

RASSEGNA SULLE PRINCIPALI MISURE DI RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI E RADIAZIONE INFRAROSSA.

Iole Pinto, Nicola Stacchini

ASL 7 di Siena - Laboratorio di Sanità Pubblica Area Vasta Toscana SUD –
Laboratorio Agenti Fisici

INTRODUZIONE

Il D.Lgs.81/08 “*Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro*” ha introdotto per la prima volta nel nostro Paese specifiche norme di tutela della salute per i lavoratori esposti a campi elettromagnetici non ionizzanti nell’intervallo di frequenze 0 Hz-300 GHz (Titolo VIII capo IV) ed a radiazioni ottiche artificiali (Titolo VIII capo V).

E’ in proposito da rilevare che, sebbene la presenza di elevati livelli di esposizione a tali tipologie di radiazione sia riscontrabile in numerose e diversificate attività lavorative, al momento appare che la valutazione e prevenzione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori associati a tali esposizioni sia stata spesso trascurata nell’ambito degli adempimenti previsti ai sensi del D.Lgs.626/94.

Nell’ambito del presente lavoro si conduce una sintetica rassegna delle principali misure tecniche, organizzative e procedurali da mettere in atto ai fini della riduzione e prevenzione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici non ionizzanti (0-300 GHz) e radiazioni ottiche artificiali (IR) nelle attività lavorative maggiormente a rischio, basate sull’esperienza maturata sul campo dagli autori e sui dati di letteratura.

1 - PARTE I: CAMPI ELETTROMAGNETICI NON IONIZZANTI (0 HZ – 300 GHZ)

1.1 SORGENTI DI ESPOSIZIONE

La Commissione Europea ha dato l’incarico al TC 106X del CENELEC con i mandati M/305 (popolazione), e M/351 (lavoratori), di sviluppare norme armonizzate sugli aspetti di sicurezza inerenti l’esposizione a campi elettromagnetici (campo di frequenze 0 Hz - 300 GHz). Di particolare interesse ai fini dell’applicazione del TU titolo VIII capo IV è la Pr EN 50499: “procedure per la valutazione dell’esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici”.

Essa contiene due tabelle: la prima, riportata con integrazioni degli autori alla Tabella 1, include le attrezzature “*giustificabili*”, cioè apparecchiature che non sono intrinsecamente in grado di produrre campi di interesse protezionistico, in relazione agli effetti diretti ed indiretti sulla salute che la norma intende prevenire.

Ai fini di questa definizione si reputano non comportare rischi per la salute le esposizioni inferiori ai livelli di riferimento per la popolazione di cui alla raccomandazione europea 1999/519/CE.

La seconda tabella, riportata con integrazioni degli autori alla Tabella 2, comprende apparati ed installazioni che devono essere oggetto di valutazione e controllo dei campi elettromagnetici da questi generati, sia per la prevenzione dei possibili effetti sulla salute dei lavoratori esposti, che per la tutela di soggetti con controindicazioni assolute all'esposizione, per possibili effetti indiretti, quali ad es. portatori di dispositivi elettronici impiantati, pace maker, protesi, schegge, etc. come discusso più oltre.

Tabella 1 - Attrezzature giustificabili, con esposizioni inferiori ai livelli di riferimento per la popolazione di cui alla raccomandazione europea 1999/519/CE.

| | |
|---|---|
| 1 | Tutte le attività che si svolgono unicamente in ambienti privi di impianti e apparecchiature elettriche e di magneti permanenti |
| 2 | Luoghi di lavoro interessati dalle emissioni di sorgenti CEM autorizzate ai sensi della normativa nazionale per la protezione della popolazione |
| 3 | Uso di apparecchiature a bassa potenza (così come definite dalla norma EN 50371: con emissione di frequenza 10 MHz ÷ 300 GHz e potenza media trasmessa fino a 20 mW e 20 W di picco), anche se non marcate CE |
| 4 | Uso di attrezzature marcate CE, valutate secondo gli standard armonizzati per la protezione dai CEM Lista soggetta a frequenti modifiche: <ul style="list-style-type: none"> • EN 50360: telefoni cellulari; • EN 50364: sistemi di allarme e antitaccheggio; • EN 50366: elettrodomestici; • EN 50371: norma generica per gli apparecchi elettrici ed elettronici di bassa potenza; • EN 50385: stazioni radio base e stazioni terminali fisse per sistemi di telecomunicazione senza fili; • EN 50401: apparecchiature fisse per trasmissione radio (110 MHz – 40 GHz) destinate a reti di telecomunicazione senza fili; • EN 60335-2-25: forni a microonde e forni combinati per uso domestico e similare; • EN 60335-2-90: forni a microonde per uso collettivo (uso domestico e similare) |
| 5 | Attrezzature presenti sul mercato europeo conformi alla raccomandazione 1999/159/EC che non richiedono marcatura CE essendo per esempio parte di un impianto |
| 6 | Apparati luminosi (lampade) Escluso specifiche lampade attivate da RF |
| 7 | Computer e attrezzature informatiche |
| 8 | Attrezzature da ufficio i cancellatori di nastri possono richiedere ulteriori valutazioni |

