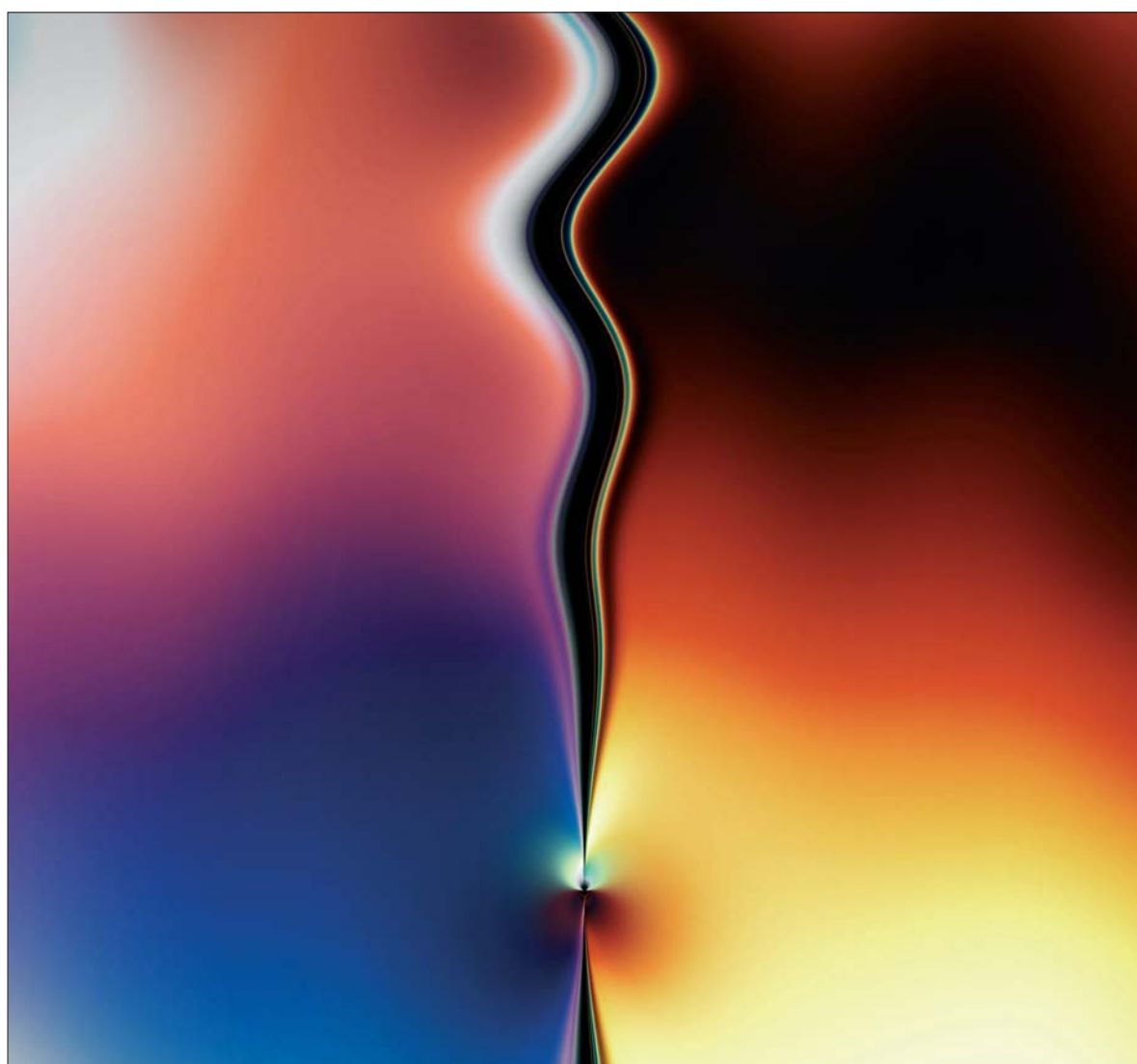




## Prevenzione dei rischi da sorgenti di radiazioni non ionizzanti impiegate in ambito sanitario







**RegioneLombardia**

*Sanità*

**Prevenzione dei rischi  
da sorgenti di radiazioni non ionizzanti  
impiegate in ambito sanitario**



#### Comitato scientifico di redazione

La redazione delle presenti linee guida è stata curata dal Gruppo di lavoro regionale di esperti in materia di radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, costituito con Decreto del Direttore Generale della Sanità n. 7893 del 15/5/2003, e in particolare da:

*Anna Anversa* (Unità Organizzativa Prevenzione, DG Sanità, Regione Lombardia);  
*Faustino Boioli* (Direttore Unità Operativa di Diagnostica per immagini, AO Fatebenefratelli di Milano);  
*Riccardo Di Liberto* (Struttura Complessa di Fisica sanitaria, IRCCS Policlinico S. Matteo di Pavia);  
*Luigi Macchi* (Dirigente Unità Organizzativa Prevenzione, DG Sanità, Regione Lombardia);  
*Federico Merisi* (Dipartimento di Prevenzione Medico, ASL di Bergamo);  
*Silvano Orsini* (Unità Operativa di Fisica sanitaria, AO Istituti Clinici di Perfezionamento di Milano);  
*Luigi Spiazzi* (Unità Operativa di Fisica sanitaria, AO Spedali Civili di Brescia);  
*Crescenzo Tiso* (Direttore Servizio Prevenzione e sicurezza negli ambienti di lavoro, Dipartimento di Prevenzione Medico, ASL di Varese)

#### Si ringraziano per la preziosa collaborazione

*Piergiacomo Calzavara-Pinton*, Dirigente Unità Operativa Dermatologia e Centro di Fotobiologia e Fototerapia – Azienda Ospedaliera Spedali Civili di Brescia  
*Rita Pagani*, Dirigente Struttura Complessa Medicina Riabilitativa I e Servizio Recupero Rieducazione Funzionale, Centro Traumatologico Ortopedico, Azienda Ospedaliera Istituti Clinici di Perfezionamento di Milano  
*l'Assessorato alla Sanità della Regione Piemonte*, che ha cortesemente autorizzato l'utilizzo di immagini tratte da "NIR in medicina 2001".

## PRESENTAZIONE

L'esteso impiego di sorgenti di radiazioni non ionizzanti (NIR) per scopi sanitari determina la necessità di approfondirne gli aspetti della sicurezza e della protezione, sia per gli operatori sanitari che utilizzano direttamente macchine o dispositivi che contengono sorgenti di NIR, che per le persone che vi si sottopongono a scopo di diagnosi o terapia.

Si tratta di rischi generalmente meno conosciuti rispetto a quelli tradizionalmente affrontati in campo sanitario, e per i quali spesso non sono disponibili specifici riferimenti normativi o comunque vi è la mancanza di strumenti legislativi organici; nel contempo l'impiego di sorgenti di NIR interessa tutti gli ospedali, nonché centri ambulatoriali pubblici e privati che svolgono attività di medicina fisica e riabilitazione e di odontoiatria. Inoltre sono in continua espansione nuove applicazioni a scopi sanitari delle NIR: si pensi ad esempio al ricorso sempre più frequente ai laser in molti campi della medicina.

La Unità Organizzativa Prevenzione della Direzione Generale Sanità ha affrontato anche queste problematiche nel quadro più generale della protezione nei confronti dei principali fattori di rischio presenti nelle attività sanitarie, tra le iniziative per la realizzazione del "Progetto Obiettivo Prevenzione e sicurezza nei luoghi di lavoro in Lombardia" e in particolare del Progetto speciale "La prevenzione del rischio nel Comparto Sanità".

Per migliorare la conoscenza e l'approfondimento delle tematiche connesse all'esposizione a NIR la Unità Organizzativa Prevenzione, con il supporto tecnico-scientifico del Gruppo di lavoro regionale di esperti in materia di radiazioni ionizzanti e non ionizzanti (costituito con Decreto del Direttore Generale della Sanità n. 7893 del 15/5/2003), ha impostato e realizzato diverse iniziative, l'ultima delle quali consiste nella predisposizione e diffusione delle presenti linee guida, anche in attuazione di quanto previsto in proposito dal Piano Socio-Sanitario della Regione Lombardia.

Queste linee guida, che trattano in particolare della prevenzione dei rischi in ambito sanitario connessi all'impiego di radiofrequenze e microonde in terapia fisica, di UV e di laser, sono destinate alle strutture sanitarie sia ospedaliere che ambulatoriali, e in particolare ai Direttori Generali/Legali rappresentanti, ai Direttori Sanitari, ai Servizi Prevenzione e Protezione e più in generale alle strutture che si occupano di sicurezza, nonché ai lavoratori addetti all'utilizzo di tali sorgenti; possono inoltre rappresentare un utile strumento informativo per il personale delle Aziende Sanitarie Locali addetto alla vigilanza in materia.

Si auspica che l'applicazione delle presenti linee guida possa contribuire a un miglioramento nella sicurezza e nella tutela della salute sia degli operatori che delle persone sottoposte a trattamenti con sorgenti di NIR; a distanza di tempo si procederà a una verifica dell'applicazione delle linee guida e dei risultati conseguiti, anche in vista di una eventuale regolamentazione della materia.

L'Assessore alla Sanità  
della Regione Lombardia  
*Carlo Borsani*

*Milano, febbraio 2005*



# INDICE

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| <b>Capitolo 1</b>   |  |           |
| <b>Introduzione</b>   |  | <b>7</b>  |
| <b>Capitolo 2</b>   |  |           |
| <b>Prevenzione dei rischi da esposizione a campi elettromagnetici impiegati per terapia fisica</b>  |  | <b>11</b> |
| 2.1   | Premessa   | 11        |
| 2.2   | Identificazione delle sorgenti di rischio e descrizione delle attività connesse al loro utilizzo | 11        |
| 2.3   | Individuazione dei soggetti esposti  | 14        |
| 2.4   | Individuazione dei rischi  | 14        |
| 2.5   | Prevenzione e protezione   | 16        |
| 2.6   | Riferimenti normativi  | 18        |
| 2.7   | Tavola sinottica delle procedure per la sicurezza  | 20        |
| 2.8   | Glossario  | 21        |
| 2.9   | Bibliografia   | 23        |
|   | Appendice  | 24        |
| <b>Capitolo 3</b>   |  |           |
| <b>Prevenzione dei rischi da esposizione a sorgenti artificiali di radiazione ultravioletta</b>   |  | <b>27</b> |
| 3.1   | Premessa   | 27        |
| 3.2   | Identificazione delle sorgenti di rischio e descrizione delle attività connesse al loro utilizzo | 27        |
| 3.3   | Individuazione dei soggetti esposti  | 29        |
| 3.4   | Individuazione dei rischi  | 29        |
| 3.5   | Prevenzione e protezione   | 32        |
| 3.6   | Riferimenti normativi  | 35        |
| 3.7   | Tavola sinottica delle procedure per la sicurezza  | 35        |
| 3.8   | Glossario  | 37        |
| 3.9   | Bibliografia   | 38        |
| <b>Capitolo 4</b>   |  |           |
| <b>Prevenzione dei rischi da esposizione a laser</b>  |  | <b>39</b> |
| 4.1   | Premessa   | 39        |
| 4.2   | Identificazione delle sorgenti di rischio e descrizione delle attività connesse al loro utilizzo | 39        |
| 4.3   | Individuazione dei soggetti esposti  | 40        |
| 4.4   | Individuazione dei rischi nell'utilizzo del laser  | 40        |
| 4.5   | Prevenzione e protezione   | 43        |
| 4.6   | Riferimenti normativi  | 47        |
| 4.7   | Tavola sinottica delle procedure per la sicurezza  | 48        |
| 4.8   | Glossario  | 50        |
| 4.9   | Bibliografia   | 51        |
| <b>Capitolo 5</b>   |  |           |
| <b>Sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a sorgenti di radiazioni non ionizzanti</b>  |  | <b>53</b> |
| <b>Capitolo 6</b>   |  |           |
| <b>Scheda operativa per l'impostazione di un programma per la gestione della sicurezza nell'impiego di sorgenti di radiazioni non ionizzanti (ELF-RF-MO/UV/Laser) in ambito sanitario</b> |  | <b>55</b> |
| <b>Appendice</b>  |  |           |
| <b>Le radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti</b>   |  | <b>57</b> |





## 1. INTRODUZIONE

Nell'ambito dell'attuazione delle iniziative per la realizzazione del "Progetto Obiettivo Prevenzione e sicurezza nei luoghi di lavoro in Lombardia" e in particolare del Progetto speciale "La prevenzione del rischio nel Comparto Sanità", la Unità Organizzativa Prevenzione della Direzione Generale Sanità ha affrontato il tema della protezione nei confronti dei principali fattori di rischio presenti nelle attività sanitarie.

