

F. Frigerio

La valutazione dell'esposizione dei lavoratori a radiazioni ottiche artificiali

¹ Fondazione Salvatore Maugeri - Centro Ricerche Ambientali - Pavia

RIASSUNTO. La Direttiva 2006/25/CE, recentemente recepita dall'Italia, introduce l'obbligo della valutazione dell'esposizione dei lavoratori a radiazione ottica artificiale sia coerente (LASER) sia incoerente.

I criteri di valutazione, basati sulle linee guida della International Commission on Non Ionizing Radiation Protection ICNIRP, impongono per le sorgenti incoerenti la valutazione dipendente dallo spettro della radiazione. Partendo dalle tecniche e dai risultati delle misure sono evidenziate alcune situazioni nelle quali è necessario approfondire le valutazioni.

In attesa di auspicati chiarimenti da parte degli enti di controllo, sono inoltre esposte alcune considerazioni utili ad eseguire una prima valutazione senza misure.

Le sorgenti UV-visibili richiedono la conoscenza dello spettro, misurato o certificato dal costruttore.

Le esposizioni a radiazioni ottiche generate da materiali incandescenti possono essere valutate con misure integrate, avvalendosi della conoscenza dello spettro di corpo nero.

Parole chiave: radiazione ottica, incoerente, valutazione.

ABSTRACT. EC Directive 2006/25/EC, recently receipted by Italy, requires the evaluation of workers exposition to optical artificial radiation, both coherent (LASER) and incoherent. Evaluation criteria based upon International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) guidelines require for incoherent sources an evaluation depending on radiation spectrum.

Starting from measurements techniques and results, some situations requiring a focusing in evaluation are outlined. Waiting for needed clarifications from prevention authorities, some considerations useful in performing an evaluation without measurements are shown.

UV-visible sources require a knowledge of spectrum, measured or certified by the manufacturer.

The exposition to optical radiation generated by heated material can be evaluated by integrated measures knowing black body radiation spectrum.

Key words: optical radiation, incoherent, evaluation.

Introduzione

Il capo V del titolo VIII del d. Lgs 81/2008, noto ormai come "il Testo Unico" (1), recepisce in Italia, forse primo tra i paesi europei, la Direttiva 2006/25/CE sulla protezione dalle radiazioni ottiche artificiali.

I danni di queste radiazioni sono facilmente accertabili, tuttavia nell'opinione pubblica hanno trovato finora maggiore spazio le preoccupazioni per gli effetti sanitari, accertati o sospetti, dei campi elettromagnetici.

Anche se le norme transitorie del T.U. (art 306), rimandano al 2010 l'applicazione del capo V, è interpretazione condivisa, anche dagli enti di controllo, che l'obbligo di valutazione (art 181) sia da subito vigente e sanzionabile.

I metodi di valutazione ed i valori limite del capo V (Allegato XXXVII al T.U.) hanno per ora il peso delle linee guida ICNIRP dai quali sono tratti, fino all'aprile 2010 quando prenderanno forza di legge, due anni prima dei campi elettromagnetici. Appare quindi urgente diffondere la cultura sulla valutazione di questo agente fisico al fine di trovarsi preparati a fronteggiare le scadenze di legge.

Con il termine radiazioni ottiche si intende la porzione di spettro elettromagnetico fra 100 nm e 1 mm; a lunghezze d'onda inferiori a questo intervallo abbiamo le radiazioni ionizzanti, oltre la lunghezza d'onda di 1 mm (corrispondente alla frequenza di 300 GHz) si parla comunemente di campi elettromagnetici, trattati nel capo IV.

La definizione "ottiche" deriva dal fatto che, in questo intervallo di lunghezza d'onda, si applicano le leggi dell'ottica classica, a prescindere dalla capacità del cervello umano di rivelare la radiazione come "visibile".

Ad esempio, la radiazione infrarossa a 800 nm viene riflessa e focalizzata con sistemi di lenti e specchi non molto diversi da quelli comunemente noti anche se non è visibile all'occhio umano. In generale, tuttavia, i materiali che si comportano da lenti e specchi a frequenze molto lontane da quelle del visibile, possono essere molto diversi da quelli che ci si attende, il che comporta qualche problema a livello di prevenzione, in particolare nel campo dei laser.

L'obbligo di valutazione riguarda in effetti sia le sorgenti incoerenti, come le lampade o i materiali incandescenti, sia le sorgenti laser o coerenti.

I laser, in generale, emettono in una data direzione e ad una specifica lunghezza d'onda.

Date le particolari modalità di impiego, è relativamente semplice definire a priori un tempo di esposizione massimo; in funzione di questo e della lunghezza d'onda si stabilisce il Livello di Esposizione Accessibile (LEA). Le sorgenti laser sono, dal costruttore, classificate in base al LEA.

In questo modo si evita, nella maggior parte dei casi, la necessità di misure sul fascio e occorre semplicemente definire gli interventi tecnici e organizzativi per garantire la sicurezza nell'impiego delle sorgenti di classe 3B e 4, le più pericolose.

Nel seguito ci si limiterà alle sorgenti incoerenti, le cui modalità di impiego sono molto meno controllate e, soprattutto, per le quali la cultura prevenzionistica è ancora meno diffusa.

Metodi di valutazione

Una sorgente incoerente è, nel caso più generale, caratterizzata dalla grandezza

$$L(\lambda, \Omega, t),$$

espressa in $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$ detta radianza spettrale.

Gli effetti sanitari dipendono dalla lunghezza d'onda λ e dall'energia effettivamente assorbita dalle diverse strutture anatomiche.

La radianza può dipendere dall'angolo solido nel quale la radiazione viene emessa, d'altra parte intorno al range del visibile, per definizione, l'energia assorbita dalle strutture più interne dell'occhio dipende dalla focalizzazione della sorgente sulla retina, quindi dall'angolo Ω sotto il quale la sorgente è osservata.

