

O. Cazzuli¹, E. Giroletti²

Rischio da esposizione a radiazione UV nei laboratori biochimici

¹ Settore Tutela Territoriale e Ambientale - Provincia di Lodi

² Divisione Igiene e Sicurezza - Università degli Studi di Pavia

RIASSUNTO. Nei laboratori biochimici la radiazione UV è largamente utilizzata, in particolare negli studi di fotochimica e fotobiologia, come agente sterilizzante e per la caratterizzazione dei campioni mediante varie tecniche. Nel presente lavoro si presentano i risultati della verifica, condotta presso vari laboratori biochimici, al fine di valutare i livelli di esposizione a radiazione UV non coerente e di rischio per i ricercatori e gli studenti, che le misure mostrano essere tutt'altro che trascurabile, qualora non fossero impiegate le procedure corrette ed i dispositivi di protezione individuale.

Parole chiave: radiazione UV, valutazione rischio.

ABSTRACT. *www.gimle.fsm.it* - In biological and chemical laboratories UV radiation is largely used, particularly in photo biological and photochemical studies, with the objective to sterilize or to visualize the samples in different technical analysis. In this work we present the results of the evaluation of UV exposition levels and the hazards for researchers and students, that the results shows elevated if they don't use correct laboratory procedures and protective wear.

Key words: UV radiation, risk evaluation.

1. Introduzione

Sono oggi riconosciuti i rischi per la salute dell'uomo derivanti dall'esposizione alla radiazione UV, in particolare è accertata l'associazione tra esposizione a radiazione UV e alcuni danni alla pelle e agli occhi (carcinoma e cataratta). Le occasioni di esposizione sono molteplici: oltre al sole una gran varietà di sorgenti artificiali impiegate per scopi diversi nell'industria, nella ricerca e in medicina danno un contributo, non sempre valutabile, all'esposizione totale di un individuo nell'arco della vita; nonostante questa consapevolezza, la valutazione della esposizione professionale e della popolazione non è sufficientemente e adeguatamente attuata.

Nei laboratori biochimici la radiazione UV è largamente utilizzata, in particolare negli studi di fotochimica (attività di polimerizzazione di molecole e sintesi di prodotti chimici, metodologie diagnostiche ed analitiche) e fotobiologia, come agente sterilizzante (disinfezione dell'aria di ambienti confinati, dei liquidi e nella sterilizzazione superficiale dei materiali) e come mezzo per la caratterizzazione dei campioni mediante varie tecniche (spettrofotometria, visualizzazione di sostanze fluorescenti, ecc.); è impiegata una vasta varietà di sorgenti UV, spesso ad alto rischio se non sono previsti adeguati mezzi di prevenzione.

In questo lavoro si presentano i risultati relativi ad una campagna di misure, condotta presso vari laboratori, con l'obiettivo di valutare i livelli di esposizione a radiazione UV non coerente, attraverso la misura dell'esposizione efficace mediante un sistema spettrofotometrico. In questo modo, tenendo conto dello spettro d'azione che definisce l'efficacia biologica delle componenti spettrali rispetto all'effetto e al bersaglio principale della radiazione, è possibile stimare l'irradianza efficace, quale indice utile per la quantificazione del rischio cui gli operatori sono sottoposti utilizzando sorgenti UV.

1.1. Radiazioni UV e possibili effetti sull'uomo

La parte dello spettro elettromagnetico che comprende la radiazione visibile, quella ultravioletta, UV, e quella infrarossa, IR, è denominata radiazione ottica, per esprimere

il fatto che questi tre tipi di radiazione si propagano seguendo le leggi dell'ottica fisica. In particolare la radiazione ultravioletta costituisce quella porzione di spettro elettromagnetico compresa fra la banda visibile e la regione dei raggi X ($100 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$). L'intervallo è ulteriormente suddiviso in zone la cui estensione e collocazione, puramente convenzionali, sono basate su alcune proprietà fisiche della radiazione ovvero sulla diversa efficacia nel determinare il danno biologico. Secondo quest'ultimo criterio il comitato tecnico internazionale, CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), ha proposto la seguente suddivisione e nomenclatura, oggi generalmente adottata nel campo della fotobiologia e fotoprotezione, anche in funzione dei danni che possono provocare:

- UVA, vicino: $400 \geq \lambda > 315 \text{ nm}$, luce nera, induce fluorescenza;
- UVB, medio: $315 > \lambda > 280 \text{ nm}$, spettro d'azione per l'eritema;
- UVC, lontano: $280 > \lambda > 200 \text{ nm}$, lampade germicide: inattivazione virus e batteri; massimo assorbimento del DNA (260 nm); mutagenicità ed oncogenicità;
- UVV, vuoto: $200 > \lambda \geq 100$.

I principali organi bersaglio da considerare, ai fini di questo lavoro, sono due:

- ❖ occhi: gli UV interessano cornea e cristallino, dove sono assorbiti; i danni possono essere a breve termine: fotocheratiti, fotocongiuntivite, ed a lungo termine: cataratta, formazione di cellule cancerose della congiuntiva, pterigio;
- ❖ pelle -mani, viso, collo-, dove possono provocare a breve termine: eritema, pigmentazione, ed a lungo termine: invecchiamento precoce, melanoma maligno, carcinomi cutanei non melanocitici.

Le principali misure di prevenzione e protezione, oltre alla formazione ed informazione del personale ed alle eventuali visite mediche, sono:

- *confinamento delle sorgenti*, attraverso la delimitazione delle aree ove sono impiegate e la predisposizione di segnalazioni e di idonee barriere che impediscano l'accesso accidentale;
- *riduzione del tempo di esposizione*: la dose assorbita è proporzionale al tempo;
- *aumento della distanza sorgente-operatore*: i livelli di esposizione sono inversamente proporzionali al quadrato della distanza tra operatore e sorgente;
- *protezione dell'operatore*: utilizzo di camici che coprano corpo e braccia; uso di guanti ed occhiali, meglio maschere per UV.