In questo quadro, si è rivolta l'attenzione anche all'esteso impiego di sorgenti di radiazioni non ionizzanti (NIR) per scopi sanitari e si è ritenuto necessario approfondirne gli aspetti della sicurezza e della protezione, sia per gli operatori sanitari che utilizzano direttamente macchine o dispositivi che contengono sorgenti di NIR, che per le persone che vi si sottopongono a scopo di diagnosi o terapia.

L'impiego di sorgenti di NIR interessa tutti gli ospedali, nonché centri ambulatoriali pubblici e privati che svolgono attività di medicina fisica e riabilitazione e di odontoiatria. Inoltre sono in continua espansione nuove applicazioni delle NIR a scopi sanitari: si pensi ad esempio al ricorso sempre più frequente ai laser in molti campi della medicina e alla diagnostica tramite risonanza magnetica, che si affianca alle tradizionali terapie che utilizzano sorgenti di radiofrequenze (RF) e radiazioni ultraviolette (UV).

Si tratta di rischi generalmente meno conosciuti rispetto a quelli tradizionalmente affrontati in campo sanitario, e per i quali spesso non sono disponibili specifici riferimenti normativi o comunque vi è la mancanza di strumenti legislativi organici. Occorre in questa materia, tranne che nel caso della risonanza magnetica per la quale esiste specifica normativa nazionale, fare riferimento a norme più generali, quali la Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettromagnetici n. 36 del 14/2/2001 e il D.Lgs. 626/94 e s.m.i., e poi alle norme sulla compatibilità elettromagnetica, alle norme tecniche CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) e CEI EN e alle raccomandazioni e linee guida internazionali fornite dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) e dall'ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection), il più autorevole organismo scientifico che si occupa della materia.

Per quanto riguarda l'Unione Europea è stata emanata una raccomandazione nel 1999 relativa alla limitazione della esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz ed è stata recentemente pubblicata la direttiva 2004/40/CE del 29 aprile 2004 che contiene le "prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)" nello stesso intervallo di frequenze.

Per migliorare la conoscenza e l'approfondimento delle tematiche connesse all'esposizione a NIR la Unità Organizzativa Prevenzione ha impostato e realizzato nell'ultimo periodo alcune iniziative, avvalendosi del supporto tecnico-scientifico del gruppo di lavoro regionale di esperti in materia di radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, costituito con Decreto del Direttore Generale della Sanità n. 7893 del 15/5/2003.

Innanzitutto è stato predisposto un documento sulla prevenzione dei rischi da esposizione a sorgenti di radiazioni UV in ambito estetico, inviato alle Aziende Sanitarie Locali (ASL) nell'agosto del 2003.

Inoltre è stato promosso e realizzato, in collaborazione con l'Istituto di Ricerche Educative e Formative (IREF), un corso rivolto al personale del Servizio Sanitario Regionale (SSR) che fornisce un quadro generale aggiornato delle problematiche connesse ai rischi da esposizione a NIR in ambito sanitario nonché alcuni strumenti per affrontarli, utilizzabili sia da parte di chi



esercita le attività diagnostiche e/o terapeutiche sia da parte di chi svolge in proposito attività di vigilanza e controllo.

Il corso si è svolto in quattro edizioni tra novembre e dicembre 2003 e ha visto la partecipazione di una sessantina di operatori tra medici e tecnici dei Dipartimenti di Prevenzione delle ASL e direttori sanitari e responsabili dei Servizi “Prevenzione e Protezione” delle strutture ospedaliere. Tra l’altro per le ASL la materia riveste interesse non solo dal punto di vista della vigilanza, ma anche dal punto di vista dell’accreditamento delle strutture sanitarie.

Obiettivo principale del corso è stato fornire ai partecipanti il quadro aggiornato delle conoscenze sui rischi e le misure di protezione per l’impiego in sicurezza delle sorgenti di NIR in ambito sanitario, con particolare riguardo a radiofrequenze e microonde, UV, laser e risonanza magnetica. Inoltre nell’ambito del corso vi sono stati momenti di attività collettiva finalizzati alla elaborazione di protocolli di sorveglianza e vigilanza in materia.

Infine l’altra iniziativa regionale realizzata consiste nella predisposizione e diffusione del presente documento, anche in attuazione di quanto previsto in proposito dal Piano Socio-Sanitario Regionale 2002-2004; la finalità è quella di rendere disponibili, per le strutture sanitarie, linee guida contenenti indicazioni e procedure che concorrano a garantire l’impiego in sicurezza delle sorgenti di NIR, eliminando o minimizzando i rischi da esposizione sia per gli operatori che per le persone sottoposte a diagnosi e/o terapia.

Le presenti linee guida trattano della prevenzione, in ambito sanitario, dei rischi connessi all’impiego di radiofrequenze e microonde in terapia fisica, di UV e di laser; non vengono considerate altre sorgenti di radiazioni non ionizzanti (apparecchiature a risonanza magnetica, elettrobisturi ecc.) che potranno essere oggetto di successivi documenti.

Ciascuno degli argomenti sopra citati viene trattato secondo lo schema seguente:

1. Introduzione
2. Identificazione delle sorgenti di rischio e descrizione delle attività connesse al loro utilizzo
3. Individuazione dei soggetti esposti (lavoratori/utenti/pubblico)
4. Individuazione dei rischi
5. Prevenzione e protezione (formazione degli operatori, valutazione dei livelli di esposizione, verifiche strumentali sulle prestazioni di funzionamento delle apparecchiature/sistemi, uso dei Dispositivi di Protezione Individuale – DPI)
6. Riferimenti normativi (norme cogenti e tecniche)
7. Tavole sinottiche delle procedure per la sicurezza
8. Glossario
9. Bibliografia

Segue un capitolo nel quale vengono affrontati gli aspetti relativi alla sorveglianza sanitaria dei lavoratori addetti; infine viene fornita una scheda operativa utile per l’impostazione di adeguati programmi per la gestione della sicurezza nell’impiego di sorgenti di radiazioni non ionizzanti in ambito sanitario ed una appendice che richiama gli aspetti generali delle radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti.

Si sottolinea che la prevenzione dei rischi in questo campo non si può limitare a considerare quelli che possono essere indotti direttamente dai campi elettromagnetici (insorgenza di effetti termici e/o non termici sull’organismo dipendentemente da lunghezza d’onda e intensità di esposizione), ma deve anche valutare quelli indiretti connessi all’impiego delle sorgenti di NIR, che hanno spesso una rilevanza notevole: ci si riferisce ad esempio a interferenze con attrezzature e dispositivi

medici elettronici, e a incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille dovute a campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche e da laser.

Le presenti linee guida sono destinate alle strutture sanitarie sia ospedaliere che ambulatoriali, e in particolare ai Direttori Generali/Legali rappresentanti, ai Direttori Sanitari, ai Servizi Prevenzione e Protezione e più in generale alle strutture che si occupano di sicurezza, nonché ai lavoratori addetti all'utilizzo di tali sorgenti; possono inoltre rappresentare un utile strumento informativo per il personale delle ASL addetto alla vigilanza in materia.

Si auspica che dall'applicazione delle presenti linee guida possa derivare un miglioramento nella sicurezza e nella tutela della salute sia degli operatori che delle persone sottoposte a trattamenti con sorgenti di NIR; a distanza di tempo si procederà a una verifica dell'applicazione delle linee guida e dei risultati conseguiti, anche in vista di una eventuale regolamentazione della materia.

---

*Nota bene: ogniqualvolta si utilizzino in questo testo termini quali "lavoratori" oppure "operatore sanitario" ci si riferisce sia ai lavoratori che alle lavoratrici, sia all'operatore sanitario che all'operatrice sanitaria; è unicamente per facilità di lettura che si ricorre a una semplificazione e si usano i termini declinati solo al maschile, che vanno pertanto intesi in senso collettivo.*

*Ugualmente si precisa che viene impiegato il termine "utenti", sempre in senso collettivo, per indicare le persone che si sottopongono per scopi medici a trattamenti che comportino esposizione a NIR; si ritiene opportuno infatti evitare il ricorso all'ormai superato termine "pazienti".*



## 2. PREVENZIONE DEI RISCHI DA ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIEGATI PER TERAPIA FISICA

### 2.1 Premessa

L'impiego di campi elettromagnetici per terapia fisica risale a parecchie decine di anni fa con un aumento costante del numero di apparecchiature installate e utilizzate in campo sanitario. Progressivamente si è passati da terapia a onde radio (marconiterapia) a terapia con microonde (radarterapia e ipertermia a varie frequenze) che consente una migliore localizzazione dell'energia utilizzata per il riscaldamento dei tessuti. Negli ultimi 20 anni a queste due tradizionali terapie fisiche si è associata anche la terapia a bassa frequenza (magnetoterapia), la quale è basata non sul riscaldamento dei tessuti ma su specifiche stimolazioni di carattere biologico.

Le stime più recenti a livello regionale indicano che in Lombardia nel 2002 erano presenti oltre 300 strutture che hanno erogato circa 1.600.000 prestazioni di magnetoterapia, diatermia a onde corte e microonde e ipertermia, con impiego di 800-1200 apparecchiature e con 1000-1500 lavoratori esposti.

Nonostante i protocolli di trattamento dei utenti siano ormai standardizzati e correttamente utilizzati, l'esame della letteratura riguardante i livelli di esposizione attorno alle apparecchiature citate rivela però alcuni dati preoccupanti; in particolare:

- in molti casi anche le apparecchiature a tutt'oggi utilizzate hanno una vita media superiore a dieci anni
- non esiste alcun protocollo specifico per il loro utilizzo in sicurezza e spesso ciascun ente, e a volte ciascun reparto, utilizza propri protocolli o addirittura non utilizza alcun protocollo
- non vi sono protocolli riconosciuti da associazioni tecnico-scientifiche per la verifica delle prestazioni delle apparecchiature.

Inoltre, anche a causa della parziale attuazione della normativa nazionale, occorre considerare che i lavoratori addetti alle apparecchiature per terapia fisica con impiego di campi elettromagnetici risultano fra quelli maggiormente esposti a livelli che possono superare i limiti previsti dalle normative o raccomandazioni internazionali. Infine, nel caso in cui non vi sia una corretta dislocazione dei box di trattamento, è possibile che la popolazione che ha accesso ai reparti per altre terapie, o semplicemente per prenotazioni e/o ritiro esami, sia esposta a livelli di campi elettromagnetici non trascurabili e, a volte, perfino superiori a quelli previsti dalle normative o raccomandazioni internazionali.

### 2.2 Identificazione delle sorgenti di rischio e descrizione delle attività connesse al loro utilizzo

Le applicazioni dei campi elettromagnetici per terapia fisica si possono distinguere in:

- magnetoterapia
- marconiterapia
- radarterapia
- ipertermia.

Le prime tre sono impiegate esclusivamente per la loro specifica azione sulla varie patologie per le quali è indicato il trattamento, mentre la quarta è impiegata anche in campo oncologico in associazione con la chemioterapia e la radioterapia.

