

Allegato XXXVII - Parte II

Radiazioni laser

I valori di esposizione alle radiazioni ottiche, pertinenti dal punto di vista biofisico, possono essere determinati con le formule seguenti. La formula da usare dipende dalla lunghezza d'onda e dalla durata delle radiazioni emesse dalla sorgente e i risultati devono essere comparati con i corrispondenti valori limite di esposizione di cui alle tabelle da 2.2 a 2.4. Per una determinata sorgente di radiazione laser possono essere pertinenti più valori di esposizione e corrispondenti limiti di esposizione.

I coefficienti usati come fattori di calcolo nelle tabelle da 2.2 a 2.4 sono riportati nella tabella 2.5 e i fattori di correzione per l'esposizione ripetuta nella tabella 2.6.

$$E = \frac{dP}{dA} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$$

$$H = \int_0^t E(t) \cdot dt \text{ [J m}^{-2}\text{]}$$

Note:

dP potenza, espressa in watt [W];

dA superficie, espressa in metri quadrati [m²];

E(t), E irradianza o densità di potenza: la potenza radiante incidente per unità di area su una superficie generalmente espressa in watt su metro quadrato [W m⁻²]. I valori E(t) ed E sono il risultato di misurazioni o possono essere indicati dal fabbricante delle attrezzature;

H esposizione radiante: integrale nel tempo dell'irradianza, espressa in joule su metro quadrato [J m⁻²];

t tempo, durata dell'esposizione, espressa in secondi [s];

λ lunghezza d'onda, espressa in nanometri [nm];

γ angolo del cono che limita il campo di vista per la misurazione, espresso in milliradiani [mrad];

γ_m campo di vista per la misurazione, espresso in milliradiani [mrad];

α angolo sotteso da una sorgente, espresso in milliradiani [mrad];

apertura limite: superficie circolare su cui si basa la media dell'irradianza e dell'esposizione radiante;

G radianza integrata: integrale della radianza su un determinato tempo di esposizione, espresso come energia radiante per unità di area di una superficie radiante per unità dell'angolo solido di emissione, espressa in joule su metro quadrato per steradiano [J m⁻² sr⁻¹].

Tabella 2.1

Rischi delle radiazioni

Lunghezza d'onda [nm] λ	Campo di radiazione	Organo interessato	Rischio	Tabella dei valori limite di esposizione
da 180 a 400	UV	occhio	danno fotochimico e danno termico	2.2, 2.3
da 180 a 400	UV	cute	eritema	2.4
da 400 a 700	visibile	occhio	danno alla retina	2.2
da 400 a 600	visibile	occhio	danno fotochimico	2.3
da 400 a 700	visibile	cute	danno termico	2.4
da 700 a 1 400	IRA	occhio	danno termico	2.2, 2.3
da 700 a 1 400	IRA	cute	danno termico	2.4
da 1 400 a 2 600	IRB	occhio	danno termico	2.2
da 2 600 a 10^6	IRC	occhio	danno termico	2.2
da 1 400 a 10^6	IRB, IRC	occhio	danno termico	2.3
da 1 400 a 10^6	IRB, IRC	cute	danno termico	2.4

