

GESTLABS

Laboratorio Materiali e Servizi per l'Industria



Esempio di classificazione

Novembre 2023

Enrico Galbiati

Caratteristiche dell'emissione laser

Tipo di laser: Nd:YAG

$\lambda = 1064 \text{ nm}$ (lunghezza d'onda del fascio laser)

$Q_i = 5 \times 10^{-10} \text{ J}$ (energia del singolo impulso)

$t_i = 2 \text{ ps} = 2 \times 10^{-12} \text{ s}$ (durata del singolo impulso)

$f = 30 \text{ MHz}$ (frequenza di ripetizione degli impulsi)

$\phi = 3 \text{ mrad}$ (divergenza del fascio laser)

$d_0 = 2 \text{ mm}$ (diametro del fascio all'apertura del laser)

Tipo di visione: non intenzionale

Fattore di accoppiamento

Per calcolare il fattore di accoppiamento nella "condizione 1" secondo la norma CEI EN 60825-1, cioè con un'apertura di 50 mm alla distanza di 2 m dall'apertura del laser, bisogna prima calcolare il diametro del fascio a 2 m dall'apertura del laser.

$$\begin{aligned}d_{2000} &= d_0 + 2000 \text{ mm} \times 2 \operatorname{tg}(\phi/2) \approx d_0 + 2000 \text{ mm} \times \phi \\ &= 2 \text{ mm} + 2000 \text{ mm} \times 3 \text{ mrad} = 8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dove

d_{2000} = diametro del fascio a 2 m dall'apertura del laser

Fattore di accoppiamento

Per calcolare il fattore di accoppiamento nella "condizione 3" secondo la norma CEI EN 60825-1, cioè con un'apertura di 7 mm alla distanza di 100 mm dal beam waist.

Non conoscendo la posizione del beam waist all'interno del laser, bisogna porre l'apertura di 7 mm nel punto più vicino di accesso umano. Assumiamo che tale punto si trovi all'apertura di emissione del laser. In questo caso si ha:

$$d = d_0$$

Fattore di accoppiamento

Assumendo che il fascio laser abbia un profilo gaussiano, il fattore di accoppiamento η di un fascio con diametro d attraverso un'apertura di diametro d_a è dato da:

$$\eta = 1 - \exp[-(d_a/d)^2]$$

Fattore di accoppiamento

Condizione 1

$$\eta_1 = 1 - \exp[-(50/8)^2] \approx 1$$

Quindi praticamente la totalità della fascio laser passa attraverso l'apertura di 50 mm alla distanza di 2 m.

Condizione 3

$$\eta_3 = 1 - \exp[-(7/2)^2] \approx 1$$

Quindi praticamente la totalità della fascio laser passa attraverso l'apertura di 7 mm a contatto.

LEA per un impulso singolo

Classe 1

$$LEA_{\text{singolo},1} = 3,8 \times 10^{-8} C_6 C_7 \text{ J}$$

essendo $C_6 = 1$ e $C_7 = 1$ si ha:

$$LEA_{\text{singolo},1} = 3,8 \times 10^{-8} \text{ J}$$

Classe 3R

$$LEA_{\text{singolo},3R} = 1,9 \times 10^{-6} C_6 C_7 \text{ J}$$

essendo $C_6 = 1$ e $C_7 = 1$ si ha:

$$LEA_{\text{singolo},3R} = 1,9 \times 10^{-6} \text{ J}$$

LEA per un impulso singolo

Classe 3B

$$LEA_{\text{singolo},3B} = 1,5 \times 10^8 \text{ W}$$

essendo $t_i = 2 \times 10^{-12} \text{ s}$ si ha:

$$LEA_{\text{singolo},3B} = 1,5 \times 10^8 \times 2 \times 10^{-12} \text{ J} = 3 \times 10^{-4} \text{ J}$$

Valutazione di un impulso singolo

$$Q_{\text{singolo}} = Q_i = 5 \times 10^{-10} \text{ J}$$

Condizione 1

$$\eta_1 Q_{\text{singolo}} = Q_{\text{singolo}} < LEA_{\text{singolo},1} \rightarrow \text{Classe 1}$$

Condizione 3

$$\eta_3 Q_{\text{singolo}} = Q_{\text{singolo}} < LEA_{\text{singolo},1} \rightarrow \text{Classe 1}$$

Base dei tempi

Per lunghezze d'onda maggiori di 700 nm e nel caso in cui non vi sia visione intenzionale prolungata, la base dei tempi da considerare è per 100 s per tutte le classi.

