



In collaborazione con le associazioni



con il patrocinio di



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI FISICA

Seminario di formazione e aggiornamento

**Sicurezza del lavoro e protezione
dalle radiazioni ottiche**
(sorgenti IR-VIS-UV incoerenti e coerenti-LASER)
ai sensi del D.lgs 81/08

10 ottobre 2024

**Il Testo Unico di Sicurezza sul lavoro in
materia di ROA
e le norme tecniche correlate**

Luisa Biazzi

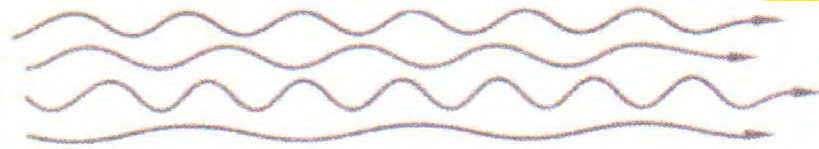
RADIAZIONI OTTICHE

C.E.M. con lunghezza d'onda da 1mm a 100 nm

FREQUENZA	DENOMINAZIONE ONDE ELETTRROMAGNETICHE	LUNGHEZZA D'ONDA
300 GHz – 300 THz	Infrarosso (IR)	<u>1 mm</u> (10^6 nm) – 780 nm IRC 1 mm - 3000 nm IRB 3000 - 1400 nm IRA 1400 - 780 nm
375 THz – 750 THz	Luce visibile (LV o VS)	780 nm – 380 nm
750 THz – $3 \cdot 10^4$ THz	Ultravioletto (UV)	<u>400 nm</u> – <u>100 nm</u> UVA 400 - 315 nm UVB 315 - 280 nm UVC 280 - 100 nm

SORGENTI COERENTI E SORGENTI INCOERENTI

1. Incoherent



Different wavelengths (colours)

La **SORGENTE INCOERENTE** emette in tutte le direzioni e la quantità di luce raccolta dipende dall'area sensibile del rivelatore



2. Coherent and monochromatic



Laser



luce emessa

La **SORGENTE COERENTE (LASER)** emette luce direzionata e il rivelatore può raccogliere tutta la

LASER



Same wavelength (monochromatic)
Light waves in phase (coherent)



Le sorgenti **COERENTI** emettono radiazioni in fase fra di loro (i minimi e i massimi delle radiazioni coincidono), e sono generate da LASER, mentre le sorgenti **INCOERENTI** emettono radiazioni sfasate e sono generate da tutte le altre sorgenti non LASER (sorgenti R.O. «artificiali» - ROA) e dal Sole (sorgenti R.O. «naturali»).

Sorgenti artificiali incoerenti e coerenti

sorgenti incoerenti: lampade e sistemi

- illuminazione con emissione soprattutto nel visibile,
- UV-C per lampade germicide/sterilizzazione
- UV-A / UV-B per abbronzatura o fototerapia
- UV-A per la polimerizzazione
- IR-A / IR-B per il riscaldamento
- saldatura (IR, VS, UV)
- ecc.

sorgenti coerenti con emissione monocromatica il cui impiego più comune è il **LASER** che presenta la caratteristica di un fascio (IR ovvero VS ovvero UV) molto direzionale e con alta densità di energia con possibilità di focalizzare il fascio anche a elevate distanze; quindi vanno usate cautele nell'uso e misure di sicurezza specifiche.

Applicazioni di sorgenti ROA non coerenti in sanità e non



Luce da sala parto



Lampada da sala operatoria



Culla neonatale



Schermi di visualizzazione in radiologia



Riscaldatori radianti sospesi a gas



Lampada abbronzante



Lampada di Wood



Lampada polimerizzatrice dentale



Lampada per unghie



Transilluminatore



Crogiuolo per fusione



Sistemi di illuminazione (ROA non coerenti)



- Illuminazione pubblica
- Stadi
- Stazioni ferroviarie
- Aeroporti
- Centri commerciali
- ecc.