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]		
		$10^{01} - 10^{02}$	$10^0 - 1,8 \cdot 10^0$	$1,8 \cdot 10^0 - 5 \cdot 10^0$
UVC	180 - 280	$10^{01} - 10^0$	$10^0 - 1,8 \cdot 10^0$	$5 \cdot 10^0 - 10^1$
	280 - 302	H = 30 [J m ⁻²]		
	303	H = 40 [J m ⁻²]	se $t < 2,6 \cdot 10^{-3}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^e	
	304	H = 60 [J m ⁻²]	se $t < 1,3 \cdot 10^{-3}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
	305	H = 100 [J m ⁻²]	se $t < 1,0 \cdot 10^{-3}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
	306	H = 160 [J m ⁻²]	se $t < 6,7 \cdot 10^{-4}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
UVB	307	H = 250 [J m ⁻²]	se $t < 4,0 \cdot 10^{-4}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
	308	H = 400 [J m ⁻²]	se $t < 2,6 \cdot 10^{-4}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
	309	H = 630 [J m ⁻²]	se $t < 1,6 \cdot 10^{-4}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
	310	H = 10 ³ [J m ⁻²]	se $t < 1,0 \cdot 10^{-4}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
	311	H = 1,6 · 10 ³ [J m ⁻²]	se $t < 6,7 \cdot 10^{-5}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
	312	H = 2,5 · 10 ³ [J m ⁻²]	se $t < 4,0 \cdot 10^{-5}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
UVA	313	H = 4,0 · 10 ³ [J m ⁻²]	se $t < 2,6 \cdot 10^{-5}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
	314	H = 6,3 · 10 ³ [J m ⁻²]	se $t < 1,6 \cdot 10^{-5}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d	
	315 - 400	H = 5 · 10 ³ C ₁ C ₂ [J m ⁻²]	H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,35} [J m ⁻²]	
	400 - 700	H = 2,7 · 10 ⁴ C ₁ C ₂ [J m ⁻²]	H = 1,8 · t ^{0,35} C ₁ C ₂ [J m ⁻²]	
Visibile e IRA	700 - 1 050	H = 1,5 · 10 ⁴ C ₁ C ₂ [J m ⁻²]	H = 2,7 · 10 ⁴ t ^{0,35} C ₁ C ₂ [J m ⁻²]	
	1 050 - 1 400	H = 1,5 · 10 ³ C ₁ C ₂ [J m ⁻²]	H = 2,7 · 10 ³ t ^{0,35} C ₁ C ₂ [J m ⁻²]	
	1 400 - 1 800	E = 10 ³ [W m ⁻²]	H = 40 ³ [J m ⁻²]	H = 5,6 · 10 ⁴ t ^{0,35} [J m ⁻²]
IRB e IRC	1 500 - 1 800	E = 10 ³ [W m ⁻²]	H = 10 ³ [J m ⁻²]	H = 5,6 · 10 ⁴ t ^{0,35} [J m ⁻²]
	1 800 - 2 600	E = 10 ² [W m ⁻²]	H = 1,0 ³ [J m ⁻²]	H = 5,6 · 10 ⁴ t ^{0,35} [J m ⁻²]
2 600 - 10 ⁶	E = 10 ¹ [W m ⁻²]	Cfr. nota ^a	H = 5,6 · 10 ⁴ t ^{0,35} [J m ⁻²]	

a. Se la lunghezza d'onda del laser è coperta da due limiti, si applica il più restrittivo.
 b. Se $1,400 \times 10^3$ nm < apertura diametro = 1 mm per $t < 0,3$ e $1,3 \cdot 10^3$ nm per $0,3 \leq t < 10$ se $10^4 \times 10^6$ non apertura diametro = 11 mm.
 c. Per mancanza di dati a queste lunghezze di impulso, IEC/NIR raccomanda di usare i limiti di irradianza per 1 ms.
 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_{oss} (elencate nella tabella 2.16) devono essere sommate e il valore di esposizione risultante deve essere usato per i nella formula.
 $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,35}$

COPIA TRATTA DA GURITEL

UFFICIALE ON-LINE

Tabella 2.3

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

Lunghezza d'onda [nm]	Apertura	Durata [s]	
UVC		$10^2 \cdot 10^4$	$10^6 \cdot 3 \cdot 10^4$
180 - 280		$H = 30 [J m^{-2}]$	
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		$H = 1,0 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
310		$H = 1,6 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
311		$H = 2,5 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
312		$H = 4,0 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
313		$H = 6,3 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
314		$H = 10^4 [J m^{-2}]$	
UVA			
315 - 400			
400 - 600			
Danno fotochimico ^a			
Danno alla retina			
400 - 700			
Danno termico ^b			
Danno alla retina			
700 - 1 400			
IRA			
1 400 - 10 ⁶			
IRB e IRC			

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 riferiscono ai limiti per rischi termici per esposizioni per 10 s e 1 s, e ai limiti per rischi fotochimici per esposizioni per 1 s e 10 s, cfr. tabella 2.5. Il limite di rischio fotochimico per la retina può anche essere espresso come radianza integrata nel tempo $G = 10^4 C_0 [J m^{-2} sr^{-1}]$ per $t > 10$ 000 s. Per la misurazione di G , L_{λ} deve essere usato come campo di vista medio. Il confine visibile 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 ingrandimento migliore all'utente; il simbolo G è usato dal CEN; il simbolo L_{λ} della CIE; il simbolo L_{λ} dell'IEC, e del CENELEC.
 c. Per lunghezze d'onda 1 400 - 10⁶ nm: apertura diametro = 3,5 mm; per lunghezza d'onda 10³ - 10⁶ nm: apertura diametro = 11 mm.
 d. Per la misurazione del valore di esposizione y e così definita: se α (angolo sotteso da una sorgente) $> \alpha_c$ (angolo del cono di limitazione, indicato tra parentesi nella colonna corrispondente) allora il campo di vista di misurazione di y_{lim} dovrebbe essere il valore dato di y per α (se si utilizza un valore superiore del campo di vista il rischio risulta sovrasimulato).
 Se $\alpha < \alpha_c$ il valore del campo di vista di misurazione y_{lim} deve essere sufficientemente grande da includere completamente la sorgente; altrimenti non è limitato e può essere superiore a y .

