

GESTLABS

Laboratorio Materiali e Servizi per l'Industria



Classificazione

Novembre 2023

Enrico Galbiati

Classificazione

La classificazione secondo la norma CEI EN 60825-1 comprende **8 classi**, che in ordine di pericolosità crescente sono: **1, 1C, 1M, 2, 2M, 3R, 3B e 4**.

Per ogni classe sono definiti specifici limiti e sono indicati particolari requisiti che il prodotto laser deve soddisfare.

Generalmente i valori di LEA sono basati sui valori di EMP dell'occhio.

Caratteristiche del fascio laser

- Lunghezza(e) d'onda di emissione
- Modalità di emissione (continua o impulsata)
 - Durata degli impulsi
 - Frequenza di ripetizione degli impulsi
 - Energia (potenza) del singolo impulso
- Divergenza (*verificare che sia definita al 63%*)
- Diametro del fascio (*verificare che sia definito al 63%*)

Additività delle lunghezze d'onda

Spectral region ^a	UV-C and UV-B 180 nm to 315 nm	UV-A 315 nm to 400 nm	Visible and IR-A 400 nm to 1 400 nm	IR-B and IR-C 1 400 nm to 10 ⁶ nm
UV-C and UV-B 180 nm to 315 nm	o s			
UV-A 315 nm to 400 nm		o s	s	o s
Visible and IR-A 400 nm to 1 400 nm		s	o ^b s	s
IR-B and IR-C 1 400 nm to 10 ⁶ nm		o s	s	o s
o Eye s Skin				
^a For definitions of spectral regions, see Table D.1. ^b Where AELs and ocular MPEs are being evaluated for time bases or exposure durations of 1 s or longer, then the additive photochemical effects (400 nm to 600 nm) and the additive thermal effects (400 nm to 1 400 nm) shall be assessed independently and the most restrictive value used. ^c For determination of the AEL, only the additivity rules for the eye apply.				

Metodo semplificato

Le misure per la classificazione si svolgono ad una distanza fissa da un "**punto di riferimento**".

- Le distanze dal punto di riferimento sono indicate nella tabella 10 della norma CEI EN 60825-1.

Non è necessario determinare la dimensione angolare della sorgente apparente, in quanto si deve porre il valore di C_6 sempre uguale a 1.

Metodo semplificato

Le distanze di misura indicate in tabella 10 si applicano:

- alle sorgenti con lunghezze d'onda < 400 nm o > 1400 nm;
- alle sorgenti con lunghezze d'onda comprese tra 400 nm e 1400 nm se si pone $C_6 = 1$;
- ai limiti fotochimici per la retina per valori della base dei tempi maggiori di 100 s, quando l'angolo di accettazione non è inferiore all'angolo sotteso dalla sorgente apparente;
- a tutti gli altri limiti che non sono né termici né fotochimici (per esempio ai LEA della classe 3B).

Metodo semplificato

Distanze di riferimento

	Condizione 1 <i>applicata alle condizioni di fascio collimato dove, per esempio, l'uso di un telescopio o di un binocolo può aumentare il rischio</i> ^a		Condizione 2 <i>applicata ai sistemi di comunicazione in fibra ottica vedi IEC 60825-2</i>	Condizione 3 <i>applicata per determinare l'irraggiamento rilevante per l'occhio nudo, per gli ingranditori a bassa potenza e per i fasci di scansione</i>	
Lunghezza d'onda nm	Diaframma mm	Distanza mm		Diaframma/Diaframma limite mm	Distanza mm
< 302,5	–	–		1	0
Da ≥ 302,5 a 400	7	2 000		1	100
Da ≥ 400 a 1 400	50	2 000	Vedi Nota 1 di 5.4.1	7	100
Da ≥ 1 400 a 4 000	7 × Condizione 3	2 000	Vedi Nota 1 di 5.4.1	1 per $t \leq 0,35$ s $1,5 t^{3/8}$ per $0,35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$ 3,5 per $t \geq 10 \text{ s}$ (t in s)	100
Da ≥ 4 000 a 10^5	–	–		1 per $t \leq 0,35$ s $1,5 t^{3/8}$ per $0,35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$ 3,5 per $t \geq 10 \text{ s}$ (t in s)	0
Da ≥ 10^5 a 10^6	–	–		11	0
NOTA Le descrizioni sotto i titoli "Condizione" rappresentano casi tipici, forniti esclusivamente a scopo informativo e non intendono avere caratteristiche limitative.					
^a La condizione 1 non si applica alla classificazione di prodotti laser destinati esclusivamente all'uso in interni e nei quali non è ragionevolmente prevedibile la visione diretta del fascio con l'ausilio di ottiche telescopiche, quali binocoli.					

