

UNA RASSEGNA DELLE ESPOSIZIONI A RADIAZIONE INFRAROSSA RICONTRABILI PRESSO ATTIVITA' DI LAVORAZIONE DEL VETRO E DEI METALLI

Iole Pinto, Nicola Stacchini, Daniele Cavarra, Antonino Cappello

ASL 7 di Siena Regione Toscana - Dipartimento di Prevenzione – Laboratorio Agenti Fisici

1. Introduzione

Fin dagli inizi del 1900, numerosi studi di rassegna ed epidemiologici hanno evidenziato un significativo incremento di incidenza di cataratte tra lavoratori addetti a lavorazioni del vetro o di metalli alle temperature di fusione. A partire dai primi lavori pubblicati in letteratura (Legge T.M., 1907 Cataract in glass-blower HMSO London) fino agli anni '80 la cosiddetta "cataratta dei vetrai" veniva attribuita all'esposizione a radiazione ottica di elevata intensità, in particolare nella regione del visibile o dell'infrarosso *vicino* (760 nm-1400 nm). Ciò in quanto si ipotizzava che tale radiazione fosse assorbita dall'iride con produzione di calore trasmesso per conduzione diretta al cristallino.

Peraltro gli studi di laboratorio effettuati negli stessi anni sulla cataratta da Infrarossi indotta in animali, essendo carenti sotto il profilo della caratterizzazione spettrale della radiazione ottica utilizzata, non fornivano sufficienti informazioni circa le differenti potenzialità di danno oculare associato alle caratteristiche spettrali della radiazione incidente. (Langley 1960; Pitts 1981).

L'eziologia della cataratta da i.r. e dei meccanismi di induzione di lesioni termiche ai tessuti del cristallino ha rappresentato oggetto di dibattito fino ai recenti studi sui meccanismi di trasferimento dell'energia radiante ai tessuti oculari (Skott 1988, Okuno 1994), che hanno portato alle seguenti conclusioni:

1. Nel caso di esposizione oculare a luce visibile o I.R. - A, la cataratta è associata all'assorbimento della radiazione nell'iride: l'energia termica viene quindi trasferita per conduzione diretta al tessuto epiteliale del cristallino.
2. Nel caso di esposizione oculare a radiazione I.R. con componenti spettrali dominanti nelle regioni IR-B, IR-C, la radiazione è invece assorbita dalla cornea: l'energia termica si propaga quindi al cristallino mediante conduzione termica attraverso i tessuti oculari adiacenti (cornea-umor acqueo).
3. Radiazione visibile e radiazione I.R. sono ambedue in grado di indurre cataratta, producendo entrambe, sia pure con meccanismi diversi, un riscaldamento del cristallino.

Basandosi sulle consolidate conclusioni clinico epidemiologiche illustrate ai precedenti punti, la recente Direttiva Europea UE 2006/25 in materia di tutela dei lavoratori dal rischio di esposizione alla radiazione ottica, prescrive specifiche misure preventive per tale tipologia di rischio.

Il presente lavoro riporta una rassegna dell'esposizione a radiazione infrarossa riscontrate nelle attività di fusione del vetro e dei metalli, ove, nonostante la presenza di elevati livelli di esposizione a radiazione IR, la valutazione di tale tipologia di rischio appare il più delle volte trascurata nell'ambito degli adempimenti previsti ai sensi del D.lgvo 626/94.

2. Metodi

2.1 Metodi di Misura

Le misure sono state condotte presso stabilimenti di fusione di metalli e del vetro, durante le abituali fasi lavorative in prossimità delle sorgenti di infrarossi, costituite dai forni di fusione del vetro e dei metalli, alle temperature operative riportate alle tabelle 2.a; 2.b; 2.c, ove sono riportate altresì le condizioni di misura.

In fig. 1.a e 1.b si riportano due tipiche situazioni espositive a radiazione infrarossa, valutate nel corso della fusione di metalli in fonderia.