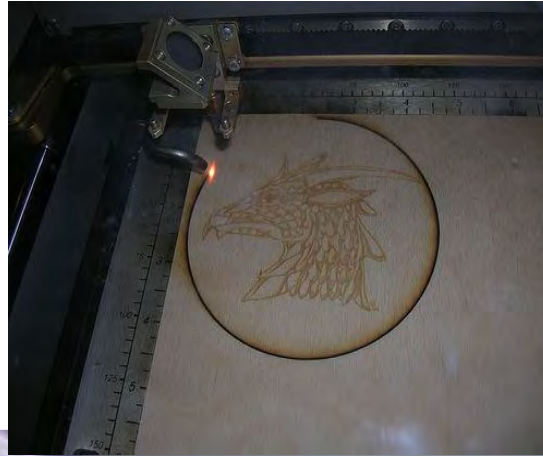


Il sole è una
sorgente di
luce naturale
non coerente



Applicazioni LASER industriali e civili

incisioni, giochi di luce, marcatura, taglio, saldatura, foratura



Applicazioni LASER vetro, tessuti, pelle, legno, plastica, metallo



Applicazioni LASER alimentari, legno, tessuti, metalli, plastica, medicina

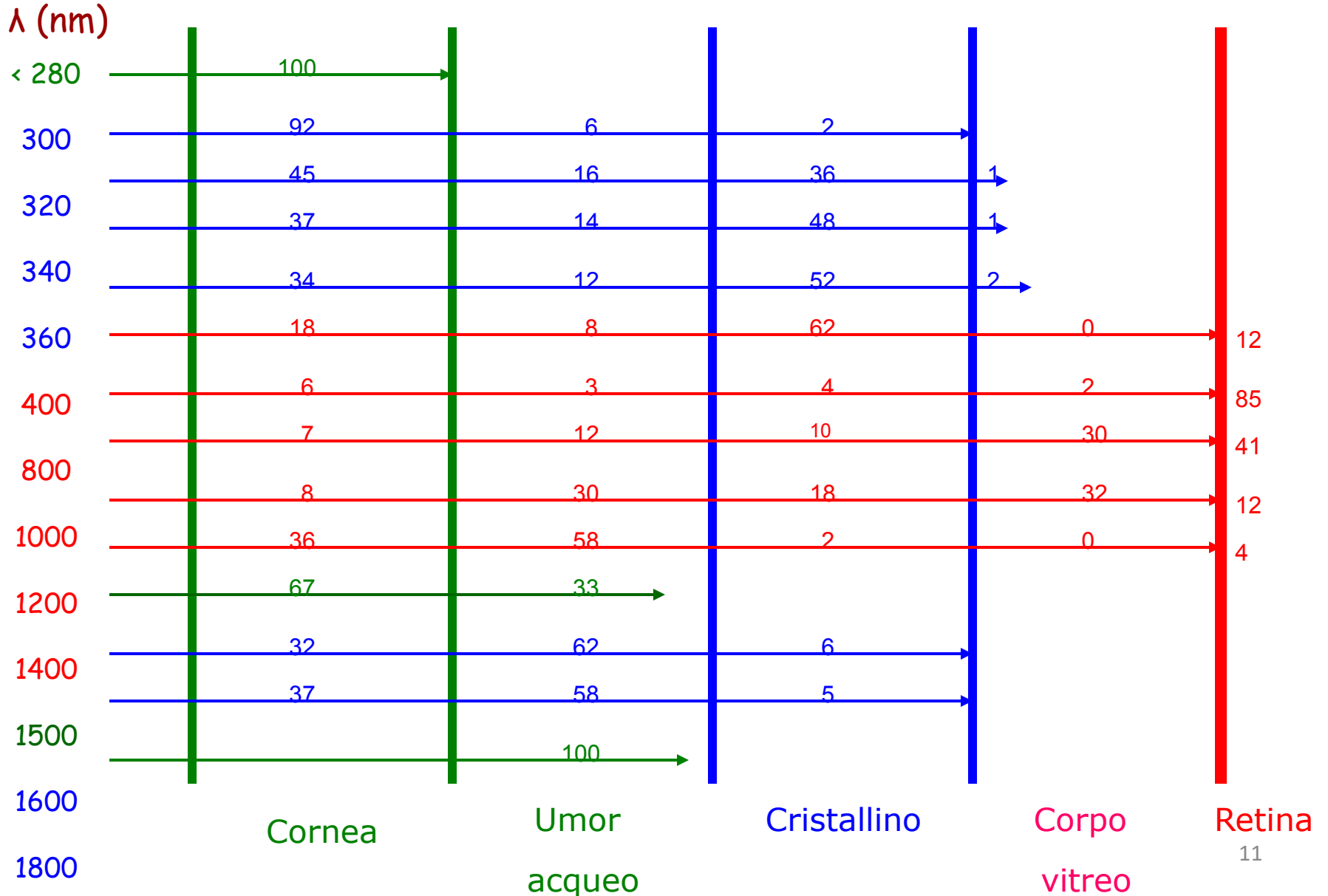


Bersagli biologici delle R.O.

- Gli organi biologici più sensibili ai rischi di elevate esposizioni a radiazioni ottiche sono l'**occhio** in tutte le sue parti (cornea, cristallino, retina) e la **cute**.
- Gli effetti dell'esposizione di questi organi bersaglio sono funzione del tipo di radiazione ottica ossia della **lunghezza d'onda λ** e quindi dell'energia associata alla radiazione ottica, sia coerente che incoerente.
- **Da λ dipende l'assorbimento di occhio e pelle e quindi la sensibilità di un dato tessuto a quella radiazione.**
- **Il tipo di danno a occhi e cute dipende da λ della radiazione incidente mentre la gravità del danno è connessa al tempo e all'intensità dell'esposizione.**
- La radiazione coerente, più che la incoerente-diffusa, può essere raccolta dalle strutture diottriche dell'**occhio** e focalizzata sulla retina per le lunghezze d'onda che arrivano alla **retina: VS e IR-A**.
- Di conseguenza a livello retinico è possibile raggiungere densità di energia molto elevate, anche per fasci in origine di bassa potenza e questo può tradursi in esteso e irreversibile danno al tessuto della retina.

Assorbimento % della radiazione ottica da parte delle diverse strutture oculari

(da Campurra, 2001) in funzione di λ (non in scala)



CLASSIFICAZIONE DEI LASER

Nuova **Vecchia**

- **Classe 1** (ex Cl.1) per conferenza (meno pericolosi)
- **Classe 1M**
- **Classe 2** (ex Cl.2) per apparecchi RX (puntatori/centratori)
- **Classe 2M**
- **Classe 3R** (ex Cl.3A eliminata)
- **Classe 3B** (ex Cl.3B) pochi per medicina / fisioterapia
- **Classe 4** (ex Cl.4) uso in medicina
- **Classe 1C** «C» = contatto cute (non occhi!)

Classi di rischio (IEC 60825-1:2003)

Limite sup di potenza per emissione cw	Classe di rischio a cura del costruttore	Rischi
<0.4 mW	1	~ nessuno
	1M	visione fascio con ottiche
< 1 mW	2	nessuno (riflesso palpebrale) (VIS)
	2M	visione fascio con ottiche (VIS)
< 5 mW	3R	visione fascio diretto
< 500 mW	3B	visione fascio diretto
> 500 mW	4	visione fascio diretto e diffuso

Radiazioni ottiche

**Dalla Direttiva 2006/25/CE
alle norme tecniche
al D.lgs.81/08**

Dir.2006/25/CE del 5.4.06
(G.U. L 114 del 27.4.06)

-è la Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del “sulle prescrizioni **minime** di sicurezza inerenti l’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (**radiazioni ottiche artificiali**)”

-è la XIX direttiva particolare della **direttiva “quadro” 391/89/EEC del Consiglio del 12.6.1989** “concernente l’attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e salute dei lavoratori durante il lavoro” (recepita in Italia nel **D.lgs.626/94 e poi D.lgs.81/2008**)

Dir.2006/25/CE e DLgs.81/2008

Obiettivi: protezione dagli effetti accertati su occhi e cute

Linee guida ICNIRP:

- per radiazione ottica incoerente, 1997
- per radiazione UV(180-400 nm), 2004

Nell'All.XXXVII-1 (ROA non coerenti):

-formule che dipendono dal tipo di radiazione emessa dalla sorgente funzione dell'intervallo di frequenze

Riferimento: norme tecniche CIE per luce VS; CEN per incoerenti

Nell'All.XXXVII-2 (ROA coerenti-LASER):

-formule che dipendono dalla lunghezza d'onda e dalla durata delle radiazioni emesse dalla sorgente

Riferimento: norme tecniche IEC per laser (serie 60825-1,.....)

