

GESTLABS

Laboratorio Materiali e Servizi per l'Industria



Dispositivi di protezione individuali (con riferimento ai VLE)

Novembre 2023

Enrico Galbiati

Dispositivi di protezione individuale

Le norme di riferimento per i dispositivi di protezione individuale (DPI) per la radiazione laser sono:

- **UNI EN 207** “Equipaggiamento di protezione personale degli occhi - Filtri e protettori dell’occhio contro radiazioni laser (protettori dell’occhio per laser)”
- **UNI EN 208** “Protezione personale degli occhi - Protettori dell’occhio per i lavori di regolazione sui laser e sistemi laser (protettori dell’occhio per regolazioni laser)”

Densità ottica e trasmittanza

$$DO = \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) = -\log_{10} \tau$$

DO = densità ottica del filtro

P_{in} = potenza ottica entrante nel filtro

P_{out} = potenza ottica trasmessa attraverso il filtro

τ = trasmittanza (trasmissione) ottica del filtro

UNI EN 207

La norma UNI EN 207 si applica ai dispositivi per la protezione totale dell'occhio dalla radiazione laser.

La norma si applica ai dispositivi di protezione oculare per l'esposizione accidentale alla radiazione laser nell'intervallo di lunghezza d'onda da 180 nm a 1 mm.

Questa norma non si applica ai protettori per esposizione intenzionale alla radiazione laser.

UNI EN 207

La norma UNI EN 207 definisce:

- requisiti
- metodi di prova
- marcatura

La norma contiene anche una guida (nell'allegato B) per scegliere ed utilizzare correttamente il tipo di protettore oculare.

UNI EN 207

I protettori oculari sono definiti in base a:

- densità ottica → numero di scala (10 livelli)
- tipo di emissione → durata (4 livelli)
- lunghezza d'onda → da 180 nm a 1 mm

UNI EN 207

Il **numero di scala** (da LB1 a LB10) indica il fattore di attenuazione:

LB1 → 10, **LB2** → 10^2 , ..., **LB10** → 10^{10}

Il **tipo di emissione** si riferisce alla durata dell'impulso ed è indicato nel modo seguente:

D → emissione continua

I → emissione ad impulsi

R → emissione ad impulsi giganti (laser Q-switch)

M → emissione ad impulsi con accoppiamento di modo (laser mode-coupled)

Valori massimi di esposizione semplificati

Lunghezza d'onda (nm)	Irradianza E				Esposizione radiante H			
	D		M		M		I, R	
	Durata dell'impulso (s)	W/m ²	Durata dell'impulso (s)	W/m ²	Durata dell'impulso (s)	J/m ²	Durata dell'impulso (s)	J/m ²
da 180 a 315	30000	0,001	$< 10^{-9}$	3×10^{10}	-	--	da $> 10^{-9}$ a 3×10^4	30
da > 315 a 1400	$> 5 \times 10^{-4}$ to 10	10	-	-	$< 10^{-9}$	$1,5 \times 10^{-4}$	da $> 10^{-9}$ a 5×10^{-4}	0,005
da > 1400 a 10^6	$> 0,1$ to 10	1000	$< 10^{-9}$	10^{11}	-	-	da $> 10^{-9}$ a 0,1	100

Confronto tra UNI EN 207 e CEI EN 60825-1

Esempio

Lunghezza d'onda (nm)	Irradianza E		
	D		
	Durata dell'impulso (s)	W/m ²	EMP (CEI EN 60825-1)
da 180 a 315	30000	0,001	30 J/m ² λ da 180 nm a 302,5 nm t = 30000 s
da > 315 a 1400	da > 5×10^{-4} a 10	10	100 J/m ² λ da 400 nm a 450 nm t = 10 s
da > 1400 a 10^6	da > 0,1 a 10	1000	100 W/m ² λ da 1400 nm a 10^6 nm t = 10 s

UNI EN 207

La tabella 1 indica a quale valore di irradianza (E) o esposizione radiante (H) deve resistere il protettore oculare, in funzione della sua densità ottica.

La durata dell'esposizione da considerare è quella per cui la resistenza dei protettori è verificata da apposite prove.

UNI EN 207

Per i laser con lunghezze d'onda da 400 nm a 10^6 nm, durata del singolo impulso $< 0,25$ s e frequenza di ripetizione degli impulsi > 1 Hz, i valori espressi in esposizione radiante delle tabelle 1 e B.1 devono essere moltiplicati per $N^{-1/4}$, dove N è il numero di impulsi in 5 s.

UNI EN 207

Le durate delle prove per la stabilità ottica dei filtri sono indicate nella tabella seguente (tabella 4 della UNI EN 207).

Condizioni di test per tipo di laser	Tipo di laser	Durata dell'impulso (s)	Numero minimo di impulsi
D	Laser ad emissione continua	5	1
I	Laser ad impulsi	da $> 10^{-8}$ a 0,25	50
R	Laser impulsato Q-switch pulsed laser	da $> 10^{-8}$ a 10^{-8}	50
M	Laser ad accoppiamento di modo (mode-coupled)	$< 10^{-8}$	50

UNI EN 207

La durata dell'esposizione da considerare deve essere quella per cui è garantita la stabilità ottica, cioè per cui è garantita la loro resistenza alla radiazione laser.

La durata dell'esposizione da considerare deve essere di almeno 5 s e, nel caso di laser impulsato, di almeno 50 impulsi, come indicato nella tabella 4 della UNI EN 207.

UNI EN 207

Nelle prove di resistenza alla radiazione laser, il diametro del fascio, d_{63} , incidente sulla superficie del dispositivo di protezione oculare deve essere di 1 mm (+/- 0,1 mm), ad eccezione dei fasci con impulsi $< 10^{-9}$ s.

Nel caso di impulsi $< 10^{-9}$ s, il diametro del fascio incidente, d_{63} , deve essere $\geq 0,5$ mm.

UNI EN 207 – Tabella 1

Numero di scala	Trasmittanza spettrale massima alla lunghezza d'onda indicata $\tau(\lambda)$	Densità di potenza (E) e di energia (H) per il test dell'effetto di protezione e resistenza alla radiazione laser nell'intervallo di lunghezza d'onda indicato								
		da 180 nm a 315 nm			da > 315 nm a 1400 nm			da > 1400 nm a 1000 μm		
		Per la condizione di test / durata dell'impulso in secondi (s)								
		D $\geq 3 \times 10^4$	I, R da 10^{-9} a 3×10^4	M $< 10^{-9}$	D $> 5 \times 10^{-4}$	I, R da 10^{-9} a 5×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R da 10^{-9} a 0,1	M $< 10^{-9}$
		E_D	$H_{I,R}$	E_M	E_D	$H_{I,R}$	H_M	E_D	$H_{I,R}$	E_M
		W/m^2	J/m^2	W/m^2	W/m^2	J/m^2	J/m^2	W/m^2	J/m^2	W/m^2
LB1	10^{-1}	0,01	3×10^2	3×10^{11}	10^2	0,05	$1,5 \times 10^{-3}$	10^4	10^3	10^{12}
LB2	10^{-2}	0,1	3×10^3	3×10^{12}	10^3	0,5	$1,5 \times 10^{-2}$	10^5	10^4	10^{13}
LB3	10^{-3}	1	3×10^4	3×10^{13}	10^4	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
LB4	10^{-4}	10	3×10^5	3×10^{14}	10^5	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
LB5	10^{-5}	10^2	3×10^6	3×10^{15}	10^6	5×10^2	15	10^8	10^7	10^{16}
LB6	10^{-6}	10^3	3×10^7	3×10^{16}	10^7	5×10^3	$1,5 \times 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
LB7	10^{-7}	10^4	3×10^8	3×10^{17}	10^8	5×10^4	$1,5 \times 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
LB8	10^{-8}	10^5	3×10^9	3×10^{18}	10^9	5×10^5	$1,5 \times 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
LB9	10^{-9}	10^6	3×10^{10}	3×10^{19}	10^{10}	5×10^6	$1,5 \times 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
LB10	10^{-10}	10^7	3×10^{11}	3×10^{20}	10^{11}	5×10^7	$1,5 \times 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

I simboli D, I, R e M sono relativi alle condizioni di test indicate in Tabella 4.

