

LE RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI NEGLI AMBIENTI DI LAVORO

ALCUNI CASI DI STUDIO

Roberto Piccin
Ingegnere Elettrico
Commissione Sicurezza

Flavio Silvestrin
Fisico ed Esperto Qualificato in
Radioprotezione

Dall'aprile 2010 è obbligatorio in Italia valutare i rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori dovuti all'esposizione alle Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA), come dettato anche dal Testo Unico sulla sicurezza sul lavoro (D.Lgs.81/2008).

Le radiazioni ottiche comprendono le componenti dello spettro elettromagnetico di lunghezza d'onda minore dei campi elettromagnetici e maggiore di quella delle radiazioni ionizzanti.

Tali radiazioni vengono comunemente suddivise nelle bande spettrali degli infrarossi, del visibile e dell'ultravioletto, anche nelle applicazioni laser, vale a dire fasci di radiazioni ottiche con peculiari caratteristiche di monocromaticità, coerenza, unidirezionalità e brillantezza.

Le sorgenti di radiazioni ottiche artificiali,

metalli e vetro, lampade per riscaldamento a incandescenza;

- per le radiazioni visibili in caso di esposizione a talune sorgenti di illuminazione artificiale (lampade ad alogenuri metallici, al mercurio, sistemi LED, ...), lampade per uso medico o estetico, nelle operazioni di saldatura;

- per le radiazioni ultraviolette nel caso di operazioni di sterilizzazione, essiccazione inchiostri e vernici, fotoincisione, controlli difetti di fabbricazione e per esposizioni a lampade per uso medico

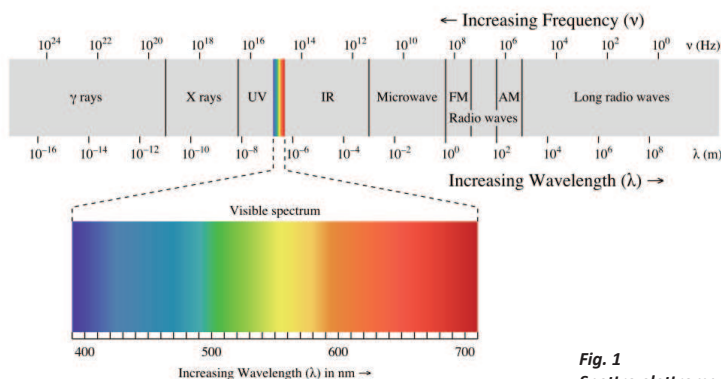


Fig. 1
Spettro elettromagnetico

comunemente abbreviate con l'acronimo R.O.A., sia coerenti (laser) che non coerenti (tutte le altre) presenti nelle attività lavorative sono molte e in diversi settori produttivi quali metalmeccanica, chimica, sanità e ricerca.

Esposizioni a radiazioni non coerenti possono verificarsi, ad esempio:

- per le radiazioni infrarosse in prossimità di riscaldatori radianti, forni di fusione

(es.: fototerapia dermatologica) e/o estetico (abbronzatura) e/o di laboratorio ed ancora nelle operazioni di saldatura. Esempi di applicazioni laser sono quelle:

- per lavorazioni di materiali (taglio, saldatura, marcatura, incisione e serigrafia), applicazioni mediche e per uso estetico, per telecomunicazioni, informatica, metrologia e misure, nei laboratori di ricerca e legate a beni di consumo (lettori

codici a barre, ...)

- di intrattenimento (laser per discoteche e concerti ...).

L'esposizione alle radiazioni ottiche artificiali è causa di rischi per la salute, con particolare riguardo agli occhi (possibili lesioni alla congiuntiva, alla cornea, al cristallino, alla retina), alla cute (possibili eritemi, bruciature, tumori) ed alla sicurezza (possibili abbagliamenti / accecamenti temporanei, nonché rischi di incendio e di esplosione innescati dalle sorgenti o dal fascio di radiazione).

Dunque i principali rischi per l'uomo derivanti da un'eccessiva esposizione a radiazioni ottiche riguardano essenzialmente due organi bersaglio, l'occhio in

come mostrato nelle figure che seguono. E' molto difficile avere stime attendibili sull'incidenza di infortuni professionali dovuti all'esposizione a radiazioni ottiche, questo principalmente per due ragioni. La prima è che, a parte alcune eccezioni (eritema, ustioni o arrossamenti), gli effetti non sono immediatamente riscontrabili. La seconda è che ogni giorno ciascuno di noi è esposto alla luce, sia artificiale che solare, in dosi difficilmente quantificabili e secondo modalità (luce diretta o diffusa) estremamente disomogenee. Nel caso dei laser, invece, le lesioni si manifestano molto più velocemente e gli effetti risultano, nella maggior parte dei casi, amplificati e spesso irreversibili.

intensità, non vengono minimamente ostacolate da quei meccanismi istintivi come il riflesso palpebrale o quello di allontanamento.