#### 2.2.1 Magnetoterapia

La magnetoterapia utilizza campi magnetici a bassa frequenza, in genere da 1 a 100 hertz (Hz), variamente modulati. Nel trattamento "total body" l'utente viene posizionato all'interno di bobine (fino a tre per lettino) oppure quasi a contatto con una serie di bobine inserite nel lettino per il trattamento. Nel trattamento "localizzato" sono impiegate bobine di varie forme e dimensioni che vengono posizionate in corrispondenza dei punti da trattare. All'interno delle bobine



l'induzione magnetica (proporzionale al campo magnetico) varia in funzione del tipo di applicazione e può raggiungere valori fino a 5 millitesla (mT) corrispondenti a 50 gauss (G). Attorno alle bobine l'induzione magnetica decresce rapidamente allontanandosi dalla sorgente (approssimativamente il campo magnetico è funzione dell'inverso del cubo della distanza), sebbene in prossimità delle bobine e nelle posizioni delle consolle di comando i valori misurati possano raggiungere anche qualche decina di microtesla ( $\mu\text{T}$ ).

### 2.2.2 Marconiterapia

La marconiterapia utilizza campi elettromagnetici alle frequenze di 27,12 megahertz (MHz) e, più raramente, di 40,68 MHz (frequenza ISM, cioè consentita per applicazioni industriali, scientifiche e mediche – World Administrative Radio Conference, Ginevra 1979). L'apparecchiatura consiste di un generatore (trasmettitore) e di vari applicatori (antenne) in funzione delle patologie da trattare con una potenza erogata che può arrivare fino a 500 watt (W).

Gli applicatori si possono distinguere in capacitivi, che sono formati da una coppia di elettrodi (condensatore), e induttivi, che sono formati da una o più bobine (monode, diplode, a *pancake*). Il campo elettrico a pochi centimetri dagli applicatori può raggiungere valori di 1000 volt/metro (V/m) e il campo magnetico da 0,5 a 3 ampere/metro (A/m) in funzione della potenza di trattamento e del tipo di applicatore scelti. Il campo elettrico diminuisce abbastanza rapidamente allontanandosi dagli applicatori (approssimativamente con l'inverso della distanza o con il quadrato dell'inverso della distanza). Tuttavia si possono misurare valori di campo elettrico non trascurabili (fino a decine di V/m) a qualche metro dagli applicatori con esposizione dei lavoratori, della popolazione e possibili fenomeni di interferenza con altre apparecchiature elettromedicali.



### 2.2.3 Radarterapia

L'apparecchiatura è costituita da un generatore con emissione continua o pulsata con potenze di picco che raggiungono i 1000 W e potenze medie dell'ordine di 250-300 W. La frequenza del campo elettromagnetico utilizzato è quasi esclusivamente di 2,45 gigahertz (GHz) anche se sono ancora in uso apparecchiature alla frequenza di 915 MHz. A causa dell'alta frequenza, gli applicatori sono tutti di tipo radiativo anche se le forme e soprattutto le dimensioni possono essere notevolmente diverse in funzione dell'estensione della zona di trattamento. Le antenne sono generalmente direzionali con un'onda praticamente confinata all'interno del lobo di irraggiamento (direzione e spazio entro cui l'onda si

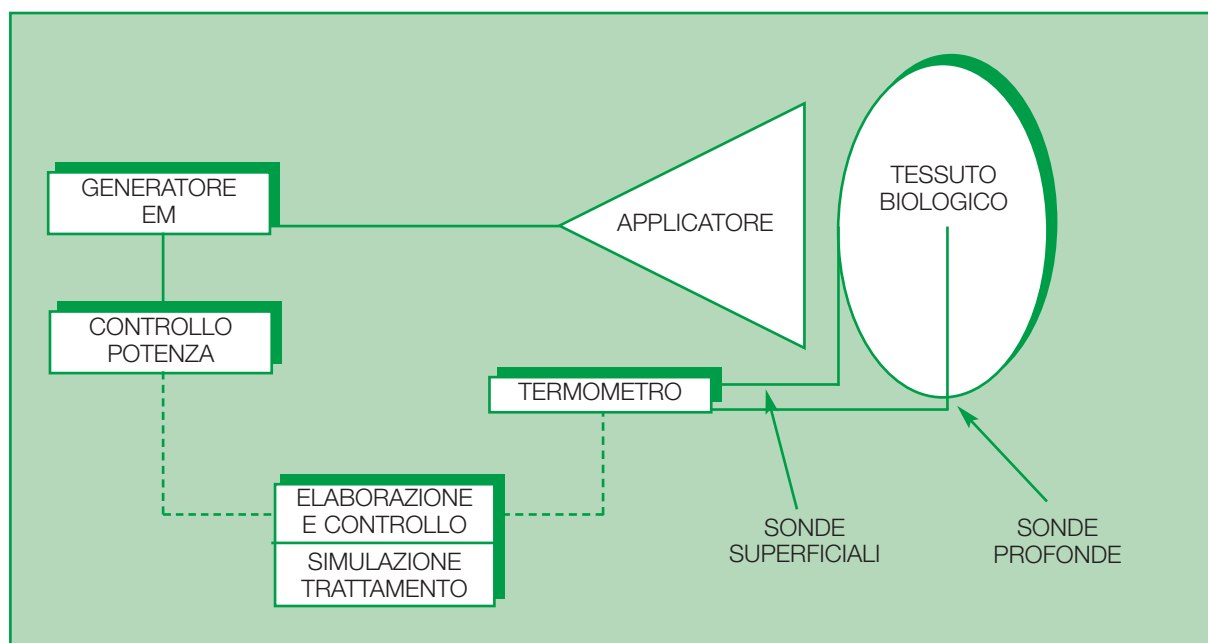


propaga). Negli ultimi anni sono stati introdotti sistemi per la termostatazione della cute che funzionano alle frequenze di 433,92 MHz o 915 MHz, più correttamente denominati sistemi per ipertermia. In prossimità degli applicatori i livelli di campo elettromagnetico, e in particolare di campo elettrico, possono essere elevati fino a raggiungere valori di 1000-1200 V/m. A causa della direzionalità del campo emesso dalle apparecchiature per radarterapia, l'esposizione è solitamente confinata nella zona attorno agli applicatori. Occorre comunque prestare attenzione ad attivare l'emissione solo se in presenza di utenti o di opportuno materiale schermante/assorbente, in quanto di fronte agli applicatori si possono avere campi elettrici di qualche decina di V/m. In questo caso è possibile l'esposizione indebita per i lavoratori e per la popolazione che ha accesso ai reparti anche a qualche metro di distanza dalle sorgenti.

### 2.2.4 Ipertermia

Le apparecchiature per ipertermia utilizzano campi elettromagnetici alle frequenze fisse di 13,56 MHz, 27,12 MHz, 433,92 MHz, 915 MHz e 2,45 GHz (frequenze ISM) oppure con frequenza variabile da 1 MHz a 1 GHz.

**Figura 2.1 – Sistema per riscaldamento EM**



L'ipertermia può essere utilizzata per il trattamento di patologie muscolari, tendinee, articolari in alternativa alla radarterapia, oppure per il riscaldamento di masse oncologiche.

Per il trattamento di patologie muscolari, tendinee e articolari vengono solitamente impiegati campi elettromagnetici alla frequenza di 433,92 MHz con potenze erogate comprese fra i 250 e 500 W. Le modalità di trattamento per le applicazioni più recenti prevedono solitamente l'impie-

go di un liquido circolante a contatto con la superficie corporea trattata al fine di sottrarre calore dalla zona superficiale. Per tale motivo il posizionamento degli applicatori è rigorosamente controllato e l'esposizione dei lavoratori e della popolazione è decisamente inferiore rispetto a quella della radarterapia.

Nelle applicazioni oncologiche si può avere ipertermia profonda allo scopo di riscaldare regioni corporee in profondità in corrispondenza di masse tumorali, oppure ipertermia superficiale con riscaldamento dei tessuti tumorali meno profondi o sulla cute. Per l'ipertermia profonda vengono impiegati sistemi a dipoli multipli a controllo di fase per la distribuzione dell'energia all'interno del corpo, generalmente alle frequenze più basse fra quelle elencate. Per l'ipertermia superficiale si possono utilizzare applicatori capacitivi, applicatori induttivi oppure applicatori di tipo radiativo. Con i primi due si utilizzano campi elettromagnetici alle frequenze più basse ( $f < 30$  MHz) mentre con l'ultimo tipo si utilizzano le frequenze più alte. Più raramente viene impiegata la così detta "terapia interstiziale" in cui il riscaldamento della massa tumorale avviene per mezzo di aghi e cateteri posizionati in cavità anatomiche.



Per la terapia interstiziale sono utilizzati particolari elettrodi resistivi ad ago ( $f = 0,5 \div 1$  MHz) e antenne a microonde ( $f = 300 \div 1000$  MHz) che vengono impiantati a ogni seduta di trattamento. Inoltre nella massa tumorale possono essere inserite delle "clips ferro magnetiche" (cobalto, palladio) per tutto il periodo di trattamento che vengono riscaldate mediante l'applicazione di un campo magnetico esterno alla frequenza di  $0,2 \div 2$  MHz.

La potenza erogata può raggiungere i 400 W. I livelli di campo elettromagnetico in prossimità degli applicatori sono dello stesso ordine di grandezza di quelli che si misurano attorno alle apparecchiature per marconiterapia, anche se per il limitato numero di apparecchiature presenti sul territorio l'esposizione dei lavoratori e della popolazione interessa un minor numero di persone.



### 2.3 Individuazione dei soggetti esposti

Con riferimento alle attività in cui sono impiegate le apparecchiature per terapia fisica e alle caratteristiche di emissione delle sorgenti, i soggetti esposti risultano:

- gli utenti sottoposti a trattamento
- i lavoratori dei reparti dove sono impiegate le apparecchiature
- gli individui della popolazione che stazionano negli stessi reparti per prenotazione esami e/o per accompagnamento utenti.

Nei paragrafi successivi vengono individuati i possibili rischi connessi con l'impiego di sorgenti di campi elettromagnetici per terapia fisica e sono descritte le misure di prevenzione e protezione per i soggetti esposti. Risulta innanzitutto necessario acquisire e mantenere aggiornato l'elenco dei lavoratori, per la valutazione dei rischi, la formazione e l'eventuale sorveglianza sanitaria.

### 2.4 Individuazione dei rischi

L'impiego di apparecchiature che emettono campi elettromagnetici comporta comunque dei rischi che devono essere individuati e minimizzati. Si deve in ogni caso distinguere il caso degli utenti da quello dei lavoratori e/o della popolazione che ha accesso nelle aree senza essere sottoposta a trattamento.



### 2.4.1 Rischi per gli utenti

Gli utenti sono esposti ai campi elettromagnetici per ragioni terapeutiche. Per tali persone l'effetto biologico (benefico) delle radiazioni è cercato e voluto con livelli di esposizione che sono ben al di sopra dei limiti previsti per i lavoratori e per la popolazione. È il medico prescrivente la terapia che deve, sulla base delle proprie conoscenze, decidere dell'appropriatezza della stessa dopo avere effettuato una valutazione fra i benefici e i rischi del trattamento (bilancio rischio/beneficio). Tuttavia gli utenti possono essere esposti ad altri rischi oltre a quelli dovuti ai campi elettromagnetici, rischi che devono essere evitati.

Alcuni di questi sono legati alla condizione degli utenti mentre altri alle modalità di trattamento. In particolare devono essere valutati i rischi elettrici per gli utenti nonché la presenza di dispositivi medici attivi impiantati come pacemaker, defibrillatori o altri dispositivi elettronici di supporto a funzioni vitali. Caso per caso va valutato dal medico che prescrive il trattamento se esistano controindicazioni. Il trattamento delle utenti in presunto o accertato stato di gravidanza dovrebbe essere evitato in via precauzionale anche se non esistono dati che indichino un effetto dei campi magnetici sul feto.