UNI EN 207

Se il fascio laser ha una sezione con diametro $d > 1$ mm, i valori della tabella B1 devono essere divisi per il fattore $F(d)$, che ha i seguenti valori:

- Se il materiale del filtro è vetro: $F(d) = d^{1,1693}$
- Se il materiale del filtro è plastico: $F(d) = d^{1,2233}$

Il diametro, d , deve essere espresso in mm. Se il diametro è maggiore di 15 mm, il valore di $F(d)$ deve essere limitato a $F(15)$.

UNI EN 207

633 D LB5 X

633 → lunghezza d'onda per cui il protettore oculare è specificato

D → condizione di test in accordo alla Tabella 4

LB5 → numero di scala in accordo alla Tabella 1

X → marcatura che identifica il costruttore

UNI EN 207 – Tabella B.1

Numero di scala	Trasmittanza spettrale massima alla lunghezza d'onda indicata $\tau(\lambda)$	Densità di potenza (E) o di energia (H) nell'intervallo di lunghezza d'onda indicato								
		da 180 nm a 315 nm			da > 315 nm a 1400 nm			da > 1400 nm a 1000 μm		
		Per la condizione di test / durata dell'impulso in secondi (s)								
		D $\geq 3 \times 10^4$	I, R da 10^{-9} a 3×10^4	M $< 10^{-9}$	D $> 5 \times 10^{-4}$	I, R da 10^{-9} a 5×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R da 10^{-9} a 0,1	M $< 10^{-9}$
		E_D	$H_{I,R}$	E_M	E_D	$H_{I,R}$	H_M	E_D	$H_{I,R}$	E_M
		W/m^2	J/m^2	W/m^2	W/m^2	J/m^2	J/m^2	W/m^2	J/m^2	W/m^2
LB1	10^{-1}	0,01	3×10^2	3×10^{11}	10^2	0,05	$1,5 \times 10^{-3}$	10^4	10^3	10^{12}
LB2	10^{-2}	0,1	3×10^3	3×10^{12}	10^3	0,5	$1,5 \times 10^{-2}$	10^5	10^4	10^{13}
LB3	10^{-3}	1	3×10^4	3×10^{13}	10^4	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
LB4	10^{-4}	10	3×10^5	3×10^{14}	10^5	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
LB5	10^{-5}	10^2	3×10^6	3×10^{15}	10^6	5×10^2	15	10^8	10^7	10^{16}
LB6	10^{-6}	10^3	3×10^7	3×10^{16}	10^7	5×10^3	$1,5 \times 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
LB7	10^{-7}	10^4	3×10^8	3×10^{17}	10^8	5×10^4	$1,5 \times 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
LB8	10^{-8}	10^5	3×10^9	3×10^{18}	10^9	5×10^5	$1,5 \times 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
LB9	10^{-9}	10^6	3×10^{10}	3×10^{19}	10^{10}	5×10^6	$1,5 \times 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
LB10	10^{-10}	10^7	3×10^{11}	3×10^{20}	10^{11}	5×10^7	$1,5 \times 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

Scelta dei protettori oculari

La procedura per identificare il corretto protettore oculare è la seguente:

1. Calcolare l'esposizione radiante o l'irradianza sul filtro, a seconda dell'unità di misura del valore della tabella 1 della UNI EN 207 applicabile al caso in esame.
2. Dalla tabella 1 della UNI EN 207, scegliere il filtro con la minore attenuazione che però corrisponda ad un valore di esposizione radiante o irradianza (a seconda di quale sia applicabile) superiore o uguale a quella/o che si ha sul filtro.

Scelta dei protettori oculari

I valori di esposizione radiante o irradianza della tabella 1 della UNI EN 207 sono ottenuti dividendo per la trasmissione τ del filtro i valori di EMP semplificati che sono uguali o più restrittivi dei VLE (valori limite di esposizione) del D.lgs. 81/2008.

Inoltre, la UNI EN 207 prescrive, per il calcolo della resistenza del filtro, espressa in irradianza o esposizione radiante, diaframmi con diametro inferiore o uguale a quelli che devono essere usati per determinare il VLE.

Scelta dei protettori oculari

Quindi, se al filtro indicato nella tabella 1 della UNI EN 207 corrisponde un valore di esposizione radiante o di irradianza superiori all'esposizione radiante o all'irradianza sul filtro, allora, generalmente, si può considerare che non solo la resistenza del filtro è adeguata, ma anche la sua densità ottica è sufficiente a mantenere il livello di esposizione dell'occhio al di sotto del VLE (naturalmente per un tempo limitato, in base a quanto indicato nella UNI EN 207).

Vi potrebbero però essere casi in cui questa regola non vale. Quindi bisogna quindi verificare direttamente che la densità ottica sia adeguata e non permetta il superamento dei VLE.

Scelta dei protettori oculari

Questi casi potrebbero capitare nell'intervallo di lunghezza d'onda da 315 nm a 10^6 nm, quando si deve applicare la condizione relativa al raggruppamento degli impulsi contenuti in un particolare periodo di tempo, dipendente dalla lunghezza d'onda, che nel D.lgs. è indicato con T_{\min} mentre nella norma UNI EN 207 è indicato con T_i . Quindi, in questa presentazione, con T_{\min} ci si riferisce anche a T_i .

Infatti, la norma UNI EN 207, per la valutazione della resistenza dei protettori oculari, prevede l'applicazione del raggruppamento degli impulsi solo per lunghezze d'onda da 400 nm a 10^6 nm, mentre il D.lgs. 81/08 ne prevede l'applicazione anche per lunghezze d'onda da 315 nm a 400 nm.

Scelta dei protettori oculari

Comunque, per maggiore sicurezza ed evitare che errori nel calcolo possano incidere sulla corretta scelta del filtro, si consiglia di effettuare la verifica dell'adeguatezza del numero di scala sempre, non solo quando si deve applicare la condizione del raggruppamento degli impulsi in T_{\min} , ma anche nel caso di impulsi distanziati da un periodo maggiore di T_{\min} o nel caso di emissione continua.

Esempio (UNI EN 207)

Determinare le specifiche del DPI necessario per fornire adeguata protezione alla distanza $r = 50$ cm da un laser Nd-YAG, il cui fascio ha le seguenti caratteristiche:

- lunghezza d'onda: $\lambda = 1064$ nm
- frequenza di ripetizione degli impulsi: $f = 30$ Hz
- durata del singolo impulso: $t_i = 0,1$ ms
- energia del singolo impulso: $Q_i = 400$ mJ
- diametro del fascio all'uscita dal laser: $a = 2$ mm
- divergenza del fascio: $\phi = 1$ mrad

Esempio (UNI EN 207)

Per calcolare l'esposizione radiante sul filtro bisogna confrontare il diametro del diaframma con il diametro, d_r , del fascio laser alla distanza di 50 cm.