2. Materiali e metodi

2.1. Sorgenti di esposizione e modo di impiego

La valutazione del rischio ha caratterizzato una ventina di sorgenti di radiazione UV non coerente di diversa tipologia (tab. I), rappresentative di quelle generalmente impiegate nei laboratori di chimica, biochimica, genetica, biologia e microbiologia. Per evidenziarle separatamente

Tabella I. *Sorgenti monitorate e area di utilizzo*

Area utilizzo	Sorgente	Codice
Chimica	Girello 8 lampade fluorescenti verticali	L3102
	Girello 4 lampade fluorescenti verticali	L3652
	Lampada ad alta pressione di Hg	LHG
	Visore lastrine 254 nm (lampada a bassa pressione di Hg)	L2542
	Visore lastrine 365 nm (lampada a bassa pressione di Hg)	L3653
	Lampada bifil a scarica a media pressione	LB254
	Lampada ad alta pressione di Hg filtrata al quarzo	LBAN
	Visore lastrine TLC (254 nm) (lampada a bassa pressione di Hg)	TLC
	Visore lastrine 365 nm (lampada a fluorescenza)	CHINO
	Visore lastrine 365 nm (lampada a fluorescenza)	MER
Genetica e Microbiologia	Lampada ad alta pressione	HG
	Transilluminatore (lampada a fluorescenza)	T320
	Transilluminatore con apparato fotografico (lampada a fluorescenza)	TGEN1
	Transilluminatore (lampada a fluorescenza)	TGEN2
	Transilluminatore (lampada a fluorescenza)	SANTA01
	Cappa Germicida	RANCO
	Cappa Sterile	DELLACO
Biologia	Cappa Germicida	CAPCHO
	Lampada stabulario (lampada di mercurio a scarica a bassa pressione)	PATL

per tipologia d'uso, di seguito le stesse sono codificate in funzione dell'area di lavoro: chimica, genetica e microbiologia, biologia (1). La tipologia delle sorgenti è molto variegata ed il rischio può essere molto diversificato, è necessario riportare per ciascuna sorgente le caratteristiche principali e le modalità di utilizzo delle stesse.

A questo scopo è utile precisare che per tutte le sorgenti monitorate nei laboratori sono disponibili occhiali per la protezione dalla radiazione UV specifici per la tipologia di lampada in uso. Tutti gli operatori indossano camici da laboratorio a manica lunga che consentono la protezione delle braccia. I guanti a disposizione sono quelli abitualmente utilizzati nei laboratori per la manipolazione di agenti chimici o biologici. Nella valutazione, si è comunque considerato il rischio potenziale presente qualora l'operatore utilizzi la sorgente in modo scorretto, ed in particolare qualora non impieghi le schermature o i dispositivi di protezione individuale.

2.1.1. Area di chimica

1) Girello con configurazione di 8 lampade verticali fluorescenti ($\lambda_0=310 \text{ nm}$) da 15 W ciascuna [L3102]

2) Girello con configurazione di 4 lampade verticali fluorescenti ($\lambda_0=365 \text{ nm}$) da 15 W ciascuna [L3652]

Possibile esposizione: mani, occhi e viso. Entrambe le sorgenti a girello sono utilizzate per indurre reazioni foto-

chimiche analitiche, generalmente riguardanti l'attività di didattica. L'operatore si limita a predisporre nel girello il campione da analizzare e ad accendere le lampade. Ciascuna misura richiede tempi nell'ordine di alcuni minuti, durante i quali non è necessaria la presenza costante dell'operatore, il quale, però, può ripetere la stessa operazione più volte nell'arco della stessa giornata lavorativa. L'intero apparato è schermato mediante pannelli di cartone nero mobili, disposti su tutti i lati del dispositivo. Le lampade sono utilizzate da studenti e ricercatori.

3) lampada ad alta pressione di mercurio ($P = 500 \text{ W}$) [LHG] - fig. 1.

Possibile esposizione: mani, occhi e viso. Sorgente utilizzata per indurre reazioni fotochimiche preparative su campioni che sono sistemati manualmente dall'operatore. La lampada è alloggiata su un banco di lavoro, all'interno di una cabina il cui accesso avviene dal lato frontale, costituito da una tenda scorrevole di tessuto nero. Anche in questo caso l'operatore, che può essere sia uno studente sia un ricercatore, si limita a posizionare il campione, operazione che richiede pochi istanti, ma che può essere ripetuta più volte in una stessa giornata. Generalmente la lampada è mantenuta accesa durante il periodo della giornata in cui sono programmate le misure, al fine di garantire la stabilità dell'emissione di radiazione UV. È utilizzata sia da studenti sia da ricercatori.

4) Visore di lastre a due posizioni: $\lambda_0 = 254 \text{ nm}$ [L2542] e $\lambda_0 = 365 \text{ nm}$ [L3653].

Possibile esposizione: mani. È largamente utilizzata per identificare composti mediante cromatografia su strato sottile, nei laboratori chimici e biochimici. La sorgente UV è una lampada al mercurio a scarica a bassa pressione, che può emettere a 254 o 365 nm, posta orizzontalmente. Il visore non dispone di alcuno schermo aggiuntivo ad eccezione dell'alloggiamento stesso della lampada che consente l'emissione di radiazione esclusivamente verso il basso. L'operatore (sia studente che ricercatore) può esporre quindi le mani durante l'operazione di attivazione del composto da identificare. Anche quest'operazione è estremamente breve (al termine di ogni esposizione la lampada viene spenta), ma è generalmente ripetuta molte volte.

5) Lampada bifil a scarica di mercurio a media pressione ($P = 50 \text{ W}$) [LB254].

6) Lampada ad alta pressione di mercurio per banco ottico ($P = 250 \text{ W}$), filtrata al quarzo [LBAN].

Possibile esposizione: occhi e viso. Entrambe le sorgenti sono alloggiare in un laboratorio ad accesso controllato e vengono impiegate per indurre reazioni fotochimiche analitiche e vengono utilizzate esclusivamente da personale esperto. Le sorgenti non dispongono di schermi aggiuntivi sulla direzione di propagazione del fascio di radiazione. L'operatore prepara l'esperienza e non staziona nel laboratorio a sorgenti accese.

7) Visore di lastre cromatografiche TLC ($\lambda_0 = 254 \text{ nm}$) [TLC], lampada al mercurio a scarica a bassa pressione.

8) Visore di lastre cromatografiche ($\lambda_0 = 365 \text{ nm}$) [CHINO], lampada a fluorescenza.