Per marconiterapia, radarterapia e ipertermia non impiegata nel trattamento oncologico vanno inoltre adottate le seguenti misure di sicurezza:

- l'area da trattare deve essere denudata, priva di oggetti metallici anche endotissutali, non deve presentare zone di ipo-anestesia, né tracce di sudore
- l'utente non deve indossare lenti a contatto durante il trattamento. Il campo di applicazione non deve investire il cristallino, o cavità contenenti fluidi (bolle, versamenti ecc.)
- i cavi di raccordo dell'apparecchio alle armature dei condensatori non devono entrare in contatto con l'utente o con l'operatore.

Nel trattamento oncologico dell'ipertermia le controindicazioni devono essere valutate dal medico che prescrive il trattamento; le procedure dipendono dal tipo di trattamento utilizzato.

### 2.4.2 Rischi per i lavoratori

I lavoratori sono soggetti ai seguenti fattori di rischio:

- esposizione ai campi elettromagnetici
- elettricità dei sistemi di alimentazione delle apparecchiature e impianti
- incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche.

L'esposizione dei lavoratori deve essere mantenuta entro i limiti previsti dalla normativa vigente (vedi riferimenti normativi). Anche in questo caso devono essere predisposte norme operative per evitare l'indebita esposizione dei lavoratori. A tal fine, sulla base di misurazioni e/o valutazioni del campo elettromagnetico disperso, devono essere delimitate delle aree di accesso controllato mediante opportuna segnaletica. È opportuno predisporre adeguate procedure per evitare l'ingresso accidentale di lavoratori non addetti e di individui della popolazione in tali aree. I lavoratori da destinare ad attività che comporti esposizione ai campi elettromagnetici devono essere resi idonei dopo avere escluso su di essi l'impianto di dispositivi medici attivi di ausilio alle funzioni vitali (pacemaker, defibrillatori automatici ecc.). Va verificata negli ambienti a rischio la presenza di materiali infiammabili (solidi, liquidi e gassosi) per i quali sussista il rischio di incendio o esplosione (ad esempio, gas medicali, solventi ecc.) e di conseguenza devono essere attuate tutte le procedure di sicurezza necessarie.

I rischi elettrici sono tenuti sotto controllo mediante la corretta applicazione della *Norma CEI EN 60601-1(1990) Apparecchi elettromedicali. Parte 1: Prescrizioni generali per la sicurezza*, e attraverso la predisposizione di procedure specifiche per evitare infortuni di carattere elettrico (il rispetto di queste norme elimina anche il rischio per gli utenti).



### 2.4.3 Rischi per la popolazione

La popolazione che si trova nei reparti per terapia fisica senza sottoporsi ad alcun trattamento, oppure per trattamenti che non comprendono l'impiego dei campi elettromagnetici, può comunque trovarsi in aree dove i livelli di esposizione superano i limiti previsti per la popolazione medesima. Sulla base di misurazioni e/o valutazioni devono essere delimitate delle aree interdette alla popolazione mediante opportuna segnaletica e attuate delle opportune procedure di sicurezza. I campi elettromagnetici emessi dalle apparecchiature per marconiterapia e, in misura minore, da quelle per radarterapia, possono provocare interferenze e quindi mal funzionamenti su altre apparecchiature elettromedicali presenti nei reparti. Al fine di evitare tali fenomeni e di proteggere la popolazione, deve essere rispettata la *Norma CEI EN 60601-1-2 Apparecchi elettromedicali. Parte 1: Prescrizioni generali per la sicurezza – Norma collaterale: Compatibilità elettromagnetica – Prescrizione e prove*. Inoltre, è fondamentale distanziare le aree di attesa per la popolazione dalle zone interdette, predisponendo idonea segnaletica per i portatori di pacemaker, defibrillatori automatici o altri dispositivi medici attivi di ausilio alle funzioni vitali.



## 2.5 Prevenzione e protezione

### 2.5.1 Formazione dei lavoratori addetti

Il personale che opera in ambienti in cui si impiegano sorgenti di campi elettromagnetici per terapia fisica deve essere a conoscenza dei rischi dell'esposizione a tali sorgenti di radiazione. In modo particolare la formazione deve essere volta alla corretta gestione delle apparecchiature sia per il posizionamento dell'utente da trattare sia in termini di scelta dei parametri di esposizione. I lavoratori addetti devono essere inoltre in grado di:

- verificare il rispetto delle normative riguardanti le apparecchiature elettromedicali
- fornire appropriato avviso sanitario ai soggetti esposti.

A tale fine vanno predisposti opportuni corsi di formazione e norme operative che devono essere affisse nei locali di trattamento, secondo quanto previsto dalle normative specifiche per quanto riguarda la sicurezza e in particolare dal D.Lgs. 626/94 e s.m.i. e dalla direttiva 2004/40/CE.



### 2.5.2 Valutazione dei livelli di esposizione

Al fine di valutare i livelli di esposizione è necessario approntare tre tipi di verifiche strumentali secondo quanto indicato nelle Norme CEI 211-6 e 211-7 del 2001.

#### Misure ambientali

Sono misure volte a verificare il rispetto dei limiti di esposizione sia negli ambienti dove viene effettuato il trattamento che negli ambienti contigui. Questo tipo di misure è rivolto alla sicurezza dei lavoratori addetti e della popolazione. Vanno effettuate sia all'atto dell'installazione dell'apparecchiatura che periodicamente (delimitazione delle aree a rischio, segnaletica, accesso controllato, misura dei livelli di campo elettrico e magnetico ecc.). È necessario sottolineare che le tendine di plastica che separano i vari box di trattamento non offrono alcuna schermatura ai campi elettromagnetici emessi dalle apparecchiature per terapia fisica.

#### Misure di emissione

Sono misure volte a verificare il corretto funzionamento delle apparecchiature e vanno eseguite secondo quanto previsto al punto 2.5.3. Questo tipo di misure è necessario al fine di garantire la



corretta effettuazione del trattamento ed è quindi rivolto alla protezione dell'utente.

### Misure di compatibilità elettromagnetica

Sono misure volte a verificare il rispetto di quanto previsto dalla *Norma CEI EN 60601-1-2 Apparecchi elettromedicali. Parte 1: Prescrizioni generali per la sicurezza – Norma collaterale: Compatibilità elettromagnetica – Prescrizione e prove*. Tali misure sono quindi rivolte alla protezione dell'utente. Vanno effettuate sia all'atto dell'installazione dell'apparecchiatura che periodicamente.

## 2.5.3 Verifiche strumentali sulle prestazioni di funzionamento delle apparecchiature

### 2.5.3.1 Verifica dell'emissione delle apparecchiature

All'atto dell'acquisto di una nuova apparecchiatura devono essere fornite dal produttore le caratteristiche di emissione. Tali caratteristiche devono essere verificate presso l'impianto, al momento dell'installazione o durante il collaudo, mediante misure strumentali. In particolare devono essere effettuate misure di emissione (campo elettrico, campo magnetico e/o densità di potenza) a potenza variabile in modo da verificare la corrispondenza fra potenza di trattamento impostato e livello di esposizione. Per applicatori di dimensioni notevoli impiegati per trattamento di ampie superfici corporee occorre verificare l'uniformità dell'esposizione alla distanza di trattamento. Tali misure vanno effettuate all'atto dell'installazione (prove di accettazione) e periodicamente (prove di costanza). Le misure vanno inoltre ripetute ogni volta che si effettuano interventi di manutenzione su parti che possono influenzare l'emissione dell'apparecchiatura (prove di stato). Per la peculiarità e complessità di tali verifiche è necessario avvalersi di personale competente e con dimostrata esperienza nel settore, ad esempio dei Servizi di Fisica Sanitaria, ove disponibili.



### 2.5.3.2 Verifica sistemi di segnalazione e di sicurezza

All'esterno di ogni locale di trattamento deve essere affissa opportuna segnaletica indicante la presenza di campi elettromagnetici e deve essere installato un segnalatore luminoso indicante il funzionamento delle apparecchiature. All'atto dell'installazione e periodicamente va verificato il corretto funzionamento dei segnalatori luminosi all'esterno dei locali. Inoltre va verificato il corretto funzionamento dei temporizzatori che controllano la durata del trattamento.

### 2.5.3.3 Caratteristiche delle apparecchiature

Le apparecchiature devono ottemperare a quanto disposto dalla direttiva 93/42/CEE recepita dal decreto legislativo 46/97 riguardante i dispositivi medici. Per tali apparecchiature è prevista:

- a) marcatura CE riportante il codice numerico dell'ente che ne ha verificato la conformità alla direttiva 93/42/CEE
- b) opportuna documentazione in lingua italiana nella quale viene dichiarata la conformità alle normative CEE pertinenti



- c) segnaletica di avvertimento o pericolo con scritte nere su fondo giallo, ove prevista, in lingua italiana
- d) etichettatura ben visibile riportante i dati di “targa” dell'apparecchiatura, compreso il numero di serie e/o matricola
- e) istruzioni per l'installazione, uso e manutenzione, in lingua italiana, comprendenti le necessarie informazioni di sicurezza.

Per le apparecchiature deve inoltre essere garantita la sicurezza elettrica mediante apposite prove che tengano conto di quanto indicato nella norma *CEI EN 60601-1 Apparecchi elettromedicali Parte 1 - prescrizioni generali per la sicurezza* e da “norme particolari” emanate dal CEI riferite a singole tipologie di apparecchi. Il mantenimento delle caratteristiche previste dalle norme citate deve essere assicurato mediante una corretta manutenzione e una verifica periodica delle proprietà delle apparecchiature stesse. A tal fine risulta necessario un programma di controllo di qualità basato anche su misure strumentali di grandezze fisiche (ad esempio, intensità di irraggiamento in funzione della potenza indicata al tavolo di comando) che verifichi sia la rispondenza con quanto dichiarato nelle specifiche tecniche e sia il mantenimento nel tempo di tali specifiche. Inoltre tali misure devono essere effettuate periodicamente negli ambienti in cui sono installate le apparecchiature per garantire il rispetto dei livelli di esposizione sia per i lavoratori addetti che per la popolazione.

#### 2.5.4 Dispositivi di Protezione Individuali (DPI)

Non sono previsti DPI per la riduzione dell'esposizione ai campi elettromagnetici; in alcuni casi, tuttavia, è possibile schermare le sorgenti o gli ambienti in cui sono installate.

## 2.6 Riferimenti normativi

### 2.6.1 Riferimenti normativi riguardanti l'esposizione dei lavoratori e della popolazione

La Legge quadro n. 36 del 22 febbraio 2001 “sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” detta i principi fondamentali per la tutela della salute dei lavoratori e della popolazione. Con i due D.P.C.M. dell'8 luglio 2003 sono stati fissati i limiti di esposizione per la popolazione a campi elettrici e magnetici a 50 Hz generati da elettrodotti e i limiti di esposizione per la popolazione nei confronti di sorgenti fisse con frequenza compresa tra 100 kHz e 300 GHz, basati sui livelli di riferimento previsti nella Raccomandazione Europea del 12/7/1999.

Tali limiti non sono applicabili alle esposizioni per scopo diagnostico e terapeutico né alle esposizioni per ragioni professionali; per quanto riguarda queste ultime dovrà essere emanato un apposito decreto, in attesa del quale si può fare riferimento alle linee guida sulla limitazione dell'esposizione alle radiazioni non ionizzanti emanate dall'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), alle normative internazionali e in particolare ai livelli di azione raccomandati dalla recente direttiva europea 2004/40/CE del 29 aprile 2004 che contiene le “prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)”. Tali livelli di azione assicurano il rispetto dei pertinenti valori limite di esposizione e garantiscono la protezione dei lavoratori esposti contro tutti gli effetti acuti nocivi per la salute a oggi conosciuti; non sono mirati alla protezione nei confronti di eventuali effetti a lungo termine, inclusi quelli cancerogeni, derivanti dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo, per i quali mancano dati scientifici conclusivi che comprovino un nesso di causalità.