LEA per un impulso del treno

Essendo $T = 1/f = 3,33 \times 10^{-8} \text{ s} < T_i = 13 \times 10^{-6} \text{ s}$, vi sono più impulsi in T_i . In questo caso, il numero di impulsi, N , si determina calcolando il numero di impulsi di durata T_i in T_2 o la base dei tempi, scegliendo la durata minore. In questo esempio, la durata minore è $T_2 = 10 \text{ s}$. Quindi:

$$N = T_2/T_i = 10 \text{ s}/(13 \times 10^{-6} \text{ s}) = 7,69 \times 10^5$$

Essendo $t_i < T_i$ e $N > 600$ si ha:

$$C_5 = 5 N^{-0,25} = 5 \times (7,69 \times 10^5)^{-0,25} = 0,169$$

Essendo $0,169 < 0,4$, si ha $C_5 = 0,4$

LEA per un impulso del treno

Classe 1

$$LEA_{Ti,treno,1} = 7,7 \times 10^{-7} C_5 C_6 C_7 \text{ J}$$

essendo $C_5 = 0,4$, $C_6 = 1$ e $C_7 = 1$ si ha:

$$LEA_{Ti,treno,1} = 7,7 \times 10^{-7} \times 0,4 \text{ J} = 3,08 \times 10^{-7} \text{ J}$$

Classe 3R

$$LEA_{Ti,treno,3R} = 3,8 \times 10^{-6} C_5 C_6 C_7 \text{ J}$$

essendo $C_5 = 0,4$, $C_6 = 1$ e $C_7 = 1$ si ha:

$$LEA_{Ti,treno,3R} = 3,8 \times 10^{-6} \times 0,4 \text{ J} = 1,52 \times 10^{-6} \text{ J}$$

Valutazione di un impulso del treno

Il numero di impulsi N_i in T_i è dato da:

$$N_i = T_i \times f = 13 \times 10^{-6} \text{ s} \times 3 \times 10^7 \text{ Hz} = 3,9 \times 10^2$$

L'energia nel tempo T_i , Q_{Ti} , è data da:

$$Q_{Ti} = Q_i \times N_i = 5 \times 10^{-10} \text{ J} \times 3,9 \times 10^2 = 1,95 \times 10^{-7} \text{ J}$$

Condizione 1

$$\eta_1 Q_{Ti} = Q_{Ti} < LEA_{Ti,treno,1} \rightarrow \text{Classe 1}$$

Condizione 3

$$\eta_3 Q_{Ti} = Q_{Ti} < LEA_{Ti,treno,1} \rightarrow \text{Classe 1}$$

LEA per la potenza media

Classe 1

$$\text{LEA}_{\text{media},1} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_6 C_7 \text{ W}$$

essendo $C_4 = 5$, $C_6 = 1$ e $C_7 = 1$ si ha:

$$\text{LEA}_{\text{media},1} = 3,9 \times 10^{-4} \times 5 \text{ W} = 1,95 \times 10^{-3} \text{ W}$$

Classe 3R

$$\text{LEA}_{\text{media},3\text{R}} = 2 \times 10^{-3} C_4 C_6 C_7 \text{ W}$$

essendo $C_4 = 5$, $C_6 = 1$ e $C_7 = 1$ si ha:

$$\text{LEA}_{\text{media},3\text{R}} = 2 \times 10^{-3} \times 5 \text{ W} = 10^{-2} \text{ W}$$

LEA per la potenza media

Classe 3B

$$LEA_{\text{media},3B} = 0,5 \text{ W}$$

Valutazione della potenza media

$$P_{\text{media}} = Q_i \times f = 5 \times 10^{-10} \text{ J} \times 3 \times 10^7 \text{ Hz} = 1,5 \times 10^{-2} \text{ W}$$

Condizione 1

$$LEA_{\text{media},3R} < \eta_1 \quad P_{\text{media}} = P_{\text{media}} < LEA_{\text{media},3B} \quad \rightarrow \text{Classe 3B}$$

Condizione 3

$$LEA_{\text{media},3R} < \eta_3 \quad P_{\text{media}} = P_{\text{media}} < LEA_{\text{media},3B} \quad \rightarrow \text{Classe 3B}$$

Risultato della classificazione

In base alla condizione sulla potenza media, che è più restrittiva tra le tre considerate (singolo impulso, impulso del treno, potenza media), il laser risulta di **classe 3B**.