Il flusso di energia incidente, da tutte le direzioni, su una certa superficie è detta irradianza, si dimostra che le due grandezze, ai fini delle misure sono legate dalla relazione:

$$E_{\lambda}(\lambda, t) = L_{\lambda}(\lambda, t) * \Omega$$

In generale è necessario tenere conto della dipendenza dei diversi effetti dalla lunghezza d'onda della radiazione.

Vengono pertanto definite delle curve di ponderazione spettrale basate sui principali effetti noti.

Nella Figura 1 sono confrontate le curve di ponderazione utilizzate per la valutazione di:

Danno retinico fotochimico da radiazione UV, tra 180 e 400 nm:	$S(\lambda)$
Danno retinico fotochimico da luce blu, da 300 a 600 nm:	$B(\lambda)$
Danno retinico termico, visibile e IRa, da 380 a 1400 nm:	$R(\lambda)$

Le 3 curve devono essere applicate separatamente, in linea di principio, a qualunque sorgente non coerente.

Per la valutazione del danno cutaneo ed oculare da radiazione UVA, si integra lo spettro fra 315 e 400 nm, senza ponderazione.

Analogamente, per valutare il danno termico causato dalla radiazione infrarossa al cristallino (cataratta) e alla cornea, si integra lo spettro della sorgente fra 780 e 1400 nm senza applicare ponderazioni alle diverse lunghezze d'onda.

Le definizioni delle grandezze da calcolare, le curve di ponderazione e i relativi valori limite sono riportate nell'Allegato XXXVII al Testo Unico (1).

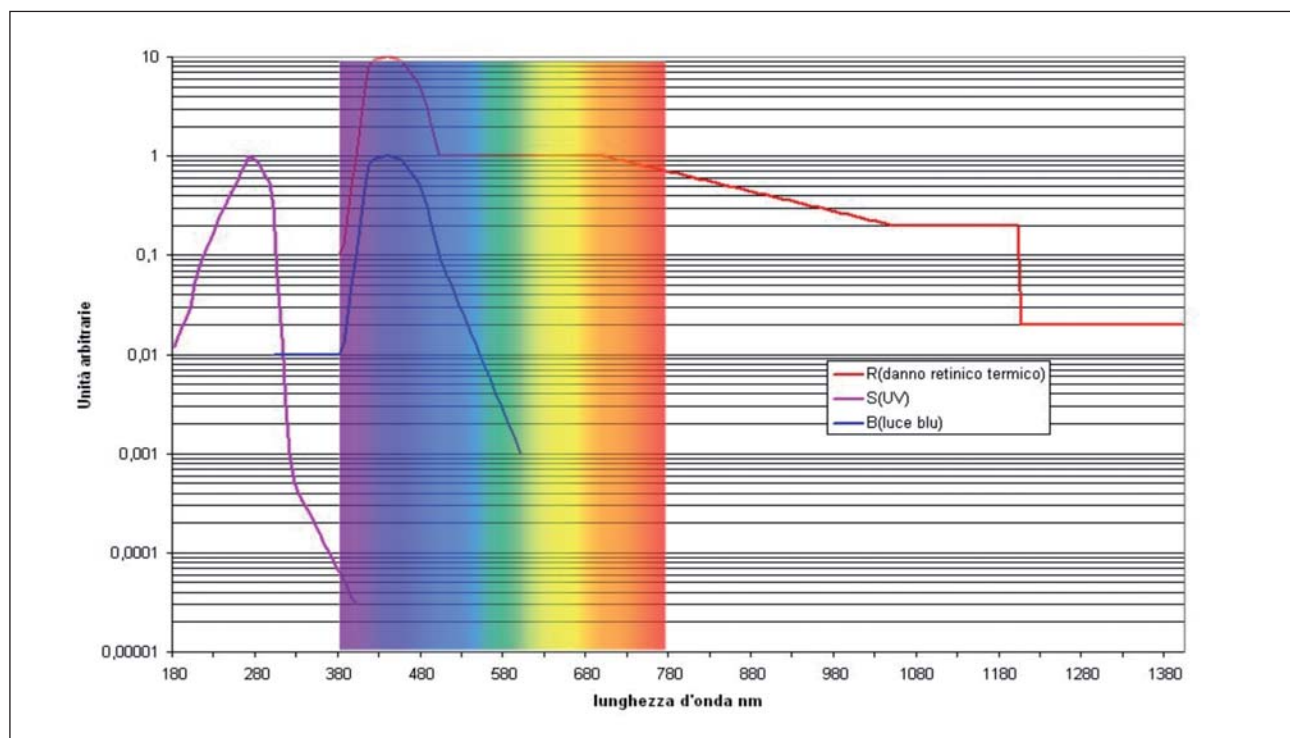


Figura 1. Curve di ponderazione spettrale per la radiazione ottica incoerente

Quando i valori limite sono espressi in termini di esposizione radiante, la valutazione si conclude calcolando il tempo massimo per il quale il lavoratore può essere esposto senza superare il limite stesso.

Le sorgenti di errore in queste valutazioni sono molteplici; come sempre nelle misure "sul campo", l'errore strumentale è quasi trascurabile rispetto alle incertezze nel posizionamento dei sensori rispetto alla reale posizione dell'operatore, alla difficoltà nel valutare con accuratezza il tempo di esposizione etc.

Considerando tutte queste fonti di errore si può stimare un'incertezza complessiva sul risultato della valutazione, intorno al 10%.

Misure spettrali nell'UV-VISIBILE

Nella Figura 2 è illustrato lo spettroradiometro HR-4000 della Ocean Optics.

Lo strumento, che deve essere accoppiato ad un pc per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati, è in grado di misurare l'intensità della radiazione fra 194 e 1125 nm.

Nella Figura 3 è riportato un esempio di misura.

Nella parte superiore si osserva il risultato ottenuto misurando lo spettro generato da un transilluminatore per piastre di gel, una delle poche sorgenti sulle quali sia stata prodotta di recente una valutazione di rischio riportata in letteratura (2).

