfr. nota ^c		H = 10 ⁴ [J m ⁻²]					
1 800 - 2 600	E = 10 ¹² [W m ⁻²]		Cfr. nota ^c		H = 10 ³ [J m ⁻²]		H = 5,6 · 10 ³ · t ^{0,25} [J m ⁻²]					
2 600 - 10 ⁶	E = 10 ¹¹ [W m ⁻²]		Cfr. nota ^c		H = 100 [J m ⁻²]		H = 5,6 · 10 ³ · t ^{0,25} [J m ⁻²]					

a Se la lunghezza d'onda del laser è coperta da due limiti, si applica il più restrittivo.

b Se $1\,400 \leq \lambda < 10^5$ nm: apertura diametro = 1 mm per $t \leq 0,3$ s e $1,5 t^{0,375}$ mm per $0,3 < t < 10$ s; se $10^5 \leq \lambda < 10^6$ nm: apertura diametro = 11 mm.

c Per mancanza di dati a queste lunghezze di impulso, l'ICNIRP raccomanda di usare i limiti di irradianza per 1 ns.

d La tabella riporta i valori di singoli impulsi laser. In caso di impulsi multipli, le durate degli impulsi che rientrano in un intervallo T_{imp} (elencate nella tabella 2.6) devono essere sommate e il valore di tempo risultante deve essere usato per t nella formula:
 $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$

Valori limite di esposizione dell'occhio a radiazioni laser — Durata di esposizione lunga ≥ 10 s

Lunghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]		
			$10^1 - 10^2$	$10^2 - 10^4$	$10^4 - 3 \cdot 10^4$
UVC	180 - 280	3,5 mm	H = 30 [J m ⁻²]		
UVB	280 - 302		H = 40 [J m ⁻²]		
	303		H = 60 [J m ⁻²]		
	304		H = 100 [J m ⁻²]		
	305		H = 160 [J m ⁻²]		
	306		H = 250 [J m ⁻²]		
	307		H = 400 [J m ⁻²]		
	308		H = 630 [J m ⁻²]		
	309		H = 1,0 · 10 ³ [J m ⁻²]		
	310		H = 1,6 · 10 ³ [J m ⁻²]		
	311		H = 2,5 · 10 ³ [J m ⁻²]		
312	H = 4,0 · 10 ³ [J m ⁻²]				
313	H = 6,3 · 10 ³ [J m ⁻²]				
314	H = 10 ⁴ [J m ⁻²]				
UVA	315 - 400	H = 10 ⁴ [J m ⁻²]			
Visibile 400 - 700	400 - 600 Danno fotochimico ^b Danno alla retina	7 mm	H = 100 C _B [J m ⁻²] ($\gamma = 11$ mrad) ^d	E = 1 C _B [W m ⁻²]; ($\gamma = 1,1 t^{0,5}$ mrad) ^d	
	400 - 700 Danno termico ^b Danno alla retina		se $\alpha < 1,5$ mrad se $\alpha > 1,5$ mrad e $t \leq T_2$ se $\alpha > 1,5$ mrad e $t > T_2$	allora E = 10 [W m ⁻²] allora H = 18 C _E t ^{0,75} [J m ⁻²] allora E = 18 C _E T ₂ ^{-0,25} [W m ⁻²]	
IRA	700 - 1 400	7 mm	se $\alpha < 1,5$ mrad se $\alpha > 1,5$ mrad e $t \leq T_2$ se $\alpha > 1,5$ mrad e $t > T_2$	allora E = 10 C _A C _C [W m ⁻²] allora H = 18 C _A C _C C _E t ^{0,75} [J m ⁻²] allora E = 18 C _A C _C C _E T ₂ ^{-0,25} [W m ⁻²] (non superare 1 000 W m ⁻²)	
IRB e IRC	1 400 - 10 ⁶	cf. ^c	E = 1 000 [W m ⁻²]		

a Se la lunghezza d'onda o un'altra caratteristica del laser è coperto da due limiti, si applica il più restrittivo.