Le densità di potenza della radiazione infrarossa irradiata sono state rilevate mediante la seguente strumentazione di misura:

- Fotometro Hagner S3 con sonda per radiazione infrarossa nell'intervallo [700 nm-1150 nm].

La stima della densità di potenza (W/m^2) della radiazione infrarossa emessa nell'intero intervallo di interesse igienistico [700 nm-3000 nm] è stata effettuata approssimando lo spettro di radiazione emesso dai forni in oggetto con spettri di corpo nero, secondo le metodiche di calcolo riportate al successivo paragrafo.

2.2 Metodo di stima dell'esposizione

Presentando i sensori di misura impiegati, una sensibilità limitata al visibile ed al vicino I.R. [700 nm - 1150 nm], è stato sviluppato il seguente metodo di calcolo, che consente di poter stimare la potenza totale I.R. incidente sulla sonda (W/m^2), nelle differenti bande spettrali di interesse igienistico (visibile, IR-A, IR-B, IR-C, ACGIH), a partire dal valore letto dal fotometro nella regione del visibile o nell'intervallo [700 nm - 1150 nm]

Sia $\epsilon(\lambda)$ lo spettro della densità di illuminazione (in W/m^2) della luce incidente sulla sonda.

Se $v(\lambda)$ è la sensibilità relativa della sonda, fornita dal costruttore, la corrente prodotta dal trasduttore sarà proporzionale a $\int v(\lambda) \times \epsilon(\lambda) d\lambda$.

Avendo impiegato una sonda sensibile agli infrarossi nell'intervallo 770 nm-1150 nm, al fine di stimare la potenza radiante nell'intero spettro di interesse igienistico- nella banda IR da :770 - 3000 nm: - si è seguita la seguente procedura

Detta $V'(\lambda)$ la sensibilità della testa I.R. la densità di illuminazione è:

$$\int V'(\lambda) \times \epsilon(\lambda) d\lambda$$

La sonda visibile ha un fattore di trasduzione di 77.6 pA/lux; ciò implica che lo strumento è caratterizzato da un fattore di trasduzione di 1/77.6 lx/pA, ed una sensibilità di 1450 pA/W/m². Di conseguenza la lettura L_{IR} del fotometro è data da:

$$L_{IR} = 1450/77.6 \int V'(\lambda) \times \epsilon(\lambda) d\lambda$$

La densità di potenza radiante in un intervallo $[\lambda_1, \lambda_2]$ può conseguentemente essere stimata come:

$$E(\lambda_1, \lambda_2) [W/m^2] =$$

$$= \text{Lettura sonda IR (lux)} \times 77.6/1450 \times (\int \epsilon(\lambda) d\lambda / (\int V'(\lambda) \times \epsilon(\lambda) d\lambda))$$

dove i coefficienti $V'(\lambda)$ sono ottenuti dalla curva di sensibilità della sonda forniti dal costruttore. I valori dei coefficienti $(\int \epsilon(\lambda) d\lambda / (\int V'(\lambda) \times \epsilon(\lambda) d\lambda))$ sono stati calcolati mediante codice di calcolo scritto in BASIC e sono riportati in tabella 1.