Il valore di d_r è dato da:

$$d_r = a + 2 r \operatorname{tg}(\phi/2) \approx a + r \phi$$

Nell'esempio considerato:

$$d_r = 2 \text{ mm} + 500 \text{ mm} \times 1 \text{ mrad} = 2,5 \text{ mm}$$

$$H_{\text{impulso},r} = 4 \times 0,4 \text{ J} / [\pi (2,5 \times 10^{-3} \text{ m})^2] = 81487 \text{ J/m}^2$$

Esempio (UNI EN 207)

Per calcolare il numero di impulsi nel tempo di misura, cioè in 5 s, bisogna calcolare il numero di impulsi verificando se vi possono essere più impulsi in T_{\min} , che per questa lunghezza d'onda vale:

$$T_{\min} = 50 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Il periodo T relativo alla frequenza di ripetizione degli impulsi è dato da:

$$T = 1/f = 1/(30 \text{ Hz}) = 3,33 \times 10^{-2} \text{ s} > T_{\min}$$

Esempio (UNI EN 207)

Quindi nel tempo T_{\min} è presente un solo impulso, perciò non si applica la condizione del raggruppamento degli impulsi in T_{\min} . Perciò il numero di impulsi nel tempo di misura, cioè in 5 s, è:

$$N = f t = 30 \text{ Hz} \times 5 \text{ s} = 150$$

Quindi, per il confronto con la tabella 1, bisogna moltiplicare i valori in tabella per $N^{-1/4}$ oppure, in alternativa e in modo equivalente, moltiplicare il valore di $H_{\text{impulso},r}$ per $N^{1/4}$, determinando $H_{\text{impulso,treno},r}$.

$$N^{1/4} = 150^{0,25} = 3,5$$

$$H_{\text{impulso,treno},r} = N^{1/4} H_{\text{impulso},r} = 3,5 \times 81487 \text{ J/m}^2 = 285205 \text{ J/m}^2$$

Esempio (UNI EN 207)

Se gli occhiali sono di materiale plastico, dobbiamo considerare il fattore $F(2,5) = 2,5^{1,2233} = 3,07$.

Per trovare il filtro giusto, dobbiamo dividere i valori della tabella 1 per 3,07, oppure, in modo equivalente, moltiplicare il valore di $H_{\text{impulso,treno,r}}$ per 3,07.

Nel secondo caso si ha:

$$\begin{aligned} H_{\text{impulso,treno,r,F}} &= 3,07 \times 285205 \text{ J/m}^2 = 875579 \text{ J/m}^2 \\ &= 8,76 \times 10^5 \text{ J/m}^2 \end{aligned}$$

UNI EN 207 – Tabella 1

Numero di scala	Trasmittanza spettrale massima alla lunghezza d'onda indicata $\tau(\lambda)$	Densità di potenza (E) e di energia (H) per il test dell'effetto di protezione e resistenza alla radiazione laser nell'intervallo di lunghezza d'onda indicato								
		da 180 nm a 315 nm			da > 315 nm a 1400 nm			da > 1400 nm a 1000 μm		
		Per la condizione di test / durata dell'impulso in secondi (s)								
		D $\geq 3 \times 10^4$	I, R da 10^{-9} a 3×10^4	M $< 10^{-9}$	D $> 5 \times 10^{-4}$	I, R da 10^{-9} a 5×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R da 10^{-9} a 0,1	M $< 10^{-9}$
		E_D	$H_{I,R}$	E_M	E_D	$H_{I,R}$	H_M	E_D	$H_{I,R}$	E_M
		W/m^2	J/m^2	W/m^2	W/m^2	J/m^2	J/m^2	W/m^2	J/m^2	W/m^2
LB1	10^{-1}	0,01	3×10^2	3×10^{11}	10^2	0,05	$1,5 \times 10^{-3}$	10^4	10^3	10^{12}
LB2	10^{-2}	0,1	3×10^3	3×10^{12}	10^3	0,5	$1,5 \times 10^{-2}$	10^5	10^4	10^{13}
LB3	10^{-3}	1	3×10^4	3×10^{13}	10^4	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
LB4	10^{-4}	10	3×10^5	3×10^{14}	10^5	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
LB5	10^{-5}	10^2	3×10^6	3×10^{15}	10^6	5×10^2	15	10^8	10^7	10^{16}
LB6	10^{-6}	10^3	3×10^7	3×10^{16}	10^7	5×10^3	$1,5 \times 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
LB7	10^{-7}	10^4	3×10^8	3×10^{17}	10^8	5×10^4	$1,5 \times 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
LB8	10^{-8}	10^5	3×10^9	3×10^{18}	10^9	5×10^5	$1,5 \times 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
LB9	10^{-9}	10^6	3×10^{10}	3×10^{19}	10^{10}	5×10^6	$1,5 \times 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
LB10	10^{-10}	10^7	3×10^{11}	3×10^{20}	10^{11}	5×10^7	$1,5 \times 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

I simboli D, I, R e M sono relativi alle condizioni di test indicate in Tabella 4.

Esempio (UNI EN 207)

Il valore della tabella è nell'intervallo da 315 a 1400 nm e nella colonna indicata con "IR".

Il filtro con la trasmittanza e la resistenza adeguata ha il numero di scala LB9, che resiste fino a 5×10^6 J/m².

Quindi, riguardo ai singoli impulsi, la sigla del filtro è:
1064 I LB9.

Bisogna però verificare che non si superi il VLE.

Esempio (UNI EN 207)

Bisogna determinare il numero di scala anche riguardo alla potenza media (in $T = 5$ s).

$$E_{\text{media,r,F}} = N F(2,5) H_{\text{impulso,r}} / (5 \text{ s}) = 150 \times 3,07 \times 81487 / 5 \text{ W/m}^2 \\ = 7,50 \times 10^6 \text{ W/m}^2$$

$E_{\text{media,r,F}}$ si può calcolare anche nel modo seguente:

$$E_{\text{media,r,F}} = f F(2,5) H_{\text{impulso,r}} = 30 \times 3,07 \times 81487 \text{ W/m}^2 \\ = 7,50 \times 10^6 \text{ W/m}^2$$