| | |
|----|---|
| 9 | Cellulari e cordless |
| 10 | Radio rice-trasmittenti con potenze inferiori a 20 mW |
| 11 | Basi per telefoni DECT e reti Wlan (limitatamente ad apparecchiature per il pubblico) |
| 12 | Apparati di comunicazione non wireless e reti |
| 13 | Utensili elettrici manuali e portatili conformi alle EN 60745-1 e EN 61029-1 inerenti la sicurezza degli utensili a motore trasportabili. |
| 14 | Attrezzature manuali per riscaldamento (escluso il riscaldamento a induzione e dielettrico) |
| 15 | Carica batterie. Inclusi quelli ad uso domestico e destinati a garage, piccole industrie e aziende agricole (EN 60335-2-29) |
| 16 | Attrezzature elettriche per il giardinaggio |
| 17 | Apparecchiature audio e video (esclusi alcuni particolari modelli che fanno uso di trasmettitori radio nelle trasmissioni radio/TV) |
| 18 | Apparecchiature portatili a batteria (esclusi i trasmettitori a radiofrequenza) |
| 19 | Stufe elettriche per gli ambienti (esclusi i riscaldatori a microonde) |
| 20 | <p>Rete di distribuzione dell'energia elettrica a 50 Hz nei luoghi di lavoro: campo elettrico e magnetico devono essere considerati separatamente.</p> <p>Per esposizioni al campo magnetico sono conformi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ogni installazione elettrica con una intensità di corrente di fase ≤ 100 A; • Ogni singolo circuito all'interno di una installazione con una intensità di corrente di fase ≤ 100 A; • Tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri di cui sopra sono conformi (incluso i conduttori, interruttori, trasformatori ecc...); • Qualsiasi conduttore nudo aereo di qualsiasi voltaggio. <p>Per esposizioni al campo elettrico sono conformi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qualsiasi circuito in cavo sotterraneo o isolato indipendentemente dal voltaggio • Qualsiasi circuito nudo aereo tarato ad un voltaggio fino a 100 kV, o linea aerea fino a 125 kV, sovrastante il luogo di lavoro, o a qualsiasi voltaggio nel caso di luogo di lavoro interni. |
| 21 | Strumentazione e apparecchi di misura e controllo |
| | <p>Elettrodomestici</p> <p>Sono inclusi in questa tabella anche le apparecchiature professionali per la cottura, lavaggio (lavatrici), forni a microonde ecc... usate in ristoranti, negozi, ecc...</p> <p>Necessitano invece di ulteriori valutazioni i forni di cottura ad induzione.</p> |
| 22 | Computer e attrezzature informatiche con trasmissione wireless es.: Wlan (Wi-Fi), Bluetooth e tecnologie simili, limitatamente all'uso pubblico |
| 23 | Trasmettitori a batteria |
| 24 | <p>Antenne di stazioni base</p> <p>Ulteriori valutazioni sono necessarie solo se i lavoratori che possono essere più vicini all'antenna rispetto alle distanze di sicurezza stabilite per l'esposizione del pubblico</p> |
| 25 | Apparecchiature elettromedicali non per impiego con campi elettromagnetici o di corrente |

Tabella 2 – Macchinari e impianti che richiedono valutazione del rischio CEM e adozione di misure di tutela

| | |
|----|---|
| 1 | Elettrolisi industriale |
| 2 | Saldatura e fusione elettriche |
| 3 | Riscaldamento a induzione |
| 4 | Riscaldamento dielettrico |
| 5 | Saldatura dielettrica |
| 6 | Magnetizzatori/smagnetizzatori industriali Incluso grossi cancellatori di nastri, attivatori disattinatori magnetici di sistemi antitaccheggio non certificati ai sensi della EN 53064 |
| 7 | Specifiche lampade attivate a RF |
| 8 | Dispositivi a RF per plasma |
| 9 | Tutti gli apparecchi elettromedicali per applicazioni con radiazioni elettromagnetiche o di corrente: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Stimolatori magnetici transcranici ✓ Apparat per magnetoterapia ✓ Tomografi RMN ✓ Diatermia ad onde corte o cortissime Tutti gli apparecchi elettromedicali che utilizzano sorgenti RF con potenza media emessa elevata (>100 mW) |
| 10 | Sistemi elettrici per la ricerca di difetti |
| 11 | Radar |
| 12 | Trasporti azionati elettricamente: treni e tram |
| 13 | Essiccatoi e forni industriali a microonde |
| 14 | Antenne delle stazioni radio base (lavoratori addetti all'installazione e manutenzione) |
| 15 | Reti di distribuzione dell'energia elettrica nei luoghi di lavoro che non soddisfano i criteri della Tabella 1 |

2. INTERVENTI SULLE SORGENTI

2.1 ACQUISTO NUOVI MACCHINARI

Come nel caso degli agenti fisici rumore e vibrazioni, anche nel caso dei campi elettromagnetici l'acquisto di macchinari marcati CE consente di valutare preventivamente il livello di emissione prodotto dal macchinario ed orientare la scelta verso il macchinario a ridotte emissioni. Secondo quanto riportato al punto 1.5.10 dell'Allegato 1 del DPR 459/96 (Direttiva Macchine) la progettazione e costruzione dei macchinari deve essere tale da limitare qualsiasi emissione di radiazioni a quanto necessario al loro funzionamento e tale che i suoi effetti sulle persone esposte siano nulli o comunque non pericolosi.

