



Dipartimento Igiene del Lavoro

Corso "Il D.Lgs. 81/08 e la vigilanza negli ambienti di lavoro"  
Napoli, 12-16 aprile 2010

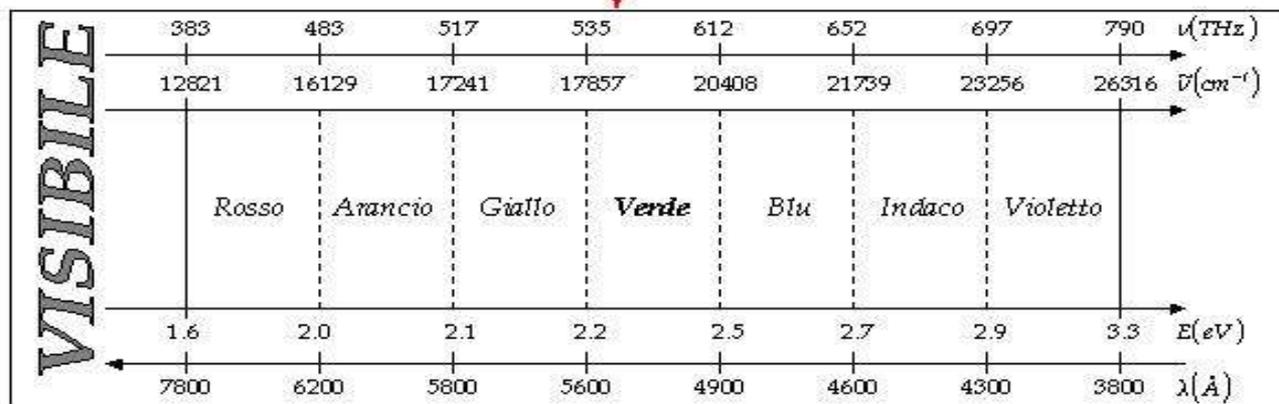
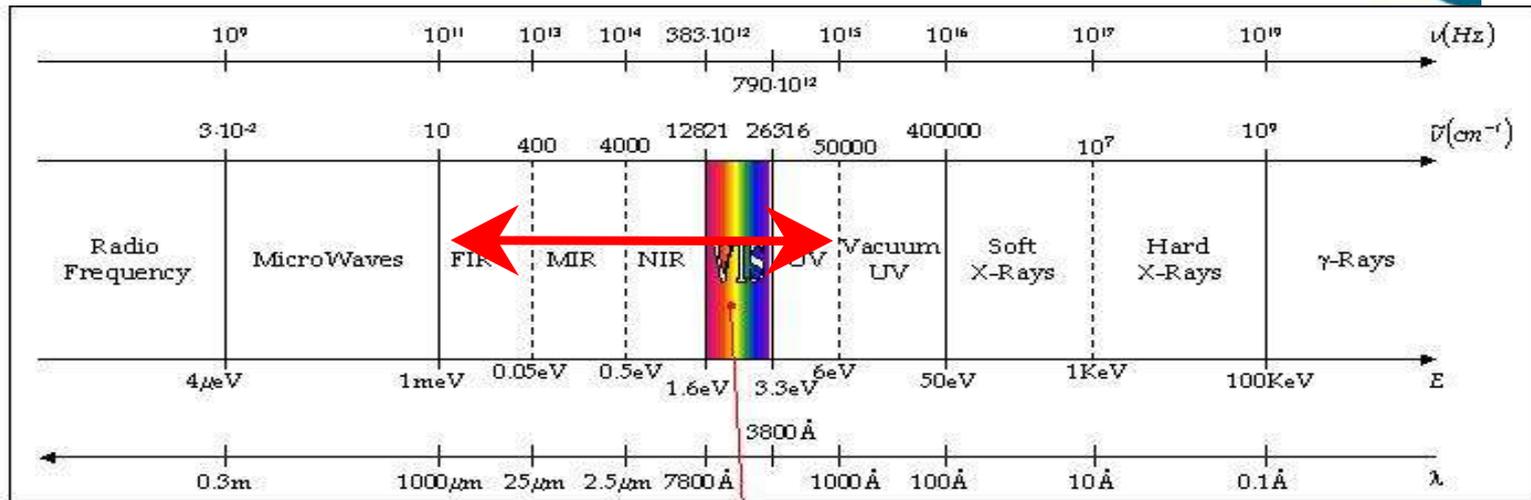
# Valutazione del rischio da agenti fisici alla luce del D.Lgs. 81/2008

## RADIAZIONI OTTICHE

*Pietro Nataletti, Massimo Borra*

*Napoli, 12-16 aprile 2010*

# Radiazione ottica



SPETTRO DELLA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA

DIEGO SALI 07

PARTE A MAGGIOR CONTENUTO ENERGETICO DEL PIU' ESTESO  
SPETTRO ELETTROMAGNETICO NON IONIZZANTE

Radiazioni ottiche

# FREQUENZE OTTICHE

## *(100 nm – 1 mm)*

**Radiazioni ultraviolette (UV)**  
*(100 - 400 nm)*

**UVC (100-280 nm)**

**UVB (280-315 nm)**

**UVA (315-380 nm)**

**Radiazioni visibili (Vis.)**  
*(380 e 780 nm)*

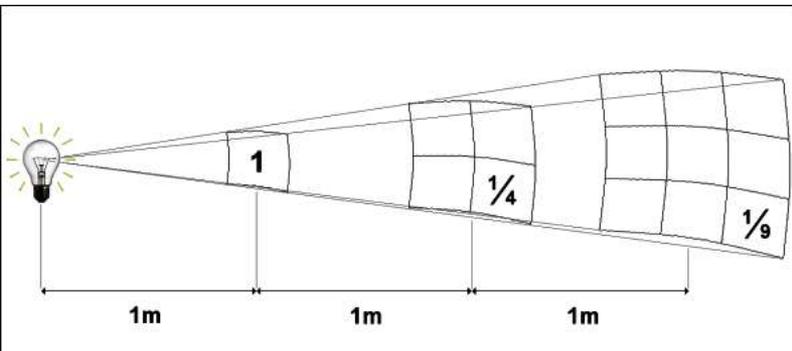
**Radiazioni infrarosse (IR)**  
*Radiazioni termiche*  
*(780 nm e 1 mm)*

**IRA (780-1400 nm)**

**IRB (1400-3 000 nm)**

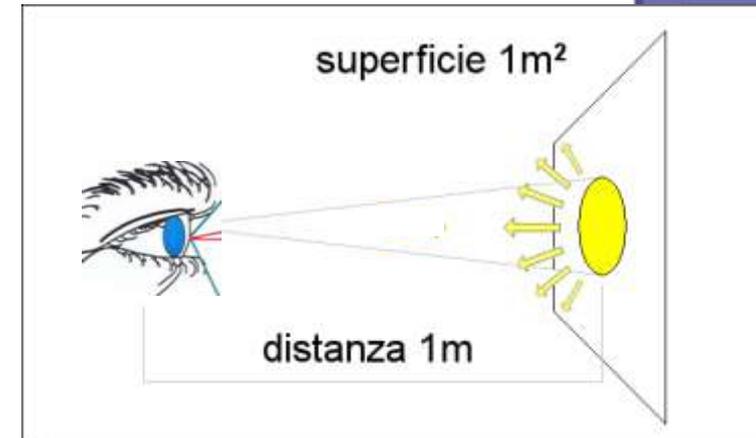
**IRC (3 000 nm -1 mm)**

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



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

Utilizzata per valutare il potenziale di rischio di un fascio di radiazione in regime di funzionamento continuo



*Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale,, n. 101 del 30 aprile 2008 - Serie generale*

*Spediz. abb. post. 45% - art. 2, comma 20/b  
Legge 23-12-1996, n. 662 - Filiale di Roma*

**GAZZETTA**  **UFFICIALE**  
**DELLA REPUBBLICA ITALIANA**

*PARTE PRIMA*

**Roma - Mercoledì, 30 aprile 2008**

SI PUBBLICA TUTTI  
I GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA 70 - 00186 ROMA  
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - LIBRERIA DELLO STATO - PIAZZA G. VERDI 10 - 00198 ROMA - CENTRALINO 06 85081

**N. 108/L**

**DECRETO LEGISLATIVO** 9 aprile 2008, n. 81.

**Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007,  
n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza  
nei luoghi di lavoro.**

Radiazioni ottiche

# Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81

13 titoli e 306 articoli

•51 allegati

parti di interesse per le radiazioni ottiche:

- titolo I "principi comuni"
- titolo VIII "agenti fisici"
- titolo XIII "norme transitorie e finali"

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,

2. Il documento di cui all'articolo 17, comma 1, lettera a), redatto a conclusione della valutazione, deve avere data certa e contenere:

a) una relazione sulla valutazione di tutti i rischi per la sicurezza e la salute durante l'attività lavorativa, nella quale siano specificati i criteri adottati per la valutazione stessa;

3. Il contenuto del documento di cui al comma 2 deve altresì rispettare le indicazioni previste dalle specifiche norme sulla valutazione dei rischi contenute nei successivi titoli del presente decreto.



TITOLO VIII  
AGENTI FISICI

*Capo I*

DISPOSIZIONI GENERALI

Art. 180.

*Definizioni e campo di applicazione*

1. Ai fini del presente decreto legislativo per agenti fisici si intendono il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche, di origine artificiale, il microclima e le atmosfere iperbariche che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.

2. Fermo restando quanto previsto dal presente capo, per le attività comportanti esposizione a rumore si applica il capo II, per quelle comportanti esposizione a vibrazioni si applica il capo III, per quelle comportanti esposizione a campi elettromagnetici si applica il capo IV, per quelle comportanti esposizione a radiazioni ottiche artificiali si applica il capo V.

3. La protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e sue successive modificazioni.

## ***Articolo 182***

### ***Disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi***

1. Tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare il rischio alla fonte, i rischi derivanti dall'esposizione agli agenti fisici sono eliminati alla fonte o ridotti al minimo. La riduzione dei rischi derivanti dall'esposizione agli agenti fisici si basa sui principi generali di prevenzione contenuti nel presente decreto.

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

***Articolo 183***

***Lavoratori particolarmente sensibili***

1. Il datore di lavoro adatta le misure di cui all'articolo 182 alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio, incluse le donne in stato di gravidanza ed i minori.

**Articolo 184**

**Informazione e formazione dei lavoratori**

1. Nell'ambito degli obblighi di cui agli articoli 36 e 37, il datore di lavoro provvede affinché i lavoratori esposti a rischi derivanti da agenti fisici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi con particolare riguardo:

- a) alle misure adottate in applicazione del presente Titolo;
- b) all'entità e al significato dei valori limite di esposizione e dei valori di azione definiti nei Capi II, III, IV e V, nonché ai potenziali rischi associati;
- c) ai risultati della valutazione, misurazione o calcolo dei livelli di esposizione ai singoli agenti fisici;
- d) alle modalità per individuare e segnalare gli effetti negativi dell'esposizione per la salute;
- e) alle circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria e agli obiettivi della stessa;
- f) alle procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione;
- g) all'uso corretto di adeguati dispositivi di protezione individuale e alle relative indicazioni e controindicazioni sanitarie all'uso.

# Titolo VIII

## Capo V

### Radiazioni Ottiche

#### Capo V

PROTEZIONE DEI LAVORATORI DAI RISCHI  
DI ESPOSIZIONE A RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

Art. 213.

#### Campo di applicazione

1. Il presente capo stabilisce prescrizioni minime di protezione dei lavoratori contro i rischi 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 sugli occhi e sulla cute.

Art. 214.

#### Definizioni

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

a) radiazioni ottiche: tutte le radiazioni elettromagnetiche nella gamma di lunghezza d'onda compresa tra 100  $\mu\text{m}$  e 1 mm. Lo spettro delle radiazioni ottiche si suddivide in radiazioni ultraviolette, radiazioni visibili e radiazioni infrarosse:

1) radiazioni ultraviolette: radiazioni ottiche a lunghezza d'onda compresa tra 100 e 400  $\mu\text{m}$ . La banda degli ultravioletti è suddivisa in UVA (315-400  $\mu\text{m}$ ), UVB (280-315  $\mu\text{m}$ ) e UVC (100-280  $\mu\text{m}$ );

2) radiazioni visibili: radiazioni ottiche a lunghezza d'onda compresa tra 380 e 780  $\mu\text{m}$ ;

3) radiazioni infrarosse: radiazioni ottiche a lunghezza d'onda compresa tra 780  $\mu\text{m}$  e 1 mm. La regione degli infrarossi è suddivisa in IRA (780-1400  $\mu\text{m}$ ), IRB (1400-3000  $\mu\text{m}$ ) e IRC (3000  $\mu\text{m}$ -1 mm);

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

**Art. 215.**

*Valori limite di esposizione*

1. I valori limite di esposizione per le radiazioni incoerenti sono riportati nell'allegato XXXVII, parte I.
2. I valori limite di esposizione per le radiazioni laser sono riportati nell'allegato XXXVII, parte II.



## **Titolo VIII**

### **Capo V**

# **Radiazioni Ottiche**

## **Art. 216.**

### *Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi*

1. Nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 181, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura e/o calcola i livelli delle radiazioni ottiche a cui possono essere esposti i lavoratori. La

2. Il datore di lavoro, in occasione della valutazione dei rischi, presta particolare attenzione ai seguenti elementi:

*a)* il livello, la gamma di lunghezze d'onda e la durata dell'esposizione a sorgenti artificiali di radiazioni ottiche;

*c)* qualsiasi effetto sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio;

*d)* qualsiasi eventuale effetto sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori risultante dalle interazioni sul posto di lavoro tra le radiazioni ottiche e le sostanze chimiche foto-sensibilizzanti;

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

*Disposizioni miranti ad eliminare o a ridurre i rischi*

1. Se la valutazione dei rischi di cui all'articolo 17, comma 1, lettera a), mette in evidenza che i valori limite d'esposizione possono essere superati, il datore di lavoro definisce e attua un programma d'azione che comprende misure tecniche e/o organizzative destinate ad evitare che l'esposizione superi i valori limite, tenendo conto in particolare:

- a) di altri metodi di lavoro che comportano una minore esposizione alle radiazioni ottiche;
- b) della scelta di attrezzature che emettano meno radiazioni ottiche, tenuto conto del lavoro da svolgere;
- c) delle misure tecniche per ridurre l'emissione delle radiazioni ottiche, incluso, quando necessario, l'uso di dispositivi di sicurezza, schermatura o analoghi meccanismi di protezione della salute;
- e) della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro;
- f) della limitazione della durata e del livello dell'esposizione;
- g) della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuale:

**Art. 218.**

*Sorveglianza sanitaria*

1. La sorveglianza sanitaria viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità inferiore decisa dal medico competente con particolare riguardo ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio, tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi trasmessi dal datore di lavoro. La sorveglianza

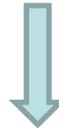
# EFFETTI BIOLOGICI

Radiazioni ottiche

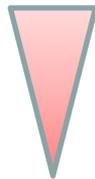
La Radiazione Ottica, come tutte le onde elettromagnetiche, viene sia **trasmessa** che **riflessa** quando incontra un “corpo” materiale.

La radiazione **trasmessa** sarà quella che verrà assorbita dalla materia biologica.

La Radiazione Ottica ha una limitata capacità di penetrazione:



L'assorbimento di energia e i conseguenti effetti sono allora limitati a:

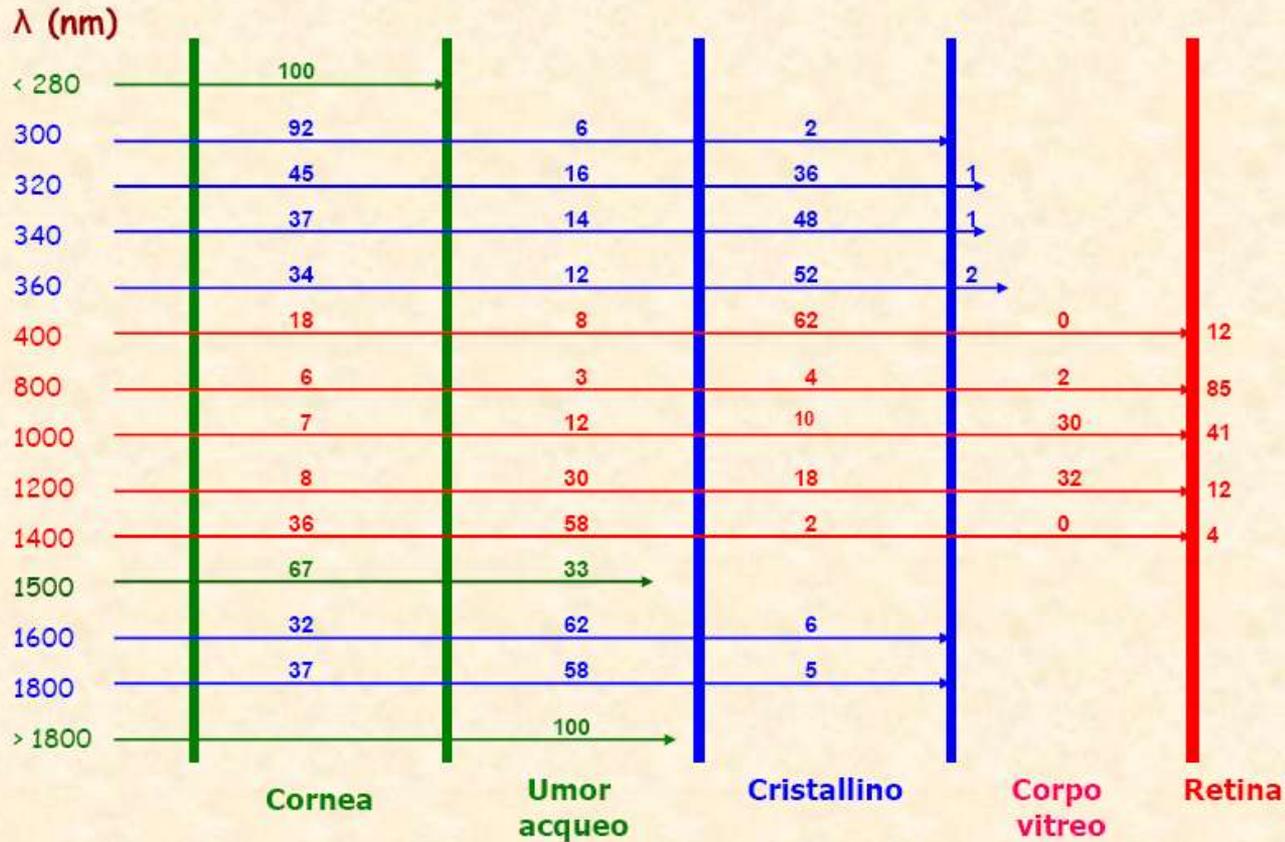


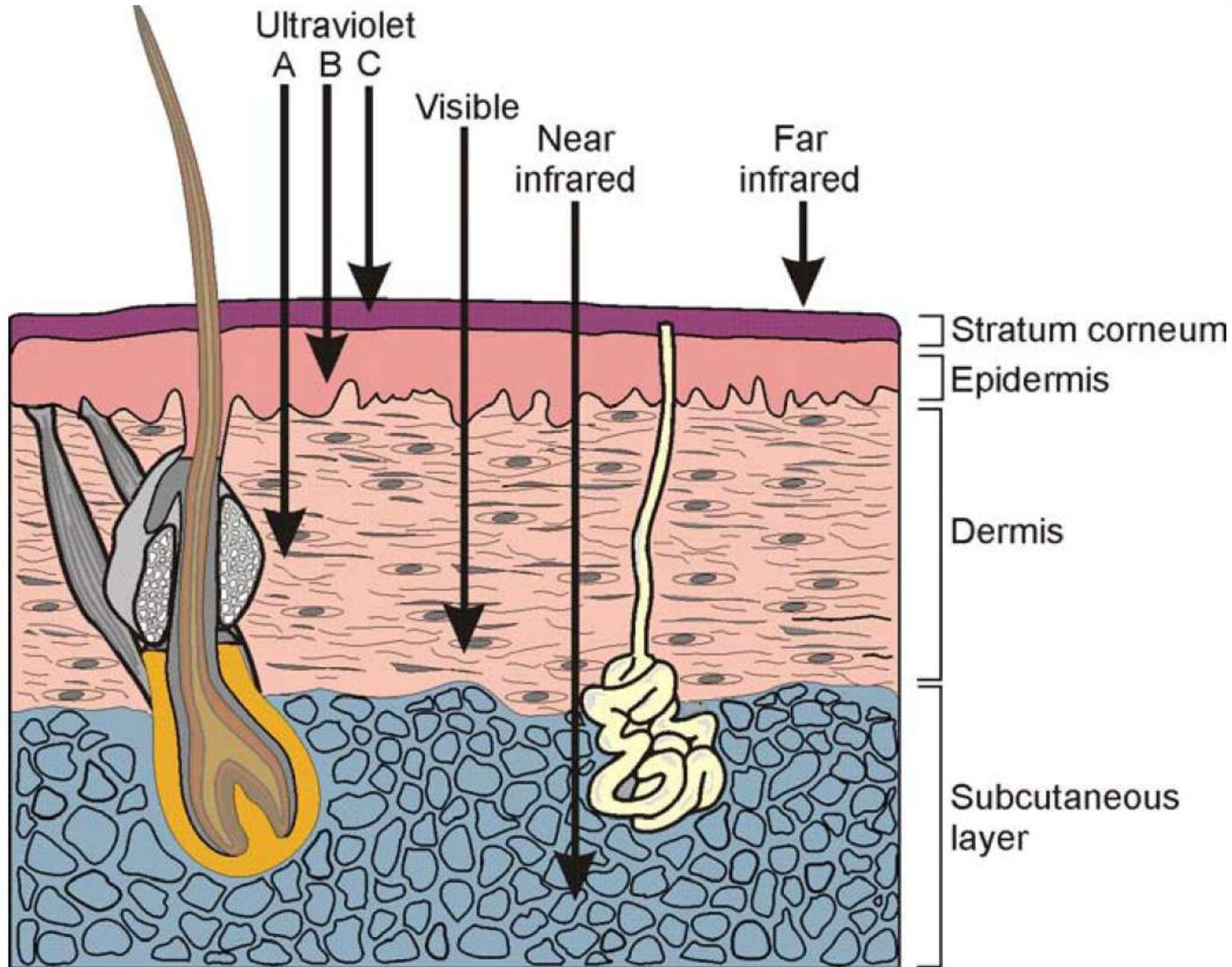
**OCCHIO**



**CUTE**

**Assorbimento % della radiazione ottica da parte delle diverse strutture oculari (da Campurra, 2001 – modificato)**

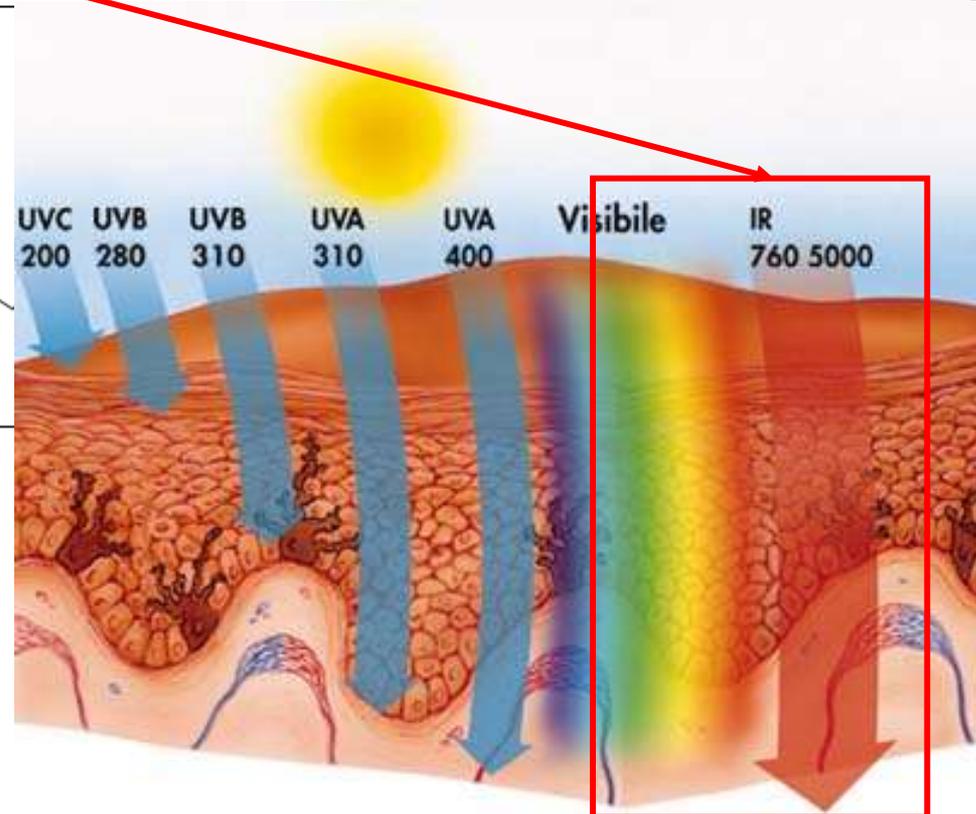
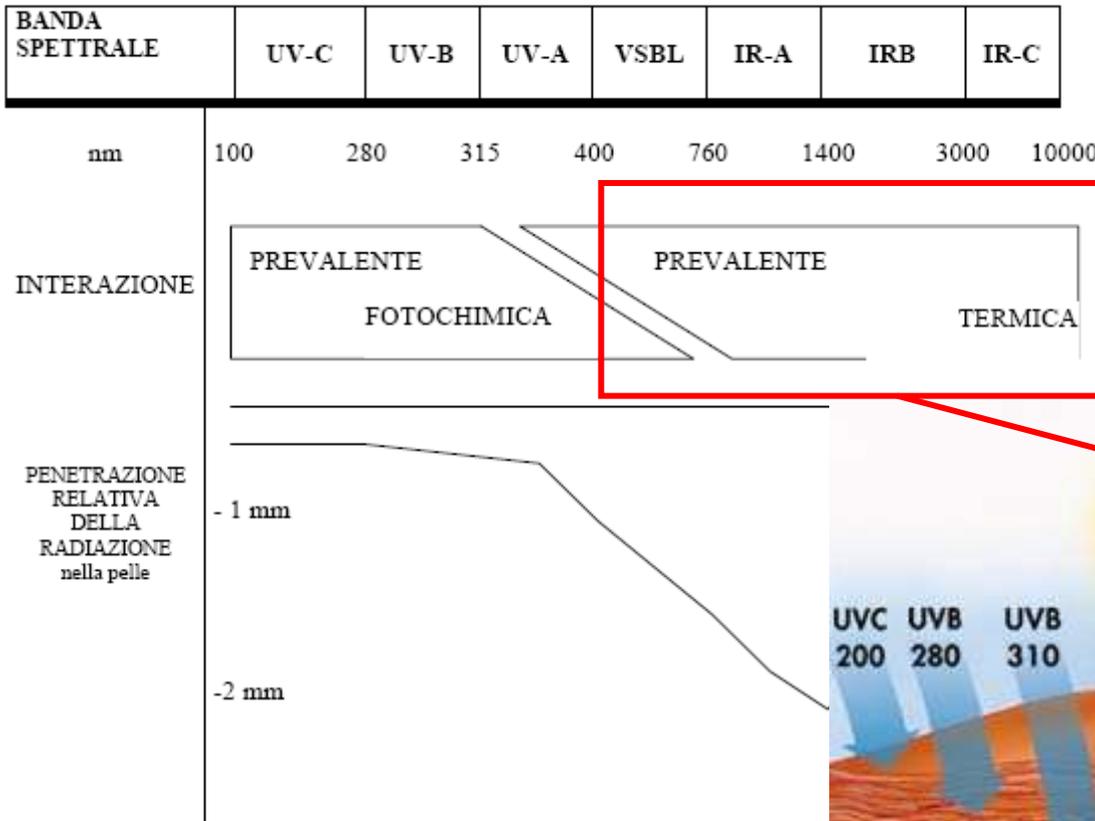




