

# CASO STUDIO: VALUTAZIONE RISCHI LASER

## PRIMA VERIFICA DI UN APPARECCHIO LASER “continuo-cw”

Luisa Biazzi

### 1) Apparecchiatura utilizzata:

Matricola	Marca	Modello	Lunghezza d'onda	Classe	Durata impulso	n. occhiali presenti
ZZZZZ	XXXXX	XXX 980	980 nm	4	cw - 3ms– 2,5s	3
			635 nm	3R	cw	

Dalla tabella sopraesposta si rileva che l'apparecchiatura laser (che contiene 2 laser: uno di classe 4 e uno di classe 3) **appartiene alla classe 4 ed eroga radiazione invisibile** (più pericolosa della visibile) essa infatti può causare alle persone presenti nella sala lesioni oculari anche per esposizioni alla sola radiazione diffusa, lesioni alla pelle e può essere causa di incendi.

### Caratteristiche della sorgente per emissione continua

Tipo	Lunghezza d'onda (nm)	Potenza (W)	Diametro fascio (mm)	Divergenza (mrad)	Durata esposizione (s)
Diode	980	25	6	76	10 ovvero 5

**Distanza laser-utilizzatore r = 20 cm**

### 2) Sono presenti n. 3 paia di protezioni oculari (DPI)

In tabella si riportano la marca e la sigla identificativa di ogni paio di occhiali (n.3 diversi occhiali di n.3 ditte diverse; in grassetto quelli adeguati alla lunghezza d'onda del laser di 980 nm e di classe 4 ma con caratteristiche L/LB diverse).

MARCA	N. occhiali	SIGLA IDENTIFICATIVA
YYYYY	1	1070-1090 DIR L5 + 840-1090 M L5 // <b>950-1070 D LB4 + IR L7 NOIR</b>
YYYYY	1	DIR 600-800 L4 // <b>DI 800-1100 LB6</b> // IR 800-980 L6 // IR >980-1065 L7 // IR>1065-1100 L5 (OD5+)
YYYYY	1	DI 800 L4 + DI905 L5+ <b>DI 980 LB5</b> + DI1040 L5 + DIR 1064 L5 + DI 1070 L5 + DI 780-1100 L4 + DI 1100 L4

### 1° PARTE. Determinare VLE e DNRO

**1-Valore Limite di Esposizione (VLE=EMP) all'occhio per 10 s e 5 s**

**1a-Esposizione radiante, H (J/m<sup>2</sup>)**

**1b-Irradianza/Densità di potenza, E W/m<sup>2</sup>**

**2-Distanza Nominale di Rischio Oculare (DNRO) e ZLC**

### 2° PARTE: Verificare l'Idoneità del protettore oculare (DPI)

**3-Densità ottica necessaria a ridurre l'esposizione a valore non superiore al VLE (EMP)**

**4-Stabilità alla radiazione ossia Resistenza al danneggiamento al fascio laser per 5 secondi ovvero 50 impulsi**



**VERIFICA DELLA IDONEITA' DEI PROTETTORI OCULARI IN DOTAZIONE**  
(DENSITA' OTTICA E STABILITA' ALLA RADIAZIONE)**Dispositivi di protezione individuale (Norma tecnica UNI EN 207)**

Sono presenti n. 3 paia di occhiali, vedi tabella soprastante.

**N.B.** Si fa notare che la dotazione dei dispositivi oculari di protezione, forniti a corredo della apparecchiatura, sono di tre case produttrici diverse, di conseguenza i tre paia di occhiali, pur avendo le medesime caratteristiche di protezione, sono diversi; ciò può causare confusione per gli operatori, pertanto si ritiene indispensabile che detti occhiali vengano tutti e tre marcati sulla stanghetta con una fascetta colorata di riconoscimento in riferimento al relativo sistema laser e lo stesso marchio sia posto sulla apparecchiatura laser corrispondente.