Nell'Appendice in coda al presente capitolo sono riportate due tabelle con i livelli di azione e i livelli di riferimento indicati rispettivamente nella direttiva europea 2004/40/CE del 29 aprile 2004 e nelle linee guida ICNIRP.

### Magnetoterapia

Per i lavoratori le raccomandazioni dell'ICNIRP indicano un limite di 500  $\mu\text{T}$  per l'induzione magnetica, mentre per quanto riguarda la popolazione si può fare riferimento ai livelli previsti nella Raccomandazione Europea del 12/7/1999 e al limite di esposizione pari a 100  $\mu\text{T}$  stabilito dal

“D.P.C.M. 8 luglio 2003. Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”; infatti anche se quest’ultimo è espressamente riferito al problema della esposizione a campi derivanti dalla generazione, trasformazione e trasporto dell’energia elettrica, il limite fissato dal DPCM 8/7/2003 può ritenersi valido anche per la magnetoterapia, in quanto la frequenza dei campi indotti è la stessa o molto vicina (massimo 100 Hz).

### **Marconiterapia, radarterapia, ipertermia**

Poiché l’intervallo di frequenza è estremamente variabile, occorre determinare i livelli dei valori raccomandati per i lavoratori a partire dall’effettiva frequenza di impiego.

Per la popolazione si può fare riferimento ai livelli previsti nella Raccomandazione Europea del 12/7/1999 e, poiché le frequenze di impiego ricadono nell’intervallo 3÷3000 MHz, ai limiti di esposizione indicati nel “D.P.C.M. 8 luglio 2003. Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”.

### **2.6.2 Normative e raccomandazioni che prevedano limiti di esposizione**

**ICNIRP** (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection): linee guida per la limitazione delle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici fino a 300 GHz (1998)

**Raccomandazione del Consiglio dell’Unione Europea** del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell’esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz

**Legge quadro 22 febbraio 2001 n. 36** sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

**D.P.C.M. 8 luglio 2003** “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”

**D.P.C.M. 8 luglio 2003** “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”

**Direttiva europea 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)

### **2.6.3 Riferimenti normativi riguardanti la sicurezza degli ambienti e delle apparecchiature**

**89/391/CEE** – direttiva del Consiglio del 12 giugno 1989 concernente l’attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro

**90/385/CEE** – direttiva del Consiglio del 20 giugno 1990 per il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai dispositivi medici impiantabili attivi

**92/58/CEE** – direttiva del Consiglio del 24 giugno 1992 recante le prescrizioni minime per la segnaletica di sicurezza e/o di salute sul luogo di lavoro

**93/42/CEE** – direttiva del Consiglio del 14 giugno 1993 concernente i dispositivi medici

**98/37/CE** – direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio del 22 giugno 1998 concernente il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine



**Norma CEI EN 60601-1(1990)** Apparecchi elettromedicali. Parte 1: prescrizioni generali per la sicurezza

**Norma CEI EN 60601-1-2 (1993)** Apparecchi elettromedicali. Parte 1: norme generali per la sicurezza. Parte 2: norma collaterale; compatibilità elettromagnetica; prescrizioni e prove – fascicolo 2235

**Norma CEI 211-6 (2001)** “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell’intervallo di frequenza 0 Hz-10 kHz, con riferimento alla esposizione umana”

**Norma CEI 211-7 (2001)** “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell’intervallo di frequenza 10 kHz-300 GHz, con riferimento alla esposizione umana”

**Norma UNI 7543 (1988)** Colori e segnali di sicurezza. 1: Prescrizioni generali. 2: Segnali di sicurezza. 3: Avvisi. 1988

## 2.7 Tavola sinottica delle procedure per la sicurezza

Il seguente elenco riassume unicamente le procedure ritenute indispensabili ai fini specifici dell’esposizione a campi elettromagnetici in ambito sanitario e non è esaustivo degli obblighi delle diverse figure coinvolte.

### Fabbricante dell’apparecchiatura

| Deve  | Quando   |
|---|--|
| Dichiarare la conformità alle norme di sicurezza CEI e alla direttiva 93/42/CEE | All’atto della costruzione delle apparecchiature     |
| Caratterizzare l’emissione delle sorgenti                                       | Al termine della costruzione mediante misure fisiche |
| Etichettare il prodotto   | Al termine della costruzione e marcatura CE          |
| Fornire il manuale di istruzioni e uso in lingua italiana                       | All’atto della consegna dell’apparecchiatura         |

### Responsabile della struttura sanitaria

| Deve  | Quando  |
|---|---|
| Provvedere a verificare l’idoneità degli ambienti e delle condizioni operative per i lavoratori addetti | Prima dell’installazione  |
| Provvedere alla formazione dei lavoratori addetti anche neoassunti                                      | Prima dell’utilizzo dell’apparecchiatura                            |
| Verificare la presenza del manuale di istruzioni e uso in lingua italiana                               | Prima dell’utilizzo dell’apparecchiatura                            |
| Verificare la corrispondenza dell’installazione con il progetto preventivo                              | Prima dell’utilizzo dell’apparecchiatura                            |
| Predisporre i controlli periodici di sicurezza e sulle emissioni  | Prima dell’utilizzo dell’apparecchiatura                            |
| Verificare il buon esito dei controlli  | Alle scadenze previste  |
| Aggiornare i lavoratori addetti   | Ad ogni modifica delle apparecchiature o delle modalità di utilizzo |

**Medico responsabile della terapia con campi elettromagnetici**

| Deve   | Quando  |
|--|---|
| Informare l'utente dei rischi specifici legati all'esposizione a radiazioni non ionizzanti | Al momento del consenso informato             |
| Informare l'utente delle precauzioni da seguire durante la terapia                         | Al momento della programmazione della terapia |
| Verificare eventuali reazioni dell'utente alle radiazioni non ionizzanti impiegate         | Alla prima seduta di terapia                  |
| Intervenire in caso di reazione atipica alla terapia                                       | Durante la terapia e al termine di essa       |

**Lavoratore addetto all'apparecchiatura**

| Deve   | Quando  |
|--|---|
| Effettuare la formazione necessaria  | Secondo i programmi previsti                        |
| Rispettare le norme di sicurezza   | Quotidianamente                                     |
| Segnalare al preposto anomalie ed eventualmente interrompere l'attività se necessario  | Quando intervengano malfunzionamenti o anomalie     |
| Informare dei rischi e delle procedure di sicurezza i soggetti da sottoporre a terapia | Alla prima seduta con lo specifico soggetto esposto |
| Rispettare il programma di terapia   | A ogni seduta                                       |
| Compilare la scheda personale dell'utente per registrare gli irraggiamenti effettuati  | A ogni seduta                                       |
| Segnalare al personale medico eventuali reazioni atipiche degli utenti                 | A ogni insorgenza di reazioni atipiche              |

**Soggetto esposto a terapia**

| Deve   | Quando                            |
|--|-----------------------------------|
| Ricevere adeguata informazione sui rischi derivanti dalla esposizione a campi elettromagnetici | Alla firma del consenso informato |
| Ricevere la scheda personale di irraggiamento su cui è riportata la terapia effettuata         | Al termine della terapia          |
| Segnalare ogni reazione atipica  | All'insorgenza della reazione     |
| Attenersi alle norme di sicurezza impartite  | A ogni seduta                     |

**2.8 Glossario**

**Campi elettromagnetici:** campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo di frequenza inferiore o pari a 300 GHz

**Corrente di contatto:** corrente che attraversa il corpo umano quando quest'ultimo viene in contatto con un oggetto conduttore immerso in campo elettromagnetico. La corrente di contatto tra una persona e un oggetto è espressa in ampere (A). Un conduttore che si trovi in un campo elettrico può essere caricato dal campo



**Intensità di corrente:** è definita come il flusso di corrente attraverso una sezione unitaria perpendicolare alla sua direzione in un volume conduttore quale il corpo umano o una sua parte. È espressa in ampere per metro quadro ( $A/m^2$ )

**Intensità di campo elettrico:** è una grandezza vettoriale (E) che corrisponde alla forza esercitata su una particella carica indipendentemente dal suo movimento nello spazio. È espressa in volt per metro (V/m)

**Intensità di campo magnetico:** è una grandezza vettoriale (H) che, assieme all'induzione magnetica, specifica un campo magnetico in qualunque punto dello spazio. È espressa in ampere per metro (A/m)

**Induzione magnetica:** è una grandezza vettoriale (B) che determina una forza agente sulle cariche in movimento. È espressa in tesla (T). Nello spazio libero e nei materiali biologici l'induzione magnetica e l'intensità del campo magnetico si ricavano in base all'equazione:

$$H = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ B per cui } 1 \text{ Am}^{-1} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

**Densità di potenza (S):** questa grandezza si impiega nel caso delle frequenze molto alte, per le quali la profondità di penetrazione nel corpo è modesta. Si tratta della potenza radiante incidente perpendicolarmente a una superficie, divisa per l'area della superficie in questione ed è espressa in watt per metro quadro ( $W/m^2$ )

**Assorbimento specifico di energia (SA):** si definisce mediante l'energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico e si esprime in joule per chilogrammo (J/kg).

**Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR):** si tratta del valore mediato su tutto il corpo o su alcune parti di esso, del tasso di assorbimento di energia per unità di massa del tessuto corporeo ed è espresso in watt per chilogrammo (W/kg). Il SAR riferito a tutto il corpo è una misura ampiamente accettata per porre in rapporto gli effetti termici nocivi all'esposizione a radiofrequenze (RF). Oltre al valore del SAR mediato su tutto il corpo sono necessari anche valori locali del SAR per valutare e limitare la deposizione eccessiva di energia in parti piccole del corpo conseguenti a speciali condizioni di esposizione, quali ad esempio il caso di un individuo in contatto con la terra, esposto a RF dell'ordine di pochi MHz e di individui esposti nel campo vicino di un'antenna

**Valori limite di esposizione:** limiti all'esposizione a campi elettromagnetici che sono basati direttamente sugli effetti sulla salute accertati e su considerazioni biologiche

**Limite di base:** valore delle grandezze elettriche interne al corpo umano (campo elettrico, densità di corrente) fissati da norme tecniche o legislazioni da non superare in qualsiasi condizione. Il limite di base include fattori di sicurezza

**Valori di azione:** l'entità dei parametri direttamente misurabili, espressi in termini di intensità di campo elettrico (E), intensità di campo magnetico (H), induzione magnetica (B) e densità di potenza (S), che determina l'obbligo di adottare una o più delle misure specificate nella direttiva 2004/02/CE. Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei pertinenti valori limite di esposizione

**Livello di riferimento (limite derivato):** valore di grandezze misurabili (valori efficaci dei campi elettrico e magnetico, oppure correnti indotte e di contatto), tutti derivati dai limiti di base, ai quali, con un accettabile fattore di sicurezza, una persona può essere esposta senza effetto dannoso. È possibile superare i valori di riferimento purché i limiti di base siano rispettati



**Livello di esposizione:** valore di una grandezza considerata quando una persona è esposta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici o a corrente di contatto

**Valore efficace:** il valore efficace di un'onda elettromagnetica periodica  $a(t)$  si ottiene calcolando la radice quadrata del valore medio sul periodo  $T$  del quadrato della funzione  $a(t)$ :

$$A_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [a(t)]^2 dt}$$

**Valore efficace totale (rms) delle tre componenti efficaci  $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ :** radice quadrata della somma dei quadrati delle singole componenti:

$$A_{eff-rms} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

## 2.9 Bibliografia

Andreuccetti D, Bini M, Checcucci A, Ignesti A, Millanta L, Olmi R, Rubino N, Protezione dai campi elettromagnetici non ionizzanti, 3a edizione 2001, CNR-IROE

