

Le nuove lampade a risparmio energetico: valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici e alla radiazione ultravioletta

Adda S., Alviano M., Anglesio L., Bonino A., d'Amore G., Facta S., Saudino Fusette S.
Arapa Piemonte - Dipartimento Tematico Radiazioni Via Jervis 30, 10015 Ivrea (TO),
radiazioni@arpa.piemonte.it

Riassunto

La crescente diffusione di lampade fluorescenti per l'illuminazione domestica, soprattutto a seguito dell'entrata in vigore del Regolamento europeo CE N.244/2009 che vieta la vendita delle lampade a incandescenza, ha aperto la discussione sui possibili rischi sulla salute umana legati al loro utilizzo, in particolare relativamente alle emissioni di campi elettromagnetici e di radiazione ottica. Per questo motivo si è ritenuto necessario approfondire l'argomento, caratterizzando le emissioni in termini di campi ELF, RF di radiazione ultravioletta e di luce blu di un campione costituito da 17 esempi rappresentativo delle lampade attualmente in commercio. In questo lavoro verranno riportati i risultati delle misure effettuate.

INTRODUZIONE

Il 01/09/2009 è entrata in vigore il Regolamento della Comunità Europea CE N.244/2009 (Commissione Europea, 2009) che vieta la vendita di lampadine a incandescenza al tungsteno, ritenute poco efficienti e molto inquinanti. Entro il 01/09/2016 cesseranno di essere vendute anche le lampade alogene. Grazie anche ad una massiccia campagna di informazione pubblicitaria, mirata alla sensibilizzazione dei consumi e del rispetto verso l'ambiente, negli ultimi anni si è registrato un picco nella produzione e nella vendita delle lampade fluorescenti compatte (CFL Compact Fluorescent Lamp), comunemente chiamate lampade a risparmio energetico. Esse non sono altro che la versione compatta delle classiche lampade al neon. La differenza principale è che le CFL incorporano l'alimentatore elettronico (ballast), posto tra la virola E14 o E27 e il tubo illuminante, mentre i neon hanno starter e alimentatore separati. L'alimentatore trasforma la corrente alternata a frequenza di rete (50 Hz) in corrente alternata a media frequenza (25 kHz – 70 kHz). La corrente a media frequenza percorre in seguito il tubo contenente una miscela di più gas, tra i quali il mercurio che, eccitato, emette radiazione ultravioletta (UV). Il rivestimento interno del tubo, costituito da fosfori, converte gli UV in luce visibile.

Le CFL possono emettere livelli significativi di radiazione ottica (UV e luce blu), e, in una regione di spazio limitata, anche campi elettromagnetici.

Vista la crescente diffusione delle CFL, soprattutto in ambiente domestico e in prossimità dell'utilizzatore, si è sentita la necessità di approfondire l'argomento caratterizzandone le emissioni in termini di campi ELF e RF, di radiazione UV e di luce blu. In questo lavoro verranno riportati i risultati delle misure ottenute su un campione rappresentativo delle lampade attualmente in commercio.

MATERIALI E METODI

Sono state misurate le emissioni in termini di campi RF e di radiazione UV di un campione di 17 lampade fluorescenti (tab.1) di differente marca, potenza e temperatura di colore. Dal momento che in alcune lampade viene utilizzato un doppio guscio di protezione avente anche la funzione di schermare in misura maggiore la radiazione UV rispetto a quanto ottenibile con un unico rivestimento, sono state scelte lampade di entrambe le tipologie. Le misure sono state effettuate su lampade nuove.