b Per sorgenti piccole che sottendono un angolo di 1,5 mrad o inferiore, i doppi valori limiti nel visibile da 400 nm a 600 nm si riducono ai limiti per rischi termici per $10 \text{ s} \leq t < T_1$ e ai limiti per rischi fotochimici per periodi superiori. Per T_1 e T_2 cfr. tabella 2.5. Il limite di rischio fotochimico per la retina può anche essere espresso come radianza integrata nel tempo $G = 10^6 C_B [\text{J m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ per $t > 10 \text{ s}$ fino a $t = 10\,000 \text{ s}$ e $L = 100 C_B [\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ per $t > 10\,000 \text{ s}$. Per la misurazione di G e L γ_m deve essere usato come campo di vista medio. Il confine ufficiale tra visibile e infrarosso è 780 nm come stabilito dalla CIE. La colonna con le denominazioni della lunghezza d'onda ha il solo scopo di fornire un inquadramento migliore all'utente. (Il simbolo G è usato dal CEN; il simbolo L_c dalla CIE, il simbolo L_p dall'IEC e dal CENELEC).

c Per lunghezze d'onda 1 400 - 10⁵ nm: apertura diametro = 3,5 mm; per lunghezze d'onda 10⁵ - 10⁶ nm: apertura diametro = 11 mm.

d Per la misurazione del valore di esposizione γ è così definita: se α (angolo sotteso da una sorgente) $> \gamma$ (angolo del cono di limitazione, indicato tra parentesi nella colonna corrispondente) allora il campo di vista di misurazione di γ_m dovrebbe essere il valore dato di γ (se si utilizza un valore superiore del campo di vista il rischio risulta sovraffaticato). Se $\alpha < \gamma$ il valore del campo di vista di misurazione γ_m deve essere sufficientemente grande da includere completamente la sorgente, altrimenti non è limitato e può essere superiore a γ .

Fattori di correzione

Tabella 2.5

Fattori di correzione applicati e altri parametri di calcolo

Parametri elencati da ICNIRP	Regione spettrale valida (nm)	Valore o descrizione
C_A	$\lambda < 700$	$C_A = 1,0$
	700 — 1 050	$C_A = 10^{0,002(\lambda - 700)}$
	1 050 — 1 400	$C_A = 5,0$
C_B	400 — 450	$C_B = 1,0$
	450 — 700	$C_B = 10^{0,02(\lambda - 450)}$
C_C	700 — 1 150	$C_C = 1,0$
	1 150 — 1 200	$C_C = 10^{0,018(\lambda - 1 150)}$
	1 200 — 1 400	$C_C = 8,0$

Fattori di correzione

T ₁	$\lambda < 450$	T ₁ = 10 s
	450 — 500	T ₁ = 10 · [10 ^{0,02 (λ - 450)}] s
	$\lambda > 500$	T ₁ = 100 s
Parametri elencati da ICNIRP	Valido per effetto biologico	Valore o descrizione
α_{\min}	tutti gli effetti termici	$\alpha_{\min} = 1,5$ mrad
Parametri elencati da ICNIRP	Intervallo angolare valido (mrad)	Valore o descrizione
C _E	$\alpha < \alpha_{\min}$	C _E = 1,0
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	C _E = α/α_{\min}
	$\alpha > 100$	C _E = $\alpha^2/(\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max})$ mrad con $\alpha_{\max} = 100$ mrad
T ₂	$\alpha < 1,5$	T ₂ = 10 s
	1,5 < α < 100	T ₂ = 10 · [10 ^{(α - 1,5) / 98,5}] s
	$\alpha > 100$	T ₂ = 100 s

I fattori di correzione

I fattori C_a e C_c tengono conto della radiosensibilità della retina in funzione della frequenza della radiazione.

- Il **fattore C_a** tiene conto della dell'assorbimento retinico in base alle differenti lunghezze d'onda come causa di danno.
- Il **fattore C_c** tiene conto della diminuzione della radiosensibilità per lunghezze d'onda superiori a 1100 nm.