Nella parte inferiore è riportato il grafico dell'irradianza assoluta ottenuta sottraendo lo spettro del fondo ed applicando un riferimento di calibrazione.

Si evidenzia come, nell'effettuare queste operazioni, il sistema abbia correttamente eliminato i picchi a 540 e 612 nm, generati dall'illuminazione del laboratorio ma abbia anche introdotto una componente UV a lunghezza



Figura 2. Spettroradiometro Ocean Optics HR-4000, utilizzato per le misure spettrali nel campo dell'UV-Visibile

d'onda < 250 nm che è dovuta unicamente alle approssimazioni dell'elaborazione.

In alcuni casi (vedi Figura 4) queste componenti spurie compaiono anche nella regione dell'infrarosso e possono dare luogo ad errori nella valutazione dell'integrale pesato.

Eliminando dal calcolo le componenti spettrali spurie, il risultato ottenuto per il transilluminatore conferma quanto riportato in letteratura: senza l'utilizzo dell'appropriato schermo (la misura è stata eseguita senza), il limite per il danno fotochimico si supera facilmente, in questo caso con soli 40 secondi di esposizione.

Nel seguito saranno riportati solo gli spettri già depurati dalle componenti spurie, ottenuti per confronto con le acquisizioni eseguite senza sottrazione del fondo, e integrati utilizzando un comune foglio elettronico, sulla risoluzione di banda con la quale sono tabulate le curve di ponderazione.



Figura 3. Confronto fra lo spettro misurato e quello ottenuto dopo la sottrazione del fondo e l'applicazione della calibrazione di riferimento, sotto i 210 nm è visibile una piccola regione di irradianza "spuria" generata dal software a causa delle approssimazioni

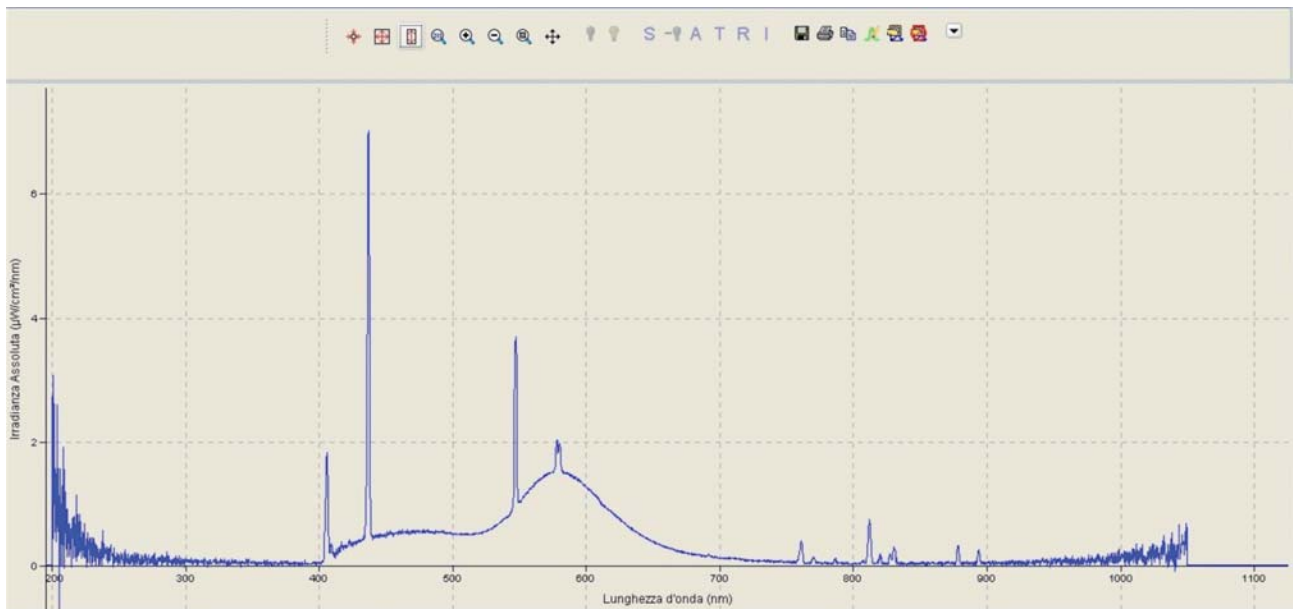


Figura 4. Spettro di una normale lampada fluorescente, da ufficio, osservata da 50 cm di distanza: le componenti negli estremi della banda sono spurie introdotte dal sistema di elaborazione

Si noter  che lo strumento fornisce un valore della irradianza spettrale fino a 1125 nm mentre alcune valutazioni prevedono di estendere l'integrazione fino a 1400 o anche 3000 nm.

Anche in questi casi si   fatto ricorso al foglio elettronico attribuendo per estrapolazione un andamento piatto alla parte fuori banda dello spettro in quanto, per le sorgenti indagate, non ci sono ragioni fisiche per ritenere significativa la presenza di componenti IR.

Nelle Figure 4 e 5,   riportato lo spettro generato da una normale plafoniera per l'illuminazione da ufficio dalla distanza di 50 cm, come nel caso di una plafoniera collocata su di un bancone da laboratorio.

In base all'andamento spettrale rilevato prima dell'applicazione della calibrazione, lo spettro   stato corretto nella Figura 5 come sopra descritto per eliminare le componenti spurie e per tenere conto dell'andamento nell'estremo infrarosso.