Radiazioni ottiche

# Effetti biologici della radiazione ottica

## Effetti termici

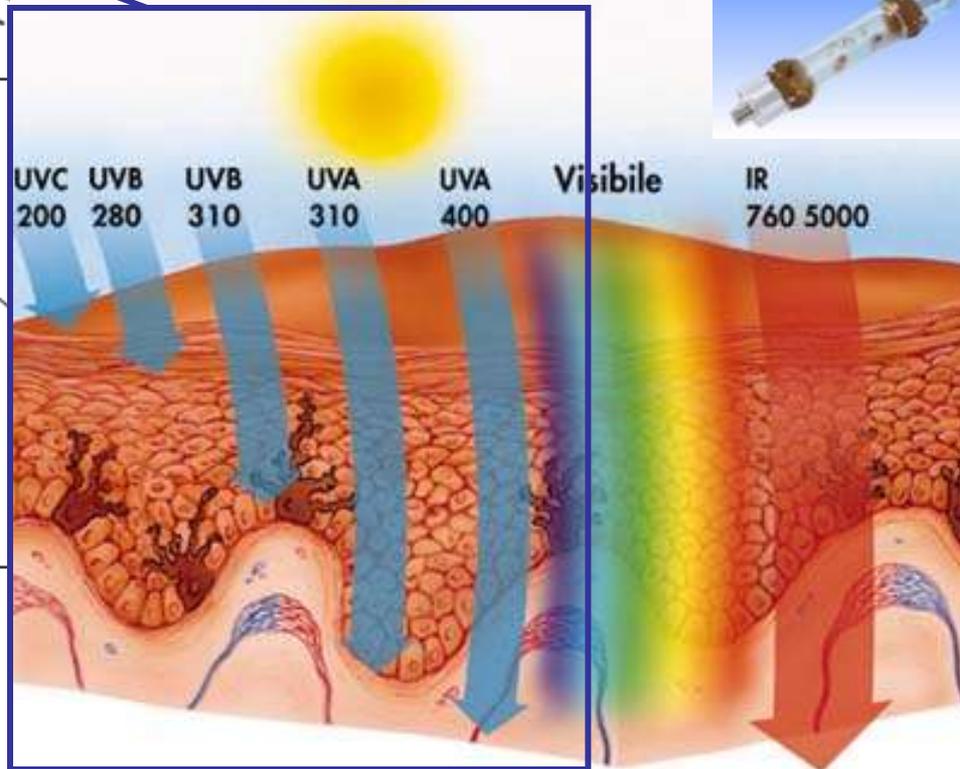


# Effetti biologici della radiazione ottica

Effetti fotochimici



BANDA SPETTRALE	UV-C	UV-B	UV-A	VSBL	IR-A	IRB	IR-C
nm	100	280	315	400	760	1400	3000 10000
INTERAZIONE	PREVALENTE FOTOCHIMICA			PREVALENTE			
PENETRAZIONE RELATIVA DELLA RADIAZIONE nella pelle	- 1 mm			- 2 mm			



# Radiazione UV

Radiazioni ottiche

# EFFETTI DELLA RADIAZIONE UV SULL'UOMO



## ESPOSIZIONE ALLA RADIAZIONE UV



### EFFETTI DETERMINISTICI

- Esiste una **SOGLIA** per il fenomeno
- La gravità aumenta con l'esposizione

- **Eritema (200-400 nm)**
- **Fotocheratite e Fotocongiuntivite (180 -330 nm)**
- **Danni al cristallino (180 -330 nm)**

### EFFETTI STOCASTICI

- **Non esiste una SOGLIA**
- La **PROBABILITA'** che l'effetto si verifichi aumenta con l'esposizione

- **Tumori cutanei (270 – 400 nm)**
- **Fotoelastosi (220 – 440 nm)**

# Occhio

## Fotocheratocongiuntivite

$\lambda < 300 \text{ nm}$ , max efficacia a 270 nm

Latenza: 0,5 – 24 h (di solito 6 – 12 h),  
inversamente proporzionale alla dose

Soglie: UVB 4 – 14 mJ/cm<sup>2</sup>, UVA > 10 J/cm<sup>2</sup>

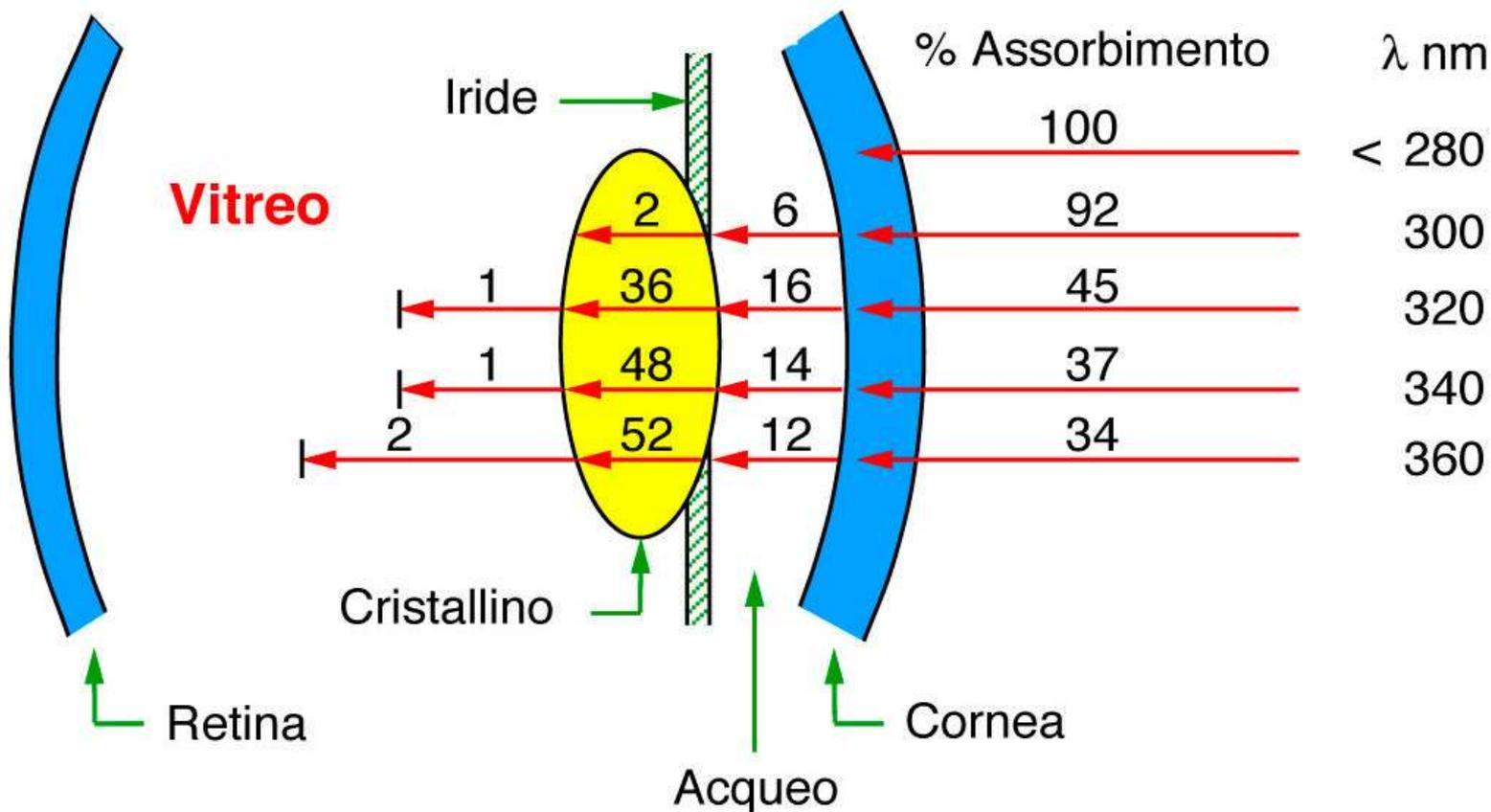
## Opacità della lente (transitorie e permanenti)

Indotte da UV > 300 nm nei primati

Soglie  Opacità transitorie: 0,15 - 12,6 J/cm<sup>2</sup>  
 Opacità permanenti: tipicamente il doppio

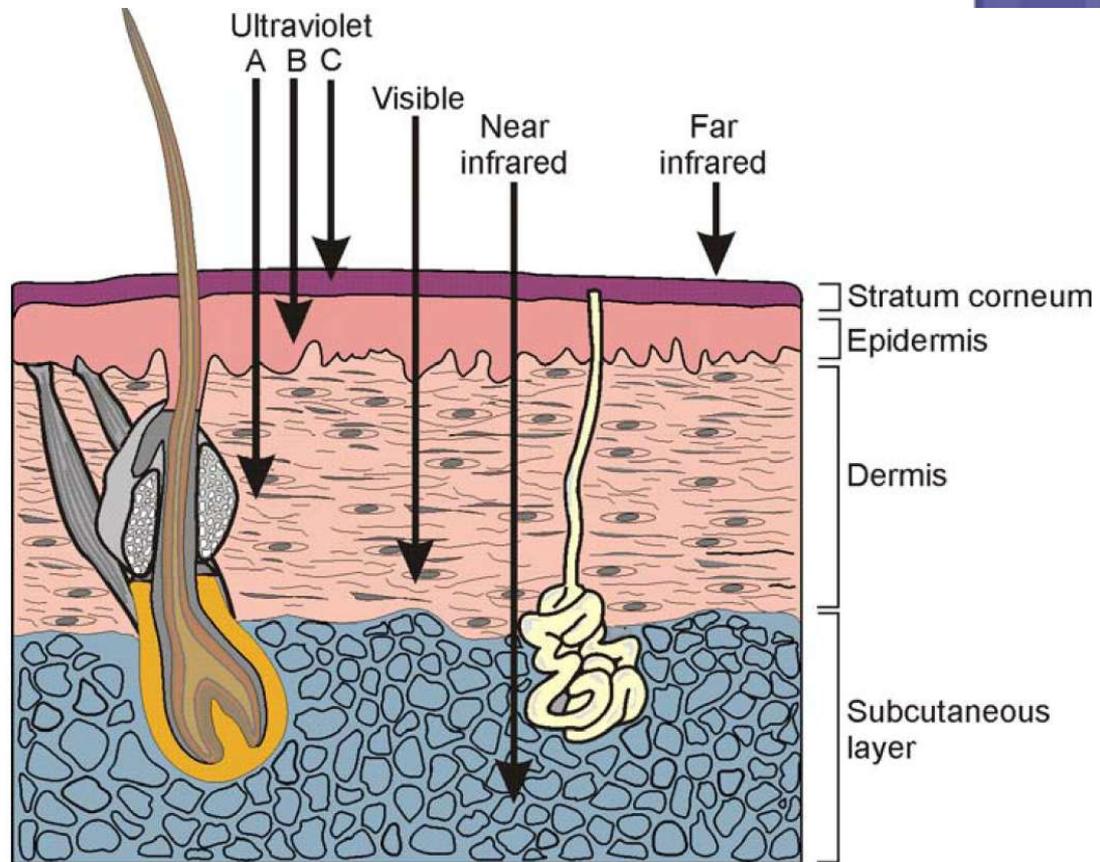
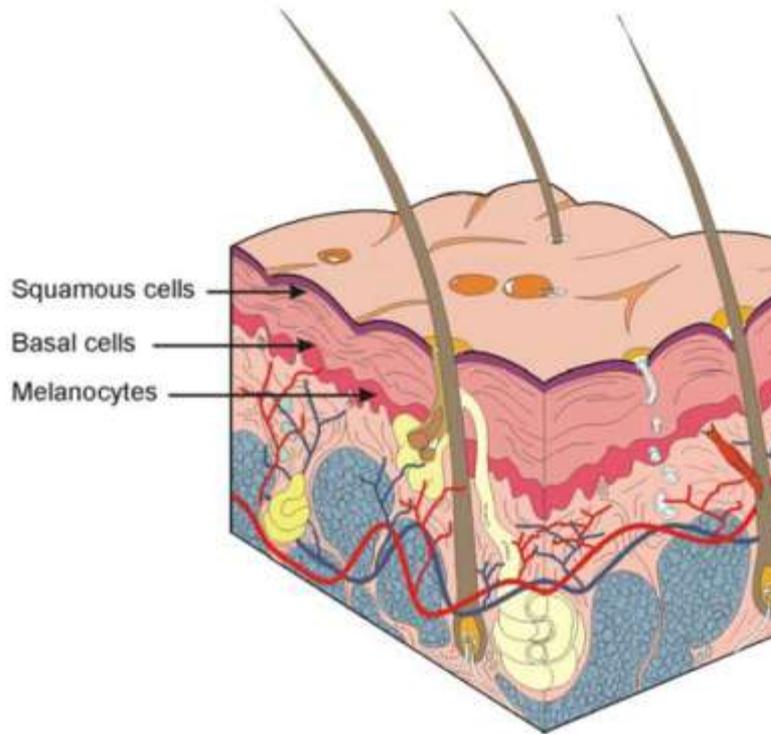
Da C. Grandi - ISPESL

# AUMENTARE LA CONOSCENZA: ASSORBIMENTO DELLA RADIAZIONE UV NELLE STRUTTURE OCULARI



Radiazioni ottiche

# Cute



Radiazioni ottiche

# Eritema

**Comparsa:** alcune ore dopo l'esposizione, **latenza inversamente proporzionale alla dose**

## *Spettro d'azione*

Efficacia di induzione dell'effetto in funzione della lunghezza d'onda – **efficacia biologica relativa**. Lo spettro d'azione dell'eritema varia in funzione del metodo di valutazione

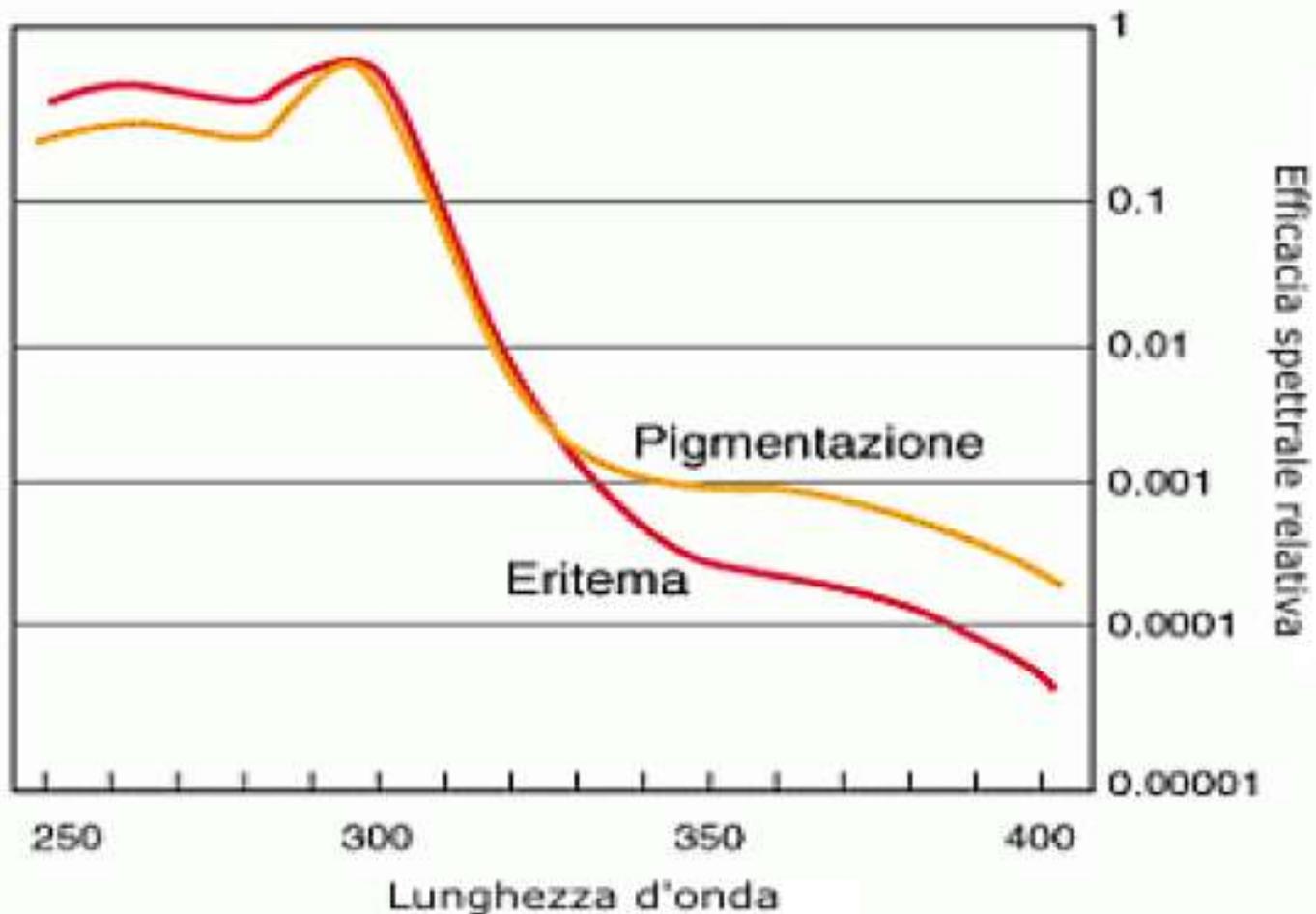
**Massima efficacia biologica della radiazione UV per  $\lambda < 300$  nm**

**Forte caduta (fino a 3 ordini di grandezza) da 300 a 330 nm**

**Perdita quasi completa di efficacia oltre i 340 – 350 nm**

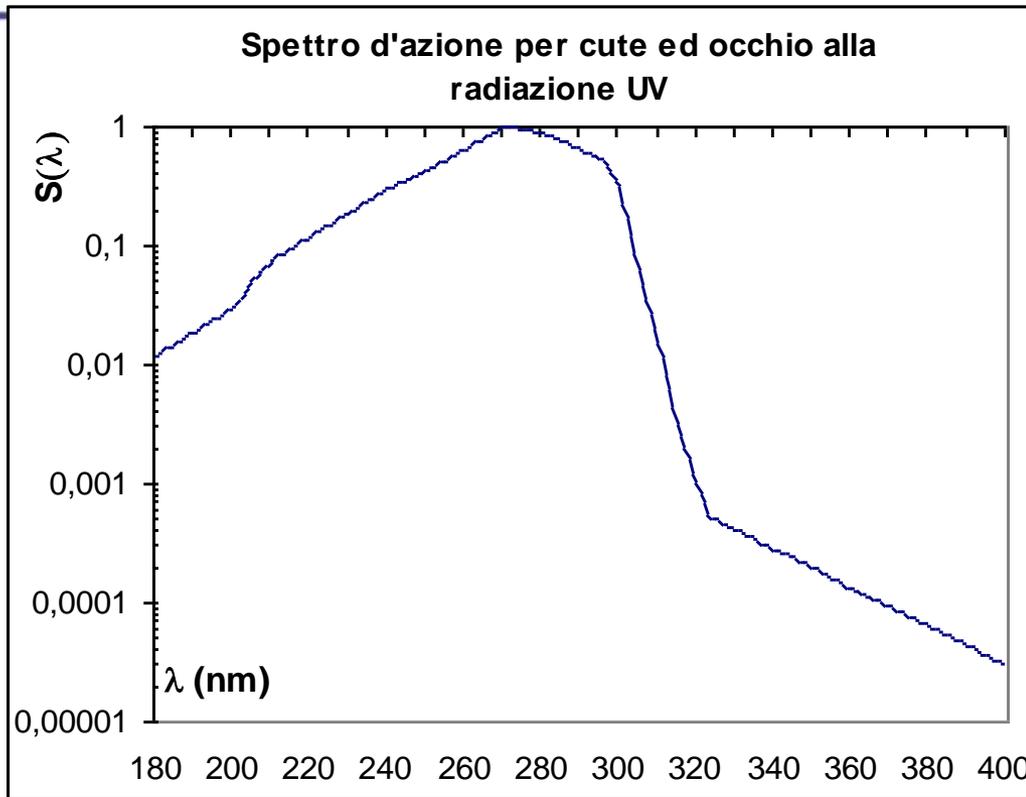
Da C. Grandi - ISPESL

Spettri d'azione dell'eritema e della pigmentazione  
in un soggetto di media fotosensibilità



Da C. Grandi - ISPESL

# Lo spettro d'azione $S(\lambda)$ 180 – 400 nm



- $S(\lambda)$  *fattore di peso spettrale*: tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda degli effetti sulla salute delle radiazioni UV sull'occhio e sulla cute (tabella 1.2) [adimensionale];
- $B(\lambda)$  *ponderazione spettrale*: tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda della lesione fotochimica provocata all'occhio dalla radiazione di luce blu (Tabella 1.3) [adimensionale];
- $R(\lambda)$  *fattore di peso spettrale*: tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda delle lesioni termiche provocate sull'occhio dalle radiazioni visibili e IRA (tabella 1.3) [adimensionale];

- Uno spettro d'azione e' il grafico del reciproco del valore dell'esposizione radiante che produce un dato effetto biologico ad ogni lunghezza d'onda.
- Tutti I dati in tale curva sono normalizzati al valore corrispondente alla lunghezza d'onda a cui si ha la massima efficacia biologica della radiazione
- Per la radiazione ultravioletta UV l'effetto biologico considerato e' l'eritema e lo spettro d'azione  $S(\lambda)$ , definito dall'ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection), dalla CIE (Commision Internationale Eclairage) e dall'IEC (International Elecrtotechnical Commision), e' una curva composta ottenuta da valutazioni statistiche effettuate su molte ricerche relative alla minima esposizione radiante agli UV necessaria per causare l'eritema alle varie lunghezze d'onda comprese tra 180 e 400 nm.

