

CAMERA DEI DEPUTATI

N. 228

ATTO DEL GOVERNO SOTTOPOSTO A PARERE PARLAMENTARE

Schema di decreto legislativo recante attuazione della direttiva 2006/25/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 aprile 2006, sulle prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche artificiali) durante il lavoro

(Parere ai sensi dell'articolo 1 della legge 6 febbraio 2007, n. 13)

Trasmesso alla Presidenza il 3 marzo 2008

SCHEMA DI DECRETO LEGISLATIVO DI ATTUAZIONE
DELLA DIRETTIVA 2006/25/CE SULLE PRESCRIZIONI
MINIME DI SICUREZZA E SALUTE RELATIVA
ALL'ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI AI RISCHI
DERIVANTI DAGLI AGENTI FISICI (RADIAZIONI
OTTICHE) DURANTE IL LAVORO.

IL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA

Visti gli articoli 76 e 87, quinto comma, della Costituzione;

Vista la legge 6 febbraio 2007, n. 13 recante "Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità europee. Legge comunitaria 2006";

Vista la direttiva 2006/25/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 5 aprile 2006 sulle prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche);

Visto il decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, attuazione della direttiva 89/391/CEE, della direttiva 89/654/CEE, della direttiva 89/655/CEE, della direttiva 89/656/CEE, della direttiva 90/269/CEE, della direttiva 90/270/CEE, della direttiva 90/394/CEE, della direttiva 90/679/CEE, della direttiva 93/88/CEE, della direttiva 95/63/CE, della direttiva 97/42/CE, della direttiva 98/24/CE, della direttiva 99/38/CE, della direttiva 2001/45/CE e della direttiva 99/92/CE, della direttiva 2003/10/CE e della direttiva 2003/18/CE e 2004/40/CE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro e successive modificazioni;

Vista la preliminare deliberazione del Consiglio dei Ministri adottata nella riunione del

Acquisito il parere della Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano reso nella seduta del

Acquisiti i pareri delle competenti Commissioni della Camera dei deputati e del Senato della Repubblica;

Vista la deliberazione del Consiglio dei Ministri adottata nella riunione del ...;

Sulla proposta del Ministro per le politiche europee e del Ministro del lavoro e della previdenza sociale, di concerto con i Ministri degli affari esteri, della giustizia, dell'economia e delle finanze, della salute, dello sviluppo economico, dell'ambiente e tutela del territorio e del mare, degli affari regionali e le autonomie locali, delle riforme e innovazioni nella pubblica amministrazione:

EMANA

il seguente decreto legislativo

Art. 1

(Modifiche al titolo del decreto legislativo 19 settembre 1994, n.626 "Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE, 90/679/CEE, 93/88/CEE, 95/63/CE, 97/42/CE, 98/24/CE, 99/38/CE, 99/92/CE, 2001/45/CE, 2003/10/CE, 2003/18/CE e 2004/40/CE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro)

1. Il titolo del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, e successive modificazioni, è sostituito dal seguente: "Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE, 90/679/CEE, 93/88/CEE, 95/63/CE, 97/42/CE, 98/24/CE, 99/38/CE, 99/92/CE, 2001/45/CE, 2003/10/CE, 2003/18/CE, 2004/40/CE e 2006/25/CE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro."

Art. 2

(Inserimento del Titolo V - quater nel decreto legislativo n. 626 del 1994)

1. Dopo il Titolo V – ter del decreto legislativo n. 626 del 1994, è inserito il seguente:

<<Titolo V – QUATER
PROTEZIONE DA AGENTI FISICI : RADIAZIONI OTTICHE

CAPO I

DISPOSIZIONI GENERALI

Articolo 49 – semel et vicies (Campo di applicazione)

1. Il presente Titolo determina i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza che derivano dall'esposizione alle radiazioni ottiche artificiali durante il lavoro.
2. Le disposizioni del presente Titolo riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi sugli occhi e sulla cute derivanti dalla esposizione alle radiazioni ottiche artificiali.

Articolo 49 - vicies bis (Definizioni)

1. Agli effetti delle disposizioni del presente Titolo si intendono per:

a) radiazioni ottiche: tutte le radiazioni elettromagnetiche nella gamma di lunghezze d'onda comprese tra 100 nm e 1 mm. Lo spettro delle radiazioni ottiche si suddivide in radiazioni ultraviolette, radiazioni visibili e radiazioni infrarosse:

1) radiazioni ultraviolette: radiazioni ottiche a lunghezza d'onda compresa tra 100 e 400nm.

