

INAIL



Esposizione occupazionale alle radiazioni non ionizzanti: dai campi statici alle radiazioni ottiche, cosa e come sta cambiando?

Radiazioni ottiche artificiali e naturali: valutazione, gestione del rischio

ENEA

INAIL



Laura Filosa (INAIL – Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione)

Massimo Borra (INAIL – Dipartimento Medicina Epidemiologia Igiene del Lavoro e Ambientale)

Andrea Militello (INAIL – Dipartimento Medicina Epidemiologia Igiene del Lavoro e Ambientale)

Convegno Nazionale Ambiente e Lavoro
Bologna, 11 ottobre 2023

Programma II Sessione

Radiazioni ottiche artificiali e naturali: valutazione, gestione del rischio. - *ROA coerenti*

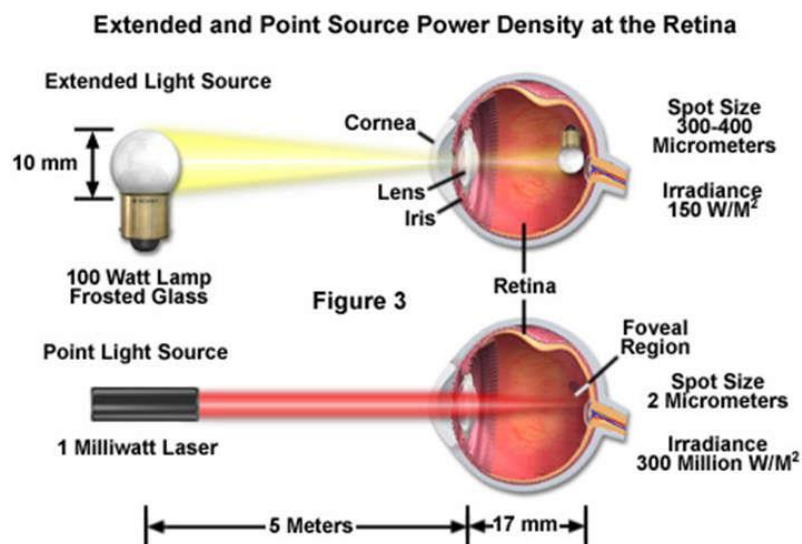
- ❑ ***Le radiazioni ottiche nello spettro elettromagnetico: richiami di fisica, grandezze radiometriche e aspetti normativi della valutazione del rischio (L. Filosa, INAIL CTSS)***
 - ❑ Effetti biofisici dell'esposizione alle radiazioni ottiche
 - ❑ Grandezze di riferimento
 - ❑ Legislazione e normativa tecnica di riferimento
- ❑ ***Valutazione del rischio da esposizione a RO incoerenti (M. Borra, INAIL)***
 - ❑ Sorgenti di RO incoerenti Casi Studio
 - ❑ Sorgenti di RO Naturali Casi Studio
- ❑ ***Valutazione del rischio da esposizione a ROA coerenti (A. Militello, INAIL).***
 - ❑ Sorgenti LASER rischi lavorativi, figure responsabili della sicurezza LASER
 - ❑ Approccio alla gestione del rischio LASER
 - ❑ Legislazione e normativa tecnica di riferimento : quali novità all'orizzonte.
- ❑ ***Discussione***



L'interazione con i materiali e i tessuti biologici e gli effetti in funzione dei parametri del fascio

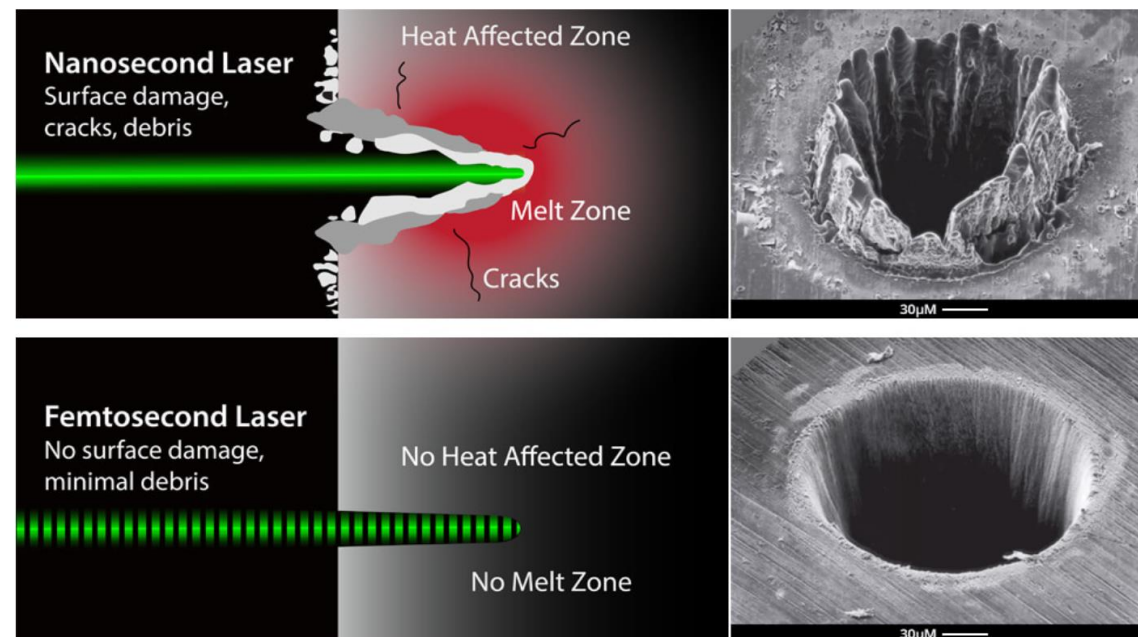
I laser producono un fascio di luce coerente, monocromatico e spesso **altamente collimato** che può convergere la maggior parte della potenza radiante su piccole aree, anche a grandi distanze; la **lunghezza d'onda** determina la profondità di penetrazione della radiazione nel tessuto.

I più importanti fattori che possono determinare un danno retinico da laser sono la **durata** dello stimolo luminoso e il **livello di energia** del laser stesso.



Quando la **durata dell'impulso e più veloce sulla scala temporale della diffusione termica** nel reticolo di un materiale, gli effetti che ne derivano, manifestano una natura meccanica piuttosto che termica

Illustrazione che confronta il danno laser al nanosecondo e al laser a femtosecondi

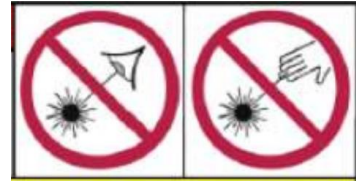


Micrografie elettroniche a scansione di Chichkov B N, Momma C, Nolte S, et al. Ablazione laser a femtosecondi, picosecondi e nanosecondi di solidi. Appl Phys A, 1996, 63(2): 109-115.

Rischi lavorativi per la salute e la sicurezza durante l'esercizio di sorgenti LASER

I **rischi** correlati all'impiego di sorgenti LASER sono categorizzabili secondo due tipologie:

quelli **“diretti”**, cioè direttamente attribuibili all'interazione del fascio LASER **con i tessuti biologici**. I rischi diretti consistono nella esposizione indesiderata degli occhi e della pelle a livelli di energia tali da produrre un danno biologico.



e quelli **indiretti** o **collaterali**, relativi alle possibili interazioni del fascio LASER con l'ambiente. I rischi indiretti sono vari e dipendono dall'ambiente in cui si utilizza la sorgente laser, dal tipo di impiego (**radiazioni ottiche collaterali (non da luce laser), scarica elettrica, radiazioni ionizzanti, contaminazione ambientale di natura chimica e/o biologica, incendio, esplosione ...**).

Incendio ed esplosione



I laser possono provocare incendi o esplosioni. Tutti i materiali infiammabili quali legno, plastica, carta, ecc. o i solventi (ad. es. per la pulizia di strumenti ottici) vanno tenuti lontani dai raggi laser.

Gas o vapori tossici



La lavorazione di materiali con laser può generare gas o vapori tossici. Il valore massimo di concentrazione nei luoghi di lavoro (valore MAC) deve essere rispettato¹⁰. L'impianto laser deve essere dotato di un idoneo sistema di aspirazione e aerazione¹¹.

Pericolo derivante da materiali tossici



L'utilizzo di laser può comportare l'impiego di materiali tossici (ad es. gas per laser a eccimeri, lenti di seleniuro di zinco nei laser CO₂ o liquidi per laser a coloranti). Prima dell'impiego, consultare le avvertenze di sicurezza del fabbricante o del fornitore.