9) Visore di lastre cromatografiche ($\lambda_0 = 365 \text{ nm}$) [MER], lampada a fluorescenza.



Figura 1. Lampade ad arco per attività di polimerizzazione e sintesi di prodotti chimici, studi di fotobiologia, area chimica

Possibile esposizione: mani, occhi e viso. Queste sorgenti UV sono analoghe, sia per tipologia che per utilizzo a quella descritta al punto 4), con lampada disposta orizzontalmente al fine di poter esporre i campioni sottostanti. Mentre il primo visore (sorgente n. 7) non dispone di alcuno schermo aggiuntivo oltre all'alloggiamento della lampada stessa, il terzo (sorgente n. 9) dispone di una scatola di cartone non fissa che viene posizionata dall'operatore qualora risulti necessario mantenere la lampada accesa per un periodo lungo. Il visore n. 8 è invece alloggiato in apposito armadio aperto verso l'alto. Lo schermo frontale è costituito da una tenda di plastica nera nella quale sono praticate due aperture per gli occhi.

A differenza del visore descritto nel punto 4, in questi casi è stata valutata anche l'esposizione agli occhi in quanto le postazioni di lavoro relative alle sorgenti 7 e 9 sono dotate di una sedia, pertanto l'operatore può compiere l'operazione di visualizzazione sia stando in piedi, quindi esponendo solo le mani, che stando seduto quindi esponendo anche gli occhi e il viso. Per quanto riguarda il visore n. 8 è stata valutata l'esposizione degli occhi posizionando la sonda nei fori predisposti nello schermo frontale.

Le sorgenti UV vengono utilizzate normalmente da ricercatori e nelle attività didattiche di laboratorio anche dagli studenti. Il loro impiego richiede la presenza dell'operatore per tempi brevi, dell'ordine di qualche minuto, ma

l'operazione viene generalmente ripetuta più volte nell'arco della giornata lavorativa.

10) Lampada a vapori di mercurio ad alta pressione ($P = 1 \text{ kW}$), con filtro UG5 (vetro-uranio) per radiazione visibile + acqua per radiazione infrarossa [HG].

Possibile esposizione mani, occhi e viso, capo-collo. La lampada ad alta pressione è ubicata in un laboratorio chiuso, è completamente schermata e dispone di un sistema di raffreddamento ad acqua; viene impiegata per produrre specie radicali e per studiarne la cinetica di reazione.

Il laboratorio che ospita la lampada è accessibile ai soli ricercatori autorizzati e non viene utilizzato per didattica. L'operatore prepara l'esperienza, posiziona il campione e può seguire la reazione mediante elaborazione su pc.

Il locale è poco spazioso, la sorgente UV occupa tutta la parte centrale del laboratorio, mentre contro la parete laterale sono posizionati i banchi di lavoro per la preparazione dei campioni e per l'elaborazione dei dati. Si sono verificati, pertanto, i livelli di irradianza, oltre che nella posizione occhi e mani relative alla peggiore condizione di esposizione dell'operatore [HG1-O, HG6-M], ossia quando viene posizionato il campione, anche nelle altre postazioni di lavoro, che possono essere interessate dall'esposizione degli occhi [HG3-O] e del capo-collo [HG2-S] (a differenza delle spalle, questa parte anatomica non è generalmente protetta da indumenti) o degli occhi e del viso.

2.1.2. Area di genetica e microbiologia

1) Transilluminatore con macchina fotografica [TG1] - lampada a fluorescenza, fig. 2.

2) Transilluminatori per visualizzazione del DNA [T320] - [TG2] e [SANTA01] - lampada a fluorescenza.

Possibile esposizione: mani, occhi e viso, ad eccezione dell'ultima ove non sono esposte le mani. Questa tipologia di sorgente è ampiamente utilizzata nei laboratori dove vengono svolte analisi o attività di ricerca nell'ambito della genetica e della microbiologia: la radiazione UV viene infatti utilizzata nelle metodiche di visualizzazione delle strutture subcellulari, quali ad esempio il DNA, in campioni preparati su strato sottile di gel. L'operatore manipola il gel a lampada accesa, in quanto la lampada stessa consente l'individuazione delle parti di interesse da manipolare: la lampada è rivolta verso l'alto in modo tale che l'operatore possa incidere il gel, ubicato sul piano d'appoggio, mediante appositi bisturi. In questa situazione l'operatore indossa occhiali, camici a manica lunga e guanti. La singola operazione di visualizzazione e taglio del gel dura qualche minuto, ma può essere ripetuta più volte nella stessa giornata. La sorgente n.1, a differenza delle altre, è accoppiata con un apparato fotografico che consente di ottenere direttamente stampata la rappresentazione dell'immagine. Questa lampada è ubicata pertanto in una camera oscura. Le modalità di utilizzo, e di conseguenza di esposizione dell'operatore, sono comunque analoghe ai transilluminatori precedentemente descritti.

3) Cappa germicida [CAPCHO] e [RANCO] - lampada germicida.

4) Cappa sterile [DELLACO] - lampada germicida.

Possibile esposizione: mani, occhi e viso. Le lampade germicide sono largamente utilizzate nei laboratori di ge-