La norma di riferimento per la valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario è la UNI EN 12198-1 del 2002, che riguarda l'emissione di tutti i tipi di radiazione elettromagnetica non ionizzante, incluse le radiazioni ottiche. In funzione del livello di emissione di radiazioni, il fabbricante deve assegnare alla macchina una categoria di emissione di radiazioni. Tali valori sono riportati in appendice B della UNI EN 12198:2002. In particolare la norma

considera tre categorie di emissione, per le quali sono previste diverse misure di protezione, informazione, addestramento, secondo la Tabella 3 a seguito.

Tabella 3: categorie di emissione delle macchine secondo la UNI EN 12198:2002

| Cat. | Restrizione e misure di protezione | Informazione - addestramento | Livelli emissione |
|------|--|---|--|
| 0 | Nessuna | Nessuna | < livelli di riferimento per la popolazione raccomandaz. europea 1999/519/CE |
| 1 | Possono essere necessarie limitazioni all'accesso e misure di protezione | Informazioni su pericoli, rischi ed effetti indiretti | > livelli di riferimento per la popolazione raccomandaz. europea 1999/519/CE |
| 2 | Restrizioni speciali e misure di protezione obbligatorie | Come 1 in più necessario addestramento | > livelli azione Direttiva CE/44/2002 (TU titolo VIII capo IV) |

Il fabbricante deve specificare, se necessario, il livello di competenza da raggiungere mediante addestramento. Inoltre nei casi in cui le condizioni operative e di messa a punto della macchina si traducano in una riduzione della emissione, il fabbricante deve fornirne dettagli appropriati nelle istruzioni.

Se la categoria di emissione di radiazioni è 1 o 2, il fabbricante deve dichiarare come informazione supplementare il tipo e il livello di radiazioni che possono essere emesse dalla macchina.

Le macchine rientranti nelle categorie 1 e 2 devono essere marcate. La marcatura deve comprendere (Figura 1):

- Segnale di sicurezza rappresentante il tipo di emissione di radiazione
- Il numero di categoria (categoria 1 o categoria 2).
- Il riferimento alla norma EN 12198.

L'uso di tali valori in fase di acquisto dei nuovi macchinari consente di orientare la scelta verso macchinari ottimizzati ai fini della riduzione delle esposizioni ai campi elettromagnetici da questi generati, come illustrato negli esempi al paragrafo 2.3.

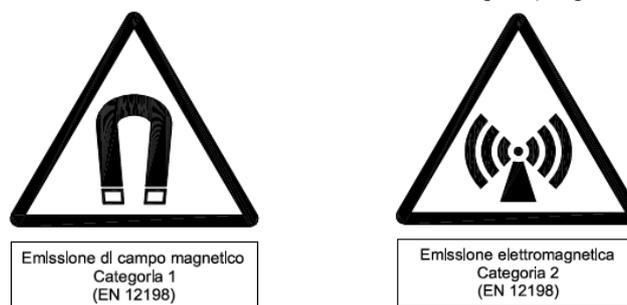


Figura 1 – Segnali di sicurezza CEM

2.2 SCHERMATURE

Gli schermi metallici ostacolano la trasmissione dei campi elettrici e magnetici. L'attenuazione offerta dallo schermo dipende da a) il tipo di metallo; b) spessore del metallo; c) il tipo di campo da attenuare (elettrico, magnetico, elettromagnetico) d) la frequenza del campo da attenuare e) distanza dello schermo dalla sorgente.

In genere l'attenuazione fornita dallo schermo è tanto minore quanto più bassa è la frequenza e quanto più lo schermo è vicino alla sorgente di campo magnetico: ad esempio, al limite di frequenza zero, cioè per campi statici, i metalli non magnetici non hanno alcuna influenza sul campo magnetico statico, cioè sono per esso trasparenti.

In Figura 2 si riporta a titolo di esempio l'andamento dell'attenuazione fornita da uno schermo di acciaio per campo magnetico a 50 Hz, in funzione dello spessore.