Metodo semplificato

Punti di riferimento per la condizione 3

Tipo di prodotto	Punto di riferimento
Emettitori a semiconduttore (diodi laser, diodi superluminescenti)	Posizione fisica del chip emettitore
Emissioni a scansione (compresi i laser a lamina a scansione)	Vertice della scansione (punto di rotazione del fascio di scansione)
Laser a lamina	Punto focale della lamina (angolo al vertice (fan angle))
Emissione dalla fibra	Estremità della fibra
Sorgenti completamente diffuse	Superficie del diffusore
Altri	Punto di raggio minimo del fascio
Per la misura della condizione 3, se il punto di riferimento è posto all'interno dell'involucro di protezione (quindi non è accessibile) ad una distanza dal punto più vicino di accesso umano superiore a quella di misura specificata nella Tab. 10, la misura deve essere effettuata nel punto più vicino di accesso umano. Nella condizione 1, le misure devono essere effettuate ad almeno 2 m dal punto più vicino di accesso umano, indipendentemente dall'ubicazione della sorgente.	

Tabella 11 – CEI EN 60825-1

Metodo per $C_6 > 1$

Per le lunghezze d'onda comprese tra 400 nm e 1400 nm nei casi in cui si vuole considerare l'effettivo valore di C_6 , occorre applicare un metodo di misura più complesso.

Questo metodo prevede di individuare i punti di misura che determinano il caso peggiore per la classificazione, cioè valori di emissione più alti, considerando:

- La potenza o l'energia della radiazione raccolta attraverso il diaframma ed entro l'angolo di accettazione
- Il valore di C_6

Il punto di misura non deve trovarsi ad una distanza inferiore a quelle indicate in tabella 10 per la condizione 3, e non inferiore a 2 m dal punto di accesso umano più vicino alla sorgente per la condizione 1.

Fattore di correzione C_6

Per le lunghezze d'onda comprese tra 400 nm e 1400 nm (intervallo retinico), per la classificazione (calcolo dei LEA) e per la valutazione dell'esposizione dell'occhio (calcolo dell'EMP per l'occhio), si applica il fattore di correzione C_6 , che è dato da:

$$C_6 = 1 \quad \text{per } \alpha \leq \alpha_{\min}$$

$$C_6 = \alpha / \alpha_{\min} \quad \text{per } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$$

$$C_6 = \alpha_{\max} / \alpha_{\min} \quad \text{per } \alpha > \alpha_{\max}$$

C_6 non si applica ai limiti relativi all'effetto fotochimico e non si usa per i limiti della classe 3B.

Dimensione della sorgente

Fattore di correzione C_6

Il valore di α_{\min} è fisso ed è di 1,5 mrad, mentre quello di α_{\max} varia a seconda del tempo t (nel caso della classificazione, t è la base dei tempi o la durata dell'impulso, mentre per il calcolo dell'EMP t è la durata dell'esposizione).

$$\alpha_{\max} = 5 \text{ mrad} \quad \text{per } t < 625 \text{ } \mu\text{s}$$

$$\alpha_{\max} = 200 t^{0,5} \quad \text{per } 625 \text{ } \mu\text{s} \leq t \leq 0,25 \text{ s}$$

$$\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad} \quad \text{per } t > 0,25 \text{ s}$$

Dimensione della sorgente

Fattore di correzione C_6

Questo fattore tiene conto del fatto che la dimensione della zona irradiata influisce sulla dispersione del calore.

Per questo motivo C_6 si applica solo ai limiti riguardanti l'effetto termico, mentre non si applica all'effetto fotochimico, la cui soglia di danno non dipende dalla dimensione della zona interessata.