Guida Non Vincolante alla buona prassi nell'attuazione della direttiva 2006/25/CE «Radiazioni Ottiche Artificiali»

Contract VC/2007/0581

A Non-Binding Guide to the Artificial Optical Radiation Directive 2006/25/EC

Radiation Protection Division, Health Protection Agency



This Guide was funded by the European Commission Employment, Social Affairs and Equal Opportunities DG, under contract number VC/2007/0581.

© Health Protection Agency
Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards
Radiation Protection Division
Chilton, Didcot, Oxfordshire OX11 0RQ

Guida non vincolante alla buona prassi nell'attuazione della direttiva 2006/25/CE «Radiazioni ottiche artificiali»



L'Europa sociale



Comunità europea

Riferimenti normativi e tecnici

Per D.Lgs.81/08 Titolo VIII per RO incoerenti e coerenti (laser)

- Capo I Disposizioni generali
- Capo V Radiazioni ottiche artificiali
- Norme tecniche: CIE per luce VS; CEN per incoerenti; IEC per laser
- Buone prassi o LG accreditate e info fabbricanti

Per le misure RO incoerenti

- UNI EN 14255-1: 2005 per UV
- UNI EN 14255-2: 2006 per VS e IR
- UNI EN 14255-4: 2007 per terminologia e grandezze per le misurazioni
- ICNIRP “Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0,38 to 3 μ m)” Health Physics, 1997

Per valutazione e misure RO incoerenti (All. XXXVII parte 1 D.Lgs.81/08)

- UNI EN 12198 parti 1:2009, 2:2009, 3:2008 per ROA emesse dal macchinario
- CEI EN 62471:2009 per sicurezza fotobiologica di lampade e sistemi di lampade, anche LED
- CEI EN 60335-2-27:2005 per lettini abbronzanti e lampade UV per uso estetico
- ICNIRP 14/2007 Protecting workers from ultraviolet radiation

Riferimenti tecnici per i LASER

- **-CEI EN 60825-1** (classificazione CEI 76-2: 2003-2007-2009) “Sicurezza degli apparecchi laser – Parte 1: Classificazione delle apparecchiature, prescrizioni e guida per l’utente/costruttore”
- **-CEI EN 61040** (classificazione CEI 76-3: 1998-2007) “Rivelatori, strumenti e apparati per la misura della potenza e dell’energia della radiazione laser (OFCS)”
- **-CEI EN 60825-2** (classificazione CEI 76-4: 2006) “Sicurezza degli apparecchi laser. Parte 2: Sicurezza dei sistemi di telecomunicazione a fibre ottiche”
- **-CEI EN 60825-4** (classif.CEI 76-4: 2007) “Sicurezza degli apparecchi laser. Parte 4: Barriere per laser”
- **-CEI 76-6: 2001**: “Sicurezza apparecchi laser. Parte 8: Guida all’uso degli apparecchi laser in medicina”
- **-CEI 76-11:2011**: «Sicurezza degli apparecchi laser-Parte 14 Guida per l’utente»
- **-CEI EN 60825-12** (classificazione CEI 76-7: 2005) “Sicurezza degli apparecchi laser. Parte 12: Sicurezza dei sistemi ottici di comunicazione nello spazio libero utilizzati per la trasmissione di informazioni”
- **-CEI EN 60601-2-22** (classificazione CEI 62-42: 1997) “Apparecchi elettromedicali. Parte 2: Norme particolari per la sicurezza degli apparecchi laser terapeutici e diagnostici” (per laser di classe 3B e 4)
- **-CEI 76-fasc.3850: 1998** “Guida per l’utente di apparati laser per laboratori di ricerca”
- **-UNI EN 207: 2017** “Filtri e protettori dell’occhio contro radiazioni laser (protettori dell’occhio per laser)”
- **-UNI EN 208: 2010** “Protettori dell’occhio per i lavori di regolazione sui laser e sistemi laser (protettori dell’occhio per regolazioni laser)”
- **-UNI EN ISO 11145: 2008** “Optica e fotonica - Laser e sistemi laser – Vocabolario e simboli”
- **-UNI EN 12254: 2008** “Schermi per posti di lavoro in presenza di laser – Requisiti di sicurezza e prove”
- **-UNI EN ISO 11252: 2008** “Laser e sistemi laser – Dispositivi laser-Requisiti minimi x documentazione”
- **-UNI EN ISO 11554: 2008** “Laser e sistemi laser – Metodi di prova della potenza del fascio, dell’energia e delle caratteristiche temporali”
- **-UNI EN ISO 11553-1:2009** “Sicurezza del macchinario - Macchine laser. Parte 1: Requisiti generali di sicurezza”
- **-UNI EN ISO 11553-2:2009** “Sicurezza del macchinario - Macchine laser. Parte 2: Requisiti generali di sicurezza”

DPI Riferimenti tecnici (ROA incoerenti e laser)

UNI EN 165 (Mezzi di protezione personale degli occhi – Vocabolario)

EN 166 (Protezione personale degli occhi – Specifiche)

EN 167 (Protezione personale degli occhi – Metodi di prova ottici)

EN 168 (Protezione personale degli occhi – Metodi di prova non ottici)

UNI EN 169 (Filtri per processi di **saldatura** e tecniche affini – Requisiti di fattore di trasmissione e utilizzo raccomandato)

UNI EN 170 (Filtri per **ultravioletti** – Requisiti di fattore di trasmissione e utilizzo raccomandato)

UNI EN 171 (Filtri per **infrarossi** – Requisiti di fattore di trasmissione e utilizzo raccomandato)

UNI EN 172 (Filtri solari per uso industriale)

UNI EN 207 (Filtri e protezione dell'occhio dalle radiazioni **laser**)

UNI EN 208 (Dispositivi di protezione dell'occhio per interventi di **regolazione** sui laser e sistemi **laser**)

EN 379 (Specifiche per i filtri di saldatura con fattore di trasmissione luminosa variabile e filtri di saldatura con duplice fattore di trasmissione luminosa)

CR 13464 Guida per la selezione, l'uso e la manutenzione dei Protettori dell'occhio e del viso