| Tabella 1 | | | | | |
|--|--------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| Fattori di conversione tra lettura della sonda I.R. nell'intervallo 770nm - 1150 nm e densità spettrale di potenza radiante di corpo nero emessa nell' I.R. | | | | | |
| T (°C) | Banda testa | Visibile | IR-A | IR-B | IR-C |
| 1200 | 3.015E+00 | 1.327E-01 | 8.050E+00 | 5.064E+01 | 4.425E+01 |
| 1220 | 2.988E+00 | 1.391E-01 | 7.829E+00 | 4.693E+01 | 3.981E+01 |
| 1240 | 2.962E+00 | 1.457E-01 | 7.621E+00 | 4.358E+01 | 3.592E+01 |
| 1260 | 2.937E+00 | 1.523E-01 | 7.424E+00 | 4.054E+01 | 3.249E+01 |
| 1280 | 2.913E+00 | 1.591E-01 | 7.238E+00 | 3.779E+01 | 2.946E+01 |
| 1300 | 2.891E+00 | 1.661E-01 | 7.061E+00 | 3.529E+01 | 2.679E+01 |
| 1320 | 2.869E+00 | 1.731E-01 | 6.894E+00 | 3.302E+01 | 2.441E+01 |
| 1340 | 2.848E+00 | 1.804E-01 | 6.735E+00 | 3.094E+01 | 2.230E+01 |
| 1360 | 2.828E+00 | 1.877E-01 | 6.584E+00 | 2.904E+01 | 2.042E+01 |
| 1380 | 2.809E+00 | 1.952E-01 | 6.441E+00 | 2.730E+01 | 1.873E+01 |
| 1400 | 2.790E+00 | 2.028E-01 | 6.305E+00 | 2.570E+01 | 1.722E+01 |
| 1420 | 2.772E+00 | 2.105E-01 | 6.175E+00 | 2.423E+01 | 1.587E+01 |
| 1440 | 2.755E+00 | 2.184E-01 | 6.051E+00 | 2.288E+01 | 1.464E+01 |
| 1460 | 2.739E+00 | 2.264E-01 | 5.933E+00 | 2.163E+01 | 1.354E+01 |
| 1480 | 2.723E+00 | 2.345E-01 | 5.821E+00 | 2.048E+01 | 1.255E+01 |
| 1500 | 2.708E+00 | 2.428E-01 | 5.713E+00 | 1.941E+01 | 1.164E+01 |

3. VALORI LIMITE E STANDARD DI RIFERIMENTO

La Direttiva UE 2006/25 *Direttiva del Consiglio sulle norme minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche artificiali)* fissa i seguenti limiti di esposizione ad I.R. [E_{IR}][770 nm-3000 nm]:

$$100 \text{ W/m}^2 \text{ (Durata esposizione maggiore di 1000 s)}$$

Questo è il valore di esposizione al di sopra del quale il rischio è **inaccettabile** per un lavoratore esposto. Tale valore non deve essere superato in quanto può causare rischio di ustione corneale e catarattogenesi.

Anche l'ACGIH raccomanda che per evitare possibili effetti cronici sul cristallino (catarattogenesi) la radiazione infrarossa ($\lambda > 770 \text{ nm}$) dovrebbe essere limitata a **10 mW/cm²**

4. RISULTATI

In tab. 3 si riporta la sintesi dei risultati delle valutazioni delle esposizioni ad I.R. nell'intervallo di lunghezze d'onda prescritto dalla Direttiva Europea [770 nm-3000 nm], effettuate negli anni 1995-2006 dal Laboratorio Agenti Fisici della ASL 7 di Siena presso:

- ✓ Fonderie
- ✓ Industria orafa
- ✓ Vetriere artigiane

Tabella 2.a - Sintesi dei risultati delle valutazioni : Fonderie

| Postazione | Condizioni | T.Forno (°C) | Esposizione (W/m ²) | Tipo I.R. (componente dominante) |
|------------|--|--------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Occhi | Siviera-carrello: colata | 1360-1410 | 3225-7180 | IR - B |
| Occhi | Area scorifica forni: colata | 1360-1410 | 1612-4838 | IR - B |
| Occhi | Interno carrello colata stampi: colata (con schermo) | 1360-1410 | 322-897 | IR - B |
| Occhi | Prelievo forno rotativo | 1360-1410 | 725-1128 | IR - B |

Tabella 2.b- Sintesi dei risultati delle valutazioni : Vetriere

| Mansione | Tipo forno | T.Forno (°C) | Esposizione (W/m ²) | Tipo I.R. |
|-----------|---------------------|--------------|---------------------------------|-----------|
| Levatore | forno senza schermo | 1185 - 1370 | 480 - 650 | IR - B |
| Levatore | forno con schermo | 1185 - 1370 | 250 - 280 | IR - B |
| Fonditore | forno senza schermo | 1285 | 500-540 | IR - B |
| Piazzista | piazza | 1000-1100 | 20-40 | IR - B |