Tabella 1 – Campione di lampade fluorescenti misurate

Numero Identificativo	MARCA	Potenza (W)	Temperatura di colore (K)	Guscio di protezione
1	Bennet	7	2700	doppio
2	Bennet	15	4100	singolo
3	Bennet	15	2700	singolo
4	Bennet	23	2700	singolo
5	Implux	11	2700	singolo
6	Implux	23	2700	singolo
7	Implux	25	2700	doppio
8	Implux	25	2700	singolo
9	Osram	7	2400	doppio

10	Osram	8	2500	singolo
11	Osram	11	2500	singolo
12	Osram	14	2500	singolo
13	Osram	15	2500	doppio
14	Osram	20	2500	doppio
15	Osram	23	4000	singolo
16	Philips	11	2700	singolo
17	Philips	11	2700	doppio
18	Philips	23	6500	singolo

Sono riportate le caratteristiche delle lampade fluorescenti analizzate. La lampada 7 e la 8 sono la stessa lampada rispettivamente con e senza secondo guscio di protezione.

RADIAZIONE OTTICA

Al fine di valutare l'esposizione alla radiazione ottica dovuta all'utilizzo di lampade fluorescenti, gli indicatori di rischio appropriati definiti dall'ICNIRP (ICNIRP, 1997; 2004; 2010) sono l'esposizione radiante UVA, H_{UVA} , e la radianza efficace L_B ponderata con lo spettro d'azione $B(\lambda)$ (fig.1) legato al danno fotochimico indotto dalla luce blu nell'intervallo spettrale 300-700 nm, definiti come:

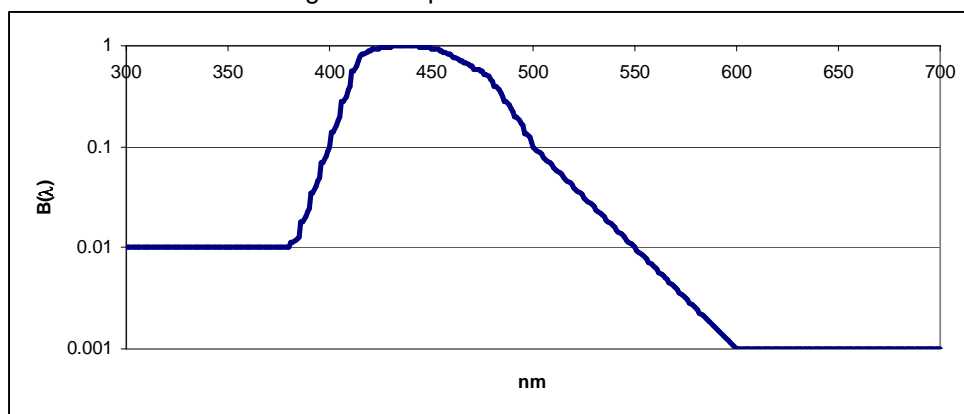
$$H_{UVA} = \int_0^T \int_{\lambda=315}^{400} E_{\lambda}(\lambda, t) d\lambda dt$$

dove $E_{\lambda}(\lambda, t)$ è l'irradianza spettrale alla lunghezza d'onda λ e T il tempo di esposizione,

$$L_B = \int_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} L_{\lambda}(\lambda) B(\lambda) d\lambda$$

dove $L_{\lambda}(\lambda)$ è la radianza spettrale alla lunghezza d'onda λ .

Figura 1 – Spettro d'azione luce blu



È riportato lo spettro d'azione per la luce blu. La massima efficacia della radiazione ottica per questo effetto è nell'intervallo spettrale compreso tra 420 e 460 nm,