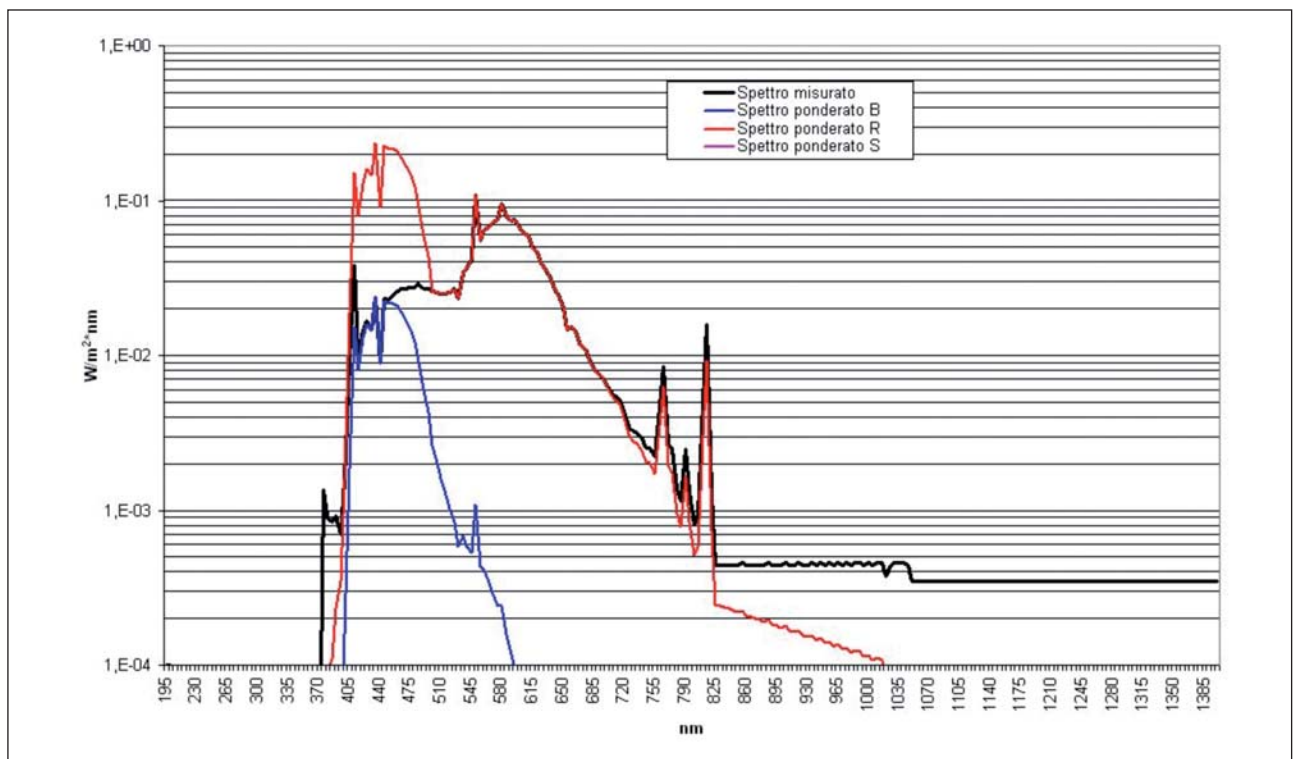


Figura 5. Confronto fra lo spettro di una plafoniera per tubi fluorescenti misurato alla distanza di 50 cm e le curve che si ottengono applicando le diverse ponderazioni

Tabella I. Valutazione dei diversi rischi generati dalla normale illuminazione da ufficio con tubi fluorescenti, osservata dalla distanza di 50 cm

Rischio	Intervallo di lunghezza d'onda nm	Curva di ponderazione	Limite J/m ²	Limite W/m ²	Valore misurato W/m ²	t max (min)
Danno fotochimico UV pelle e occhio	195-400	S	30	--	5,0E-05	> 8 h
Danno fotochimico UVA occhio	315-400	--	10000	--	6,4E-03	> 8 h
						% rispetto al limite per l'irradianza
Danno fotochimico da luce blu	300-700	B	--	55,6	0,3	0,5
Danno termico retinico	380-1400	R	--	60000,0	4,4	0,01
Danno termico IR	780-3000	R	--	100,0	0,03	0,03

Nella stessa Figura lo spettro misurato è confrontato con le curve che si ottengono applicando le ponderazioni per i diversi effetti.

Nella Tabella I sono riportati i risultati delle valutazioni eseguite rispetto a tutti i rischi applicabili, compresa l'esposizione nel vicino ultravioletto (UVA) nonché il danno termico oculare (non retinico) che non richiedono ponderazioni.

Per la valutazione del danno retinico, il limite per la radianza è stato moltiplicato per l'angolo sotto il quale la lampada può essere vista dall'operatore, per sorgenti estese si assume cautelativamente 0,1 rad.

In tutti i casi si ottengono valori ampiamente inferiori ai rispettivi limiti, anche avendo considerato un tempo di esposizione esagerato in quanto difficilmente un lavoratore osserva direttamente la sorgente luminosa, almeno se questa è correttamente posizionata.

La normale illuminazione degli uffici ottenuta con lampade fluorescenti non presenta pertanto rischi dal punto di vista dell'esposizione a radiazioni ottiche.

Le sorgenti più pericolose sono quelle nel cui spettro è presente una significativa componente UV o visibile intorno al blu, vale a dire fino a 550 nm (3).

Nella Figura 6 è illustrato lo spettro di una cosiddetta lampada di Wood, utilizzata nell'industria per evidenziare, mediante fluorescenza, difetti superficiali nei pezzi metallici.

Lo spettro ricade prevalentemente nella regione UVA ma anche la curva ponderata S risulta evidente rispetto alla Figura 5.

Nella Tabella II sono illustrati i risultati delle misure eseguite presso diverse postazioni di lavoro nello stesso stabilimento, ponendo il sensore ad una distanza dal pezzo corrispondente alla posizione degli occhi dell'operatore addetto.