Tabella 2.4

Valori limite di esposizione della cute a radiazioni laser

Lunghezza d'onda, λ [nm]	Apertura	Durata [s]			
		$< 10^1$	$10^2 \cdot 10^3$	$10^4 \cdot 10^5$	$10^6 \cdot 3 \cdot 10^8$
UV (A, B, C) 180 - 400	3,5mm	$E = 3 \cdot 10^{16} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$	Come i limiti di esposizione per l'occhio		
Visibile e IRA 400 - 700 700 - 1 400	3,5mm	$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$	Come i limiti di esposizione per l'occhio		
		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$			
IRB e IRC 1 400 - 1 500 1 500 - 1 800 1 800 - 2 600 2 600 - 10 ⁶		$E = 10^{12} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$	Come i limiti di esposizione per l'occhio		
		$E = 10^{11} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$			
		$E = 10^{11} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$			
		$E = 10^{11} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$			

a Se la lunghezza d'onda o un'altra condizione del laser è coperta da due limiti, (6) applica il più restrittivo.

COPIA TRATTA DA GURITEL - GAZZETTA UFFICIALE ON-LINE

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	$C_C = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$
	1 200 — 1 400	$C_C = 8,0$
T_1	$\lambda < 450$	$T_1 = 10 \text{ s}$
	450 — 500	$T_1 = 10 \cdot [10^{0,02(\lambda - 450)}] \text{ s}$
	$\lambda > 500$	$T_1 = 100 \text{ s}$
Parametri elencati da ICNIRP	Valido per effetto biologico	Valore o descrizione
α_{\min}	tutti gli effetti termici	$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
Parametri elencati da ICNIRP	Intervallo angolare valido (mrad)	Valore o descrizione
C_E	$\alpha < \alpha_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha/\alpha_{\min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2/(\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max}) \text{ mrad}$ con $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$
T_2	$\alpha < 1,5$	$T_2 = 10 \text{ s}$
	$1,5 < \alpha < 100$	$T_2 = 10 \cdot [10^{(\alpha - 1,5) / 98,5}] \text{ s}$
	$\alpha > 100$	$T_2 = 100 \text{ s}$

Parametri elencati da ICNIRP	Intervallo temporale valido per l'esposizione (s)	Valore o descrizione
Y	$t \leq 100$	$\gamma = 11$ [mrad]
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5}$ [mrad]
	$t > 10^4$	$\gamma = 110$ [mrad]

Tabella 2.6

Correzione per esposizioni ripetute

Per tutte le esposizioni ripetute, derivanti da sistemi laser a impulsi ripetitivi o a scansione, dovrebbero essere applicate le tre norme generali seguenti:

1. L'esposizione derivante da un singolo impulso di un treno di impulsi non supera il valore limite di esposizione per un singolo impulso della durata di quell'impulso.
2. L'esposizione derivante da qualsiasi gruppo di impulsi (o sottogruppi di un treno di impulsi) che si verseica in un tempo t non supera il valore limite di esposizione per il tempo t .
3. L'esposizione derivante da un singolo impulso in un gruppo di impulsi non supera il valore limite di esposizione del singolo impulso moltiplicato per un fattore di correzione termica cumulativa $C_p = N^{0,25}$, dove N è il numero di impulsi. Questa norma si applica soltanto a limiti di esposizione per la protezione da lesione termica, laddove tutti gli impulsi che si verseicano in meno di T_{min} sono trattati come singoli impulsi.

Parametri	Regione spettrale valida (nm)	Valore o descrizione
T_{min}	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{min} = 10^{-9}$ s (= 1 ns)
	$400 < \lambda \leq 1\ 050$	$T_{min} = 18 \cdot 10^{-6}$ s (= 18 μ s)
	$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 400$	$T_{min} = 50 \cdot 10^{-6}$ s (= 50 μ s)
	$1\ 400 < \lambda \leq 1\ 500$	$T_{min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$1\ 500 < \lambda \leq 1\ 800$	$T_{min} = 10$ s
	$1\ 800 < \lambda \leq 2\ 600$	$T_{min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$2\ 600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{min} = 10^{-7}$ s (= 100 ns)