I fattori di correzione

Nel caso di fasci continui o con impulsi con $t > 10s$, alle basse lunghezze d'onda nel visibile ($< 550 \text{ nm}$) la radiazione causa danni fotochimici sulla retina.

Il **fattore di correzione C_b** tiene conto della diminuzione della radiosensibilità per lunghezze d'onda $> 550 \text{ nm}$.

I fattori di correzione

Il **fattore correttivo C_e** tiene conto della differenza tra immagine puntiforme e immagine estesa.

- $CE = 1$ per $\alpha < \alpha_{min}$
- $CE = \alpha / \alpha_{min}$ per $\alpha_{min} \leq \alpha < \alpha_{max}$

α : è l'angolo di divergenza del fascio laser (espresso in mrad)

α_{min} : varia a seconda del tempo di esposizione o di impulso

Sorgente puntiforme e sorgente estesa

Consideriamo una SORGENTE ESTESA se l'angolo di vista α è superiore ad un valore α_{\min} che dipende dal tempo di esposizione o di impulso.

- $\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$ se $t < 0,7 \text{ s}$
- $\alpha_{\min} = 2 t^{3/4} \text{ mrad}$ se t è compreso tra $0,7 \text{ s}$ e 10 s
- $\alpha_{\min} = 11 \text{ mrad}$ se $t \geq 10 \text{ s}$

La maggior parte delle sorgenti laser sono da considerare puntiformi non producendo immagini estese sulla retina se le lunghezze d'onda sono comprese tra 400 nm e 1400 nm .

In pochi casi la sorgente può essere considerata ESTESA, come ad esempio immagini diffuse di riflessione.

Come calcolare la protezione oculare

Per calcolare la giusta protezione è necessario calcolare l'energia che viene deposita nell'occhio e ricavare la EMP dalle tabelle 2.2 e/o 2.3 (Laser continui)

$$D.O. = \log_{10} H0/EMP$$

l'EMP dei laser impulsati è più complessa da ricavare

Criteri di correzione per laser impulsati

Per tutte le esposizioni ripetute, derivanti da sistemi laser impulsati, devono essere soddisfatti tre criteri

Criteri di correzione per laser impulsati

Criterio n° 1

L'esposizione derivante da un singolo treno di impulsi non deve superare il valore limite di esposizione per un singolo impulso della durata di quell'impulso.

SPIEGAZIONE: Se un treno di impulsi deve essere sicuro, deve essere sicuro ogni singolo impulso del treno.

Criteri di correzione per laser impulsati

Criterio n° 2

L'esposizione derivante da qualsiasi gruppo di impulsi (o sottogruppi di un treno di impulsi) che si verifica in un tempo t non deve superare il valore limite di esposizione per il tempo t .

SPIEGAZIONE: Questo criterio si riferisce all'esposizione energetica media nel tempo di esposizione t . Se una serie di impulsi deve essere sicura, l'esposizione totale ricevuta durante il tempo t non deve superare l'esposizione equivalente al VLE calcolato per un laser a onda continua (CW) nello stesso periodo di tempo. Il VLE per impulso è dato da HT / N .

Criteri di correzione per laser impulsati

Criterio n° 3

L'esposizione derivante da un singolo impulso in un gruppo di impulsi non deve superare il valore limite di esposizione del singolo impulso moltiplicato per un fattore di correzione termica $C_p = N^{-0,25}$, dove N è il numero di impulsi. Questa norma si applica soltanto a limiti di esposizione per la protezione da lesione termica.

SPIEGAZIONE: Questa terza prescrizione si applica solo ai limiti termici (per lunghezze d'onda $400 \leq \lambda \leq 10^6$ nm) Poiché il danno aumenta ad ogni impulso, bisogna tener conto di questo effetto riducendo il VLE di un fattore di correzione termica cumulativa.