Alta tensione



Un impianto laser funziona generalmente con alta tensione. Le riparazioni e i lavori di manutenzione sull'impianto possono essere eseguiti solo da specialisti.

Pericoli di natura termica



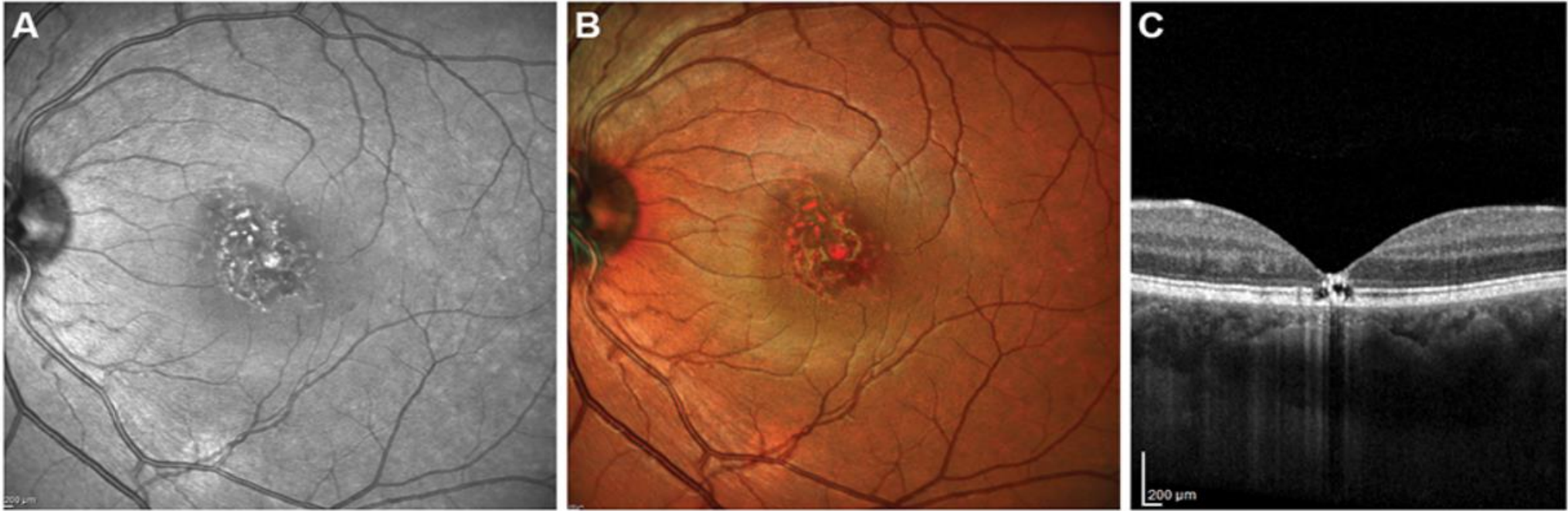
Gli oggetti esposti al raggio laser possono surriscaldarsi fortemente. Ciò può provocare ustioni o incendi.

Radiazione secondaria



La lavorazione di materiali con laser può dare luogo alla formazione di un plasma, che a sua volta può provocare l'emissione di una radiazione secondaria (ad. es. raggi UV o raggi X). È necessario stabilire il tempo massimo di esposizione permesso e schermare di conseguenza la sorgente dei raggi.



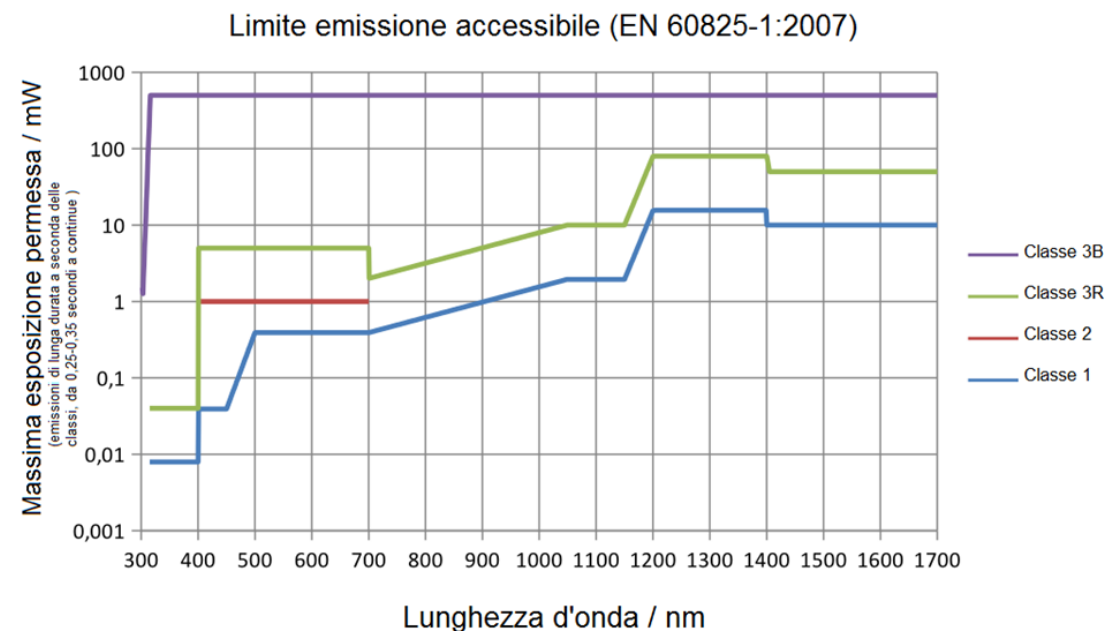


Lesione retinica per effetto dell'esposizione al fascio laser di un puntatore

Classificazione dei laser

La pericolosità degli apparecchi LASER è definita attraverso delle “classi” crescenti in funzione dei rischi che possono comportare:

- La classificazione secondo la norma CEI EN 60825-1 comprende 8 classi che sono: **1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R, 3B e 4**
- La determinazione della classe prevede il confronto tra il livello di radiazione accessibile dal LASER e il LEA di una particolare classe. Il **LEA** è il livello massimo di emissione accessibile ammesso per una particolare classe
- I valori di LEA si riferiscono a classi diverse e dipendono da:
 - lunghezza d'onda;
 - tempo di emissione;
 - modalità di funzionamento;
 - durata dell'impulso;
 - dimensione della zona irradiata.

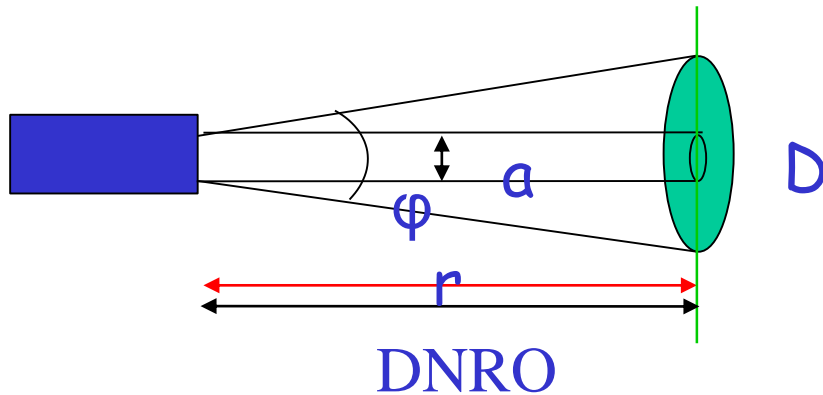


La gestione del rischio si basa su **approccio di tipo prevenzionistico** con l'obiettivo di:

- Ridurre al minimo (o a zero) la probabilità di un'esposizione diretta al fascio LASER e radiazione riflessa o diffusa
 - Compartimentazione della zona accessibile al fascio laser mediante involucri schermature o barriere
 - Predisposizione di misure di sicurezza ingegneristiche (interlock, sensori, sistemi di arresto del fascio, sistemi di osservazione indiretta: fotocamere),
 - Predisposizione di misure di sicurezza amministrative
 - Individuazione di una Zona Laser Controllata
- Limitare il livello di un eventuale esposizione al di sotto dei limiti di sicurezza in caso di esposizione incidentale,
 - Uso di Dispositivi di Protezione collettiva e individuale
- Limitare la probabilità che si creino fattori di rischio indiretti
 - Installazione di aspiratori di fumi
 - Eliminazione di sostanze potenzialmente infiammabili lungo il cammino del fascio laser
 - Predisposizione di procedure e sistemi di sicurezza in conseguenza di un'attenta valutazione del rischio.
- Individuazione di una figura esperta e competente per la valutazione del rischio LASER (ASL o TSL)

