

Allegato XXXVII - Radiazioni ottiche

Radiazioni ottiche

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.

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

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

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

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

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

m), n)
$$E_{\text{IR}} = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (E_{IR} è pertinente solo nell'intervallo da 780 a 3 000 nm)

o)
$$H_{\text{skin}} = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 (H_{skin} è pertinente solo nell'intervallo da 380 a 3 000 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:

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

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

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

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

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

$$\text{m), n)} \quad E_{\text{IR}} = \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{o)} \quad E_{\text{skin}} = \sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad \text{e } H_{\text{skin}} = E_{\text{skin}} \cdot \Delta t$$

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];

$t, \Delta t$ *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

$L_{\lambda}(\lambda)$, L_{λ} *radianza spettrale della sorgente*, espressa in watt su metro quadrato per steradiano per nanometro [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$];

| | |
|-------------------|---|
| R (λ) | <i>fattore di peso spettrale</i> : tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda delle lesioni termiche provocate sull'occhio dalle radiazioni visibili e IRA (tabella 1.3) [adimensionale]; |
| L _R | <i>radianza efficace (lesione termica)</i> : radianza calcolata ponderata spettralmente con R (λ), espressa in watt su metro quadrato per steradiante [$W m^{-2} sr^{-1}$]; |
| B (λ) | <i>ponderazione spettrale</i> : tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda della lesione fotochimica provocata all'occhio dalla radiazione di luce blu (Tabella 1.3) [adimensionale]; |
| L _B | <i>radianza efficace (luce blu)</i> : radianza calcolata ponderata spettralmente con B (λ), espressa in watt su metro quadrato per steradiante [$W m^{-2} sr^{-1}$]; |
| E _B | <i>irradianza efficace (luce blu)</i> : irradianza calcolata ponderata spettralmente con B (λ) espressa in watt su metro quadrato [$W m^{-2}$]; |
| E _{IR} | <i>irradianza totale (lesione termica)</i> : 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} | <i>irradianza totale (visibile, IRA e IRB)</i> : 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} | <i>esposizione radiante</i> : 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 | <i>angolo sotteso</i> : 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 | Parte del corpo | Rischio |
|--------|--------------------------------------|--|---|---------------------------------------|--|---|
| a. | 180-400 (UVA, UVB e UVC) | H _{eff} = 30 Valore giornaliero 8 ore | [$J m^{-2}$] | | occhio: cornea congiuntiva cristallino cute | fotocheratite congiuntivite catarattogenesi eritema elastosi tumore della cute |
| b. | 315-400 (UVA) | H _{UVA} = 10 ⁴ Valore giornaliero 8 ore | [$J m^{-2}$] | | occhio: cristallino | catarattogenesi |
| c. | 300-700 (Luce blu) Cfr nota 1 | L _B = $\frac{10^6}{t}$ per t ≤ 10 000 s | L _B [$W m^{-2} sr^{-1}$] t: [secondi] | per $\alpha \geq 11$ mrad | occhio: retina | fotoretinite |
| d. | 300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1 | L _B = 100 per t > 10 000 s | [$W m^{-2} sr^{-1}$] | | | |
| e. | 300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1 | E _B = $\frac{100}{t}$ per t ≤ 10 000 s | E _B : [$W m^{-2}$] t: [secondi] | per $\alpha < 11$ mrad Cfr. nota 2 | | |
| f. | 300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1 | E _B = 0,01 t > 10 000 s | [$W m^{-2}$] | | | |

| Indice | Lunghezza d'onda nm | Valori limite di esposizione | Unità | Commenti | Parte del corpo | Rischio |
|--------|---------------------------------------|--|---|----------|-----------------|---------|
| a. | 380-3 000 (Visibile, IRA e IRR) | $H_{lim} = 20\,000 t^{0,75}$ 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 400-690 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 (λ) [adimensionale], da 180 nm a 400 nm