Grandezze radiometriche per i VLE incoerenti nel D.lgs.81/08

La caratterizzazione dell'esposizione a R.O. richiede la definizione di specifiche grandezze

- **Energia radiante (Joule, J):** è l'energia emessa, trasportata o ricevuta come energia elettromagnetica.
- **Potenza radiante (Watt, W) o flusso radiante o flusso di energia:** misura la potenza emessa, trasportata o ricevuta come energia elettromagnetica.
- **Intensità radiante I (W/steradiante, W/sr):** misura la potenza radiante emessa dalla sorgente per unità di angolo solido ($I=dP/d\omega$)
- **Irradianza E (W/m²) o densità di potenza :** è il flusso o potenza radiante incidente su di un'area unitaria ($E=dP/dA=I/r^2$).
- **Irradianza efficace E_{eff}** è l'irradianza ponderata spettralmente con $S_{\lambda(UV)}$, $B_{\lambda(luce\ blu)}$, $R_{\lambda(IR)}$, espressa in (W/m²).
- **Esposizione radiante efficace H_{eff} (J/m²):** integrale nel tempo dell'irradianza efficace E_{eff}
- **Radianza L (Wm⁻²sr⁻¹):** è il flusso radiante o potenza emessa dall'unità di superficie della sorgente in una data direzione nell'unità di angolo solido (nel piano perpendicolare alla direzione data). **La radianza è anche equivalente all'irradianza** (potenza che arriva sulla superficie investita dalla radiazione) **diviso l'angolo solido sotteso dalla sorgente.**

LASER Grandezze radiometriche per i VLE nel D.lgs.81/08

Per misurare l'emissione della radiazione da un LASER e/o valutare l'esposizione di una parte del corpo alla radiazione stessa si usano le seguenti grandezze radiometriche:

P = potenza radiante (W)

Q = energia radiante (J)

E = irradianza o densità di potenza (W/m^2): flusso o potenza radiante incidente per unità di area ($E=dP/dA$)

H = esposizione radiante (J/m^2)
integrale nel tempo dell'irradianza

Queste unità sono quelle usate dalla normativa LASER

Valori Limite di esposizione (V.L.E.)

per radiazione ottica incoerente(All.37.1) e laser(All.37.2)

valori che non devono essere superati in nessun caso

Il loro rispetto assicura la protezione dei lavoratori da effetti nocivi conosciuti

Se possono essere superati,

DDL attua un programma d'azione con misure tecniche e organizzative per rientrare sotto i limiti

- a) NO normativa sicurezza per popolazione, solo lavoratori
(mentre esiste per CEM non ottici 0Hz-300GHz)
- a) NO valori di azione, solo limiti
(mentre esiste per CEM non ottici 0Hz-300GHz)
- c) NO protezione da effetti a lungo termine
(tranne per sorveglianza sanitaria-art. 218)

V.L.E.

-per radiazioni ottiche **incoerenti** (All.XXXVII parte 1):

formule che dipendono dal tipo di radiazione emessa dalla sorgente funzione dell'intervallo di frequenze

Riferimento: norme CIE per luce VS; CEN per incoerenti

-per radiazioni ottiche **coerenti – laser** (All.XXXVII parte 2):

formule che dipendono dalla lunghezza d'onda e dalla durata delle radiazioni emesse dalla sorgente

Riferimento: norme IEC per laser

Obblighi per i DDL

1-Valutazione rischi = livelli di esposizione dei lavoratori:

Esposizione \geq VLE ?

-NO nessun provvedimento

-SI programma di misure tecnico-organizzative
per prevenire esposizioni superiori ai limiti

in analogia con ICNIRP e direttive agenti fisici

2-Valutazione rischi da effetti indiretti come accecamento
temporaneo, esplosioni, fuoco

3-Valutazione rischi da sorgenti multiple di esposizione ROA

- 4-Tener conto delle info fornite dai fabbricanti delle sorgenti di radiazioni ottiche e delle attrezzature di lavoro
- 5-Valutazione rischi per lavoratori appartenenti ai “gruppi critici”
- 6-Provvedimenti per ridurre/limitare esposizione (alla fonte)
- 7-Segnaletica: se Esposizione \geq VLE (Dir.92/58/CEE)
- 8-Identificazione con limitazioni accesso se Espos. \geq VLE
- 9-Informazione e formazione dei lavoratori
- 10-Sorveglianza sanitaria dei lavoratori professionalmente esposti

D.lgs.81/08 e s.m.i. art.28

VALUTAZIONE DEI RISCHI

Per le ROA va integrato coll'art.181

SEZIONE II

VALUTAZIONE DEI RISCHI

Art. 28.

Oggetto della valutazione dei rischi

1. La valutazione di cui all'articolo 17, comma 1, lettera *a)*, anche nella scelta delle attrezzature di lavoro e delle sostanze o dei preparati chimici impiegati, nonché nella sistemazione dei luoghi di lavoro, deve riguardare tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, ivi compresi quelli riguardanti gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari, tra cui anche quelli collegati allo stress lavoro-correlato, secondo i contenuti dell'accordo europeo dell'8 ottobre 2004, e quelli riguardanti le lavoratrici in stato di gravidanza, secondo quanto previsto dal decreto legislativo 26 marzo 2001, n. 151, nonché quelli connessi alle differenze di genere, all'età, alla provenienza da altri Paesi.

NORMATIVA SULLA SICUREZZA DEL LAVORO D.lgs.81/08 e Titolo VIII **Capo I** art.180-186 in vigore da 1.1.2009

(comune a tutti gli agenti fisici: art.180 definizione agenti fisici)

1

Art.181 “Valutazione dei rischi”:

- 1-Il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica e alle buone prassi.
- 2-La valutazione dei rischi derivanti da esposizioni ad agenti fisici è programmata ed effettuata, con cadenza almeno quadriennale, da personale qualificato nell’ambito del servizio di prevenzione e protezione in possesso di specifiche conoscenze in materia. La valutazione dei rischi è aggiornata ogni qual volta si verificano mutamenti che potrebbero renderla obsoleta, ovvero, quando i risultati della sorveglianza sanitaria rendano necessaria la sua revisione. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione e calcolo dei livelli di esposizione costituiscono parte integrante del documento di valutazione del rischio.