Distanza Nominale Rischio Oculare (DNRO)

Propagazione del fascio



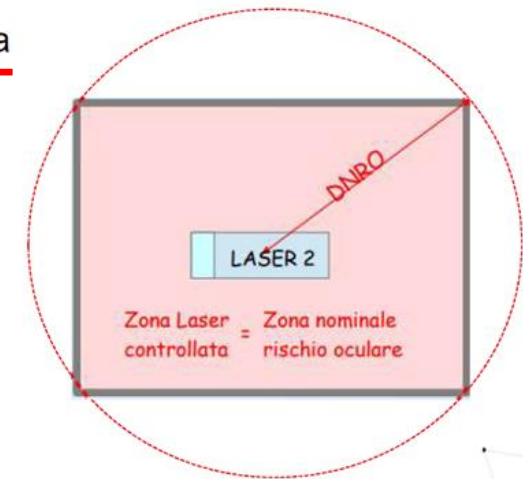
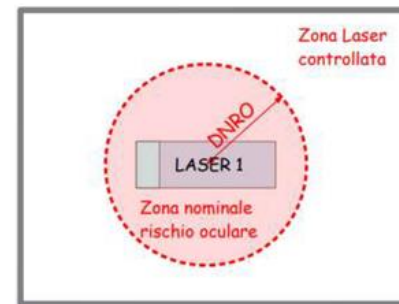
ϕ : divergenza del fascio
 a : diametro di uscita del fascio dal laser

$$D = r\phi + a$$
$$\text{Area} = \pi D^2/4$$

EMP: rappresenta il livello massimo al quale l'occhio o la pelle possono essere esposti senza subire un danno a breve o a lungo termine (dipendono dalla [lunghezza d'onda](#) della radiazione, dalla [durata dell'impulso](#) o dal tempo di esposizione, dal [tipo di tessuto esposto](#) e, per quanto riguarda la radiazione visibile e il vicino infrarosso nell'intervallo tra 400 e 1400 nm, [dalla dimensione dell'immagine retinica](#)). I valori di EMP si trovano sulla Norma Europea **CEI EN 60825-1**

DNRO distanza alla quale l'esposizione uguaglia l'**EMP**, è la distanza entro la quale occorre usare i dispositivi di protezione

Individua una **Zona Laser** controllata



La gestione del rischio: le figure responsabili

TECNICO SICUREZZA LASER

(**TSL**) – ambito industriale e ricerca
e nei settori civili e ambientali

ADDETTO SICUREZZA LASER

(**ASL**) – sanitario/estetico/veterinario

CEI EN 60825-1 (2009) – CEI 76-6 (2012)



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”. **Va nominato per LASER di classe 3B o 4.** Deve:

- Conoscere e saper applicare la normativa (calcolo DNRO, scelta DPI,...)
- Valutare il rischio
- Delimitare la zona LASER controllata
- Adottare misure di sicurezza opportune
- Partecipare alle attività di formazione del personale
- Effettuare i test di accettazione del LASER e i controlli periodici di sicurezza
- Analizzare gli infortuni/incidenti che riguardano i LASER
- Definire le procedure di sicurezza e il programma di assicurazione della qualità (Norma CEI 76-6)

La gestione del rischio: le figure responsabili

in riferimento al quadro normativo tecnico più aggiornato (**IEC TR 60825-14 (2004-E)** “**Safety of laser products. Part 14- A user’s guide**” divenuta Norma italiana CEI 76-11 (2011-11) “**Sicurezza degli apparecchi laser. Parte 14: Guida per l’utente**”), è possibile definire il **personale qualificato per la valutazione e la gestione operativa del rischio LASER e le altre figure per la sicurezza laser**, secondo differenti livelli:



“Esperto Sicurezza LASER” – “ESL”, traduzione italiana di “Laser Protection Adviser” (LPA): corrisponde all’“Addetto Sicurezza Laser” (ASL) in ambito sanitario/estetico/veterinario e al “Tecnico Sicurezza Laser” (TSL) nell’ambito industriale/civile/ambientale/ricerca.

“Preposto Sicurezza LASER” – “PSL”, traduzione italiana di “Laser Safety Officer” (LSO): ai fini del presente documento il PSL in ambito sanitario/estetico/veterinario è chi sovrintende all’attività di un reparto dove è utilizzato un laser sanitario/estetico/veterinario di classe 3B o di classe 4, con compiti esclusivamente operativi e sotto la guida di un Addetto Sicurezza Laser. Negli altri ambiti il PSL svolge anche attività di base nella valutazione del rischio LASER, senza fare uso di calcoli complessi e/o misure. Tale differenza di competenze attribuite al PSL, nei diversi settori di attività, tiene conto degli aspetti peculiari nella valutazione e gestione del rischio LASER e di quelli organizzativi in quanto nel settore sanitario/estetico/veterinario il LASER è impiegato sull’uomo e sull’animale.

• **“Utilizzatore LASER” – “UL”, traduzione italiana di “Laser User” (LU):** è l’operatore LASER.



Indicazioni normative per valutazione del rischio LASER

La metodologia seguita nella valutazione, nella misurazione e/o nel calcolo dovrà essere conforme alle norme

della [Commissione elettrotecnica internazionale \(IEC\)](#), per quanto riguarda le **radiazioni laser**

alle 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 specifiche dell'Unione Europea, il datore di lavoro opera in accordo con le **linee guida** individuate od emanate dalla **Commissione consultiva permanente** per la prevenzione degli infortuni e per l'igiene del lavoro o, **in subordine, linee guida nazionali o internazionali scientificamente fondate**. (ad esempio **UNI EN 14255 parte 1 e 2**: “misuraz. e valut. dell’esp. a rad. ott. incoer”).

Importanti riferimenti operativi e teorici si possono avere dalla lettura della **documentazione tecnica dell'ICNIRP** (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) liberamente scaricabile dal relativo sito web.

Valori Limite di Esposizione

(D.Lgs. 81/08 e s.m.i., Allegato XXXVII, parte II)

- Sono i livelli massimi di radiazione a cui gli occhi o la pelle possono essere esposti senza che si verifichino danni
- I VLE sono dedotti a partire dalle soglie di induzione del danno (processi fotochimico, fototermico, fotomeccanico, fotoablativo)

CRITERIO GENERALE RELATIVAMENTE ALLA FORMULAZIONE DEI VLE

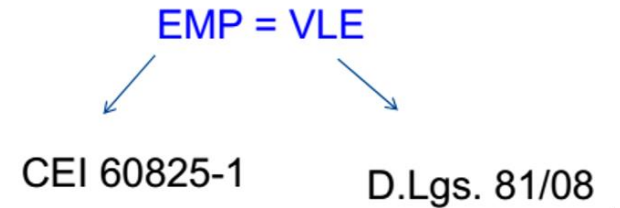
La dipendenza dei VLE da parametri che ne determinano il valore, quali:

- la diversa **efficacia biologica** delle diverse lunghezze d'onda
- **parametri fisici** che condizionano la magnitudo del danno (proprietà ottiche del tessuto capacità di disperdere il calore , ecc)

viene tenuta in considerazione nell'espressione del VLE moltiplicando il limite stabilito per la lunghezza d'onda «più efficace» (limite più basso ovvero più restrittivo) per un **coefficiente di correzione.**



$$VLE_{(\lambda)} = VLE_{\min} \times \text{Coefficienti di correzione}$$

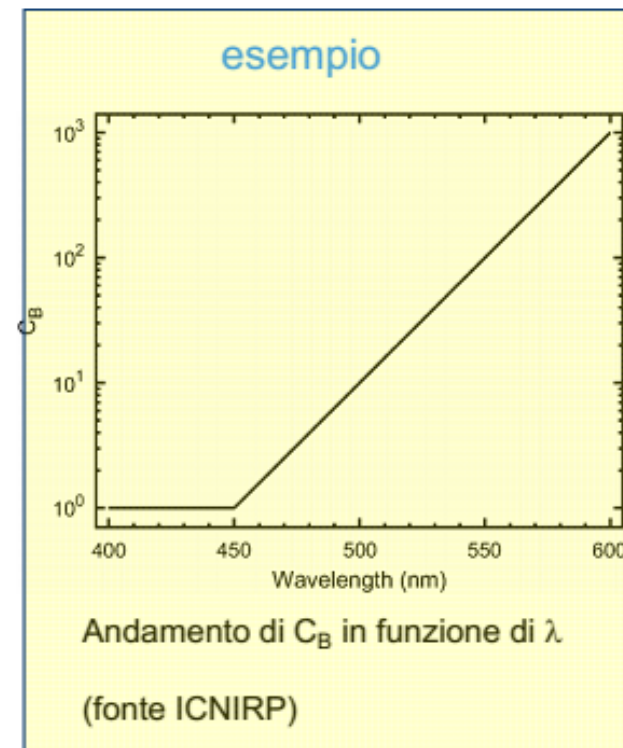


Formulazione dei VLE PER IL DANNO RETINICO (400-1400nm)