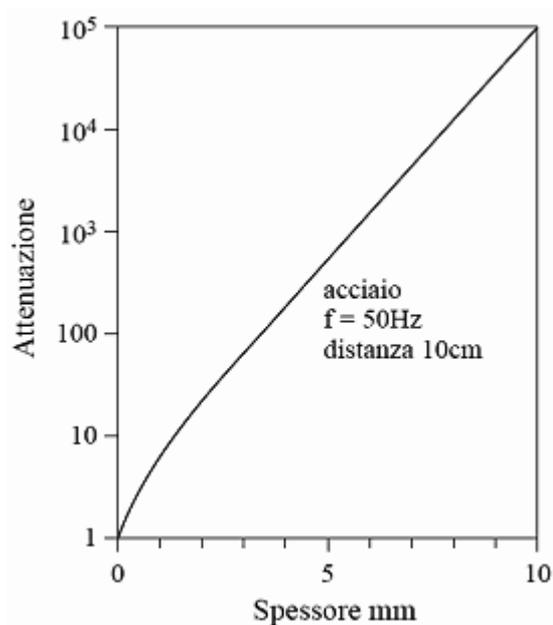


Figura 2: Esempio di attenuazione per campo magnetico a 50 Hz fornita da uno schermo di acciaio, al variare dello spessore

2.3 ESEMPI APPLICATIVI DI BONIFICHE DI MACCHINARI

Si riportano nel seguito tre esempi di situazioni espositive che hanno richiesto l'attuazione di interventi alla fonte, e i risultati ottenuti a seguito dell'intervento.

2.3.1 - Esempio n.1: forni ad induzione

Il principio di funzionamento dei forni ad induzione si basa sull'emissione di radiazioni non-ionizzanti a media frequenza (2-20 kHz). L'induttore trasferisce l'energia dal generatore al pezzo metallico da riscaldare per mezzo di forti campi

magnetici generati dalle correnti a radiofrequenza circolanti in esso. Il riscaldamento del materiale è prodotto dalle correnti a radiofrequenza indotte, che si oppongono al campo che le ha generate

In Tabella 4 si riportano i risultati di misurazioni condotte su macchine di tipo tradizionale, progettate negli anni '70-'80 e su macchinari di nuova produzione, alcuni dei quali risultano progettati e costruiti in modo tale che le emissioni di radiazioni presso le postazioni normalmente occupate dai lavoratori siano ridotte a valori inferiori ai livelli d'azione prescritti dalla direttiva europea 2004/40/CE e dal TU titolo VIII capo IV.

Tabella 4- Valori massimi di emissione elettromagnetica misurati sul posto di comando di forni a induzione per fusione metalli preziosi, posizione operatore, fusione oro

| Modello forno | Potenza applicata | Frequenza nominale lavoro | Induzione magnetica B (μ T) | Valore azione (μ T) |
|-------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| a) Marcato CE | 30kW | 10 kHz | 20 | 30.7 |
| b) Marcato CE | 45kW | 10 kHz | 30 | 30.7 |
| d) Marcato CE | 18 kW | 20 KHz | 50 | 30.7 |
| c) Non marcato CE | 100 kW | 4 KHz | 98-120 | 30.7 |
| d) Non marcato CE | 100 kW | 4 kHz | 800-980 | 30.7 |

Le misurazioni sono state effettuate presso aziende orafe negli anni 2000-2003 con rilevatore campi magnetici Wandel & Goltermann mod. EFA-300 EM Field Analyzer 5Hz 32 KHz. Le metodiche di misura adottate sono conformi a quanto prescritto dalla vigente normativa, ed in accordo con i criteri dettati dall'ICNIRP.

Nel caso in esame si evince che i lavoratori presso i forni c) e d) sono esposti a campi magnetici superiori ai valori d'azione prescritti dalla normativa. Secondo quanto prescritto dal TU, in casi come questi, è necessaria la sostituzione del forno ad induzione tradizionale ad alta emissione CEM con un forno che produca campi dispersi di minore entità presso le postazioni di lavoro abitualmente occupate dal lavoratore. Ciò può essere realizzato o schermando opportunamente il forno esistente o acquistando un nuovo forno ad induzione. In tal caso i valori di emissione forniti dal produttore ai sensi della Direttiva Macchine consentono la scelta dei macchinari adeguati in relazione alla protezione dei lavoratori: la scelta andrà orientata verso quei macchinari che dichiarano livelli di emissione CEM inferiori ai livelli d'azione prescritti dalla normativa (direttiva europea 2004/40/CE e dal TU titolo VIII capo IV).

Si sottolinea come nel caso in esame -per i forni indicati in tabella 5 ai punti c) e d)- la semplice adozione di misure organizzative e procedurali non consente di riportare l'esposizione dei lavoratori a valori compatibili con i limiti prescritti dal TU titolo VIII capo IV, essendo impossibile impedire ai lavoratori l'accesso alle aree ove si riscontra il superamento del valore limite, date le caratteristiche del ciclo produttivo. Inoltre non sono disponibili dispositivi individuali di protezione dai CEM efficaci per tale tipologia di lavorazioni.

2.3.2 - Esempio n.2: disattivi magnetici per sistemi antitaccheggio

I sistemi elettronici antitaccheggio (Electronic Article Surveillance – EAS), al pari di altri sistemi quali i varchi magnetici per il controllo degli accessi e i *metal detector*, sono sorgenti di campi elettromagnetici molto diffuse in vari ambienti frequentati dalla popolazione, quali supermercati, grandi magazzini, negozi al dettaglio, biblioteche.