- **3**-Il datore di lavoro nella valutazione dei rischi precisa quali misure di prevenzione e protezione devono essere adottate. La valutazione dei rischi è riportata sul documento di valutazione di cui all'articolo 28, essa può includere una giustificazione del datore di lavoro secondo cui la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata.
- *Sanzione per DDL: arresto 3-6 mesi o ammenda € 2.500 – 6.400 rivalutata*

Art.182.comma 2 “Eliminazione o riduzione dei rischi”

Art.183 “Lavoratori particolarmente sensibili”

Art.184 “Informazione e formazione dei lavoratori”

RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI 1

D.lgs. 81/08 Titolo VIII “Agenti fisici”, Capo V

PROTEZIONE DEI LAVORATORI DAI RISCHI DI ESPOSIZIONE A ROA

- - identificazione dei luoghi di lavoro/aree ove esiste un rischio di esposizione con superamento del VLE solo per occhio e cute: **segnalazione e delimitazione accesso**
- - **VLE per ROA incoerenti: All. XXXVII parte I**
- - **VLE per ROA laser: All. XXXVII parte II**
Il rispetto dei VLE garantisce i lavoratori esposti da effetti nocivi su occhi e cute
- - **individuazione dei soggetti esposti**
- - **VDR su base:**
1-dati del fabbricante; 2-banche dati/letteratura; 3-misure (complesse!)
- - **Art.216.1:** “DDL **valuta** e, quando necessario, **misura e/o calcola** i livelli di RO cui possono essere esposti i lavoratori”secondo la metodologia delle **Norme IEC per i LASER** e le **Norme CEN e le raccomandazioni CIE per le radiazioni incoerenti**. In mancanza il DDL adotta Linee Guida pertinenti. *Sanzione per DDL.*
- - **misure/azioni preventive e protettive se è possibile superamento VLE**
- - **sorveglianza sanitaria**

Tali limiti VLE sono espressi in termini di:

-**Esposizione radiante H** (o densità di energia o fluenza): **J/m^2**

-**Irradianza E** (o densità di potenza o irradiazione): **W/m^2**

-**Radianza L** (**$W/m^2 sr$**)

RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI 2
D.Lgs. 81/08 Titolo VIII “Agenti fisici”, Capo V

art. 213 “Campo di applicazione”

“Prescrizioni minime di protezione dei lavoratori per la salute e la sicurezza che possono derivare dall’esposizione alle radiazioni ottiche artificiali durante il lavoro con particolare riguardo ai rischi dovuti agli effetti nocivi su occhi e cute”

art.216.2: il DDL per la valutazione dei rischi considera.....

art.217: «Eliminazione o riduzione dei rischi: misure preventive/protettive»

Radiazioni ottiche

**Le Indicazioni operative
delle Regioni con INAIL e ISS
(sotto forma di FAQ)**



COORDINAMENTO
TECNICO
INTERREGIONALE
DELLA PREVENZIONE
NEI LUOGHI DI LAVORO

**Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di
lavoro delle Regioni e delle Province autonome
Gruppo Tematico Agenti Fisici**

Indicazioni operative per la prevenzione del rischio da Agenti Fisici ai sensi del Decreto Legislativo 81/08

Parte 6: RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

in collaborazione con:

INAIL
ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

**INAIL - Istituto Nazionale
per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro**



Istituto Superiore di Sanità

Revisione 01: approvata dal gruppo di lavoro Agenti Fisici il 27/10/21

***approvata dal Gruppo Tecnico Interregionale Prevenzione Igiene
e Sicurezza sui Luoghi di Lavoro il 05/12/2022***

L'ESPERTO IN SICUREZZA

**per Radiazioni Ottiche incoerenti (ERO)
e coerenti-LASER (ESL: ASL e TSL)**



Consulta Interassociativa
Italiana per la Prevenzione

in collaborazione col

**COORDINAMENTO INTERREGIONALE SICUREZZA E SALUTE
LUOGHI LAVORO**

GRUPPO DI LAVORO AGENTI FISICI

PROFILI PROFESSIONALI DEL VALUTATORE RADIAZIONI OTTICHE

**Requisiti di conoscenza, abilità e competenza del personale qualificato per
la valutazione dei rischi da radiazioni ottiche
non-coerenti e coerenti (LASER) nei luoghi di lavoro**

21 maggio 2020

Luisa Biazzi (1), Riccardo Di Liberto (2), Alex Soldi (3)

approvato nella riunione del Coordinamento Interregionale-GL Agenti fisici del 21.5.20

Si ringraziano per il prezioso lavoro di revisione svolto e la condivisione del documento: Sara Adda, Andrea Bogi, Enrico Galbiati, Angelo Tirabasso, Stefano Andreoli, Luigi Barberini, Michelangelo Biondi, Maria Bernadetta Ferrari, Franco Fusi, Francesco Frigerio, Andrea Guasti, Barbara Longobardi

Per quanto riguarda la figura professionale dell'ESL oggi verrà qui presentata in anteprima la norma CEI in press.

(1) Fisica applicata-Università degli Studi di Pavia (luisa.biazzi@unipv.it); (2) Fisica sanitaria-Fondazione IRCCS S.Matteo di Pavia (R.Diliberto@smatteo.pv.it); (3) Eni S.p.A. HSEQ - Physical Risk Protection Services (alex.soldi@eni.com).

L'ESPERTO IN SICUREZZA LASER

- **In campo sanitario, estetico, veterinario** se si usano laser di Classe superiore a 3R o 3A-vecchia classificazione ossia Cl.3B e Cl.4 deve essere nominata una figura specifica:
 - **l'Addetto alla Sicurezza Laser (ASL):**
- “persona che possiede le conoscenze necessarie per valutare e controllare i rischi causati dai laser e ha la responsabilità di supervisione sul controllo di questi rischi” (CEI 76-6 Sicurezza degli apparecchi laser – Parte 8: Guida all'uso degli apparecchi laser in medicina)

L'ESPERTO IN SICUREZZA LASER

- In campo non sanitario, industriale, ambientale, nei laboratori, dove si usano laser di Classe da 3B e 4 deve essere nominata una figura specifica:
 - **Tecnico per la Sicurezza Laser (TSL)**
- con competenze specifiche relative ai problemi di sicurezza per la verifica del rispetto della Normativa corrispondente e per l'adozione delle necessarie misure di prevenzione specifiche (Guida CEI 76-11 per l'utilizzatore «Laser Safety Officer» LSO, in inglese)