# ***Melanoma maligno***

**Negli ultimi 40 anni: raddoppio dell'incidenza ad ogni decade**

**In Europa incidenza particolarmente elevata in Scandinavia**

**L'incidenza è inaspettatamente bassa nei lavoratori all'aperto**

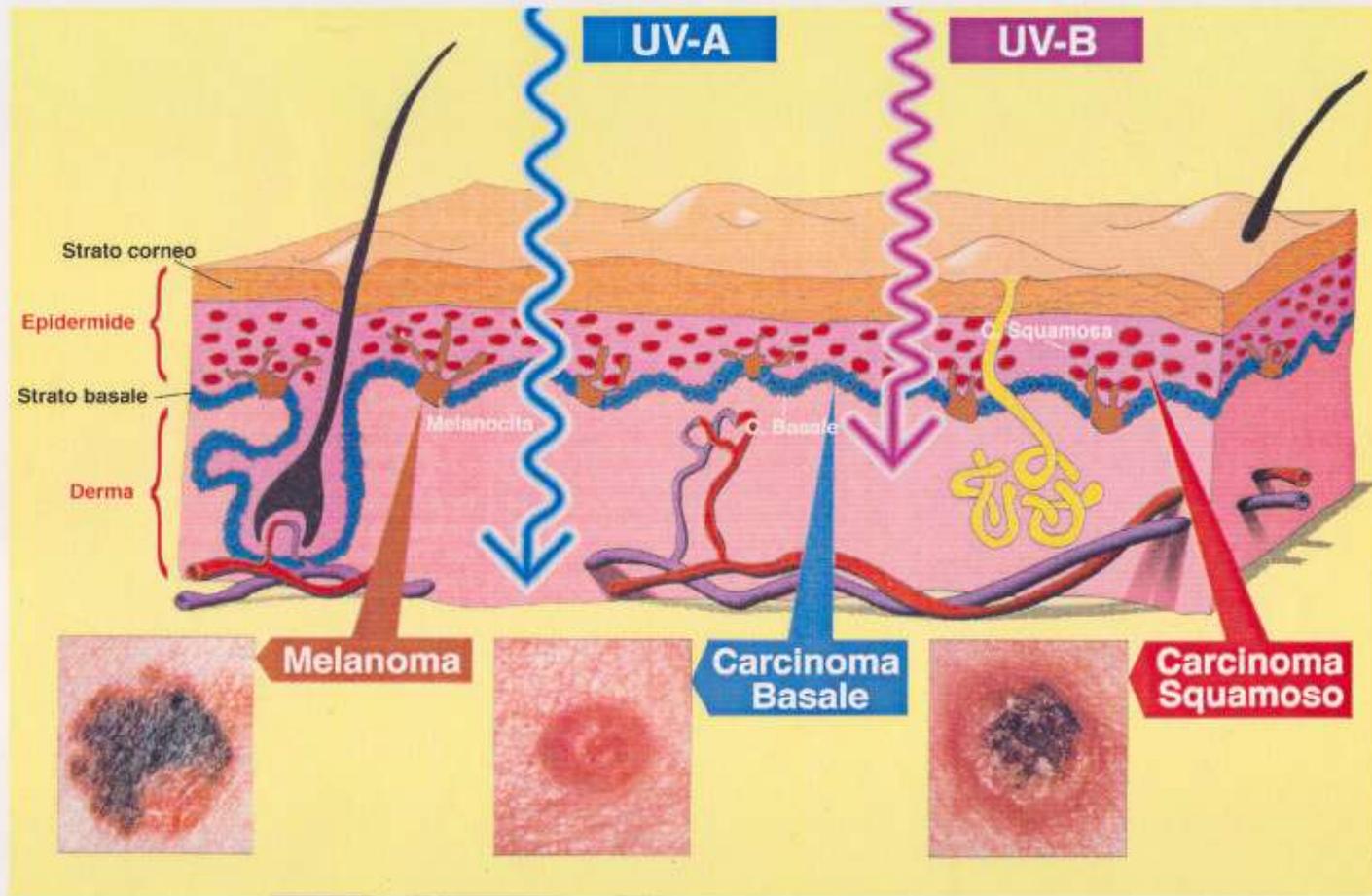
**Zone anatomiche interessate (quali il dorso) per lo più non esposte al sole**

**Esposizione intermittente al sole forse importante fattore di rischio per il melanoma**

**Storia di scottature solari spesso associata con lo sviluppo del tumore**

**Altri fattori di rischio: fototipo chiaro, casi di melanoma in famiglia, numero di nevi, dimensioni dei nevi, nevi congeniti giganti**

## RADIAZIONE ULTRAVIOLETTA E TUMORI CUTANEI



Da C. Grandi - ISPESL

# Radiazione visibile

Da C. Grandi - ISPESL

Radiazioni ottiche

**Raggiunge direttamente la retina grazie alla trasparenza dei mezzi diottrici (cornea, cristallino, umor acqueo e corpo vitreo)**

**La penetrazione attraverso la cute della luce è funzione della lunghezza d'onda:**

- **minima per il blu e il verde**
- **massima per il rosso**

**Effetti mediati da meccanismo essenzialmente **fotochimico****



**per elevate intensità e brevi durate può intervenire anche un **meccanismo termico** (relativamente indipendente dalla lunghezza d'onda)**

**Fotoretinite**: danno alla retina da luce visibile su base fotochimica

Massima efficacia attribuibile alla **luce violetta e blu** (*blue light hazard*)

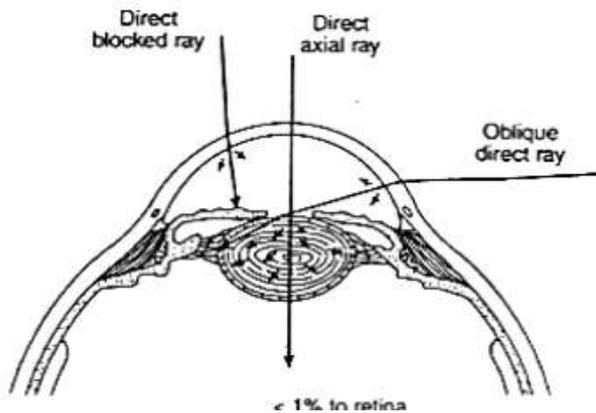
Spettro d'azione compreso nella banda **380 – 550 nm**, con **massimo di efficacia a 440 nm**

**Regola della reciprocità**: lo stesso effetto può essere indotto da sorgenti di forte intensità per brevi tempi di esposizione o da sorgenti a intensità inferiore per periodi più prolungati

## ***Ipotizzati due tipi di danno alla retina .....***

***Tipo 1.*** Esposizioni **brevi di elevata irradianza**, danno **localizzato** (soprattutto a livello maculare), sbiancamento del pigmento visivo, danno potenziato dall'**iperossia**

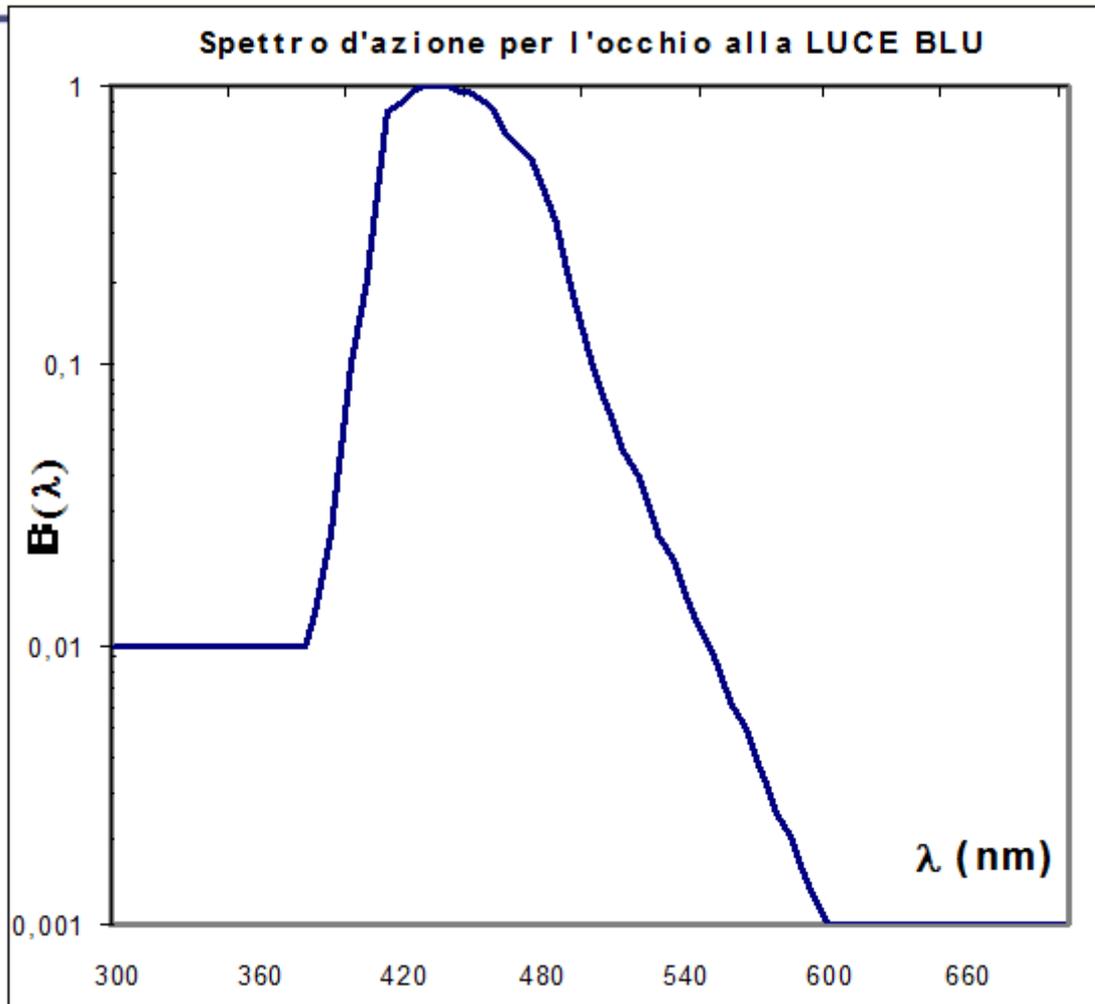
***Tipo 2.*** Esposizioni **lunghe (ore o giorni) a irradianze non elevate**: interessati essenzialmente i segmenti esterni dei coni e coinvolgimento di **ampie regioni della retina**. Può comportare **cecità ai colori** (es. oculisti che utilizzano spesso il laser ad argon - luce verde-blu)



**Fig. 5 L'effetto Coroneo.**  
(Da D. H. Sliney "Ultraviolet radiation effects upon the eye: problems of dosimetry" in *Radiation Protection Dosimetry* Vol. 72, No. 3-4, pp.197-206 (1997))

Da C. Grandi - ISPEL

# Lo spettro d'azione $B(\lambda)$ 300 - 700 nm



- $B_{\lambda}$  è definito come **ponderazione spettrale** che tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda della **lesione fotochimica** provocata all'occhio dalla radiazione di **luce blu**

**Cute**

***Fotodermatosi* su base tossica o allergica**

**$\Lambda$  a potere fotosensibilizzante **< 700 nm.****

**Le manifestazioni di natura allergica possono interessare anche **sedi non fotoesposte** (***eczema fotoallergico***) e in alcuni casi sono passibili di grave evoluzione**

# Radiazione infrarossa

Da C. Grandi - ISPESL

Radiazioni ottiche

**Trasmessa dai tessuti per  $\lambda < 1500 \text{ nm}$ .**

**A  $\lambda > 1500 \text{ nm}$  gli effetti a carico dell'occhio e della cute sono dovuti alla deposizione superficiale di energia termica e al trasporto di calore in profondità per conduzione**

**Lavoratori del vetro e dell'acciaio esposti in ambienti caldi a emissioni infrarosse dai prodotti di lavorazione, con irradianze nell'ordine di  $80 - 400 \text{ mW/cm}^2$  per 10 - 15 anni hanno riportato lo sviluppo di opacità della lente**

Esposizioni elevate a radiazione IR medio e lontano ( $\lambda > 1800 \text{ nm}$ ) possono comportare **danno alla cornea** (*ustione*).

Esposizioni ripetute e croniche a **IRA** si possono tradurre in **opacità del cristallino e cataratta** (per trasferimento al cristallino di parte dell'energia termica assorbita a livello dell'iride)

Anche **IRB** e **IRC** possono avere **effetto catarattogenico**, sulla base di un meccanismo di trasporto del calore per conduzione dalla cornea al cristallino attraverso l'umor acqueo

**L'IRA può raggiungere la retina** e, in funzione della dose, indurre danno con meccanismo termico

**Cute**

**Effetti variabili dalla risposta fisiologica alla lesione patologica in funzione della dose:**

**Vasodilatazione**

**Eritema**

**Bruciore acuto**

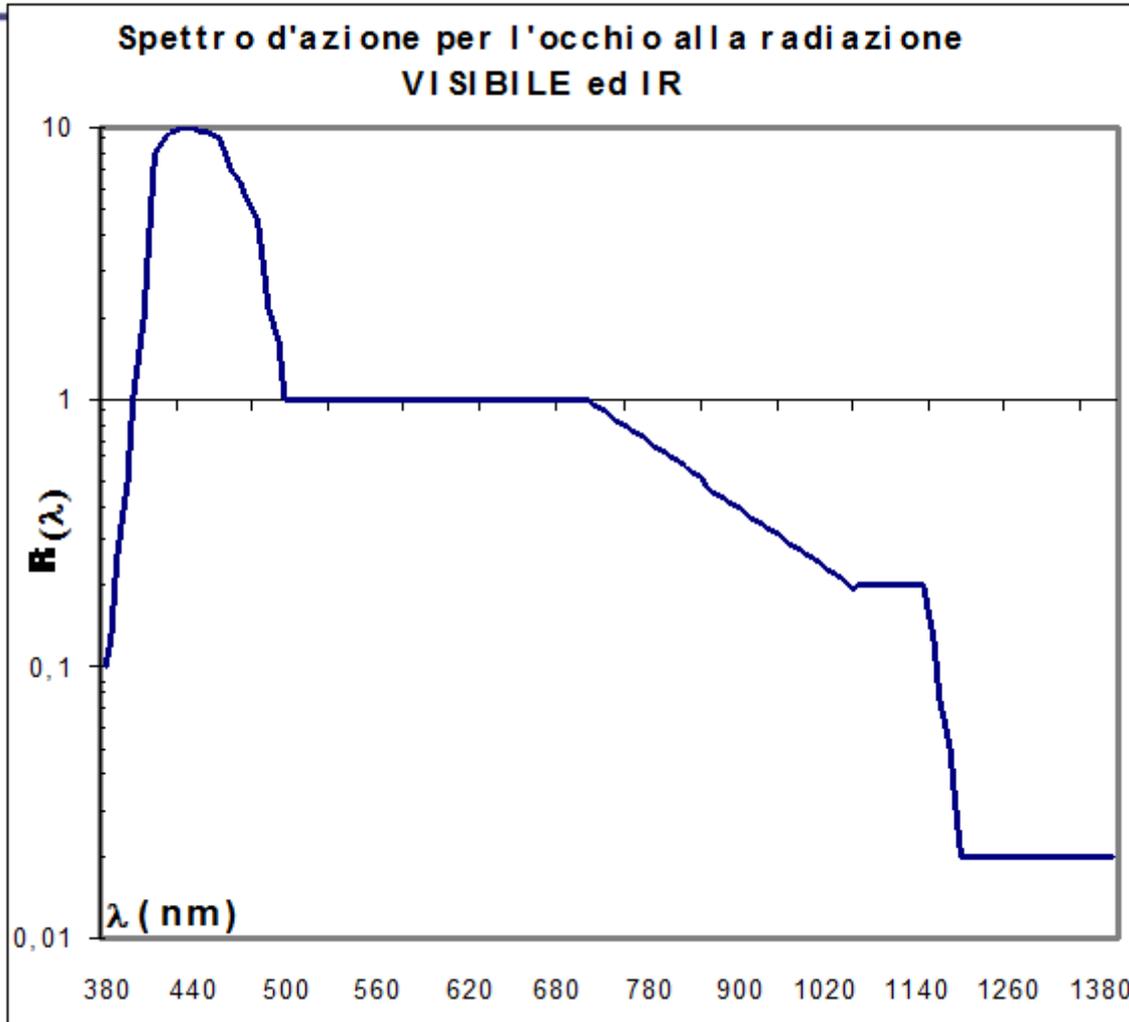
**Flittene** (formazione di vescicole)

**Iperpigmentazione e infiammazione cronica**  
(per esposizioni ripetute)

**Classica patologia da ustioni**

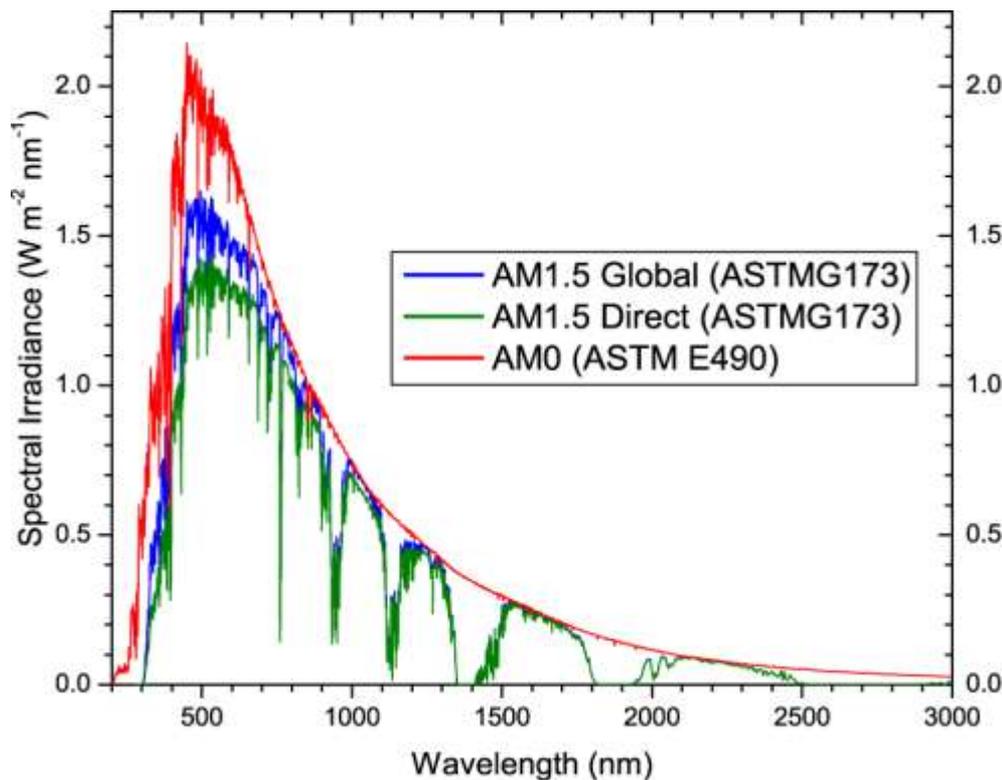
Da C. Grandi - ISPESL

# Lo spettro d'azione $R(\lambda)$ 380 - 1400 nm



- $R_\lambda$  è definito come **fattore di peso spettrale** che tiene conto della dipendenza dalla lunghezza d'onda delle **lesioni termiche** provocate sull'occhio dalle **radiazioni visibili e IRA**

$E_\lambda(\lambda, t)$ ,  $E_\lambda$  *irradianza spettrale o densità di potenza spettrale*: la potenza radiante incidente per unità di area su una superficie, espressa in watt su metro quadrato per nanometro [ $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ ]; i valori di  $E_\lambda(\lambda, t)$  ed  $E_\lambda$  sono il risultato di misurazioni o possono essere forniti dal fabbricante delle attrezzature;

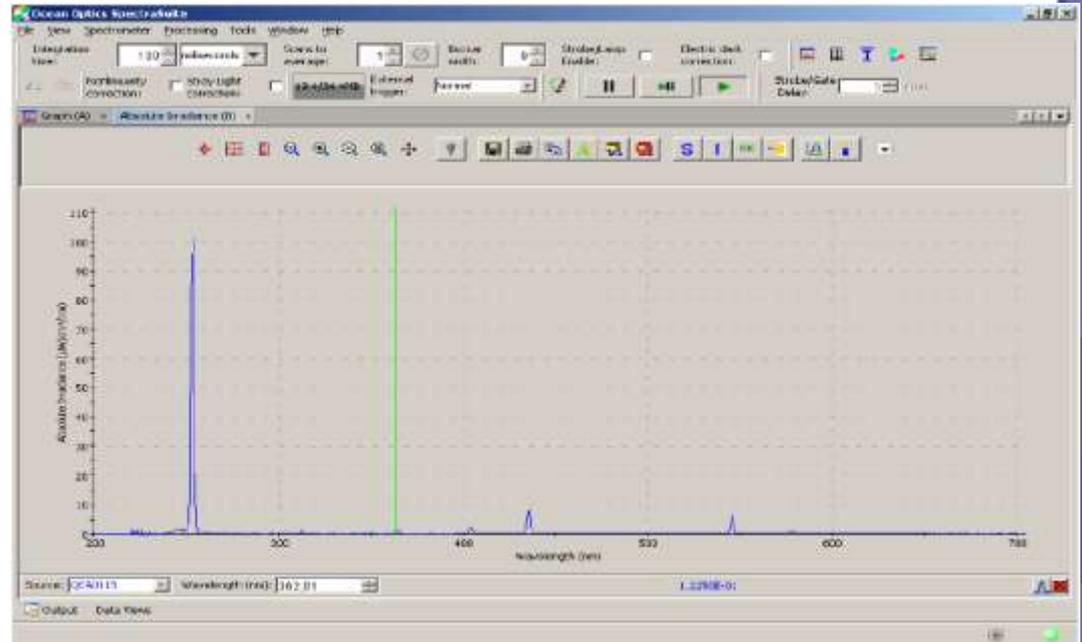
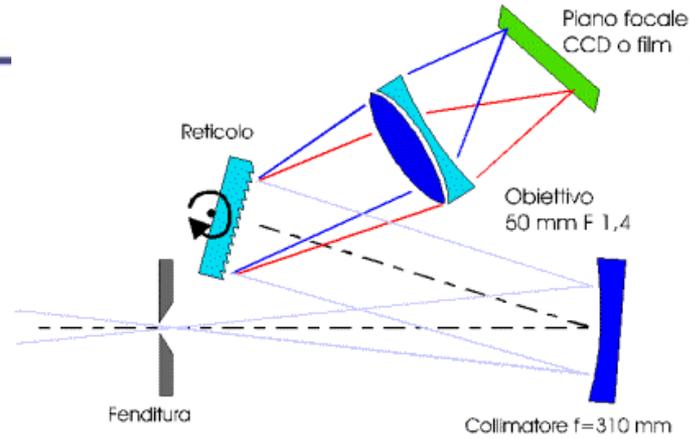


H *esposizione radiante*: integrale nel tempo dell'irradianza, espressa in joule su metro quadrato [ $\text{J m}^{-2}$ ];

# STRUMENTI E TECNICHE DI MISURA

Radiazioni ottiche

# Spettroradiometro



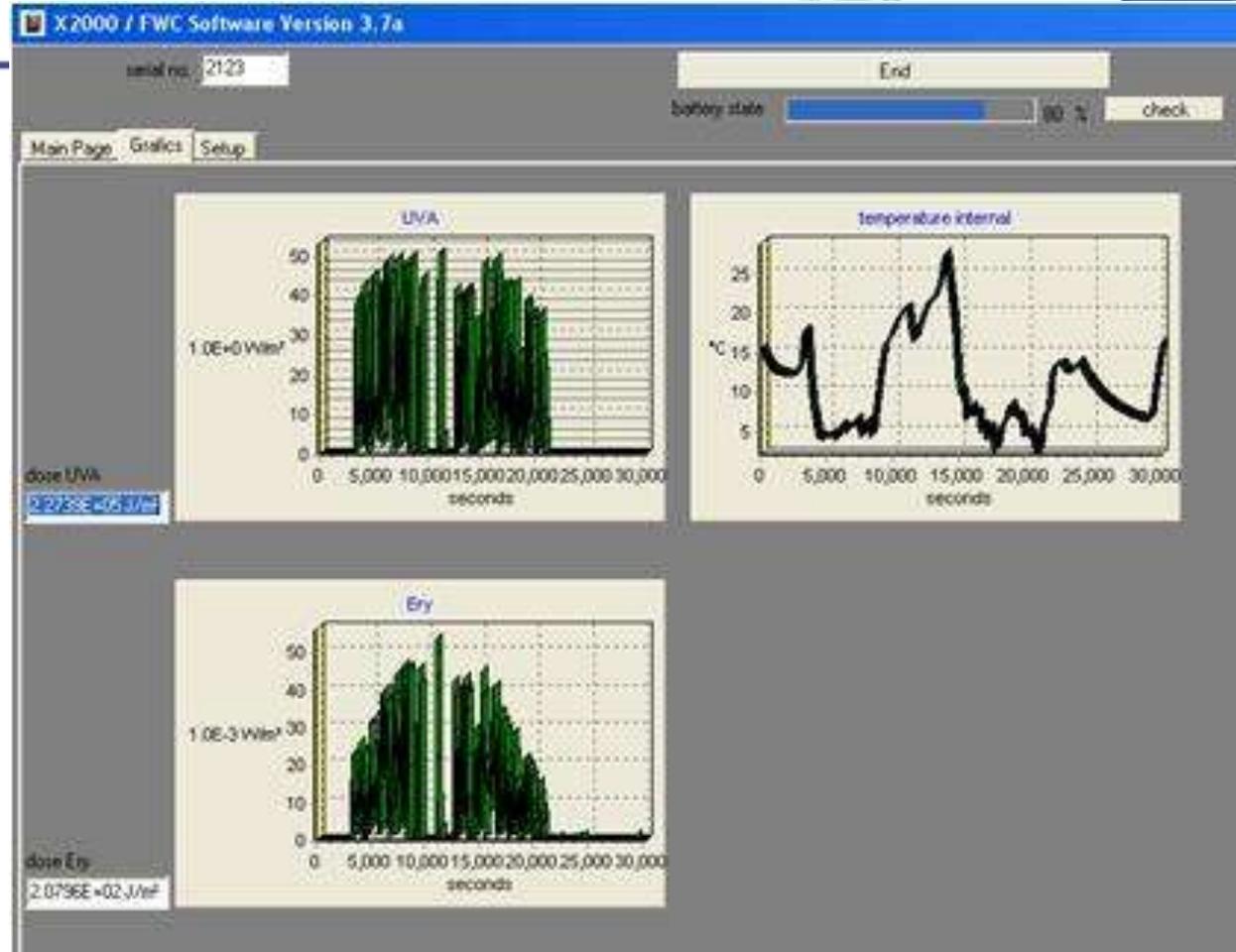
Radiazioni ottiche

# La strumentazione per la dosimetria personale: **DOSIMETRI ELETTRONICI**



## **DOSIMETRI ELETTRONICI**

**Sistemi a fotodiode corredato di filtri ottici la cui risposta approssima lo spettro d'azione dell'effetto biologico che si vuole studiare. Permettono di ricavare direttamente la dose efficace  $H_{eff}$  in un punto del corpo relativa ad un tempo di esposizione  $t$ .**



Ve ne sono di vario tipo (opportunamente filtrati per riprodurre i diversi spettri d'azione). Sono radiometri a larga banda miniaturizzati e integrati con un data logger. Forniscono la time-history dell'irradianza efficace e il dato integrato di dose.

Radiazioni ottiche

# ALLEGATO XXXVII del D.Lgs. N.81/08

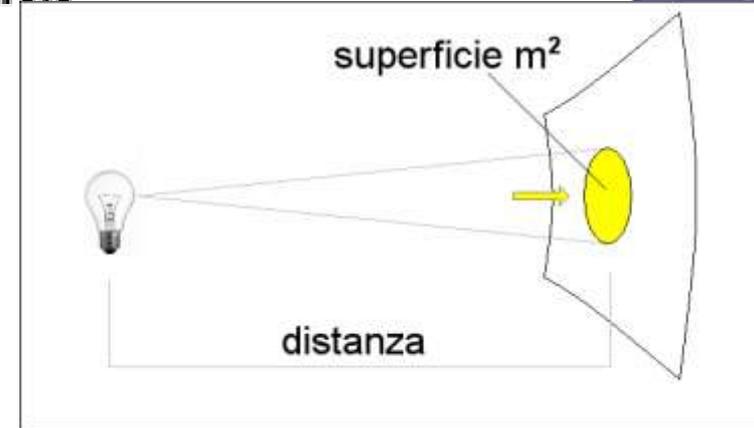
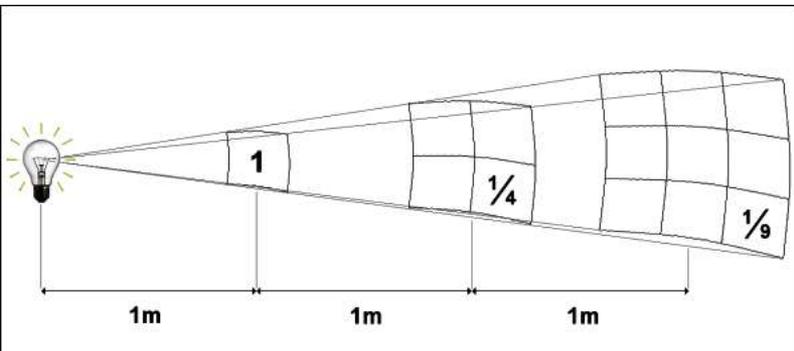
## Parte I

I valori limite di esposizione alle radiazioni ottiche, pertinenti dal punto di vista biofisico, possono essere determinati con le formule seguenti. Le formule da usare dipendono dal tipo della radiazione emessa dalla sorgente e i risultati devono essere comparati con i corrispondenti valori limite di esposizione indicati nella tabella 1.1. Per una determinata sorgente di radiazioni ottiche possono essere pertinenti più valori di esposizione e corrispondenti limiti di esposizione.