Il sistema è tipicamente costituito da tre parti: cartellini o etichette rigide, disattivi o sistemi per lo sbloccaggio dei cartellini, rilevatori che determinano una zona di controllo alle uscite.

I disattivi/riattivi e i sistemi per lo sbloccaggio dei cartellini sono utilizzati dal personale addetto alle casse, nei centri commerciali, o addetti alla consegna dei libri, nel caso delle biblioteche.

Il principio di funzionamento si basa sul fatto che i varchi magnetici, per mezzo di un campo magnetico variabile nel tempo generato da un'antenna a spira, sono in grado di rilevare il passaggio di etichette o cartellini precedentemente magnetizzati. Le frequenze utilizzate vanno da qualche decina di hertz (Hz), fino a qualche megahertz (MHz). Affinché l'etichetta sia rilevabile in qualsiasi posizione, l'intensità del campo magnetico deve essere sufficientemente alta in ogni punto della zona controllata. L'intensità dei campi prodotti si attenua rapidamente all'aumentare della distanza dalla sorgente, tuttavia in alcuni casi la vicinanza delle barriere e dei disattivi a postazioni di lavoro abitualmente occupate dai lavoratori rende opportuna una valutazione dell'esposizione degli stessi.

Tabella 5 – Risultati delle misure presso smagnetizzatori/risensibilizzatori etichette in biblioteche

| Tipologia | Postazioni di misura e condizioni di misura | Campo Magnetico (μ T) |
|-----------|---|----------------------------|
| Tipo 1 | in funzione parte alta a contatto | 140 μ T[50 Hz] |
| Tipo 1 | in funzione parte bassa a contatto | 900 μ T[50 Hz] |
| Tipo 1 | in funzione acceso a 20 cm frontale | 20 μ T[50 Hz] |
| Tipo 1 | in funzione a 1 metro frontale | 1 μ T[50 Hz] |
| Tipo 2 | in funzione a contatto | 2,50 μ T[50 Hz] |
| Tipo 2 | a 5 cm in orizzontale | 1,10 μ T[50 Hz] |
| Tipo 2 | a 50 cm in orizzontale | < 0,20 μ T[50 Hz] |

In Tabella 5 si riportano i risultati delle misure ottenute per due differenti tipologie di disattivi magnetici comunemente impiegati presso biblioteche: il tipo 2, che riportava dichiarazione di conformità alla norma EN 50364, è stato acquisito in sostituzione del tipo 1, che, come si evince dai risultati delle valutazioni riportate in Tabella 5, produceva – nelle immediate vicinanze - valori di campo magnetico a 50 Hz superiori ai livelli d'azione prescritti per i lavoratori. I valori di emissione dell'apparato 2 risultano invece inferiori ai livelli di riferimento per la popolazione di cui alla raccomandazione europea 1999/519/CE, così come richiesto dalla certificazione di conformità di prodotto EN 50364 (cfr. Tabella 1).

E' in proposito da rilevare che nel caso del campo magnetico a 50 Hz, i livelli d'azione prescritti dal TU titolo VIII capo IV –in recepimento della Direttiva europea 2004/40/CE– sono stati fissati al fine di prevenire l'induzione di correnti potenzialmente nocive per effetti sulle funzioni del sistema nervoso e cardiocircolatorio: persone portatrici di stimolatori cardiaci, impianti ferromagnetici e dispositivi medici impiantati non sono protetti dai succitati limiti.

La maggior parte degli stimolatori cardiaci presenta disturbi e malfunzionamenti per campi magnetici ELF superiori a 100 μ Tesla. Tale valore si rileva a partire da 10 cm di distanza dal disattivatore del tipo 1, che normalmente è installato su bancone della biblioteca in luogo aperto al pubblico.

Vi sono inoltre anche altri sistemi elettronici vitali di uso crescente, come protesi auricolari elettroniche, pompe per insulina, protesi attive etc. che possono risultare suscettibili ad induzioni magnetiche a 50 Hz dell'ordine dei 100 μ Tesla .

Pertanto in applicazione del TU titolo IV capo I si rende necessario, laddove siano presenti tali dispositivi, sostituire i sistemi ad elevata emissione di campo magnetico (tipo 1 in Tabella 5) con dispositivi a ridotta emissione conformi alla norma EN 50364 (tipo 2 in Tabella 5)

In attesa della sostituzione del macchinario, è comunque in genere possibile mettere in atto misure procedurali idonee alla prevenzione del rischio, al fine di prevenire il superamento dei valori d'azione per gli addetti ed impedire l'accesso alle aree a rischio a soggetti con controindicazioni all'esposizione. A tal fine è necessario adottare le seguenti misure di tutela:

- ✓ Interdire l'accesso in prossimità dello smagnetizzatore a portatori di pace-maker e soggetti con dispositivi elettronici impiantati. A tale scopo dovrà essere affissa idonea segnaletica in prossimità o a diretto contatto dello smagnetizzatore.
- ✓ Le postazioni di lavoro degli addetti dovranno essere collocate in posizioni laterali rispetto all'asse dello smagnetizzatore e ad almeno 2 m dallo stesso.
- ✓ Il personale addetto dovrà essere formato sul rischio ad esposizione a campi magnetici e sulle idonee procedure di lavoro da adottare ai fini della limitazione dell'esposizione.
- ✓ Le aree aperte al pubblico dovranno essere distanti almeno 2 m da tale apparato
- ✓ Valutazione da parte del medico competente dell'idoneità lavorativa degli addetti, con esclusione dei soggetti con controindicazioni assolute e relative all'esposizione a campi magnetici ELF.