Compiti e responsabilità del TSL e ASL

- **Collaborare col datore di lavoro riguardo alla sicurezza laser**
- **Valutare i rischi dell'installazione e dei sistemi laser:**
 - classificare le sorgenti se il caso,
 - determinare la zona nominale di rischio oculare (DNRO) e la zona laser controllata (ZLC)
 - delimitare la zona controllata con segnaletica apposita
- **Individuare i DPI adeguati**
- **Informare il responsabile sui problemi della sicurezza**
- **Effettuare test di accettazione e i controlli periodici, se incaricato**
- **Partecipare all'attività di info-formazione e addestramento degli addetti al laser**
- **Definire le procedure operative e di sicurezza laser**
- **Verificare l'efficacia delle misure di prevenzione e protezione adottate**
- **Analizzare gli infortuni e gli incidenti inerenti i laser**
- **Collaborare col SPP**

Allegato XXXVII del D.lgs.81/08

Tabella 2.1

Rischi delle radiazioni

Lunghezza d'onda [nm] λ	Campo di radiazione	Organo interessato	<u>Rischio</u>	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 1400	IRA	occhio	danno termico	2.2, 2.3
da 700 a 1400	IRA	cute	danno termico	2.4
da 1400 a 2600	IRB	occhio	danno termico	2.2
da 2600 a 10^6	IRC	occhio	danno termico	2.2
da 1400 a 10^6	IRB, IRC	occhio	danno termico	2.3
da 1400 a 10^6	IRB, IRC	cute	danno termico	2.4

Tabella 1.1 - Valori limiti di esposizione per radiazioni ottiche non coerenti

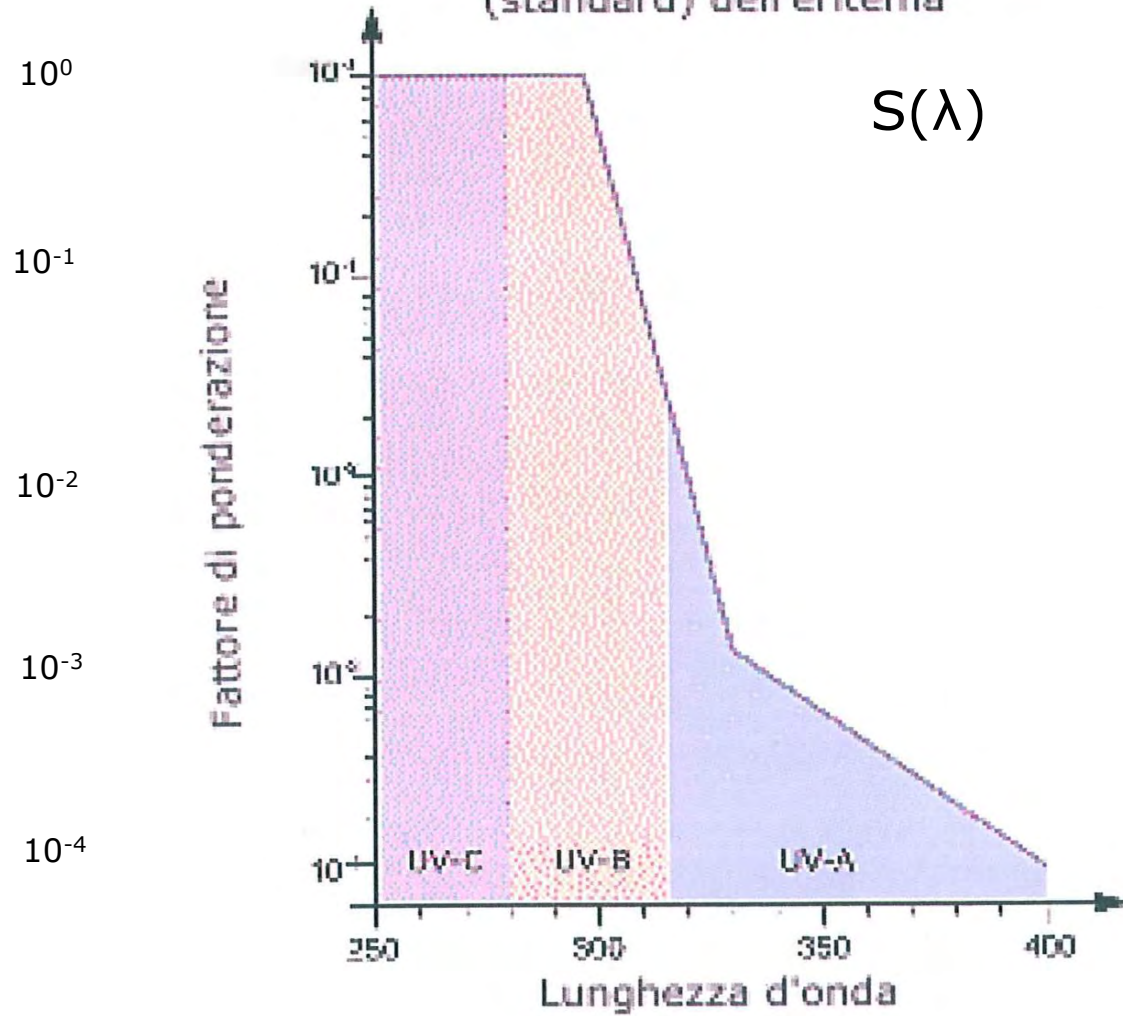
Indice	Lunghezza d'onda (nm)	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parte del corpo	Rischio
a	180-400 (UVA-UVB-UVC)	$H_{eff} = 30$ Valore giornaliero di 8 ore	$\frac{J}{m^2}$		Occhio: cornea congiuntiva Cute	Foto cheratite Congiuntivite Carattogenesi Eritema Elastosi Tumore della cute
b	315-400 (UVA)	$H_{UVA} = 10^4$ Valore giornaliero di 8 ore	$\frac{J}{m^2}$		Occhio: cristallino	Carattogenesi
c	300-700 (LUCE BLU) Cfr. nota 1	$L_B = \frac{10^6}{t}$ L_B Per $t \leq 10000s$	$\frac{W}{m^2 \cdot sr}$ t: secondi	Per $\alpha \geq 11$ mrad Cfr. nota 2	Occhio: retina	Fotoretinite
d	300-700 (LUCE BLU) Cfr. nota 1	$L_B = 100$ Per $t > 10000s$	$\frac{W}{m^2 \cdot sr}$			
e	300-700 (LUCE BLU) Cfr. nota 1	$E_B = \frac{100}{t}$ E_B Per $t \leq 10000s$	$\frac{W}{m^2}$ t: secondi	Per $\alpha < 11$ mrad Cfr. nota 2		
f	300-700 (LUCE BLU) Cfr. nota 1	$E_B = 0,01$ Per $t > 10000s$	$\frac{W}{m^2}$			
g	380-1400 (VISIBILE – IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ L_R Per $t > 10s$	$\frac{W}{m^2 \cdot sr}$	$C_\alpha = 1,7$ per $\alpha \leq 1,7$ mrad		
h	380-1400 (VISIBILE – IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}}$ L_R Per $10\mu s \leq t \leq 10s$	$\frac{W}{m^2 \cdot sr}$ t: secondi	$C_\alpha = \alpha$ per $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad		
i	380-1400 (VISIBILE – IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ L_R Per $t < 10\mu s$	$\frac{W}{m^2 \cdot sr}$	$C_\alpha = 100$ per $\alpha > 100$ mrad		