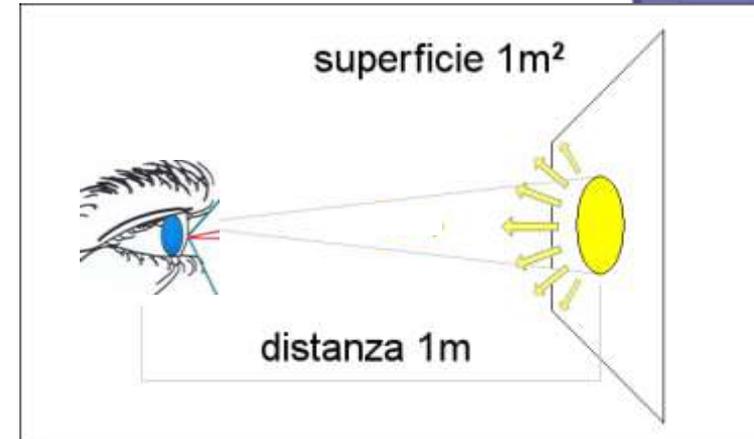
- a) 
$$H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{\text{eff}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 180 a 400 nm)
- b) 
$$H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{\text{UVA}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 315 a 400 nm)
- c), d) 
$$L_{\text{B}} = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $L_{\text{B}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 300 a 700 nm)
- e), f) 
$$E_{\text{B}} = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $E_{\text{B}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 300 a 700 nm)
- g)-l) 
$$L_{\text{R}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$
 (Cfr. tabella 1.1 per i valori appropriati di  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ )
- m), n) 
$$E_{\text{IR}} = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $E_{\text{IR}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 780 a 3 000 nm)
- o) 
$$H_{\text{skin}} = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{\text{skin}}$  è pertinente solo nell'intervallo da 380 a 3 000 nm)

# PRINCIPALI GRANDEZZE FISICHE USATE NEI LIMITI DI ESPOSIZIONE

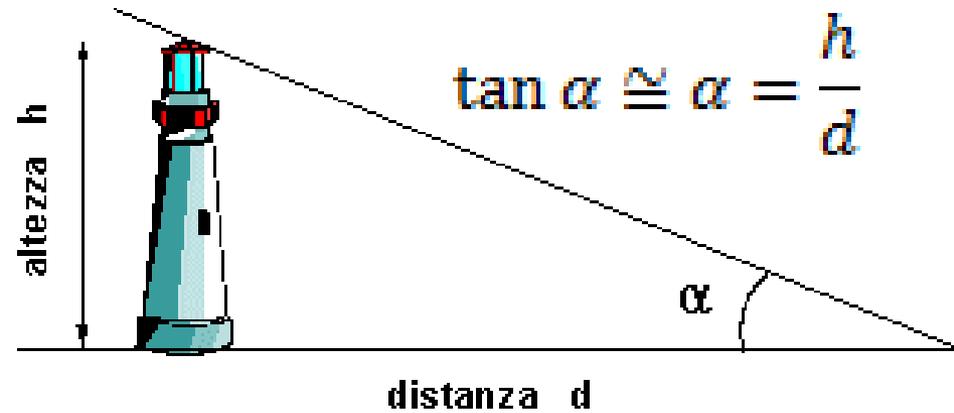
*f)* irradianza ( $E$ ) o densità di potenza: la potenza radiante incidente per unità di area su una superficie espressa in watt su metro quadrato ( $W m^{-2}$ );



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



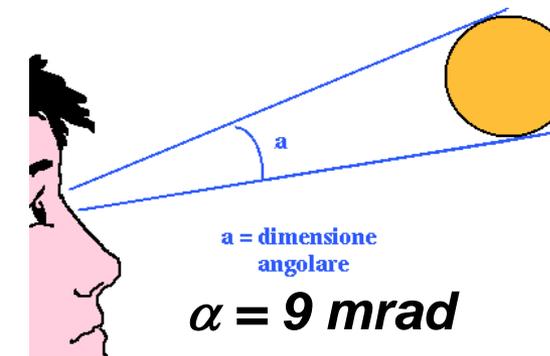
# Sorgente puntiforme, sorgente estesa



$$\tan \alpha \cong \alpha = \frac{h}{d}$$

Se  $h=11\text{ m}$  e  $d=1.000\text{ m}$

$$\alpha = \frac{h}{d} = 11\text{ mrad}$$



- 57.5 cm X 117.5 cm
- misure del diffusore

$Z = 87.5\text{ cm}$

misura media del diffusore

$\alpha = Z/r$  ovvero

$\alpha = 87.5/100 = 0.875\text{ rad}$

# Irradianza spettrale, irradianza efficace e esposizione radiante efficace

$E_\lambda (\lambda, t)$ ,  $E_\lambda$  *irradianza spettrale o densità di potenza spettrale*: la potenza radiante incidente per unità di area su una superficie, espressa in watt su metro quadrato per nanometro [ $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ ]; i valori di  $E_\lambda (\lambda, t)$  ed  $E_\lambda$  sono il risultato di misurazioni o possono essere forniti dal fabbricante delle attrezzature;

$E_{\text{eff}}$  *irradianza efficace (gamma UV)*: irradianza calcolata nell'intervallo di lunghezza d'onda UV da 180 a 400 nm, ponderata spettralmente con  $S(\lambda)$ , espressa in watt su metro quadrato [ $\text{W m}^{-2}$ ];

$$E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda = 180 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_\lambda \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$H_{\text{eff}}$  *esposizione radiante efficace*: esposizione radiante ponderata spettralmente con  $S(\lambda)$ , espressa in joule su metro quadrato [ $\text{J m}^{-2}$ ];

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

Valori limite di esposizione	Unità	Parte del corpo	Rischio
$H_{\text{eff}} = 30$ Valore giornaliero 8 ore	$[\text{J m}^{-2}]$	occhio: cornea congiuntiva cristallino cute	fotocheratite congiuntivite catarattogenesi eritema elastosi tumore della cute

# Radianza efficace

$L_B$

*radianza efficace (luce blu):* radianza calcolata ponderata spettralmente con  $B(\lambda)$ , espressa in watt su metro quadrato per steradiano [ $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ];

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

Valori limite di esposizione	Unità
$L_B = \frac{10^6}{t}$ per $t \leq 10\,000 \text{ s}$	$L_B [\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ t: [secondi]
$L_B = 100$ per $t > 10\,000 \text{ s}$	$[\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ per $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$

# La valutazione del rischio di esposizione a Radiazione Ottica artificiale

# Rischio da sorgenti UV Mariutti G, Matzeu M

## MEASUREMENT OF ULTRAVIOLET RADIATION EMITTED FROM WELDING ARCS

*Health Physics* Vol. 54, No. 5 (May), pp. 529-532, 1988  
Printed in the U.S.A.

G. Mariutti and M. Matzeu

Laboratorio di Fisica, Istituto Superiore di Sanità, Rome, Italy and Istituto Nazionale di  
Fisica Nucleare, Sezione Sanità, Rome, Italy

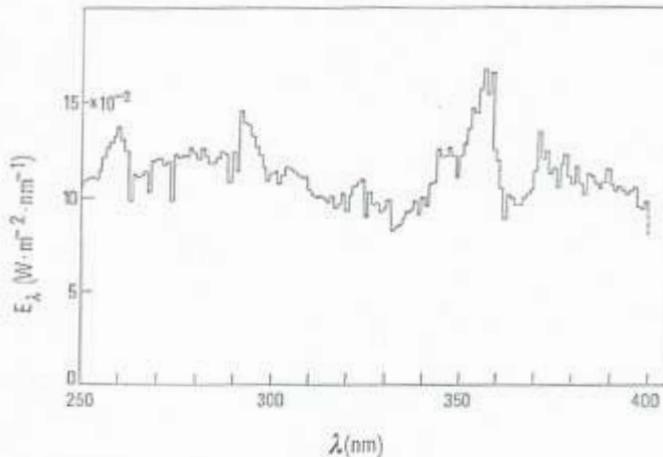


Fig. 3. Spectral irradiance  $E_\lambda$  of GTAW arc measured by time integrated (10-s) readings at single wavelength at a distance of 40 cm.

$$E_{\text{eff}} = (6.6 \pm 1.6) \text{ W m}^{-2},$$

$$t_{\text{max}} = \text{MPE}_{270} / E_{\text{eff}} \simeq 4\text{s},$$

$$\text{where } \text{MPE}_{270} = 30 \text{ J m}^{-2}$$

### DISCUSSION

From measurements on the welding arc previously described, the maximum exposure time (without protective equipments) was on the order of seconds. In various workplaces, we observed that operators start the welding process without protecting their eyes to see the exact position of the electrode with respect to the work piece. For this reason, the maximum exposure time may be exceeded during an 8-h period. This result suggests the need for personal monitoring devices, if available, to evaluate doses due to repeated exposures for long-term studies of biological effects.

Dr. M.

OTTICHE

# Rischio da sorgenti UV Peng C, Lan C

## EXPOSURE ASSESSMENT OF ALUMINUM ARC WELDING RADIATION

Health Physics

October 2007, Volume 93, Number 4

Chiung-yu Peng,\* Cheng-hang Lan,<sup>†</sup> Yow-jer Juang,<sup>†</sup> Ta-ho Tsao,<sup>†</sup> Yu-tung Dai,<sup>†</sup> Hung-hsin Liu,<sup>‡</sup> and Chiou-jong Chen<sup>§</sup>

Table 1. Welding measurement conditions.

Welding items	Welding properties
Wire	Solid wire (Indalco Alloys Co., Ltd Alloy IA 5356) 1.6 mm in diameter
Machine	AC ARC Welder, Trans Puls Synergic TPS450 Fronius (Lent Enterprise Co. Ltd.)
Welding current	Set internally by the machine as 250 ~ 280 A
Working current	Steady around 268 A
Arc voltage	220 V
Shielding gas	Argon 50 L min <sup>-1</sup>
Measurement distance	100 cm from welding torch
Measurement time	70 s continuous
Spectroradiometer record	Data log with 0.5 s per data point
Wavelength scan range	200 ~ 880 nm
Scan mode	Spectral irradiance ( $\mu\text{W cm}^{-2} \text{nm}^{-1}$ vs. wavelength (nm))

Health Physics

October 2007, Volume 93, Number 4

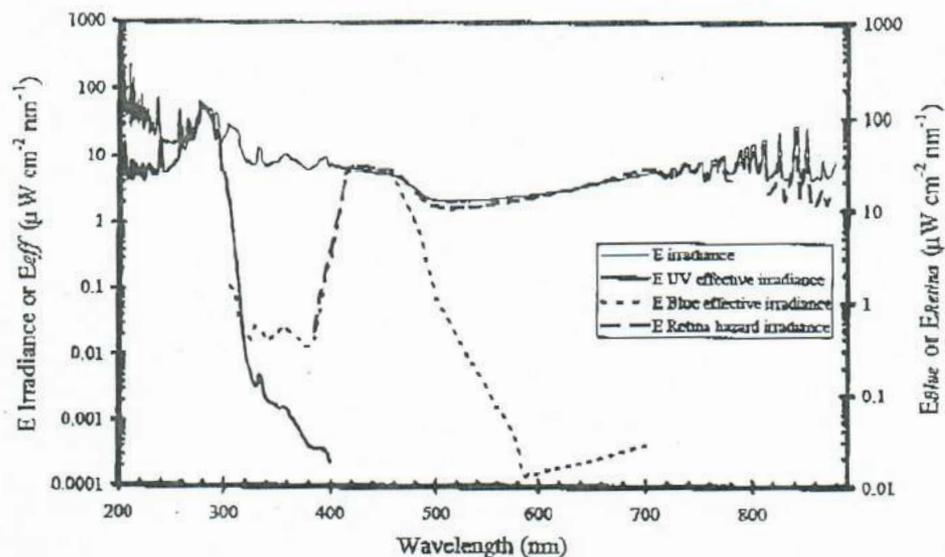


Fig. 2. The spectral irradiances of the worst case from aluminum arc welding processing.

Table 2. The biological effective irradiances and  $t_{\text{max}}$  from aluminum arc welding processing.

	$\Sigma E_{\text{eff}}$ (220 ~ 400 nm) $\mu\text{W cm}^{-2}$	$E_{\text{eff}} t_{\text{max}}$ (s)	$\Sigma E_{\text{blue}}$ (300 ~ 700 nm) $\mu\text{W cm}^{-2}$	$\Sigma E_{\text{blue}} t_{\text{max}}$ (s)	$\Sigma E_{\text{retina}}$ (385 ~ 875 nm) $\text{mW cm}^{-2}$	$\Sigma I_{\text{retina}}$ (385 ~ 875 nm) $\text{mW cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$
Average	1,100	2.79	1,840	5.45	25.4	320
Minimum	759	3.95	1,820	5.50	25.1	315
Maximum	1,490	2.02	1,850	5.41	25.8	324
Std. dev.	178	0.45	12	0.03	0.49	6.16

# Rischio da sorgenti UV Peng C, Lan C

for risk criteria evaluation. The obtained  $E_{eff}$  effective irradiance of 759–1,490  $\mu\text{W cm}^{-2}$  at 100 cm from the arc, with the range of permissible exposure time per day of 2.02–3.95 s, suggests that UVR from aluminum arc welding is actually hazardous to the eye and skin.

## CONCLUSION

The  $E_{eff}$  effective irradiance of 759–1,490  $\mu\text{W cm}^{-2}$ , with the range of permissible exposure time per day of 2.02–3.95 s, was evaluated at 100 cm from the aluminum arc welding location under the conditions of the study. UVR from the aluminum arc welding is actually hazardous to the eye and skin. The  $E_{Blue}$  effective irradiance of 1,820–1,850  $\mu\text{W cm}^{-2}$  at 100 cm from the arc, with the range of permissible exposure time per day of 5.41–5.50 s, was assessed from the measured irradiance. Blue-light injury assessment from such aluminum

general arc welding. The obtained  $E_{Blue}$  effective irradiance of 1,820–1,850  $\mu\text{W cm}^{-2}$  at 100 cm from the arc, with the range of permissible exposure time per day of 5.41–5.50 s, demonstrates that blue-light from aluminum arc welding is hazardous to the eye. Besides, the arc contact positions of welders must be even closer than those in measurements because the welders are usually less than 100 cm away from the strike of arcs and the effective irradiance is inversely proportional to the square of the distance.



# Ultraviolet Radiation Emitted by CO<sub>2</sub> Arc Welding

TSUTOMU OKUNO†\*, JUN OJIMA‡ and HIROYUKI SAITO§

†Division of Work Environment Evaluation, National Institute of Industrial Health, 21-1, Nagao 6-chome, Tama-ku, Kawasaki 214-8585, Japan; ‡Division of Human Engineering, National Institute of Industrial Health, 21-1, Nagao 6-chome, Tama-ku, Kawasaki 214-8585, Japan; §Division of Hazard Assessment, National Institute of Industrial Health, 21-1, Nagao 6-chome, Tama-ku, Kawasaki 214-8585, Japan

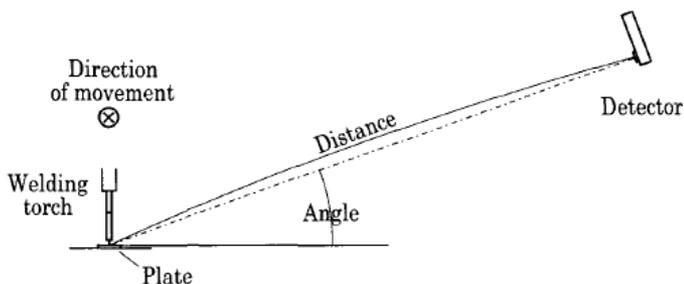


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup.

The effective irradiance at 1 m from the arc was in the range 0.28–7.85 W/m<sup>2</sup> (28–785 μW/cm<sup>2</sup>) under the study conditions. The corresponding permissible exposure time per day is 4–100 s.

Dr. M. BORRA - RADIAZIONI OTTICHE

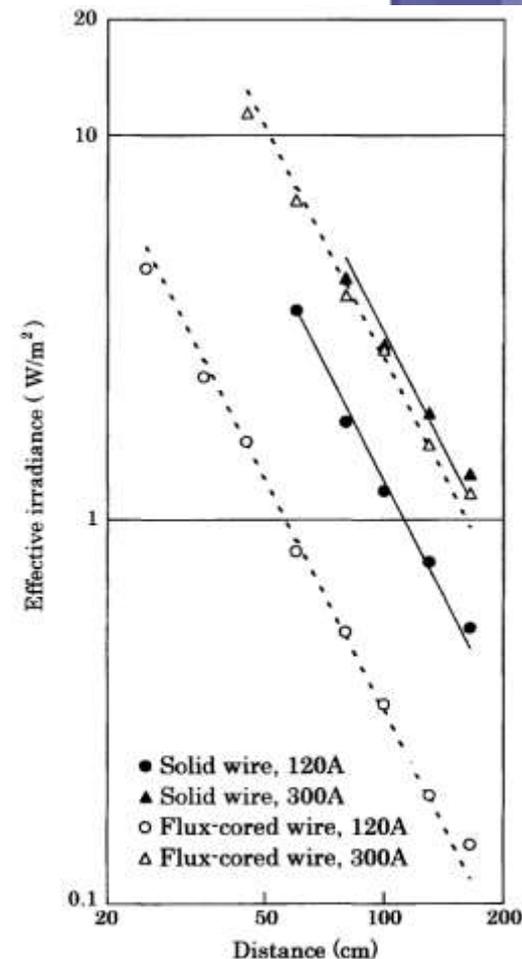


Fig. 4. Effective irradiance at various distances from the arc (circles and triangles). Measurements were made at 30° from the plate surface at the arc. Lines represent effective irradiance in inverse proportion to the square of distance (inverse square law).

Rischio da sorgenti UV Okuno T, Saito H

The UVR level at the position of welders will be several times higher, because the welder is usually less than 1 m away and the effective irradiance is inversely proportional to the square of the distance, as shown in this study. Thus, welders should always

UVR may also be hazardous at greater distances from the arc. For example, at 10 m, although the UVR level decreases to 1% of the level at 1 m, the permissible exposure time per day is still only 6 min to 3 h.



# Rischio da sorgenti UV



Dr. M. BORRA - RADIAZIONI  
OTTICHE

# Rischio da sorgenti UV

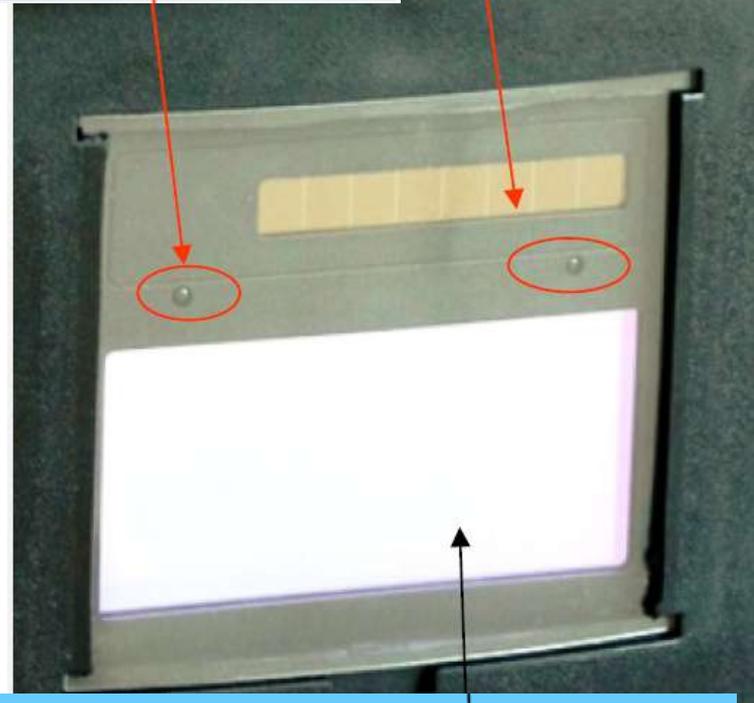


## 2 Photos sensors

Will detect any arc ignition within 0.3 m

## Solar cells

guaranties power - supply therefore no batteries are required



**LCD (LIQUID CRYSTAL) PANEL**  
Darkens from Shade 3 to Shade 11 upon striking the Arc

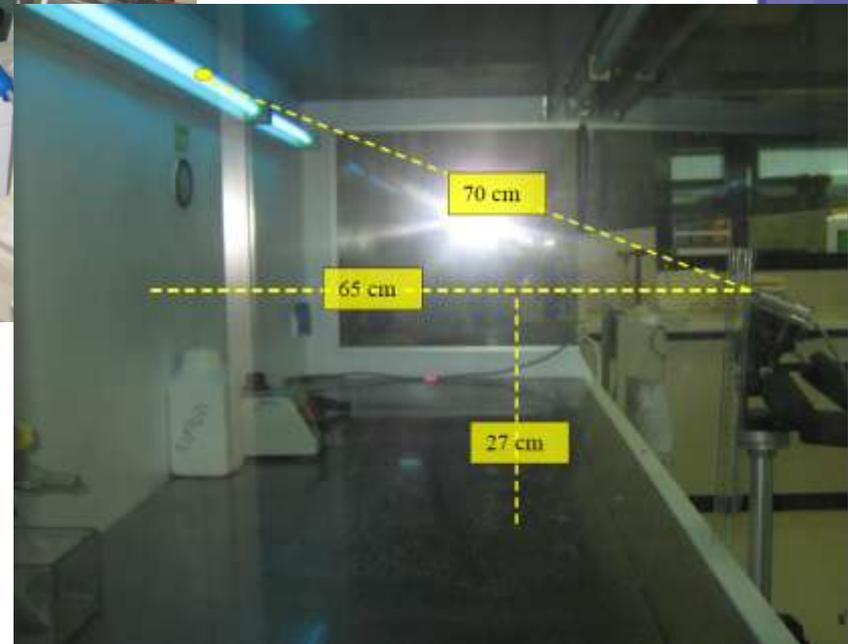
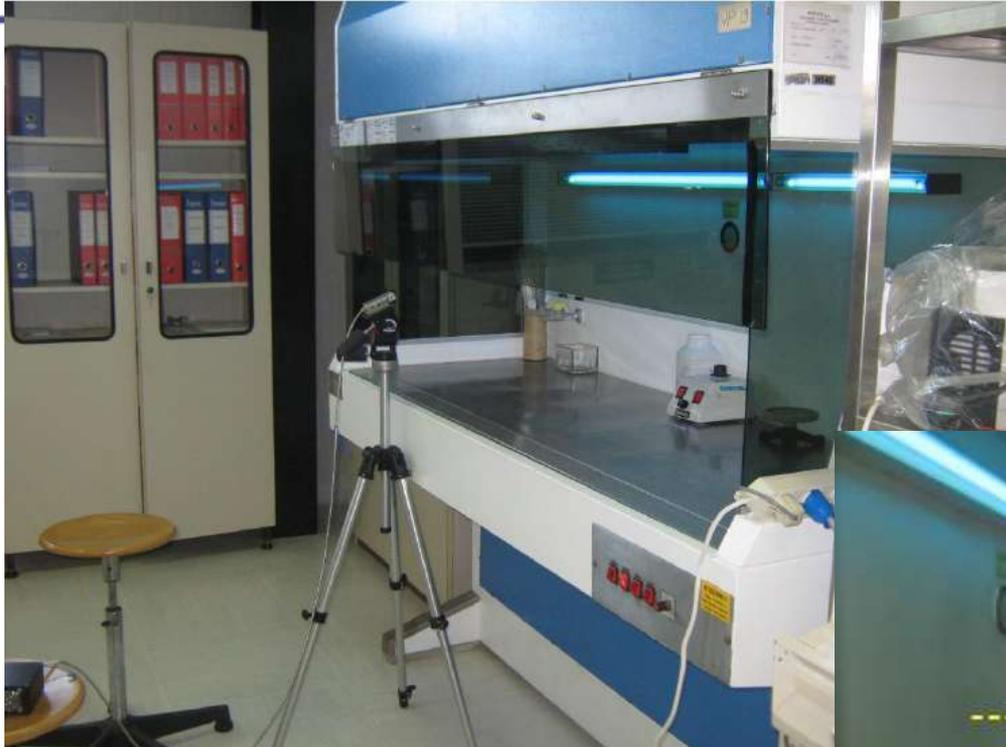
Light state of filter	Shade DIN 3
Dark state of filter	DIN 10-11
Switching time (light to dark)	0.3ms
Clearing time (dark to light)	0.4 ms

# FILTRI PER SALDATURA

Requisiti di trasmittanza					
Numero di scala	Trasmittanza spettrale massima nell'ultravioletto $\tau(\lambda)$		Fattore di trasmissione luminoso $\tau_v$		Trasmittanza spettrale media massima nell'infrarosso $\tau_A$
	313 nm %	365 nm %	Massimo %	Minimo %	780- 1400 nm %
1.2	0.0003	50	100	74.4	69
1.4	0.0003	35	74.4	58.1	52
1.7	0.0003	22	58.1	43.2	40
2	0.0003	14	43.2	29.1	28
2.5	0.0003	6.4	29.1	17.8	15
3	0.0003	2.8	17.8	8.5	12
4	0.0003	0.95	8.5	3.2	6.4
5	0.0003	0.3	3.2	1.2	3.2
6	0.0003	0.1	1.2	0.44	1.7
7	0.0003	0.05	0.44	0.16	0.81
8	0.0003	0.025	0.16	0.061	0.43
9	0.0003	0.012	0.061	0.023	0.2
10	0.0003	0.006	0.023	0.0085	0.1
11	0.0003	0.0032	0.0085	0.0032	0.05
12	0.0003	0.0012	0.0032	0.0012	0.027
13	0.0003	0.00044	0.0012	0.00044	0.014
14	0.00016	0.00016	0.00044	0.00016	0.007
15	0.000061	0.000061	0.00016	0.000061	0.003
16	0.000023	0.000023	0.000061	0.000023	0.003