Bertolo A, Masiero A, Turi F, Apparecchiature elettromedicali nei servizi di fisioterapia nell'Azienda ULSS 18 di Rovigo: Riduzione dell'esposizione degli addetti e della popolazione ai campi elettromagnetici mediante ottimizzazione delle postazioni di lavoro, Convegno dBA'98, Modena 17/19 settembre 1998, pp. 927-934

Casciardi S, Rossi P, Campanella F, Inquinamento elettromagnetico nei reparti di terapia fisica: Rilievi sperimentali ed interventi di bonifica, Convegno dBA'98, Modena 17/19 settembre 1998, pp. 917-925

Fleming AKJ, Joyner HH, Estimates of absorption of radiofrequency radiation by the embryo and fetus during pregnancy, Health Physics, August 1992, Volume 63, n. 2

Frigerio F, Magistri D, Schiavi A, Esposizione a microonde nei terapisti della riabilitazione: valutazione e indicazioni per la bonifica, Convegno dBA'02, Modena 25/27 settembre 2002, pp. 1059-1074

Grandi C, lavicoli S, Molinaro V, Palmi S, Rossi P, Problematiche di particolare interesse riguardanti la tutela dei lavoratori esposti a rischi di tipo fisico in ambiente sanitario, Prevenzione oggi, ISPESL anno XIII, numero 1 del 2001, pp. 5-44

IEEE Committee on Man and Radiation (COMAR), Medical aspects of radiofrequency radiation overexposure, Health Physics, March 2002, Volume 82, n. 3, pp. 387-391

Mombelli M, Bianchi N, Carnelli A, Castiglioni CP, Cogliandro A, Mancini A, Rabolini A, Aspetti protezionistici nella diatermia clinica a radiofrequenze e microonde, Giornale degli igienisti industriali, vol. 26, n. 1, pp. 26-30, gennaio 2001

Regione Emilia Romagna, Impieghi medici delle radiazioni non ionizzanti, USL n. 16, Modena, Collana Prevenzione nei luoghi di vita e di lavoro, n. 25 (1990)

Regione Piemonte, Assessorato alla Sanità, NIR in Medicina, 2001



Terrana T, L'Abbate N, Cazzaniga E, Mustich M, Cotroneo L, Morselli G, Orsini S, Salamanna S, Valutazione del rischio e sorveglianza sanitaria in un gruppo di lavoratori addetti alla radar e marconi terapia, XVI Congresso Nazionale AIRM, Radiazioni e Sanità, Catania 26-28 maggio 1999

## Appendice

**Tabella 2.1 – Livelli di riferimento per esposizione della popolazione a campi elettrici e magnetici variabili; valori efficaci (rms) non perturbati** (Raccomandazione europea del 12/7/1999)

| Frequenza     | Campo elettrico E(V/m) | Campo magnetico H(A/m)              | Induzione magnetica B( $\mu$ T)   | Densità di potenza (onda piana equivalente) $S_{eq}$ (W/m <sup>2</sup> ) |
|---------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 0÷1 Hz        | -                      | 3,2x10 <sup>4</sup>                 | 4x10 <sup>4</sup>                 | -  |
| 1÷8 Hz        | 10000                  | 3,2x10 <sup>4</sup> /f <sup>2</sup> | 4x10 <sup>4</sup> /f <sup>2</sup> | -  |
| 8÷25 Hz       | 10000                  | 4000/f                              | 5000/f                            | -  |
| 0,025÷0,8 kHz | 250/f                  | 4/f                                 | 5/f                               | -  |
| 0,8÷3 kHz     | 250/f                  | 5                                   | 6,25                              | -  |
| 3÷150 kHz     | 87                     | 5                                   | 6,25                              | -  |
| 0,15÷1MHz     | 87                     | 0,73/f                              | 0,92/f                            | -  |
| 1÷10 MHz      | 87/f <sup>1/2</sup>    | 0,73/f                              | 0,92/f                            | -  |
| 10÷400 MHz    | 28                     | 0,073                               | 0,092                             | 2  |
| 400÷2000 MHz  | 1,375 f <sup>1/2</sup> | 0,0037 f <sup>1/2</sup>             | 0,0046 f <sup>1/2</sup>           | f/200  |
| 2÷300 GHz     | 61                     | 0,16                                | 0,20                              | 10   |

Note alla Tabella 2.1:

1.  $f$  come indicato nella colonna della gamma di frequenza.
2. Per le frequenze comprese fra 100 kHz e 10 GHz,  $S_{eq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$ , e  $B^2$  devono essere calcolati come media su qualsiasi periodo di 6 minuti.
3. Per le frequenze che superano 10 GHz,  $S_{eq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$ , e  $B^2$  devono essere ottenuti come media su qualsiasi periodo di  $68/f^{1,05}$  minuti ( $f$  in GHz).
4. Non è fornito alcun valore di campo  $E$  per le frequenze <1 Hz, perché di fatto sono campi elettrici statici.  
Per la maggior parte delle persone la sensazione fastidiosa di cariche elettriche di superficie non è avvertibile a intensità di campo inferiori a 25 kV/m. Le scariche che provocano stress o disturbo vanno evitate.
5. Per i valori di picco, si applicano i seguenti livelli di riferimento dell'intensità di campo  $E$  (V/m), dell'intensità di campo magnetico  $H$  (A/m) e dell'induzione magnetica  $B$  ( $\mu$ T).  
Per le frequenze fino a 100 kHz, i valori di riferimento di picco si ottengono moltiplicando i corrispondenti valori efficaci (rms) per  $\sqrt{2}$  (~1,414). Per gli impulsi di durata  $t_p$ , la frequenza equivalente da applicarsi deve essere calcolata come  $f = 1/(2t_p)$ .  
Per le frequenze comprese fra 100 kHz e 10 MHz, i valori di riferimento di picco si ottengono moltiplicando i corrispondenti valori efficaci (rms) per  $10^\alpha$ , dove  $\alpha = (0,665 \log(f/10^5) + 0,176)$ ;  $f$  in Hz.  
Per le frequenze comprese fra 10 MHz e 300 GHz i valori di riferimento di picco si ottengono moltiplicando i corrispondenti valori efficaci (rms) per 32.

**Tabella 2.2 – Valori di azione per esposizione dei lavoratori a campi elettrici e magnetici variabili; valori efficaci (rms) non perturbati** (Direttiva 2004/40/CE del 29/4/2004)

| Frequenza     | Intensità di campo elettrico E (V/m) | Intensità di campo magnetico H (A/m)* | Induzione magnetica B (μT)        | Densità di potenza di onda piana equivalente S <sub>eq</sub> (W/m <sup>2</sup> ) | Corrente di contatto I <sub>c</sub> (mA) | Corrente indotta attraverso gli arti I <sub>L</sub> (mA) |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| 0÷1 Hz        | -                                    | 1,63x10 <sup>5</sup>                  | 2x10 <sup>5</sup>                 | -  | 1,0                                      | -  |
| 1÷8 Hz        | 20000                                | 1,63x10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>  | 2x10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup> | -  | 1,0                                      | -  |
| 8÷25 Hz       | 20000                                | 2x10 <sup>4</sup> /f                  | 2,5x10 <sup>4</sup> /f            | -  | 1,0                                      | -  |
| 0,025÷0,82kHz | 500/f                                | 20/f                                  | 25/f                              | -  | 1,0                                      | -  |
| 0,82÷2,5 kHz  | 610                                  | 24,4                                  | 30,7                              | -  | 1,0                                      | -  |
| 2,5÷65 kHz    | 610                                  | 24,4                                  | 30,7                              | -  | 0,4 f                                    | -  |
| 65÷100 kHz    | 610                                  | 1600/f                                | 2000/f                            | -  | 0,4 f                                    | -  |
| 0,1÷1 MHz     | 610                                  | 1,6/f                                 | 2/f                               | -  | 40                                       | -  |
| 1÷10 MHz      | 610/f                                | 1,6/f                                 | 2/f                               | -  | 40                                       | -  |
| 10÷110 MHz    | 61                                   | 0,16                                  | 0,2                               | 10   | 40                                       | 100  |
| 110÷400 MHz   | 61                                   | 0,16                                  | 0,2                               | 10   | -  | -  |
| 400÷2000 MHz  | 3 f <sup>1/2</sup>                   | 0,008 f <sup>1/2</sup>                | 0,01 f <sup>1/2</sup>             | f/40   | -  | -  |
| 2÷300 GHz     | 137                                  | 0,36                                  | 0,45                              | 50   | -  | -  |

Note alla Tabella 2.2:

1.  $f$  è la frequenza espressa nelle unità indicate nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.
2. Per le frequenze comprese fra 100 kHz e 10 GHz, S<sub>eq</sub>, E<sup>2</sup>, H<sup>2</sup>, B<sup>2</sup> e I<sub>c</sub><sup>2</sup> devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di 6 minuti.
3. Per le frequenze che superano 10 GHz, S<sub>eq</sub>, E<sup>2</sup>, H<sup>2</sup> e B<sup>2</sup> devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di 68/f<sup>1,05</sup> minuti (f in GHz).
4. Per le frequenze fino a 100 kHz, i valori di azione di picco per le intensità di campo possono essere ottenuti moltiplicando il valore efficace rms per  $\sqrt{2}$ . Per gli impulsi di durata t<sub>p</sub> la frequenza equivalente da applicare per i valori di azione va calcolata come  $f = 1/(2t_p)$ .  
Per le frequenze comprese tra 100 kHz e 10 MHz, i valori di azione di picco per le intensità di campo sono calcolati moltiplicando i pertinenti valori efficaci (rms) per 10<sup>α</sup>, dove  $\alpha = (0,665 \log(f/10) + 0,176)$ , f in Hz.  
Per le frequenze comprese tra 10 MHz e 300 GHz, i valori di azione di picco sono calcolati moltiplicando i valori efficaci (rms) corrispondenti per 32 nel caso delle intensità di campo e per 1000 nel caso della densità di potenza di onda piana equivalente.
5. Per quanto riguarda i campi elettromagnetici pulsati o transitori o in generale l'esposizione simultanea a campi di frequenza diversa, è necessario adottare metodi appropriati di valutazione, misurazione e/o calcolo in grado di analizzare le caratteristiche delle forme d'onda e la natura delle interazioni biologiche, tenendo conto delle norme armonizzate europee elaborate dal Cenelec.
6. Per i valori di picco di campi elettromagnetici pulsati modulati si propone inoltre che, per le frequenze portanti che superano 10 MHz, S<sub>eq</sub> valutato come media sulla durata dell'impulso non superi di 1000 volte i valori di azione per S<sub>eq</sub>, o che l'intensità di campo non superi di 32 volte i valori di azione dell'intensità di campo alla frequenza portante.