Tabella 2.c - Sintesi dei risultati delle valutazioni: Fusione metalli preziosi

| Tipo forno | Condizioni operative | T.Forno (°C) | Esposizione (W/m ²) | IR: componente dominante |
|--|----------------------|--------------|---------------------------------|--------------------------|
| Forno non sigillato: con schermo vetro a 40 cm dal vetro a 1 m dalla bocca | Fusione oro | 1064 | 2000-3000 | IR - B-C |
| Forno non sigillato senza schermo a 1 m dalla bocca | Fusione oro | 1064 | 1500-1800 | IR - B-C |
| Forno non sigillato con schermo PVC a 40 cm dal vetro a 1 m dalla bocca | Fusione oro | 1064 | 2500-4000 | IR - B-C |
| Forno non sigillato senza schermo altezza occhi | Colata oro | 1064 | 500-4000 | IR - B-C |
| Forno non sigillato con schermo altezza occhi (1 m da bocca) | Fusione oro | 1064 | 500-600 | IR -B-C |
| Forno non sigillato senza schermo altezza occhi | Colata oro | 1064 | 500-4000 | IR -B-C |
| Forno sigillato: postazione operatore | Fusione oro | 961 | 68-130 | IR -B-C |
| Forno non sigillato: altezza occhi | Fusione oro | 961 | 680-1350 | IR -B-C |
| Muffola con schermo | a 50 cm bocca | 1173 | 150 | IR -B-C |
| Muffola senza schermo | a 50 cm bocca | 1173 | 700-890 | IR -B-C |

Dai risultati ivi presentati si evince che:

Le radiazioni infrarosse cui sono esposti i lavoratori hanno componenti spettrali dominanti nelle regioni IR-B ed IR-C. Il danno termico al cristallino è pertanto dovuto all'incremento di temperatura associato all'assorbimento degli I.R. al livello corneale ed alla propagazione del calore al cristallino per conduzione termica attraverso i tessuti adiacenti.

I valori di esposizione riscontrati nella maggior parte delle attività lavorative di fusione del vetro e dei metalli superano il livello limite di 100 W/m² prescritto dalla Direttiva Europea

Gli schermi di protezione di vetro installati in prossimità dei forni generalmente non sono risultati idonei alla protezione dei lavoratori da radiazione IR, che – dalle valutazioni effettuate – è risultato comunque superiore ai valori limite fissati dalla Direttiva Europea, come si evince dai dati di tab. 3

5. CONCLUSIONI

Allo stato attuale appare che, per quanto il rischio derivante da radiazione infrarossa di elevata intensità sia noto da più di un secolo, esso sia in numerose realtà lavorative ancora del tutto sottovalutato, già nella fase della valutazione dei rischi ai sensi dell'art. 4 del D.Lgs. 626/1994.

Nel corso delle valutazioni delle esposizioni a radiazione infrarossa effettuate negli anni 1998-2006 presso attività di fusione di vetro e metalli dal nostro Laboratorio, illustrate nel presente lavoro, è emerso che:

1. L'esposizione alla radiazione infrarossa dei lavoratori in prossimità dei forni oggetto della presente rassegna, in fase di fusione e colata dei metalli e del vetro, supera generalmente il valore limite di 100 W/m^2 prescritto dalla Direttiva Europea, e può pertanto causare danno oculare ai lavoratori esposti.
2. Le esposizioni riscontrate in prossimità delle bocche di tutti i forni in assenza di schermatura sono estremamente elevate, in relazione al rischio di induzione di lesioni termiche al sistema oculare ed ai tessuti del cristallino.
3. Gli schermi di protezione installati presso le bocche dei forni ed i visori dei caschi utilizzati, pur riducendo il livello di esposizione degli operatori, non sono generalmente in grado di garantire un'efficace protezione dalla radiazione infrarossa emessa dai forni, risultando l'esposizione in presenza di tali dispositivi superiore ai valori limite fissati dalla Direttiva Europea, con conseguente rischio di danno oculare per i lavoratori esposti.

