

# Radiazioni Ottiche Artificiali: dalla stima alla misura

RITA DARIO, JESSICA UVA\*, VINCENZO DI LECCE\*

ASL BA - Dipartimento di Prevenzione – SPESAL ex AUSL BA/3, Acquaviva delle Fonti (BA)

\* Politecnico di Bari, DEE -Bari

## KEY WORDS

AOR; dosimeter; work activity

## PAROLE CHIAVE

ROA; dosimetro; ambiente di lavoro

## SUMMARY

**«From the AOR estimations to the AOR measurements».** **Introduction:** *This paper presents an innovative device for measuring artificial optic radiations (AOR). AOR are required to be measured in accordance with both Italian and European regulations. The traditional measurement methods do not provide a quantitative measurement of the energy affecting the retina and in particular the fovea. Hence, they are not suitable to assess the real risk to the eye. Furthermore traditional methods are not even able to measure the exposure time (in relation to the position of the head with respect to the source).* **Materials and Methods:** *The device permits the acquisition of essential information about AOR source direction and position so as to obtain an evaluation of the relative impact on worker's everyday activity. The device acts as both a wearable personal dosimeter and an instantaneous radiance detector. The main components are: a colour light sensor mounted at the centre of a pair of safety goggles (placed on the same line of the worker's sight) used to determine AOR intensity; an inertial/position sensor used for measuring head position/movement, and lastly a video camera to localize emission sources and generate the background in augmented reality visualization. The device is connected by means of a thin, flexible cable to a datalogger and/or netbook for recording data.* **Results:** *the experiments were carried out in order to evaluate AOR sources during work activity; the results obtained and duly processed are presented in the paper.* **Conclusion:** *the aims are to achieve work place safety zoning so as to distinguish unsafe from safe areas, and not only specific dangerous areas, via analysis and integration of the overlapping pieces of information obtained with the proposed device.*

## RIASSUNTO

**Introduzione:** *Il lavoro presenta un dispositivo innovativo per la caratterizzazione di sorgenti luminose ai fini della quantizzazione delle Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA) presenti. Tale misura ambientale è richiesta sia dalla normativa vigente nazionale che europea. Le metodiche attualmente disponibili non consentono però la misura reale dell'energia incidente sulla retina ed in particolare sulla fovea, né sono in grado di valutare l'effettivo tempo di esposizione e la posizione, in tempo reale, della testa dell'operatore rispetto alla sorgente.* **Materiali e metodi:** *Il sistema presentato si comporta sia da dosimetro che da misuratore di radianza per le radiazioni ottiche; lo stesso è montato su un paio di occhiali di sicurezza, ed è in grado di fornire le indicazioni di posizione dell'asse ottico rispet-*

Pervenuto il 19.1.2012 - Accettato il 14.5.2012

Corrispondenza: Uva Jessica, Politecnico di Bari, DEE, AeFLab, Via Re David 200, 70125 Bari, Italy - Tel/fax: 0994733220

E-mail: j.uva@aefflab.net

to alla fonte ROA, visualizzando con tecniche di realtà virtuale, i dati necessari alla zonizzazione dell'ambiente. Il dispositivo è dotato di sensore specifico multibanda di luce per il campionamento delle radiazioni ottiche nello spettro della luce visibile, di un sensore di posizione e di una microtelecamera per ricostruire la geometria di esposizione dell'operatore. **Risultati:** Sono stati effettuati i test in reali ambienti di lavoro e i dati acquisiti ed elaborati sono riportati nell'articolo. **Conclusioni:** l'obiettivo è quello di realizzare la zonizzazione di un posto di lavoro al fine di distinguere aree sicure da aree a rischio attraverso l'integrazione delle informazioni ottenute dal dispositivo proposto.

## INTRODUZIONE

Il danno biologico da esposizione professionale ed occasionale a qualunque tipo di radiazioni dello spettro elettromagnetico è funzione del tipo di radiazione, della quantità/energia trasportata, del tempo d'effetto e della dose che colpisce il bersaglio (biologico). Il legislatore è tipicamente sensibile ad oggettivare il danno e le condizioni in cui si potrebbe verificare, utilizzando le conoscenze scientifiche attuali e secondo un principio cautelativo per i lavoratori e per la popolazione. Come avviene nel sistema della radioprotezione per le radiazioni ionizzanti, anche per quelle non ionizzanti le Linee Guida e le Raccomandazioni europee si ispirano alla giustificazione, all'ottimizzazione ed alla limitazione delle dosi (I.C.N.R.P.) (12, 13).

In Italia l'esposizione lavorativa alle radiazioni dello spettro elettromagnetico per lunghezza d'onda nella banda 180-3000 nm (ROA) è regolata dalle disposizioni di cui al Capo V del Titolo VIII del D.Lgs n. 81/2008. Dal 26 aprile 2010 il datore di lavoro è obbligato a valutare il rischio da ROA, a contenerne l'esposizione professionale nei limiti di legge, a informarne i lavoratori e predisporne la sorveglianza sanitaria da parte del Medico Competente (11). Le fonti di radiazione ottiche artificiali hanno diffusione ubiquitaria negli ambienti di vita comune. Gli emettitori (lampade) più usati sono caratterizzati da varie tecnologie in continuo rinnovamento per ottimizzare sia i consumi che la resa cromatica; tra questi troviamo le lampade ad alogenuri metallici (tra cui mercurio, sodio, vanadio d'ittrio), le lampade a filamento concentrato (così dette alogene) ma anche i diodi LED ad alta potenza. Da non trascurare è anche la capacità concentrativa e direzionale di alcuni corpi illuminanti

come ad esempio i riflettori *spot* ed i fari di automobile. A tali fonti vanno poi aggiunte le note sorgenti di ROA caratterizzanti i singoli ambienti di lavoro quali ad esempio saldatura ad arco elettrico, lampade germicide per la sterilizzazione e la disinfezione, lampade scialitiche di sala operatoria, lampade e lettini abbronzanti, fotocopiatrici, etc etc.

