

ALLEGATO XXXVII

RADIAZIONI OTTICHE

PARTE I – RADIAZIONI OTTICHE NON COERENTI

Radiazioni ottiche non coerenti

I valori limite di esposizione alle radiazioni ottiche, pertinenti dal punto di vista biofisico, possono essere determinati con le formule seguenti. Le formule da usare dipendono dal tipo della radiazione emessa dalla sorgente e i risultati devono essere comparati con i corrispondenti valori limite di esposizione indicati nella tabella 1.1. Per una determinata sorgente di radiazioni ottiche possono essere pertinenti più valori di esposizione e corrispondenti limiti di esposizione.

Le lettere da a) a o) si riferiscono alle corrispondenti righe della tabella 1.1.

a)
$$H_{diff} = \int_0^t \int_{\lambda=180\text{ nm}}^{\lambda=400\text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 (H_{diff} è pertinente solo nell'intervallo da 180 a 400 nm)

b)
$$H_{UVA} = \int_0^t \int_{\lambda=315\text{ nm}}^{\lambda=400\text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 (H_{UVA} è pertinente solo nell'intervallo da 315 a 400 nm)

c), d)
$$I_B = \int_{\lambda=300\text{ nm}}^{\lambda=700\text{ nm}} I_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (I_B è pertinente solo nell'intervallo da 300 a 700 nm)

e), f)
$$E_B = \int_{\lambda=300\text{ nm}}^{\lambda=700\text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (E_B è pertinente solo nell'intervallo da 300 a 700 nm)

g)-l)
$$I_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (Cfr. tabella 1.1 per i valori appropriati di λ_1 e λ_2)

m), n)
$$E_{IR} = \int_{\lambda=780\text{ nm}}^{\lambda=1000\text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (E_{IR} è pertinente solo nell'intervallo da 780 a 1000 nm)

o)
$$H_{Ato} = \int_0^t \int_{\lambda=380\text{ nm}}^{\lambda=1000\text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 (H_{Ato} è pertinente solo nell'intervallo da 380 a 1000 nm)

Ai fini della direttiva, le formule di cui sopra possono essere sostituite dalle seguenti espressioni e dall'utilizzo dei valori discreti che figurano nelle tabelle successive:

a)
$$E_{diff} = \sum_{\lambda=180\text{ nm}}^{\lambda=400\text{ nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 e $H_{diff} = E_{diff} \cdot \Delta t$

b)
$$E_{UVA} = \sum_{\lambda=315\text{ nm}}^{\lambda=400\text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$
 e $H_{UVA} = E_{UVA} \cdot \Delta t$

c), d)
$$I_B = \sum_{\lambda=300\text{ nm}}^{\lambda=700\text{ nm}} I_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

e), f)
$$E_B = \sum_{\lambda=300\text{ nm}}^{\lambda=700\text{ nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

g)-l)
$$I_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 (Cfr. tabella 1.1 per i valori appropriati di λ_1 e λ_2)

m), n)
$$E_{IR} = \sum_{\lambda=780\text{ nm}}^{\lambda=1000\text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

$$o) \quad E_{\text{skin}} = \sum_{\lambda=100 \text{ nm}}^{\lambda=1000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad \text{e} \quad H_{\text{skin}} = E_{\text{skin}} \cdot \Delta t$$

Note:

- $E_{\lambda}(\lambda, t)$, E_{λ} *irradianza spettrale o densità di potenza spettrale*: la potenza radiante incidente per unità di area su una superficie, espressa in watt su metro quadrato per nanometro [$\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$]; i valori di $E_{\lambda}(\lambda, t)$ ed E_{λ} sono il risultato di misurazioni o possono essere forniti dal fabbricante delle attrezzature;
- E_{eff} *irradianza efficace (gamma UV)*: irradianza calcolata nell'intervallo di lunghezza d'onda UV da 180 a 400 nm, ponderata spettralmente con $S(\lambda)$, espressa in watt su metro quadrato [W m^{-2}];
- H *esposizione radiante*: integrale nel tempo dell'irradianza, espressa in joule su metro quadrato [J m^{-2}];
- H_{eff} *esposizione radiante efficace*: esposizione radiante ponderata spettralmente con $S(\lambda)$, espressa in joule su metro quadrato [J m^{-2}];
- E_{UVA} *irradianza totale (UVA)*: irradianza calcolata nell'intervallo di lunghezza d'onda UVA da 315 a 400 nm, espressa in watt su metro quadrato [W m^{-2}];
- H_{UVA} *esposizione radiante*: integrale o somma nel tempo e nella lunghezza d'onda dell'irradianza nell'intervallo di lunghezza d'onda UVA da 315 a 400 nm, espressa in joule su metro quadrato [J m^{-2}];
- $S(\lambda)$ *fattore di peso spettrale*: tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda degli effetti sulla salute delle radiazioni UV sull'occhio e sulla cute (tabella 1.2) [adimensionale];
- t , Δt *tempo, durata dell'esposizione*, espressi in secondi [s];
- λ *lunghezza d'onda*, espressa in nanometri [nm];
- $\Delta\lambda$ *larghezza di banda*, espressa in nanometri [nm], degli intervalli di calcolo o di misurazione
- $I_{\lambda}(\lambda)$, I_{λ} *radianza spettrale della sorgente*, espressa in watt su metro quadrato per steradiante per nanometro [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$];
- $R(\lambda)$ *fattore di peso spettrale*: tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda delle lesioni termiche provocate sull'occhio dalle radiazioni visibili e IRA (tabella 1.3) [adimensionale];
- I_{th} *radianza efficace (lesione termica)*: radianza calcolata ponderata spettralmente con $R(\lambda)$, espressa in watt su metro quadrato per steradiante [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$];
- $B(\lambda)$ *ponderazione spettrale*: tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda della lesione fotochimica provocata all'occhio dalla radiazione di luce blu (tabella 1.3) [adimensionale];
- I_{b} *radianza efficace (luce blu)*: radianza calcolata ponderata spettralmente con $B(\lambda)$, espressa in watt su metro quadrato per steradiante [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$];
- E_{b} *irradianza efficace (luce blu)*: irradianza calcolata ponderata spettralmente con $B(\lambda)$ espressa in watt su metro quadrato [W m^{-2}];
- E_{IR} *irradianza totale (lesione termica)*: irradianza calcolata nell'intervallo di lunghezze d'onda dell'infrarosso da 780 nm a 3 000 nm, espressa in watt su metro quadrato [W m^{-2}];
- E_{skin} *irradianza totale (visibile, IRA e IRB)*: irradianza calcolata nell'intervallo di lunghezze d'onda visibile e dell'infrarosso da 380 nm a 3 000 nm, espressa in watt su metro quadrato [W m^{-2}];
- H_{skin} *esposizione radiante*: integrale o somma nel tempo e nella lunghezza d'onda dell'irradianza nell'intervallo di lunghezze d'onda visibile e dell'infrarosso da 380 nm a 3 000 nm, espressa in joule su metro quadrato [J m^{-2}];
- α *angolo sotteso*: angolo sotteso da una sorgente apparente, visto in un punto nello spazio, espresso in milliradiani (mrad). La sorgente apparente è l'oggetto reale o virtuale che forma l'immagine retinica più piccola possibile.

Tabella 1.1

Valori limiti di esposizione per radiazioni ottiche non coerenti

Indice	Lunghezza d'onda nm	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parti del corpo	Rischio
a.	180-400 (UVA, UVB e UVC)	$F_{UV} = 30$ Valore giornaliero 8 ore	[J m ⁻²]		occhio: cornea congiuntiva cristallino cute	fotocheratite congiuntivite catarattogenesi eritema danno ai tumori della cute
b.	315-400 (UVA)	$F_{UVA} = 10^6$ Valore giornaliero 8 ore	[J m ⁻²]		occhio: cristallino	catarattogenesi
c.	300-700 (Luce blu) Cf. nota 1	$I_4 = \frac{10^4}{t}$ per $t \leq 10.000$ s	I_4 [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [secondi]	per $\alpha \geq 11$ mrad		
			[W m ⁻² sr ⁻¹]			
d.	300-700 (Luce blu) Cf. nota 1	$I_4 = 100$ per $t > 10.000$ s	E_4 [W m ⁻²] t: [secondi]	per $\alpha \geq 11$ mrad Cf. nota 2	occhio: retina	fotoconicità
			[W m ⁻²]			
e.	300-700 (Luce blu) Cf. nota 1	$E_4 = \frac{100}{t}$ per $t \leq 10.000$ s	E_4 [W m ⁻²] t: [secondi]			
			[W m ⁻²]			
f.	300-700 (Luce blu) Cf. nota 1	$E_4 = 0.01$ t > 10.000 s	E_4 [W m ⁻²]			
			[W m ⁻²]			