UNI EN 207 – Tabella 1

Numero di scala	Trasmittanza spettrale massima alla lunghezza d'onda indicata $\tau(\lambda)$	Densità di potenza (E) e di energia (H) per il test dell'effetto di protezione e resistenza alla radiazione laser nell'intervallo di lunghezza d'onda indicato								
		da 180 nm a 315 nm			da > 315 nm a 1400 nm			da > 1400 nm a 1000 μm		
		Per la condizione di test / durata dell'impulso in secondi (s)								
		D $\geq 3 \times 10^4$	I, R da 10^{-9} a 3×10^4	M $< 10^{-9}$	D $> 5 \times 10^{-4}$	I, R da 10^{-9} a 5×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R da 10^{-9} a 0,1	M $< 10^{-9}$
		E_D W/m^2	$H_{I,R}$ J/m^2	E_M W/m^2	E_D W/m^2	$H_{I,R}$ J/m^2	H_M J/m^2	E_D W/m^2	$H_{I,R}$ J/m^2	E_M W/m^2
LB1	10^{-1}	0,01	3×10^2	3×10^{11}	10^2	0,05	$1,5 \times 10^{-3}$	10^4	10^3	10^{12}
LB2	10^{-2}	0,1	3×10^3	3×10^{12}	10^3	0,5	$1,5 \times 10^{-2}$	10^5	10^4	10^{13}
LB3	10^{-3}	1	3×10^4	3×10^{13}	10^4	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
LB4	10^{-4}	10	3×10^5	3×10^{14}	10^5	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
LB5	10^{-5}	10^2	3×10^6	3×10^{15}	10^6	5×10^2	15	10^8	10^7	10^{16}
LB6	10^{-6}	10^3	3×10^7	3×10^{16}	10^7	5×10^3	$1,5 \times 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
LB7	10^{-7}	10^4	3×10^8	3×10^{17}	10^8	5×10^4	$1,5 \times 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
LB8	10^{-8}	10^5	3×10^9	3×10^{18}	10^9	5×10^5	$1,5 \times 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
LB9	10^{-9}	10^6	3×10^{10}	3×10^{19}	10^{10}	5×10^6	$1,5 \times 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
LB10	10^{-10}	10^7	3×10^{11}	3×10^{20}	10^{11}	5×10^7	$1,5 \times 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

I simboli D, I, R e M sono relativi alle condizioni di test indicate in Tabella 4.

Esempio (UNI EN 207)

Dalla colonna indicata con "D", si vede che il filtro con la trasmittanza e la resistenza adeguate ha il numero di scala LB6, che resiste fino a 10^7 W/m².

Quindi, riguardo alla potenza media, la sigla del filtro è **1064 D LB6**.

Bisogna però verificare che non si superi il VLE.

Esempio (UNI EN 207)

In base alla valutazione della resistenza, il protettore oculare dovrà avere la seguente sigla:

1064 D LB6 + I LB9 X ZZ

La trasmittanza di questo filtro è data dal valore più basso tra quello riferito al tipo di emissione D e quello riferito a IR. Quindi, la trasmittanza sarà $\tau = 10^{-9}$.

Perciò bisognerà verificare che con un fattore di attenuazione di 10^{-9} non si superi il VLE nelle tre condizioni: impulso singolo, impulso del treno e potenza media.

Esempio (UNI EN 207)

Per determinare il VLE, bisogna calcolare il numero di impulsi verificando se vi possono essere più impulsi in T_{\min} , che per questa lunghezza d'onda vale:

$$T_{\min} = 50 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Il periodo T è dato da:

$$T = 1/f = 1/(30 \text{ Hz}) = 3,33 \times 10^{-2} \text{ s} > T_{\min}$$

Quindi, nel tempo T_{\min} è presente un solo impulso, perciò non si applica la condizione del raggruppamento degli impulsi in T_{\min} . Il numero di impulsi in 5 s è $N = 150$ e quindi

$$C_P = 150^{-0,25} = 0,286$$

Esempio (UNI EN 207)

Quando non si applica il raggruppamento degli impulsi, la condizione dell'impulso del treno è sicuramente più restrittiva della condizione dell'impulso singolo.

Quindi non è necessario esaminare la condizione dell'impulso singolo.

Esempio (UNI EN 207)

Il VLE per l'impulso del treno è dato da:

$$\begin{aligned} \text{VLE}_i &= 90 t^{0,75} C_C C_P \text{ J/m}^2 = 90 (0,1 \times 10^{-3})^{0,75} \times 0,286 \text{ J/m}^2 \\ &= 0,0257 \text{ J/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{essendo } C_C = 1 \text{ e } C_P = N^{-1/4} = 150^{-1/4} = 0,286$$

Esempio (UNI EN 207)

Il valore di esposizione radiante all'occhio relativo all'impulso del treno, $H_{\text{occhio,impulso,r}}$, che deve essere confrontato con il VLE relativo all'impulso, si calcola dividendo l'energia dell'impulso che entra nell'occhio per l'area del diaframma, che per questa lunghezza d'onda ha un diametro di 7 mm (che simula la massima apertura della pupilla).

Assumendo che il fascio laser abbia un profilo gaussiano, il fattore di accoppiamento η , cioè la frazione del fascio laser che entra nell'apertura del diaframma di diametro d_a è dato da:

$$\eta = 1 - \exp[-(d_a/d_{63})^2]$$

Esempio (UNI EN 207)

Quindi si ha:

$$H_{\text{occhio,impulso,r}} = \eta H_{\text{impulso,r}}$$

Essendo in questo caso

$$\eta = 1 - \exp[-(7/2,5)^2] = 1$$

si ha:

$$\begin{aligned} H_{\text{occhio,impulso,r}} &= \eta Q_i / (\pi d_a^2/4) = 0,4 \text{ J} / [\pi (7 \times 10^{-3} \text{ m})^2/4] \\ &= 10384 \text{ J/m}^2 \end{aligned}$$

Esempio (UNI EN 207)

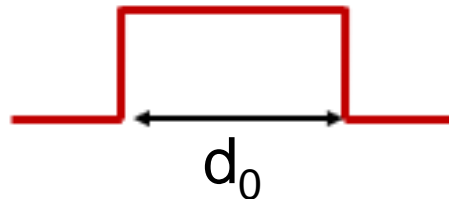
La trasmittanza del filtro 1064 D LB6 + I LB9 è 10^{-9} .
Applicando il fattore di riduzione 10^{-9} all'esposizione radiante relativa all'impulso del treno, si ha:

$$10^{-9} H_{\text{occhio,impulso,r}} = 10^{-9} \times 10384 \text{ J/m}^2 = 1,0384 \times 10^{-5} \text{ J/m}^2 \\ < \text{VLE} = 0,0257 \text{ J/m}^2$$

Quindi il filtro 1064 D LB6 + I LB9 evita il superamento del VLE.

Esempio (UNI EN 207)

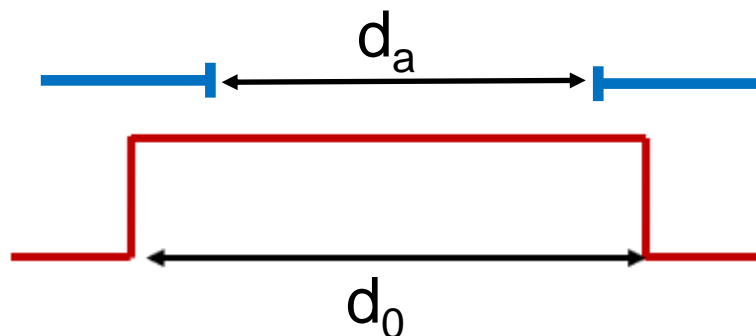
Si può usare un metodo alternativo che evita di dover calcolare η e che, pur essendo meno preciso, è più cautelativo. Questo metodo si basa sull'approssimare il profilo del fascio con un profilo rettangolare di sezione circolare e diametro $d_0 = d_{63}$.