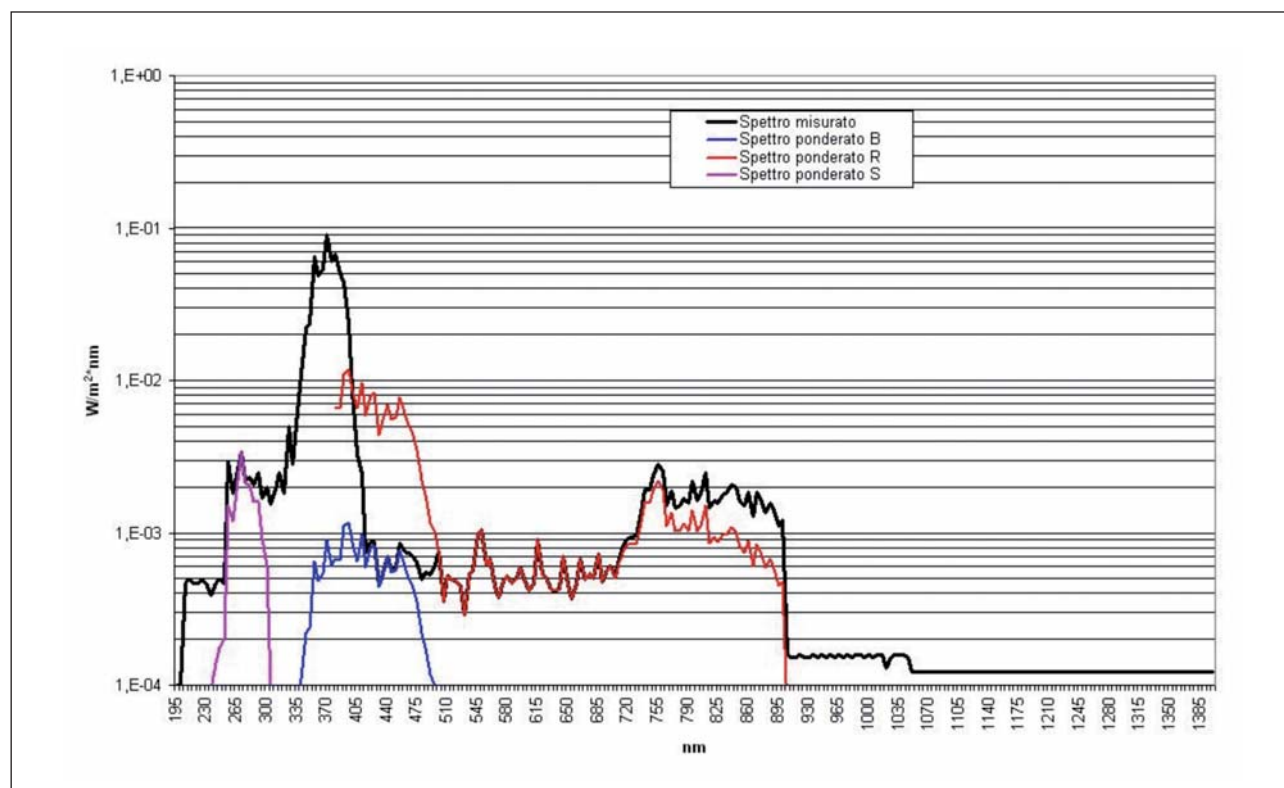


Figura 6. Spettro tipico di una lampada di Wood per controlli non distruttivi nell'industria metalmeccanica

Tabella II. Misure eseguite su lampade di Wood per controlli non distruttivi

	Posizione di misura		Densità di potenza UVA misurata (W/m ²)	Tempo massimo di osservazione (minuti)
1	Metalloscopio 7427	ispezione alberi	0,38	439
2	Metalloscopio 7427	osservazione diretta lampada	0,63	265
3	Metalloscopio 3317	ispezione corone	1,62	103
4	Metalloscopio 257	ispezione alberi	0,21	>8 h
5	Metalloscopio 'xx	ispezione alberi con sola lampada fissa	0,15	>8 h
6	Metalloscopio 'xx	ispezione alberi con lampada fissa+portatile	0,55	303
7	Metalloscopio 'xx	lampada portatile puntata verso l'operatore	5,63	30

Nelle normali condizioni operative, l'addetto non è in alcun modo tenuto ad osservare direttamente la lampada, tuttavia, al momento dell'indagine, tale operazione non è nemmeno esplicitamente impedita da alcun dispositivo.

L'osservazione diretta della lampada e, in alcuni casi anche l'osservazione della sola luce diffusa dal pezzo, è sicura solo rispettando dei tempi massimi che possono essere facilmente superati nel turno di lavoro.

Misure nell'infrarosso

In molti importanti contesti, dalla produzione del cemento, alla vetreria all'industria orafa, l'esposizione a radiazione ottica è dovuta alla lavorazione di materiali prossimi al punto di fusione, la forma dello spettro può essere pertanto valutata sfruttando le proprietà dello spettro di corpo nero.

In questo caso è possibile risalire al valore dell'irradianza spettrale dal quale calcolare i vari integrali ponderati, conoscendo il valore dell'irradianza misurata con un sensore dalla risposta nota.

In Figura 7 è mostrato il radiometro Nova II, della Ophir, normalmente utilizzato per misure di potenza dei fasci laser.

Il sistema è caratterizzato da una risposta quasi piatta tra 200 e 6000 nm.

La forma analitica dello spettro si conosce, applicando la legge del corpo nero.

Per definizione un corpo nero assorbe senza differenze tutte le lunghezze d'onda e, se riscaldato, emette in tutto lo spettro con una distribuzione caratteristica dipendente dalla sola temperatura.

La grafite, a temperatura ambiente approssima un corpo nero al 97% ma tutti i corpi solidi tendono a comportarsi come corpi neri quanto più elevata è la loro temperatura:

$$E(\lambda)d\lambda = 2\pi hc^2 \frac{1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} d\lambda \quad (1)$$

L'espressione analitica (1) è stata ottenuta da Planck all'inizio del XX secolo e costituisce uno dei primi successi della allora nascente teoria quantistica; rappresenta l'intensità della radiazione emessa ad una certa lunghezza d'onda per unità di superficie di un corpo nero.