Ai fini dell'adeguamento delle attività lavorative indagate ai limiti prescritti dalla Direttiva Europea 2006/25, in corso di recepimento nel nostro Paese, è necessario che gli operatori indossino, nelle lavorazioni in prossimità dei forni di fusione, occhiali o visori di protezione specifici per la radiazione infrarossa, muniti di marcatura CE in relazione alla protezione del rischio da infrarossi. Tali dispositivi di protezione individuale, per essere idonei, devono essere in grado di ridurre l'intensità degli I.R-B ed IR-C su di essi incidenti di un fattore pari al 70-95%, in relazione alle differenti modalità e tipologia di esposizioni riscontrabili.

Le bocche dei forni dovrebbero essere schermate con schermi di protezione specifici per la radiazione infrarossa.

A tale riguardo è da notare come in numerose situazioni lavorative i lavoratori non siano dotati di idonei occhiali di protezione per gli IR, e allo stato attuale, non sono facilmente reperibili dai cataloghi dei produttori, DPI oculari o schermi aventi le caratteristiche stabilite dalla norma UNI EN 171 inerente lo specifico rischio IR.

I lavoratori dovranno essere formati sul rischio da esposizione a radiazione infrarossa e sulle corrette modalità di lavoro in prossimità dei forni, al fine di prevenire l'esposizione, anche accidentale, agli elevati livelli di radiazione infrarossa emessa nel corso della fusione e colata dei metalli e del vetro, in assenza di idonei sistemi di schermatura.

Infine i lavoratori esposti dovranno essere sottoposti a controlli sanitari specifici inerenti la prevenzione delle patologie associate alla radiazione infrarossa: questi attualmente non risultano messi in atto in numerose realtà lavorative.

6. Bibliografia

- [1] Lydahl E., Philipson B., *Infrared radiation and cataract.I. Epidemiologic investigation of iron and steel workers.* Acta Ophthalmologica 62: 961-975 (1984a).
- [2] Lydahl E., Philipson B., *Infrared radiation and cataract.II. Epidemiologic investigation of glass workers.* Acta Ophthalmologica 62: 976-992 (1984b)
- [3] Lydahl E., Glansholm A., Levin M., *Ocular exposure to infrared radiation in the Swedish iron and steel industry,* Health Physics Vol.46 n.3: 529-536 (1984).
- [4] Skott J.A., *The computation of temperature rises in the human eye induced by infrared radiation .* Phys.Med.Biol.Vol.33 n.2:243-257 (1988)
- [5] Okuno T., *Thermal effect of infra-red radiation on the eye: a study based on a model,* Ann.Occup.Hyg.Vol.35:1-12 (1991).
- [6] Okuno T., *Thermal effect of visible light and infra-red radiation (i.r.-A, i.r.-B and i.r.-C) on the eye: a study of infrared cataract based on a model,* Ann.Occup.Hyg.Vol 38 n.4: 351-359 (1994)
- [7] ACGIH (1996) *Threshold limit values and biological exposures index.*
- [8] C M H Driscoll and M J Whillock *The measurement and hazard assessment of sources of incoherent optical radiation* J. Radiol. Prot. 10 271-278 (1990)
- [9] Sisto R., Pinto I., Stacchini N., Giuliani F *Esposizione a radiazione infrarossa in vetrerie artistiche: un metodo di misurazione;* Atti del dBA 98 Congresso Nazionale Modena 17-19 settembre 1998 pagg.783-790
- [10] Sisto R., Pinto I., Stacchini N., Giuliani F. *Infrared Radiation Exposure in Traditional Glass Factories* AIHAJ(61), Febbraio 2000: 5-10
- [11] Direttiva UE 2006/25 *Direttiva del Consiglio sulle norme minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche artificiali)* G.Uff. UE 27/04/2006