Indice	Lunghezza d'onda nm	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parte del corpo	Rischio
g.	380-1 400 (Visibile e IRLA)	$I_{q1} = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_e}$ per $t > 10$ s	[W m ⁻² sr ⁻¹]	C _e = 1,7 per α ≤ 1,7 mrad C _e = α per 1,7 s ≤ α ≤ 100 mrad C _e = 100 per α > 100 mrad λ ₁ = 380; λ ₂ = 1 400	occhio: retina	lesione retina
h.	380-1 400 (Visibile e IRLA)	$I_{q1} = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_e}$ per t < 10 μs	[W m ⁻² sr ⁻¹]	C _e = 11 per α ≤ 11 mrad C _e = α per 11s ≤ α ≤ 100 mrad C _e = 100 per α > 100 mrad (campo di vista per la misurazione: 11 mrad) λ ₁ = 780; λ ₂ = 1 400	occhio: retina	lesione retina
i.	380-1 400 (Visibile e IRLA)	$I_{q1} = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_e}$ per t > 10 s	[W m ⁻² sr ⁻¹]	C _e = 11 per α ≤ 11 mrad C _e = α per 11s ≤ α ≤ 100 mrad C _e = 100 per α > 100 mrad (campo di vista per la misurazione: 11 mrad) λ ₁ = 780; λ ₂ = 1 400	occhio: retina	lesione retina
j.	780-1 400 (IRA)	$E_q = \frac{18 000 t^{0,75}}{C_e}$ per t ≤ 1 000 s	E: [W m ⁻²] t: [secondi]	C _e = 11 per α ≤ 11 mrad C _e = α per 11s ≤ α ≤ 100 mrad C _e = 100 per α > 100 mrad (campo di vista per la misurazione: 11 mrad) λ ₁ = 780; λ ₂ = 1 400	occhio: cornea cristallino	lesione cornea catarattogenesi
k.	780-1 400 (IRA)	$E_q = \frac{18 000 t^{0,75}}{C_e}$ per t ≤ 1 000 s	E: [W m ⁻²] t: [secondi]	C _e = 11 per α ≤ 11 mrad C _e = α per 11s ≤ α ≤ 100 mrad C _e = 100 per α > 100 mrad (campo di vista per la misurazione: 11 mrad) λ ₁ = 780; λ ₂ = 1 400	occhio: cornea cristallino	lesione cornea catarattogenesi
l.	780-1 400 (IRA)	$E_q = \frac{18 000 t^{0,75}}{C_e}$ per t ≤ 1 000 s	E: [W m ⁻²] t: [secondi]	C _e = 11 per α ≤ 11 mrad C _e = α per 11s ≤ α ≤ 100 mrad C _e = 100 per α > 100 mrad (campo di vista per la misurazione: 11 mrad) λ ₁ = 780; λ ₂ = 1 400	occhio: cornea cristallino	lesione cornea catarattogenesi
m.	780-3 000 (IRA e IRB)	$E_q = \frac{18 000 t^{0,75}}{C_e}$ per t ≤ 1 000 s	E: [W m ⁻²] t: [secondi]	C _e = 11 per α ≤ 11 mrad C _e = α per 11s ≤ α ≤ 100 mrad C _e = 100 per α > 100 mrad (campo di vista per la misurazione: 11 mrad) λ ₁ = 780; λ ₂ = 1 400	occhio: cornea cristallino	lesione cornea catarattogenesi
n.	780-3 000 (IRA e IRB)	$E_q = \frac{18 000 t^{0,75}}{C_e}$ per t ≤ 1 000 s	E: [W m ⁻²] t: [secondi]	C _e = 11 per α ≤ 11 mrad C _e = α per 11s ≤ α ≤ 100 mrad C _e = 100 per α > 100 mrad (campo di vista per la misurazione: 11 mrad) λ ₁ = 780; λ ₂ = 1 400	occhio: cornea cristallino	lesione cornea catarattogenesi