Rispetto alla resa cromatica delle sorgenti luminose e quindi alla loro emissione nello spettro della luce visibile, la normativa in vigore distingue tre bande principali in grado di provocare effetti diversi su rispettivi organi bersaglio, come evidenziato in tabella 1. Il danno biologico relativo all'azione diretta della radiazione sulla struttura biologica è indipendente dalla lunghezza d'onda, è correlato ad elevati livelli di energia trasportata (con conseguente innalzamento della temperatura, in particolare della retina fino a 10°C, anche in seguito a brevi esposizioni) ed innesca fenomeni coagulativi e di denaturazione proteica. Al danno biologico si somma il danno fotochimico, che è significativamente dipendente dalla lunghezza d'onda con un massimo di rischio osservabile per radiazioni di lunghezza d'onda nella banda 380-520 nm (13). In questa banda di radiazioni i fotoni, interagendo con le strutture biologiche, producono a livello molecolare, radicali liberi che, avendo una struttura instabile, innescano reazioni di perossidazione lipidica (14). Gli organi bersaglio di tali radiazioni sono rappresentati dall'occhio in tutte le sue parti (cornea, cristallino e retina) e dalla cute; il primo più sensibile del secondo per la sua naturale composizione e l'assenza di mezzi di protezione fisiologica (escludendo il fenomeno spontaneo dell'ammiccamento alla luce solare intensa). I danni osservati su questi tessuti sono in rapporto diretto di causa-effetto, cioè è possibile stimare una dose soglia oltre la quale si manifesta un

**Tabella 1** - Effetti biologici delle Radiazioni Ottiche  
*Table 1 - Biological effects of optic radiations*

Radiazione Ottica	Lunghezza d'onda	Occhio	Cute
Ultravioletto	180-400 nm (UV-A, UV-B, UV-C)	fotokeratocongiuntivite (UV-B,UV-C), cataratta fotochimica (UV-B)	eritema (UV-B, UV-C), sensibilizzazione (UV-A,UV-B), fotoinvecchiamento (UV-C,UV-B, UV-A), cancerogenesi (UV-B-UV-A)
Visibile	300-700 nm	fotoretinite (in particolare nella banda 380-520 nm)	fotodermatosi
infrarosso	700-3000 nm (IR-A, IR-B)	ustioni corneali (IR-C,IR-B), cataratta termica (IR-B,IR-A), danno termico retinico (IR-A)	vasodilatazione, eritema, ustioni

danno biologico (effetto deterministico). È anche possibile stimare un effetto stocastico la cui correlazione con la dose di radiazione ricevuta segue leggi di tipo statistico/epidemiologico.

Nella normativa ed in quanto segue utilizzeremo le due grandezze fisiche radianza ed irradianza. La radianza, espressa come  $L_B = Wm^{-2}sr^{-1}$ , rappresenta la caratteristica emissiva della sorgente luminosa, ovvero la quantità di energia emessa, riflessa, o trasmessa, da una superficie di area unitaria, e diretta verso un angolo solido unitario in direzione indicata. L'irradianza, espressa come  $E_B = Wm^{-2}$ , misura la quantità di energia luminosa che investe una unità di superficie considerata come bersaglio. Il rapporto tra radianza ed irradianza dipende dalle caratteristiche ottiche e geometriche (posizione relativa) tra sorgente e bersaglio.

Mentre la prima è facilmente calcolabile e tipicamente fornita dai produttori di sorgenti ROA, l'irradianza è conseguenza della posizione del bersaglio rispetto alla sorgente. In questo lavoro è presentato un dispositivo sperimentale per la misura di ROA, messo a punto grazie ad una collaborazione interdisciplinare tra medici ed ingegneri. L'originalità del sistema è nella valutazione contemporanea

dell'irradianza (come misura dell'energia che investe il soggetto), del tempo in cui questa energia investe il soggetto (e più precisamente l'occhio inteso come organo bersaglio) e della sua posizione nello spazio (posizione relativa della testa rispetto alla sorgente) per poter calcolare l'effettiva energia che raggiunge l'occhio e le sue parti interne.

## METODO PROPOSTO

La misura delle radiazioni ottiche artificiali deve rispettare le grandezze ed i relativi limiti imposti dalla normativa vigente così come evidenziato in tabella 2. Per la valutazione ambientale del rischio ROA si utilizzano strumenti di misura, appannaggio di tecnici specializzati, non facilmente reperibili e comunque costosi (2, 10, 16); in alternativa si può applicare una *check-list* che, analizzando il tipo di macchine e/o lampade presenti ed in base ai dati della scheda del fornitore, stima il rischio potenziale da ROA.