2.3.3 - Esempio 3: macchinari a perdite dielettriche per la curvatura del legno

Il macchinario si basa sul riscaldamento a perdite dielettriche ed è costituito essenzialmente da un generatore e da un applicatore. L'energia è dal generatore all'applicatore mediante un collegamento elettrico realizzato solitamente da due strisce metalliche.

L'applicatore è costituito da due superfici metalliche affacciate, di varia forma e dimensione, al cui interno è sistemato l'oggetto da riscaldare. Esse formano un condensatore che accoppia l'energia ad alta frequenza all'oggetto da riscaldare. Le potenze di alimentazione sono comprese tra 10 kW e 50 kW, a seconda delle esigenze produttive e le frequenze del campo elettrico utilizzato sono comprese tra 3 e 14 MHz. Nel seguito si riportano i risultati di un importante intervento condotto su

170 applicatori a radiofrequenze impiegati per la incollatura/curvatura del legno massello e multistrato presso 18 aziende nella Regione Friuli Venezia Giulia (T.Poian et. al).

I valori di campo elettrico riscontrati in prossimità delle postazioni abitualmente occupate dagli addetti a tali macchinari risultavano compresi tra 400 V/m e 1000 V/m (valori azione: 61 V/m).

Dallo studio è emerso che per le apparecchiature oggetto della valutazione è possibile ottenere risultati efficaci in termini di riduzione del rischio, con il contenimento dell'esposizione in postazione operatore a valori pari a circa il 30%-50% del valore d'azione prescritto dalla vigente normativa, mediante i seguenti interventi:

- ✓ Installazione di schermature in rame o acciaio inox con passo di maglia 3-5 mm e con maglia di dimensioni 20 x 30 mm (rettangolare) o 25 x 50 mm (rombooidale).
- ✓ Disposizione di una piastra metallica (es. alluminio) tra apparecchiatura e suolo e collegamento dell'apparecchiatura alla piastra mediante conduttori di piatti e larghi di circa 40 cm di lunghezza (es.: nastri di alluminio di larghezza 20 cm e spessore 2-3 mm)

Tali interventi oltre ad essere risultati efficaci, presentano anche limitati costi di progettazione e realizzazione.

Ulteriori approfondimenti sono riportati in bibliografia (T.Poian et. al).



Figura 3: Uso di indumenti di protezione con copricapo anti-RF e monitor RF portatile nelle lavorazioni su traliccio in prossimità di ripetitori di elevata potenza

3 - MISURE DI TUTELA ORGANIZZATIVE E PROCEDURALI

Nelle attività lavorative ove siano presenti macchinari o impianti emettitori di campi elettromagnetici potenzialmente nocivi, quali quelli indicati in Tabella 2, è in

genere sempre possibile individuare un insieme di misure di tutela di tipo organizzativo e procedurale, che se messe in atto, consentono di:

- a) prevenire l'esposizione di individui con controindicazioni assolute o relative all'esposizione;
- b) ridurre al minimo l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici irradiati da tali apparati.

Tra queste le principali, comuni alla maggior parte delle situazioni espositive, sono:

3.1 INSTALLAZIONE E LAY OUT

E' necessario che gli apparati emettitori di CEM siano installati in aree di lavoro adibite ad uso esclusivo degli stessi ed ad idonea distanza dalle altre aree di lavoro ove il personale stazioni per periodi prolungati. Inoltre, per prevenire effetti indiretti, problemi interferenziali e per evitare esposizioni indebite, è di fondamentale importanza evitare che in prossimità delle sorgenti di campo EM vengano posizionati, se non previa idonea valutazione tecnica, oggetti metallici di qualsiasi tipo ed apparecchiature elettriche.

In generale la distanza di rispetto tra l'area di installazione dell'apparato – che definiremo area ad accesso controllato in relazione al rischio di esposizione a CEM– e le altre aree di lavoro, ad accesso libero, dipende dalle caratteristiche tecnologiche dell'apparecchiatura, e dovrà essere valutata da colui che effettua la valutazione del rischio.

In applicazione del principio di ottimizzazione sarà opportuno mirare, laddove possibile, al conseguimento di esposizioni a campi elettromagnetici presso le aree adibite a permanenza protratta del personale non esposto, a valori inferiori ai limiti massimi fissati dalla vigente normativa per esposizione della popolazione a campi elettromagnetici.