Sono definiti separatamente due VLE che si riferiscono a danni di:

natura **fotochimica** : $VLE_B = VLE_{B: \min} \times C_B(\lambda)$
(400-700nm)

natura **termica**: $VLE_{Th} = VLE_{Th: \min} \times C_A(\lambda) \times C_C(\lambda)$
(700-1400nm)



Relativamente al rischio termico i VLE tengono conto anche della dipendenza dalla durata dell'impulso (esempio sotto)

400 - 700	se $\alpha < 1,5$ mrad	allora $E = 10$ [$W m^{-2}$]
Danno termico ^b	se $\alpha > 1,5$ mrad e $t \leq T_2$	allora $H = 18 C_E t^{0,75}$ [$J m^{-2}$]
Danno alla retina	se $\alpha > 1,5$ mrad e $t > T_2$	allora $E = 18 C_E T_2^{-0,25}$ [$W m^{-2}$]
700 - 1 400	se $\alpha < 1,5$ mrad	allora $E = 10 C_A C_C$ [$W m^{-2}$]
	se $\alpha > 1,5$ mrad e $t \leq T_2$	allora $H = 18 C_A C_C C_E t^{0,75}$ [$J m^{-2}$]
	se $\alpha > 1,5$ mrad e $t > T_2$	allora $E = 18 C_A C_C C_E T_2^{-0,25}$ [$W m^{-2}$]

$C_B(\lambda)$

400 — 450	$C_B = 1,0$
450 — 700	$C_B = 10^{0,02(\lambda - 450)}$

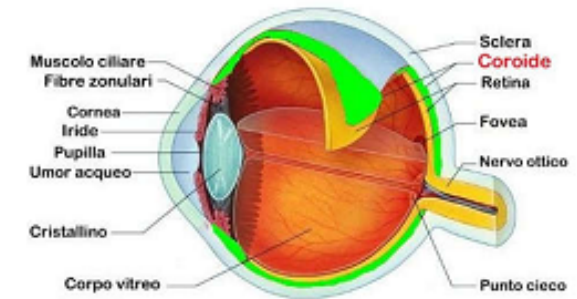
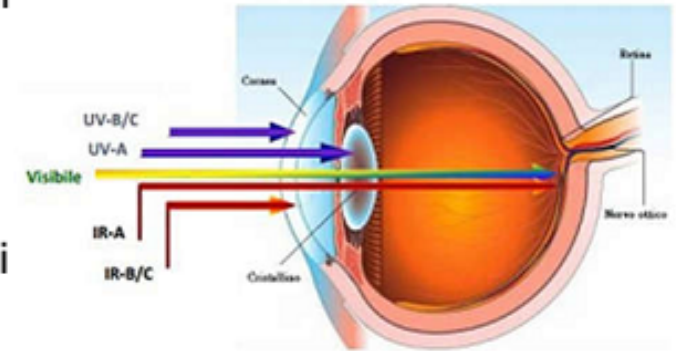
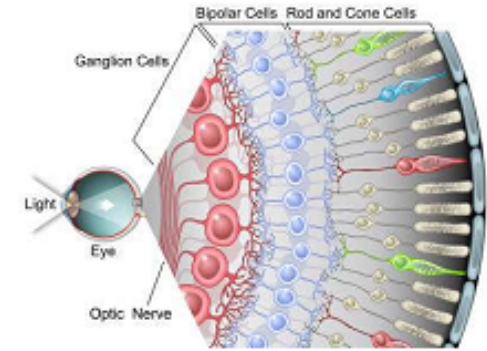
99

COEFFICIENTI CORRETTIVI DEI VLE PER IL DANNO RETINICO

$C_{B(\lambda)}$ riflette la dipendenza con la lunghezza d'onda dell'efficacia biologica delle radiazioni visibili (400-700nm) nell'induzione di **danni di natura fotochimica** sulla **retina** (si applica per durate dell'esposizione superiori a 10 secondi; per tempi inferiori a 10 sec tale fenomeno sembra essere trascurabile rispetto a quello termico) la lettera B, iniziale di Blue, indica che si fa riferimento al cosiddetto "danno da luce blu".

$C_{A(\lambda)}$ riflette la dipendenza dalla lunghezza d'onda dell'efficacia biologica delle radiazioni focalizzabili sulla **retina** (400-1400nm), in relazione al differente assorbimento da parte dei **pigmenti presenti nell'epitelio retinale**, nell'induzione di un **danno termico retinico**. La lettera A è l'iniziale di "Absorption".

$C_C(\lambda)$ riflette la dipendenza dalla lunghezza d'onda dell'efficacia biologica delle radiazioni di lunghezza d'onda compresa nell'intervallo: 700-1400nm, in relazione al differente assorbimento da parte di tessuti adiacenti la retina (**coroide**), nell'induzione di un **danno termico alla retina**. La lettera C è l'iniziale di "Choroid". Assume i valori più elevati avvicinandosi a 1400nm



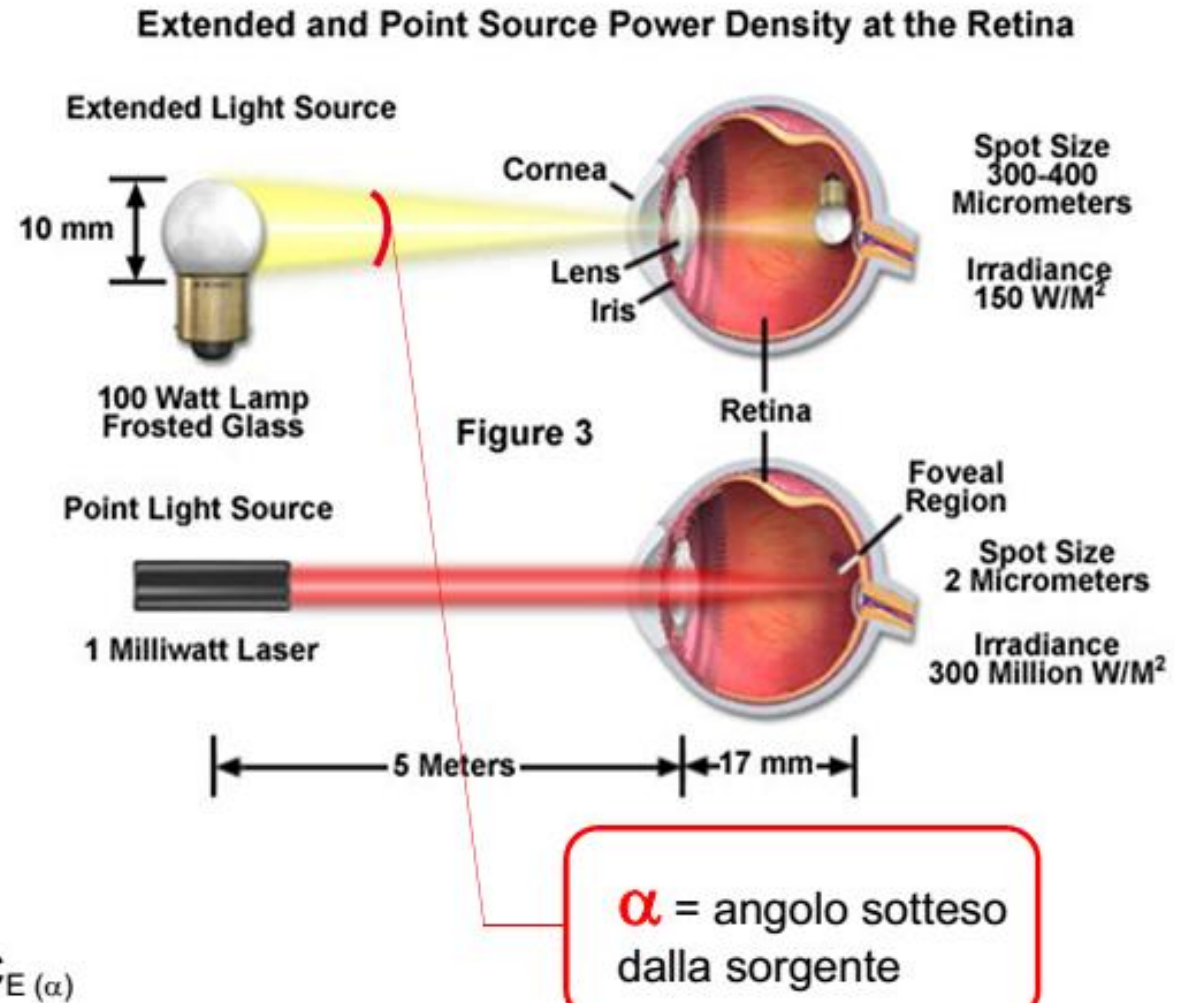
COEFFICIENTI CORRETTIVI DEI VLE PER IL DANNO RETINICO

A parità di potenza, relativamente alla possibilità di danno retinico, **la condizione espositiva più gravosa** è quella derivante dalla **visione di un raggio ben «collimato»**. Per questa evenienza, il **VLE** assume il **valore più piccolo**.