La banda degli ultravioletti è suddivisa in UVA (315- 400 nm), UVB (280-315 nm) e

UVC (100-280 nm);

2) radiazioni visibili: radiazioni ottiche a lunghezza d'onda compresa tra 380 e 780 nm;

3) radiazioni infrarosse: radiazioni ottiche a lunghezza d'onda compresa tra 780 nm e 1 mm.

La regione degli infrarossi è suddivisa in IRA (780-1 400 nm), IRB (1 400-3 000 nm) e

IRC (3 000 nm- 1 mm);

b)laser (amplificazione di luce mediante emissione stimolata di radiazione): qualsiasi dispositivo al quale si possa far produrre o amplificare le radiazioni elettromagnetiche nella gamma di lunghezze d'onda delle radiazioni ottiche, soprattutto mediante il processo di emissione stimolata controllata;

c) radiazione laser: radiazione ottica da un laser;

d) radiazione non coerente: qualsiasi radiazione ottica diversa dalla radiazione laser;

e) valori limite di esposizione: limiti di esposizione alle radiazioni ottiche che sono basati direttamente sugli effetti sulla salute accertati e su considerazioni biologiche.

Il rispetto di questi limiti garantisce che i lavoratori esposti a sorgenti artificiali di radiazioni ottiche siano protetti contro tutti gli effetti nocivi sulla salute conosciuti;

f) irradianza (E) o densità di potenza: la potenza radiante incidente per unità di area su una superficie espressa in watt su metro quadrato (W m^{-2});

g) esposizione radiante (H): integrale nel tempo dell'irradianza espresso in joule su metro quadrato (J m^{-2});

h) radianza (L): il flusso radiante o la potenza per unità d'angolo solido per unità di superficie espressa in watt su metro quadrato su steradiante ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$);

i) livello: la combinazione di irradianza, esposizione radiante e radianza alle quali è esposto un lavoratore.

Articolo 49 – vicies ter (Valori limite di esposizione)

1. I valori limite di esposizione per le radiazioni incoerenti diverse dalle radiazioni emesse da sorgenti naturali di radiazioni ottiche sono riportati nell'allegato VI - ter.

2. I valori limite di esposizione per le radiazioni laser sono riportati nell'allegato VI - quater.

Capo II

OBBLIGHI DEI DATORI DI LAVORO

Articolo 49 – vicies quater (Identificazione dell'esposizione e valutazioni dei rischi)

1. Nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, il datore di lavoro **individua e valuta le sorgenti di radiazioni ottiche artificiali presenti nell'ambiente di lavoro e la loro tipologia**, quando necessario, misura o calcola i livelli delle radiazioni ottiche a cui possono essere esposti i lavoratori, in modo da identificare e mettere in pratica le misure richieste per ridurre l'esposizione ai limiti applicabili. La metodologia seguita nella valutazione, nella misurazione e nel calcolo rispetta le

norme della Commissione elettronica internazionale (CEI), per quanto riguarda le radiazioni laser, e le raccomandazioni della Commissione internazionale per l'illuminazione (CIE) e del Comitato europeo di normazione (CEN) per quanto riguarda le radiazioni incoerenti. Nelle situazioni di esposizione che esulano dalle suddette norme e raccomandazioni, e fino a quando non saranno disponibili norme e raccomandazioni adeguate dell'Unione europea, la valutazione, la misurazione e il calcolo dell'esposizione dei lavoratori alle radiazioni ottiche sono effettuati dal datore di lavoro adottando le specifiche linee guida individuate od emanate dalla Commissione consultiva permanente per la salute e la sicurezza dei lavoratori, di cui all'articolo 393 del decreto del Presidente della Repubblica 27 aprile 1955, n. 547 o, in alternativa, linee guida internazionali scientificamente fondate. In tutti i casi di esposizione, la valutazione può tenere conto dei dati indicati dai fabbricanti delle attrezzature in conformità alle specifiche direttive comunitarie di prodotto.