Indice	Lunghezza d'onda (nm)	Valori limite di esposizione	Unità	Commenti	Parte del corpo	Rischio
j	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$ L _R Per t > 10s	$\frac{W}{m^2 \cdot sr}$	$C_\alpha = 11$ per $\alpha \leq 11$ mrad	Occhio: retina	Ustione retina
k	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}}$ L _R Per $10\mu s \leq t \leq 10s$	$\frac{W}{m^2 \cdot sr}$	$C_\alpha = \alpha$ per $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad		
l	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ L _R Per t < 10μs	$\frac{W}{m^2 \cdot sr}$	$C_\alpha = 100$ per $\alpha > 100$ mrad		
m	780-3000 (IRA-IRB)	$E_{IR} = 18000 t^{-0,75}$ Per t ≤ 1000 s	$\frac{W}{m^2}$		Occhio: cornea cristallino	Ustione cornea catarattogenesi
n	780-3000 (IRA-IRB)	$E_{IR} = 100$ Per t > 1000 s	$\frac{W}{m^2}$			
o	380-3000 (VISIBILE – IRA – IRB)	$H_{skin} = 20000 t^{0,25}$ Per t < 10 s	$\frac{J}{m^2}$		Cute	Ustione

Nota 1: L'intervallo di lunghezze d'onda 300-700nm 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 tra 400-490nm.

Nota 2: Per la fissazione costante di sorgenti piccolissime che sottendono gli angoli < 11mrad, L_b può essere convertito in E_b. 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/m². Considerati i movimenti dell'occhio durante compiti visivi normale, questo valore non supera i 100s.

Spettro d'azione normalizzato
(standard) dell'eritema



Esempio: RISCHIO DA UV

Direttiva 2006/25/CE – D.lgs. 81/08

$$E_{eff} = \int_{180}^{400} E_{\lambda}(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \quad W \cdot m^{-2}$$



E_{eff} = irradianza efficace secondo S (per rischio da UV)

E_{λ} = irradianza spettrale per l'UV ($Wm^{-2}nm^{-1}$)

$S(\lambda)$ = funzione di rischio da UV (180-400 nm)

$d\lambda$ = larghezza infinitesima di banda (nm)

Per intervalli discreti $\Delta\lambda$ l'integrale è sostituito con una sommatoria

H_{eff} = esposizione radiante efficace secondo S

$$H_{eff} = E_{eff} \cdot t_e \quad J \cdot m^{-2}$$

$$\begin{aligned} H_{eff} &= E_{eff} * \Delta t \\ H_{UVA} &= E_{UVA} * \Delta t \\ H_{SKIN} &= E_{SKIN} * \Delta t \end{aligned}$$



Se $H_{eff} \geq H_{lim}$
determino tempo di
esposizione massimo t_e

$$H_{lim}/E_{eff} \quad t_e \quad \text{per cui}$$
$$t_e = H_{lim}/E_{eff}$$

PARTE II – Radiazioni laser

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

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

Note:

-dP potenza, espresso 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 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 2.2

Valori limite di esposizione dell'occhio a radiazioni laser — Durata di esposizione breve < 10 s

Lunghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]						
			$10^{-13} - 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^1$
UVC	180 - 280	1 mm per $t < 0,3$ s; $1,5 \cdot t^{0,75}$ mm per $0,3 < t < 10$ s	$E = 3 \cdot 10^{10} \cdot [W m^{-2}]$ Cfr. nota ^c						
UVB	280 - 302								H = 30 [J m ⁻²]
	303								H = 40 [J m ⁻²] se $t < 2,6 \cdot 10^{-9}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	304								H = 60 [J m ⁻²] se $t < 1,3 \cdot 10^{-8}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	305								H = 100 [J m ⁻²] se $t < 1,0 \cdot 10^{-7}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	306								H = 160 [J m ⁻²] se $t < 6,7 \cdot 10^{-7}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	307								H = 250 [J m ⁻²] se $t < 4,0 \cdot 10^{-6}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	308								H = 400 [J m ⁻²] se $t < 2,6 \cdot 10^{-5}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	309								H = 630 [J m ⁻²] se $t < 1,6 \cdot 10^{-4}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	310								H = 10 ³ [J m ⁻²] se $t < 1,0 \cdot 10^{-3}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	311								H = 1,6 · 10 ³ [J m ⁻²] se $t < 6,7 \cdot 10^{-3}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	312								H = 2,5 · 10 ³ [J m ⁻²] se $t < 4,0 \cdot 10^{-2}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	313								H = 4,0 · 10 ³ [J m ⁻²] se $t < 2,6 \cdot 10^{-1}$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	314								H = 6,3 · 10 ³ [J m ⁻²] se $t < 1,6 \cdot 10^0$ allora H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²] cfr. nota ^d
	UVA								315 - 400
Visibile e IRA	400 - 700	H = $1,5 \cdot 10^{-4} C_E$ [J m ⁻²]	H = $2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_E$ [J m ⁻²]	H = $5 \cdot 10^{-3} C_E$ [J m ⁻²]		H = $18 \cdot t^{0,75} C_E$ [J m ⁻²]			
	700 - 1 050	H = $1,5 \cdot 10^{-4} C_A C_E$ [J m ⁻²]	H = $2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_A C_E$ [J m ⁻²]	H = $5 \cdot 10^{-3} C_A C_E$ [J m ⁻²]		H = $18 \cdot t^{0,75} C_A C_E$ [J m ⁻²]			
	1 050 - 1 400	H = $1,5 \cdot 10^{-3} C_r C_E$ [J m ⁻²]	H = $2,7 \cdot 10^5 t^{0,75} C_r C_E$ [J m ⁻²]	H = $5 \cdot 10^{-2} C_r C_E$ [J m ⁻²]			H = $90 \cdot t^{0,75} C_r C_E$ [J m ⁻²]		
IRB e IRC	1 400 - 1 500	E = 10 ¹² [W m ⁻²]	Cfr. nota ^c	H = 10 ³ [J m ⁻²]			H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²]		
	1 500 - 1 800	E = 10 ¹¹ [W m ⁻²]	Cfr. nota ^c	H = 10 ⁴ [J m ⁻²]					
	1 800 - 2 600	E = 10 ¹² [W m ⁻²]	Cfr. nota ^c	H = 10 ³ [J m ⁻²]			H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²]		
IRC	2 600 - 10 ⁶	E = 10 ¹¹ [W m ⁻²]	Cfr. nota ^c	H = 100 [J m ⁻²]	H = $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m ⁻²]				