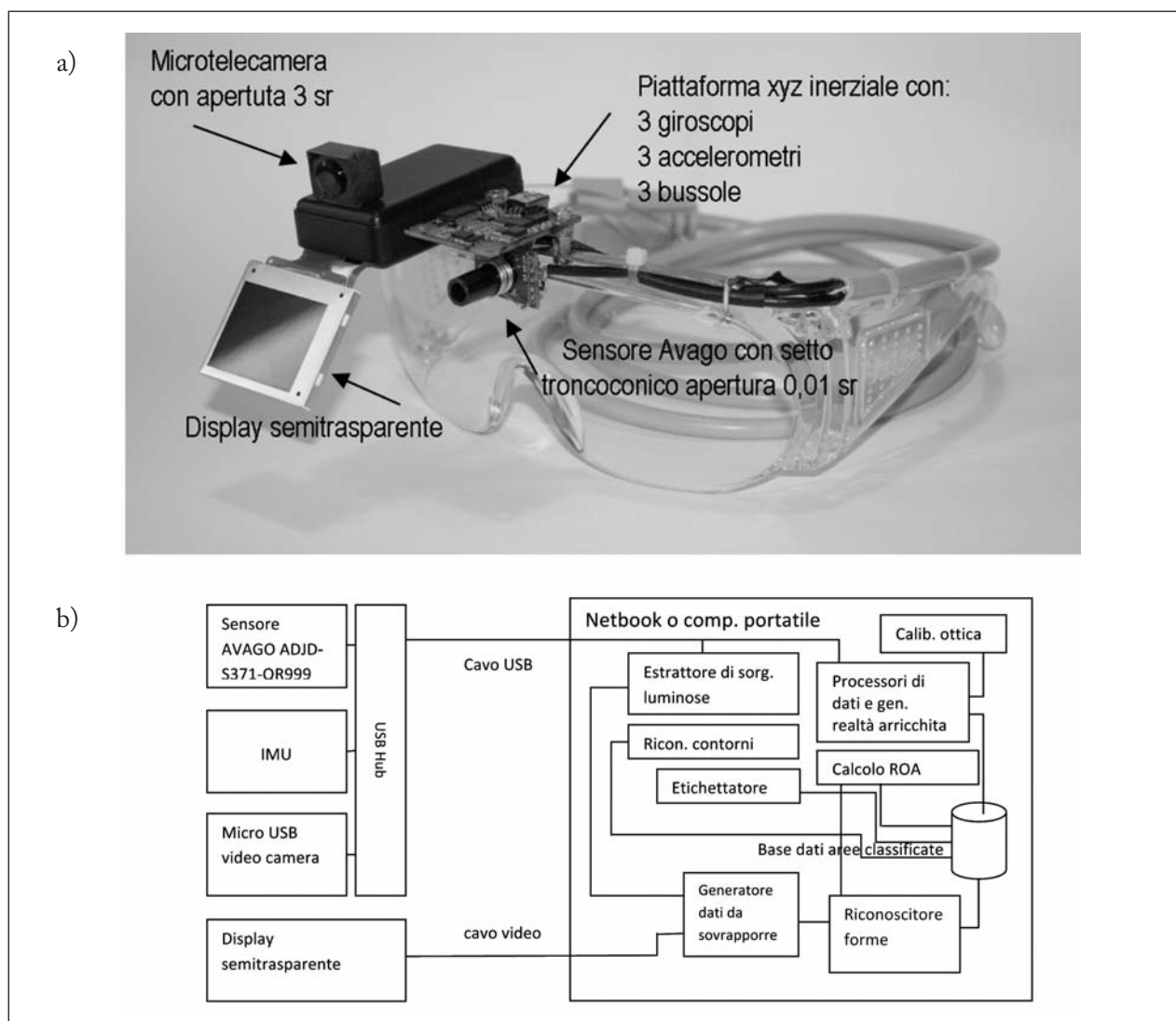
Rispetto alle metodiche in uso, in questo lavoro, viene presentato un sistema innovativo montato su un paio di occhiali di sicurezza, che consente in

**Tabella 2** - Limiti di legge in all. XXXVII Dlgs 81/08 per la luce blu  
*Table 2 - Blue light legal limits reported in XXXVII attachment of Law 81/08*

Lunghezza d'onda	Limite di esposizione, Radianza efficace	Unità di misura	
300-700 nm, luce blu	$L_B = 10^6 / t$ per $\leq 10000$ s	$L_B [Wm^{-2}sr^{-1}]$ t [secondi]	per $\alpha \geq 11$ mrad

modo semplice e diretto la misura della dose assorbita dall'occhio (e dalle sue strutture interne) in tempo reale. Le componenti principali (figura 1.a) sono un sensore di luce, un sensore di posizione, una microtelecamera ed un micro *display* semitrasparente adattato per la visione ravvicinata (5). In figura 1.b, è schematizzata la struttura del dispositivo con un diagramma a blocchi del funzionamento software del sistema integrato di analisi dei dati dosimetrici. Il sensore di luce si trova al centro degli occhiali di sicurezza ed è del tipo AVAGO mod.

ADJD-S371- QR999 (Miniature Surface-Mount RGB Digital Color Sensor Module), dotato di una sorgente di riferimento interno a LED per la calibrazione. Il sensore è dotato di uno schermo circolare, coassiale con l'asse ottico del sensore stesso, per ridurre l'angolo del campo visivo a 0,01; 0,024; 0,478; 1,840 e 3,878 steradiani (sr) onde simulare le diverse posizioni dell'occhio dell'operatore. Per la misura dei ROA potenzialmente pericolosi per la fovea è stato usato il setto da 0,01 sr, considerando l'occhio normale con il punto di fuoco a 70-100



**Figura 1** - Dosimetro personale per la misura dell'esposizione a sorgenti luminose nei luoghi di lavoro (1.a) con il relativo schema a blocchi (1.b)

*Figure 1* - Personal dosimeter for evaluating exposure to light sources at the workplace (1.a); block diagram (1.b)

cm, luminosità media oltre i 250 lux (ambiente di lavoro) con iride parzialmente chiuso. L'angolo solido di apertura della telecamera è prossimo a 3 sr medi, assai maggiore dell'angolo di lettura del sensore ottico completo di setto (nelle misure presentate 0,01 sr). Per supplire a questa situazione e per generare l'immagine composita, visualizzata tramite il *display* montato sugli occhiali (realtà arricchita), è stato usato un innovativo algoritmo di identificazione e tracciatura messo a punto dai ricercatori di AeFLab del Politecnico di Bari. Lo schema semplificato di un dispositivo in realtà arricchita è presentato in figura 2.