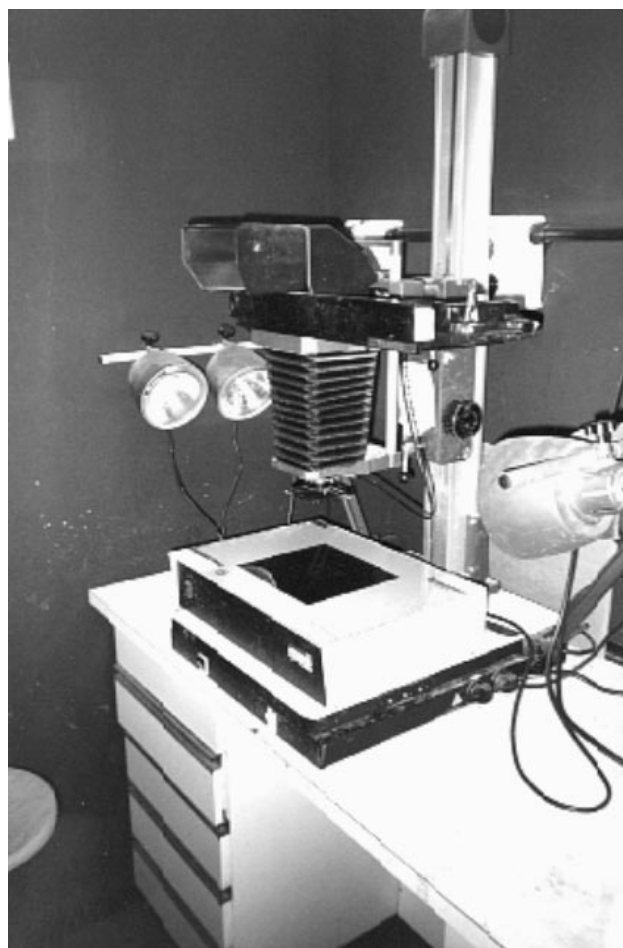


Figura 2. Lampade fluorescenti per metodologie diagnostiche e caratterizzazione di strutture biologiche, area genetica e biochimica

netica, di biologia e medicina, installate su cappe a flusso laminare o cappe biologiche (biohazard). Lo scopo principale è quello di sterilizzare ambienti confinati (generalmente superfici) al fine di mantenere le condizioni di sopravvivenza di alcuni organismi, ovvero di evitare contaminazione con l'esterno.

Nell'utilizzo delle cappe sterili e germicide l'operatore deve agire direttamente in presenza della lampada UV accesa. La radiazione UV viene generalmente attivata di notte e disattivata prima dell'inizio delle attività, mentre il flusso della cappa viene mantenuto attivo in continuo. Oltre a motivazioni di natura protezionistica, tale procedura è spesso adottata al fine di salvaguardare l'esperienza stessa, in quanto l'irraggiamento UV potrebbe comportare danni anche irreversibili alle colture cellulari o ai batteri del campione. Sono state monitorate sia cappe di prima generazione (ad es. della tipologia della sorgente denominata CAPCHO) che prevedono l'accensione e lo spegnimento manuale della sorgente diretta di radiazione UV, sia cappe di nuova generazione che prevedono l'interruzione automatica della sorgente UV qualora lo schermo venisse aperto (ad esempio RANCO) e la cappa sterile (DELLACO). Sia le lampade UV delle cappe sterili che di quelle germicide vengono mantenute in funzione per parecchie ore consecutive, e, ad eccezione della cappa RANCO, sono ubicate in laboratori con altre postazioni di lavoro.

2.1.3. Area di biologia

Nei laboratori afferenti a quest'area di ricerca vengono utilizzate lampade analoghe a quelle monitorate nell'area di chimica (in particolare visori di lastrine) e di genetica e microbiologia (in particolare cappe germicide). Una sorgente differente non tanto per la tipologia, bensì per il tipo di utilizzo, è la seguente:

1) lampada al mercurio a scarica a bassa pressione [PATL] impiegata per la sperimentazione animale negli stabulari.

In questo caso l'operatore, posiziona la cavia da irraggiare in apposito contenitore, sul banco di lavoro. Le mansioni svolte dall'operatore richiedono tempi brevi, ossia limitati alla manipolazione della cavia. La lampada è dotata di uno schermo protettivo che impedisce la diffusione della radiazione verso l'alto. L'altezza del tavolo di lavoro è tale comunque da poter comportare sia l'esposizione degli occhi e del viso, che delle mani.

2.2. Limiti di esposizione adottati

Nella valutazione degli effetti biologici si utilizza il concetto di esposizione, piuttosto che di dose, in quanto quest'ultimo implica una conoscenza dettagliata della cessione di energia a livello microscopico nella materia biologica, che, nel caso della radiazione UV non coerente, non è sempre disponibile. Tuttavia la valutazione del rischio connesso all'esposizione alla radiazione UV comporta la determinazione di parametri fisici che descrivono gli effetti biologici prodotti dall'interazione della radiazione UV e l'organo o il tessuto esposti (4).

L'esposizione degli occhi e della pelle viene quantificata in termini di irradianza E [Wm^{-2}], nel caso di un'esposizione continua (tempi di esposizione lunghi), ed in termini di esposizione radiante H [Jm^{-2}], per esposizioni limitate o pulsate (5, 9, 12, 14). In tab. II sono riportate le grandezze fisiche maggiormente utilizzate per la misura dell'esposizione a radiazione ottica ed UV.

Per quanto riguarda la valutazione quantitativa dei livelli di esposizione, in mancanza di una normativa nazionale, si sono prese come riferimento le normative tecniche internazionali: nell'ambito dell'igiene industriale i riferimenti più autorevoli sono l'ACGIH e l'ICNIRP (7). Nel lavoro si fa riferimento ai livelli proposti da quest'ultimo (tab. III-A e tab. III-B), in quanto ripreso e adottato dall'Istituto Superiore di Sanità (2, 3). In particolare i limiti considerati riguardano esclusivamente le esposizioni professionali, prendono in considerazione solo gli effetti biologici a breve termine (eritema e fotocheratiti) senza tenere conto di possibili sviluppi cancerogeni. Essi definiscono, inoltre, uno spettro di azione che tiene conto della diversa efficacia biologica delle varie lunghezze d'onda costituenti lo spettro della radiazione nel produrre tali effetti; tale spettro è il risultato dell'interpolazione di numerosi dati sperimentali, pertanto può essere ritenuto valido nella maggior parte dei casi.

Le suddette linee guida prevedono, relativamente all'esposizione della pelle nell'intervallo 180-400 nm e degli occhi limitatamente all'intervallo 180-315 nm, che ogni

Tabella II. Grandezze radiometriche utilizzate nella dosimetria ottica

Grandezza	Simbolo	Definizione	Unità SI
Energia Radiante	Q_e		J
Densità di energia radiante	W_e	$\frac{dQ_e}{dV}$	$J \cdot m^{-3}$
Potenza radiante (flusso di energia radiante)	Φ_e	$\frac{dQ_e}{dt}$	W
Intensità radiante	I_e	$\frac{d^2Q_e}{dt \cdot d\Omega}$	$W \cdot sr^{-1}$
Radianza (*)	L_e	$\frac{d^2Q_e}{dA \cdot d\Omega \cdot \cos\theta}$	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$
Esposizione radiante	H_e	$\frac{dQ_e}{dA}$	$J \cdot m^{-2}$
Irradianza o densità di flusso radiante (intensità di dose in fotobiologia)	E_e	$\frac{d^2Q_e}{dt \cdot dA}$	$W \cdot m^{-2}$

Note: (*) nella definizione θ è l'angolo compreso tra la direzione di propagazione e la normale alla superficie; $d\Omega$ è l'angolo solido sotteso.