Indice	Lunghezza d'onda nm	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parte del corpo	Rischio
a.	380-3 000 (Visibile, IRL e IRB)	$H_{lim} = 20\ 000\ t^{0,25}$ per $t < 10\ s$	$H: [J\ m^{-2})$ $t: [secondi]$		cute	ustione

Nota 1: L'intervallo di lunghezze d'onda 300-700 nm copre in parte gli UVB, tutti gli UVA e la maggior parte delle radiazioni visibili; tuttavia il rischio associato è normalmente denominato rischio da «luce blu», in senso stretto la luce blu riguarda soltanto approssimativamente l'intervallo 400-490 nm.

Nota 2: Per la fissazione costante di soggetti piccolissimi che sottendono angoli $< 11\ mrad$, L_0 può essere convertito in E_0 . Ciò si applica di solito solo agli strumenti oftalmici o all'occhio stabilizzato sotto anestesia. Il «tempo di fissazione» massimo è dato da $t_{max} = 100/E_0$ dove E_0 è espressa in $W\ m^{-2}$. Considerati i movimenti dell'occhio durante compiti visivi normali, questo valore non supera i 100s.

Tabella 1.2

S (Å) [adimensionale], da 180 nm a 400 nm

λ in nm	S (Å)	λ in nm	S (Å)	λ in nm	S (Å)	λ in nm	S (Å)	λ in nm	S (Å)
180	0,0170	225	0,1737	276	0,9434	324	0,00570	372	0,00086
181	0,0126	225	0,1819	277	0,9272	325	0,00500	373	0,00083
182	0,0132	230	0,1900	278	0,9112	326	0,00479	374	0,00080
183	0,0138	231	0,1995	279	0,8954	327	0,00459	375	0,00077
184	0,0144	232	0,2089	280	0,8800	328	0,00440	376	0,00074
185	0,0151	233	0,2188	281	0,8568	329	0,00425	377	0,00072
186	0,0158	234	0,2292	282	0,8342	330	0,00410	378	0,00069
187	0,0166	235	0,2400	283	0,8122	331	0,00396	379	0,00066
188	0,0173	236	0,2510	284	0,7908	332	0,00383	380	0,00064
189	0,0181	237	0,2624	285	0,7700	333	0,00370	381	0,00062
190	0,0190	238	0,2744	286	0,7420	334	0,00355	382	0,00059
191	0,0199	239	0,2869	287	0,7151	335	0,00340	383	0,00057
192	0,0208	240	0,3000	288	0,6891	336	0,00327	384	0,00055
193	0,0218	241	0,3111	289	0,6641	337	0,00315	385	0,00053
194	0,0228	242	0,3227	290	0,6400	338	0,00303	386	0,00051
195	0,0239	243	0,3347	291	0,6186	339	0,00291	387	0,00049
196	0,0250	244	0,3471	292	0,5980	340	0,00280	388	0,00047
197	0,0262	245	0,3600	293	0,5780	341	0,00271	389	0,00046
198	0,0274	246	0,3730	294	0,5587	342	0,00263	390	0,00044
199	0,0287	247	0,3865	295	0,5400	343	0,00255	391	0,00042
200	0,0300	248	0,4005	296	0,4984	344	0,00248	392	0,00041
201	0,0334	249	0,4150	297	0,4600	345	0,00240	393	0,00039
202	0,0371	250	0,4300	298	0,3989	346	0,00231	394	0,00037
203	0,0412	251	0,4465	299	0,3459	347	0,00223	395	0,00036
204	0,0459	252	0,4637	300	0,3000	348	0,00215	396	0,00035
205	0,0510	253	0,4815	301	0,2210	349	0,00207	397	0,00033
206	0,0551	254	0,5000	302	0,1629	350	0,00200	398	0,00032
207	0,0595	255	0,5200	303	0,1200	351	0,00191	399	0,00031
208	0,0643	256	0,5437	304	0,0849	352	0,00183	400	0,00030
209	0,0694	257	0,5685	305	0,0600	353	0,00175		
210	0,0750	258	0,5945	306	0,0454	354	0,00167		
211	0,0786	259	0,6216	307	0,0344	355	0,00160		
212	0,0824	260	0,6500	308	0,0260	356	0,00153		
213	0,0864	261	0,6792	309	0,0197	357	0,00147		
214	0,0906	262	0,7098	310	0,0150	358	0,00141		
215	0,0950	263	0,7417	311	0,0111	359	0,00136		
216	0,0995	264	0,7751	312	0,0081	360	0,00130		
217	0,1043	265	0,8100	313	0,0060	361	0,00126		
218	0,1093	266	0,8449	314	0,0042	362	0,00122		
219	0,1145	267	0,8812	315	0,0030	363	0,00118		
220	0,1200	268	0,9192	316	0,0024	364	0,00114		
221	0,1257	269	0,9587	317	0,0020	365	0,00110		
222	0,1316	270	1,0000	318	0,0016	366	0,00106		
223	0,1378	271	0,9919	319	0,0012	367	0,00103		
224	0,1444	272	0,9838	320	0,0010	368	0,00099		
225	0,1500	273	0,9758	321	0,000819	369	0,00096		
226	0,1583	274	0,9679	322	0,000670	370	0,00093		
227	0,1658	275	0,9600	323	0,000540	371	0,00090		