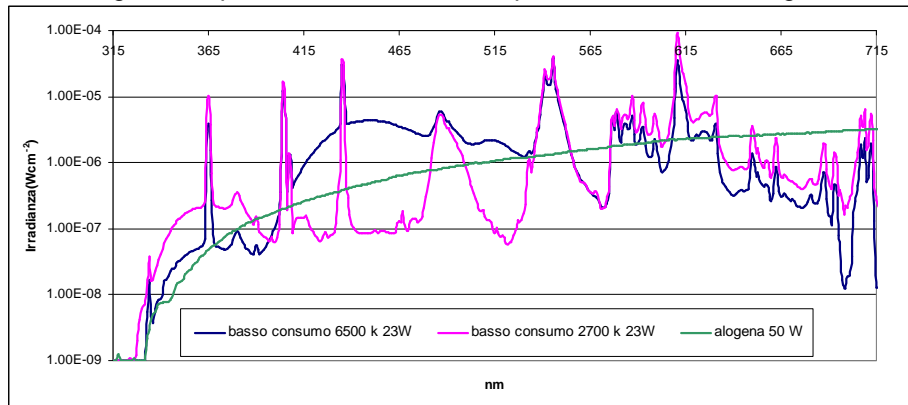
L'ICNIRP ha fissato su queste due grandezze i limiti di esposizione al fine di evitare l'insorgenza di effetti a breve termine e di ridurre la probabilità di insorgenza di effetti a lungo termine sull'occhio. In particolare il limite su H_{UVA} è stato stabilito pari a 10000 Jm^{-2} per tempi di esposizione di 8 ore e il limite su L_B è $100 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ per tempi di esposizione superiori a 10000 sec.

Per la misura dei parametri sopra definiti è stato utilizzato uno spettroradiometro a doppio monocromatore Optronic Laboratories OL756 UV-VIS corredato di sfera integratrice OL IS-270 2" con finestra d'ingresso circolare di diametro 10 mm, tarato in irradianza nell'intervallo spettrale 250-800 nm. Le dimensioni delle fenditure poste in ingresso e uscita allo spettroradiometro corrispondono ad una FWHM di 1 nm.

La misura di irradianza è stata effettuata nell'intervallo spettrale 250-800 nm a passo di 1 nm, ad una distanza cautelativa di 20 cm corrispondente all'utilizzo di lampade da lettura.

In fig.2 sono riportati esempi di spettri d'emissione di lampada fluorescenti a luce calda (temperatura di colore 2700k) e a luce fredda (temperatura di colore 6500k) confrontati con quello emesso da una lampada alogena. Si distinguono chiaramente i picchi di emissione del mercurio a 334.148 e 365.015 nm a dimostrazione che la radiazione UV non viene totalmente schermata. Occorre comunque sottolineare che emissioni nella regione spettrale UVA sono anche presenti nello spettro della lampada alogena

Figura 2. Spettri di emissione di lampade fluorescenti e alogene



Sono riportati gli spettri d'emissione di una lampada fluorescente a luce calda (temperatura di colore 2700k) e una a luce fredda (temperatura di colore 6500k) confrontati con quello di una lampada alogena. Nelle lampade fluorescenti si distinguono chiaramente i picchi di emissione del mercurio nell'UV.

Dagli spettri in irradianza misurati su ogni lampada si è calcolata l'esposizione radiante H_{UVA} , assumendo un tempo di esposizione di 8 ore.

La valutazione della radianza è stata effettuata partendo dalle misure di irradianza sopra riportate e dalla misura della luminanza massima C_{max} rilevata con un luminanziometro Minolta avente angolo di vista $1/3^\circ$. Dalle prime si è ricavato l'illuminamento (ovvero l'irradianza pesata secondo la curva di visibilità dell'occhio). Il rapporto tra la luminanza e l'illuminamento, nel caso in cui la sorgente emetta uniformemente su tutta la sua superficie, dipende unicamente dalla geometria della misura (ovvero è uguale all'angolo solido sotteso dalla sorgente, di non semplice valutazione), ed è uguale al rapporto tra la radianza e l'irradianza. Nel caso in cui l'emissione non sia uniforme su tutta la superficie della sorgente, il rapporto tra la luminanza massima e l'illuminamento è uguale al rapporto tra la radianza massima e l'irradianza, nell'ipotesi in cui la forma dello spettro di emissione non vari per differenti porzioni di superficie della sorgente considerata, come è stato verificato sperimentalmente.