Tabella III-A. Limiti di esposizione relativi e fattori di peso spettrali IRPA/ICNIRP (5)

Lunghezza d'onda (nm)	EL ($J m^{-2}$)	EI ($mJ cm^{-2}$)	Fattore di peso (adimensionale)
180	2500	250	0.012
190	1600	160	0.019
200	1000	100	0.030
210	400	40	0.075
220	250	2.5	0.120
230	160	16	0.190
240	10	20	0.300
250	70	7.0	0.430
260	46	4.6	0.650
270	30	3.0	1.000
280	34	3.4	0.880
290	47	4.7	0.640
300	100	10	0.300
310	2000	200	0.015
320	2.9×10^4	2.9×10^3	0.0010
330	7.3×10^4	7.3×10^3	0.00041
340	1.1×10^5	1.1×10^4	0.00028
350	1.5×10^5	1.5×10^4	0.00020
360	2.3×10^5	2.3×10^4	0.00013
370	3.2×10^5	3.2×10^4	0.000093
380	4.7×10^5	4.7×10^4	0.000064
390	6.8×10^5	6.8×10^4	0.000044
400	1.0×10^6	1.0×10^5	0.000030

Tabella III-B. Limiti durata dell'esposizione calcolati sulla base dei limiti di esposizione IRPA/ICNIRC

Durata dell'esposizione giornaliera	Irradianza effettiva	
	E_{eff} (W m^{-2})	E_{eff} ($\mu\text{W cm}^{-2}$)
8 ore	0.001	0.1
4 ore	0.002	0.2
2 ore	0.004	0.4
1 ora	0.008	0.8
30 minuti	0.017	1.7

valore di irradianza spettrale rilevato, ovvero di esposizione radiante, sia ponderato su ciascuna lunghezza d'onda, λ , mediante una curva di efficacia spettrale relativa S_{λ} (adimensionale), normalizzata a $\lambda = 270$ nm (fig. 3).

2.3. Metodologia e strumento di misura

La valutazione del grado di rischio, in termini operativi, si effettua misurando lo spettro della sorgente indagata nel punto di massima esposizione e calcolando l'irradianza totale. Per tenere conto della diversa azione di ciascuna lunghezza d'onda sui bersagli biologici, si applica allo spettro rilevato la curva di efficacia biologica, ottenendo in questo modo l'irradianza efficace, sulla base della quale vengono stimati i tempi massimi di esposizione alla radiazione UV al fine di garantire il rispetto delle linee guida indicate in tab. III-B (5, 6, 7, 8, 13).

Nella valutazione dell'esposizione è di fondamentale importanza la geometria di misura adottata, per rappresentare in fase di misura l'effettiva esposizione del personale. È ottimale, pertanto, l'uso di un rivelatore avente una risposta in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione da rilevare in accordo con la legge del coseno. Per la valutazione dell'esposizione della pelle si orienta il rivelatore lungo la direzione ortogonale rispetto alla superficie del corpo esposto, mentre per la valutazione dell'esposizione degli occhi, lungo la linea di visuale. In questa situazione, considerato che l'esposizione degli occhi dipende fortemente dai fattori geometrici che la caratterizzano, in presenza di sorgenti diffuse, si è applicato al sensore il campo di vista a 80° per simulare l'apertura dell'occhio stesso (2, 9).

Per tutte le sorgenti monitorate sono stati acquisiti gli spettri nell'intervallo 240÷400 nm scansionando con passo di 1 nm e si sono calcolati l'irradianza totale (E_{tot}) sull'intero spettro e sulla banda UVA, e l'irradianza efficace (E_{eff}) sull'intero spettro e sulle singole porzioni UVA, UVB+UVC (banda attinica).

Lo strumento utilizzato per valutare i livelli di esposizione è lo spettroradiometro Macam mod. SR9910 SN: 5703. Il sistema comprende l'ottica di ingresso, un monocromatore, il rivelatore e l'elettronica per il trattamento del segnale e l'output del segnale. Lo spettroradiometro viene gestito tramite personal computer (fig. 4). Caratteristiche tecniche: Range spettrale: 200÷800 nm (240÷800 nm con diffusore); Range di misura: 10^{-9} ÷ 10^2 W/m^2 nm; Mono-

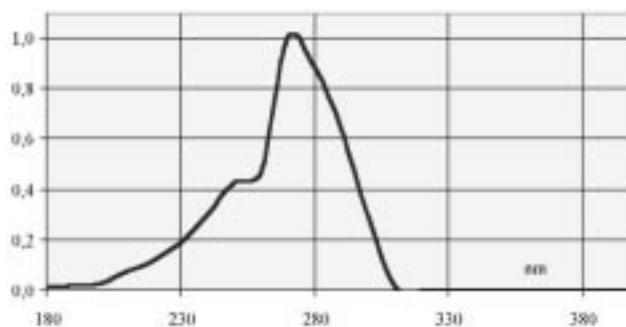


Figura 3. Curva di efficacia biologica per la valutazione dei limiti IRPA/ICNIRC (4)

cromatore: Doppio monocromatore con reticolo concavo olografico controllato da PC; f/1 100 mm; Rivelatore: PMT Side window S20 multi-alkali; Ottiche di ingresso: Guida di luce al quarzo ($L = 180$ cm); Correttore di coseno; Field of view con apertura angolare di 80° per misure su porzioni di superfici o di sorgenti luminose.

2.3.1. Incertezze della misura

Nelle misure di radiazione ottica mediante spettroradiometro, ciascuna componente della catena di misura (ottica di ingresso ed ottica dispersiva, rivelatore ed elettronica) introduce un errore che si somma alle incertezze associate agli standards di calibrazione utilizzati e a quelle introdotte dall'operatore stesso.