La realtà arricchita si basa su informazioni aggiuntive presentate su un *display* semitrasparente, attraverso il quale l'operatore vede per trasparenza il mondo reale. Numerosi problemi tecnologici limitano tali applicazioni, primo tra tutti la necessità di far muovere le informazioni aggiuntive rispetto al cambiamento dello sfondo dovuto ai movimenti della testa (4).

Le fasi principali del software messo a punto sono di seguito elencate e derivano dalle tecniche di visione artificiale già citate in bibliografia:

a) identificazione delle sorgenti di luce nell'immagine ripresa dalla telecamera mediante algoritmo di identificazione dei punti luminosi oltre la media locale (sogliatura) (8);

b) identificazione della forma della sorgente di luce mediante algoritmo di scontornamento (nella parte sinistra della figura 3 si osservano le zone tratteggiate nell'immagine) (4);

c) attribuzione di una "etichetta" (*label*) ad ogni zona identificata (nella parte destra della figura 3 sono elencate tali *label* con corrispondenti numeri arabi da 1 a 6);

d) se il soggetto non cambia posizione, vengono identificate e riconosciute tutte le sorgenti luminose;

e) se il soggetto cambia posizione (cammina) le sorgenti luminose cambiano dimensione e forma per effetto del cambiamento del punto di vista. Con un algoritmo di somiglianza le sorgenti riprese vengono associate a quelle già catalogate, oppure viene generata una nuova sorgente con una nuova *label*; la telecamera non è in grado di effettuare la misura della radianza, il sensore AVAGO è invece destinato ad effettuare una misura di precisione ma l'angolo di lettura è assai più ridotto rispetto a quello della telecamera (6, 7). Per ovviare a questo problema, quando la telecamera ha al centro (desumibile con semplice considerazione geometriche) una sorgente luminosa identificata con la procedura in a), già labellata con la procedura in c), viene effettuata la lettura dal sensore AVAGO ed associata alla *label*;

f) qualora una sorgente luminosa sia presente nella ripresa della telecamera ma non ancora classificata ai fini della radianza, la *label* sarà priva di indicazioni relative alla irradianza generata dalla sorgente esaminata. L'operatore, nel caso noti sorgenti non caratterizzate potrà/dovrà rivolgere lo sguardo (e quindi il centro di ripresa della telecamera e del sensore Avago) verso tale sorgente. Appena l'occhio punterà la sorgente, verrà effettuata la misura e appariranno i dati corretti;

g) se l'operatore si muove, come descritto in e), la telecamera ed il sensore Avago continueranno la loro funzione modificando di volta in volta la caratteristica della sorgente luminosa in funzione della radianza emessa (dal corpo luminoso e dal suo sistema ottico) e della irradianza ricevuta (dall'occhio rispetto al suo asse visivo).

Per poter valutare lo spostamento dell'operatore e la posizione della testa (e quindi con buona approssimazione tecnica dell'asse ottico), il dosimetro è equipaggiato con una piattaforma inerziale IMU (*Inertial Measurement Unit*), dotata di accelerometro, giroscopio e rilevatore di vettori di campo ma-

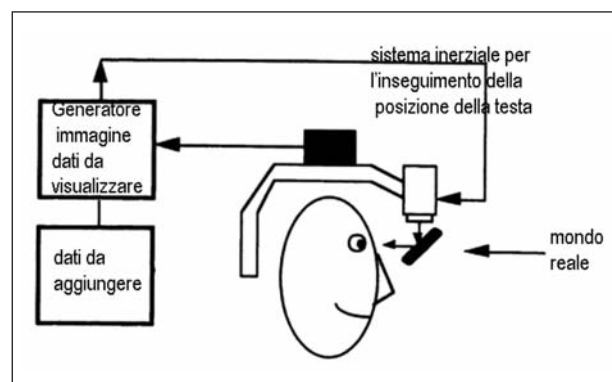
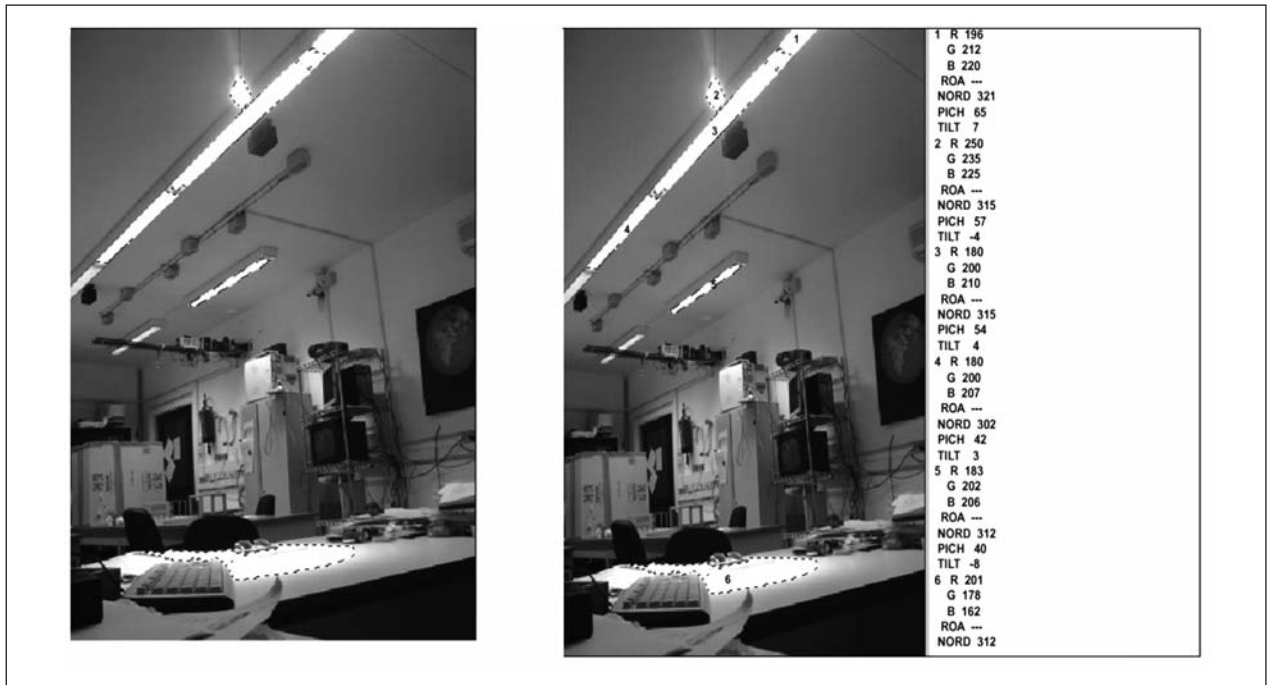