Figura 7. Radiometro OPHIR Nova II, dotato di rivelatore a termopila 3 A-P-DIF-V

Nella (1) h , c e K sono note in quanto costanti della fisica, $d\lambda$ è l'intervallo di lunghezza d'onda e T la temperatura assoluta, legata alla temperatura t espressa in gradi Celsius, dalla relazione

$$T = t + 273,15$$

Per quanto ci interessa, lo spettro di corpo nero ha almeno due altre proprietà interessanti.

L'energia totale emessa in tutto lo spettro, in termini matematici l'integrale della (1), è data da

$$E = \sigma T^4 \quad (2)$$

dove $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ è la costante di Stefan-Boltzman.

Inoltre, fra il valore della lunghezza d'onda per il quale la curva raggiunge il massimo e la temperatura vale la relazione

$$\lambda T = w \quad (3)$$

con $w = 0,00289 \text{ mK}$: il picco di emissione si sposta verso l'infrarosso al diminuire della temperatura, in pratica per avere un massimo nel visibile un corpo dovrebbe essere riscaldato oltre 3000 °K, caso molto raro per i solidi.

Conoscendo semplicemente la temperatura del materiale è possibile pertanto ricavare l'energia emessa per unità di superficie dallo stesso, utilizzando la relazione (2).

D'altra parte misurando l'energia incidente su di un rivelatore con risposta spettrale nota, dalla (1) si può risalire all'irradianza pesata su qualunque funzione.

Si noti che l'integrale deve essere calcolato su un ampio intervallo di lunghezze d'onda, in pratica, tuttavia l'errore che si commette restringendo l'intervallo, diminuisce all'aumentare della temperatura.

Nella Figura 8 è rappresentato lo spettro di corpo nero alla temperatura di 1400 °C, per esempio quella del materiale presente all'interno di un forno di cementeria quando il personale deve avvicinarsi agli sportelli aperti per rimuovere le incrostazioni di materiale.

Dalla figura si può osservare come l'integrazione fino a 6 µm comprende la maggior parte dell'energia emessa e come la frazione visibile sia, a questa temperatura, trascurabile rispetto all'infrarosso.

Nella Tabella III sono riportate le misure eseguite con un sensore lineare fra 200 nm e 6 µm come indicato nella Figura, e successivamente, calcolando la grandezza L_R di cui alla Tabella I fra 380 e 1400 nm.

Il parametro indicato come "correzione spettrale" è il rapporto fra l'integrale della (1) nell'intervallo di misura del sensore e l'integrale della stessa curva con l'applicazione della ponderazione spettrale $R(\lambda)$.

Le ponderazioni per UV e luce blu non sono state applicate in quanto avrebbero fornito risultati ancora più piccoli rispetto al limite.

Sono mascherate in grigio le misure nelle quali la presenza di uno schermo altera sensibilmente lo spettro rispetto a quello di corpo nero.

Nella Tabella IV è riportata la valutazione eseguita con la stessa tecnica rispetto al danno termico corneale, che non comporta ponderazione in frequenza ma richiede l'integrazione rispetto ad un più ampio intervallo.

In questo caso si evidenzia che potrebbero esserci problemi, se non si utilizzassero i DPI, quando i tempi di esposizione sono relativamente prolungati.

In letteratura (4) è riportato un metodo analogo, che utilizza, in vece di un sensore lineare, un luxmetro, strumento che ha una risposta nel visibile pesata secondo una curva di ponderazione nota, in quanto definita dalla Commission Internationale d'Eclairage (CIE).

Se sono rispettate alcune condizioni al contorno, è possibile valutare l'esposizione alla radiazione in tutto lo spettro di interesse igienistico, a partire dalla conoscenza dell'irradianza nella regione del visibile.

Discussione

La direttiva 2005/26 e di conseguenza il Testo Unico antepongono, nel processo di valutazione dei rischi, la valutazione basata sui dati di letteratura e sulle informazioni del costruttore rispetto alle misure.

Queste, come si è visto, sono al momento relativamente complesse, anche perché non è ancora disponibile sul mercato strumentazione ottimizzata per le misure necessarie in ambito prevenzionistico.

Nel caso delle postazioni di lavoro con lampada di Wood, d'altra parte, prima delle misure l'azienda riteneva praticamente uguali le prime 4 postazioni della Tabella II.

Quanto ai sistemi di illuminazione degli ambienti di lavoro, i produttori delle lampade forniscono grafici che