In particolare le più importanti sorgenti di errore associate al sistema stesso possono derivare dall'allineamento delle componenti ottiche, che diventa particolarmente significativo quando lo strumento viene utilizzato con un angolo d'accettazione molto piccolo (10^{-5} sr), oppure con un campo di visione molto stretto, dalla contaminazione e la degradazione delle componenti ottiche, dallo stray-light ambientale, dalla dispersione fuori banda e dal rumore elettronico. La non stabilità della sorgente oggetto dello studio, ovvero le condizioni ambientali (in particolare legate alle variazioni di temperatura), possono introdurre un ulteriore errore (10).

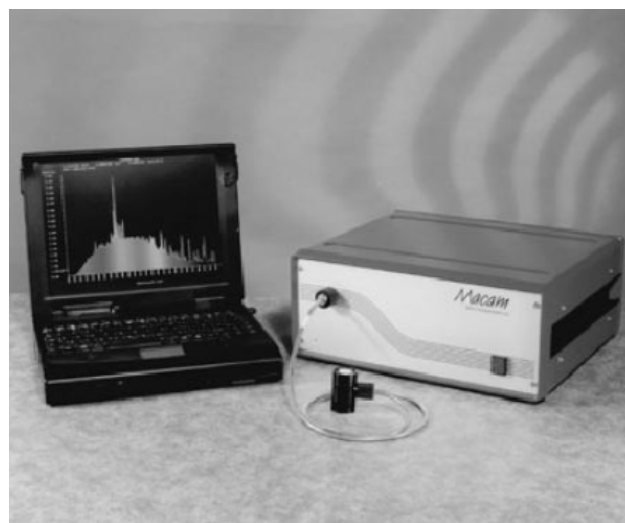


Figura 4. Spettroradiometro Macam mod. SR9910 n. serie 5703 utilizzato nelle misure (11)

Considerate le possibili fonti di errore descritte, alla tipologia di apparato di misura utilizzato è associabile un'incertezza dell'ordine del 5%, per cui se lo strumento di misura fosse l'unica fonte di errore (misura diretta), si potrebbe attribuire a ciascun valore di irradianza spettrale un errore percentuale di $\pm 5\%$.

3. Risultati

Nelle tab. IV, V e VI sono riassunti i livelli di irradianza totale ed efficace relativi a ciascuna sorgente monitorata. Generalmente, per ciascuna sorgente, si so-

Tabella IV. Irradianza totale ed efficace delle sorgenti dell'area chimica

Sorgente	Etot (240-400) Wm ⁻²	Etot (315-400) Wm ⁻²	Eeff (240-315) Wm ⁻²	Eeff (315-400) Wm ⁻²	Eeff (240-400) Wm ⁻²	% UVA	% UVB	% UVC
L3102	8,30E-03	5,63E-03	5,11E-04	2,17E-06	5,14E-04	68	32	0
L3652	4,00E-03	4,02E-03	0,00E+00	5,08E-07	5,08E-07	100	0	0
LHG-1	5,72E-03	3,23E-03	1,24E-03	5,33E-07	1,24E-03	57	11	32
LHG-2	1,89E+01	1,79E+01	2,42E-02	2,23E-03	2,65E-02	57	11	32
L2542	4,77E-02	1,79E-03	2,17E-02	2,66E-07	2,18E-02	91	5	4
L3653	3,30E-02	3,27E-02	5,28E-05	6,68E-06	5,96E-05	99	1	0
LB254	2,99E-01	1,81E-03	1,42E-01	6,27E-07	1,42E-01	1	6	93
LBAN	4,05E-03	1,42E-03	1,26E-03	3,99E-07	1,26E-03	35	19	46
TLC-Mani	1,84E+00		8,16E-01	1,25E-05	8,16E-04	4	6	90
TLC-Occhi	2,55E-02	1,17E-03	1,16E-02	1,38E-07	1,16E-02	4	6	90
CHINO-Mani	2,01E-02		1,70E-03	3,27E-06	1,70E-03	83	4	13
CHINO-Occhi	1,57E-02	1,25E-02	1,62E-03	2,45E-06	6,22E-03	83	4	13
MER-Mani	1,10E-01		1,64E-03	2,23E-05	1,67E-03	96	2	2
MER-Occhi	2,43E-02	2,11E-02	1,54E-03	4,43E-06	1,55E-03	96	2	2
HG-Occhi	4,35E-02	4,20E-02	1,31E-04	6,93E-06	1,39E-04	97	3	0
HG-Mani	5,35E-01	5,72E-01	1,25E-03	8,99E-04	1,35E-03	97	3	0

Tabella V. Irradianza totale ed efficace delle sorgenti dell'area di genetica e microbiologia

Sorgente/Posizione	Etot (240-400) Wm ⁻²	Etot (315-400) Wm ⁻²	Eeff (240-315) Wm ⁻²	Eeff (315-400) Wm ⁻²	Eeff (240-400) Wm ⁻²	% UVA	% UVB	% UVC
T320-Mani	4,33E+01	4,29E+01	6,37E-03	9,12E-03	1,55E-02	99	1	0
T320-Occhi	1,32E+01	1,31E+01	1,76E-03	2,73E-03	4,50E-03	99	1	0
CAPCHO	9,99E-02	9,70E-02	1,52E-03	1,10E-05	1,53E-03	97	1	2
TGEN1-Mani	2,81E+01	1,29E+01	3,73E+00	8,04E-03	3,74E+00	46	54	0
TGEN1-Occhi	2,62E+00	1,16E+00	3,34E-01	7,70E-04	3,35E-01	44	56	0
TGEN2-Occhi	9,87E+00	9,69E+00	5,08E-03	1,66E-03	6,76E-03	98	2	0
TGEN2-Occhi	4,49E-02	4,88E-02	0,00E+00	1,53E-06	1,53E-06	100	0	0
SANTAO1-Occ.	8,84E-03	5,82E-03	1,54E-03	1,15E-06	1,54E-03	66	9	26
RANCO	1,39E-04	1,30E-04	4,93E-06	5,38E-09	4,94E-06	94	4	3
DELLACO	2,08E-02	2,07E-02	3,29E-05	2,31E-06	3,52E-05	100	0	0

Tabella VI. Misure di irradianza totale ed efficace delle sorgenti dell'area biologica