Figura 2 - Schema semplificato di un dispositivo in realtà arricchita

Figure 2 - Simplified pattern of an augmented reality system





**Figura 3** - Zonizzazione di un ufficio e caratterizzazione delle sorgenti luminose. A sinistra l'immagine dell'ufficio con la sovrapposizione dei contorni delle sorgenti luminose (linee tratteggiate). Nell'immagine di destra le aree sono state etichettate e memorizzate per la successiva caratterizzazione. I valori relativi alle righe R, G e B sono adimensionali (dati tecnici del sensore Avago). I valori relativi alla riga ROA sono in secondi (tempo di esposizione limite secondo la normativa vigente). Tutti gli altri valori sono in gradi.

*Figure 3* - Zoning of an office where there are light sources: on the left a picture of the office characterized by overlapping contours of the light sources (dashed lines). In the picture to the right the areas were labelled and stored for the subsequent characterization. The values of lines R, G and B are dimensionless (Technical Data from Avago Sensor). The values of the ROA line are in seconds (exposure time limits according to current regulations). All the other values are in degrees

gnatico (bussola), deputata alla rilevazione dei movimenti della testa del lavoratore (figura 4) e del lavoratore stesso, permettendone la localizzazione accurata nella zona di lavoro.

Il dispositivo è collegato ad un computer portatile o *netbook* (di ridotte dimensioni) mediante cavo USB, per consentire l'elaborazione dei dati e la visualizzazione dei risultati ottenuti. Il *netbook* può essere sostituito da un *datalogger* miniaturizzato qualora si vogliano registrare i dati senza averne evidenza immediata (9, 15, 17).

Caratteristica rilevante del sistema è la generazione di una immagine artificiale ottenuta grazie alla *display* semitrasparente che fonde alla visione della realtà, le informazioni ottenute dai sensori dando immediata quantizzazione dei ROA ma anche la contemporanea identificazione delle sorgenti lumi-

nose e della posizione dell'operatore (testa e corpo) e del tempo di esposizione.

I dati semielaborati provenienti dal sensore sono riportati in figura 5. L'operatore ha indossato il dispositivo, ruotando di 360 gradi intorno alla sua postazione di lavoro. Come evidenziato, il dispositivo è indossabile senza necessità di preparazione dell'indossatore che può continuare a svolgere le sue attività operative anche complesse.

Il sistema appare utile anche per effettuare la zonizzazione degli ambienti di lavoro, come possibile vedere in figura 3. La zonizzazione si ottiene attraverso la caratterizzazione delle varie aree di pertinenza del lavoratore rispetto alla presenza di ROA (1, 3). Il un sensore di posizione della testa dell'operatore permette anche la classificazione della postura a rischio nello spazio di lavoro.



Figura 4 - Esempio di ricostruzione della posizione dell'operatore con il dispositivo montato sugli occhiali

Figure 4 - Example of reconstruction of worker's position with device mounted on the glasses goggles

## RISULTATI

Il sistema è stato testato in tre contesti lavorativi differenti: un centro estetico, un'officina ed un ufficio. È stato chiesto agli operatori di indossare il dispositivo durante la normale attività lavorativa e per un periodo di tempo significativo rispetto alla esposizione.

Nella figura 6 sono illustrati gli scenari nei quali sono state effettuate le prove. Nel primo caso (figura 6A) l'addetta opera in una stanza in cui è presente una lampada abbronzante professionale (mercurio ad alta pressione) e non indossa occhiali protettivi. È stata rilevata un'inclinazione media del capo di circa  $-20^\circ$ ; i dati evidenziano che l'addetta