Per il danno retinico di **natura termica**, $VLE_{Th: min}$ è quello previsto per la visione di un fascio collimato, mentre per «**sorgenti estese**» il danno dipenderà dalle dimensioni dell'immagine retinica della sorgente ovvero dall'**angolo sotteso** dalla stessa.

Questa dipendenza si traduce nell'inserimento di un coefficiente di correzione C_E dipendente da α nella formulazione del VLE.

$$VLE_{Th} = VLE_{Th: min} \times C_{A(\lambda)} \times C_{C(\lambda)} \times C_{E(\alpha)}$$



Proposta di modifica dei **Limiti di Esposizione** per le **Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA)** della **Direttiva 2006/25/EC** (allegato 1) in accordo con le Linee guida più recenti pubblicate dall'ICNIRP nel 2013.

- PRESUPPOSTI ALLA BASE DELL'EVOLUZIONE NORMATIVA -

I Valori Limite di Esposizione (**VLE**) riportati nella DIRETTIVA 2006/25/CE sono stati stabiliti sulla base delle raccomandazioni pubblicate dall'ICNIRP (**International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection**) rispettivamente per le:

- **ROA non Coerenti dello spettro dell'Ultravioletto nel 2004**

UV Guidelines (180 nm - 400 nm) - 2004

GUIDELINES
1 Aug 2004

Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). Health Physics 87 (2): 171-186; 2004.

- **ROA non Coerenti dello spettro del Visibile e dell'Infrarosso nel 1997** (oltre 25 anni fa!!!!)

Guidelines (0.38 - 3µm) - 1997

GUIDELINES
1997

Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3µm). Health Physics 73 (3): 539-554; 1997.

- **ROA Coerenti (LASER) nel 1996 e nel 2000**

Laser Guidelines (400 nm - 1.4 µm) - 2000

GUIDELINES
1 Oct 2000

Revision of the Guidelines on Limits of Exposure to Laser radiation of wavelengths between 400 nm and 1.4 µm. Health Physics 79 (4): 431-440; 2000.

Proposta di modifica dei **Limiti di Esposizione** per le **Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA)** della **Direttiva 2006/25/EC** (allegato 1) in accordo con le Linee guida più recenti pubblicate dall'ICNIRP nel 2013.

- FONDAMENTI SCIENTIFICI ALLA BASE DELL'EVOLUZIONE NORMATIVA -

l'**ICNIRP** alla luce del **progresso delle conoscenze sulle soglie di danno**, ha riconsiderato gli effetti sull'occhio delle ROA (Coerenti e non), in particolare relativamente al **danno termico a carico della retina**, ma anche per il **rischio termico per cornea e cristallino** e per il **rischio da luce blu**, ciò ha portato l'ICNIRP a modificare i corrispondenti valori limite di esposizione (VLE).

Nel **2013** sono stati pubblicate le **nuove raccomandazioni** e i **valori limite di esposizione (VLE) per le ROA** incoerenti appartenenti alle bande spettrali del Visibile e dell'Infrarosso e, parallelamente, alcuni valori limite per le radiazioni LASER

Conseguentemente a tali modifiche, l'International Electrotechnical Commission (**IEC**) ha pubblicato la **terza edizione** dello **Standard IEC 60825-1** che presenta notevoli variazioni rispetto alla precedente edizione.

Guidelines Visible and Infrared Radiation (up to 3000nm) - 2013

GUIDELINES
2013

Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation. Health Phys 105(1):74-96; 2013.

Guidelines on Laser Radiation (180nm - 1000µm) - 2013

GUIDELINES
1 Sep 2013

Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1,000 µm. Health Phys 105(3):271-295; 2013.

IEC 60825-1:2014

Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements

Proposta di modifica dei **Limiti di Esposizione** per le **Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA)** della Direttiva 2006/25/EC (allegato 1) in accordo con le Linee guida più recenti pubblicate dall'ICNIRP nel 2013.

- PRESUPPOSTI NORMATIVI -

DIRETTIVA 2006/25/CE detta le **prescrizioni minime** di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche artificiali) ...

Modifiche dei valori limite di esposizione, di cui agli allegati, sono adottate dal Parlamento europeo e dal Consiglio secondo la procedura

In conseguenza del **progresso tecnico**, ... dell'evoluzione delle norme o specifiche europee o internazionali armonizzate più pertinenti e di nuove conoscenze relative all'esposizione dei lavoratori alle radiazioni ottiche

Proposta di modifica dei Limiti di Esposizione per le ROA della Direttiva 2006/25/EC

- Razionale del POSITION PAPER del PEROSH -

I «livelli di esposizione efficace consentiti» secondo l'ICNIRP 2013 sono in molti casi inferiori a quelli previsti dalla direttiva che si basa sull'ICNIRP 1997, il che significa che:

i nuovi criteri e conseguenti VLE sono nella maggior parte dei casi meno restrittivi

- **Gli Stati membri dell'UE possono applicare nei propri Paesi soltanto criteri più restrittivi di quelli comunitari, poiché la Direttiva detta i «requisiti MINIMI di salute e sicurezza»**

(in conformità all'articolo 251 del trattato e al preambolo (punto 6) della direttiva 2006/25/CE).

Il recepimento delle raccomandazioni ICNIRP 2013 non può che passare attraverso la modifica dell'Allegato I della Direttiva 2006/25/CE.

Proposta di modifica dei Limiti di Esposizione per le Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA) della Direttiva 2006/25/EC

- ISTITUZIONE PROPONENTE-

PEROSH – Partnership for European Research in Occupational Safety and Health.

“PEROSH è una rete costituita da 14 istituti europei che si occupano di salute e sicurezza sul lavoro (SSL) di 13 Paesi.

Svolgono ruoli chiave nelle affiliazioni nazionali a governi/autorità e sistemi di assicurazione sanitaria e contro gli infortuni.

I membri di PEROSH mirano a:

- **cooperare e coordinare gli sforzi europei di ricerca e sviluppo nel campo della sicurezza e salute sul lavoro** (Occupational Safety and Health **OSH**).
- **Diffondere le nuove scoperte sulle questioni di SSL e agire come "think tank" dell'UE.**

Proposta di modifica dei **Limiti di Esposizione** per le **Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA)** della [Direttiva 2006/25/EC](#)

- [STATO DI AVANZAMENTO DELLA PROPOSTA](#) -

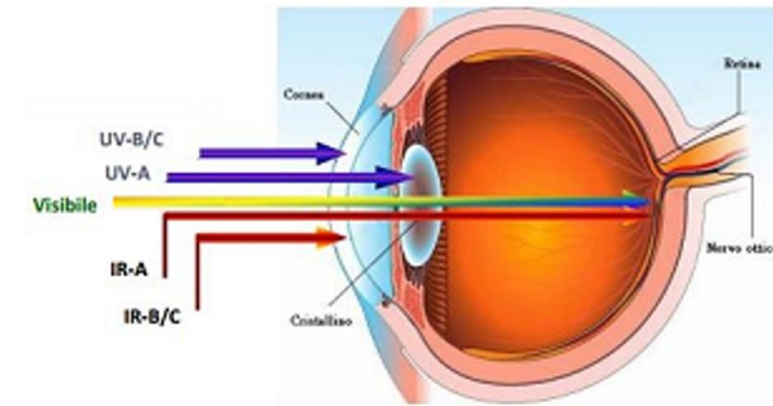
E' stato discusso tra i membri del Comitato Direttivo PEROSH (PEROSH Steering Committee) un «**position paper**» supportato dai seguenti **istituti** [AUVA](#), [BAuA](#), [INAIL](#), [CIOP-PIB](#) nell'ambito del [network PEROSH](#) e da **esperti** di vari paesi in ambito [OSH](#) (Occupational Safety and Health).