La radianza è quindi stata calcolata come:

$$L_B = \frac{C_{max}}{I} \times \int_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} E_\lambda(\lambda) B(\lambda) d\lambda$$

CAMPI A RADIOFREQUENZA

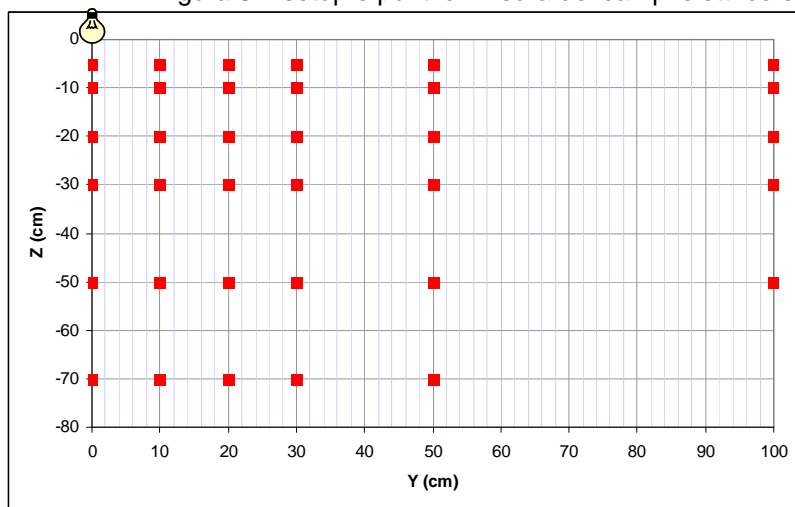
La misura dei campi elettrico e magnetico a radiofrequenza è stata effettuata con un misuratore PMM8053 dotato di sonda EHP50. Tale sonda ha permesso di caratterizzare il segnale con un'analisi in frequenza tramite FFT. In particolare, l'indagine si è concentrata sull'intervallo di frequenza 12kHz – 100kHz, avendo preliminarmente verificato che le sole emissioni al di sotto di questo intervallo di frequenza sono i 50Hz e sue armoniche.

Per quanto riguarda eventuali emissioni al di sopra dei 100kHz, sono stati effettuati dei test tramite analizzatore di spettro Agilent N9020A (20Hz – 30GHz) collegato ad un sensore Teseo TES1000 (100kHz – 1GHz).

Le lampade sono state montate su un supporto completamente dielettrico, così come la sonda di misura. L'ambiente in cui sono state effettuate le misure è stato caratterizzato tramite misure di fondo nell'intervallo di frequenza 100kHz – 3GHz.

I punti di misura sono stati scelti al fine di caratterizzare l'andamento spaziale dei livelli di campo intorno alla lampada, pensando a normali condizioni di utilizzo in lampadari oppure in lampade da tavolo. In fig.3 è riportato uno schema di tali punti, insieme alla fotografia del setup di misura.

Figura 3 – setup e punti di misura dei campi elettrico e magnetico a radiofrequenza



Sono state inoltre osservate eventuali dipendenze dell'intensità di campo e della frequenza di emissione dai parametri della lampada: potenza, tipologia e temperatura di colore. Per questo motivo, sono state scelte le 7 lampade con maggiore variabilità di questi parametri.

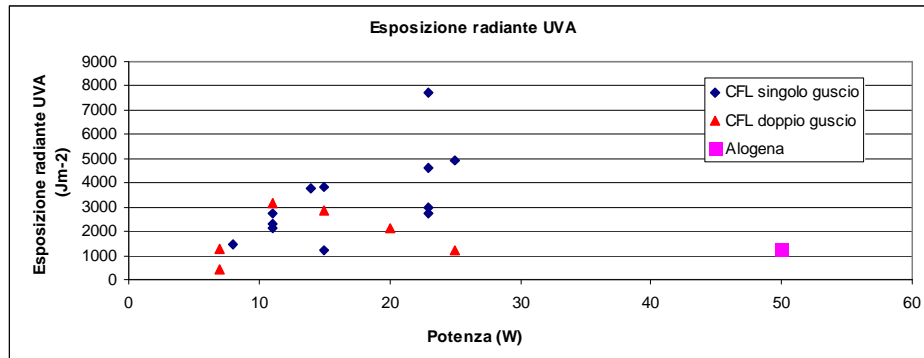
Infine i valori, opportunamente mediati sulla superficie equivalente al corpo umano, sono stati confrontati con i livelli di riferimento fissati dalle linee guida ICNIRP del 2010, sia per quanto riguarda l'esposizione della popolazione, sia per l'esposizione dei lavoratori. Per quest'ultimo ambito, le misure effettuate hanno fornito una prima indicazione circa le condizioni in cui tali sorgenti possono essere considerate giustificabili nella valutazione dei rischi, ai sensi di quanto previsto dalla norma CENELEC 50499.