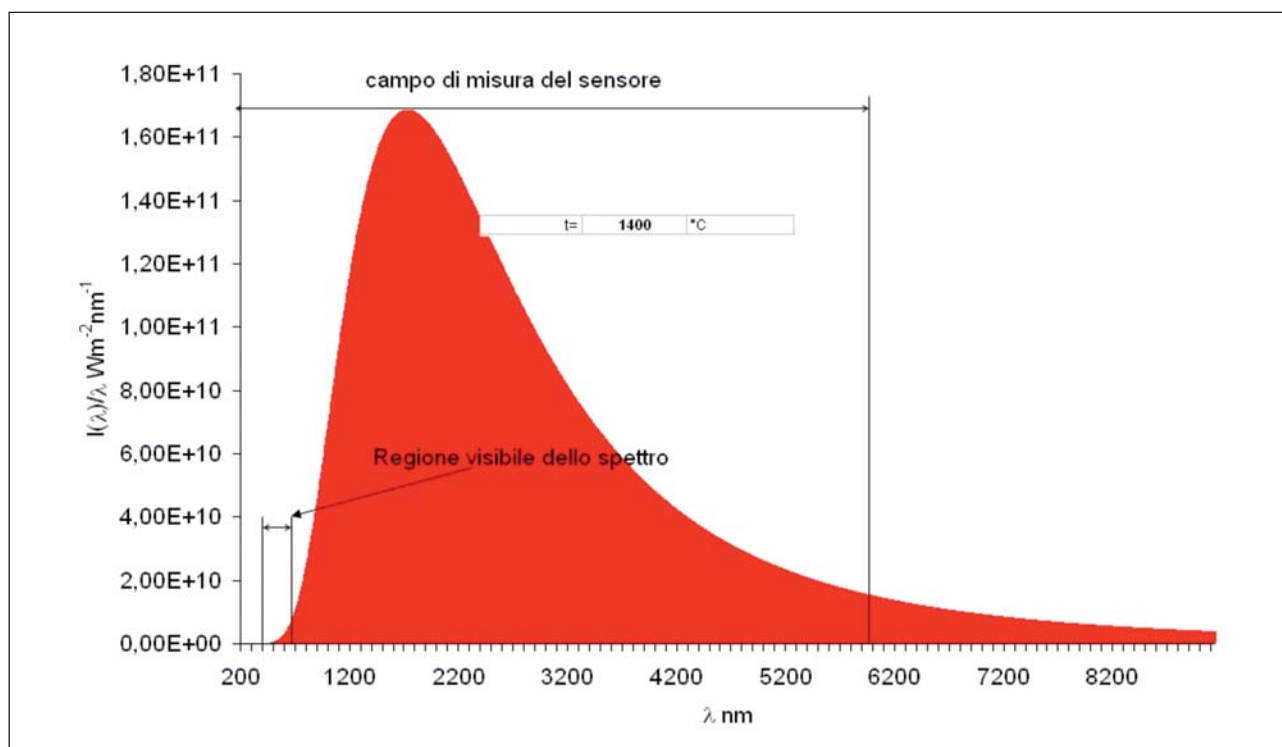


Figura 8. Spettro di corpo nero a 1400 °C

Tabella III. Misure eseguite in cemenleria: Radiometro Nova II OPHIR, diametro 17 mm, lineare da 200 a 6000 nm, valutazione del danno retinico termico

	Posizione di misura		Densità di potenza W/m ²	Temperatura °C	Correzione spettrale	Densità di potenza pesata W/m ²	Calda mrad	Valore limite W/m ²
1	Zona testata, foro telecamera ispezione	con vetro trasparente	551	1400	2,5E-02	13,5	100	281171
2	Zona testata, foro telecamera ispezione	senza nulla	1388	1400	2,5E-02	34,1	100	281171
3	Zona testata, foro telecamera ispezione	con vetro trasparente	452	1400	2,5E-02	11,1	100	281171
4	Zona testata, foro telecamera ispezione	senza nulla	987	1400	2,5E-02	24,2	100	281171
5	Zona testata, foro telecamera ispezione	con maschera di protezione scura	194	1400	2,5E-02	4,8	100	281171
6	Zona testata, foro telecamera ispezione	con maschera e vetro	121	1400	2,5E-02	3,0	100	334370
7	Portina anteriore Lepol	senza nulla	643	900	2,8E-03	1,8	100	280000
8	Portina anteriore Lepol chiusa		44	150	La densità di potenza è trascurabile anche non pesata		100	88914
9	Sotto forno		286	350			100	88914
10	Ingresso scivolo raffreddatore Fuller		1388	1000		7,0	100	101026
11	Forno Hereus 1710	laboratorio, fase di estrazione campione	1762	950	3,8E-03	6,7	100	213644
12	Forno Hereus K114	laboratorio, fase di estrazione campione	1322	1000	5,0E-03	6,6	100	213644

Tabella IV. Misure eseguite in cemenleria: Radiometro Nova II OPHIR, diametro 17 mm, lineare da 200 a 6000 nm, valutazione del danno termico corneale

	Posizione di misura		Temperatura °C	Tempo di osservazione S	Densità di potenza misurata W/m ²	Correzione spettrale	Densità di potenza pesata W/m ²	Valore limite W/m ²	% sul limite
1	Zona testata, foro telecamera ispezione	con vetro trasparente, distanza 60 cm	1400	10	551	6,91E-01	380,5	3201	12
2	Zona testata, foro telecamera ispezione	senza vetro, distanza 60 cm	1400	10	1388	6,91E-01	958,7	3201	30
3	Zona testata, foro telecamera ispezione	con vetro trasparente distanza 130 cm	1400	10	452	6,91E-01	312,0	3201	10
4	Zona testata, foro telecamera ispezione	senza vetro, distanza 130 cm	1400	10	987	6,91E-01	681,8	3201	21
5	Zona testata, foro telecamera ispezione	con maschera di protezione scura, distanza 130 cm	1400	10	194	6,91E-01	133,9	3201	4
6	Zona testata, foro telecamera ispezione	con maschera e vetro, distanza 130 cm	1400	5	121	6,91E-01	83,7	5383	2
7	Portina anteriore Lepol	senza nulla, distanza 130 cm	900	600	643	4,78E-01	307,3	148	207
8	Portina anteriore Lepol chiusa		150	1000	44				
9	Sotto forno		350	1000	286				
10	Ingresso scivolo raffreddatore Fuller		1000	600	1388	5,32E-01	738,0	148	497
11	Forno Hereus 1710	laboratorio, fase di estrazione campione	950	30	1762	5,1E-01	890,9	1404	63
12	Forno Hereus K114	laboratorio, fase di estrazione campione	1000	30	1322	5,3E-01	702,8	1404	50

permettono al più di stimare qualitativamente se lo spettro di emissione di una certa lampada è confrontabile con una situazione di cui siano riportate le misure.

Tra i pochi lavori recenti, è riportato in letteratura che le lampade ad alogenuri metallici utilizzate per la loro proprietà di riprodurre uno spettro “solare”, hanno una componente di luce blu che può portare al superamento del limite (5).

Si ritiene quindi più che auspicabile che qualche organismo autorevole come il comitato tecnico regioni-ISPE-SL, emetta quanto prima una linea guida, almeno per individuare le sorgenti “giustificabili” ai sensi dell’articolo 181 comma 3, in modo da concentrare l’attività di prevenzione dove effettivamente serve.

Nelle more, molto si può e si deve fare per limitare, a costo zero, le esposizioni indebite.

Nei laboratori biochimici, il superamento del limite di esposizione a UV [2] si può verificare in alcune fasi di lavorazione:

- durante il taglio dei gel lo schermo deve essere alzato e in ogni caso può essere esposta la pelle, se non adeguatamente protetta dal camice;
- altra situazione di rischio si può verificare durante l’installazione del sistema per scattare le fotografie.