2. La valutazione, la misurazione e il calcolo di cui al comma 1 sono programmati ed effettuati da personale competente nell'ambito del servizio di prevenzione e protezione di cui all'articolo 8. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione e calcolo del livello di esposizione costituiscono parte integrante del documento di valutazione dei rischi.

3. Nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, il datore di lavoro presta particolare attenzione ai seguenti elementi:

- a) il livello, la gamma di lunghezze d'onda e la durata dell'esposizione a sorgenti artificiali di radiazioni ottiche;
- b) i valori limite di esposizione di cui all'articolo 49 – *visées ter*;
- c) qualsiasi effetto sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori esposti particolarmente sensibili al rischio;
- d) qualsiasi eventuale effetto sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori risultante dalle interazioni sul posto di lavoro tra le radiazioni ottiche e le sostanze chimiche fotosensibilizzanti;
- e) qualsiasi effetto indiretto come l'accecamento temporaneo, le esplosioni o il fuoco;
- f) l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione alle radiazioni ottiche artificiali;
- g) per quanto possibile, informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria, comprese le informazioni pubblicate;
- h) sorgenti multiple di esposizione alle radiazioni ottiche artificiali;

i) una classificazione dei laser stabilita conformemente alla pertinente norma IEC e, in relazione a tutte le sorgenti artificiali che possono arrecare danni simili a quelli di un laser della classe 3B o 4, tutte le classificazioni analoghe;

j) le informazioni fornite dai fabbricanti delle sorgenti di radiazioni ottiche e delle relative attrezzature di lavoro in conformità delle pertinenti direttive comunitarie.

4. Il datore di lavoro nel documento di valutazione dei rischi di cui all'art. 4 deve precisare le misure adottate, previste dagli artt. 49 – *vicies quinquies* e 49 - *vicies sexies* del presente Titolo. Nel documento di valutazione dei rischi il datore di lavoro può includere una giustificazione, per la quale data la natura e l'entità dei rischi connessi con le radiazioni ottiche non è stata necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata. La valutazione dei rischi viene aggiornata, almeno con cadenza quinquennale e, comunque, ogni qual volta si verificano mutamenti che potrebbero renderla superata, oppure quando i risultati della sorveglianza sanitaria rendano necessaria la sua revisione.

Articolo 49 – *vicies quinquies* (Misure di prevenzione e protezione)

1. Fermo restando quanto previsto dall'articolo 3, il datore di lavoro, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare il rischio alla fonte, elimina alla sorgente o riduce al minimo i rischi derivanti dall'esposizione alle radiazioni ottiche artificiali.

2. A seguito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 49 – *vicies quater*, qualora risulti che i valori limite di esposizione sono superati, il datore di lavoro elabora ed applica un programma d'azione che comprenda misure tecniche o organizzative intese a prevenire esposizioni superiori ai valori limite di esposizione, tenendo conto in particolare:

a) di altri metodi di lavoro che riducono i rischi derivanti dalle radiazioni ottiche;

b) della scelta di attrezzature che emettano meno radiazioni ottiche, tenuto conto del lavoro da svolgere;

c) delle misure tecniche per ridurre l'emissione delle radiazioni ottiche, incluso, se necessario, l'uso di dispositivi di sicurezza, schermatura o analoghi meccanismi di protezione della salute;

d) degli opportuni programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei luoghi e delle postazioni di lavoro;

e) della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro;

- f) della limitazione della durata e del livello dell'esposizione;
- g) della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuale;
- h) delle istruzioni del fabbricante delle attrezzature, se sono incluse in una pertinente direttiva comunitaria.

3. I luoghi di lavoro dove i lavoratori, in base alla valutazione dei rischi di cui all'articolo 49 – *vicies quater*, possono essere esposti a livelli di radiazioni ottiche provenienti da sorgenti artificiali che superino i valori limite di esposizione devono essere indicati con un'apposita segnaletica a norma del decreto legislativo 14 agosto 1996, n. 493. Dette aree sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato, laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista il rischio di un superamento dei valori limite di esposizione.

4. In nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione. Allorché, nonostante i provvedimenti presi dal datore di lavoro in applicazione del presente Titolo i valori limite di esposizione risultino superati, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione, individua le cause del superamento dei predetti valori limite e adegua di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

5. A norma dell'articolo 4, comma 1, il datore di lavoro adatta le misure di cui al presente articolo alle esigenze dei lavoratori esposti particolarmente sensibili al rischio.