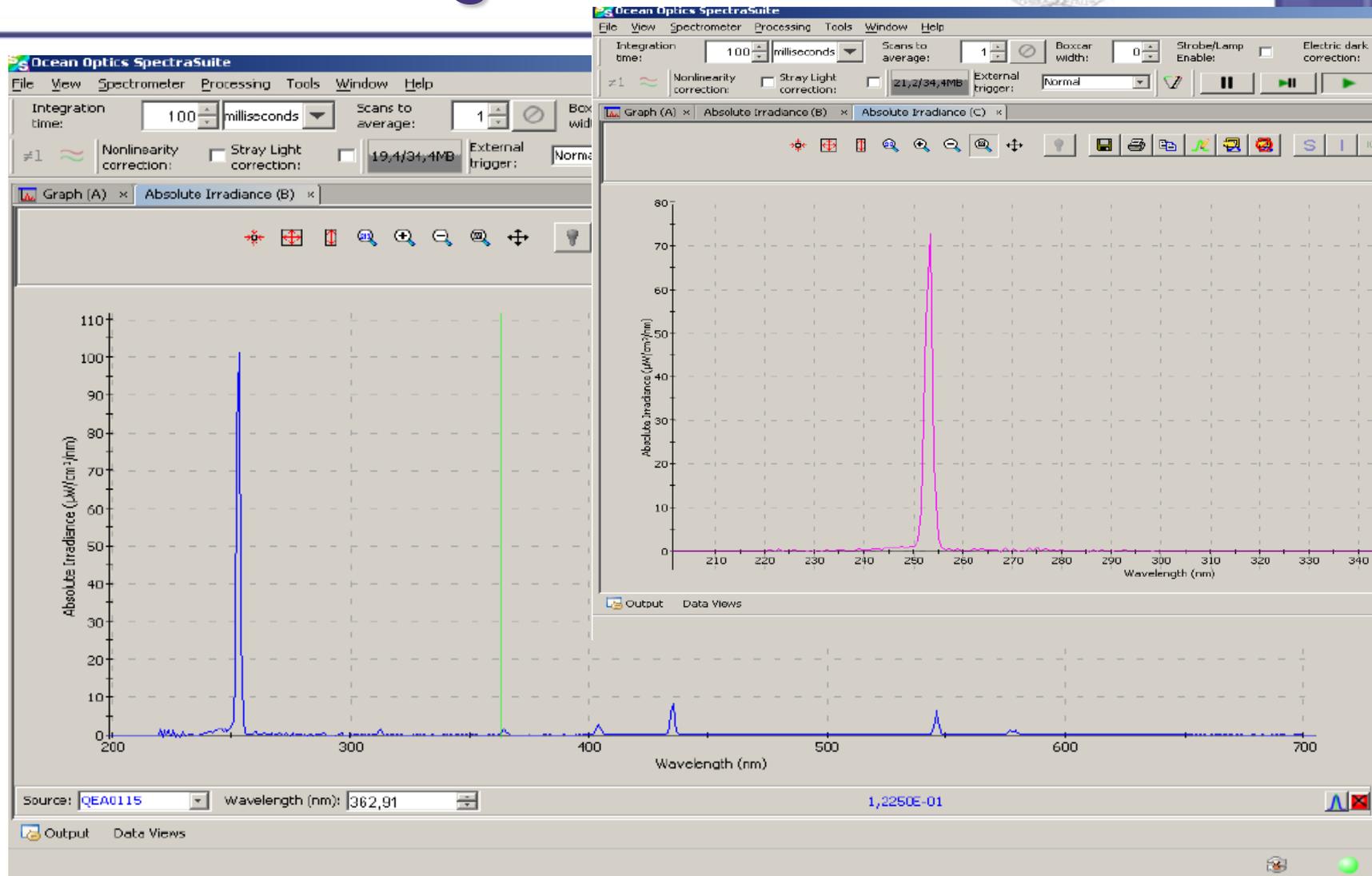
Dr. M. BORRA - RADIAZIONI  
OTTICHE

# Rischio da sorgenti UV Borra M.



RADIAZIONI OTTICHE

# Rischio da sorgenti UV Borra M.



RADIAZIONI OTTICHE

# Rischio da sorgenti UV Borra M.

Il valore di irradianza spettrale pesata della riga a  $253\text{ nm}$  è pari a  $72,0\ \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ; integrando sulla larghezza di riga di  $1,5\text{ nm}$  (valore FWHM; alla base la riga è larga circa  $3,0\text{ nm}$ ) si ottiene, per l'irradianza efficace  $E_{\text{eff}}$ , il valore di  $1,08\ \text{W}/\text{m}^2$ .

Il limite per l'esposizione radiante efficace  $H_{\text{eff}}$  previsto dal D.Lgs. n.81/08 (Allegato XXXVII Parte 1) è pari a  $30\ \text{J}/\text{m}^2$ , valore assoluto ed indipendente dal tempo di esposizione. Dividendo questo valore per la misura effettuata si ottiene il tempo nel quale, in quella posizione, si raggiunge il limite suddetto. Nelle condizioni di misura questo valore limite viene raggiunto in **circa 30 secondi**.

FOTO 3 Vista diretta del riflesso sul banco

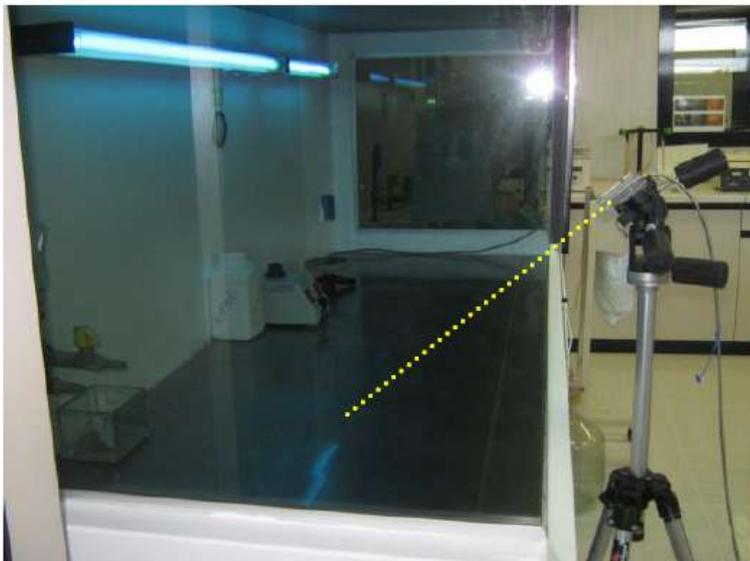
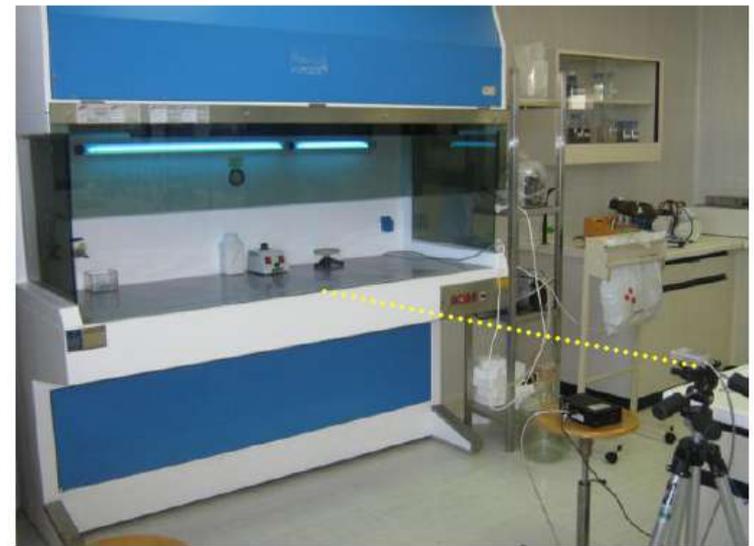


FOTO 5 Dall'angolo del bancone di fronte.



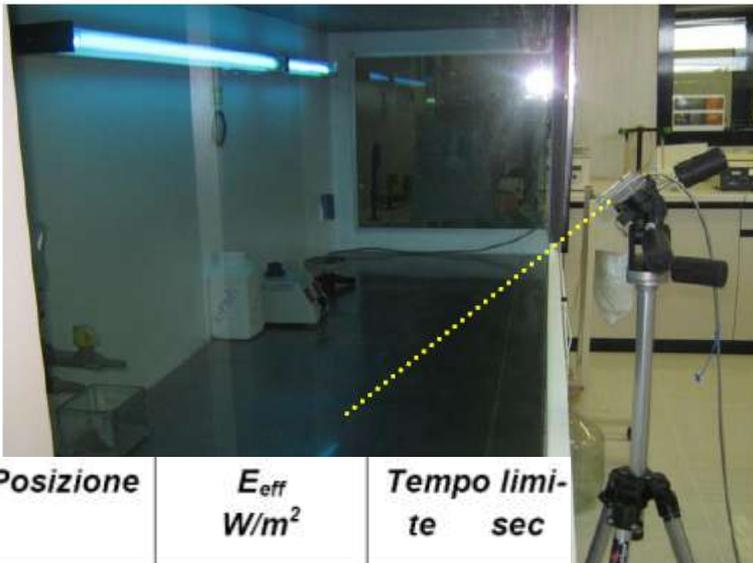
# Rischio da sorgenti UV Borra M.



Il valore di irradianza spettrale pesata della riga a  $253\text{ nm}$  è pari a  $72,0\ \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ; integrando sulla larghezza di riga di  $1,5\text{ nm}$  (valore FWHM; alla base la riga è larga circa  $3,0\text{ nm}$ ) si ottiene, per l'irradianza efficace  $E_{\text{eff}}$ , il valore di  $1,08\ \text{W}/\text{m}^2$ .

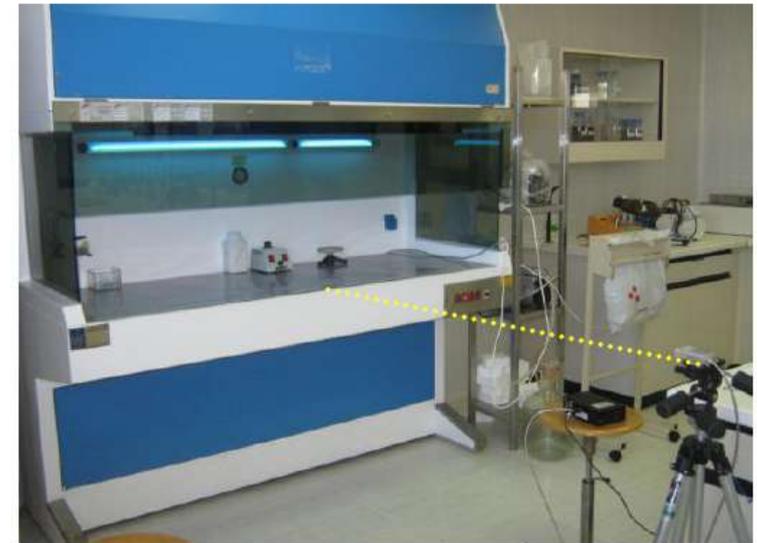
Il limite per l'esposizione radiante efficace  $H_{\text{eff}}$  previsto dal D.Lgs. n.81/08 (Allegato XXXVII Parte 1) è pari a  $30\ \text{J}/\text{m}^2$ , valore assoluto ed indipendente dal tempo di esposizione. Dividendo questo valore per la misura effettuata si ottiene il tempo nel quale, in quella posizione, si raggiunge il limite suddetto. Nelle condizioni di misura questo valore limite viene raggiunto in **circa 30 secondi**.

FOTO 3 Vista diretta del riflesso sul banco



Posizione	$E_{\text{eff}}$ $\text{W}/\text{m}^2$	Tempo limite sec
FOTO 3	0.63	48

FOTO 5 Dall'angolo del bancone di fronte.



# Rischio da sorgenti UV Borra M.

GRAFICO 3 Vista diretta del riflesso sul banco  
(Foto 3)

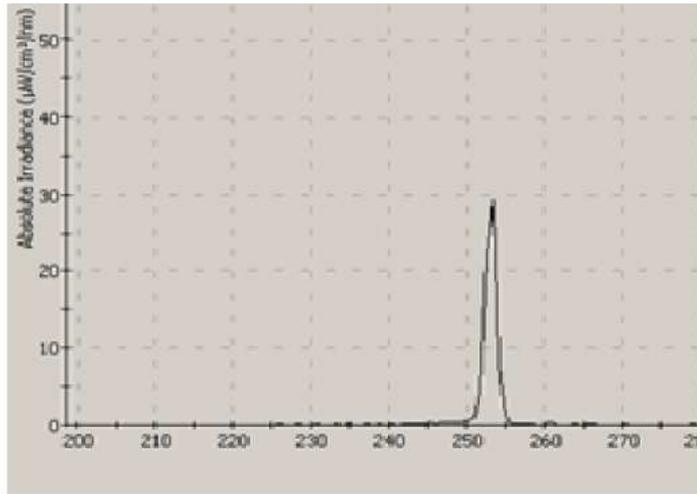
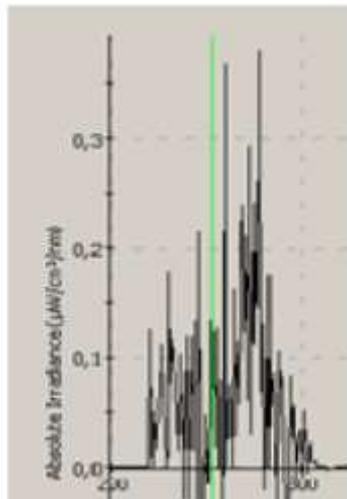


GRAFICO 5 Dall'angolo del bancone di fronte.  
(Foto 5)



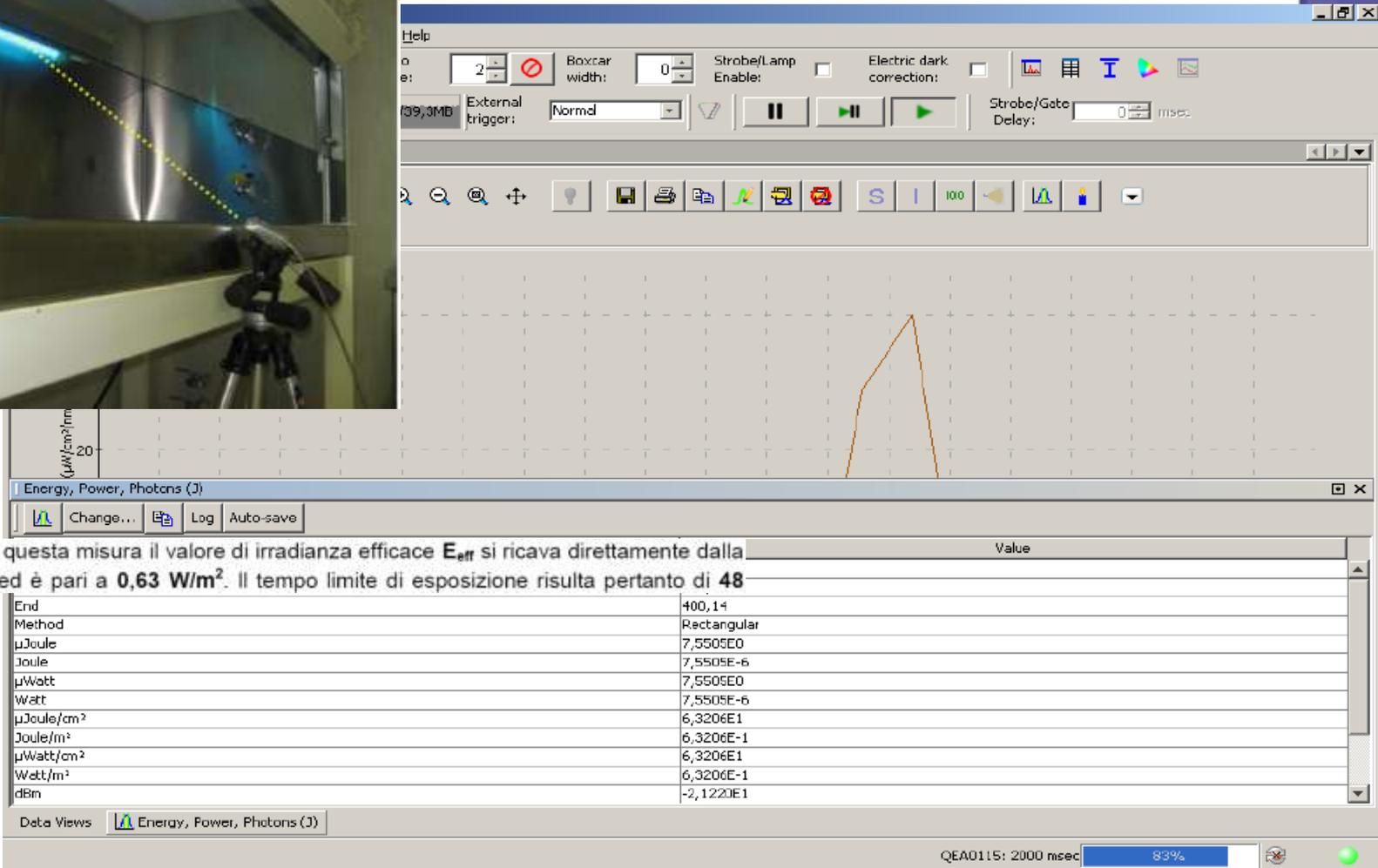
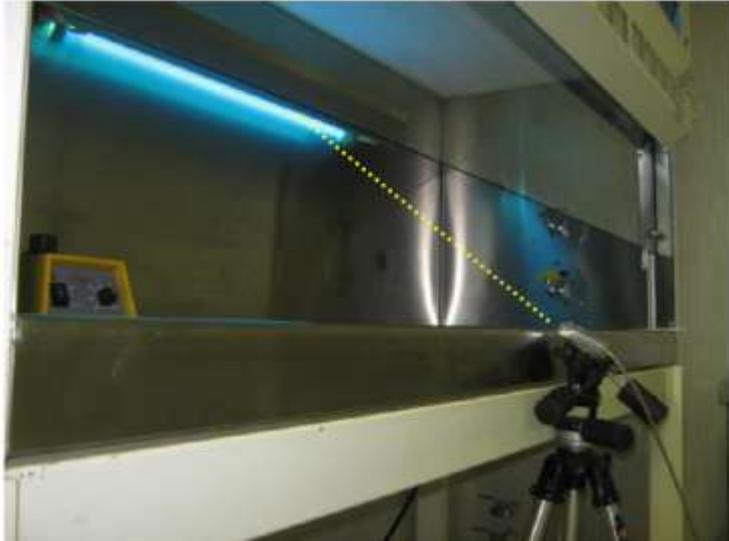
## VALORI

<b>Posizione</b>	<b><math>E_{eff}</math> <math>W/m^2</math></b>	<b>Tempo limite te sec</b>
<b>FOTO 3</b>	<b>0.63</b>	<b>48</b>
<b>FOTO 5</b>	<b>0.002</b>	<b>15000</b>

IONI OTTICHE



RADIAZIONI OTTICHE



Anche per questa misura il valore di irradianza efficace  $E_{eff}$  si ricava direttamente dalla tabella software ed è pari a **0,63 W/m<sup>2</sup>**. Il tempo limite di esposizione risulta pertanto di **48 secondi**.

# Sorgenti a scarica in gas - Fluorescenti compatte

Radiation Protection Dosimetry Advance Access published August 30, 2008

Radiation Protection Dosimetry (2008), pp. 1-5

doi:10.1093/rpd/nen234

## TECHNICAL NOTES

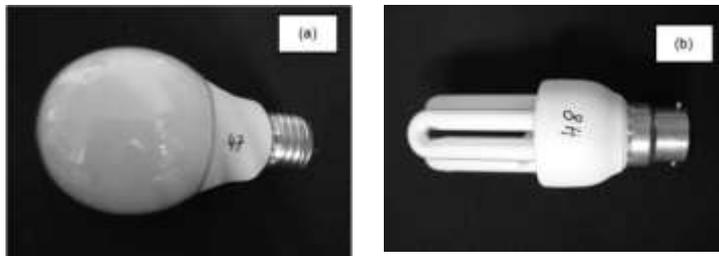
### OPTICAL RADIATION EMISSIONS FROM COMPACT FLUORESCENT LAMPS

M. Khazova\* and J. B. O'Hagan  
Health Protection Agency, Chilton, Didcot, OX11 0RQ, UK

This paper presents a summary of an assessment conducted by the Health Protection Agency in March 2008 to evaluate the optical radiation emissions of CFLs currently available in the UK consumer market.

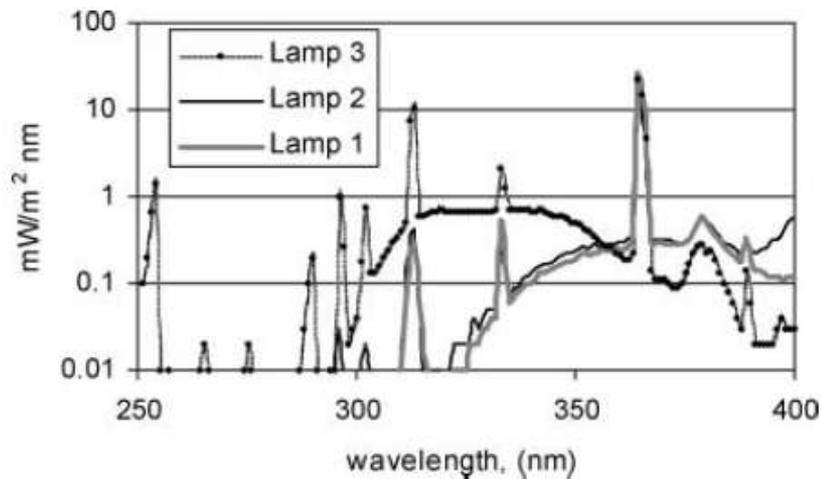
Seventy-three CFLs were purchased from the UK major retailers within 3 days in March 2008 in the same geographical area. The CFLs were manufac-

Twenty of the tested samples were double envelope bulbs (Figure 2a); the remainder were single envelope (Figure 2b), stick or spiral design. Nine of the



### Assessment of UV hazard

The UV spectral irradiance for three CFLs is shown in Figure 3 for a double envelope lamp (1) and for single envelope lamps (2 and 3). The double envelope lamp has very low level of UVB emission, with the spectrum cut-off below 313 nm; whereas some of single envelope lamps (e.g. Lamp 3) emit in the UVB and UVC (254 nm) regions, probably due to defects in the phosphor coating.



# Sorgenti a scarica in gas - Fluorescenti compatte

The measured spectral irradiance was used to assess the exposure level and compare it with exposure limit values (ELVs) recommended by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)<sup>(15)</sup>. Long-term eye exposure at 200 nm from a lamp or in a close proximity to the source is unlikely due to aversion responses to a bright source.

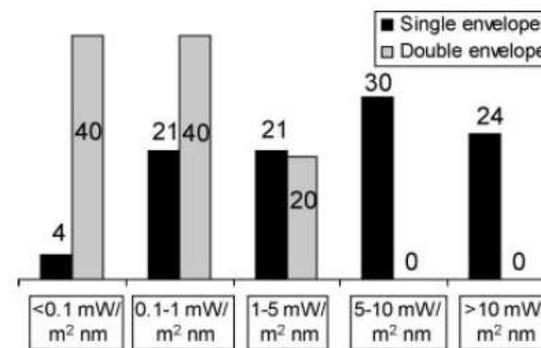


Figure 4. Percentage of tested CFLs with respect to emission level at 313 nm.

Table 3. Time to exceed UV ELVs for tested CFLs.

	Close proximity to lamp (20 mm)				200 mm from lamp (front end)			
	<math><10</math> min	10–15 min	16–30 min	>30 min	<math><4</math> h	4–8 h	8–10 h	>10 h
Single envelope (%)	20.7	15.1	18.9	45.3	0	7.5	13.2	79.3
Double envelope (%)	0	0	0	100	0	0	0	100

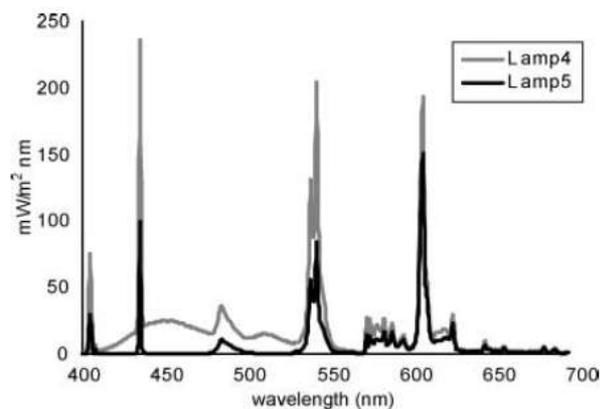


Figure 7. Visible spectra emission of CFLs.

## CONCLUSIONS

- (2) The UV emissions of the tested lamps are not expected to present a realistic hazard for eyes due to aversion responses to bright sources.
- (3) The UV emissions from a significant percentage of the tested CFLs with single envelopes may result in foreseeable overexposure of the skin when these lamps are used in desk or task lighting applications. In addition, some groups of individuals may be particularly photosensitive to emission of these wavelengths.

# Rischio da sorgenti UV



# Radiazioni ottiche ... “artificiali”?

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.