Un’attività di formazione-informazione sul rischio ed il rispetto di procedure operative corrette possono in questi casi azzerare il rischio.

Recentemente inoltre sono stati messi in commercio accessori che consentono di lavorare in modalità più sicure, per i transilluminatori per esempio è importante disporre di sistemi che consentano di scattare le necessarie immagini fotografiche senza lasciare uscire radiazione UV.

Un discorso a parte meritano i DPI in quanto tradizionalmente la protezione dalle radiazioni ottiche, almeno nell'industria, è sempre stata considerata una questione infortunistica di scelta del protettore oculare più adatto.

Di fatto la norma applicabile agli schermi per radiazione incoerente è la UNI EN169 "Protezione personale degli occhi Filtri per saldatura e tecniche connesse Requisiti di trasmissioni e utilizzazioni raccomandate" (6).

Ad ogni dispositivo è associato secondo la norma un numero di graduazione, ad un dato numero di graduazione corrispondono valori massimi della percentuale di radiazione trasmessa (fattore di trasmissione) entro un determinato intervallo.

Il costruttore del DPI, stampigliando un certo numero di graduazione sul dispositivo, certifica pertanto che la trasmissione della radiazione in un dato intervallo è inferiore ad un determinato valore percentuale.

Ad un dato numero di graduazione, corrisponde un valore massimo del fattore di trasmissione nell'UV ma il corrispondente fattore di trasmissione nel visibile può variare da un valore massimo ad un valore minimo: quando è importante l'osservazione della luce visibile contemporaneamente alla presenza della radiazione UV, è necessario cercare un compromesso non sempre soddisfacente.

Per quanto riguarda la valutazione nell'IR come sopra illustrata, il problema è che il numero di graduazione corrisponde ad una attenuazione minima ma non consente di determinare come il DPI modifica lo spettro.

In alternativa sarebbe possibile utilizzare i DPI conformi alle norme UNI EN 207 e UNI EN 208: in questo caso è stampigliata direttamente sul DPI l'attenuazione in un dato intervallo di lunghezza d'onda ed è garantita una trasmissione > 20% nel visibile.

La differenza è data dal fatto che spesso si trova allegato a questi DPI un grafico che riporta il fattore di trasmissione in funzione della lunghezza d'onda.

Per la protezione del singolo saldatore, il problema è quello dell'alternanza di intensi lampi di radiazione blu-UV con la necessità di mantenere il controllo visivo del campo di lavoro.

Il problema è stato affrontato con le maschere adattative a cristalli liquidi che sono in grado di variare automaticamente il proprio numero di graduazione da 1.7 a 13 in tempi dell'ordine del centinaio di ns.

In questo campo resta tuttavia da valutare il rischio per gli operatori che lavorano in prossimità del saldatore in particolare quando molte postazioni sono vicine tra loro.

Le misure in questo settore sono rese ancora più complesse dal fatto che la radiazione varia molto rapidamente nel tempo.

Conclusioni

La valutazione di esposizione a radiazioni ottiche richiesta dal D.Lgs 81/08 può e deve essere affrontata per

gradi cominciando ad eliminare alla fonte le situazioni di esposizione indebita.

Un successivo passo può essere costituito da semplici valutazioni quantitative basate sulla conoscenza dello spettro di emissione dichiarato dal costruttore della sorgente.

Per le sorgenti UV-visibili delle quali non è noto con precisione lo spettro e per i quali non è possibile eliminare l'osservazione diretta è indispensabile eseguire misure di irradianza spettrale.

Dalle misure eseguite si può concludere, considerando le condizioni nelle quali le stesse sono state eseguite, quanto segue:

- l'illuminazione degli uffici realizzata con lampade fluorescenti non presenta rischi di superamento dei limiti di esposizione nemmeno nelle condizioni di osservazione più sfavorevoli;
- le lampade di Wood utilizzate per la ricerca di difetti nei metalli possono esporre gli addetti a radiazione UVA di intensità superiore al pertinente limite di esposizione;
- presso i forni di cemenzeria è possibile il superamento dei limiti per l'esposizione a radiazione IR.

L'estensione e la condivisione dell'analisi a tutte le sorgenti più diffuse, è più che auspicabile anche al fine di individuare le sorgenti per le quali non sono necessarie particolari misure di prevenzione,

Le esposizioni nel visibile e nel vicino infrarosso dovute alla lavorazione di materiali incandescenti possono essere valutate assumendo la distribuzione spettrale di corpo nero ed effettuando misure mediante strumentazione relativamente semplice purché in grado di determinare un valore di irradianza integrata con una risposta spettrale nota.

Questo tipo di analisi non consente, allo stato attuale della normativa, di verificare l'efficacia dei DPI.

Bibliografia

- 1) Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n 81 Attuazione dell'art. 1 della legge 3 agosto 2007 n 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Pubblicato sul supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n 101 del 30 aprile 2008 - serie generale
- 2) Cazzuli O, Giroletti E. Rischio da esposizione a radiazione UV nei laboratori biochimici. G Ital Med Lav Erg 2002; 24:1, 56-65.
- 3) Sliney DH. Ocular Injury Due to Light Toxicity. International Ophthalmology. Clinics 1988 28: 246-250.
- 4) Sisto R, Pinto I, Stacchini N, Giuliani F. Infrared radiation exposure in traditional glass factories. AIHAJ (61) Febbraio 2000; 5-10.
- 5) Orsini FS, Zambelli P, Troiano P, Fontani S, Grosso D, Piccoli B. Blue Light. Exposure: Risk Assessment Evaluation in the Retail Sector. Abstract, ICOH Int. Congress, Milan, 2006.
- 6) Norma UNI EN169 "Protezione personale degli occhi Filtri per saldatura e tecniche connesse Requisiti di trasmissioni e utilizzazioni raccomandate".