Articolo 49 – *vicies sexies* (Informazione e formazione dei lavoratori)

1. Nell'ambito degli obblighi di cui agli articoli 21 e 22, il datore di lavoro provvede affinché i lavoratori esposti a rischi derivanti dalle radiazioni ottiche artificiali sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi di cui all'articolo 49 – *vicies quater* con particolare riguardo:

- a) alle misure adottate in applicazione del presente titolo;
- b) ai valori limite di esposizione e ai potenziali rischi associati;
- c) ai risultati della valutazione, misurazione o calcolo dei livelli di esposizione alle radiazioni ottiche artificiali effettuati a norma dell'articolo 49 - *vicies quater* corredati di una spiegazione del loro significato e dei potenziali rischi;

- d) alle modalità per individuare e segnalare gli effetti negativi dell'esposizione per la salute;
- e) alle circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria;
- f) alle procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione;
- g) all'uso corretto di adeguati dispositivi di protezione individuale.

Articolo 49 – vices septies
(Consultazione e partecipazione dei lavoratori)

1. La consultazione e la partecipazione dei lavoratori e dei loro rappresentanti hanno luogo a norma degli articoli 18 e 19 sulle materie oggetto del presente Titolo.

Articolo 49 - duodetrecies
(Sorveglianza sanitaria)

1. *Fatto salvo quanto previsto dall'articolo 16, il datore di lavoro provvede a garantire, attraverso il medico competente, un'adeguata sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti con l'obiettivo di prevenire e di scoprire tempestivamente effetti negativi sulla salute, nonché prevenire rischi a lungo termine per la salute e rischi di malattie croniche derivanti dall'esposizione a radiazioni ottiche.*

2. *La sorveglianza sanitaria è effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità diversa decisa dal medico competente, tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi di cui all'articolo 49 - vices quater.*

3. *Il datore di lavoro garantisce che siano sottoposti a sorveglianza sanitaria i lavoratori per i quali è stata rilevata un'esposizione superiore ai valori limite di cui all'art. 49 –vices ter, comma 1 o quando tale sorveglianza riveli che un lavoratore soffre di una malattia o di effetti nocivi sulla salute derivanti, a parere del medico competente, dall'esposizione a radiazioni ottiche artificiali sul luogo di lavoro.*

4. *Nel caso in cui la sorveglianza sanitaria riveli in un lavoratore l'esistenza di un danno alla salute, il medico competente ne informa il datore di lavoro che procede ad*

effettuare una *nuova valutazione* dei rischi a norma dell'articolo 49 - *vicies quater*. Analogo adempimento è posto in essere nella circostanza del superamento dei valori limiti di esposizione.

5. Il datore di lavoro, oltre a quanto previsto dal precedente comma 4, tenendo conto del parere del medico competente ovvero dell'organo di vigilanza, attua le misure necessarie per eliminare o ridurre il rischio a norma dell'articolo 49 – *vicies quinquies*, disponendo altresì una visita medica per tutti i lavoratori che hanno subito un'esposizione simile.

Articolo 49 - *undetricies* (Cartelle sanitarie di rischio)

1. Il medico competente, per ciascuno dei lavoratori di cui all'art. 49 – *duodetricies*, comma 1, provvede ad istituire e aggiornare una cartella sanitaria e di rischio, secondo quanto previsto dall'art. 17, comma 1, lettera d). I singoli lavoratori hanno, su richiesta, accesso ai loro dati medici personali.>>

Art. 3 (Sanzioni)

1. All'articolo 89 del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, sono apportate le seguenti modificazioni:

a) al comma 1, dopo le parole “49 – *quinquies*, commi 1 e 6 ;” è inserita la seguente: “49 – *vicies quater*, commi 1 e 4;”

b) al comma 2, lettera a), dopo le parole: “49 – *undecies*, comma 3, secondo periodo, 49 – *septdecies*, comma 2;” sono inserite le seguenti:

“49 – *vicies quinquies*, comma 2”;

c) al comma 2, lettera b), dopo le parole: “49 – comma 1”, sono inserite le seguenti: “49 – *vicies quinquies*, commi 3 e 4 e art., 49 – *duodetricies*, comma 5”;

2. All'articolo 92 del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626 sono apportate le seguenti modificazioni:

a) dopo le parole: “49 – *novodecie*, comma 3, art. 49 – *vicies*;” sono inserite le seguenti: “art. 49 – *duodetricies*, comma 4 e art. 49 – *undetricies*;”.