a Se la lunghezza d'onda del laser è coperta da due limiti, si applica il più restrittivo.
 b Se $1400 < \lambda < 10^5$ nm: apertura diametro = 1 mm per $t \leq 0,3$ s e $1,5 t^{0,75}$ mm per $0,3 < t < 10$ s; se $10^5 < \lambda < 10^6$ nm: apertura diametro = 11 mm.
 c Per mancanza di dati a queste lunghezze di impulso, 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_{lim} (elencate nella tabella 2.6) devono essere sommate e il valore di tempo risultante deve essere usato per t nella formula: $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$

Tabella 2.3

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

Lunghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]		
			10 ¹ - 10 ²	10 ² - 10 ⁴	10 ⁴ - 3 · 10 ⁴
UVC	180 - 280	3,5 mm	H = 30 [J m ⁻²]		
UVB	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 · 10 ³ [J m ⁻²]		
	310		H = 1,6 · 10 ³ [J m ⁻²]		
	311		H = 2,5 · 10 ³ [J m ⁻²]		
312	H = 4,0 · 10 ³ [J m ⁻²]				
313	H = 6,3 · 10 ³ [J m ⁻²]				
314	H = 10 ⁴ [J m ⁻²]				
UVA	315 - 400	H = 10 ⁴ [J m ⁻²]			
Visibile 400 - 700	400 - 600 Danno fotochimico ^b Danno alla retina	7 mm	H = 100 C _B [J m ⁻²] (γ = 11 mrad) ^d	E = 1 C _B [W m ⁻²]; (γ = 1,1 t ^{0,5} mrad) ^d	E = 1 C _B [W m ⁻²] (γ = 110 mrad) ^d
	400 - 700 Danno termico ^b Danno alla retina		se α < 1,5 mrad se α > 1,5 mrad e t ≤ T ₂ se α > 1,5 mrad e t > T ₂	allora E = 10 [W m ⁻²] allora H = 18 C _E t ^{0,75} [J m ⁻²] allora E = 18 C _E T ₂ ^{-0,25} [W m ⁻²]	
IRA	700 - 1 400	7 mm	se α < 1,5 mrad se α > 1,5 mrad e t ≤ T ₂ se α > 1,5 mrad e t > T ₂	allora E = 10 C _A C _E [W m ⁻²] allora H = 18 C _A C _E t ^{0,75} [J m ⁻²] allora E = 18 C _A C _E T ₂ ^{-0,25} [W m ⁻²] (non superare 1 000 W m ⁻²)	
IRB e IRC	1 400 - 10 ⁶	cfr. ^e	E = 1 000 [W m ⁻²]		

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 s ≤ t < T₂ e ai limiti per rischi fotochimici per periodi superiori. Per T₁ e T₂ cfr. tabella 2.5. Il limite di rischio fotochimico per la retina può anche essere espresso come radianza integrata nel tempo G = 10⁶ C_B [J m⁻² sr⁻¹] per t > 10 s fino a t = 10 000 s e L = 100 C_B [W m⁻² sr⁻¹] per t > 10 000 s. Per la misurazione di G e L γ_m deve essere usato come campo di vista medio. Il confine ufficiale 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 inquadramento migliore all'utente. (Il simbolo G è usato dal CEN; il simbolo L, dalla CIE, il simbolo L_p dall'IEC e dal CENELEC).

c Per lunghezze d'onda 1 400 - 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 γ è così definita: se α (angolo sotteso da una sorgente) > γ (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 γ (se si utilizza un valore superiore del campo di vista il rischio risulta sovrastimato).

Se α < γ 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 γ.

Tabella 2.4

Valori limite di esposizione della cute a radiazioni laser

Lunghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]						
			< 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ - 10 ⁻¹	10 ⁻¹ - 10 ¹	10 ¹ - 10 ³	10 ³ - 3 · 10 ⁴	
UV (A, B, C)	180 - 400	3,5 mm	$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$	Come i limiti di esposizione per l'occhio					
Visibile e IRA	400 - 700	3,5 mm	$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$	$H = 200 C_A \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	$H = 1,1 \cdot 10^4 C_A t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	$E = 2 \cdot 10^1 C_A \text{ [W m}^{-2}\text{]}$			
	700 - 1 400		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$						
IRB e IRC	1 400 - 1 500		$E = 10^{12} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$	Come i limiti di esposizione per l'occhio					
	1 500 - 1 800		$E = 10^{13} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$						
	1 800 - 2 600		$E = 10^{12} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$						
	2 600 - 10 ⁶		$E = 10^{11} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$						

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

grazie

luisa.biazzi@unipv.it