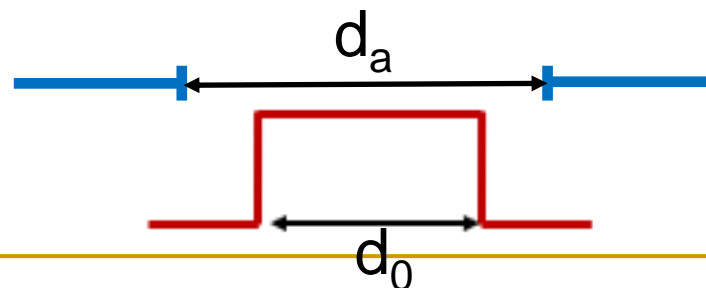
Esempio (UNI EN 207)

Si possono avere due diversi casi:

- diametro del fascio laser, d_0 , maggiore o uguale al diametro dell'apertura, d_a , cioè $d_0 \geq d_a$



- diametro del fascio laser minore del diametro dell'apertura, cioè $d_{63} < d_a$



Esempio (UNI EN 207)

Secondo questo metodo, il valore di $H_{\text{occhio,impulso},r}$ si può approssimare nel modo seguente:

$$\text{se } d_0 \geq d_a, H_{\text{occhio,impulso},r} = Q_i / (\pi d_0^2/4)$$

$$\text{se } d_0 < d_a, H_{\text{occhio,impulso},r} = Q_i / (\pi d_a^2/4)$$

Se $d_0 < d_a$ e $\eta = 1$, questo metodo porta allo stesso valore di $H_{\text{occhio,impulso},r}$ del calcolo preciso. Nei rimanenti casi, il metodo approssimato fornisce un valore di $H_{\text{occhio,impulso},r}$ maggiore di quello che si ottiene dal calcolo preciso; quindi, questo metodo approssimato è più cautelativo.

Esempio (UNI EN 207)

Naturalmente, il metodo approssimato si può applicare anche al calcolo di $E_{\text{occhio,media,r}}$ nel modo seguente.

$$\text{Se } d_0 \geq d_a, E_{\text{occhio,media,r}} = E_{\text{media,r}} / (\pi d_0^2/4)$$

$$\text{Se } d_0 < d_a, E_{\text{occhio,media,r}} = E_{\text{media,r}} / (\pi d_a^2/4)$$

Anche in questo caso, se $d_0 < d_a$ e $\eta = 1$, questo metodo porta allo stesso valore di $E_{\text{occhio,media,r}}$ del calcolo preciso, mentre nei rimanenti casi, il metodo approssimato è più cautelativo perché fornisce un valore di $E_{\text{occhio,media,r}}$ maggiore di quello che si ottiene dal calcolo preciso.

Esempio (UNI EN 207)

Applicando questo metodo all'esempio in oggetto, essendo in questo caso $d_{63} < d_a$, e $\eta = 1$, si ottiene lo stesso valore di $H_{\text{occhio,impulso,r}}$ del calcolo preciso. Infatti, si ha:

$$\begin{aligned} H_{\text{occhio,impulso,r}} &= Q_i / (\pi d_a^2/4) = 0,4 \text{ J} / [\pi (7 \times 10^{-3} \text{ m})^2/4] \\ &= 10394 \text{ J/m}^2 \end{aligned}$$

Quindi, anche applicando questo metodo, abbiamo che il filtro 1064 IR LB9 evita il superamento del VLE.

Esempio (UNI EN 207)

Il VLE per 5 s è dato da:

$$\text{VLE}_{\text{medio}} = 90 t^{0,75} C_C \text{ J/m}^2 = 90 \times 5^{0,75} \text{ J/m}^2 = 300,9 \text{ J/m}^2$$

essendo $C_C = 1$. Esprimendolo in irradianza si ha:

$$\text{VLE}_{\text{medio,P}} = 300,9/5 \text{ W/m}^2 = 60,18 \text{ W/m}^2$$

Esempio (UNI EN 207)

$$E_{\text{occhio,media,r}} = \eta E_{\text{media,r}}$$

Essendo

$$\eta = 1 - \exp[-(7/2,5)^2] = 1$$

si ha:

$$\begin{aligned} E_{\text{occhio,media,r}} &= \eta f Q_i / (\pi d_a^2/4) = 30 \times 0,4 / [\pi (7 \times 10^{-3})^2/4] \text{ W/m}^2 \\ &= 311814 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Esempio (UNI EN 207)

La trasmittanza del filtro 1064 D LB6 + IR LB9 è 10^{-9} .
Applicando il fattore di riduzione 10^{-9} all'irradianza relativa all'impulso alla potenza media, si ha:

$$10^{-9} E_{\text{occhio,media,r}} = 10^{-9} \times 311814 \text{ W/m}^2 = 3,12 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2 \\ < \text{VLE} = 60,18 \text{ W/m}^2$$

Quindi il filtro 1064 D LB6 + I LB9 evita il superamento del VLE.

Esempio (UNI EN 207)

Applicando il metodo all'esempio in oggetto, essendo in questo caso $d_{63} < d_a$, e $\eta = 1$, si ottiene lo stesso valore di $E_{\text{occhio,media,r}}$ del calcolo preciso. Infatti, si ha:

$$E_{\text{occhio,media,r}} = f Q_i / (\pi d_a^2/4) = 30 \times 0,4 / [\pi (7 \times 10^{-3})^2/4] \text{ W/m}^2 \\ = 311814 \text{ W/m}^2$$

Quindi, anche applicando il metodo approssimato, abbiamo che il filtro 1064 D LB6 + I LB9 evita il superamento del VLE.

Esempio (UNI EN 207)

Quindi la sigla del filtro deve essere:

1064 D LB6 + I LB9 X ZZ

dove:

X = marchio del costruttore

ZZ = marchio di certificazione, se applicabile

UNI EN 208

La norma si applica ai dispositivi per la protezione dell'occhio durante operazioni di regolazione del laser (per esempio l'allineamento).

Questi protettori oculari sono usati dove sono presenti radiazioni pericolose nell'intervallo di lunghezza d'onda visibile da 400 nm a 700 nm.

UNI EN 208

La norma UNI EN 208 definisce:

- requisiti
- metodi di prova
- marcatura

La norma contiene anche una guida (nell'allegato B) per scegliere ed utilizzare correttamente il tipo di protettore oculare.

UNI EN 208

I protettori oculari sono definiti in base a:

- densità ottica ➔ numero di scala (5 livelli)
- tipo di laser ➔ tipo di emissione (2 livelli)
- lunghezza d'onda ➔ da 400 nm a 700 nm

UNI EN 208

I filtri specificati nella norma riducono queste radiazioni ai valori definiti per i laser di classe 2, cioè:

$\leq 1 \text{ mW}$ per laser con emissione continua (CW)
o con impulsi $\geq 2 \times 10^{-4} \text{ s}$

$\leq 2 \times 10^{-7} \text{ J}$ per laser con impulsi compresi tra 10^{-9} s
e $2 \times 10^{-4} \text{ s}$

UNI EN 208

Il numero di scala (da RB1 a RB5) indica il fattore di attenuazione:

RB1 → 10, **RB2** → 10^2 , ..., **RB5** → 10^5

La tabella 1 riporta i valori di densità ottica relativi ad ogni numero di scala e i massimi valori di energia e potenza per cui tale numero di scala deve essere usato.

UNI EN 208

I valori che devono essere confrontati con quelli in tabella 1 sono i valori di energia e di potenza del fascio laser rilevati all'interno di un diaframma circolare di 7 mm di diametro, perpendicolare al fascio e posto alla distanza in cui si troverebbe l'occhiale durante il suo utilizzo.

L'apertura del diaframma è di 7 mm per simulare la massima dilatazione della pupilla, in accordo al metodo di misura per la classificazione prescritto dalla norma CEI EN 60825-1.

La tabella 1 indica qual è la trasmittanza dei filtri identificati dal numero di scala.