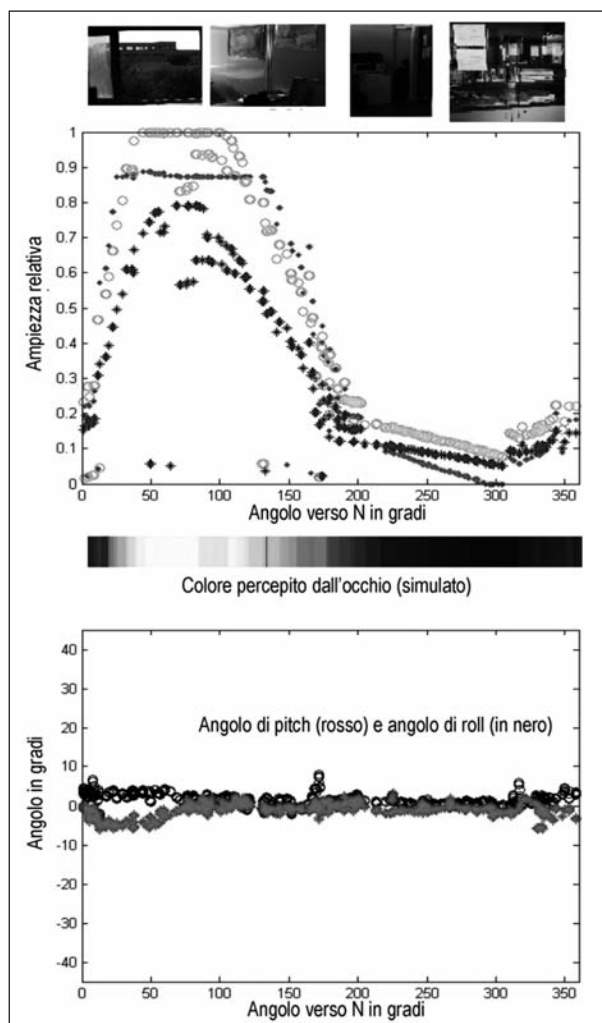


Figura 5 - Dati letti dal sensore presentati in forma disaggregata. Nella parte alta dell'immagine alcune istantanee relative alle zone scandite dal sensore. Nel primo diagramma in alto è rappresentata, in ampiezza relativa, l'uscita del sensore Avago nelle tre bande centrate su 660 nm ( $\blacklozenge$ ), 550 nm ( $\circ$ ) e 480 nm ( $\star$ ). La banda colorata mostra la ricostruzione del colore percepito. Il diagramma in basso mostra la posizione della testa (angoli di pitch e roll) durante la lettura di test; l'operatore ha mantenuto la posizione della testa pressochè costante durante la rotazione di 360 gradi, ma lievemente abbassato la testa in corrispondenza di  $50^\circ$  Nord per effetto della forte luce proveniente dalla finestra

Figure 5 - Data read from the sensor and presented in disaggregated form. The upper part of the picture shows some shots of the areas scanned by the sensor. The first diagram, at the top, shows the amplitude representation of the Avago sensor output in the three bands centred on 660 nm ( $\blacklozenge$ ), 550 nm ( $\circ$ ) and 480 nm ( $\star$ ). The central coloured band shows the reconstruction of the colour perception. The diagram in the lower part shows the position of the head (angles of pitch and roll) during the reading test; it can be observed that the operator kept the position of the head almost constant while performing a rotation of 360 degrees, and slightly lowered the head only  $50^\circ$  North due to the strong light from the window

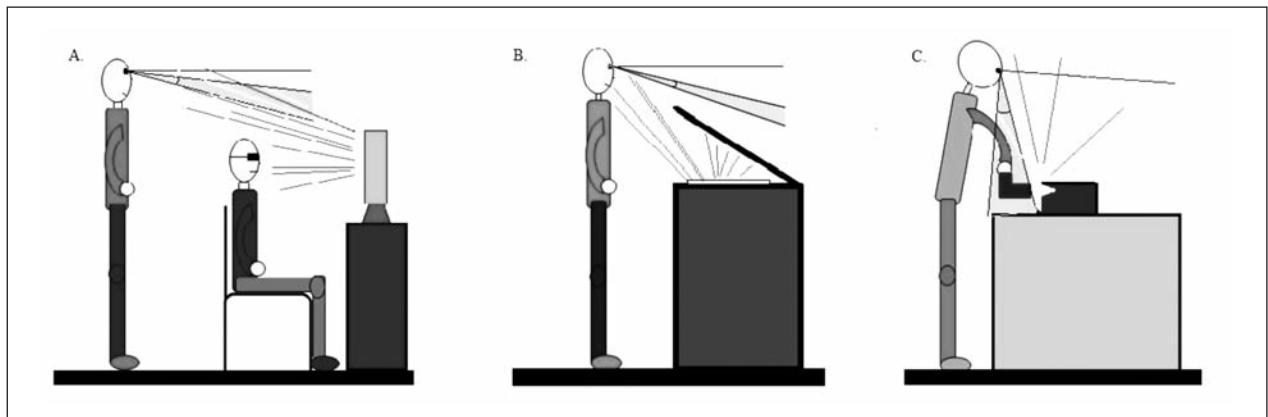


Figura 6 - Ambienti di lavoro in cui è stata condotta la valutazione delle emissioni di ROA: A.centro estetico; B. Ufficio; C. Officina

Figure 6 - Workplaces where AOR emission evaluation was conducted: A. beauty salon, B. Office; C. repair shop during welding operations

evita spontaneamente di guardare direttamente la sorgente di ROA. Dall'elaborazione dei dati ottenuti si ottiene che il ciclo lavorativo studiato (tabella 3) raggiunge la dose di soglia indicata dalla normativa dopo 168 sec. Tale tempo appare assai ridotto rispetto all'attività lavorativa su base giornaliera, con la sola necessità del datore di lavoro di formare l'operatore all'uso di idonei dispositivi di protezione.

Nell'ufficio (figura 6B) l'impiegato svolge attività di fotocopiatura di testi. Per trascuratezza e natura del materiale da copiare (fascicoli rilegati) non utilizza il coperchio del fotocopiatore mantenendo con le proprie mani i fogli da fotocopiare. L'inclinazione media della testa è di circa  $-15^\circ$  e il tempo di esposizione equivalente è di 120 sec. Tale valore comporta l'obbligo di legge per il datore di lavoro dell'informazione all'operatore rispetto al rischio lavorativo e della prescrizione di chiudere il coperchio del dispositivo, con l'eventuale inseri-

mento di interruttore di interblocco che ne eviti l'uso improprio.