RISULTATI

RADIAZIONE OTTICA

I valori di esposizione radiante UVA per un tempo di esposizione di 8 ore alla distanza di 20 cm sono stati calcolati per le 17 lampade fluorescenti e confrontati con l'analogo valore misurato su una lampada alogena da 50 W. I valori ottenuti risultano compresi tra 415 e 7748 Jm⁻² con un valore medio uguale a 2843 Jm⁻² significativamente maggiore rispetto al valore misurato in prossimità della lampada alogena uguale a 1296 Jm⁻². In figura sono riportati i valori misurati in funzione della potenza della lampada. Nonostante in media le lampade a basso consumo abbiano un'emissione superiore rispetto alle lampade alogene, i livelli misurati sono inferiori al limite, soprattutto considerato che la misura è stata effettuata in condizioni estremamente cautelative.

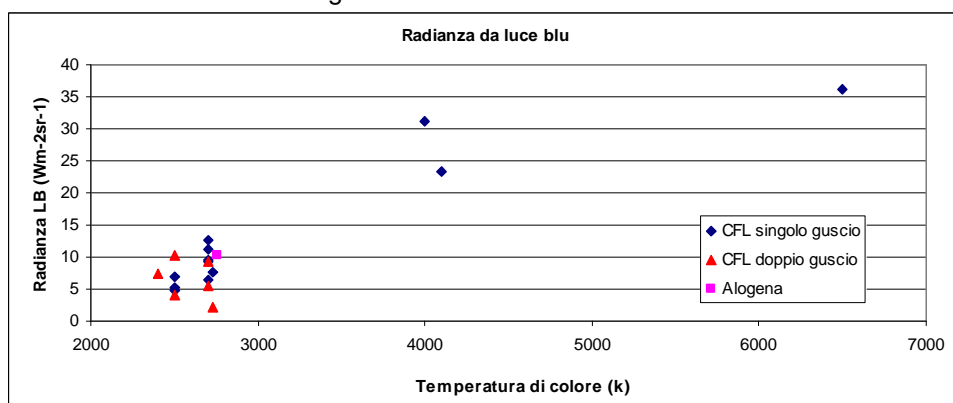
Figura 4. Esposizione radiante UVA



Sono riportati i livelli di esposizione radiante in funzione della potenza valutati per le lampade fluorescenti confrontati con gli analoghi di una lampada alogena

Relativamente alla radianza efficace da luce blu, si sono registrati valori compresi tra 4 e $36 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ e un valore medio di $12 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ leggermente superiore rispetto ai $10 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ misurati sulla lampada alogena. I valori risultano quindi inferiori al limite di $100 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$. In figura è riportato l'andamento dei valori misurati in funzione della temperatura di colore: all'aumentare di questa (corrispondente al passaggio da lampade luce calda a lampade a luce fredda) aumenta la radianza, in quanto lo spettro di emissione delle lampade a luce fredda ha una componente continua importante per lunghezze d'onda comprese tra 400 e 500 nm non presente nelle lampade a luce calda (fig.2).