Dal 26 Aprile 2010 è in vigore, il Capo V del Titolo VIII del DLgs. 81/2008 sulla prevenzione del rischio da esposizione alle radiazioni ottiche artificiali, il quale risulta quindi sanzionabile. Le grandezze radiometriche di cui va valutato il rispetto descrivono la distribuzione spaziale e temporale della radiazione ottica e possono sostanzialmente essere suddivise in due classi: quelle che descrivono la sorgente emettitrice (potenza radiante e radianza) e quelle che descrivono la superficie irradiata (esposizione radiante e irradianza).

Il rispetto dei limiti di esposizione garanti-

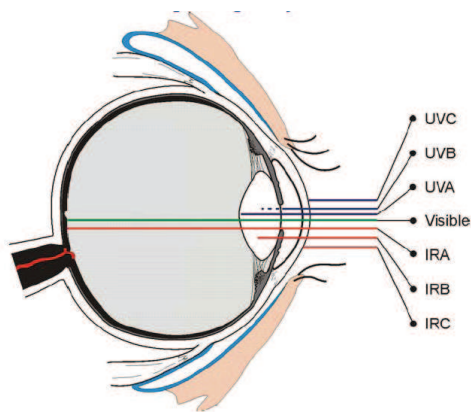


Fig. 2
Differenti profondità di interazione della radiazione ottica con l'occhio in funzione della lunghezza d'onda

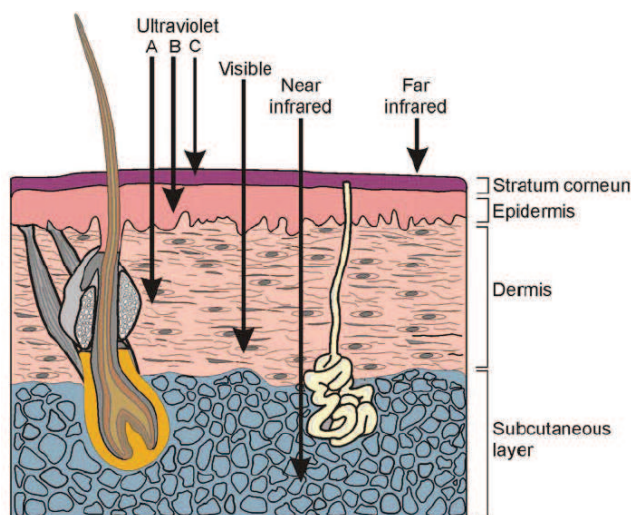


Fig. 3
Differenti profondità di interazione della radiazione ottica con la cute in funzione della lunghezza d'onda

tutte le sue parti (cornea, cristallino e retina) e la cute. Come per le radiazioni ionizzanti, i danni procurati a tali organi possono avere un ben preciso rapporto di causa-effetto, cioè è possibile stimare una dose soglia affinché il danno si manifesti (effetto deterministico), oppure può non esserci una correlazione tra causa ed effetto ed allora si parla di effetto stocastico.

Non tutte le lunghezze d'onda appartenenti alle radiazioni ottiche, inoltre, hanno gli stessi effetti su occhio e cute,

Un discorso a parte meritano le sorgenti di luce blu (380-550) nm e quelle di IR-A (radiazioni nel vicino infrarosso). Entrambe queste lunghezze d'onda vengono focalizzate dall'occhio e pertanto contribuiscono alla dose assorbita dalla retina. La luce blu viene spesso sottovalutata in quanto appartenente allo spettro di luce visibile e quindi erroneamente considerata "sicura".

Le sorgenti di IR-A, invece, pur giungendo fino alla retina, risultano "invisibili" e quindi, in presenza di una loro forte

sce i lavoratori esposti alle ROA dagli effetti nocivi sugli occhi e sulla cute.

I limiti sono definiti per:

- [E] = Irradianza ($W \cdot m^{-2}$),
- [H] = Esposizione radiante ($J \cdot m^{-2}$),
- [L] = Radianza ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$).

Alcuni limiti di esposizione definiti dalla legge sono espressi in termini "efficaci", ossia:

- Irradianza efficace (E_{eff}),
- Esposizione radiante efficace (H_{eff}),
- Radianza efficace (LR).



Il termine “efficace” si riferisce alle grandezze radiometriche “ponderate” per gli effetti biologici che generano alle diverse lunghezze d’onda. Per fare ciò sono stati definiti i seguenti fattori adimensionali i cui valori sono riportati in funzione della lunghezza d’onda nella citata legge:

- $S(\lambda)$ fattore di peso spettrale: tiene

conto della dipendenza dalla lunghezza d’onda degli effetti sulla salute delle radiazioni UV sull’occhio e sulla cute

- $B(\lambda)$ fattore di peso spettrale: tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d’onda della lesione fotochimica provocata all’occhio dalla radiazione di luce blu.