**VISIONE DIRETTA (accidentale)**

**La verifica dell'idoneità del tipo di protettore oculare in dotazione all'apparecchiatura laser comporta la valutazione di:**

- a) **Densità ottica necessaria a ridurre l'esposizione a valori inferiori al VLE (EMP)**
- b) **Stabilità alla radiazione ossia resistenza al fascio laser per almeno 5s ovvero 50 impulsi**  
ossia resistenza al danneggiamento; infatti il protettore è progettato per proteggere l'occhio da un'esposizione ACCIDENTALE per almeno 5s o per 50 impulsi dall'edizione della norma UNI EN 207:2010 (nella edizione precedente erano 10s e 100 impulsi).

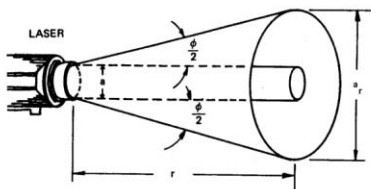
**Per poter dichiarare il protettore oculare idoneo, entrambe le verifiche devono essere soddisfatte, cioè il DPI deve essere in grado di ridurre l'esposizione al di sotto dell'EMP e di resistere al campo radiante almeno per il tempo o per il numero degli impulsi sopra indicati.**

Procedimento

Preliminarmente si calcola il valore dell'irradianza all'occhio ( $E = P/A$ ), assumendo il diametro pupillare  $d_p$  (che varia 2-7 mm) pari a 7 mm (caso peggiore, che corrisponde a un'area di  $3,8 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ ) e confrontando, se nel range  $400 \leq \lambda < 1400 \text{ nm}$ , l'apertura del fascio di diametro  $a_r$  all'occhio rispetto al valore del diametro  $d_p$  tenendo conto delle caratteristiche della sorgente.

Risulta (v. figura)

$$a_r = (a + r\phi) = 21,2 \text{ mm} \quad \text{essendo } a = 6 \text{ mm} \quad r = 20 \text{ cm} \quad \phi = 76 \text{ mrad}$$



- se  $a_r > d_p$  uso  $a_r$  per calcolare l'area A all'occhio con  $A = \pi(a_r/2)^2$
- se  $a_r < d_p$  uso  $d_p$  per calcolare l'area A all'occhio con  $A = \pi(d_p/2)^2$

Nel ns. caso  $a_r > d_p$  per cui uso il raggio  $a_r/2$  ossia  $A_{oc} = 0,35 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

**Irradianza o densità di potenza all'occhio, espressa in  $W/m^2$**

$$E_{oc} = P/A_{oc} = 25 \text{ W} / 0,35 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 7,14 \times 10^4 \text{ W/m}^2 \quad (4)$$

**Esposizione radiante (integrale dell'irradianza nel tempo di esposizione 10s/5s), in  $J/m^2$**

$$\text{in 10s} \quad H_{oc} = E_{oc} (W/m^2) \times 10 \text{ s} = 7,14 \times 10^5 \text{ J/m}^2 \quad (5)$$

$$\text{in 5s} \quad H_{oc} = E_{oc} (W/m^2) \times 5 \text{ s} = 3,57 \times 10^5 \text{ J/m}^2 \quad (5\text{bis})$$

**Nota l'esposizione radiante H, si determinano la densità ottica e la stabilità della radiazione.**

**a) Densità ottica**

La densità ottica D è un numero che indica il fattore di attenuazione che il filtro deve garantire per ridurre il livello di radiazione che arriva all'occhio al VLE ammesso.