3.2 DELIMITAZIONE DELLE AREE

Le aree di lavoro ove i valori di esposizione possono risultare superiori ai livelli di riferimento per la popolazione di cui alla raccomandazione europea 1999/519/CE, dovranno essere delimitate con cartelli di segnalazione di presenza di campi elettromagnetici, conformi alle normative vigenti in materia di segnaletica di sicurezza (Figura 1). L'accesso a tali aree sarà consentito solo a personale autorizzato, previa valutazione dell'assenza di controindicazioni fisiche all'esposizione, indicate sinteticamente alla Tabella 6 di pagina seguente.

L'accesso al personale non autorizzato dovrà essere interdetto possibilmente mediante barriere fisiche.

3.3 FORMAZIONE ED ADDESTRAMENTO DEL PERSONALE

Ai fini della prevenzione dei rischi per la salute dei soggetti esposti, è fondamentale che il personale sia formato sulle corrette norme comportamentali da adottare nelle operazioni in prossimità del macchinario sorgente di CEM e soprattutto sulla necessità di limitare la permanenza nelle aree con esposizioni a campi

elettromagnetici di interesse protezionistico (zone controllate), al tempo strettamente funzionale ad attività ed operazioni di controllo del macchinario/impianto sorgente di CEM.

Inoltre, ai fini della prevenzione degli effetti indiretti dell'esposizione il personale dovrà essere formato in particolare sui seguenti elementi:

- ✓ Condizioni di controindicazione all'esposizione ai campi elettromagnetici emessi dal macchinario (Tabella 6)
- ✓ Corrette modalità comportamentali da adottare in prossimità del macchinario, che in genere comprendono il divieto di introdurre oggetti metallici di qualsiasi tipo ed apparecchiature elettriche all'interno dell'area, se non espressamente autorizzate dal responsabile della sicurezza

Tabella 6 - soggetti con controindicazione all'esposizione a campi elettromagnetici superiori ai limiti ICNIRP per la popolazione (elenco a titolo indicativo)

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">✓ Portatori di pace-makers o altre protesi e dispositivi dotati di circuiti elettronici✓ Portatori di clips vascolari, dispositivi e protesi endovascolari o schegge metalliche (ferromagnetiche nel caso di campo statico, schegge metalliche in generale nel caso di esposizione a RF e microonde)✓ Portatori di protesi interne✓ Donne in gravidanza✓ Infarto recente del miocardio✓ Portatrici di dispositivi intrauterini✓ Soggetti operati di cataratta (solo per campo magnetico statico) |
|--|

Qualora il macchinario non possa essere schermato, le aree ove si possano riscontrare valori superiori ai livelli d'azione per i lavoratori andranno opportunamente segnalate e delimitate.

Nei casi in cui l'accesso alle aree con rischio di superamento del valore limite per i lavoratori non possa essere impedito fisicamente, come ad esempio nel caso di lavorazioni su tralicci (vedi Figura 1), o su linee elettriche aeree di alta tensione, è necessario dotare i lavoratori di:

- ✓ Monitor portatile di CEM con dispositivo d'allarme atto a segnalare tempestivamente il superamento dei valori d'azione di campo elettrico e magnetico fissati dalla normativa
- ✓ Indumenti di protezione RF specifici per le frequenze di interesse. Questi in generale consistono di abiti e tute anti-RF, caschi di protezione anti-RF, guanti e calze anti RF. Tali indumenti protettivi (Figura 3) sono in genere composti degli stessi tessuti sintetici normalmente impiegati per indumenti ignifughi (es. Nomex) ed acciaio inossidabile in percentuale del 20%-30%. Tali indumenti forniscono un'attenuazione alle radiofrequenze emesse dagli apparati di telecomunicazioni (100 MHz -10 GHz) dell'ordine di 1/10 – 1/100.

4 - PARTE II - RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI: RADIAZIONE INFRAROSSA

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.

La Direttiva è stata recepita in Italia al titolo VIII capo V del Testo Unico (D.Lgs.81/08). Il presente lavoro riporta una rassegna dell'esposizione a radiazione infrarossa riscontrata nelle attività di fusione del vetro e dei metalli, ove, nonostante la presenza di elevati livelli di esposizione a radiazione IR, si assiste ancora ad una carenza nelle principali misure di tutela per i lavoratori.

5 - METODICHE DI MISURA E VALUTAZIONE

Le misure sono state condotte durante le abituali fasi lavorative in prossimità delle sorgenti di infrarossi, costituite dai forni di fusione del vetro e dei metalli. Le

condizioni di misura e le caratteristiche dei forni sono riportate in dettaglio in Tabella 7 (a-fonderie; b-vetriere; c-metalli preziosi).

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 in letteratura (Pinto et al).

6 - 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) recepita dal TU Titolo VIII capo V fissa i seguenti limiti di esposizione ad I.R. [EIR][770 nm-3000 nm]:

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

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 (catarrattogenesi) la radiazione infrarossa ($\lambda > 770 \text{ nm}$) dovrebbe essere limitata a 10 mW/cm^2 .

7 - RISULTATI

In Tabella 7 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 a livello dell'occhio degli operatori esposti

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 superano il livello limite di $100 W/m^2$ prescritto dalla Direttiva Europea.