Art. 4 (Clausola di cedevolezza)

1. In relazione a quanto disposto dall'articolo 117, quinto comma, della Costituzione e dall'art. 16, comma 3, della legge 4 febbraio 2005, n. 11, le disposizioni del presente decreto legislativo riguardanti ambiti di competenza legislativa delle regioni e delle province autonome si applicano, nell'esercizio del potere sostitutivo dello Stato e con carattere di cedevolezza, a decorrere dalla scadenza del termine stabilito per l'attuazione della direttiva oggetto del presente decreto legislativo, nelle regioni e nelle province autonome nelle quali non sia ancora stata adottata la normativa di attuazione regionale o provinciale e perdono comunque efficacia dalla data di entrata in vigore di quest'ultima, fermi restando i principi fondamentali ai sensi dell'art. 117, comma terzo, della Costituzione.

Art. 5
(Invarianza degli oneri)

1. All'attuazione degli articoli dal 49 – *semel et vicies* al 49 – *undetrices* del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, come modificato dal presente decreto, le Amministrazioni pubbliche provvedono con le dotazioni umane, strumentali e finanziarie disponibili a legislazione vigente, senza nuovi o maggiori oneri per la finanza pubblica.

Art. 6
(Entrata in vigore)

1. Le disposizioni del presente decreto entrano in vigore il 27 aprile 2010.

2. Dalla data di entrata in vigore di cui al precedente comma è abrogata la disposizione di cui al Capo II, art. 22 commi 1 e 2, nonché 3 limitatamente alle radiazioni ultraviolette emesse da sorgenti artificiali, del decreto del Presidente della Repubblica 19 marzo 1956, n. 303 e soppressa la voce “radiazioni ultraviolette e infrarosse” n. 46) della Tabella allegata allo stesso decreto 303.

Il presente decreto, munito del sigillo di Stato, sarà inserito nella raccolta ufficiale degli atti normativi della Repubblica italiana. E' fatto obbligo a chiunque spetti d'osservarlo e di farlo osservare.

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.

$$a) \quad H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda = 180 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$

(H_{eff} è pertinente solo nell'intervallo da 180 a 400 nm)

$$b) \quad H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda = 315 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$

(H_{UVA} è pertinente solo nell'intervallo da 315 a 400 nm)

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

(L_B è pertinente solo nell'intervallo da 300 a 700 nm)

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

(E_B è pertinente solo nell'intervallo da 300 a 700 nm)

$$g)-l) \quad L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$

(Cfr. tabella 1.1 per i valori appropriati di λ_1 e λ_2)

$$m), n) \quad E_{\text{IR}} = \int_{\lambda = 780 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$$

(E_{IR} è pertinente solo nell'intervallo da 780 a 3 000 nm)

$$o) \quad H_{\text{skin}} = \int_0^t \int_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$

(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:

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

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

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

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

$$\text{g)-l)} \quad L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

(Cfr. tabella 1.1 per i valori appropriati di λ_1 e λ_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;
$L_{\lambda}(\lambda), L_{\lambda}$	radianza spettrale della sorgente, espressa in watt su metro quadrato per steradiano per nanometro [$W m^{-2} sr^{-1} nm^{-1}$];
$R(\lambda)$	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];
L_R	radianza efficace (lesione termica): radianza calcolata ponderata spettralmente con $R(\lambda)$, espressa in watt su metro quadrato per steradiano [$W m^{-2} sr^{-1}$];
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