Utilizzando

a) il VLE massimo permesso di esposizione radiante per  $t=5$  ovvero 10s per la lunghezza d'onda del laser

b) l'esposizione radiante che arriverebbe all'occhio non protetto, H

la densità ottica necessaria per ridurre l'esposizione all'occhio al valore di VLE è calcolata come segue, per funzionamento in continuo desunto dalla tabella A.1 in Appendice A della Norma UNI EN 207:

**$t=10s \quad D_{\lambda} = \log_{10} (H_{oc} / VLE) = - \log_{10} \tau(\lambda) = \log_{10} (7,14 \times 10^5 \text{ J/m}^2 / 367,5 \text{ J/m}^2) = 3,3$**   
approssimato al valore superiore:

**$D_{\lambda} = 4$  che corrisponde al valore LB4 (Norma UNI EN207)**

**$t=5s \quad D_{\lambda} = \log_{10} (H_{oc} / VLE) = - \log_{10} \tau(\lambda) = \log_{10} (3,57 \times 10^5 \text{ J/m}^2 / 218,5 \text{ J/m}^2) = 3,2$**   
approssimato al valore superiore:

**$D_{\lambda} = 4$  che corrisponde al valore LB4 (Norma UNI EN207)**

Se  $D_{\lambda}$  (5s) fosse inferiore a  $D_{\lambda}$  (10s) o viceversa, devo prendere il valore  **$D_{\lambda}$  più alto**

Nota

**H / VLE, Opacità O:** rapporto tra potenza (o energia) incidente sul filtro H e quella trasmessa (ossia in uscita dal filtro che arriva sull'occhio, al più pari al VLE).

**VLE / H, Trasmittanza spettrale  $\tau(\lambda)$**  rapporto tra potenza (o energia) trasmessa dal filtro (al più pari al VLE) e quella incidente sul filtro H.

D=1 corrisponde a un'opacità di un fattore pari a 10, D=2 pari a 100, ecc. ossia a una trasmittanza  $\tau(\lambda)$  rispettivamente pari a 1/10, 1/100, ecc.

Nel funzionamento continuo o ultracorto VLE e H sono espressi in termini di irradianza ( $W/m^2$ ).

**b) Stabilità alla radiazione**

La stabilità alla radiazione del protettore oculare si calcola determinando la densità di potenza incidente sulla protezione oculare e quindi confrontando il valore calcolato con quello riportato nella Tabella B1 (v. oltre) dell'appendice B alla Norma UNI EN 207:

**Qui come dimensione del fascio prendo ciò che arriva al filtro=DPI (non all'occhio  $d_p$ !), ossia il diametro  $a_r$  del fascio:**

$$\text{Area fascio } \pi a_r^2 / 4 = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$E_{\text{filtro}} = P / \text{area fascio} = 4 P / (\pi a_r^2)$$

$$\text{Quindi } E_{\text{filtro}} = 25 \text{ W} / (0,35 \times 10^{-3}) \text{ m}^2 = 7,14 \times 10^4 \text{ W/m}^2$$

$$E_{\text{filtro}} = 7,14 \times 10^4 \text{ W/m}^2 < 10^5 \text{ W/m}^2 \quad \text{Dalla Norma UNI EN207 serve } \textbf{LB4}$$

Da UNI EN 207 osservo che il numero di graduazione LB4 del protettore oculare, per radiazioni laser continuo "D" di lunghezza d'onda compresa tra 315 nm e 1400 nm, garantisce la stabilità alla radiazione laser fino al valore di densità di potenza massima permessa di  $10^5 \text{ W/m}^2$  per il tempo di 5s (valore desunto dalla tabella 1 in Appendice B della Norma UNI EN 207 per 5s cw ovvero 50 impulsi).

**Nel caso in cui  $E_{\text{filtro}} > 10^5 \text{ W/m}^2$ , la sigla LB4 non andrebbe bene e dovrei salire alla classe superiore LB5 o ancora superiore.**

**Nel caso in esame il protettore oculare idoneo, oltre al corretto intervallo di lunghezza d'onda, è quello che presenta il valore LB4.**

ossia il numero di scala LB4 corrisponde al limite di stabilità di  $10^5 \text{ W/m}^2$  che è superiore alla densità di potenza al filtro protettore; pertanto la sigla del DPI corretta è:

**D 980 LB4....**

**ossia**

### Marcatura del protettore oculare

Lunghezza d'onda (nm)	Funzionamento continuo	Scala	Dati del costruttore
980	D	LB4	XXX