PROTETTORI OCULARI

Abbiamo detto che la densità ottica si ricava:

$$\text{D.O.} = \log_{10} (\text{PIN}(\lambda) / \text{POUT}(\lambda))$$

- $\text{PIN}(\lambda)$ = Potenza-Energia entrante nel filtro
- $\text{POUT}(\lambda)$ = Potenza-Energia massima permessa

Il risultato del logaritmo è numero che, approssimato per eccesso, indica la densità ottica che deve avere l'occhiale

PROTETTORI OCULARI

E' necessario verificare la stabilità ottica dell'occhiale

Controllare le tabelle EN207 e EN208

EN207

Per la stabilità ottica nel normale utilizzo (LB*)

EN208

Per la stabilità ottica in fase di allineamento (RB*)

PROTETTORI OCULARI

Ogni filtro oculare ha una marcatura sulla montatura o sui filtri con queste indicazioni:

- D= fascio continuo
- I= fascio impulsato ($10e^{-4} < t < 10e^{-1}$)
- R= impulsi giganti (Q-switching: $10e^{-9} < t < 10e^{-7}$)
- M= impulsi a modo accoppiato (mode locking: $t < 10e^{-9}$)
- Lunghezza d'onda o range garantito di protezione
- Numero di graduazione (attenuazione richiesta al filtro per ridurre la radiazione incidente sull'occhio al valore sicuro EMP)
- Marchio di identificazione del costruttore (conforme norma EN207): include la stabilità ottica cioè la resistenza del DPI a varie tipologie di emissione del fascio laser

PROTETTORI OCULARI

Esempio: sigla occhiale: D 620-700 L5 + IR 700-1100 L6 X

- **D** condizione di prova secondo il prospetto 4-Norma UNI EN 207 (laser a onda continua 1 impulso di 10 secondi)
- **620-700** intervallo di λ in nm in cui il filtro garantisce la protezione con il numero di graduazione seguente
- **L5** numero di graduazione ossia il fattore spettrale massimo di trasmissione del filtro pari a e^{-5} nel suddetto intervallo di λ
- **IR** sono altre due condizioni di prova cui sono stati testati i filtri:
 - **I** = laser a impulsi; **R**= laser a impulsi giganti (Q-switched)
- **700-1100** altro intervallo di λ in nm cui il filtro garantisce la protezione con il numero di graduazione seguente
- **L6** numero massimo di graduazione ossia il fattore spettrale massimo di trasmissione del filtro pari a e^{-6} nel suddetto intervallo di λ
- **X** marchio di identificazione del fabbricante

PROTETTORI OCULARI

Quanto proteggono gli occhiali per LASER?

Le prove di certificazione garantiscono una protezione per **5 secondi o 50 impulsi del fascio diretto.**

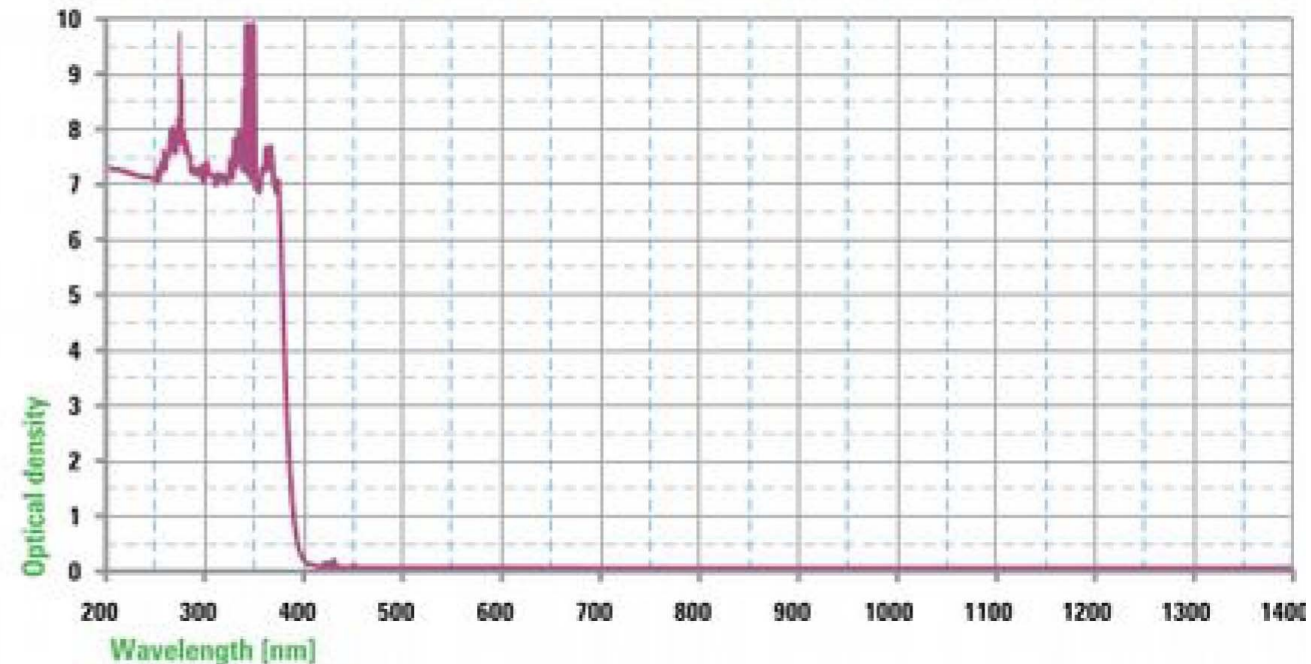
Le esposizioni al fascio diretto sono accidentali gli occhiali proteggono il tempo necessario ad interrompere l'esposizione.