POSIZIONE COMUNE (CE) N. 24/2005  
definita dal Consiglio il 18 aprile 2005

in vista dell'adozione della direttiva 2005/.../CE del Parlamento europeo e  
prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori  
dagli agenti fisici (radiazioni ottiche) (diciannovesima direttiva particolare  
paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)

(2005/C 172 E/02)

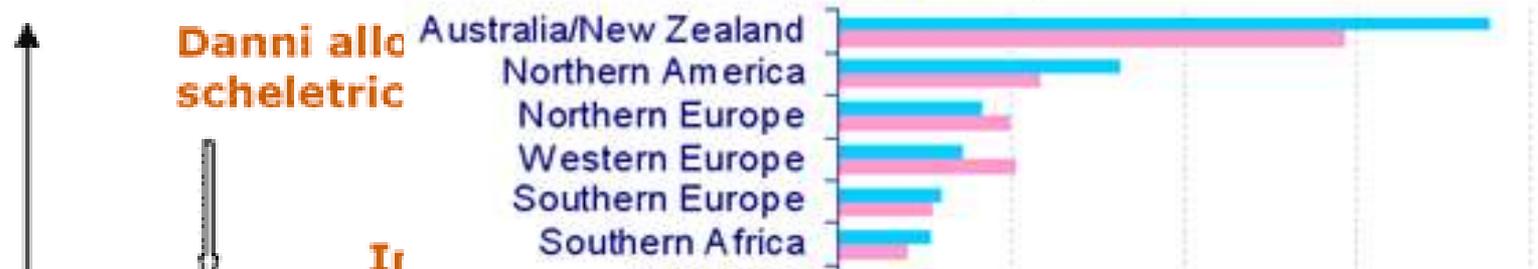
**Un passo indietro...**



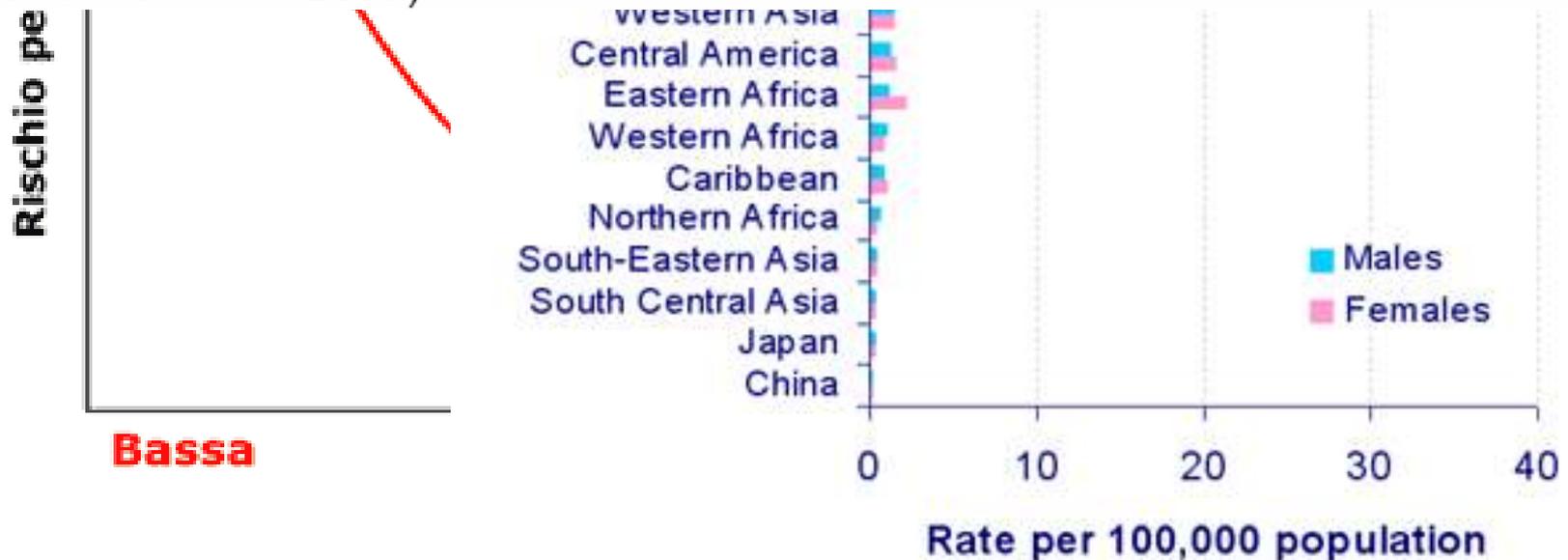
DIRETTIVA 2006/25/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO  
del 5 aprile 2006

sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi  
derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche artificiali) (diciannovesima direttiva particolare ai  
sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)

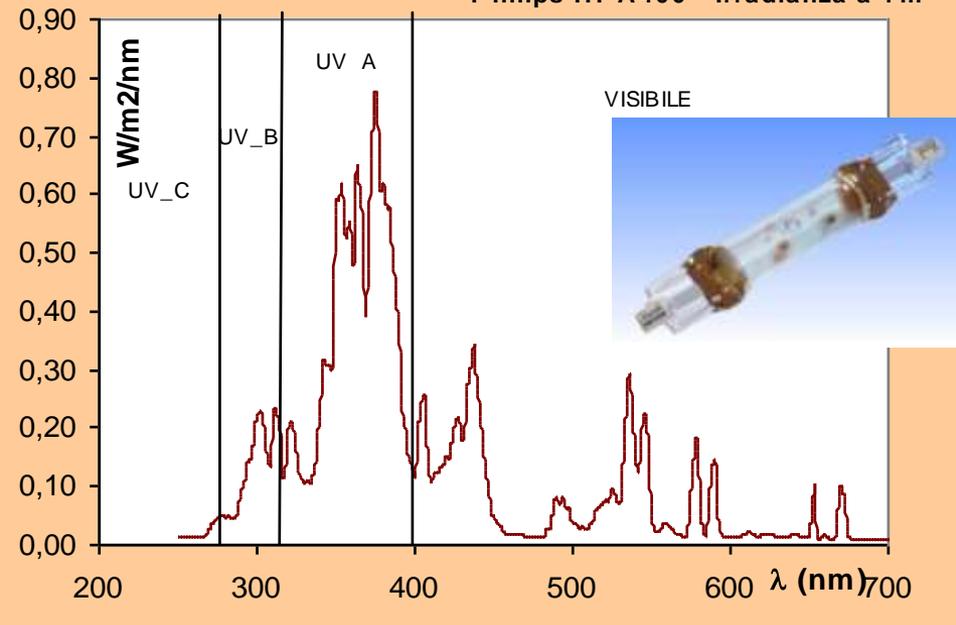
**Figure 1.5 World age-standardised incidence rates, malignant melanoma, by sex, 2002 estimates**



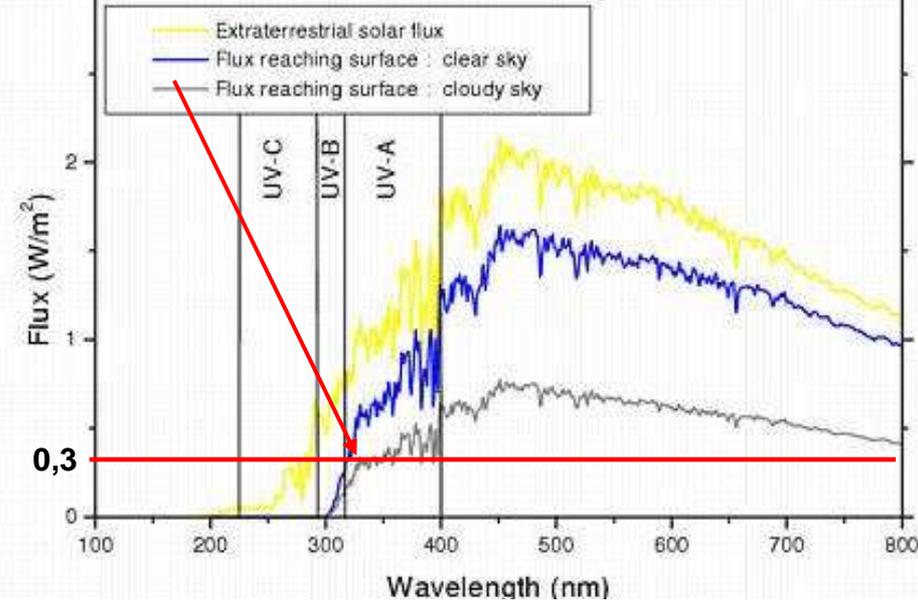
- Skin cancer costs the Australian health system around \$300 million annually, which is the highest cost of all cancers (Australian Institute of Health and Welfare. *Health system expenditures on cancer and other neoplasms in Australia, 2000 – 01*. Canberra: AIHW2005).



Philips HPA400 - Irradianza a 1 m



# Un esempio



D. Gillotay, P. Peeters "Which factors have an influence on the amount of UV-radiation at the surface of the Earth?" in [www.oma.be/bira-iasb/Public/Research/radiation/Atmos2.en.html](http://www.oma.be/bira-iasb/Public/Research/radiation/Atmos2.en.html)

Range spettrale	Irradianza in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ Senza vetro	Irradianza in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ Con vetro
UV-C	64	1
UV-B	508	3
UV-A	3273	1372

32,7 W/m<sup>2</sup>

13,7 W/m<sup>2</sup>

25,5 W/m<sup>2</sup>

392 s

**Il Limite per l'Esposizione radiante:**  
 **$H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J/m}^2$**

312 s

730 s

**IARC** (International Agency for Research on Cancer) ha classificato le componenti **UVA**, **UVB** ed **UVC** artificiali, considerate separatamente, come "cancerogeni per l'uomo" e come tali le ha inserite DA **GIUGNO 2009** nel **Gruppo 1**

# Dosimetria e ricerca sull'UV solare

Azienda USL 7 di Siena



Variability among polysulphone calibration curves

Phys. Med. Biol. 51, 2006 4413-4427.

Solar UV radiation exposure in a population of Tuscany vineyard workers Atti del 28th ICOH 2006, Milano, June 11-16 2006, pag.107

“La Sapienza” Uni. Roma  
Dip. di Fisica (G-MET)



Short-term UV Exposure of Sunbathers at a mediterranean Sea Site  
Photochemistry and Photobiology, 2009, 85: 171–177

ARPA Valle d’Aosta



Personal UV exposure on a ski-field at an alpine site  
Atmospheric Chemistry and Physics Discussions 8, 1, 2008, 2745-2769

Dr. M. BORRA - RADIAZIONI  
OTTICHE

# GUIDANCE NOTE FOR THE PROTECTION OF WORKERS FROM THE ULTRAVIOLET RADIATION IN SUNLIGHT



NOVEMBER 2008



**Australian Government**  
**Australian Safety and Compensation Council**

# useful workplace tools

## Sample UV Risk Control Worksheet

Description of work location

Date

Assessed by

Description of task(s) performed

Health & Safety Representative

### Environmental factors

#### Time of day

- All day
- 10.00 am–3.00 pm
- 2.00 pm–4.00 pm
- 8.00 am–10.00 am
- After 4.00 pm
- Before 8.00 am



#### Attitude

- More than 1500 m
- 1000–1500 m
- 500–1000 m
- Less than 500 m



#### Season

- All year
- Summer
- Autumn/Spring
- Winter



Comments

### Work system factors

#### Shade during work

- No shade
- Partial shade
- Total shade
- Indoor work



#### Shade at rest breaks

- No shade
- Partial shade
- Total shade
- Indoor work



#### Have employees ever been sunburnt at work?

- Yes
- No



Comments

### Hazardous factors

The presence of reflective surfaces or photosensitising substances will increase the risk posed by UV radiation.

An increased number of factors will increase the magnitude of the risk.

#### Presence of reflecting substances

- Concrete
- Sand
- Glass
- Snow
- Roofing iron
- Water
- Aluminium foil

#### Use of photosensitisers\*

\* See above for list of photosensitisers

- No
- Yes

### Protective factors

The use of any personal protective equipment will provide some protection from UV radiation.

The use of more equipment will provide adequate and appropriate protection from UV radiation.

#### Use of appropriate clothing/personal protective equipment

- Broad-brimmed or legionnaire-style hat
- Construction helmet with brim attachment
- Long-sleeved shirt
- Long trousers
- Sunglasses (AS 1067 or AS/NZS 1337)
- SPF 30+ sunscreen
- Portable shade structure

### Factors assessed as a risk (from risk assessment checklist)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Refer to Worksafe Australia Guidance Note (NCHSD: 3012 (1991))



### Is elimination and/or reduction of risk by use of engineering controls practical?

Options/Actions:

Timeframe

Short term

Medium term

Long term

### Is elimination and/or reduction of risk possible by use of administrative controls?

Options/Actions:

Timeframe

Short term

Medium term

Long term

### Is elimination and/or reduction of risk by the use of personal protective equipment and clothing practical?

Options/Actions:

Timeframe

Short term

Medium term

Long term

This is now a risk control plan for the worksite. It should be filed and kept for reference. Control measures identified should be transferred into your organisation's overall protection policy to form the section on how the hazard will be controlled. This policy should be written and employees informed of its existence. A re-assessment should be performed once improvements have been implemented.

# LUCE BLU E ATTIVITA' LAVORATIVE



- saldature ad arco e ad elettrodo
- processi di indurimento resine
- studi fotografici pubblicitari
- teatri e studi televisivi
- processi di stampa industriali
- supermercati e grandi magazzini

## **RILEVAZIONI SPETTROMETRICHE IN AMBIENTE LAVORATIVO SU UN PROIETTORE CON SORGENTE AD ALOGENURI METALLICI**

- **Silvano Orsini - Servizio di Fisica Sanitaria –ICP - Milano**
- **Pierluigi Zambelli – Dipartimento di Medicina del Lavoro – Un.Studi - Milano**
- **Pasquale Troiano - Dipartimento di Oftalmologia – Fond. Pol- Milano**
- **Stefano Fontani – UOPSAL 1, ASL Città di Milano**
- **Andrea Magrini - Cattedra Medicina del lavoro- Un. Tor Vergata-Roma**
- **Bruno Piccoli – Dipartimento di Medicina del Lavoro – Un.Studi- Milano**

## Sorgenti di radiazione ottica con riferimento al rischio di luce blu (400-500 nm., CIE 138/2000)

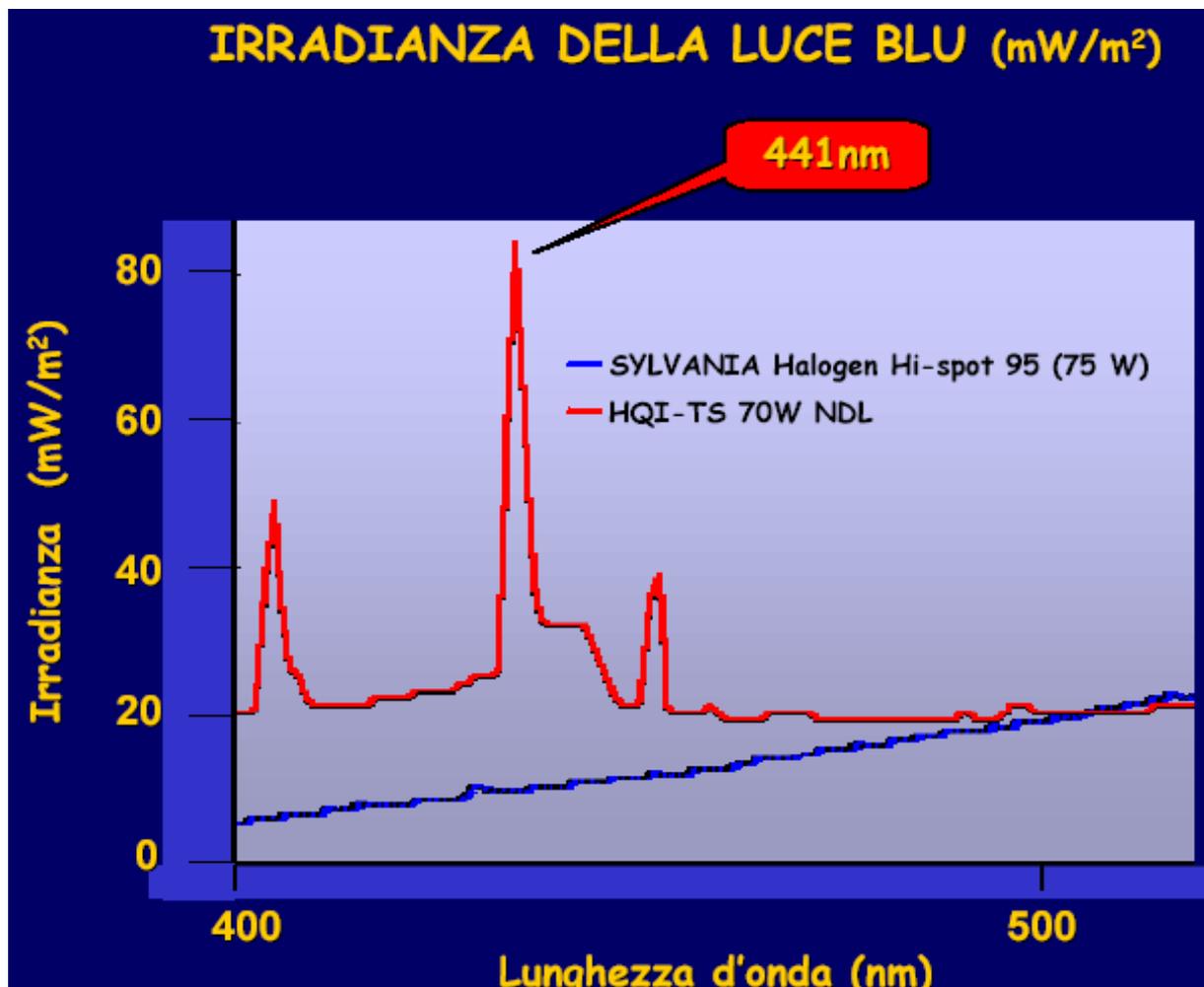
Sorgenti	Potenza (W)	Emissione (W)	Radianza ( $W/m^{-2}sr^{-1}$ )	Lunghezza d'onda (nm)	% di Luce blu
Radiazione solare	-	(1kW/m <sup>2</sup> )	$2.2 \cdot 10^7$	300 - 2500	5 - 10
Lampade ad incandescenza	10 - 2000	9 - 1800	$1.0 \cdot 10^2$	300 - 2500	0.5 - 2.0
Lampade alogene a tungsteno	500 - 20000	450 - 9000	$1.0 \cdot 10^4$	270 - 2500	1.0 - 4.0
Lampade ad arco allo xenon	500 - 20000	250 - 10000	$10^6 - 10^8$	250 - 3500	6 - 10
Lampade a mercurio ad alta pressione	40 - 2000	25 - 1200	$10^3 - 10^5$	300 - 1000	8 - 20
Alogenuri metallici	100 - 2000	80 - 1500	$10^3 - 10^5$	300 - 1000	8 - 22
Saldatura ad arco	-	-	$10^8 - 10^{10}$	200 - 1000	5 - 40

# Rischio da sorgenti di LUCE BLU Orsini S, Piccoli B,



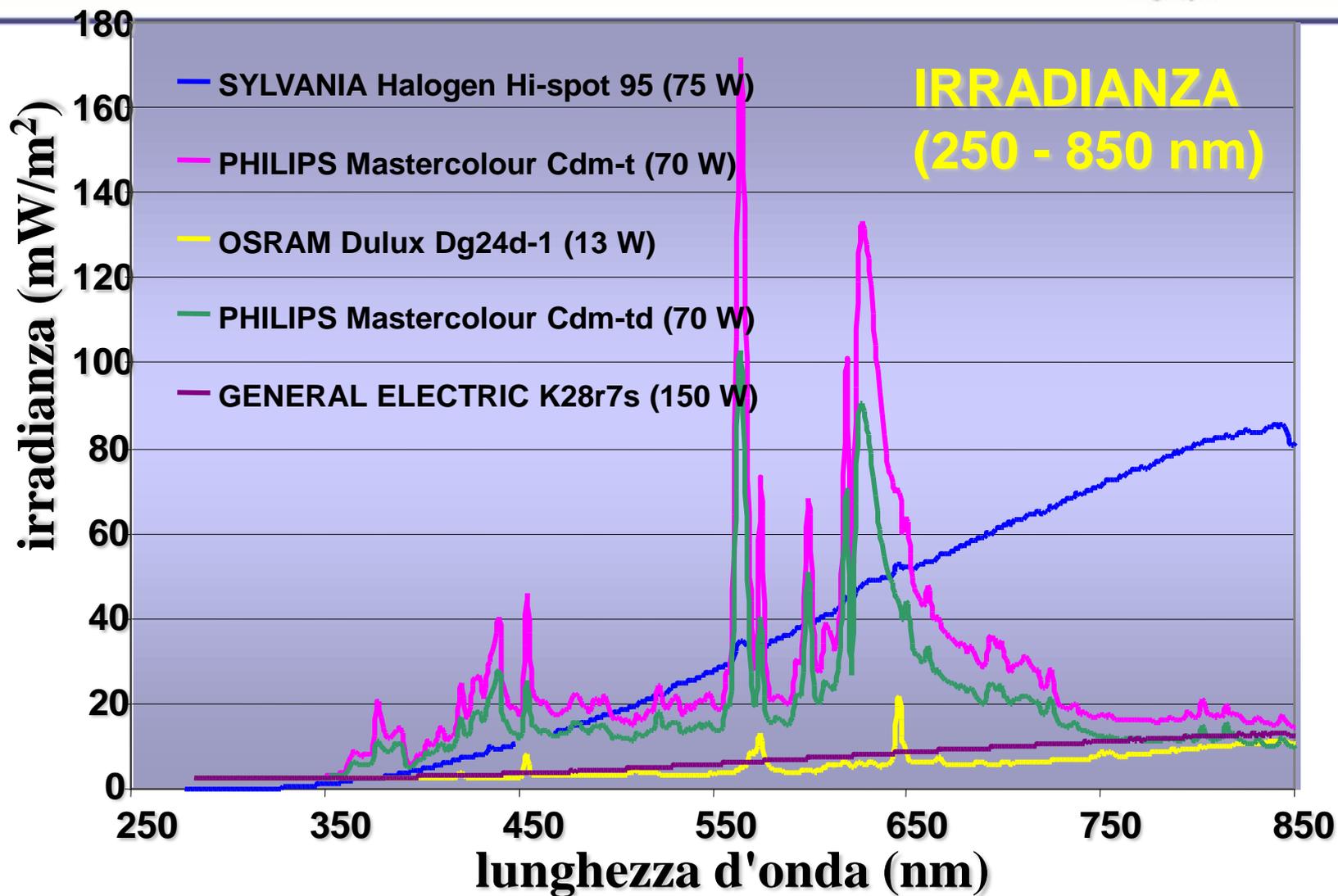
RADIAZIONI OTTICHE

# Rischio da sorgenti di LUCE BLU Orsini S, Piccoli B,



RADIAZIONI OTTICHE

# Sorgenti nel visibile



Lampada Goya HMI utilizzata per formare  
immagini di attori su un telo di PVC  
"Ombre cinesi"



$P = 4 \text{ kW}$

$CCT \approx 5600 \text{ K}$

Spettroradiometro MACAM mod. 9910-pc

## Misure fra la lampada ed il telo (esposizione degli attori)



RADIAZIONI OTTICHE

## Esposizione a UV e a luce blu

Condizioni di esposizione	UV 240-400 nm Irradianza efficace W/m <sup>2</sup>	Durata massima dell'esposizione minuti	Blue 400-500 nm Radianza ponderata W/(m <sup>2</sup> sr)	Durata massima dell'esposizione minuti
Lampada spenta (illuminazione ambientale)	< 1·10 <sup>-9</sup>	---	8·10 <sup>-3</sup>	---
Lampada nuda	6,02·10 <sup>-4</sup>	>480	931	18
Lampada con filtro opaco	1,39·10 <sup>-4</sup>	>480	746	22
Lampada con filtro anti UV	4,19·10 <sup>-5</sup>	>480	836	20
Luce riflessa dal telo	-	-	0,45	>480
Luce trasmessa dal telo	-	-	0,59	>480

$$t_{\max (UV)} = \frac{3 \cdot 10^{-3} (J \cdot m^{-2})}{E_{eff} (W \cdot m^{-2})}$$

$$t_{\max (Blu)} = \frac{10^6 (J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1})}{L_{blu} (W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1})}$$

# Rischio da sorgenti di LUCE BLU Orsini S, Piccoli B,

**Proiettore ARRIMAX 18/12 con  
lampada ad alogenuri metallici HMI 18000 W/SE/GX51**



- Studi e palcoscenici
- Teatri
- Set cinematografici
- Studi fotografici
- Effetti di luce
- Mostre