**D 980 LB4 XX**

## MARCATURA DELL'OCCHIALE

**Ogni occhiale protettivo ha una marcatura sulla montatura o sui filtri con queste indicazioni:**

- **D**= laser a onda continua (CW), durata impulso  $>0,25$  s
- **I** = laser impulsato, durata impulso tra  $10^{-6}$  e  $0,25$  s
- **R**= laser a impulsi giganti, durata impulso tra  $10^{-9}$  e  $10^{-6}$  s (Q-switching)
- **M**= laser a impulso ultracorto, durata impulso  $t_{\text{secondi}} \leq 10^{-9}$  (mode locking)
- 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 207): include la stabilità ottica cioè la resistenza del DPI a varie tipologie di emissione del fascio laser

**Table B.1 — Recommended scale numbers for use of filters and eye-protectors against laser radiation**

Scale number	Maximum spectral transmittance at the laser wavelength $\tau(\lambda)$	Maximum power (E) and/or energy (H) density in the wavelength range								
		180 nm to 315 nm			> 315 nm to 1 400 nm			> 1 400 to 1 000 $\mu\text{m}$		
		Laser type/exposure duration in seconds (s)								
		D $\geq 3 \times 10^4$	I, R $10^{-9}$ to $3 \times 10^4$	M $< 10^{-9}$	D $> 5 \times 10^{-4}$	I, R $10^{-9}$ to $5 \times 10^{-4}$	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R $10^{-9}$ to 0,1	M $< 10^{-9}$
		$E_D$ $\text{W/m}^2$	$H_{I,R}$ $\text{J/m}^2$	$E_M$ $\text{W/m}^2$	$E_D$ $\text{W/m}^2$	$H_{I,R}$ $\text{J/m}^2$	$H_M$ $\text{J/m}^2$	$E_D$ $\text{W/m}^2$	$H_{I,R}$ $\text{J/m}^2$	$E_M$ $\text{W/m}^2$
LB1	$10^{-1}$	0,01	$3 \times 10^2$	$3 \times 10^{11}$	$10^2$	0,05	$1,5 \times 10^{-3}$	$10^4$	$10^3$	$10^{12}$
LB2	$10^{-2}$	0,1	$3 \times 10^3$	$3 \times 10^{12}$	$10^3$	0,5	$1,5 \times 10^{-2}$	$10^5$	$10^4$	$10^{13}$
LB3	$10^{-3}$	1	$3 \times 10^4$	$3 \times 10^{13}$	$10^4$	5	0,15	$10^6$	$10^5$	$10^{14}$
LB4	$10^{-4}$	10	$3 \times 10^5$	$3 \times 10^{14}$	$10^5$	50	1,5	$10^7$	$10^6$	$10^{15}$
LB5	$10^{-5}$	$10^2$	$3 \times 10^6$	$3 \times 10^{15}$	$10^6$	$5 \times 10^2$	15	$10^8$	$10^7$	$10^{16}$
LB6	$10^{-6}$	$10^3$	$3 \times 10^7$	$3 \times 10^{16}$	$10^7$	$5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$	$10^9$	$10^8$	$10^{17}$
LB7	$10^{-7}$	$10^4$	$3 \times 10^8$	$3 \times 10^{17}$	$10^8$	$5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$	$10^{10}$	$10^9$	$10^{18}$
LB8	$10^{-8}$	$10^5$	$3 \times 10^9$	$3 \times 10^{18}$	$10^9$	$5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^4$	$10^{11}$	$10^{10}$	$10^{19}$
LB9	$10^{-9}$	$10^6$	$3 \times 10^{10}$	$3 \times 10^{19}$	$10^{10}$	$5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^5$	$10^{12}$	$10^{11}$	$10^{20}$
LB10	$10^{-10}$	$10^7$	$3 \times 10^{11}$	$3 \times 10^{20}$	$10^{11}$	$5 \times 10^7$	$1,5 \times 10^6$	$10^{13}$	$10^{12}$	$10^{21}$