Figura 5. Radianza da luce blu



Sono riportati i livelli di radianza da luce blu in funzione della temperatura di colore valutati per le lampade fluorescenti confrontati con gli analoghi di una lampada alogena

In merito alla presenza del doppio guscio di protezione, dai dati riportati non risulta evidente un maggiore effetto schermante ad esso associato. Questo in quanto più fattori influenzano i risultati delle misure, quali la marca, la temperatura di colore e la potenza e quindi non è possibile discriminare l'influenza dell'utilizzo di un doppio guscio. Il confronto può essere unicamente effettuato tra la lampada 7 e 8 corrispondenti alla stessa lampada con (7) e senza (8) secondo guscio. Passando dalla lampada 7 alla 8, H_{UVA} scende da 4896 Wm^{-2} a 1127 Wm^{-2} e L_{B} da $7.7 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ a $2.1 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ a dimostrazione dell'effetto schermante ottenuto tramite l'utilizzo del doppio guscio.

CAMPI A RADIOFREQUENZA

La caratterizzazione in frequenza delle lampade analizzate ha evidenziato emissioni tra i 30 kHz e i 60 kHz , in funzione della lampada ed anche, per alcune lampade in particolare, in funzione del tempo trascorso dall'accensione. Infatti è stata osservata una deriva in frequenza, che corrisponde presumibilmente ad una variazione di temperatura dei circuiti.

Nella tab.2 sono riportate le frequenze principali di emissione (o intervallo di frequenze in caso di deriva nel tempo) e le eventuali armoniche per le varie lampade indagate.

Tabella 2 – frequenze di emissione delle lampade analizzate

Lampada	Frequenza principale (kHz)	Armonica (kHz)	Rapporto armonica/principale
14	44 - 50	90	0.017
1	43.25 - 48	-	-
5	44 - 47.5	-	-
18	47.75 - 57	-	-
15	50.25 - 54.25	-	-
13	37.50 - 46	75 - 90	0.038
4	31 - 38.5	76	0.025

Si osserva come per la maggior parte delle lampade non vi siano armoniche, oppure il loro contributo sia irrilevante. Le lampade per le quali è stata rilevata un'armonica, mostravano in genere una diminuzione dell'intensità della stessa con il riscaldamento della lampada.

La caratterizzazione sopra i 100kHz non ha invece mostrato alcuna emissione specifica, ma si segnala, per la lampada n.15 con potenza 23W, la presenza di un picco intorno ai 160kHz (presumibilmente un'armonica), ed un rumore a basso livello diffuso nello spettro fino a 1MHz.

Per quanto riguarda invece l'intensità delle emissioni e la distribuzione spaziale dei campi elettrico e magnetico, i risultati mostrano una grande variabilità.

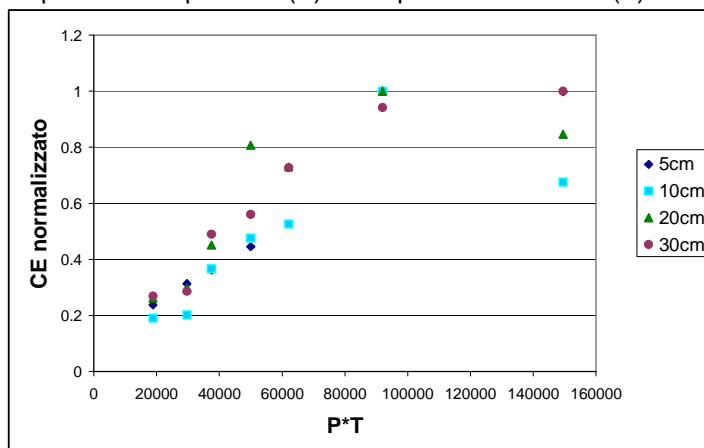
In termini di intensità dell'emissione, in tab. 3 sono riportati i valori massimi di campo elettrico misurati a 5cm di distanza sotto la lampada: si osserva come tali livelli siano, per alcune lampade, confrontabili con i livelli di riferimento fissati dalle linee guida ICNIRP per questo intervallo di frequenze (pari a 83 V/m).