Dimensione della sorgente

Fattore di correzione C_6

Se non si usa il metodo semplificato, nell'applicazione della condizione 1 il valore dell'angolo sotteso α può essere moltiplicato per 7 per ottenere il valore di C_6 , cioè:

$$C_6 = 7 \times \alpha / \alpha_{\min}$$

L'espressione $(7 \times \alpha)$ deve essere limitata a α_{\max} prima di effettuare il calcolo di C_6 .

Sorgenti apparenti non uniformi, non circolari o multiple

Per i limiti termici, se la sorgente apparente non è uniforme o è composta da diversi punti, le misure e le valutazioni devono essere svolte per ciascuno dei seguenti casi:

- per ogni singolo punto
- per ogni insieme di punti
- per ogni superficie parziale

A tale scopo, l'angolo di accettazione γ deve essere variato da α_{\min} ad α_{\max} .

Sorgenti apparenti non uniformi, non circolari o multiple

Per i limiti termici, se la sorgente apparente è rettangolare o lineare, il valore di α per il calcolo di C_6 deve essere determinato come media aritmetica delle due dimensioni angolari della sorgente.

Le due dimensioni angolari devono però essere limitate ad α_{\min} (come limite inferiore) e ad α_{\max} (come limite superiore), prima calcolare la media.

Nel caso dell'ingrandimento 7× relativo alla condizione 1, il fattore 7 va moltiplicato in modo autonomo per ognuna delle due dimensioni prima di determinare la media.

Impulsi ripetitivi

Fattore di correzione C_5

Il fattore di correzione C_5 , tiene conto degli effetti termici dovuti alla ripetizione di impulsi e il suo valore dipende dal numero di impulsi nel tempo applicabile.

Per la classificazione, l'intervallo di tempo applicabile è il valore minimo tra T_2 e la base dei tempi. Per il calcolo dell'EMP, l'intervallo di tempo è il valore minimo tra T_2 e la durata dell'esposizione.

C_5 non si applica ai limiti relativi all'effetto fotochimico e non si usa per i limiti della classe 3B.

Impulsi ripetitivi

Fattore di correzione C_5

Il valore del fattore C_5 dipende, oltre che dal numero di impulsi N , anche da altri parametri:

- lunghezza dell'intervallo di tempo T_i
- lunghezza dell'intervallo di tempo T_2
- base dei tempi o durata dell'esposizione
- dimensione angolare α della sorgente apparente

A loro volta, T_i e T_2 , e la base dei tempi, dipendono dalla lunghezza d'onda della radiazione.

Impulsi ripetitivi

Parametro T_i

Questo parametro si utilizza quando si applica la condizione dell'impulso del treno, quindi solo nel caso di limiti fototermici per i laser ad impulsi.

In questo caso, quando il periodo di ripetizione degli impulsi T (che è l'inverso della frequenza di ripetizione degli impulsi) è inferiore a T_i , il calcolo di N , cioè del numero di impulsi in T_2 o nella base dei tempi t_{base} (a seconda di quale dei due è minore), si deve fare considerando non il numero di impulsi singoli, ma il numero di impulsi di durata T_i . In altre parole, si deve calcolare quanti impulsi lunghi T_i sono contenuti in T_2 o in t_{base} (a seconda di quale è minore).

Parametro T_i

Per calcolare quanti impulsi lunghi T_i sono contenuti in T_2 o in T_{base} si possono usare le seguenti formule:

$$N = T_2 / T_i \text{ se } T_2 < t_{base}$$

$$N = t_{base} / T_i \text{ se } T_2 \geq t_{base}$$

Oppure, usando la frequenza, f , di ripetizione degli impulsi:

$$N = f T_2 \text{ se } T_2 < t_{base}$$

$$N = f t_{base} \text{ se } T_2 \geq t_{base}$$

Naturalmente, quando si confronta l'impulso di durata T_i con il LEA, valore di energia da associare all'impulso di durata T_i è dato dalla somma delle energie di tutti i singoli impulsi contenuti in T_i .

Impulsi ripetitivi

Parametro T_i

Quindi, se si :

$$, N = T_2/T_i \text{ se } T_2 < t_{\text{base}}$$

Naturalmente, il valore di energia da associare all'impulso di durata T_i è dato dalla somma delle energie di tutti i singoli impulsi contenuti in T_i .