Sorgente/Posizione	Etot (240-400) Wm ²	Etot (315-400) Wm ²	Eeff (240-315) Wm ²	Eeff (315-400) Wm ²	Eeff (240-400) Wm ²	% UVA	% UVB	% UVC
PATL-Mani	2,64E+01	2,64E+01	1,34E-03	3,24E-03	4,59E-03	100	0	0
PATL-Occhi	1,06E+01	1,05E+01	6,38E-04	1,31E-03	1,95E-03	100	0	0

Note alle tabelle IV, V e VI: Accanto al codice assegnato alla sorgente è indicata, ove l'esposizione non sia uniforme, la parte del corpo della cui esposizione è rappresentativa la misura.

no raccolti più spettri in quanto le modalità di utilizzo possono comportare livelli di esposizione significativamente differenti rispetto alle diversi parti del corpo interessate, mani e occhi/viso. Le sorgenti vengono identificate con il codice definito in tab. I; nel caso in cui siano state effettuate misure sulla stessa sorgente in diverse posizioni è stata aggiunta una lettera: "M": indica valutazione dell'esposizione a livello delle mani ovvero la lettera "O" per esposizione a livello degli occhi e del viso.

3.1. Analisi del rischio e dei tempi permessi di esposizione

Sulla base delle misure di irradianza effettuate si è valutato, per ciascuna sorgente, il tempo massimo di esposizione giornaliero permesso affinché vengano rispettati i limiti IRPA/ICNIRP, per occhi e pelle non protetti, utilizzando le relazioni (1), (2), (3).

$$E_{\text{eff}} \cdot t \leq 30 \frac{J}{m^2} \quad (1)$$

dove: E_{eff} = irradianza effettiva totale riferito a $\lambda = 270$ nm [Wm^{-2} oppure $mWcm^{-2}$]; t = tempo di esposizione [s].

La relazione (1) si basa sul fatto che il valore E_{eff} deve essere tale per cui, su un periodo di 8 ore, il corrispondente valore di esposizione radiante efficace H_{eff} [Jm^{-2}], sia per la pelle che per gli occhi non protetti, risulti non superiore a $30 Jm^{-2}$.

Per gli occhi oltre alla relazione precedente deve essere soddisfatta anche la seguente relazione nell'intervallo 315÷400 nm:

$$E_{\text{tot}} \cdot t \leq 10000 \frac{J}{m^2} \quad (2)$$

dove: E_{eff} = irradianza effettiva totale riferito a $\lambda = 270$ nm [Wm^{-2} oppure $mWcm^{-2}$]; E_{tot} = irradianza totale non pesata; t = tempo di esposizione [s]; 10000 Jm^{-2} corrisponde al limite di esposizione radiante su un periodo di 8 ore.

Tenendo conto che generalmente l'irradiazione UV può avvenire sull'intero spettro 180÷400 nm, sia a carico degli occhi che della pelle, la corrispondente durata dell'esposizione deve essere tale da non superare il tempo ottenuto dalla seguente relazione:

$$t_{\text{max}} = \frac{1}{\frac{E_{\text{eff}(180-315)}}{30} + \frac{E_{\text{eff}(315-400)}}{10000} + \frac{E_{\text{tot}}}{10000}} \quad (3)$$

I tempi limite massimi, espressi in secondi complessivi ovvero in ore, minuti e secondi, sono riportati nelle tabelle VII, VIII e IX (il segno "---" indica che i valori di irradianza sono sempre inferiori ai valori limite, pertanto l'esposizione non comporta il superamento dei limiti di tempo calcolati sull'intera giornata lavorativa). Sulla base di questi tempi e tenendo presenti le modalità di utilizzo delle sorgenti, nell'ultima colonna si è attribuito un indice qualitativo del livello di rischio (T = trascurabile, M = medio, A = alto).

Tabella VII. Tempi e indice di rischio per le sorgenti dell'area chimica

Sorgente/Posizione	Parte esposta (*)	tempo max (s)	ore	min	sec	indice di rischio
L3102	P - O	56576	---	---	---	Trascurabile
L3652	P - O	2387072	---	---	---	Trascurabile
LHG-1	P - O	23996	6	39	56	Trascurabile
LHG-2	P	1134	0	18	54	Medio
L2542	P	1379	0	22	59	Medio
L3653	P	503356	---	---	---	Trascurabile
LB254	P - O	211	0	3	31	Alto
LBAN	P - O	23647	6	34	7	Trascurabile
TLC-Mani	P	16	0	0	16	Alto
TLC-Occhi	P - O	2592	0	43	12	Alto
CHINO-Mani	P	1495	0	24	55	Alto
CHINO-Occhi	P - O	18072	5	1	12	Trascurabile
MER-Mani	P	272	0	4	32	Trascurabile
MER-Occhi	P - O	18625	5	10	25	Trascurabile
HG-Occhi	P - O	113524	---	---	---	Trascurabile
HG-Mani	P	22255	6	10	55	Trascurabile

Note: Accanto al codice assegnato alla sorgente è indicata la parte del corpo della cui esposizione è rappresentativa la misura (*) La colonna "Parte esposta" indica gli organi, P = pelle O = occhi/viso, di cui si sono confrontati i limiti di esposizione e calcolati i tempi massimi di esposizione.

Tabella VIII. Tempi e indice di rischio per le sorgenti dell'area genetica-microbiologia

Sorgente/Posizione	Parte esposta (*)	tempo max (s)	ore	min	sec	indice di rischio
T320-Mani	P	1931	0	32	11	Alto
T320-Occhi	P - O	683	0	11	23	Alto
CAPCHO	P - O	16439	4	33	59	Trascurabile
TGEN1-Mani	P	8	0	0	8	Alto
TGEN1-Occhi	P - O	89	0	1	29	Alto
TGEN2-Occhi	P - O	838	0	13	58	Alto
TGEN2-Occhi	P - O	202805	---	---	---	Trascurabile
SANTAO1-Occhi	P - O	19260	5	21	0	Trascurabile
RANCO	P - O	5629806	---	---	---	Trascurabile
DELLACO	P - O	308227	---	---	---	Trascurabile

Note: Accanto al codice assegnato alla sorgente è indicata la parte del corpo della cui esposizione è rappresentativa la misura (*) La colonna "Parte esposta" indica gli organi, P = pelle O = occhi/viso, di cui si sono confrontati i limiti di esposizione e calcolati i tempi massimi di esposizione.