Position Paper: Exposure limits values (ELVs) for artificial optical radiation in Directive 2006/25/EC

The need for action by the European Commission to revise ELVs in line with well-established scientific findings

Principali novità riguardanti criteri alla base della modifica dei valori limite di esposizione

RECEPIMENTO DEI VLE ICNIRP2013: QUALI IMPLICAZIONI ? –



Ulteriori ricerche sulle lesioni termiche indotte sulla retina (**La lesione dei tessuti retinici dipende non solo dall'irraggiamento retinico, ma anche fortemente dal flusso di calore radiale e dai movimenti oculari**) hanno portato alla necessità di rivedere le linee guida fornite finora, in particolare:

- la dipendenza del limite di esposizione dalle dimensioni della sorgente **è ora una funzione della durata dell'esposizione.**
- la curva di pesatura spettrale ($\lambda = 380-1400\text{nm}$) **$R(\lambda)$** per il rischio termico per la retina **è stata rivista**, il fattore 10 precedentemente utilizzato (stabilito nel 1997 per "maggiore sicurezza") per l'intervallo di lunghezza d'onda 380-495 nm è stato abbandonato.

Edizione più recente: Guida ICNIRP 2013

- Non sono stati cambiati limiti per UV
- Sono invece stati aggiornati i limiti per esposizioni VIS e IR A
 - in funzione della lunghezza d'onda (IR A)
 - in funzione del tempo (VIS e IR A)
 - in funzione del diametro dell'immagine retinica (VIS e IR A)
 - In funzione della ripetizione degli impulsi

Per tenere conto di nuove osservazioni ed evidenze in merito all'effetto delle radiazioni laser e delle relative soglie di danneggiamento, sono stati modificati i tempi di confinamento termico, di conseguenza vi è stato un adeguamento dei VLE

Complessivamente fatta eccezione del range 1250÷1400 nm **tutti i cambiamenti dei limiti termici sono rilevanti solo per esposizioni a laser impulsati**

Confinamento Termico **T_{min}**

Per esposizioni brevi il calore è depositato in un tempo inferiore al tempo necessario per allontanare il calore dalla zona irradiata

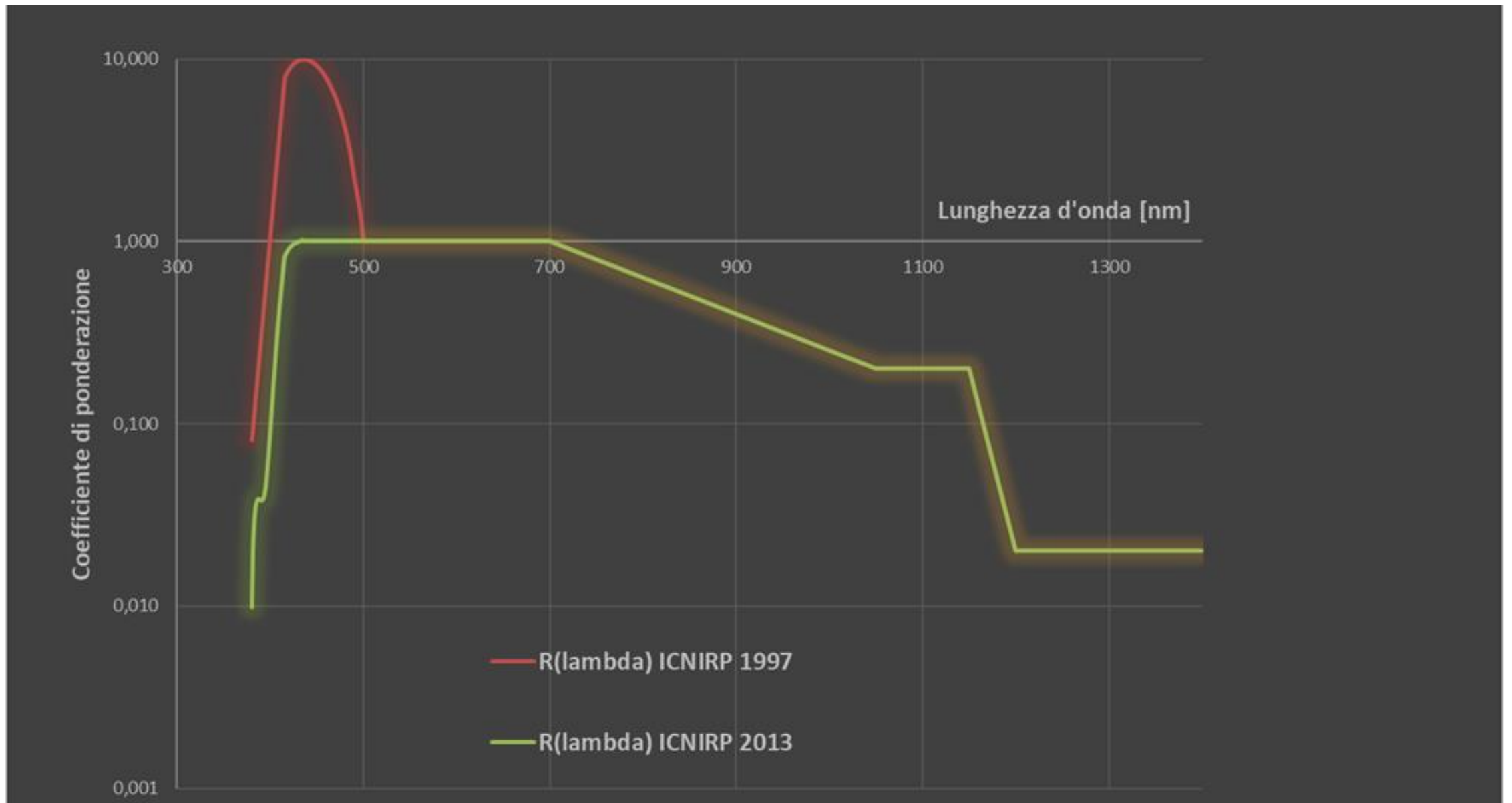
- QUALI IMPLICAZIONI ? -

Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation. Health Phys 105(1):74-96; 2013.

-dipendenza del limite di esposizione dalle dimensioni della sorgente è ora una funzione della durata dell'esposizione.

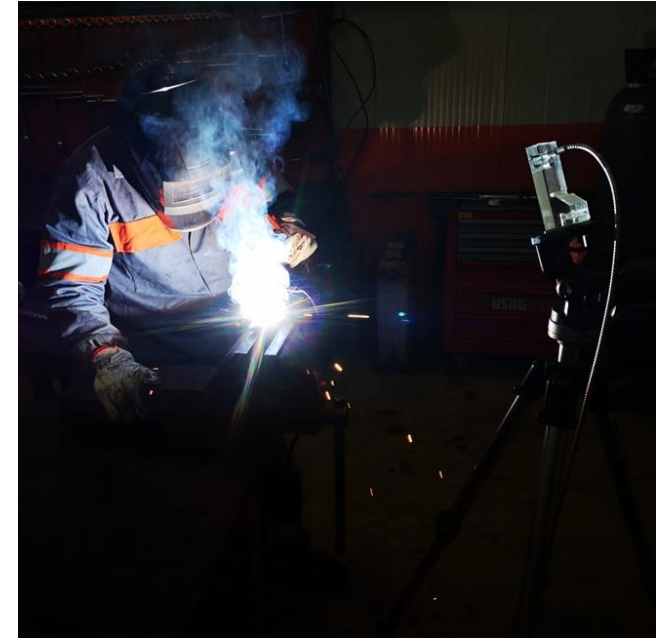
			Exposure Limit (EL)		
	Exposure Duration t seconds	Source size α radians	Radiance L_R^{EL} $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ (t in s and alpha in rad)	Radiance Dose D_R^{EL} $J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ (t in s and alpha in rad)	Reference Note
Basic Exposure Limit	$1 \times 10^{-6} s \leq t < 0.25 s$	$\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$	$2.0 \times 10^4 \cdot \alpha^{-1} \cdot t^{-0.25}$	$2.0 \times 10^4 \cdot \alpha^{-1} \cdot t^{0.75}$	1, 2, 3, 4, 5
	$t < 1 \times 10^{-6} s$	$\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$	-	$0.63 \cdot \alpha^{-1}$	1, 2, 3
	$t \geq 0.25 s$	$\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$	$2.8 \times 10^4 \cdot \alpha^{-1}$		1, 2, 4
Small Sources	$t < 1 \times 10^{-6} s$	$\alpha \leq \alpha_{min}$	-	420	2,3
	$1 \times 10^{-6} s \leq t < 0.25 s$	$\alpha \leq \alpha_{min}$	$1.3 \times 10^7 \cdot t^{-0.25}$	$1.3 \times 10^7 \cdot t^{0.75}$	1, 2,3
	$t \geq 0.25 s$	$\alpha \leq \alpha_{min}$	1.9×10^7	-	2,4
Large Sources	$t < 1 \times 10^{-6} s$	$\alpha \geq \alpha_{max}$	-	130	3, 5
	$1 \times 10^{-6} s \leq t < 625 \times 10^{-6} s$	$\alpha \geq \alpha_{max}$	-	$4.0 \times 10^6 \cdot t^{0.75}$	1, 5, 6
	$625 \times 10^{-6} s \leq t < 0.25 s$	$\alpha \geq \alpha_{max}$	-	$10 \times 10^4 \cdot t^{0.25}$	1, 5, 6
	$t \geq 0.25 s$	$\alpha \geq \alpha_{max}$	28×10^4	-	4, 5