Tabella 1.3

B (λ), R (λ) [adimensionale], da 380 nm a 1 400 nm

λ in nm	B (λ)	R (λ)
300 < λ < 380	0,01	—
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1
405	0,2	2
410	0,4	4
415	0,8	8
420	0,9	9
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1	10
440	1	10
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
500 < λ < 600	$10^{0,02(λ-500)}$	1
600 < λ < 700	0,001	1
700 < λ < 1 050	—	$10^{0,002(700-λ)}$
1 050 < λ < 1 150	—	0,2
1 150 < λ < 1 200	—	$0,2 \cdot 10^{0,02(1 150-λ)}$
1 200 < λ < 1 400	—	0,02

PARTE II – RADIAZIONI LASER

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]			
		$10^{13} - 10^{11}$	$10^{11} - 10^9$	$10^7 - 1,8 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^3$
UVC	180 - 280	$10^9 - 10^7$	$10^7 - 1,8 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3 - 10^1$
	280 - 302	$H = 30$ [J m ⁻²]			
	303	$H = 40$ [J m ⁻²]	set < $2,6 \cdot 10^9$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	304	$H = 60$ [J m ⁻²]	set < $1,3 \cdot 10^8$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	305	$H = 100$ [J m ⁻²]	set < $1,0 \cdot 10^7$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	306	$H = 160$ [J m ⁻²]	set < $6,7 \cdot 10^7$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
UVB	307	$H = 250$ [J m ⁻²]	set < $4,0 \cdot 10^6$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	308	$H = 400$ [J m ⁻²]	set < $2,6 \cdot 10^5$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	309	$H = 630$ [J m ⁻²]	set < $1,6 \cdot 10^4$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	310	$H = 10^3$ [J m ⁻²]	set < $1,0 \cdot 10^3$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	311	$H = 1,6 \cdot 10^3$ [J m ⁻²]	set < $6,7 \cdot 10^5$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	312	$H = 2,5 \cdot 10^3$ [J m ⁻²]	set < $4,0 \cdot 10^2$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	313	$H = 4,0 \cdot 10^3$ [J m ⁻²]	set < $2,6 \cdot 10^1$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	314	$H = 6,3 \cdot 10^3$ [J m ⁻²]	set < $1,6 \cdot 10^0$ allora $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d		
	315 - 400		$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²]		
	400 - 700		$H = 5 \cdot 10^3 C_E$ [J m ⁻²]	$H = 1,8 \cdot t^{0,25} C_E$ [J m ⁻²]	
Visibile e IRA	700 - 1 050	$H = 1,5 \cdot 10^3 C_A C_E$ [J m ⁻²]	$H = 2,7 \cdot 10^3 t^{0,25} C_E$ [J m ⁻²]	$H = 1,8 \cdot t^{0,25} C_A C_E$ [J m ⁻²]	
	1 050 - 1 400	$H = 1,5 \cdot 10^3 C_C C_E$ [J m ⁻²]	$H = 2,7 \cdot 10^3 t^{0,25} C_C C_E$ [J m ⁻²]	$H = 5 \cdot 10^3 C_C C_E$ [J m ⁻²]	$H = 90 \cdot t^{0,25} C_C C_E$ [J m ⁻²]
	1 400 - 1 500	$E = 10^{12}$ [W m ⁻²]	Cfr. nota ^e	$H = 10^3$ [J m ⁻²]	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²]
IRB ^e IRC	1 500 - 1 800	$E = 10^{13}$ [W m ⁻²]	Cfr. nota ^e	$H = 10^7$ [J m ⁻²]	
	1 800 - 2 600	$E = 10^{13}$ [W m ⁻²]	Cfr. nota ^e	$H = 10^3$ [J m ⁻²]	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²]
	2 600 - 10 ⁶	$E = 10^{11}$ [W m ⁻²]	Cfr. nota ^e	$H = 10^3$ [J m ⁻²]	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²]