	Lunghezza d'onda nm	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parte del corpo	Rischio
					occhio: cornea	fotocheratite

a	180-400 (UVA, UVB e UVC)	$H_{\text{eff}} = 30$ Valore giornaliero 8 ore	$[J\ m^{-2}]$		congiuntiva cristallino cute	congiuntivite catarattogenesi eritema elastosi tumore della pelle
b	315-400 (UVA)	$H_{\text{UVA}} = 10^4$ Valore giornaliero 8 ore	$[J\ m^{-2}]$		occhio: cristallino	catarattogenesi
c	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$L_B = 10^6/t$ 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	$[W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$	per $\alpha \geq 11$ mrad		
e	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$E_B = 100/t$ per $t \leq 10\ 000$ s	$E_B: [W\ m^{-2}]$ t: [secondi]	per $\alpha < 11$ mrad Cfr. nota 2		
f	300-700 (Luce blu) Cfr. nota 1	$E_B = 0,1$ per $t > 10000$ s	$[W\ m^{-2}]$			
g	380-1 400 (Visibile e IRA)	$L_R = 2,8$ $10^7/C_\alpha$ per $t > 10$ s	$[W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$	$C\alpha = 1,7$ per $\alpha \leq 1,7$ mrad $C\alpha = \alpha$ per	occhio: retina	ustione retina
h	380-1 400	$L_R = 5 \cdot$ $10^7/C_\alpha t^{0,25}$	$L_R: [W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$	$1,7 \leq \alpha \leq$ 100 mrad		

	(Visibile e IRA)	per $10 \mu s \leq t \leq 10 s$	t: [secondi]	$C\alpha = 100$ per $\alpha > 100$ mrad $\lambda_1 = 380$; $\lambda_2 = 1\,400$		
i	380-1 400 (Visibile e IRA)	$L_R = 8,89 \cdot 10^8 / C\alpha$ per $t < 10 \mu s$	$[W m^{-2} sr^{-1}]$			

Tabella 1.1
Valori limiti di esposizione per radiazioni ottiche non coerenti

	Lunghezza d'onda nm	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parte del corpo	Rischio
j	780-1 400 (IRA)	$L_R = 6 \cdot 10^6 / C_\alpha$ per $t > 10 s$	$[W m^{-2} sr^{-1}]$	$C\alpha = 11$ per $\alpha \leq 11$ mrad	occhio: retina	ustione retina
k	780-1 400 (IRA)	$L_R = 5 \cdot 10^7 / C_\alpha t^{0,25}$ per $10 \mu s \leq t \leq 10 s$	$L_R: [W m^{-2} sr^{-1}]$ t: [secondi]	$C\alpha = \alpha$ per $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C\alpha = 100$ per $\alpha > 100$ mrad		
l	780-1 400 (IRA)	$L_R = 8,89 \cdot 10^8 / C_\alpha$ per $t < 10 \mu s$	$[W m^{-2} sr^{-1}]$	(campo di vista per la misurazione: 11 mrad) $\lambda_1 = 780$; $\lambda_2 = 1\,400$		
m	780 - 3 000 (IRA e IRB)	$E_{IR} = 18\,000 t^{0,75}$ per $t \leq 1\,000 s$	E: $[W m^{-2}]$ t: [secondi]		occhio: cornea cristallino	ustione cornea catarattogenesi
n	780 - 3 000 (IRA e IRB)	$E_{IR} = 100$ per $t > 1\,000 s$	$[W m^{-2}]$			
o	380-3 000	$H_{skin} = 20\,000$	H: $[J m^{-2}]$		cute	

	(Visibile, IRA e IRB)	$t^{0,25}$ per $t < 10$ s	t: [secondi]			
--	-----------------------------	------------------------------	-----------------	--	--	--

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 sorgenti piccolissime che sottendono angoli < 11 mrad, L_B può essere convertito in EB. Ciò si applica di solito solo agli strumenti oftalmici o all'occhio stabilizzato sotto anestesia.

Il «tempo di fissazione» massimo è dato da $t_{\max} = 100/E_B$ dove E_B 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

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

λ in nm	B (λ)	R (λ)
$300 \leq \lambda < 380$	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
$500 < \lambda \leq 600$	$10^{0,02(450-\lambda)}$	1
$600 < \lambda \leq 700$	0,001	1
$700 < \lambda \leq 1\ 050$	—	$10^{0,002(700-\lambda)}$
$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 150$	—	0,2
$1\ 150 < \lambda \leq 1\ 200$	—	$0,2 \cdot 10^{0,02(1\ 150-\lambda)}$
$1\ 200 < \lambda \leq 1\ 400$	—	0,02

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 interes- sato	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 radiazione laser - Durata di esposizione breve < 10 s

Lunghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]							
			10 ⁻¹³ - 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ - 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ - 3 · 10 ⁻⁴	1,8 · 10 ⁻⁵ - 5 · 10 ⁻⁵	5 · 10 ⁻⁵ - 10 ⁻³	10 ⁻³ - 10 ⁻¹	
UVC	180-280					H = 30 [J m ⁻²]	set<2,6 · 10 ⁻⁹ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d			
	280-302					H = 40 [J m ⁻²]				
	303					H = 60 [J m ⁻²]				
	304					set<1,3 · 10 ⁻⁸ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d				
	305					set<1,0 · 10 ⁻⁷ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d				
	306					set<6,7 · 10 ⁻⁷ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d				
	307					set<4,0 · 10 ⁻⁶ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d				
	308					set<2,6 · 10 ⁻⁵ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d				
	309					set<1,6 · 10 ⁻⁴ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d				
	310					set<1 · 10 ⁻³ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d				
UVB	311					H = 1,6 x 10 ³ [J m ⁻²]	set<1,6 · 10 ⁻³ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d			
	312					H = 2,5 x 10 ³ [J m ⁻²]				
	313					H = 4,0 x 10 ³ [J m ⁻²]				
	314					H = 6,3 x 10 ³ [J m ⁻²]				
						set<2,6 · 10 ⁻¹ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d				
						set<1,6 · 10 ⁰ allora H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²] Cfr. nota ^d				
						H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²]				
						H = 18 · 10 ³ t ^{0,75} C _E [J m ⁻²]				
						H = 18 · 10 ³ t ^{0,75} C _A C _E [J m ⁻²]				
						H = 5 · 10 ² C _C C _E [J m ⁻²]				
UVA	315 - 400						H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²]			
	400- 700									H = 5 · 10 ⁻³ C _E [J m ⁻²]
	700 - 1050									H = 18 · 10 ³ t ^{0,75} C _A C _E [J m ⁻²]
	1050 -1400									H = 5 · 10 ² C _C C _E [J m ⁻²]
										H = 5 · 10 ² C _C C _E [J m ⁻²]
										H = 10 ³ [J m ⁻²]
										H = 10 ⁴ [J m ⁻²]
										H = 10 ³ [J m ⁻²]
										H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²]
										H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²]
Visibile e IRA	400- 700									
	700 - 1050									
	1050 -1400									
	1400 - 1500									
	1500 - 1800									
IRB e IRC	1800 - 2600	cfr. ^b								
	2600 - 10 ⁶									

Note:

- a Se la lunghezza d'onda del laser è coperta da due limiti, si applica il più restrittivo.
- b Se $1400 \leq \lambda < 10^5$ nm: apertura diametro = 1 mm per $t \leq 0,3$ s e $1,5 \cdot 10^{0,75}$ mm per $0,3 < t < 10$ s; 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 singoli di impulsi laser. In caso di impulsi multipli, le durate degli impulsi che rientrano in un intervallo T_{\min} (elencate nella tabella 2.6) devono essere sommate e il valore di tempo risultante deve essere usato per t nella formula: $5,6 \cdot 10^5 t^{0,25}$.

Tabella 2.3
Valori limite di esposizione dell'occhio a radiazione laser - Durata di esposizione ≥ 10 s

Lunghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]	
UVC			$10^1 - 10^2$	$10^4 - 3 \cdot 10^4$
UVB	180-280	3,5 mm	$H = 30 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 40 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 60 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 100 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 160 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 250 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 400 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 630 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 1,0 \times 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 1,6 \times 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 2,5 \times 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 4,0 \times 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 6,3 \times 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 10^4 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
	280-302			
	303			
	304			
	305			
	306			
	307			
	308			
	309			
	310			
	311			
	312			
	313			
	314			
UVA				
Visibile 400 - 700	315 - 400	7 mm	$H = 100 C_B \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $(\gamma = 11 \text{ mrad})^d$	
	400-600		$E = 1 C_B \text{ [W m}^{-2}\text{]}$; $(\gamma = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad})^d$	
	Danno fotochimico ^b Danno alla retina		$E = 1 C_B \text{ [W m}^{-2}\text{]}$; $(\gamma = 110 \text{ mrad})^d$	
IRA	400- 700	7 mm	$\text{se } \alpha < 1,5 \text{ mrad}$ allora $E = 10 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ $\text{se } \alpha > 1,5 \text{ mrad e } t \leq T_2$ allora $H = 18 C_E t^{0,75} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $\text{se } \alpha > 1,5 \text{ mrad e } t > T_2$ allora $E = 18 C_E T_2^{0,25} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	
	Danno termico ^b Danno alla retina		$\text{se } \alpha < 1,5 \text{ mrad}$ allora $E = 10 C_A C_C \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ $\text{se } \alpha > 1,5 \text{ mrad e } t \leq T_2$ allora $H = 18 C_A C_C C_E t^{0,75} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $\text{se } \alpha > 1,5 \text{ mrad e } t > T_2$ allora $E = 18 C_A C_C C_E T_2^{0,25} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ (non superare 1000 W m ⁻²)	
IRB e IRC	700 - 1400	7 mm		
	1400 - 10 ⁶	cfr. ^c	$E = 1000 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	