Dopo un'esposizione accidentale I DPI vanno portati dal Tecnico di Sicurezza Laser: potrebbero non essere più idonei.

PROTETTORI OCULARI

Filter code: **UL-1001**

Filter	Full protection
Colour	Clear
Material	Polycarbonate
Technology	Absorbing filter
VLT	90%
Alignment laser wavelength (T%>10%)	400-780 nm



Wavelength		OD	Protection level	531	539	561	562	559G
				531.00.0.300	539.00.0.300	○ 561H.00.00.300 ● 561H.00.01.300	○ 562H.00.00.300 ● 562H.00.01.300	559G.00.00.300
190	315	7	D LB7 + IR LB3	D LB7 + IR LB3	D LB7 + IR LB3	D LB7 + IR LB3	D LB7 + IR LB3	D LB7 + IR LB3
10600		6	DI LB4	DI LB3	DI LB3	DI LB4	DI LB4	DI LB4

Principali cause degli incidenti con il Laser

- Occhiali protettivi (disponibili) non usati
- Scorretta scelta degli occhiali
- Occhiali danneggiati
- Malfunzionamento/scorretto uso delle apparecchiature laser

Il Danno Fotochimico

➤ Il danno di tipo 1

si verifica dopo lunghe esposizioni (ore o anche giorni) a irradianze non elevate e si manifesta inizialmente su ampie zone della retina a livello dei fotorecettori.

Questo tipo di lesione può tradursi in una cecità per i colori.

➤ Il danno di tipo 2

richiede esposizioni di più breve durata ma di elevata irradianza. La lesione è più localizzata. La parte sensibile della retina è rapidamente sbiancata. Si è misurato che lo spettro d'azione del danno aumenta la sua sensibilità con il ridursi della lunghezza d'onda della luce. Danno conosciuto anche come "danno Ham" o "da luce blu". Il danno che ne deriva consiste in una vista a zone d'ombra o a macchie.

Il Danno Termico

Si verifica anche dopo brevi esposizioni ad alta esposizione radiante.

Questo tipo di danno provoca la morte dei fotorecettori per surriscaldamento.

Questo tipo di lesione si traduce in una cecità
TOTALE.

RICORDA....

Il T.L.S. è una figura importante ma la relazione va acquistata dall'R.S.P.P. che ne valuta il rischio e sceglie i D.P.I.

Vanno comunicati gli esposti al Medico Competente che deve organizzare la sorveglianza sanitaria specifica (annuale o suppletiva in caso di esposizioni accidentali)

Attenzione ai soggetti particolarmente sensibili...

Aggiornare la scheda di destinazione lavorativa!

FINE

Grazie per l'attenzione!