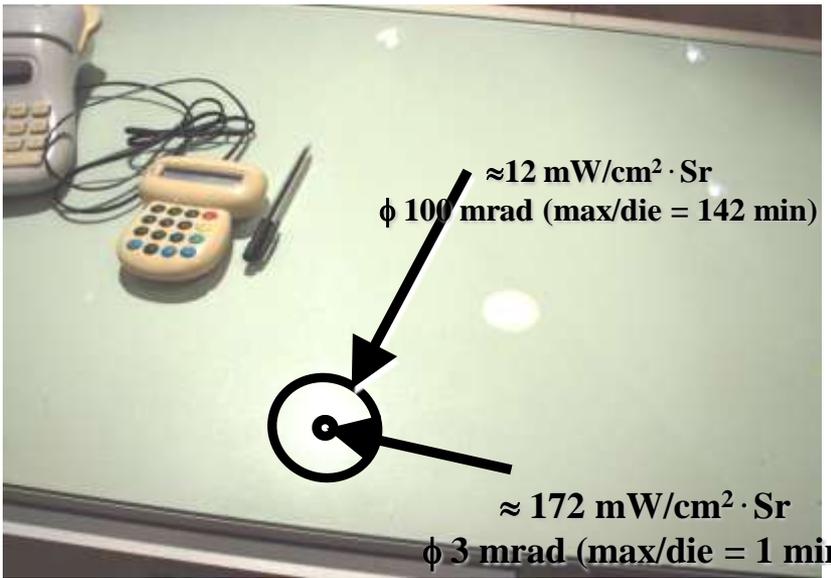
RADIAZIONI OTTICHE



**Lampada allo Xenon**

**7000 W**

**CCT  $\approx$  6500 K**



Rischio da sorgenti di LUCE BLU Orsini S, Piccoli B,

RADIAZIONI OTTICHE

# Sorgente impulsata Luce Blu e Visibile

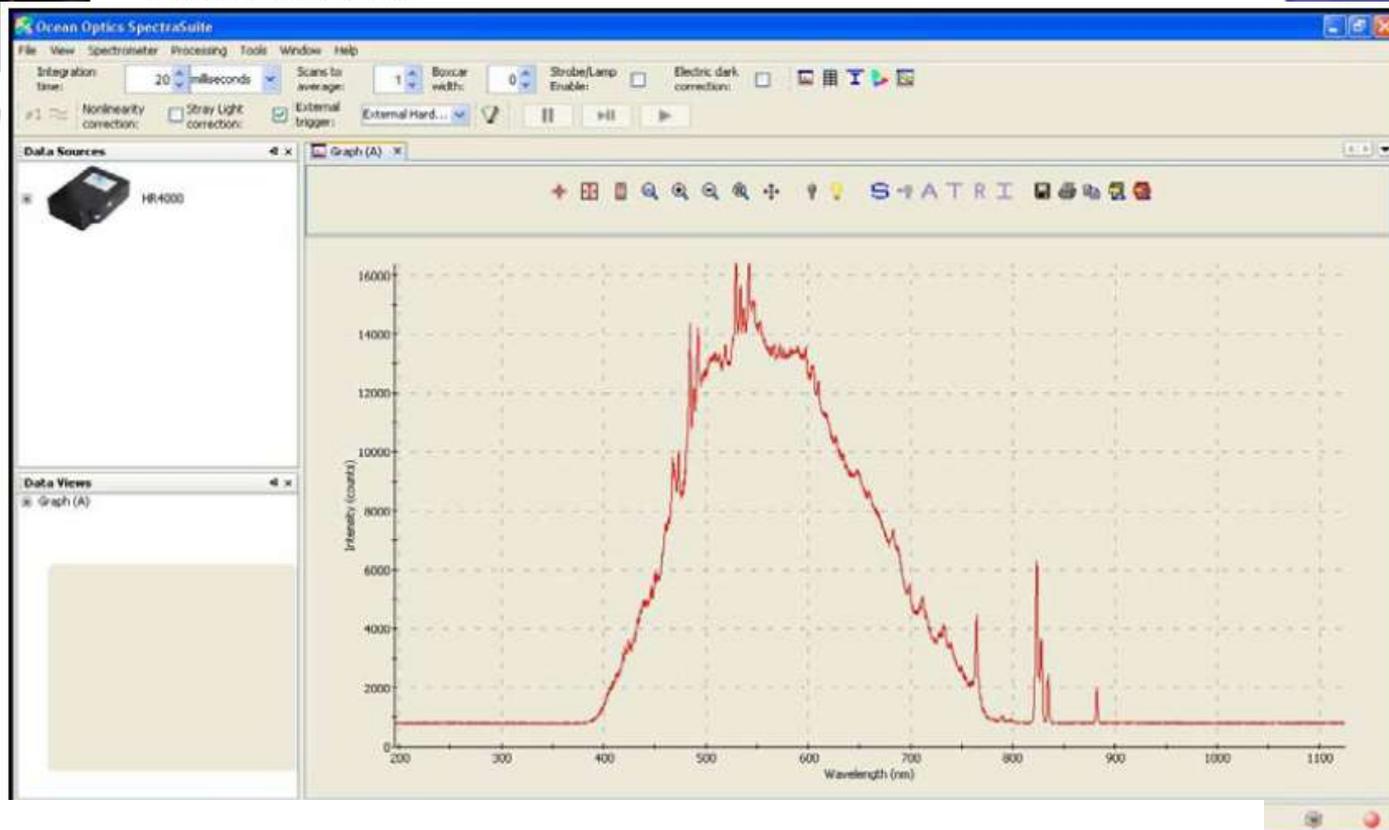
$t = 1 \text{ ms}$



Foto 1 Dispositivo flash Velored



Foto 2 Lampada installata



*radianza efficace per la lesione termica  $L_R$  della lampada.*

# Sorgente impulsata Luce Blu e Visibile (2)

Irradianza a 3.60 m Livello7 (111)

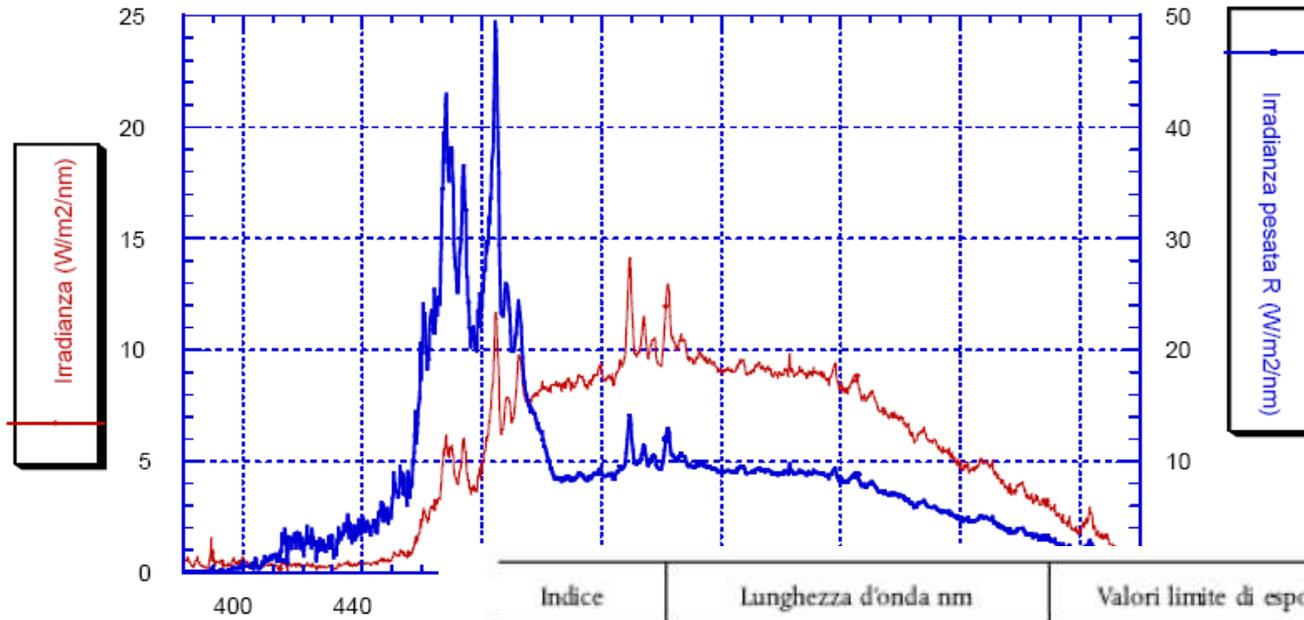


Fig. 4 Irradianza spettrale (in  $W/m^2/n$  pesata con  $R_\lambda$  per il danno retin

Indice	Lunghezza d'onda nm	Valori limite di esposizione	Unità
g.	380-1 400 (Visibile e IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_a}$ per $t > 10$ s	$[W m^{-2} sr^{-1}]$
h.	380-1 400 (Visibile e IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a t^{0,25}}$ per $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	$L_R: [W m^{-2} sr^{-1}]$ t: [secondi]
			$[W m^{-2} sr^{-1}]$

Il limite per la radianza efficace  $L_R$  (in Watt/ $m^2$ /sr) è funzione della durata dell'impulso luminoso  $t$  e di un coefficiente  $C_\alpha$ , che dipende a sua volta dall'angolo  $\alpha$  sotto cui è vista la sorgente da parte dell'osservatore.

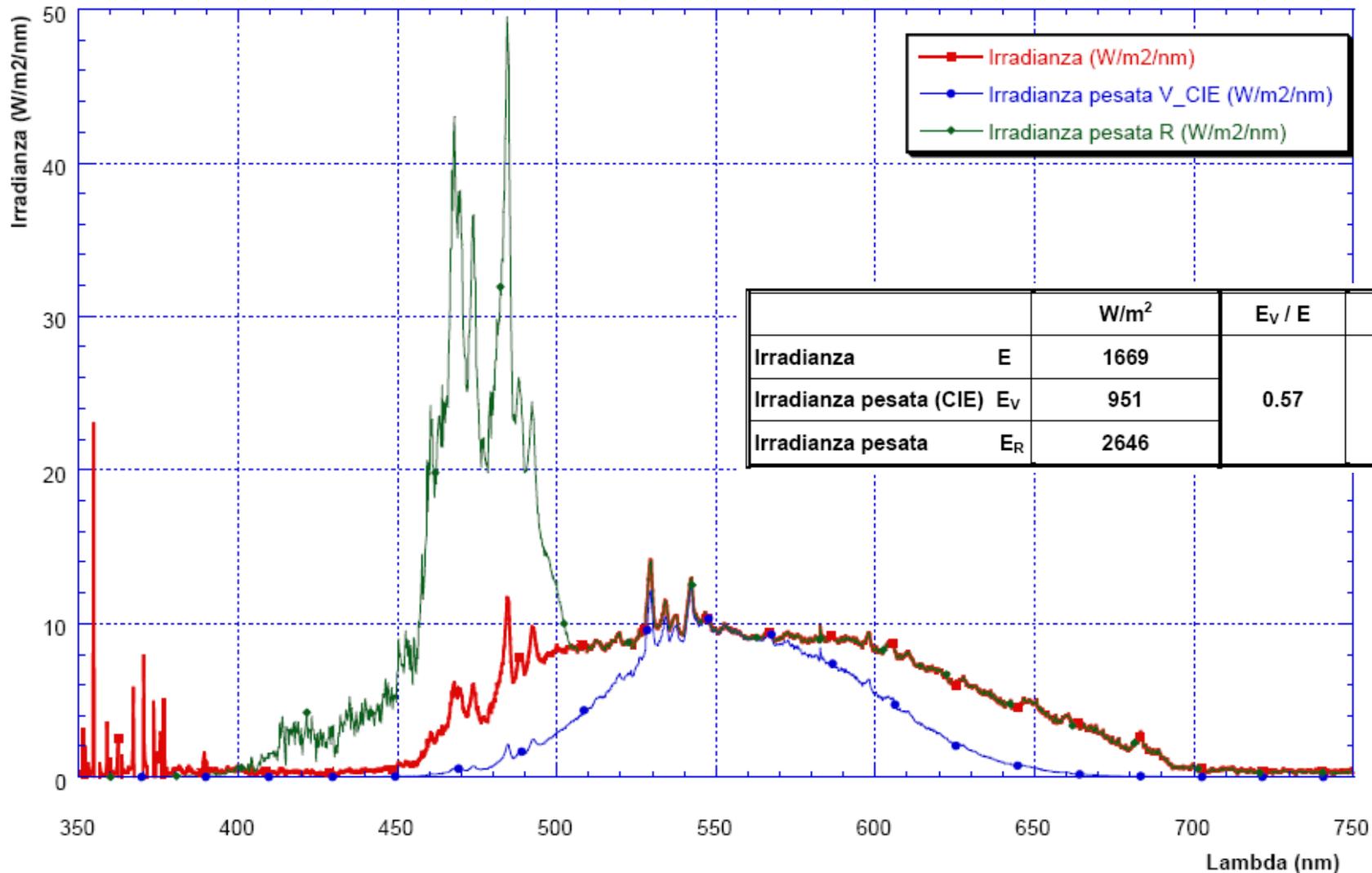
# Sorgente impulsata Luce Blu e Visibile (3)



$$\frac{L_V}{L_R} = \frac{E_V}{E_R}$$

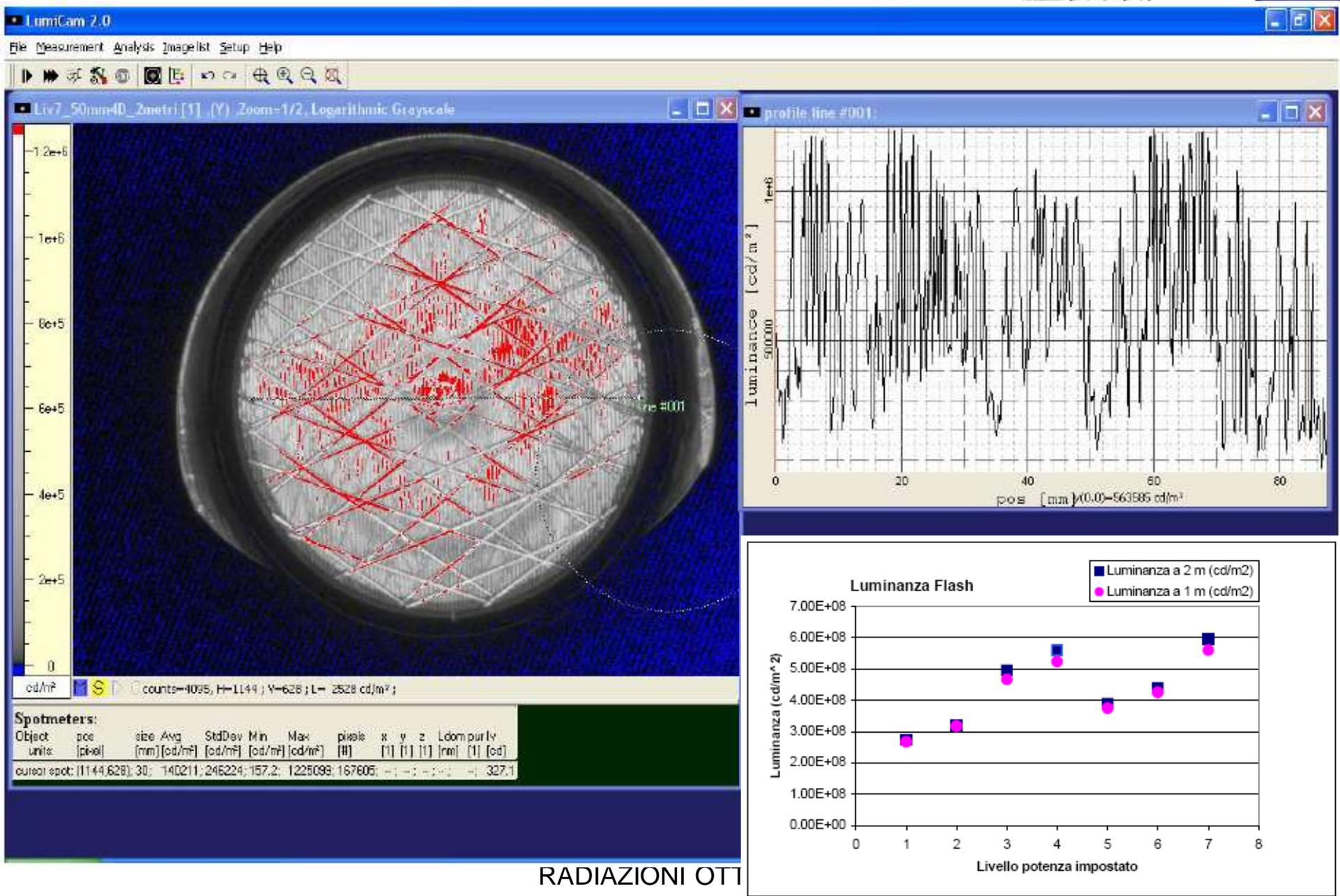
La misura di radianza efficace  $L_R$  è stata ricavata dalla misura della luminanza  $L_V$  del flash ottenuta per mezzo di un videofotometro *Lumicam 1300* della *Instrument Systems GmbH*

Irradianze Flash 360cm\_livello7



		W/m <sup>2</sup>	E <sub>V</sub> / E	E <sub>R</sub> / E	E <sub>R</sub> / E <sub>V</sub>
Irradianza	E	1669	0.57	1.58	2.78
Irradianza pesata (CIE)	E <sub>V</sub>	951			
Irradianza pesata	E <sub>R</sub>	2646			

# Sorgente impulsata Luce Blu e Visibile (4)



RADIAZIONI OTT

Fig. 8 Luminanze per i diversi livelli di intensità misurate dal LumiCam 1300

# Sorgente impulsata Luce Blu e Visibile (5)

$$1 \text{ cd} = \frac{1}{683} \left[ \frac{W}{sr} \right] \text{ (a 555 nm)} \longrightarrow \frac{E_R}{E_V} = 2.78 \longrightarrow L_R = L_V \cdot \frac{E_R}{E_V} = 8.71 \cdot 10^5 \cdot 2.78 = 2.42 \cdot 10^6 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot sr} \right]$$

Ricordiamo che  
l'impulso ha durata

$$t = 1 \text{ ms}$$

E il limite è

$$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0.25}}$$

$$C_\alpha = \alpha \quad \text{se } 1.7 \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$$

Nel caso in esame, essendo

$$d = \frac{2r}{\tan \alpha} \cong \frac{2r}{\alpha} \quad \text{per } \alpha \text{ piccoli}$$

$$d = 2 \text{ m}$$

per  $\alpha = 100 \text{ mrad}$

$$L_R = 2.81 \cdot 10^6 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot sr} \right] \quad (16)$$

$$d = 117 \text{ m}$$

per  $\alpha = 1.7 \text{ mrad}$

$$L_R = 1.64 \cdot 10^8 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot sr} \right] \quad (17)$$

# Sorgente impulsata Luce Blu e Visibile (5)

## Rischio da sorgenti di LUCE BLU Borra M, Militello A



**LumiCam 2.0**

File Measurement Analysis Image list Setup Help

Lampada cinese LED [1] .(Y) .Zoom=1/2, Logarithmic Grayscale

profile line #001:

profile line #002:

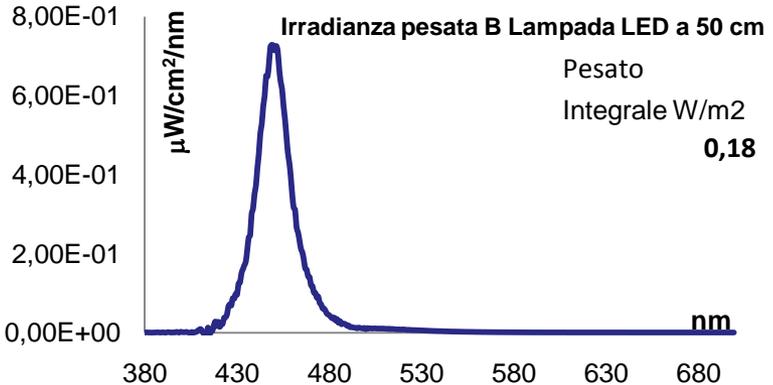
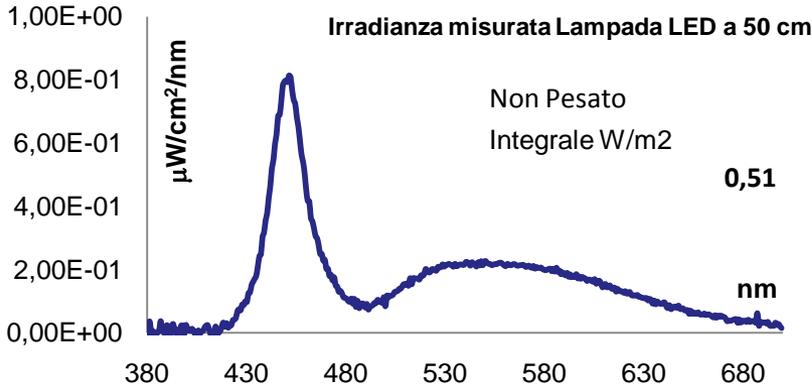
cd/m<sup>2</sup> M S D C counts=2924, H=140 ; V=2 ; L= 288.4 cd/m<sup>2</sup> ;

**Spotmeters:**

Object	pos	size	Avg	StdDev	Min	Max	pixels	x	y	z	Ldom	pur	lv
units:	[pixel]	[pixel]	[cd/m <sup>2</sup> ]	[cd/m <sup>2</sup> ]	[cd/m <sup>2</sup> ]	[cd/m <sup>2</sup> ]	[#]	[1]	[1]	[1]	[nm]	[1]	[cd]
cursor spot;	(140,2);	30;	289,5;	51,95;	204,9;	396,4;	1587;	--;	--;	--;	--;	--;	0,001393
spotmeter #001;	(536,158);	30;	269562;	53811;	67458;	382943;	2873;	--;	--;	--;	--;	--;	2,348
spotmeter #002;	(694,274);	30;	361572;	31655;	208444;	424927;	2873;	--;	--;	--;	--;	--;	3,149
spotmeter #003;	(584,428);	30;	226715;	30647;	119960;	285742;	2873;	--;	--;	--;	--;	--;	1,974
spotmeter #004;	(424,322);	30;	325126;	47822;	61258;	414548;	2873;	--;	--;	--;	--;	--;	2,831
spotmeter #005;	(564,300);	200;	106206;	137068;	743,7;	513045;	126017;	--;	--;	--;	--;	--;	40,57
spotmeter #006;	(676,370);	30;	418799;	67378;	112957;	513045;	2873;	--;	--;	--;	--;	--;	3,647

# Sorgente impulsata Luce Blu e Visibile (5)

## Rischio da sorgenti di LUCE BLU Borra M, Militello A



	kcd/m2	W/m2/sr
LED 1	269	394
LED 2	361	529
LED 3	227	332
LED 4	325	476
LED 5	419	613
Media	<b>320</b>	<b>469</b>
Torcia	<b>106</b>	<b>155</b>

diametro grande	15	mm
diametro singolo LED	3	mm
Area grande	706,8583471	mm <sup>2</sup>
Area LED	28,27433388	mm <sup>2</sup>
Angolo solido grande (50 cm)	0,002827433	sr
Angolo solido LED (50 cm)	0,000113097	sr

Illuminamento da Area grande (a 50 cm)	300	lux	Irradianza da Area grande (a 50 cm)	0,44	W/m2
Illuminamento da singolo LED (a 50 cm)	36	lux	Irradianza da singolo LED (a 50 cm)	0,05	W/m2
Illuminamento da 8 LED (a 50 cm)	290	lux	Irradianza da 8 LED (a 50 cm)	0,42	W/m2
Luxmetro Minolta a 50 cm	235	lux			

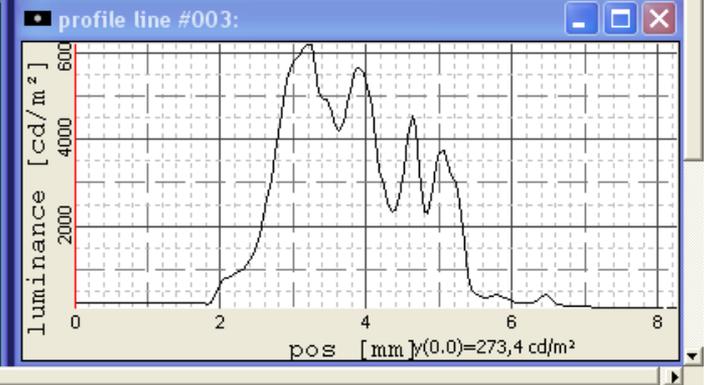
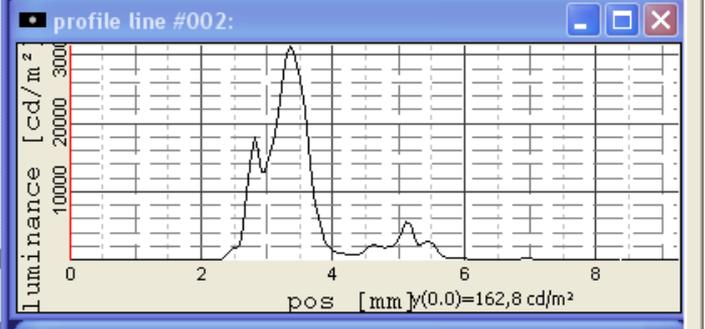
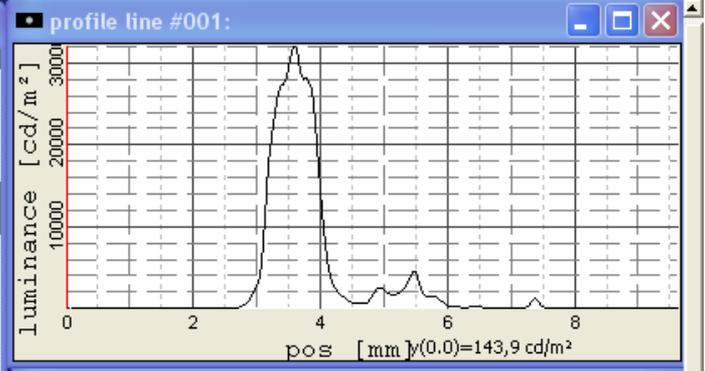
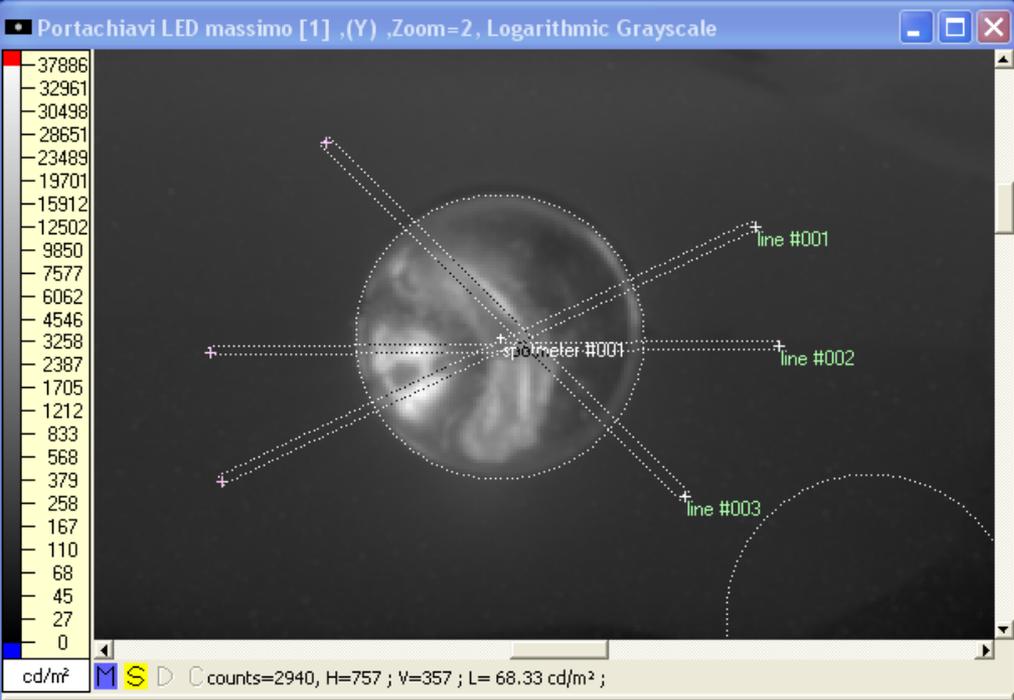
# Sorgente impulsata Luce Blu e Visibile (5)