Note alla Tabella 2.3

- a Se la lunghezza d'onda del laser è coperta 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 i rischi termici per $10 \text{ s} \leq t < T_{1e}$ ai limiti per i 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 $G = 10^6 C_B [\text{Jm}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ per $t > 10 \text{ s}$ fino a $t = 10000 \text{ s}$ e $I = 100 C_B [\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ per $t > 10000 \text{ s}$. Per la misurazione di G e I , γ_m deve essere usato come campo di vista medio. Il confine ufficiale tra visibile e infrarosso è 780 nm come stabilito dal CIE. La colonna con le denominazioni della lunghezza d'onda ha il solo scopo di fornire un inquadramento migliore all'utente. (Il simbolo L_1 dalla CIE, il simbolo L_P dall'IEC e dal CENELEC).
- c Per lunghezze d'onda 1400 - 105 nm: apertura diametro = 3,5 mm; per lunghezze d'onda 105 - 106 nm: apertura diametro = 11 mm.
- d Per la misurazione del valore di esposizione y è così definita: se α (angolo sotteso da una sorgente) $> y$ (angolo del cono di limitazione, indicato tra parentesi nella colonna corrispondente) allora il campo di vista di misurazione di γ_m dovrebbe essere il valore dato di y (se si utilizza un valore superiore del campo di vista il rischio risulta sovrastimato). Se $\alpha < y$ il valore del campo di vista di misurazione γ_m 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 radiazione laser

Lunghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]					
			< 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ - 10 ⁻³	10 ⁻³ - 10 ¹	10 ¹ - 10 ³	10 ³ - 3 · 10 ⁴
UV (A, B, C)	180 - 400	3,5 mm	E=3 · 10 ¹⁰ [W m ⁻²]	Come i limiti di esposizione per l'occhio				
Visibile e IRA	400 - 700		E = 2 · 10 ¹¹ [W m ⁻²]	H = 200 C _A [J m ⁻²]	H = 1,1 · 10 ⁴ C _A t ^{0.25} [J m ⁻²]	E = 2 · 10 ³ C _A [W m ⁻²]		
	700 - 1400		E = 2 · 10 ¹¹ C _A [W m ⁻²]					
IRB e IRC	1400 - 1500	3,5 mm	E = 10 ¹² [W m ⁻²]	Come i limiti di esposizione per l'occhio				
	1500 - 1800		E = 10 ¹³ [W m ⁻²]					
	1800 - 2600		E = 10 ¹² [W m ⁻²]					
	2600 - 10 ⁶		E = 10 ¹¹ [W m ⁻²]					

Nota a Se la lunghezza d'onda o un'altra condizione del laser è coperta da due limiti, si applica il più restrittivo

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
a_{\min}	tutti gli effetti termici	$a_{\min} = 1,5\text{ mrad}$
Parametri elencati da ICNIRP	Intervallo angolare valido (mrad)	Valore o descrizione
C_E	$\alpha < a_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$a_{\min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha/a_{\min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2/(a_{\min} \cdot a_{\max})\text{ mrad}$ con $a_{\max} = 100\text{ mrad}$
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	$t \leq 100$	$\gamma = 11 \text{ [mrad]}$
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5} \text{ [mrad]}$
	$t > 10^4$	$\gamma = 110 \text{ [mrad]}$

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 verifichi 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 verificano in meno di T_{min} sono trattati come singoli impulsi.

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