Nell'officina (figura 6C) il saldatore opera su una carpenteria e salda indossando una maschera protettiva. La rilevazione viene effettuata sul fascio di luce che investe la maschera (ovvero in situazione equivalente al non utilizzo della maschera di protezione). L'inclinazione del capo è di circa  $-90^\circ$  e il tempo di esposizione (a rischio) è di 12 sec. È nota da tempo ed ampiamente presente in bibliografia di settore l'elevato rischio ROA nell'attività di saldatura ad arco elettrico; nella prova condotta in officina è stata confermata tale condizione espositiva.

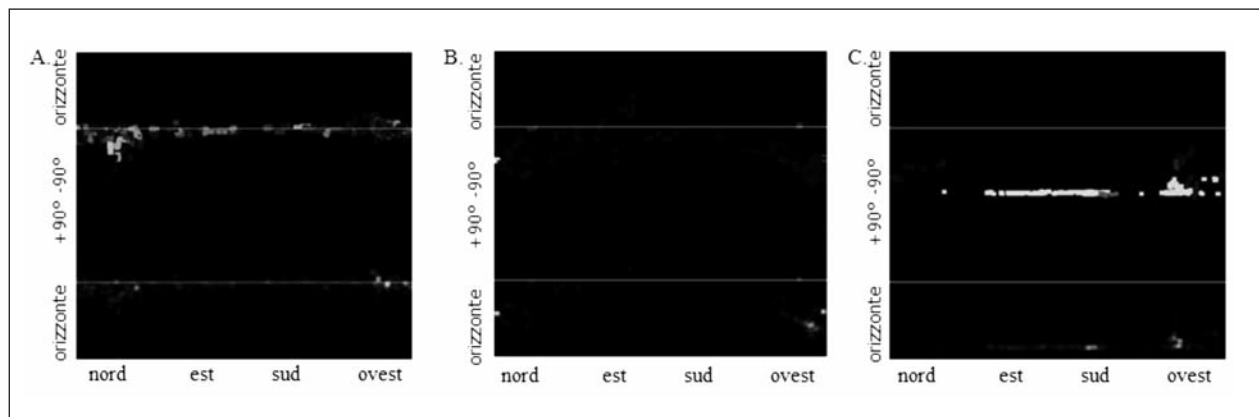
Nei grafici A, B e C riportati in figura 7 sono rappresentate le acquisizioni istantanee relative ai ROA che colpiscono i lavoratori durante le proprie attività nel centro estetico (A), nell'ufficio con fotocopiatrice (B) e nell'officina (C). I valori ottenuti durante questa campagna di acquisizione sono stati

Tabella 3 - Valori ottenuti dalle misure condotte con il dosimetro durante le attività lavorative

Table 3 - Results obtained with our dosimeter used to monitor work activity

Luogo	Misura	Tempo (s)	LB ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ )	Limite di esposizione ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ )	Tempo limite di esposizione (s)	Inclinazione anteriore prevalente della testa
Centro estetico	$5,33 \cdot 10^6$	900	5922	1111	168	$-20^\circ$
Officina	$9,87 \cdot 10^6$	120	82250	8333	12	$-90^\circ$
Ufficio	$1,57 \cdot 10^6$	189	8722	5556	120	$-15^\circ$





**Figura 7** - Grafici in cui sono riportati i risultati sperimentali relativi al monitoraggio ROA nei tre ambienti lavorativi: A: Centro estetico; B: Ufficio; C: Officina. Sull'asse X è rappresentata la direzione rispetto al Nord dello sguardo dell'operatore e sull'asse Y è riportata l'inclinazione rispetto al piano sagittale della testa. I punti rappresentano la radiazione ricevuta: attraverso il grigio equivalente, la lunghezza d'onda della radiazione; attraverso l'intensità la quantità di radiazione, attraverso la posizione sull'asse Y l'inclinazione della testa

*Figure 7 - Charts showing the experimental results related to the monitoring of AOR in the three workplaces: A: Beauty Salon; B: Office; C: Workshop. At the top of each diagram the radiance of the source is represented, while in the lower part, the estimated dose on the retina is shown. Because of representation issues a dimensionless gray scale was used. In particular the diagram to the left (case C, recorded in a workshop) depicts (representation at the top) how the sensor detected very high values of energy in almost all directions with the head rotated downwards (object to be welded, see the figure 6c). The same figure (representation at the bottom) shows the radiance associated with the point where the welding itself took place to the west of the sensor position, with a reflection from the south due to a light surface (workshop wall)*

elaborati sulla base di quanto indicato nell'allegato XXXVII del Dlgs 81/08 facendo riferimento ai limiti imposti per l'esposizione a radiazioni con lunghezza d'onda nella banda 300-700 nm (tabella 2, cosiddetta luce blu). È stata calcolata in questo modo la radianza efficace,  $L_B$ , tenendo conto del tempo di esposizione alla sorgente luminosa di ogni operatore; si è ottenuto il tempo massimo di esposizione alle radiazioni necessario per non superare i limiti di Legge (tabella 3). In entrambi i tre contesti lavorativi si è osservato il superamento della soglia, con il massimo nell'operazione di saldatura (1, 3).