Confronto tra le curve di pesatura $R_{(\lambda)}$ ICNIRP 1997 e ICNIRP 2013

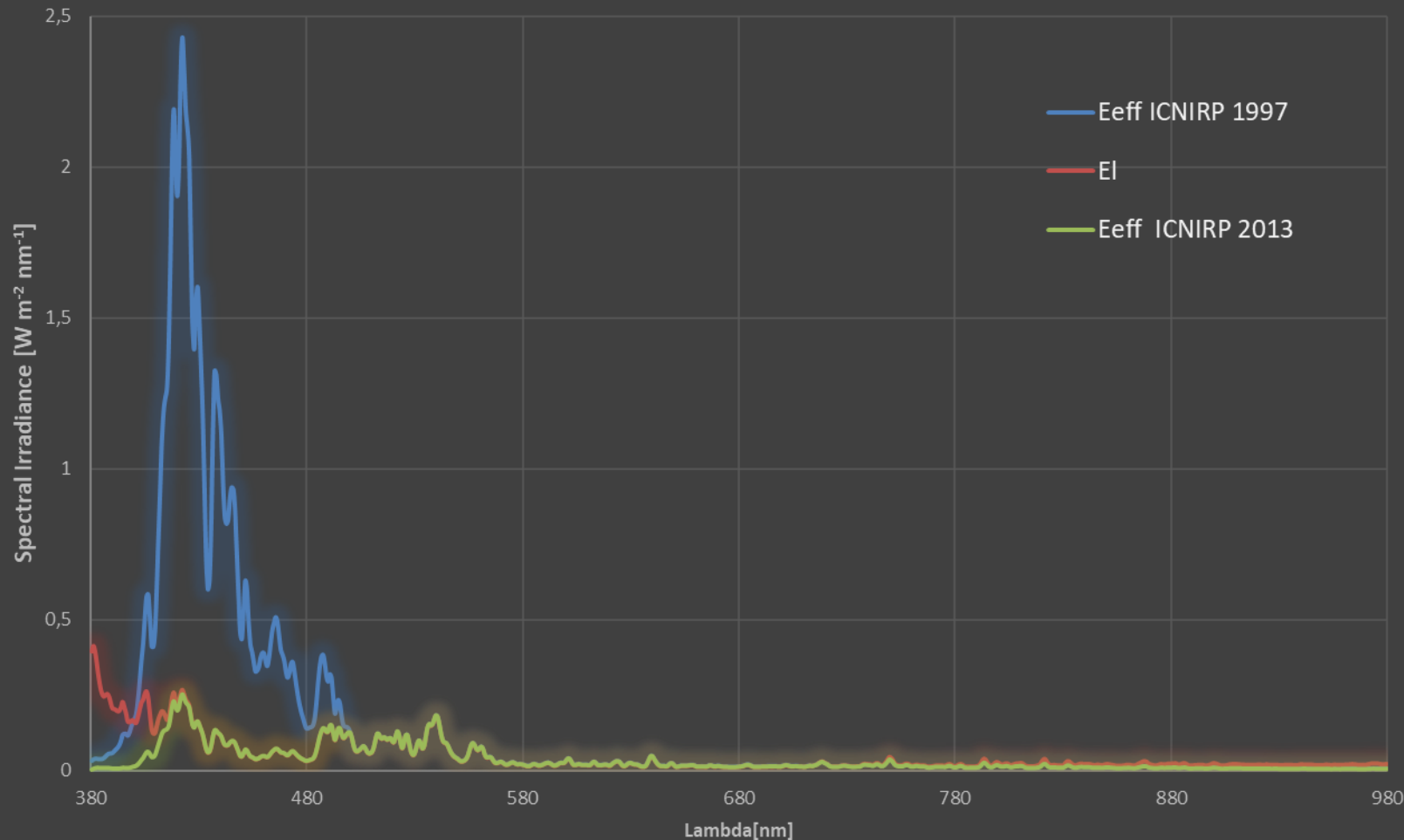


Implicazioni pratiche della modifica della $R_{(\lambda)}$

Esempio 1: sorgente: Arco di saldatura TIG



Spettro Arco Saldatura TIG - Visibile e IRA



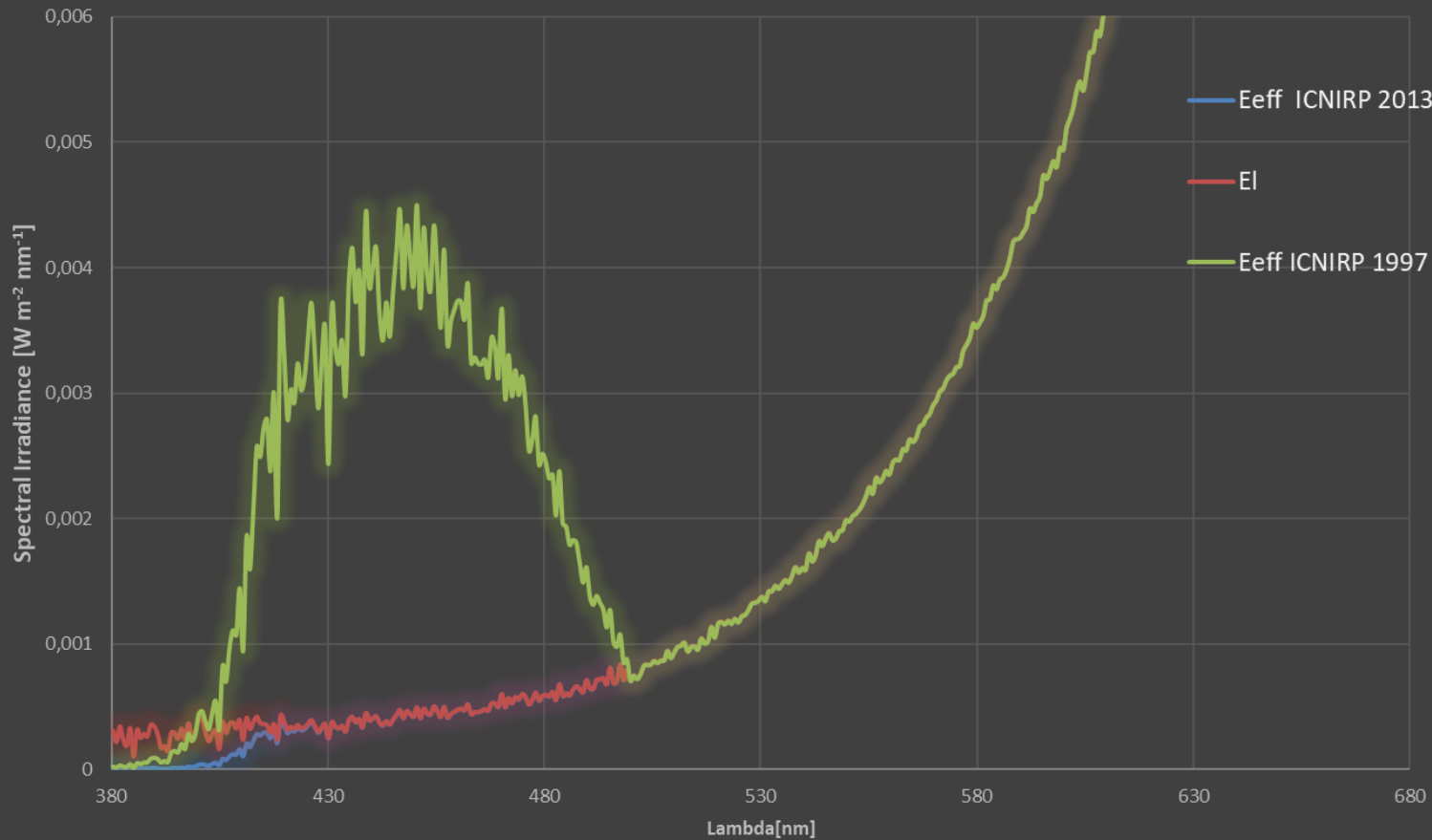
Nota:

Effetto significativo
sull'irradianza efficace $E_{(R)}$ a
causa del contributo spettrale
relativo della sorgente
nell'intervallo spettrale: 380-
500 nm

Implicazioni pratiche della modifica della $R_{(\lambda)}$

Esempio 2: sorgente: Corpo incandescente (impianto di laminazione)

Spettro Corpo incandescente - Visibile e IRA



Nota:

Effetto limitato sull'irradianza efficace $E_{(R)}$ per lo scarso contributo spettrale relativo della sorgente nell'intervallo spettrale: 380-500 nm

Principali novità riguardanti criteri alla base della modifica dei valori limite di esposizione

- QUALI IMPLICAZIONI ? – **ROA Coerenti**

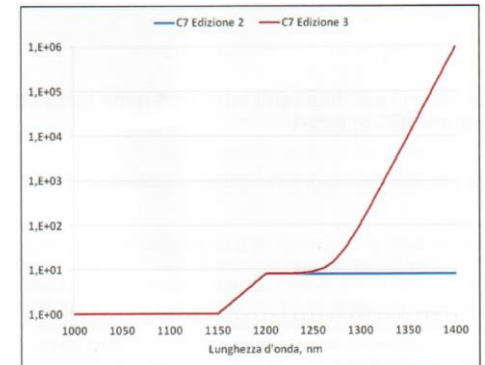
Attualmente persiste un **diffimità** tra i **valori limite di prodotto** (IEC 60825-1:2014 e EN 60825-1:2015) e i **valori limite di esposizione** stabiliti per la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori (DIRETTIVA 2006/25/CE, DLgs.81/2008), determinando per i VLE più recenti: **condizioni più restrittive in alcuni casi, meno in altri.**

Ne consegue che **non sarà possibile utilizzare i criteri di classificazione dei LASER conformi alla EN 60825-1:2015 per la valutazione del rischio nei luoghi di lavoro** e per la protezione dei lavoratori i cui limiti al momento fanno riferimento alle raccomandazioni più datate dell'ICNIRP (1996 e 2000), **imponendo in molti casi una più complessa procedura di valutazione del rischio con conseguenti importanti oneri per le aziende.**

VLE ICNIRP₂₀₁₃ (LASER 180nm-1000 μ m), Standard IEC 60825-1:2014: quali Implicazioni? (solo) Alcuni esempi:

LASER ad impulsi singoli: modifica dei valori di EMP (modifica del fattore C_7 e la limitazione al LEA della classe **3B** nell'intervallo 1200-1400 nm); introduzione di **limiti duali**

LASER ad impulsi ultracorti ...: per alcune condizioni i limiti sono molto meno restrittivi.



La variazione del fattore C_7 nell'intervallo 1200-1400 nm determina la possibilità di classificare in classe **1** (ai sensi dell'ed.3) LASER che nell'ed. 2 sarebbero classificati in classe **3R** o **3B!** (... per lunghezze d'onda comprese tra 1310 e 1400nm si passa dalla classe 1, 1M direttamente alla 4)

Lettura consigliata: "sicurezza Laser: i cambiamenti introdotti nella terza edizione dello standard IEC 60825-1", Dante Milani, Bollettino AIRP Settembre 2014

VLE ICNIRP₂₀₁₃ (LASER 180nm-1000μm), Standard IEC 60825-1:2014: quali Implicazioni? (solo) Alcuni esempi:

LASER ad impulsi ripetitivi:
modifica del calcolo del
 fattore C_p che tiene conto
 degli effetti termici in
 funzione del numero di
 impulsi.

Tabella 2 | Criterio c) e calcolo del fattore di additività degli impulsi, edizioni 2 e 3 di IEC 60825-1.

Edizione n. 2 IEC 60825-1	Edizione n. 3 IEC 60825-1
c) $LEA_{s.p.train} = LEA_{single.p.} \cdot C_5$	c) $LEA_{s.p.train} = LEA_{single.p.} \cdot C_5$
$C_5 = N^{-0,25}$	Se la durata dell'impulso $t \leq T_1$
dove N è il numero effettivo di impulsi del treno che si presentano nel periodo di emissione analizzato. Questa edizione prevede la valutazione secondo il criterio c) per l'intervallo delle lunghezze d'onda comprese tra 400 nm e 1 mm. Per le lunghezze d'onda comprese tra 400 nm e 1400 nm la durata massima dell'emissione che deve essere presa in considerazione è T_2 oppure la base dei tempi applicabile, scegliendo la più breve tra le due; per le lunghezze d'onda tra 1400 nm e 1 mm la durata massima di emissione da prendere in considerazione è di 10 s.	<ul style="list-style-type: none"> - $C_5 = 1$ per la base tempi $\leq 0,25$ s - $C_5 = 1$ per la base tempi $> 0,25$ s e se $N \leq 600$ - $C_5 = 5 \cdot N^{-0,25}$ con un valore minimo di $C_5 = 0,4$ per la base tempi $> 0,25$ s e se $N > 600$.
	Se la durata dell'impulso $t > T_1$
	<ul style="list-style-type: none"> - $C_5 = 1$ per $\alpha \leq 5$ mrad - $C_5 = N^{-0,25}$ per $5 \text{ mrad} < \alpha \leq \alpha_{max}$ e $N \leq 40$ - $C_5 = 0,4$ per $5 \text{ mrad} < \alpha \leq \alpha_{max}$ e $N > 40$ - $C_5 = N^{-0,25}$ per $\alpha > \alpha_{max}$ e $N \leq 625$ - $C_5 = 0,2$ per $\alpha > \alpha_{max}$ e $N > 625$ - $C_5 = 1$ per $\alpha > 100$ mrad
	dove N è il numero effettivo di impulsi del treno che si presentano nel periodo di emissione analizzato. La durata massima dell'emissione che deve essere presa in considerazione è T_2 oppure la base dei tempi applicabile, scegliendo la più breve tra le due.
	Si ricorda che T_2 è definito per $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1400 \text{ nm}$; si ha:
	$T_2 = 10 \text{ s}$ per $\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}$
	$T_2 = 10 \cdot 10^{(\alpha - \alpha_{max})/98,5} \text{ s}$ per $1,5 \text{ mrad} < \alpha < 100 \text{ mrad}$
	$T_2 = 100 \text{ s}$ per $\alpha > 100 \text{ mrad}$

Lettura consigliata: “sicurezza Laser: i cambiamenti introdotti nella terza edizione dello standard IEC 60825-1”, Dante Milani, Bollettino AIRP Settembre 2014

VLE ICNIRP₂₀₁₃ (LASER 180nm-1000µm), Standard IEC 60825-1:2014:
quali Implicazioni? (solo) Alcuni esempi:

- Classificazione dei LASER: **Eliminazione della condizione di misura 2.**
- Introduzione della classe **1C**
- Introduzione di targhette informative alternative
- Si può verificare il caso in cui si possono produrre **LASER di classe 1** con **fascio divergente** ed emissione nell'intervallo **1200-1400 nm** che si possono considerare **«sicuri» per l'occhio ma non per la pelle!!!**
- La gestione del rischio viene demandata ad una **Analisi dei rischi** quando la classificazione non sia sufficiente a determinarne la pericolosità
- Ecc. ecc.

Lettura consigliata: "sicurezza Laser: i cambiamenti introdotti nella terza edizione dello standard IEC 60825-1", Dante Milani, Bollettino AIRP Settembre 2014

Conclusioni:

- I più recenti limiti di esposizione suggeriti dall'ICNIRP per le ROA, nonché la terza edizione dello standard IEC 60825-1, contengono importanti e sostanziali innovazioni.
- La complessità dei meccanismi con cui i parametri espositivi e fisiologici concorrono alle soglie di danno rendono di difficile comprensione il razionale alla loro base senza un attento studio dei documenti pubblicati e, unitamente a comprensibili esigenze di semplificazione del processo di valutazione, se da un lato hanno giustificato in parte il ritardo nel recepimento a livello legislativo dello stato dell'arte della conoscenza scientifica, dall'altro non giustificano un ulteriore procrastinamento.

Grazie
dell'attenzione!

a.militello@inail.it