## Rischio da sorgenti di LUCE BLU Borra M, Militello A



LumiCam 2.0

File Measurement Analysis Image list Setup Help

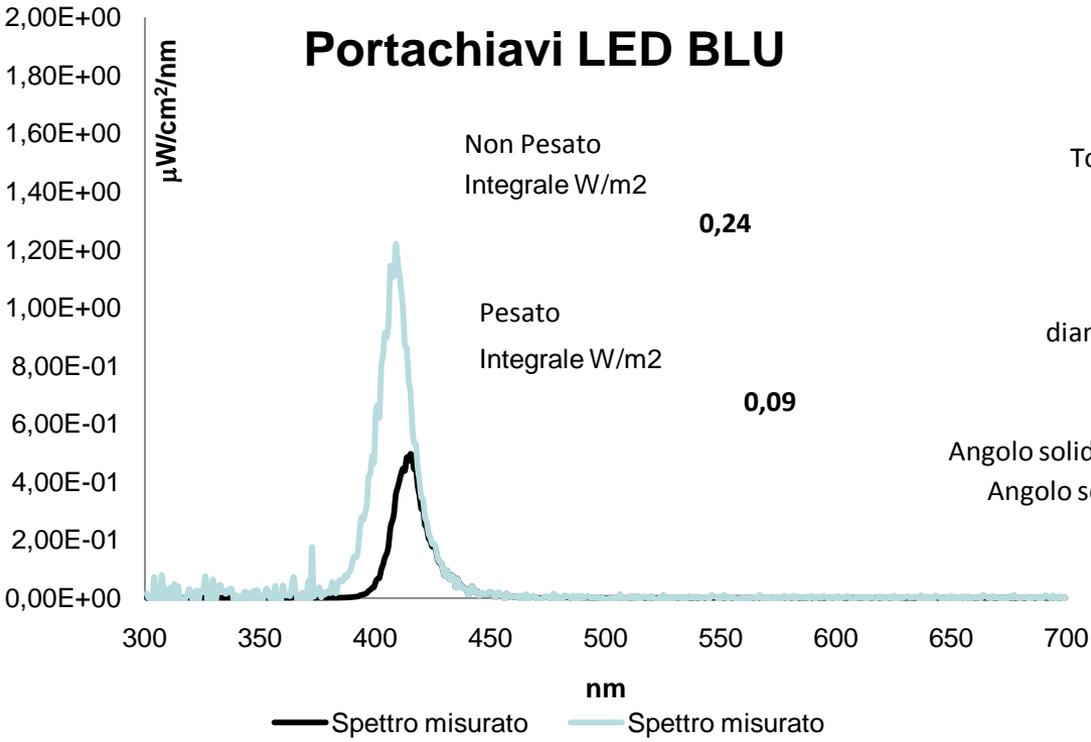


**Spotmeters:**

Object	pos	size	Avg	StdDev	Min	Max	pixels	x	y	z	Ldom	pur	lv
units:	[pixel]	[pixel]	[cd/m <sup>2</sup> ]	[cd/m <sup>2</sup> ]	[cd/m <sup>2</sup> ]	[cd/m <sup>2</sup> ]	[#]	[1]	[1]	[1]	[nm]	[1]	[cd]
cursor spot:	(757,357):	43:	67,98;	36,64;	14,37;	156,1;	5871;	--;	--;	--;	--;	--;	0,001210
spotmeter #001:	(647,273):	43:	2948;	4854;	195,9;	36835;	5871;	--;	--;	--;	--;	--;	0,05247

# Sorgente impulsata Luce Blu e Visibile (5)

## Rischio da sorgenti di LUCE BLU Borra M, Militello A



LED	20000	29283		
Torcia	<b>2900</b>	<b>4246</b>		
	diametro grande	4	mm	
	diametro singolo LED	1	mm	
	Area grande	50,26548246	mm <sup>2</sup>	
	Area LED	3,141592654	mm <sup>2</sup>	
	Angolo solido grande (50 cm)	0,000201062	sr	
	Angolo solido LED (50 cm)	1,25664E-05	sr	

Illuminamento da Area grande (a 50 cm)	0,58	lux
Illuminamento da dimensione attiva LED (a 50 cm)	0,25	lux
<b>Luxmetro Minolta a 50 cm</b>	<b>1,2</b>	<b>lux</b>

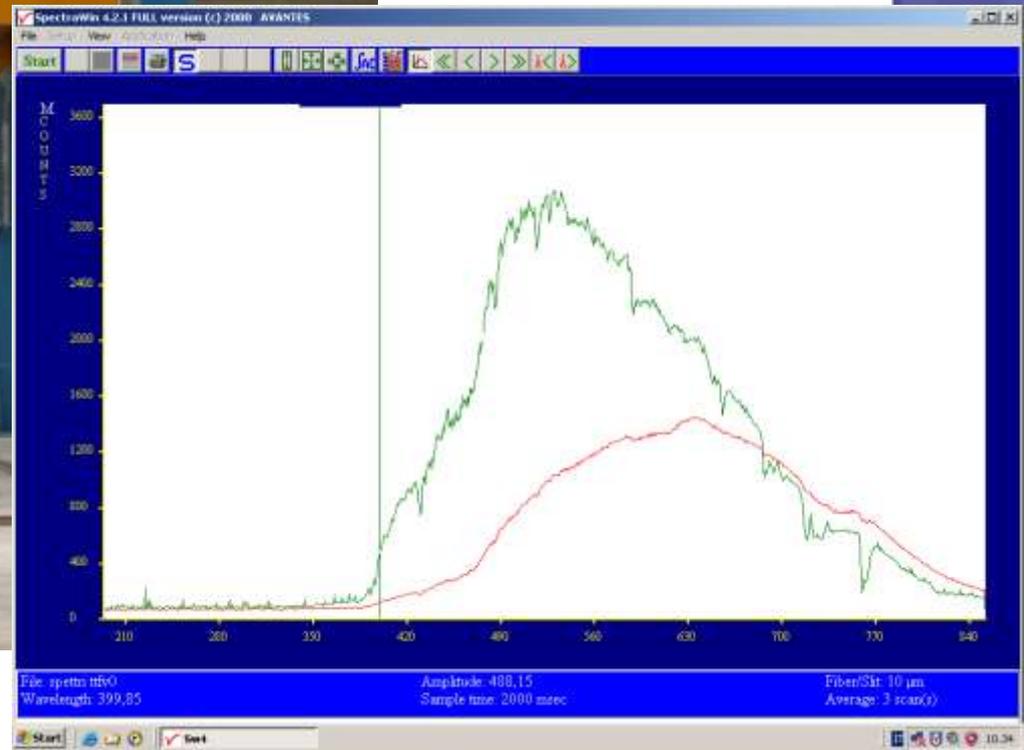
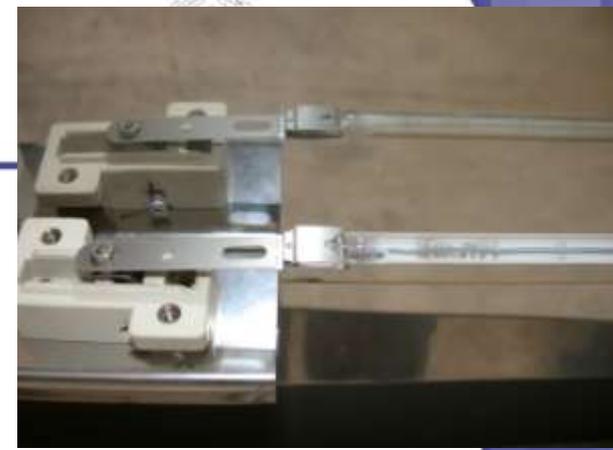
Irradianza da Area grande (a 50 cm)	0,85	W/m <sup>2</sup>
Irradianza da singolo LED (a 50 cm)	0,37	W/m <sup>2</sup>

# Sorgenti Infrarosse



RADIAZIONI OTTICHE

# Sorgenti Infrarosse (2)



RADIAZIONI OTTICHE

# La valutazione del rischio di esposizione a Radiazione Ottica artificiale

# SCELTA DEI LIMITI DI ESPOSIZIONE

- Quali limiti di esposizione, nella Tabella 1 dell'Allegato XXXVII considerare?
- Consideriamo il caso peggiore, quello di chi è esposto ad una sorgente per 8 ore:

# Misurazione si o no?



a	180-400 (UVA, UVB, UVC)	$J m^{-2}$
b	315 – 400 (UVA)	$J m^{-2}$
c	300 -700 (Blue Light) (where $\alpha \geq 11$ mrad and $t \leq 10000$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$
d	300 -700 (Blue Light) (where $\alpha \geq 11$ mrad and $t > 10000$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$
e	300 -700 (blue light) (where $\alpha < 11$ mrad and $t \leq 10000$ s)	$W m^{-2}$
f	300 -700 (blue light) (where $\alpha < 11$ mrad and $t > 10000$ s)	$W m^{-2}$
g	380 – 1400 (visible and IRA) (for $t > 10$ s )	$W m^{-2} sr^{-1}$
h	380 – 1400 (visible and IRA) (for $t 10 \mu s$ to 10 s)	$W m^{-2} sr^{-1}$
i	380 – 1400 (visible and IRA) (for $t < 10 \mu s$ )	$W m^{-2} sr^{-1}$

- Si, se la sorgente emette radiazione UV

No, il caso peggiore è per l'esposizione più lunga

- Si, se la sorgente emette nel visibile; questo limite copre il caso di esposizione di 8 ore

- Non spesso; di solito le sorgenti sono abbastanza grandi.

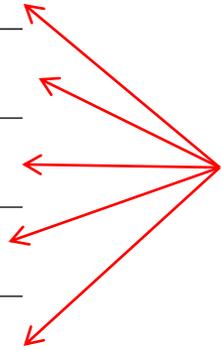
Si, se la sorgente emette nel visibile; questo limite copre il caso di esposizione di 8 ore

- No, il caso peggiore è per le esposizione più lunghe

# Misurazione sì o no?



<b>j</b>	780 -1400 (IRA) (for t > 10 s)	$W m^{-2} sr^{-1}$
<b>k</b>	780 -1400 (IRA) (for t 10 $\mu s$ to 10 s)	$W m^{-2} sr^{-1}$
<b>l</b>	780 -1400 (IRA) (for t < 10 $\mu s$ )	$W m^{-2} sr^{-1}$
<b>m</b>	780 -1400 (IRA, IRB) (for t $\leq$ 1000 s)	$W m^{-2}$
<b>n</b>	780 - 3000 (IRA, IRB) (for t > 1000 s)	$W m^{-2}$
<b>o</b>	380 - 3000 (visible, IRA, IRB)	$J m^{-2}$

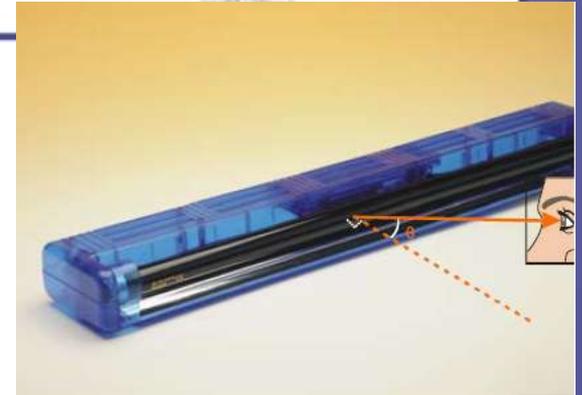


- Non spesso; di solito le sorgenti più comuni emettono nel visibile e quindi i limiti **g**, **h** e **l** sono in prima approssimazione più appropriati
- Non spesso; questo limite è a protezione dall'esposizione a fonti particolarmente potenti di tipo industriale

In circostanze eccezionali, altri limiti di esposizione possono essere opportuni; per esempio, il limite di esposizione **c** è utilizzato se limite di esposizione **d** rischia di essere superato; **h** viene se è probabile che **g** sia superato.

Tali circostanze saranno percepibili solo nel corso della valutazione del rischio.

# Fattori geometrici



- $\theta$  è l'angolo tra la perpendicolare alla superficie della sorgente e la linea di vista utilizzata per le misure

- $Z = (l + w)/2$  è la dimensione media della sorgente

- $l$  lunghezza apparente = lunghezza reale \*  $\cos \theta$

- $w$  larghezza apparente = larghezza reale \*  $\cos \theta$

$\alpha$  è l'angolo sotteso dalla sorgente

$\omega$  è l'angolo solido sotteso dalla sorgente

$C\alpha$  è un fattore che dipende da  $\alpha$

$A$  = Area apparente della sorgente:

area reale \*  $\cos \theta$  se la sorgente è circolare

$l * w$  per le altre sorgenti

- Se la distanza dalla sorgente è  $r$

$\alpha = Z/r$  in radianti

$\omega = A/r^2$  in steradiani

# Valutazione preliminare per sorgenti di “luce bianca” (no emissione di UV)



- Non è necessario effettuare una completa valutazione spettrale di una generica sorgente luminosa (rischio retinico) se la sua **luminanza**,  $L_v < 10^4$  (cd m<sup>-2</sup> )
- Ricordiamo che  $L_v = E_v / \omega$  ; quindi una misura di illuminamento  $E_v$  (lux) permette di fare una valutazione preliminare ricavando  $L_v$  noto  $\omega$  .
- I LED emettono in bande abbastanza strette; un LED verde può essere misurato da 400 a 600 nm;
- Sorgenti che emettono UV al di sotto di 254 nm sono molto rare;
- Quasi tutti gli apparecchi luminosi sono dotati di vetro di protezione che taglia al di sotto dei 350 nm;
- Tranne le sorgenti incandescenti, le più comuni sorgenti hanno emissione infrarossa trascurabile.

# Valutazione preliminare per sorgenti nel visibile



- Ogni misura di irradianza deve essere effettuata con uno strumento che abbia un campo di vista limitato al valore  $\gamma$  che dipende a sua volta dalla durata prevista dell'esposizione (limite **d** per 8 ore e limite **g** per esposizioni di 10 secondi
  - $\gamma = 110$  mrad (rischio retinico di tipo fotochimico, **t > 10000 s**)
  - $\gamma = 11$  mrad (rischio retinico di tipo termico, **t < 10 s**)
- Per calcolare la radianza da misure di irradianza, quest'ultima deve essere divisa per l'angolo solido; l'angolo solido da considerare deve essere il più grande tra quello reale  $\omega = A/r^2$  (in steradiani) o quello ricavabile da  $\gamma$
- Per il limite **d** il campo di vista di  $\gamma = 110$  mrad corrisponde a un angolo solido  $\omega_B = 0.01$  sr
- Per il limite **g** il campo di vista di  $\gamma = 11$  mrad corrisponde a un angolo solido  $\omega_R = 0.0001$  sr

$$\Omega = \frac{A}{R^2} = 2\pi \left( 1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right)$$

# Esempio 1



- 3 x 36 W fluorescenti dietro un diffusore.
- 57.5 cm X 117.5 cm misure del diffusore
- Non c'è emissione significativa di IR. Rischio possibile solo da visibile e UV
- UV comunque attenuati dal diffusore plastico; quindi solo il limite ***d*** è da considerare.

- Misure di irradianza a 100 cm
- ***Z = 87.5*** cm misure media del diffusore;  $\alpha = Z/r$  ovvero  $\alpha = 87.5/100 = 0.875$  rad
- ***Area = 6756 cm<sup>2</sup>*** da cui  $\omega = A/r^2 = 0.68$  sr . Quindi  $\omega_B = \omega_R = 0.68$  sr
- Una misura con il luxmetro fornisce ***E<sub>v</sub> = 1010 lux*** pari ad una
- **Luminanza di *L<sub>v</sub> = 1500 cd m<sup>-2</sup>***
  - **NON SONO NECESSARIE ULTERIORI MISURE**



## • DATI RADIOMETRICI

- Irradianza efficace  $E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$
- Irradianza UVA  $E_{\text{UVA}} < 17 \text{ mW m}^{-2}$
- Irradianza efficace BLU  $E_{\text{B}} < 338 \text{ mW m}^{-2}$
- Irradianza efficace IR  $E_{\text{R}} < 5424 \text{ mW m}^{-2}$
- Radianza efficace BLU  $L_{\text{B}} < 338 \text{ mW m}^{-2} / 0.68 \text{ sr} = 0.5 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}$
- Radianza efficace IR  $L_{\text{R}} < 5424 \text{ mW m}^{-2} / 0.68 \text{ sr} = 8 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}$

## • CONFRONTO CON I LIMITI DI ESPOSIZIONE

- Limite a è  $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2} \text{ ----> } E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2} \text{ ----> } T_{\text{max}} \gg 8 \text{ ore}$
- Limite b è  $H_{\text{UVA}} = 10.000 \text{ J m}^{-2} \text{ ----> } E_{\text{UVA}} = 17 \text{ mW m}^{-2} \text{ ----> } T_{\text{max}} \gg 8 \text{ ore}$
- Limite d è  $L_{\text{B}} = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } L_{\text{B}} = 0.5 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> LIMITE NON SUPERATO}$
- Limite g è  $L_{\text{R}} = 280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } L_{\text{B}} = 8 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> LIMITE NON SUPERATO}$

## Esempio 2



- 70 W lampada metal halide in apparato con riflettore e vetro protettivo per illuminare area sottostante
- 18 cm X 18 cm misure del riflettore; 5 mm dimensioni arco di scarica.
- Rischio possibile solo da visibile e UVA
- UV comunque attenuati dal vetro;
- limite  $b$ ,  $d$  e  $g$  da considerare.

- Misure di irradianza a 100 cm;
- dimensioni arco **0.5 cm**;  $\alpha = Z/r$  ovvero  $\alpha = 0.5/100 = 0.005$  rad che è < di 11 mrad
- **Area = 0.2 cm<sup>2</sup>** da cui  $\omega = A/r^2 = 0.00002$  sr . Quindi  $\omega_B = 0.01$  e  $\omega_R = 0.0001$  sr
- Una misura con il luxmetro fornisce  **$E_v = 2984$  lux** pari ad una
- **Luminanza di  $L_v = 2984 / 0.00002 = 149.000.000$  cd m<sup>-2</sup>**
  - **SONO NECESSARIE ULTERIORI MISURE**



## • DATI RADIOMETRICI

- Irradianza efficace  $E_{\text{eff}} < 110 \mu\text{W m}^{-2}$
- Irradianza UVA  $E_{\text{UVA}} < 915 \text{ mW m}^{-2}$
- Irradianza efficace BLU  $E_{\text{B}} < 2329 \text{ mW m}^{-2}$
- Irradianza efficace IR  $E_{\text{R}} < 30172 \text{ mW m}^{-2}$
  
- Radianza efficace BLU  $L_{\text{B}} < 2329 \text{ mW m}^{-2} / 0.01 \text{ sr} = 233 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}$
- Radianza efficace IR  $L_{\text{R}} < 30172 \text{ mW m}^{-2} / 0.0001 \text{ sr} = 302 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}$

## • CONFRONTO CON I LIMITI DI ESPOSIZIONE

- Limite a è  $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2} \text{ ----> } E_{\text{eff}} < 110 \mu\text{W m}^{-2} \text{ ----> } T_{\text{max}} \gg 8 \text{ ore}$
- **Limite b è  $H_{\text{UVA}} = 10.000 \text{ J m}^{-2} \text{ ----> } E_{\text{UVA}} = 915 \text{ mW m}^{-2} \text{ ----> } T_{\text{max}} \text{ circa } 3 \text{ ore}$**
- Limite d è  $L_{\text{B}} = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } L_{\text{B}} = 233 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } \text{LIMITE SUPERATO}$
- Limite g è  $L_{\text{R}} = 280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } L_{\text{B}} = 302 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } \text{LIMITE SUPERATO}$

## Esempio 3



- 4 lampade fluorescenti da 18 W 57 cm x 2 cm in apparato 57 cm x 57 cm con riflettore e aperto davanti; sorgente non omogenea.
- 18 cm X 18 cm misure del riflettore; 5 mm dimensioni arco di scarica.
- Emissione di IR insignificante
- Rischio possibile solo da visibile e UVA
- limite **a**, **b** e **d** da considerare.

- Misure di irradianza a 100 cm guardando direttamente le lampade;
- Dimensioni medie di ogni lampada:  $Z = (57 + 2)/2 \text{ cm} = 29.5 \text{ cm}$
- Quindi, se  $\alpha = Z/r$  allora  $\alpha = 29.5/100 = 0.295 \text{ rad}$
- $\text{Area} = (57 \times 2) = 114 \text{ cm}^2$  da cui  $\omega = A/r^2 = 0.011 \text{ sr}$ . Quindi  $\omega_B = \omega_R = 0.011 \text{ sr}$
- Una misura con il luxmetro, per ogni lampada, fornisce  $E_v = 305 \text{ lux}$  pari ad una
- Luminanza di  $L_v = 305/0.011 = 28.000 \text{ cd m}^{-2}$ 
  - **SONO NECESSARIE ULTERIORI MISURE** per il RISCHIO RETINICO (BLU).
  - MISURE ANCHE PER UV



- **DATI RADIOMETRICI**
- Irradianza efficace  $E_{\text{eff}} = 1.04 \text{ mW m}^{-2}$
- Irradianza UVA  $E_{\text{UVA}} = 115 \text{ mW m}^{-2}$
- Irradianza efficace BLU  $E_{\text{B}} = 555 \text{ mW m}^{-2}$  totali,
  - equivalenti a  $E_{\text{B}} = 139 \text{ mW m}^{-2}$  per lampada
- Irradianza efficace IR  $E_{\text{R}} = 8035 \text{ mW m}^{-2}$  pari a  $2009 \text{ mW m}^{-2}$  per lampada
- Radianza efficace BLU  $L_{\text{B}} = 139 \text{ mW m}^{-2} / 0.011 \text{ sr} = 13 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}$
- Radianza efficace IR  $L_{\text{R}} = 2009 \text{ mW m}^{-2} / 0.011 \text{ sr} = 183 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}$
  
- **CONFRONTO CON I LIMITI DI ESPOSIZIONE**
- **Limite a è  $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2} \text{ ----> } E_{\text{eff}} = 1.04 \text{ mW m}^{-2} \text{ ----> } T_{\text{max}} = 28800 \text{ sec} = 8.01 \text{ ore}$** 
  - **In pratica la distanza di una lampada è superiore ai 100 cm di misura**
- **Limite b è  $H_{\text{UVA}} = 10.000 \text{ J m}^{-2} \text{ ----> } E_{\text{UVA}} = 115 \text{ mW m}^{-2} \text{ ----> } T_{\text{max}} > 8 \text{ ore}$**
- **Limite d è  $L_{\text{B}} = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } L_{\text{B}} = 13 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> LIMITE NON SUPERATO}$**
- **Limite g è  $L_{\text{R}} = 280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } L_{\text{B}} = 183 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> LIMITE NON SUPERATO}$**

## Esempio 4



- Proiettore con lampada da 150 w e lenti di diametro di 4.7 cm; proiettata immagine bianca
- 18 cm X 18 cm misure del riflettore; 5 mm dimensioni arco di scarica.
- Emissione di IR e UV trascurabile
- Rischio possibile solo da visibile
- Limiti  $d$  e  $g$  da considerare.

- Misure di irradianza a 200 cm con messa a fuoco a questa distanza; non tutta la lente appare utilizzata dal fascio ma solo un'area di circa 3 cm di diametro.
- Dimensioni medie di ogni lampada:  $Z = 3$  cm
- Quindi, se  $\alpha = Z/r$  allora  $\alpha = 3/200 = 0.02$  rad
- $Area = (1.5 \times 1.5) \times 3.14 = 7$  cm<sup>2</sup> da cui  $\omega = 0.0001$  sr .
- Quindi  $\omega_B = 0.01$  sr e  $\omega_R = 0.0001$  sr
- Una misura con il luxmetro fornisce  $E_v = 2038$  lux pari ad una
- Luminanza di  $L_v = 2038/ 0.0001 = 20.000.000$  cd m<sup>-2</sup>
  - **SONO NECESSARIE ULTERIORI MISURE** per il RISCHIO RETINICO (BLU).



## • DATI RADIOMETRICI

- Irradianza efficace  $E_{\text{eff}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$
- Irradianza UVA  $E_{\text{UVA}} = 1.0 \text{ mW m}^{-2}$
- Irradianza efficace BLU  $E_{\text{B}} = 2237 \text{ mW m}^{-2}$
- Irradianza efficace IR  $E_{\text{R}} = 24988 \text{ mW m}^{-2}$
- Radianza efficace BLU  $L_{\text{B}} = 2237 \text{ mW m}^{-2} / 0.01 \text{ msr} = 224 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}$
- Radianza efficace IR  $L_{\text{R}} = 24988 \text{ mW m}^{-2} / 0.0001 \text{ sr} = 250 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}$

## • CONFRONTO CON I LIMITI DI ESPOSIZIONE

- Limite a è  $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2} \text{ ----> } E_{\text{eff}} = 1.04 \text{ mW m}^{-2} \text{ ----> } T_{\text{max}} > 8 \text{ ore}$
- Limite b è  $H_{\text{UVA}} = 10.000 \text{ J m}^{-2} \text{ ----> } E_{\text{UVA}} = 1 \text{ mW m}^{-2} \text{ ----> } T_{\text{max}} > 8 \text{ ore}$
- Limite d è  $L_{\text{B}} = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } L_{\text{B}} = 224 \text{ W m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } \text{ LIMITE SUPERATO}$
- Limite c è  $L_{\text{B}} < 10^6 / t \text{ W m}^{-2} \text{ ----> } T_{\text{max}} = 10^6 / L_{\text{B}} \text{ ----> } \text{ pari a circa 70 minuti}$
- Limite g è  $L_{\text{R}} = 280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } L_{\text{B}} = 250 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr} \text{ ----> } \text{ LIMITE NON SUPERATO}$

***Grazie per l'attenzione!***