Tabella 3 – Livelli di campo elettrico misurati a 5cm sotto la lampada

Lampada	Campo Elettrico (V/m)
14	38.1
1	20.3
5	26.8
18	85.5
15	85.6
13	31.0
4	62.3

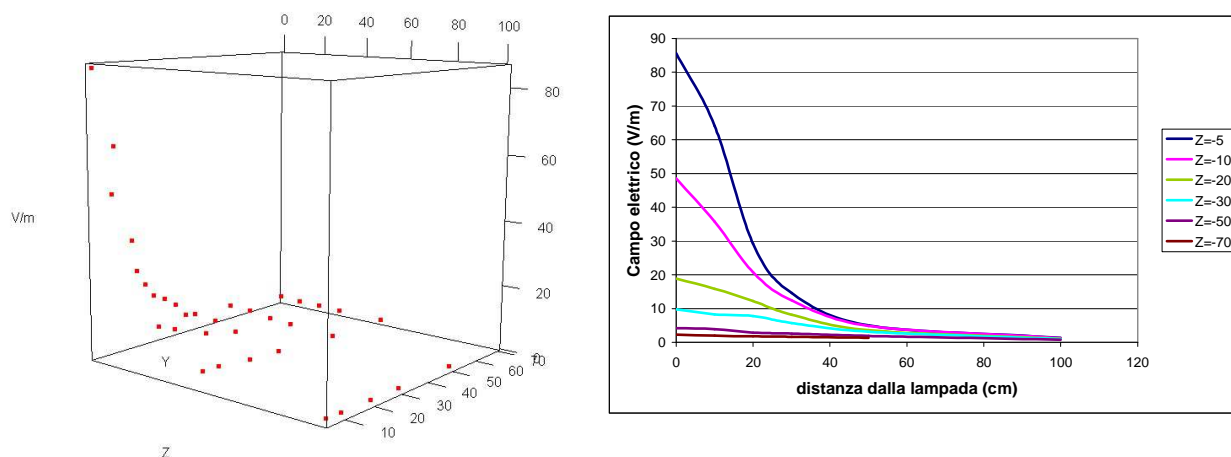
Al fine di verificare l'eventuale dipendenza dell'intensità di emissione dai parametri che caratterizzano le diverse lampade, in fig. 6 sono riportati i valori di campo elettrico misurati a varie distanze sotto la lampada (normalizzati al massimo rilevato), in funzione del prodotto tra potenza e temperatura di colore. In effetti, è stata rilevata una correlazione tra questi due parametri, con un coefficiente di correlazione che oscilla tra 0.75 e 0.92 a seconda della serie di dati.

Figura 6 – andamento del campo elettrico (normalizzato al massimo per ciascuna serie) in funzione del prodotto tra potenza (P) e temperatura di colore (T)



In fig.7 è invece visibile la distribuzione spaziale per la lampada con emissione più intensa a 5cm (Osram a 23W). Per questa come per le altre lampade si osserva una diminuzione molto rapida del campo nei primi 30-40cm, sia in orizzontale sia in verticale (con una sostanziale simmetria nel comportamento).

Figura 7 – andamento del campo elettrico con la distanza dalla lampada



A sinistra, livelli di campo elettrico in funzione di Z ed Y. A destra, andamento del campo in funzione di Y per diversi valori di Z.

Sulla base dei dati fin qui riportati, è evidente che le lampade analizzate non generano campi che superino i limiti fissati per la protezione della popolazione. Se infatti si calcola la media su una superficie equivalente alla sezione del corpo umano per le tre lampade con emissioni più intense, i livelli da confrontare con i limiti sono quelli riportati in tab. 4.

Tabella 4 – Livelli di campo medi su una sezione equivalente a torso e testa

Lampada	Campo Elettrico (V/m)
18	27.5
15	23.9
4	18.9

A livello di assorbimento locale nella testa (in caso di utilizzo delle lampade a potenza più elevata in condizioni di estrema vicinanza con la persona), si potrebbe invece verificare il superamento dei limiti dosimetrici di base. Tale ipotesi pare però piuttosto remota, tenuto conto dei fattori di riduzione utilizzati per ricavare i livelli di riferimento.