## 3. PREVENZIONE DEI RISCHI DA ESPOSIZIONE A SORGENTI ARTIFICIALI DI RADIAZIONE ULTRAVIOLETTA

### 3.1 Premessa

La gestione dei rischi derivanti dall'esposizione a sorgenti artificiali di radiazione ultravioletta (UV) in ambito ospedaliero, e più in generale in ambito sanitario, richiede una particolare attenzione per la diffusione in costante aumento di tali sorgenti. Tali agenti fisici di rischio sono spesso trascurati ai fini di una corretta valutazione dei pericoli a cui espongono sia i lavoratori addetti che gli utenti. In particolare il D.Lgs. 626/94 e i successivi decreti di modifica non fanno menzione esplicita della radiazione UV, se non in modo generico riferendosi appunto alla grande famiglia degli agenti fisici di rischio. Per la prima volta si fa riferimento ai problemi di protezione dalle radiazioni UV nell'art. 22 del D.P.R. 19.3.1956 n. 303 che recita testualmente “[...] Parimenti devono essere protetti i lavoratori contro le radiazioni UV mediante occhiali, schermi e indumenti idonei”. Nel D.P.R. 9.6.1975 n. 482 viene menzionata la “cataratta da energie radianti” tra le malattie professionali e chi si occupa di sorveglianza medica ben conosce il fenomeno diffuso tra i “saldatori”. Il D.Lgs. 626/94 ripropone in modo generico la problematica della protezione oculare nell'allegato IV, come modificato dal D.Lgs. 242/96, nell’“Elenco indicativo e non esauriente delle attrezzature di protezione individuale” facendo riferimento agli occhiali di protezione per le radiazioni ultraviolette. In realtà i rischi esistono sia per gli occhi che per la pelle in funzione anche delle modalità di esposizione.

L'esposizione di individui a sorgenti UV artificiali può essere suddivisa in tre tipologie:

- professionale – conseguente all'attività lavorativa
- incidentale – non voluta e occasionale
- intenzionale – per esposizione a fini clinici.

Ovviamente sarà diverso l'approccio al problema nelle tre situazioni, data la diversa tipologia di profilo spazio-temporale dell'esposizione.

Non si deve dimenticare che la radiazione ultravioletta utilizzata in terapia e per altri scopi trasferisce una notevole quantità di energia al corpo umano. Ciò suggerisce la necessità di attivare un sistema di controllo e registrazione della “dose” di radiazione somministrata all'utente nelle varie attività e anche una valutazione della “dose” ricevuta dai lavoratori addetti.

Questo capitolo non tratta le sorgenti UV laser, per le quali si rimanda al capitolo 4.

### 3.2 Identificazione delle sorgenti di rischio e descrizione delle attività connesse al loro utilizzo

La radiazione ultravioletta, come mostrato in **Tabella 3.1**, è la radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda compresa tra 100 e 400 nanometri (nm).

**Tabella 3.1 – Caratteristiche spettrali radiazione elettromagnetica ultravioletta**

| Denominazione |     | Lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) |                 |
|---------------|-----|--------------------------------|-----------------|
| UV            | UVC | 100 nm – 280 nm                |                 |
|               | UVB | 280 nm – 315 nm                |                 |
|               | UVA | UVA1                           | 315 nm – 340 nm |
|               |     | UVA2                           | 340 nm – 400 nm |

Qualunque oggetto caldo emette radiazione elettromagnetica; la principale sorgente di UV a cui l'uomo è esposto è una sorgente naturale: il sole.

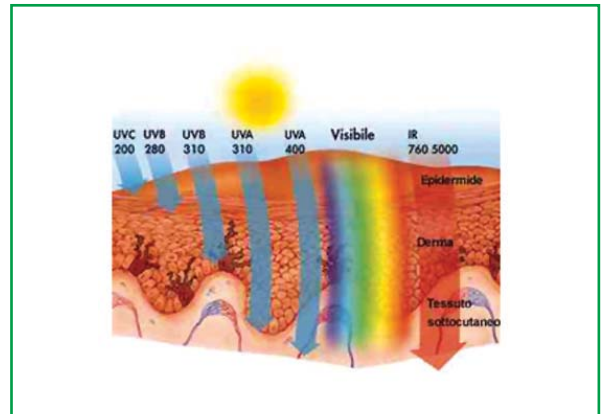
L'*irradianza solare*, ovvero il flusso della potenza radiante incidente su un elemento di superficie ( $W/m^2$  oppure  $mW/cm^2$ ), per la radiazione UV che giunge sulla Terra è fortemente dipendente da una molteplicità di variabili quali ora, giorno dell'anno, latitudine, altitudine, condizioni atmosferi-



che, qualità dell'aria, riflessione del sole, spessore dello strato di ozono e, ovviamente, ombra. Tuttavia, pur restando valide le precauzioni consigliate dai dermatologi e dagli oculisti nell'esposizione solare (uso di adeguati filtri solari per gli occhi e la pelle, evitare le esposizioni prolungate ecc.), parimenti non sono diffuse adeguate indicazioni di sicurezza per quelle attività che in ambito sanitario prevedono l'utilizzo di sorgenti artificiali di radiazione UV e che vengono di seguito riportate:

- fotodermatologia
- odontoiatria
- ortopedia
- analisi e ricerca
- impiantistica

Le sorgenti di UV sono costituite essenzialmente da lampade contenenti vapori a bassa o alta pressione (neon, mercurio, idrogeno, xenon ecc.), funzionanti a scarica elettrica, che emettono radiazione spesso focalizzata con sistemi ottici (paraboloidi, specchi ecc.). Le lampade possono essere singole o installate in più unità vicine tali da formare delle vere e proprie batterie di irradiazione per l'intero corpo (total body).



In fotodermatologia l'esposizione di utenti alla sola radiazione di specifiche bande UV (fototerapia), è un trattamento altamente efficace e tollerabile per numerose dermatosi quali psoriasi, micosi fungoide, vitiligine e varie fotodermatosi. Le bande possono essere: banda stretta UVB, banda larga UVB, UVA, UVA1 e UVAB. L'esposizione a UVA può essere anche associata alla somministrazione di farmaci, per lo più psoraleni, il cui effetto viene stimolato o potenziato proprio dalla radiazione che investe la cute del soggetto trattato (fotochemioterapia o PUVA-terapia).

In odontoiatria vengono impiegate delle lampade a UV per indurire, provocando un cambio di stato fisico (polimerizzazione), alcuni composti (resine) utilizzati per la ricostruzione dentaria.

*Nota: Mentre in passato si riteneva che la radiazione UV-A avesse effetto per curare l'iperbilirubinemia neonatale sulla base di uno spettro d'azione (Cremer et al. 1958) misurato in vitro, risultati clinici (Agati et al. 1992) hanno invece indicato che lo spettro d'azione è solo nel visibile. Ciò non esclude che vi possano ancora essere lampade di vecchia concezione tali da implicare esposizione a UV di utenti e lavoratori addetti. Pertanto andrebbe effettuata una accurata indagine presso le strutture sanitarie interessate per accertare quali siano le reali condizioni operative dei sistemi per la cura dell'iperbilirubinemia neonatale a emissione luminosa, ove esistenti.*



In ortopedia si sfrutta un procedimento analogo per indurire o saldare i composti chimici di cui sono fatte alcuni tipi di protesi ossee. Nei laboratori di analisi e ricerca si utilizzano le radiazioni UVC generate da lampade per sterilizzare le colture cellulari da alcuni tipi di agenti patogeni sensibili, oppure le radiazioni UVA e UVB per studiare, attraverso l'uso di sistemi ottici (microscopi, diffrattometri ecc.), alcune strutture materiali o molecolari.

In molti impianti di climatizzazione o di distribuzione dell'acqua vengono impiegate lampade a UVC per la sterilizzazione di microrganismi patogeni sensibili, che si possono sviluppare all'interno di canali di ventilazione dell'aria o di condotti di trasporto dell'acqua.



In generale le sorgenti di UV sono anche sorgenti di luce visibile ma, a parità di spettro visibile, lo spettro UV può essere sostanzialmente diverso, dipendendo fortemente dalla modalità di produzione e dal sistema di filtri posti davanti alla sorgente che limitano l'emissione. Esistono inoltre filtri che riducono maggiormente lo spettro visibile di quello UV.

### 3.3 Individuazione dei soggetti esposti

#### 3.3.1 Lavoratori

Tutti i lavoratori che operano in ambienti in cui vi siano sorgenti UV possono essere considerati soggetti potenzialmente esposti. In particolare in ambito sanitario si tratta di medici, infermieri, personale tecnico di supporto e di laboratorio, personale addetto alla manutenzione e ai controlli di qualità.

#### 3.3.2 Utenti

Esistono procedure diagnostiche e terapeutiche che prevedono l'esposizione degli utenti a UV. Le applicazioni terapeutiche, che comportano in genere la maggiore esposizione in termini di irradianza, sono la fototerapia e la fotochemioterapia.

Nell'ambito della ricerca è il medico responsabile della attività stessa che deve valutare il rapporto detrimento sanitario/beneficio per gli utenti trattati.

#### 3.3.3 Popolazione

L'esposizione fortuita o di tipo incidentale può e in generale deve essere evitata. Nel caso quindi di esposizione non desiderata sarà necessario valutare l'entità dell'incidente e le eventuali implicazioni mediche.

### 3.4 Individuazione dei rischi

Data la natura dell'esposizione a radiazione UV, gli organi a rischio sono la cute e gli occhi. L'effetto dell'esposizione a UV è fortemente dipendente dalla tipologia del soggetto: in relazione alla cute è legato al cosiddetto *fototipo*, per quanto riguarda gli occhi al cosiddetto *fenotipo*. La **Tabella 3.2** riporta la classificazione dei fototipi cutanei basata sulla tendenza alle scottature solari e sulla capacità di abbronzarsi.

**Tabella 3.2 – Classificazione dei fototipi cutanei basata sulla tendenza alle scottature solari e alla capacità di abbronzarsi** (Fitzpatrick et al., 1995)

| Fototipo cutaneo | Sensibilità al sole       | Suscettibilità a scottature solari | Qualità abbronzatura       | Classe di individui |
|------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------|
| I                | Molto sensibile           | Sempre (<2 SED)                    | Nessuna                    | Melano-compromessi  |
| II               | Moderatamente sensibile   | Alta (2-3 SED)                     | Leggera                    | Melano-compromessi  |
| III              | Moderatamente insensibile | Moderata (3-5 SED)                 | Media                      | Melano-competenti   |
| IV               | Moderatamente resistente  | Bassa (5-7 SED)                    | Scura                      | Melano-competenti   |
| V                | Resistente                | Molto bassa (7-10 SED)             | Pelle naturalmente marrone | Melano-protetti     |
| VI               | Molto resistente          | Estremamente bassa (>10 SED)       | Pelle naturalmente nera    | Melano-protetti     |

La maggior fonte di esposizione naturale alla radiazione ultravioletta è, come detto, il sole. In **Tabella 3.3** è riportato uno schema degli effetti benefici e dannosi di tale esposizione.

**Tabella 3.3 – Effetti dell'esposizione al sole**

| Effetti benefici   | Effetti dannosi  |
|--|--|
| <p>Indispensabile alla vita</p> <p>Calore</p> <p>Effetto antidepressivo</p> <p>Antirachitismo: sintesi di vitamina D (sufficienti 10 minuti/die)</p> | <p>Scottature e “colpi di sole”</p> <p>Fotosensibilizzazione:<br/>– fotoallergie<br/>– fototossicità</p> <p>Fotoinvecchiamento cutaneo</p> <p>Fotocarcinogenesi</p> <p>Alterazione del sistema immunitario</p> |

L'azione dannosa della radiazione UV sulla cute può essere amplificata dalla presenza di agenti fotosensibilizzanti (farmaci ecc.) analogamente a quanto avviene in senso positivo nella fotochemioterapia. In **Tabella 3.4** sono riportati gli effetti dannosi sulla cute dovuti all'esposizione a radiazione ultravioletta.

Il CIE (Comité International d'Eclairage) e il CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) hanno adottato i fattori di peso per la curva eritemigena riportati in **Tabella 3.5**.