- $R(\lambda)$ fattore di peso spettrale: tiene

conto della dipendenza dalla lunghezza d’onda delle lesioni termiche provocate all’occhio dalle radiazioni visibili e IRA.

Le grandezze limite da misurare al fine di valutare il rischio da radiazioni ottiche artificiali nel caso delle sorgenti non coerenti sono riassunte nella tab.1

CASO 1

Descrizione della sorgente:

l’azienda in cui si è valutato il rischio R.O.A. produce accessori per acquari.

Tra i suoi articoli, in particolare, vi sono filtri a pressione dotati di lampada UV-C a scarica in vapore di mercurio.

Si tratta di una sorgente di radiazione ultravioletta molto utilizzata in acquariologia poiché la lunghezza d’onda fondamentale emessa (254 nm) conferisce alla lampada il massimo effetto germicida.

I raggi UV-C prodotti dalla sorgente infatti agiscono uccidendo funghi, alghe, batteri, parassiti e tutti gli organismi che nuotano liberi nell’acqua e che vengono costretti a passare nei pressi della lampada.

Tali organismi non vengono immediatamente uccisi, ma subiscono una variazione nel loro DNA: la lampada distrugge infatti gli acidi nucleici presenti nel nucleo delle cellule o ne altera la struttura e di conseguenza gli organismi parassiti che si trovano nell’acqua vengono distrutti.

Condizioni di esposizione alla sorgente:

L’esposizione alla sorgente si ha esclusivamente nella fase di collaudo della lampada UV che viene installata di serie in filtri a pressione.

Si valuta un tempo massimo di esposizione giornaliera pari a 40 min e ad una distanza minima dalla sorgente di 50 cm.

Da una comparazione dello spettro della sorgente con quello del fondo ambientale e data la sua tipologia, è evidente come l’unica componente spettrale di interesse per la valutazione del rischio da radiazioni ottiche risulti essere quella UV. In tal caso il limite di legge con il quale confrontarsi e il valore misurato nella tab.2.

Dal valore trovato si ha che dopo solo circa 6 minuti di esposizione in assenza di adeguate protezioni (occhiali anti UV) si ha il superamento del limite per occhio e cute previsto dalla legge.

Componente	Parte/Rischio	GRANDEZZA	LIMITE DI ESPOSIZIONE
a. UV ABC	OCCHIO (cornea, congiuntiva, cristallino) Fotocheratite Congiuntivite Catarattogenesi CUTE Eritema Elastosi Tumore della cute	$H_{eff} = \sum_{180}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda$	$30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ (Valore giornaliero 8 h)
b. UV A	OCCHIO (cristallino) Catarattogenesi	$H_{UVA} = \sum_{315}^{400} E_{\lambda} \Delta\lambda$	$10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ (Valore giornaliero 8 h)
c. luce blu	OCCHIO (retina) fotoretinite	$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} B(\lambda) \Delta\lambda$ per $t \leq 10000 \text{ s}$, $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$	$\frac{10^6}{t} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
d. luce blu	OCCHIO (retina) fotoretinite	$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} B(\lambda) \Delta\lambda$ per $t > 10000 \text{ s}$, $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$	$100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
e. luce blu	OCCHIO (retina) fotoretinite	$E_B \cdot t = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} B(\lambda) \Delta\lambda \cdot t$ per $t \leq 10000 \text{ s}$, $\alpha < 11 \text{ mrad}$	$\frac{100}{t} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
f. l.blu	OCCHIO (retina) fotoretinite	$E_B = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} B(\lambda) \Delta\lambda$ per $t > 10000 \text{ s}$, $\alpha < 11 \text{ mrad}$	$0,01 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
g. VIS-IRA	OCCHIO (retina) ustione retina	$L_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} R(\lambda) \Delta\lambda$	$\frac{2,8 \cdot 10^7}{C_{\alpha}} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ per $t > 10 \text{ s}$
h. VIS-IRA	OCCHIO (retina) ustione retina	$L_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} R(\lambda) \Delta\lambda$	$\frac{5 \cdot 10^7}{C_{\alpha} \cdot t^{0,25}} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ per $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$
i. VIS-IRA	OCCHIO (retina) ustione retina	$L_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} R(\lambda) \Delta\lambda$	$\frac{8,89 \cdot 10^8}{C_{\alpha}} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ per $t \leq 10 \mu\text{s}$
j. IRA	OCCHIO (retina) ustione retina	$L_R = \sum_{780}^{1400} L_{\lambda} R(\lambda) \Delta\lambda$	$\frac{6 \cdot 10^6}{C_{\alpha}} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ per $t > 10 \text{ s}$
k. IRA	OCCHIO (retina) ustione retina	$L_R = \sum_{780}^{1400} L_{\lambda} R(\lambda) \Delta\lambda$	$\frac{5 \cdot 10^7}{C_{\alpha} \cdot t^{0,25}} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ per $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$
l. IRA	OCCHIO (retina) ustione retina	$L_R = \sum_{780}^{1400} L_{\lambda} R(\lambda) \Delta\lambda$	$\frac{8,89 \cdot 10^8}{C_{\alpha}} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ per $t < 10 \mu\text{s}$
m. IRA-IRB	OCCHIO (cornea, cristallino) ustione cornea, catarattogenesi	$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \Delta\lambda$	$18000 \cdot t^{-0,75} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ per $t \leq 1000 \text{ s}$
n. IRA-IRB	OCCHIO (cornea, cristallino) ustione cornea, catarattogenesi	$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \Delta\lambda$	$100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ per $t > 1000 \text{ s}$
o. VIS-IRA-IRB	CUTE ustione	$H_{skin} = \sum_{380}^{3000} E_{\lambda} \Delta\lambda \cdot t$	$20000 \cdot t^{1/4} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ per $t < 10 \text{ s}$