Tabella 7.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 7.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 2 | 1285 | 500-540 | IR - B |
| Piazzista | piazza | 1000-1100 | 20-40 | IR - B |

Tabella 7.c - Sintesi dei risultati delle valutazioni: Fusione metalli preziosi

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

- 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 risultata comunque superiore ai valori limite fissati dalla Direttiva Europea, come si evince dai dati di Tabella 7.

8 - RIDUZIONE DEL RISCHIO

Dalla rassegna dei risultati ottenuti nel corso di valutazioni effettuate presso attività di fusione di vetro e metalli si evince 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.
4. E' necessario, al fine di prevenire il rischio di danno oculare, 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. I 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.
5. Le bocche dei forni dovrebbero essere schermate con schermi di protezione specifici per la radiazione infrarossa.
6. I lavoratori devono 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.
7. I manuali di istruzione di detti forni, ai sensi della direttiva macchine, dovrebbero presentare una sezione specifica inerente il rischio da radiazioni

infrarosse emesse dal crogiuolo e le misure di tutela da adottare nelle lavorazioni in prossimità dello stesso.

9 - BIBLIOGRAFIA

9.1 - PARTE I

1. ICNIRP (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection) (1998). "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)". Health Physics, Vol. 74, N. 4.
2. ICNIRP (1994). Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics; 66: 100-106.
3. ICNIRP (1996). "Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters". Health Physics; 70: 587- 593.
4. D.P.R. 8 Agosto 1994 n.542; G.U. n.219 del 19/9/94.
5. Legge 22 febbraio 2001 n.36: Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici, ed elettromagnetici. G.U. n.55 del 7/3/2001.
6. Direttiva 2004/40/CE del 29 aprile 2004 sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)
7. Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione a campi magnetici con frequenza da 0 Hz a 300 GHz G.U. Comunità Europee 30 luglio 1999 L 199/62
8. Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n. 81 Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro (GU n. 101 del 30-4-2008 suppl. ord. 108/L)
9. UNI EN 12198-1 Valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario. Principi generali (2002)
10. UNI EN 12198-2 Valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario. Procedure di misurazione dell'emissione di radiazione (2004)
11. UNI EN 12198-3 Valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario. Riduzione della radiazione per attenuazione o schermatura (2004)
12. ACGIH (American Conference of Government Industrial Hygienist) (1999). "Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices". Cincinnati OHIO.
13. CNR-IROE (Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche). Protezione dai campi elettromagnetici non ionizzanti. Terza Edizione - Firenze 2001.
14. WHO (World Health Organization). Environmental Health Criteria 137. Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz). World Health Organization, Geneva, 1993.
15. WHO (World Health Organization). Environmental Health Criteria 69. Magnetic Fields. World Health Organization, Geneva, 1987.

16. WHO (World Health Organization). Environmental Health Criteria 35. Extremely Low Frequency (ELF) Fields. World Health Organization, Geneva, 1984.
17. Mantiply E.D., Pohl K.R., Poppell S.W., Murphy J.A.: Summary of measured radiofrequency electric and magnetic fields (10 kHz to 30 GHz) in the general and work environment. *Bioelectromagnetics* 18:563-577; 1997.
18. T.Poian, C.Zuliani, C.Beltrame; M.Martinig, R.Mondini, S.Paroi, G.Passon, P.Ciliberto, I.Pinto, N.Stacchini. Curvatura del legno con macchine a radiofrequenze: Valutazione del rischio e misure di tutela Atti dBA Modena 2006 pag. 935-942
19. I.Pinto, N.Stacchini, D.Cavarra, A.Cappello Valutazione del rischio da esposizione a campi magnetici in prossimità di sistemi antitaccheggio atti 26° Congresso Nazionale AIDII Siena giugno 2008
20. R.Strickland *Above Ground Level (AGL)* magazine, April 2006; Vol. 3, No. 2 RF Hazard Protection Equipment
21. R.Falsaperla Campi elettromagnetici negli ambienti di lavoro: sorgenti e livelli tipici di esposizione Atti dBA Modena 2006 vol. 3 pag. 97-104
22. D.Andreuccetti La valutazione dei campi elettromagnetici negli ambienti di lavoro alla luce della Direttiva 2004/40/CE Atti dBA Modena 2006 vol. 3 pag. 68-81

9.2 – PARTE 2

23. Lydahl E., Philipson B., Infrared radiation and cataract.I. Epidemiologic investigation of iron and steel workers. *Acta Ophthalmologica* 62: 961-975 (1984a).
24. Lydahl E., Philipson B., Infrared radiation and cataract.II. Epidemiologic investigation of glass workers. *Acta Ophthalmologica* 62: 976-992 (1984b)
25. 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).
26. 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)
27. 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).
28. 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)
29. ACGIH (1996) Threshold limit values and biological exposures index.
30. 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)
31. 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
32. Sisto R., Pinto I., Stacchini N., Giuliani F. Infrared Radiation Exposure in Traditional Glass Factories *AIHAJ*(61), Febbraio 2000: 5-10

33. 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 27/04/2