Sorgente/Posizione	Parte esposta (*)	tempo max (sec)	ore	min	sec	indice di rischio
PATL-Mani	P	6536	1	48	56	Trascurabile
PATL-Occhi	P - O	891	0	14	51	Medio

Note: Accanto al codice assegnato alla sorgente è indicata la parte del corpo della cui esposizione è rappresentativa la misura (*) La colonna "Parte esposta" indica gli organi, P = pelle O = occhi/viso, di cui si sono confrontati i limiti di esposizione e calcolati i tempi massimi di esposizione.

4. Discussione e conclusioni

I risultati ottenuti nella campagna di valutazione del rischio effettuata presso i laboratori biochimici di analisi, di didattica e di ricerca inducono a porre maggiore attenzione agli aspetti connessi all'utilizzo di sorgenti di radiazione UV non coerente, soprattutto in considerazione del fatto che, nonostante la consapevolezza che la radiazione UV sia un agente di rischio potenziale per la salute umana, la sua valutazione quantitativa, sia in termini di esposizione professionale che di popolazione, non è ancora oggi adeguatamente attuata. Si tenga presente che i limiti proposti dagli organismi internazionali ed utilizzati nel lavoro salvaguardano solo dagli effetti deterministici e non da quelli stocastici.

Rispetto ai limiti fissati dall'IRPA/ICNIRP i livelli di irradianza monitorati hanno messo in evidenza che, potenzialmente, il rischio da esposizione a radiazione UV esiste, specialmente in associazione a sorgenti apparentemente innocue, specialmente se utilizzate senza alcuna procedura di consenso. La tab. X riporta le lampade a maggior rischio di esposizione e che non è affatto trascurabile qualora le procedure non fossero seguite correttamente.

In particolare il rischio per pelle ed occhi non protetti risulta essere significativo per i visori utilizzati nell'identificazione di composti mediante cromatografia su strato sottile e soprattutto per i transilluminatori utilizzati nelle metodiche di visualizzazione delle strutture subcellulari in campioni preparati su strato sottile di gel. I transilluminatori potrebbero, infatti, comportare un rischio elevato per gli occhi, in quanto l'attività stessa richiede che la lampada sia orientata verso l'alto e che l'operatore manipoli il gel a lampada accesa, dal momento che la sorgente UV stessa consente l'individuazione delle parti di interesse su cui operare. L'operazione viene svolta anche da studenti, quindi da personale non esperto, pertanto, potrebbe richiedere tempi superiori rispetto a quelli calcolati in funzione del limite di sicurezza definito dall'IRPA/ICNIRP.

Tabella X. Tipologia di sorgenti a rischio non trascurabile, se non adeguatamente protette

Area	Sorgente	Codifica
Chimica	Lampada ad alta Hg pressione Lampada a media pressione Visore lastrine TLC	LHG, LBAN, LB254 TLC, CHINO,
Genetica e Microbiologia	Transilluminatore Cappa Germicida (posizione occhi)	T320, TGEN, SANTAO1 CAPCHO
Biologia	Lampada stabulario	PATL

La prevenzione per entrambe le sorgenti può comunque facilmente essere realizzata mediante l'utilizzo di idonei dispositivi di protezione individuale, sia per la pelle che per gli occhi.

Anche le lampade a scarica ad alta pressione possono comportare un rischio significativo, ma questo tipo di sorgente, oltre ad essere generalmente utilizzato da personale esperto (dottorandi e ricercatori), è configurato in modo tale da non richiedere la presenza dell'operatore, pertanto risulta poco probabile che vengano superati i tempi massimi di esposizione calcolati sulla base dei limiti IRPA/ICNIRP.

In conclusione vi sono talune situazioni di rischio, che può essere rilevante, se il personale non è adeguatamente formato ed informato sui rischi e sulle procedure corrette e sull'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale.

Bibliografia

- 1) Cazzuli O, Valutazione del rischio da radiazione UV non coerente nei laboratori di didattica e di ricerca," Università degli Studi di Milano - Tesi di Specializzazione in Fisica Sanitaria, 1999.
- 2) Cremonese M, Matzeu N, Produzione e misura della radiazione UV, Istituto Superiore di Sanità, ISS R 81/5, Roma, 1981.
- 3) Cremonese M, Matzeu N, Produzione e Misura della Radiazione UV, ISS R 81/5, Roma, 1985.
- 4) WHO, Environmental Health Criteria 160 - Ultraviolet Radiation, World Health Organization, Geneva, 1994.
- 5) IRPA ICNIRP, Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation), Health Phys 1985; (49): 2: 331-340.
- 6) IRPA ICNIRP, Proposed change to the IRPA 1985 guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation, Health Phys 1989; (56) 6: 971-972.
- 7) IRPA ICNIRP, Guidelines on UV radiation exposure limits, Health Phys 1996; (71) 6: 978-982.
- 8) IRPA ICNIRP, Guidelines on limit of exposure to broad-and incoherent optical radiation (0,38 - 3 μ m), Health Phys. 1997; (73) 3: 539-554.
- 9) Keitz HAE. Light Calculations and Measurements, London, Mac Millian & Co Ed., 1971.
- 10) Landry RJ, Andersen FA. Optical Radiation Measurements: Instrumentation and Sources of Error, London, Pergamon Press ed., 1982
- 11) Macam Photometrics - Sito Web <http://www.macam.com>.
- 12) McKinlay AF, Harlen F, Whillock MJ. Hazards of Optical Radiation, Bristol, Adam Hilger Ed., 1988.
- 13) Nicolini O, Lazzaretti G, Nataletti P, Peretti A. Dal rumore ai rischi fisici: valutazione, prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro, Atti del convegno Ambiente e Lavoro, Modena 17-19 settembre 1998.
- 14) Sliney D, Wolbarsht M, Safety with Lasers and Other Optical Sources, New York, Plenum Pres Ed, 1980.

Richiesta estratti: *Elio Giroletti - Divisione Igiene e sicurezza - Università degli Studi di Pavia - Strada Nuova 65 - 27100 Pavia, Italy*
- Tel. 0382-504-269/270/632, Fax: 0382-21020, Email: elio.giroletti@unipv.it