Tab. 1
Tabella delle grandezze limite per sorgenti R.O.A. non coerenti



CASO 2

Descrizione della sorgente: saldatrice ad elettrodo.

Condizioni di esposizione alla sorgente: l'apparecchiatura di saldatura è utilizzata per operazioni di manutenzione. Cautelativamente si stima un tempo massimo di esposizione giornaliera pari a 1 ora e una distanza minima dalla sorgente di 50 cm.

Risultati delle misure:

il valore più restrittivo delle grandezze di riferimento in relazione alla sorgente in esame è quello relativo alla componente UV.

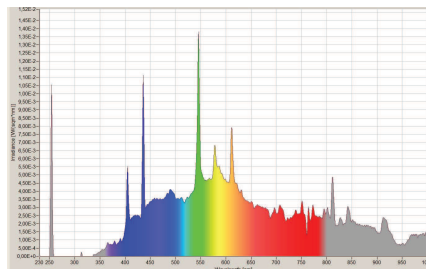
In tal caso il limite di legge con il quale confrontarsi e il valore misurato sono riportati nella tab.3

Dai risultati si evidenzia come in prossimità della sorgente il rischio per l'operatore sia molto elevato nella regione spettrale UV qualora esso non sia dotato dei DPI adeguati.

Dalle misure effettuate si è potuto verificare la piena efficacia schermante della maschera in dotazione (filtro "11 XTW1 DIN 0196 CE") che riporta i valori di irradianza sotto il limite di legge.



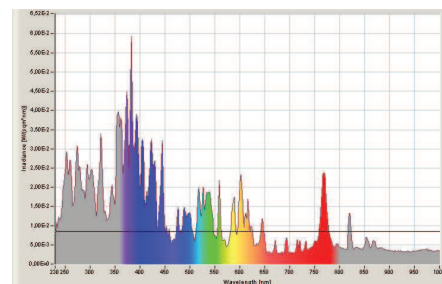
Lampada germicida UV-C



Spettro di irradianza della sorgente nell'intervallo spettrale [250-1000] nm misurato con il rivelatore posizionato a 50 cm dalla sorgente e fuori dal tubo di protezione previsto per il collaudo. Si nota il picco UV caratteristico della lampada a mercurio in corrispondenza dei 254 nm

Componente	Parte/Rischio	LIMITE di ESPOSIZIONE	GRANDEZZA VALUTATA
a. UV ABC	OCCHIO (cornea, congiuntiva, cristallino) Fotocheratite Congiuntivite Catarattogenesi CUTE Eritema Elastosi Tumore della cute	30 J·m ⁻² (Valore giornaliero 8 h)	$H_{eff} = \sum_{180}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda = 193 \frac{J}{m^2}$ (Valore giornaliero 8 h)

Tab.2



Spettro di irradianza della sorgente nell'intervallo [230-1000] nm

VALORI SENZA DPI					
Componente	Parte/Rischio	Grandezza	Limite di Esposizione (LE)	Valore misurato senza DPI	Tempo limite di esposizione senza DPI
a. UV ABC	OCCHIO (cornea, congiuntiva, cristallino) Fotocheratite Congiuntivite Catarattogenesi CUTE Eritema Elastosi Tumore della cute	$H_{eff} = \sum_{180}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda$	30 J·m ⁻² (Val. giornaliero 8 h)	3320 J·m ⁻²	32 s

Tab.3