| λ in nm | S (λ) | λ in nm | S (λ) | λ in nm | S (λ) | λ in nm | S (λ) | λ in nm | S (λ) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 180 | 0,0120 | 228 | 0,1737 | 276 | 0,9434 | 324 | 0,000520 | 372 | 0,000086 |
| 181 | 0,0126 | 229 | 0,1819 | 277 | 0,9272 | 325 | 0,000500 | 373 | 0,000083 |
| 182 | 0,0132 | 230 | 0,1900 | 278 | 0,9112 | 326 | 0,000479 | 374 | 0,000080 |
| 183 | 0,0138 | 231 | 0,1995 | 279 | 0,8954 | 327 | 0,000459 | 375 | 0,000077 |
| 184 | 0,0144 | 232 | 0,2089 | 280 | 0,8800 | 328 | 0,000440 | 376 | 0,000074 |
| 185 | 0,0151 | 233 | 0,2188 | 281 | 0,8568 | 329 | 0,000425 | 377 | 0,000072 |
| 186 | 0,0158 | 234 | 0,2292 | 282 | 0,8342 | 330 | 0,000410 | 378 | 0,000069 |
| 187 | 0,0166 | 235 | 0,2400 | 283 | 0,8122 | 331 | 0,000396 | 379 | 0,000066 |
| 188 | 0,0173 | 236 | 0,2510 | 284 | 0,7908 | 332 | 0,000383 | 380 | 0,000064 |
| 189 | 0,0181 | 237 | 0,2624 | 285 | 0,7700 | 333 | 0,000370 | 381 | 0,000062 |
| 190 | 0,0190 | 238 | 0,2744 | 286 | 0,7420 | 334 | 0,000355 | 382 | 0,000059 |
| 191 | 0,0199 | 239 | 0,2869 | 287 | 0,7151 | 335 | 0,000340 | 383 | 0,000057 |
| 192 | 0,0208 | 240 | 0,3000 | 288 | 0,6891 | 336 | 0,000327 | 384 | 0,000055 |
| 193 | 0,0218 | 241 | 0,3111 | 289 | 0,6641 | 337 | 0,000315 | 385 | 0,000053 |
| 194 | 0,0228 | 242 | 0,3227 | 290 | 0,6400 | 338 | 0,000303 | 386 | 0,000051 |
| 195 | 0,0239 | 243 | 0,3347 | 291 | 0,6186 | 339 | 0,000291 | 387 | 0,000049 |
| 196 | 0,0250 | 244 | 0,3471 | 292 | 0,5980 | 340 | 0,000280 | 388 | 0,000047 |
| 197 | 0,0262 | 245 | 0,3600 | 293 | 0,5780 | 341 | 0,000271 | 389 | 0,000046 |
| 198 | 0,0274 | 246 | 0,3730 | 294 | 0,5587 | 342 | 0,000263 | 390 | 0,000044 |
| 199 | 0,0287 | 247 | 0,3865 | 295 | 0,5400 | 343 | 0,000255 | 391 | 0,000042 |
| 200 | 0,0300 | 248 | 0,4005 | 296 | 0,4984 | 344 | 0,000248 | 392 | 0,000041 |
| 201 | 0,0334 | 249 | 0,4150 | 297 | 0,4600 | 345 | 0,000240 | 393 | 0,000039 |
| 202 | 0,0371 | 250 | 0,4300 | 298 | 0,3989 | 346 | 0,000231 | 394 | 0,000037 |
| 203 | 0,0412 | 251 | 0,4465 | 299 | 0,3459 | 347 | 0,000223 | 395 | 0,000036 |
| 204 | 0,0459 | 252 | 0,4637 | 300 | 0,3000 | 348 | 0,000215 | 396 | 0,000035 |
| 205 | 0,0510 | 253 | 0,4815 | 301 | 0,2210 | 349 | 0,000207 | 397 | 0,000033 |
| 206 | 0,0551 | 254 | 0,5000 | 302 | 0,1629 | 350 | 0,000200 | 398 | 0,000032 |
| 207 | 0,0595 | 255 | 0,5200 | 303 | 0,1200 | 351 | 0,000191 | 399 | 0,000031 |
| 208 | 0,0643 | 256 | 0,5437 | 304 | 0,0849 | 352 | 0,000183 | 400 | 0,000030 |
| 209 | 0,0694 | 257 | 0,5685 | 305 | 0,0600 | 353 | 0,000175 | | |
| 210 | 0,0750 | 258 | 0,5945 | 306 | 0,0454 | 354 | 0,000167 | | |
| 211 | 0,0786 | 259 | 0,6216 | 307 | 0,0344 | 355 | 0,000160 | | |
| 212 | 0,0824 | 260 | 0,6500 | 308 | 0,0260 | 356 | 0,000153 | | |
| 213 | 0,0864 | 261 | 0,6792 | 309 | 0,0197 | 357 | 0,000147 | | |
| 214 | 0,0906 | 262 | 0,7098 | 310 | 0,0150 | 358 | 0,000141 | | |
| 215 | 0,0950 | 263 | 0,7417 | 311 | 0,0111 | 359 | 0,000136 | | |
| 216 | 0,0995 | 264 | 0,7751 | 312 | 0,0081 | 360 | 0,000130 | | |
| 217 | 0,1043 | 265 | 0,8100 | 313 | 0,0060 | 361 | 0,000126 | | |
| 218 | 0,1093 | 266 | 0,8449 | 314 | 0,0042 | 362 | 0,000122 | | |
| 219 | 0,1145 | 267 | 0,8812 | 315 | 0,0030 | 363 | 0,000118 | | |
| 220 | 0,1200 | 268 | 0,9192 | 316 | 0,0024 | 364 | 0,000114 | | |
| 221 | 0,1257 | 269 | 0,9587 | 317 | 0,0020 | 365 | 0,000110 | | |
| 222 | 0,1316 | 270 | 1,0000 | 318 | 0,0016 | 366 | 0,000106 | | |
| 223 | 0,1378 | 271 | 0,9919 | 319 | 0,0012 | 367 | 0,000103 | | |
| 224 | 0,1444 | 272 | 0,9838 | 320 | 0,0010 | 368 | 0,000099 | | |
| 225 | 0,1500 | 273 | 0,9758 | 321 | 0,000819 | 369 | 0,000096 | | |
| 226 | 0,1583 | 274 | 0,9679 | 322 | 0,000670 | 370 | 0,000093 | | |
| 227 | 0,1658 | 275 | 0,9600 | 323 | 0,000540 | 371 | 0,000090 | | |

Tabella 1.3

E (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 | $10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$ | 1 |
| 600 < λ ≤ 700 | 0,001 | 1 |
| 700 < λ ≤ 1 050 | — | $10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$ |
| 1 050 < λ ≤ 1 150 | — | 0,2 |
| 1 150 < λ ≤ 1 200 | — | $0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1 150 - \lambda)}$ |

n.b. le disposizioni di cui al Titolo VIII Capo V riguardanti la protezione dei lavoratori a radiazioni ottiche entrano in vigore il 26 aprile 2010.