Angoli di accettazione per i imiti fotochimici

L'angolo di accettazione per i limiti fotochimici dipende da:

- Durata di emissione
- Condizione da applicare (cioè, condizione 1 o 3)

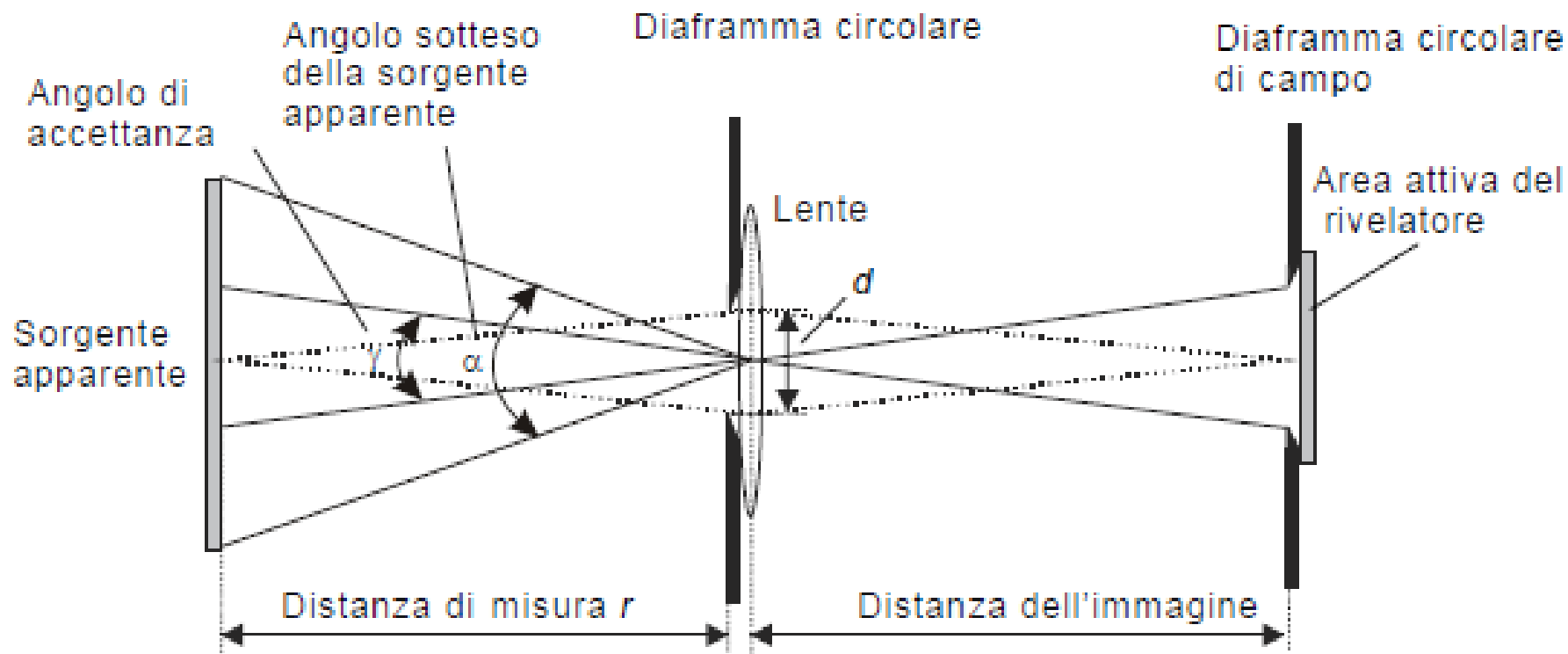
Condizione 1

$10\text{ s} < t \leq 100\text{ s}$	$\gamma_{\text{ph}} = 1,6\text{ mrad}$
$100\text{ s} < t \leq 10^4\text{ s}$	$\gamma_{\text{ph}} = 0,16 \times t^{0,5}\text{ mrad}$
$10^4\text{ s} < t \leq 3 \times 10^4\text{ s}$	$\gamma_{\text{ph}} = 16\text{ mrad}$

Condizione 3

$10\text{ s} < t \leq 100\text{ s}$	$\gamma_{\text{ph}} = 11\text{ mrad}$
$100\text{ s} < t \leq 10^4\text{ s}$	$\gamma_{\text{ph}} = 1,1 \times t^{0,5}\text{ mrad}$
$10^4\text{ s} < t \leq 3 \times 10^4\text{ s}$	$\gamma_{\text{ph}} = 110\text{ mrad}$