In particolare nel diagramma a destra di figura 7 (registrato in officina, caso C) si nota come (rappresentazione in alto) il sensore ha registrato valori molto alti di energia in quasi tutte le direzioni con la testa ruotata verso il basso ove era realizzata la saldatura. Nella stessa figura (rappresentazione in basso) è invece stata rappresentata la dose associata al punto in cui avveniva la saldatura stessa ad ovest della posizione del sensore, con un riflesso prove-

niente da sud per effetto di una superficie chiara (muro dell'officina)

## CONCLUSIONI

La descrizione del sistema e la presentazione dei risultati ottenuti ben evidenziano l'utilità del dispositivo per la caratterizzazione delle potenziali sorgenti di ROA ed in particolare di luce blu (300-700 nm) durante l'attività lavorativa. Il metodo risulta innovativo per la molteplicità delle misure che è in grado di fornire, in modo puntuale, attendibile e rapido consentendo di distinguere l'esposizione occasionale e/o accidentale da quelle continue e consuete. Il dispositivo fornisce inoltre informazioni sulla posizione dell'operatore e del suo asse visivo rispetto alla sorgente di ROA. Tali informazioni danno la possibilità di effettuare la zonizzazione dell'ambiente di lavoro preso in esame suddividendolo in aree a rischio più o meno alto. L'approccio adottato presenta il vantaggio di essere semplice ed

economico al contrario degli attuali dispositivi caratterizzati da elevata complessità e conseguente rilevanza economica. Altrettanto interessante appare essere la disponibilità di lettura dei dati in continuo e in tempo reale, presentando un buon grado di affidabilità e sensibilità rispetto alle metodiche tradizionali.

NO POTENTIAL CONFLICT OF INTEREST RELEVANT TO THIS ARTICLE WAS REPORTED

## BIBLIOGRAFIA

1. Amato A, Di Lecce V, Piuri V: An Image Retrieval Based Solution for Correspondence Problem in Binocular Vision, in proceedings of IEEE RIVF 2010, Hanoi, Vietnam, ISBN: 978-1-4244-8073-9
2. Casale GR, Siani AM, Colosimo A: Polysulphone dosimetry: a tool for personal exposure studies, *Biophys & Bioeng. Letters* 2009; 2
3. Dario R, Uva J, Di Lecce V, et al: Caratterizzazione e zonizzazione per R.O.A.: un dosimetro per luce blu. 74° *Congresso Nazionale Medicina del Lavoro ed Ergonomia, numero speciale SIMLII*, Torino 2011; 408-412
4. Di Lecce V, Cutrignelli G, Guerriero A: A Co-processor for graphic workstation-A proposal for line-drawing applications. *Int Symposium on Electr Imaging*, SPIE 24-30 January 1998, San Jose, CA
5. Di Lecce V, Guerriero A: Specialized environment for medical radiological image visualization. *Proceedings of 9th International Conference on Image Analysis and Processing*, Centro Affari, Florence-Italy, September 17-19, 1977: 404-411
6. Di Lecce V, Guerriero A: A Comparative Evaluation of Retrieval Methods for Duplicate Search in Image Database, *Journal of Visual Languages & Computing*. n.2/2001 pp- 105-120
7. Di Lecce V, Guerriero A: An evaluation of the effectiveness of image features for image retrieval. *Journal of Visual Communication and Image Representation* 1999; 10: 351-362
8. Di Lecce V, Guerriero A: An evaluation of content maintenance in multiresolution image coding, *Proceeding of Storage and Retrieval for Image and Video Databases V*, San Jose-California, February 13-14, 1997: 439-447
9. Di Lecce V, Quarto A, Dario R, Uva J: Augmented reality per Artificial Optical Radiation measurement. 2011 IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems; Ottawa, Ontario, Canada, 19-21 September 2011;
10. D'Orso M, Orsini S, Zambelli PL, et al: Valutazione spettrometrica delle fonti di luce artificiale in ambienti di ufficio: metodica di rilevazione e sperimentazione in laboratorio, atti del 16° Congresso AIDII, Faenza, 1997
11. Guariniello R: Obblighi e responsabilità in tema di esposizione professionale alle Radiazioni Ottiche Artificiali. *G Ital Med Lav Erg* 2010; 4 (Suppl 65): 32-36
12. Health Protection Agency, A Non-Binding Guide to the Artificial Optical Radiation Directive 2006/25/EC, European Commission Employment Contract VC/2007/0581 (ultimo accesso aprile 2011)
13. ICNIRP Guidelines on limits of exposure to broadband incoherent optical radiation (0.38 to 3 microM), ICNRP Statement (ultimo accesso aprile 2011)
14. Piccoli B, Fasciani R, Orsini S: Le alterazioni oculari da esposizione a luce blu, 73° Congresso SIMLII, Roma, 1-4 Dicembre 2010: 218-220
15. Quarto A, Di Lecce V, Dario R, Uva J: Personal dosimeter for the measurement of artificial optical radiation (A.O.R.) exposure - IEEE CIMSA International Conference on Computational Intelligence for Measurement System and Applications September 19-21, 2011 Ottawa, Canada
16. Sisto R, Borra M, Casale GR, et al: Quantitative evaluation of personal exposure to UV radiation of workers and general public. *Radiat Prot Dosimetry* 2009; 137 (3-4):193-6. Epub 19 October 2009.
17. Uva J, Dario R, Di Lecce V, Quarto A: Misura innovativa del rischio da esposizione a ROA: il dosimetro personale. Atti del 28° Congresso Nazionale AIDII; 22-24 Giugno 2011, Ravenna, 2011: 192-198

RINGRAZIAMENTI: *Gli autori ringraziano le ditte OSRAM Spa stabilimento di Bari per il supporto offerto durante i test di calibrazione e myHermes srl di Taranto per la realizzazione dei prototipi*