Per quanto riguarda l'esposizione dei lavoratori, questi primi dati permettono di affermare che, in generale, i livelli di riferimento della norma ICNIRP (170 V/m) non sono mai superati per questo tipo di sorgenti. Indicativamente, tali sorgenti dovrebbero anche essere annoverate tra quelle giustificabili a priori, sulla base delle considerazioni sopra riportate. Sono però certamente necessarie verifiche su un campione più vasto per fornire un'indicazione definitiva.

Per quanto riguarda invece il campo magnetico, in questo intervallo di frequenze esso si discosta molto poco dal fondo ambientale, con valori massimi inferiori a $0.6\mu\text{T}$, contro un livello di riferimento per la popolazione di $27\mu\text{T}$.

Oltre alle lampade fin qui analizzate, sono state effettuate anche alcune rilevazioni sulla lampada a led. Per quest'ultima, l'emissione è concentrata nel range di frequenza dei 50Hz e armoniche, con livelli che si discostano molto poco dal fondo ambientale.

CONCLUSIONI

Sono state misurate le emissioni di campi elettromagnetici ELF e RF, di radiazione UV e di luce blu di un campione costituito da 17 lampade fluorescenti rappresentativo di quelle attualmente presenti sul mercato.

In merito alla radiazione ottica si sono valutate le emissioni in termini di esposizione radiante UVA e di radianza efficace da luce blu e si sono confrontati i valori ottenuti con i limiti stabiliti dall'ICNIRP in condizioni estremamente cautelative (8 ore di esposizione ad una distanza di 20 cm). I livelli misurati pur essendo sensibilmente superiori rispetto a quelli emessi da lampade alogene sono sempre risultati inferiori ai limiti. Si evidenzia comunque una maggiore emissione di luce blu per le lampade a luce fredda (temperatura di colore di circa 4000 K o superiore) e di luce blu e di radiazione UV per le lampade sprovviste del doppio guscio protettivo.

In merito alle emissioni a radiofrequenza, la caratterizzazione del campo elettrico in termini di frequenza ed intensità ha fornito alcune indicazioni circa l'impatto di questo tipo di sorgenti sull'esposizione della popolazione e dei lavoratori. In sintesi, è stato riscontrato che non vi sono particolari criticità per l'esposizione umana. Soltanto nell'utilizzo delle lampade più potenti nelle immediate vicinanze della testa, i valori di campo confrontabili con il livello di riferimento indicano la possibilità di un assorbimento locale maggiormente critico. Nelle normali condizioni di utilizzo (distanze maggiori di 10cm), le lampade analizzate sono certamente a norma per l'esposizione umana. Il lavoro svolto indica anche che, in generale, tali lampade possono essere considerate come giustificabili in una valutazione dei rischi, anche se sono certamente necessarie verifiche su un campione più vasto per fornire un'indicazione definitiva.

Bibliografia

ICNIRP Guidelines – *Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 μ m)*, Health Physics 1997

ICNIRP Guidelines – *Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation)*, Health Physics 2004

ICNIRP Statement – ICNIRP Statement – *Protection of workers against ultraviolet radiation. Health Physics 2010*

Commissione Europea - *REGOLAMENTO (CE) N. 244/2009 DELLA COMMISSIONE del 18 marzo 2009 recante modalità di applicazione della direttiva 2005/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio in merito alle specifiche per la progettazione ecocompatibile delle lampade non direzionali per uso domestico* 24.3.2009 IT Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 76/3

ICNIRP Guidelines – *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz to 100kHz)*, Health Physics 2010

J. Nadakuduti, M. Douglas, M. Capstick, S. Kühn, S. Benkler, N. Kuster - *Assessment of EM Exposure of Energy-Saving Bulbs & Possible Mitigation Strategies*, Final Report of Foundation for Research on Information Technologies in Society, 2010