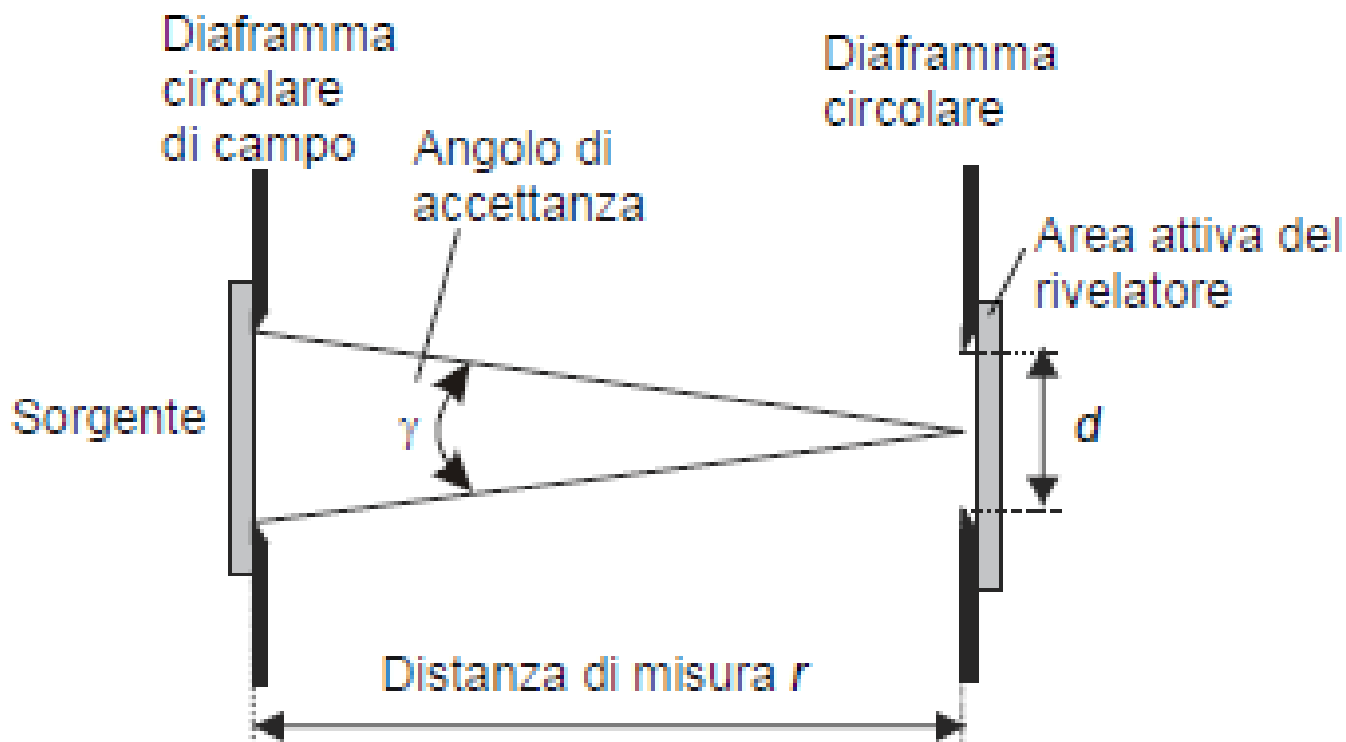
Misura dell'angolo limite di accettazione



CEI EN 60825-1

Metodo di misura per limitare l'angolo limite di accettazione rappresentando la sorgente apparente sul piano del diaframma di campo

Misura dell'angolo limite di accettazione



CEI EN 60825-1

Metodo del diaframma sulla sorgente apparente

Limitazioni della classificazione

Vi sono casi in cui i pericoli sono maggiori rispetto a quelli che normalmente ad una determinata classe.

Questa situazione riguarda i casi, generalmente rari, in cui le ipotesi alla base della classificazione non sono verificate. Questi casi sono descritti nell'allegato C della norma CEI EN 60825-1.

Quindi è importante che nell'analisi del rischio associato ad un'applicazione laser si valuti l'eventuale non rispetto delle ipotesi di classificazione.