UNI EN 208 – Tabella 1

Numero di scala	Trasmittanza spettrale		Laser CW e impulsati con durata dell'impulso $\geq 2 \times 10^{-4}$ s Potenza massima del laser (W)	Laser impulsati con durat degli impulsi da $> 10^{-9}$ s a 2×10^{-4} s Energia massima di impulso del laser (J)
	Filtro	Montatura		
RB 1	$10^{-2} < \tau(\lambda) \leq 10^{-1}$	$\tau(\lambda) \quad 10^{-1}$	0,01	2×10^{-6}
RB 2	$10^{-3} < \tau(\lambda) \leq 10^{-2}$	$\tau(\lambda) \quad 10^{-2}$	0,1	2×10^{-5}
RB 3	$10^{-4} < \tau(\lambda) \leq 10^{-3}$	$\tau(\lambda) \quad 10^{-3}$	1	2×10^{-4}
RB 4	$10^{-5} < \tau(\lambda) \leq 10^{-4}$	$\tau(\lambda) \quad 10^{-4}$	10	2×10^{-3}
RB 5	$10^{-6} < \tau(\lambda) \leq 10^{-5}$	$\tau(\lambda) \quad 10^{-5}$	100	2×10^{-2}

UNI EN 208 – Tabella 2

Densità di potenza e di energia per il test		
Numero di scala	Densità di potenza E (W/m ²)	Densità di energia H (J/m ²)
RB 1	1×10^4	2
RB 2	1×10^5	20
RB 3	1×10^6	200
RB 4	1×10^7	2 000
RB 5	1×10^8	20 000

UNI EN 208

La tabella 2 indica a quale irradianza (E) o esposizione radiante (H) deve resistere il protettore oculare, in base al numero di scala.

La dimensione del fascio incidente sulla superficie del dispositivo di protezione oculare utilizzato per il test di resistenza è di 1 mm.

UNI EN 208

La durata dell'esposizione deve essere di almeno 5 s e, nel caso di laser impulsato, di almeno 50 impulsi.

I valori espressi in esposizione radiante della tabella 2 devono essere moltiplicati per $N^{-1/4}$, dove N è il numero di impulsi in 5 s, se la durata di ciascun impulso è compresa tra 10^{-9} e 2×10^{-4} s e la frequenza di ripetizione degli impulsi è $> 0,1 \text{ s}^{-1}$, cioè $> 0,1 \text{ Hz}$.

UNI EN 208

Per impulsi di durata compresa tra 10^{-9} s e $1,8 \times 10^{-5}$ s, il valore di energia per impulso della tabella 1, moltiplicata per l'attenuazione τ è superiore al LEA per la classe 2 della CEI EN 60825-1:2017. Infatti, il nuovo LEA è $7,7 \times 10^{-8}$ J.

Non ci sono problemi invece per durate maggiori di $1,8 \times 10^{-5}$ s, in quanto per queste durate il valore di LEA preso come riferimento è minore o uguale al LEA per la classe 2 dell'ultima edizione della CEI EN 60825-1.

UNI EN 208

Per impulsi di durata compresa tra 10^{-9} s e 5×10^{-6} s, per essere coerenti con l'attuale CEI EN 60825-1, i valori della tabella 1 dovrebbero essere:

$7,7 \times 10^{-7}$ J per RB1

$7,7 \times 10^{-6}$ J per RB2

$7,7 \times 10^{-5}$ J per RB3

$7,7 \times 10^{-4}$ J per RB4

$7,7 \times 10^{-3}$ J per RB5

UNI EN 208 – Tabella B.1

Numero di scala	Potenza massima istantanea per laser in continua, per durate di emissioni di $\geq 2 \times 10^{-4}$ s Base dei tempi: 0,25 s (W)	Potenza massima istantanea per laser in continua Maximum per durate di emissioni $\geq 2 \times 10^{-4}$ s Tempo di reazione: 2 s (W)	Energia massima per laser ad impulsi per durate degli impulsi da 10^{-9} s a 2×10^{-4} s Base dei tempi: 0,25 s (J)	Energia massima per laser ad impulsi per durate degli impulsi da 10^{-9} s a $< 2 \times 10^{-4}$ s Tempo di reazione: 2 s (J)
RB 1	0,01	0,006	2×10^{-6}	$1,2 \times 10^{-6}$
RB 2	0,1	0,06	2×10^{-5}	$1,2 \times 10^{-5}$
RB 3	1	0,6	2×10^{-4}	$1,2 \times 10^{-4}$
RB 4	10	6	2×10^{-3}	$1,2 \times 10^{-3}$
RB 5	100	60	2×10^{-2}	$1,2 \times 10^{-2}$

UNI EN 208 – Esempio di marcatura

1 W 2×10^{-4} 515 RB3 X ZZ

1 W → potenza massima del laser

2×10^{-4} → massima energia dell'impulso

515 → lunghezza d'onda per cui il protettore oculare è specificato

X → marcatura che identifica il costruttore

ZZ → marchio di certificazione (se applicabile)

Scelta dei protettori oculari

La procedura per identificare il corretto protettore oculare è la seguente:

1. Dalla tabella 1 della UNI EN 208, scegliere il filtro con la minore attenuazione che però corrisponda ad un valore di potenza radiante o energia radiante (a seconda di quale sia applicabile) superiore o uguale a quella emessa dal laser all'interno del diaframma di 7 mm di diametro. Come già indicato in precedenza, bisogna però fare attenzione che, per impulsi di durata compresa tra 10^{-9} e $1,8 \times 10^{-5}$ s, il filtro dedotto dalla tabella potrebbe non essere adeguato a portare il valore dell'energia entro l'attuale limite della classe 2.

Scelta dei protettori oculari

2. Calcolando l'esposizione radiante o l'irradianza sul filtro e confrontandone il valore con quelli indicati nella tabella 2, verificare se la resistenza del filtro è adeguata. Se non lo fosse, si deve passare al filtro successivo, fino a trovare il filtro in grado di sopportare i valori di esposizione radiante o irradianza del fascio laser.

3. Nel caso di laser a impulsi, verificare che l'attenuazione del filtro sia in grado di ridurre l'energia dell'impulso singolo e dell'impulso del treno entro i limiti della classe 2.

Scelta dei protettori oculari

I valori di energia radiante o potenza radiante della tabella 1 della UNI EN 208 sono ottenuti moltiplicando per la trasmissione τ del filtro i valori di LEA della classe 2 semplificati che, come già descritto in precedenza, sono più restrittivi di quelli della CEI EN 60825-1 per durate maggiori di $1,8 \times 10^{-5}$ s, ma meno restrittivi per impulsi di durata compresa tra 10^{-9} s e $1,8 \times 10^{-5}$ s.

I valori relativi alla resistenza del filtro, indicati nella tabella 2, sono invece espressi in irradianza o esposizione radiante.

Scelta dei protettori oculari

Per prima cosa si determina il valore di energia radiante o potenza radiante e lo si confronta con i valori riportati nella tabella 1 o, meglio, con i valori della tabella 1 opportunamente corretti per renderli coerenti con il LEA per la classe 2 dell'attuale edizione della CEI EN 60825-1. I valori di energia radiante o potenza radiante devono essere quelli relativi alla porzione di fascio che passa attraverso il diaframma di 7 mm.

Poi bisogna verificare la resistenza del filtro, determinando l'esposizione radiante o l'irradianza sul filtro stesso e confrontandola poi con i valori indicati nella tabella 2.