a Se la lunghezza d'onda del laser è coperta da due limiti, si applica il più restrittivo.

b Se $1,400 \leq \lambda < 10^5$ nm: apertura diametro = 1 mm per $t \leq 0,3$ e $1,5 \cdot 10^{0,157}$ mm per $0,3 < t < 10$; se $10^5 \leq \lambda < 10^6$ nm: apertura diametro = 11 mm.

c Per mancanza di dati a queste lunghezze di impulso, l'ICNIRP raccomanda di usare i limiti di irradianza per 1 ns.

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_{imp} (definite nella tabella 2.6) devono essere sommate e il valore di tempo risultante deve essere usato per t nella formula: $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$

Tabella 2.3

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

Larghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]	
UV-C	180 - 280	3,5 mm	$10^2 \cdot 10^4$	$10^4 \cdot 3 \cdot 10^4$
	280 - 302			
	303			
	304			
	305			
	306			
	307			
	308			
	309			
	310			
UV-B	311	3,5 mm	$10^2 \cdot 10^4$	$10^4 \cdot 3 \cdot 10^4$
	312			
	313			
	314			
	315 - 400			
	400 - 600			
UV-A	Danno fotochimico ^b Danno alla retina	7 mm	$10^2 \cdot 10^4$	$10^4 \cdot 3 \cdot 10^4$
	Danno termico ^b Danno alla retina			
	400 - 700			
IR-A	700 - 1 400	7 mm	$10^2 \cdot 10^4$	$10^4 \cdot 3 \cdot 10^4$
	1 400 - 10 ⁶			
IR-B e IR-C		Clr ^c	$10^2 \cdot 10^4$	$10^4 \cdot 3 \cdot 10^4$

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 riducono ai limiti per rischi termici per $10^{-5} < T_1 < T_2$ e ai limiti per rischi fotochimici per periodi superiori. Per T_1 e T_2 cfr. tabella 2.5. Il limite di rischio fotochimico per la retina può anche essere espresso come radianza integrata nel tempo $G = 10^6 C_{18} t^{0,75} [\text{J m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ per $t > 108 \text{ C}_{18} [\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ per $t > 10 \text{ 000 s}$. Per la misurazione di C_{18} e L_{18} deve essere usato come campo di vista medio. Il confine ufficiale tra visibile e infrarosso è 780 nm, come sta bifido dalla CIE. La colonna con le denominazioni della lunghezza d'onda ha il solo scopo di fornire un'inquadramento migliore all'utente. (Il simbolo G è usato dal CEN; il simbolo L_{18} dalla CIE. Il simbolo L_{18} dell'IEC e del CENELEC).
c Per lunghezze d'onda 1 400 - 10⁶ nm: apertura diametro = 3,5 mm; per lunghezze d'onda $10^5 - 10^6$ nm: apertura diametro = 11 mm.
d Per la misurazione del valore di esposizione γ è così definita: se α (angolo sotteso da una sorgente) $> \gamma$ (angolo del cono di limitazione, indicato tra parentesi nella colonna corrispondente) allora il campo di vista di misurazione di γ_0 dovrebbe essere il valore dato di γ (se si utilizza un valore superiore del campo di vista il rischio risulta sovrastimato).
Se $\alpha < \gamma$ il valore del campo di vista di misurazione γ_0 deve essere sufficientemente grande da includere completamente la sorgente, altrimenti non è limitato e può essere superiore a γ .

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	$C_C = 10^{0,018(\lambda - 1 150)}$
	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)