Esempio 1 (UNI EN 208)

Determinare le specifiche del DPI necessario portare in classe 2 un laser He-Ne ($\lambda = 633 \text{ nm}$) in emissione continua con una potenza di 6 mW. Il fascio è collimato e ha un diametro di 1 mm.

UNI EN 208 – Tabella 1

Numero di scala	Trasmittanza spettrale		Laser CW e impulsati con durata dell'impulso di $> 2 \times 10^{-4}$ s Potenza massima del laser (W)	Laser impulsati con durat degli impulsi da $> 10^{-9}$ s a 2×10^{-4} s Energia massima di impulso del laser (J)
	Filtro	Montatura		
RB 1	$10^{-2} < \tau(\lambda) \leq 10^{-1}$	$\tau(\lambda) = 10^{-1}$	0,01	2×10^{-6}
RB 2	$10^{-3} < \tau(\lambda) \leq 10^{-2}$	$\tau(\lambda) = 10^{-2}$	0,1	2×10^{-5}
RB 3	$10^{-4} < \tau(\lambda) \leq 10^{-3}$	$\tau(\lambda) = 10^{-3}$	1	2×10^{-4}
RB 4	$10^{-5} < \tau(\lambda) \leq 10^{-4}$	$\tau(\lambda) = 10^{-4}$	10	2×10^{-3}
RB 5	$10^{-6} < \tau(\lambda) \leq 10^{-5}$	$\tau(\lambda) = 10^{-5}$	100	2×10^{-2}

Esempio 1 (UNI EN 208)

1. Valutazione della potenza radiante o dell'energia radiante

Dalla tabella 1 si ha che, in base alla potenza emessa dal laser, anche il filtro con numero di scala più basso, cioè RB1, ha densità ottica adeguata.

Esempio 1 (UNI EN 208)

2. Calcolo dell'esposizione radiante o dell'irradianza

Per valutare la resistenza del filtro, l'irradianza sul filtro stesso deve essere calcolato con un fascio di 1 mm di diametro, come indicato nel paragrafo A.3.

Essendo il diametro del fascio in oggetto non inferiore a 1 mm, si può calcolare l'irradianza come rapporto tra la potenza totale e l'area della sezione del fascio.

Quindi si ha:

$$E = (6 \times 10^{-3} \text{ W}) / [\pi(1 \text{ mm}/2)^2] = 7639 \text{ W/m}^2$$

UNI EN 208 – Tabella 2

Densità di potenza e di energia per il test		
Numero di scala	Densità di potenza E (W/m ²)	Densità di energia H (J/m ²)
RB 1	1×10^4	2
RB 2	1×10^5	20
RB 3	1×10^6	200
RB 4	1×10^7	2 000
RB 5	1×10^8	20 000

Esempio 1 (UNI EN 208)

Dalla tabella 2 si vede che l'irradianza massimo sopportabile da un filtro RB1 è 10^4 W/m², quindi il filtro RB1 ha una stabilità ottica è sufficiente.

Quindi il filtro da usare ha la seguente sigla:

0,01W 2×10⁻⁶J 633 RB1 X ZZ

dove:

X = marchio del costruttore

ZZ = marchio di certificazione, se applicabile

Esempio 2 (UNI EN 208)

Determinare le specifiche del protettore oculare necessarie per portare in classe 2 un laser He-Ne ($\lambda = 633 \text{ nm}$) in emissione continua con una potenza di 9 mW.

Il fascio è collimato e ha un diametro di 1 mm.

UNI EN 208 – Tabella 1

Numero di scala	Trasmittanza spettrale		Laser CW e impulsati con durata dell'impulso di $> 2 \times 10^{-4}$ s Potenza massima del laser (W)	Laser impulsati con durata degli impulsi da $> 10^{-9}$ s a 2×10^{-4} s Energia massima di impulso del laser (J)
	Filtro	Montatura		
RB 1	$10^{-2} < \tau(\lambda) \leq 10^{-1}$	$\tau(\lambda) = 10^{-1}$	0,01	2×10^{-6}
RB 2	$10^{-3} < \tau(\lambda) \leq 10^{-2}$	$\tau(\lambda) = 10^{-2}$	0,1	2×10^{-5}
RB 3	$10^{-4} < \tau(\lambda) \leq 10^{-3}$	$\tau(\lambda) = 10^{-3}$	1	2×10^{-4}
RB 4	$10^{-5} < \tau(\lambda) \leq 10^{-4}$	$\tau(\lambda) = 10^{-4}$	10	2×10^{-3}
RB 5	$10^{-6} < \tau(\lambda) \leq 10^{-5}$	$\tau(\lambda) = 10^{-5}$	100	2×10^{-2}

Esempio 2 (UNI EN 208)

1. Valutazione della potenza radiante o dell'energia radiante

Dalla tabella 1, si ha che, in base alla potenza emessa dal laser, anche il filtro con numero di scala più basso, cioè RB1, ha una densità ottica adeguata.

Esempio 2 (UNI EN 208)

2. Calcolo dell'esposizione radiante o dell'irradianza

Per valutare la resistenza del filtro, l'irradianza sul filtro stesso deve essere calcolato con un fascio di 1 mm di diametro, come indicato nel paragrafo A.3.

Essendo il diametro del fascio in oggetto uguale a 1 mm, si può calcolare l'irradianza come rapporto tra la potenza totale e l'area della sezione del fascio.

Quindi si ha:

$$E = (9 \times 10^{-3} \text{ W}) / [\pi(1 \text{ mm}/2)^2] = 11459 \text{ W/m}^2$$

UNI EN 208 – Tabella 2

Densità di potenza e di energia per il test		
Numero di scala	Densità di potenza E (W/m ²)	Densità di energia H (J/m ²)
RB 1	1×10^4	2
RB 2	1×10^5	20
RB 3	1×10^6	200
RB 4	1×10^7	2 000
RB 5	1×10^8	20 000

Esempio 2 (UNI EN 208)

L'irradianza massimo sopportabile da un filtro RB1 è 10^4 W/m^2 , quindi il filtro RB1 non ha una stabilità ottica sufficiente. Quindi bisogna passare al filtro successivo, cioè RB2. Questo filtro può sopportare un irradianza di 10^5 W/m^2 , perciò va bene.

UNI EN 208 – Tabella 1

Numero di scala	Trasmittanza spettrale		Laser CW e impulsati con durata dell'impulso di $> 2 \times 10^{-4}$ s Potenza massima del laser (W)	Laser impulsati con durata degli impulsi da $> 10^{-9}$ s a 2×10^{-4} s Energia massima di impulso del laser (J)
	Filtro	Montatura		
RB 1	$10^{-2} < \tau(\lambda) \leq 10^{-1}$	$\tau(\lambda) = 10^{-1}$	0,01	2×10^{-6}
RB 2	$10^{-3} < \tau(\lambda) \leq 10^{-2}$	$\tau(\lambda) = 10^{-2}$	0,1	2×10^{-5}
RB 3	$10^{-4} < \tau(\lambda) \leq 10^{-3}$	$\tau(\lambda) = 10^{-3}$	1	2×10^{-4}
RB 4	$10^{-5} < \tau(\lambda) \leq 10^{-4}$	$\tau(\lambda) = 10^{-4}$	10	2×10^{-3}
RB 5	$10^{-6} < \tau(\lambda) \leq 10^{-5}$	$\tau(\lambda) = 10^{-5}$	100	2×10^{-2}

Esempio 2 (UNI EN 208)

In base alle considerazioni precedenti, il filtro da usare ha la seguente sigla:

0,1W 2×10⁻⁵J 633 RB2 X ZZ

dove:

X = marchio del costruttore

ZZ = marchio di certificazione, se applicabile

Esempio di marcatura (UNI EN 207) - 1

620-700 D LB5 + IR LB6

620-700: intervallo di λ in nm in cui il filtro garantisce la protezione nella condizione di prova "D" e "IR"

D: condizione di prova per emissione continua o con impulsi di durata maggiore di 5×10^{-4} s

LB5: fattore di attenuazione del filtro pari a 10^{-5} nel suddetto intervallo di λ e nella condizione di prova "D"

Esempio di marcatura (UNI EN 207) - 2

IR: altre due condizioni di prova cui sono stati testati i filtri: impulsi di durata compresa tra 5×10^{-4} s e 10^{-9} s

LB6: fattore di attenuazione del filtro pari a 10^{-6} nel suddetto intervallo di λ e nelle condizioni di prova "I" e "R".

Oltre alle sigle dei filtri, sui DPI devono essere presenti il marchio di identificazione del fabbricante e il marchio di certificazione, se applicabile.

Altri requisiti per gli occhiali

Oltre al necessario fattore di attenuazione e alla resistenza, ai fini della scelta del protettore oculare 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 ampio 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 dai filtri.

Trasmissione della radiazione visibile

Un altro importante requisito riguarda la trasmissione della luce visibile, indicata con VLT (*Visible Light Transmission*).

$$VLT = \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \tau(\lambda) V(\lambda) S_{D65}(\lambda) d\lambda}{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} V(\lambda) S_{D65}(\lambda) d\lambda}$$

$\tau(\lambda)$ = trasmissione (trasmittanza) del filtro

$V(\lambda)$ = funzione di efficienza spettrale fotopica (sensibilità spettrale fotopica) dell'occhio umano

$S_{D65}(\lambda)$ = distribuzione spettrale dell'illuminante D65 (ISO 11664-2:2007)

Trasmissione della radiazione visibile

Le norme UNI EN 207 e UNI EN 208 prescrivono che il filtro mantenga un valore minimo di VLT del 20%.

Tuttavia, un valore di VLT inferiore al 20% può essere accettato se il costruttore fornisce informazioni su come aumentare l'intensità di illuminazione nell'ambiente in cui i DPI sono utilizzati.

Stabilità dei filtri

Le norme UNI EN 207 e UNI EN 208 hanno specifici requisiti per la stabilità dei filtri.

Stabilità alla **radiazione UV**: $\left| \frac{\Delta\tau}{\tau} \right| \leq 10\%$

Stabilità all'**alta temperatura**: $\left| \frac{\Delta\tau}{\tau} \right| \leq 5\%$

Stabilità dei filtri

Le norme UNI EN 207 e UNI EN 208 prescrivono che i filtri devono soddisfare i requisiti di **robustezza meccanica** della norma EN 166.

Per alcuni particolari ambienti di lavoro, in cui può esserci il rischio di impatti con materiali provenienti dalla lavorazione, è necessario che i DPI abbiano una Maggiore robustezza. Per questi casi, le norme UNI EN 207 e UNI EN 208 prescrivono di soddisfare i requisiti meccanici più stringenti indicati nella norma EN 166.

I DPI con robustezza meccanica incrementata hanno la lettera "S" nella sigla.

DPI per la pelle

Attualmente i DPI per la protezione della pelle dalla radiazione laser non sono molto diffusi. La loro applicazione riguarda essenzialmente i laser di classe 4.

Tuttavia, anche i laser della fascia più alta della classe 3B possono superare i valori di EMP della pelle.

Requisiti dei DPI – Art. 76 del D.lgs. 81/08

1. I DPI devono essere conformi alle norme di cui al decreto legislativo 4 dicembre 1992 n. 475, e sue successive modificazioni.
2. I DPI di cui al comma 1 devono inoltre:
 - a) essere adeguati ai rischi da prevenire, senza comportare di per sé un rischio maggiore;
 - b) essere adeguati alle condizioni esistenti sul luogo di lavoro;
 - c) tenere conto delle esigenze ergonomiche o di salute del lavoratore;
 - d) poter essere adattati all'utilizzatore secondo le sue necessità.
3. In caso di rischi multipli che richiedono l'uso simultaneo di più DPI, questi devono essere tra loro compatibili e tali da mantenere, anche nell'uso simultaneo, la propria efficacia nei confronti del rischio e dei rischi corrispondenti.

Obblighi del datore di lavoro – Art. 77 del D.lgs. 81/08

1. Il datore di lavoro ai fini della scelta dei DPI:

- a) effettua l'analisi e la valutazione dei rischi che non possono essere evitati con altri mezzi;
- b) individua le caratteristiche dei DPI necessarie affinché questi siano adeguati ai rischi di cui alla lettera a), tenendo conto delle eventuali ulteriori fonti di rischio rappresentate dagli stessi DPI;
- c) valuta, sulla base delle informazioni e delle norme d'uso fornite dal fabbricante a corredo dei DPI, le caratteristiche dei DPI disponibili sul mercato e le raffronta con quelle individuate alla lettera b);
- d) aggiorna la scelta ogni qualvolta intervenga una variazione significativa negli elementi di valutazione.

Obblighi del datore di lavoro – Art. 77 del D.lgs. 81/08

2. Il datore di lavoro, anche sulla base delle norme d'uso fornite dal fabbricante, individua le condizioni in cui un DPI deve essere usato, specie per quanto riguarda la durata dell'uso, in funzione di:

- a) entità del rischio;
- b) frequenza dell'esposizione al rischio;
- c) caratteristiche del posto di lavoro di ciascun lavoratore;
- d) prestazioni del DPI.

3. Il datore di lavoro, sulla base delle indicazioni del decreto di cui all'articolo 79, comma 2, fornisce ai lavoratori DPI conformi ai requisiti previsti dall'articolo 76.

Gestione dei DPI – Art. 77 del D.lgs. 81/08

4. Il datore di lavoro:

- a) mantiene in efficienza i DPI e ne assicura le condizioni d'igiene, mediante la manutenzione, le riparazioni e le sostituzioni necessarie e secondo le eventuali indicazioni fornite dal fabbricante;
- b) provvede a che i DPI siano utilizzati soltanto per gli usi previsti, salvo casi specifici ed eccezionali, conformemente alle informazioni del fabbricante;
- c) fornisce istruzioni comprensibili per i lavoratori;
- d) destina ogni DPI ad un uso personale e, qualora le circostanze richiedano l'uso di uno stesso DPI da parte di più persone, prende misure adeguate affinché tale uso non ponga alcun problema sanitario e igienico ai vari utilizzatori;

Gestione dei DPI – Art. 77 del D.lgs. 81/08

- e) informa preliminarmente il lavoratore dei rischi dai quali il DPI lo protegge;
- f) rende disponibile nell'azienda ovvero unità produttiva informazioni adeguate su ogni DPI;
- g) stabilisce le procedure aziendali da seguire, al termine dell'utilizzo, per la riconsegna e il deposito dei DPI;
- h) assicura una formazione adeguata e organizza, se necessario, uno specifico addestramento circa l'uso corretto e l'utilizzo pratico dei DPI.

5. In ogni caso l'addestramento è indispensabile:

- a) per ogni DPI che, ai sensi del decreto legislativo 4 dicembre 1992, n. 475, appartenga alla terza categoria;
- b) per i dispositivi di protezione dell'udito.