**Tabella 3.4 – Effetti dannosi sulla cute dovuti all'esposizione a radiazione ultravioletta**

| Organo critico: Cute   |   |
|--|---|
| Effetti precoci  | Effetti tardivi   |
| Pigmentazione immediata<br>Eritema attinico<br>Fotodermatosi<br>Pigmentazione ritardata<br>Iperplasia epidermica | Fotoinvecchiamento<br>Alterazioni funzionali:<br>cisti, comedoni, elastosi solare,<br>alterazioni vascolari<br>Sofferenza cellulare:<br>atrofia epidermica, depigmentazione<br>Carcinogenesi, mutazioni somatiche:<br>cheratosi attiniche, epitelomi basocellulari,<br>epitelomi spinocellulari, melanomi maligni |

**Tabella 3.5 – Spettro d'azione eritemigeno della radiazione UV (CEI EN 61228)**

| Lunghezza d'onda $\lambda$ (nm) | Fattore di ponderazione $W(\lambda)$           |
|---------------------------------|--|
| $\lambda \leq 298$              | 1  |
| $298 < \lambda \leq 328$        | $10^{0,094 (298\text{nm}-\lambda)/1\text{nm}}$ |
| $328 < \lambda \leq 400$        | $10^{0,015 (140\text{nm}-\lambda)/1\text{nm}}$ |

Per gli occhi i danni possibili sono rappresentati da cataratta, congiuntiviti, fotocheratiti, fotoretiniti, pterigio. Le diverse tipologie di danno sono riassunte nelle tabelle seguenti.

**Tabella 3.6 – Effetti dannosi sull'occhio dovuti all'esposizione a radiazione ultravioletta**

| Organo critico: Occhio                           |  |                                     |
|--|--|-------------------------------------|
| Cornea   | Cristallino  | Retina                              |
| Acuti:<br>fotocheratite<br>congiuntivite         | Cataratta<br>(esposizioni oblique<br>particolarmente pericolose) | Fotoretiniti                        |
| Tardivi:<br>pterigio<br>Ispessimento endoteliale | Fotoinvecchiamento<br>Irrigidimento e brunescenza                | Rischio più elevato<br>per afachici |

**Tabella 3.7 – Assorbimento percentuale della radiazione UV nelle strutture oculari (Slincy, 1997)**

| Lunghezza d'onda (nm) | Assorbimento % |             |        |
|-----------------------|----------------|-------------|--------|
|                       | Cornea         | Cristallino | Retina |
| <280                  | 100            | /           | /      |
| 300                   | 92             | 2           | <1     |
| 320                   | 45             | 36          | 1      |
| 340                   | 37             | 48          | 1      |
| 360                   | 34             | 52          | 2      |



È da rimarcare nuovamente come la tipologia dei danni, alla cute o agli occhi, dipenda dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente, mentre l'entità sia ovviamente in diretta relazione con il tempo e l'intensità di esposizione.

### 3.5 Prevenzione e protezione

#### 3.5.1 Formazione dei lavoratori addetti

Il personale che opera in ambienti con sorgenti di radiazioni UV deve essere a conoscenza dei rischi dell'esposizione acuta o prolungata a tali sorgenti. In particolar modo il processo di formazione deve trasferire adeguate conoscenze sui rischi per gli stessi lavoratori addetti nonché per gli utenti, al fine di acquisire comportamenti sicuri nella gestione delle apparecchiature e dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI). I DPI per gli occhi (normalmente occhiali in grado di filtrare adeguatamente la radiazione UV e costruiti secondo norme tecniche specifiche) e quelli per la pelle (indumenti di materiale idoneo) sono in genere sufficienti a eliminare i pericoli più importanti.

I lavoratori addetti devono essere inoltre in grado di utilizzare correttamente le apparecchiature e di fornire adeguate informazioni ai soggetti esposti.

#### 3.5.2 Valutazione dei livelli di esposizione

Le apparecchiature emittenti radiazioni UV di cui ogni struttura è dotata, o si deve dotare, dovrebbero essere sempre in numero e di tipo adeguato alle finalità di impiego.

Al fine di valutare i livelli di esposizione è necessario approntare due tipi di verifiche sperimentali:

##### Misure ambientali

Sono misure volte a verificare il corretto confinamento della radiazione UV agli ambienti ove sia utilizzata. Questo tipo di misure è rivolto alla sicurezza dei lavoratori addetti e della popolazione. Vanno effettuate possibilmente in fase preventiva all'installazione dell'apparecchiatura oppure al più presto se la stessa è già operante.

È necessario sottolineare che anche l'esposizione indiretta a fonti di radiazione UV conseguente a fenomeni di riflessione può essere causa degli effetti dannosi citati. Pertanto dovrà essere valutata attentamente l'idoneità degli ambienti in cui sono installate le sorgenti (ad esempio, un muro intonacato bianco può riflettere fino al 65 % di radiazione UV incidente).

##### Misure di emissione

Sono misure volte a verificare il buon funzionamento delle apparecchiature e vanno eseguite secondo quanto indicato al punto 3.5.3. Questo tipo di misure è necessario al fine di garantire adeguata sicurezza e massimo beneficio clinico ai soggetti esposti.

Per la peculiarità e complessità di tali verifiche è necessario avvalersi di personale competente e con dimostrata esperienza nel settore, ad esempio dei Servizi di Fisica Sanitaria ove disponibili.

#### 3.5.3 Verifiche strumentali sulle prestazioni di funzionamento delle apparecchiature generanti radiazioni UV

Al fine di controllare le prestazioni di funzionamento delle apparecchiature e dei sistemi di protezione è necessario effettuare delle verifiche strumentali, e in particolare misure fisiche che possono essere radiometriche o spettroradiometriche.

La **Tabella 3.8** riporta la classificazione CEI degli apparecchi per il trattamento della pelle con raggi ultra-



violetti per uso domestico e similare e si può notare come sia essenziale, ai fini della classificazione di queste apparecchiature, del tutto analoghe a quelle utilizzate in ambito clinico, la conoscenza delle caratteristiche spettrali di emissione.

**Tabella 3.8 – Classificazione CEI apparecchi per il trattamento della pelle con raggi ultravioletti per uso domestico e similare**

| Tipo | Radiazione principale causa effetto biologico                 | Caratteristiche spettro energetico  |
|------|---|---|
| 1    | Radiazione con $\lambda$ superiore a 320 nm                   | Emittanza UVA relativamente elevata<br>irradianza efficace $I_{\text{eff}} < 0,0005 W_{\text{eff}}/m^2$ per $250 \text{ nm} \leq \lambda \leq 320 \text{ nm}$ e $I_{\text{eff}} \geq 0,15 W_{\text{eff}}/m^2$ per $320 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$   |
| 2    | Radiazioni con $\lambda$ sia superiore che inferiore a 320 nm | Emittanza UVA relativamente elevata, con componente UVB significativa<br>$0,0005 W_{\text{eff}}/m^2 \leq I_{\text{eff}} \leq 0,15 W_{\text{eff}}/m^2$ per $250 \text{ nm} \leq \lambda \leq 320 \text{ nm}$ e $I_{\text{eff}} \geq 0,15 W_{\text{eff}}/m^2$ per $320 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$ |
| 3    | Radiazioni con $\lambda$ sia superiore che inferiore a 320 nm | Emittanza relativamente elevata sull'intera banda UV<br>$I_{\text{eff}} < 0,15 W_{\text{eff}}/m^2$ per $250 \text{ nm} \leq \lambda \leq 320 \text{ nm}$ e $I_{\text{eff}} < 0,15 W_{\text{eff}}/m^2$ per $320 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$   |
| 4    | Radiazione con $\lambda$ inferiore a 320 nm                   | Emittanza UVB relativamente elevata<br>$I_{\text{eff}} \geq 0,15 W_{\text{eff}}/m^2$ per $250 \text{ nm} \leq \lambda \leq 320 \text{ nm}$ e $I_{\text{eff}} < 0,15 W_{\text{eff}}/m^2$ per $320 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$   |

Si può, a compendio, rimarcare nuovamente come la tipologia del danno dipenda dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente, mentre l'entità sia ovviamente in diretta relazione con il tempo di esposizione.

### 3.5.3.1 Verifica prestazioni di funzionamento delle apparecchiature

All'atto dell'installazione di una nuova apparecchiatura devono essere fornite dal produttore dell'apparecchiatura le caratteristiche spettrali di emissione della sorgente UV. Tali caratteristiche devono essere verificate presso l'impianto mediante misura con radiospettrometro (prove di accettazione). In caso di installazione per finalità terapeutiche la misura di emissione deve essere effettuata con periodicità dipendente dalla tipologia della sorgente e dal tipo di applicazione, e comunque periodicamente (prove di costanza) e dopo rilevanti interventi di manutenzione e/o riparazione (prove di stato).

Le misure devono essere ripetute ogni volta che si sostituiscono delle lampade UV nell'apparecchiatura o dopo rilevanti interventi di manutenzione e/o riparazione.

### 3.5.3.2 Verifica dei sistemi di segnalazione e sicurezza

All'atto dell'installazione deve essere verificato che non vi sia dispersione di radiazioni nelle postazioni occupate dai lavoratori addetti.

Si deve inoltre verificare che non vi sia dispersione negli ambienti occupati da popolazione, ad esempio utenti in attesa. Le dispersioni possono essere anche provocate da riflessioni dei materiali di rivestimento delle pareti o più semplicemente dalle stesse vernici che le ricoprono. Le pareti chiare e lisce possono riflettere la radiazione UV.

Queste verifiche vanno ripetute a ogni modifica delle condizioni ambientali o di disposizione



delle apparecchiature negli ambienti ove sono installate. Non devono essere usate tende per delimitare gli ambienti salvo verificare con misure strumentali che siano di materiale idoneo a schermare la radiazione UV. È preferibile delimitare gli ambienti in cui vi è rischio di esposizione a UV con pannelli o pareti opache agli UV regolamentandone l'accesso. È opportuno che siano ben visibili sulle apparecchiature e negli ambienti cartelli di avviso secondo le norme CEI EN 60335-2-27. Poiché non sono state emanate analoghe e specifiche norme per le apparecchiature usate in ambito sanitario, tali norme sono comunque da intendersi come norme di "buona tecnica" ai fini della sicurezza. Devono essere affisse in tali ambienti adatte norme comportamentali e di sicurezza per i lavoratori addetti e gli utenti. Possono essere impiegati anche idonei cartelli luminosi, al di fuori degli accessi ai locali ove funzionano sorgenti UV, indicanti l'emissione in corso.

### 3.5.3.3 Caratteristiche delle apparecchiature

Le apparecchiature, se prodotte dopo il 14 giugno 1998, devono ottemperare a quanto disposto dalla direttiva 93/42/CEE recepita dal decreto legislativo 46/97 in materia di dispositivi medici. Per tali apparecchiature è prevista:

- la marcatura CE riportante il codice numerico dell'ente che ne ha verificato la conformità alla direttiva 93/42/CEE
- opportuna documentazione in lingua italiana nella quale viene dichiarata la conformità alle normative CEE pertinenti
- segnaletica di avvertimento o pericolo, ove prevista, con scritte nere su fondo giallo in lingua italiana
- etichettatura ben visibile riportante i dati di "targa" dell'apparecchiatura, compreso il numero di serie e/o matricola
- istruzioni per l'installazione, uso e manutenzione, in lingua italiana, comprendenti le necessarie informazioni di sicurezza.

Inoltre deve essere garantita la sicurezza elettrica mediante apposite prove che tengano conto di quanto indicato nella *Norma CEI EN 60601-1 (1990) Apparecchi elettromedicali. Parte 1: prescrizioni generali per la sicurezza* e da "norme particolari" riferite alle singole tipologie di apparecchiature. Il mantenimento delle caratteristiche di funzionamento e di sicurezza deve essere assicurato mediante un programma adeguato di manutenzione secondo le indicazioni del fabbricante e tramite verifiche periodiche sulle emissioni delle sorgenti UV.

Per le apparecchiature più datate è necessario verificare la conformità alle norme vigenti al momento della loro produzione, fermo restando che devono essere sottoposte anch'esse a manutenzione periodica ed ai controlli citati.

### 3.5.4 Uso dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI)

Devono essere a disposizione di lavoratori addetti e di soggetti esposti i DPI, in particolare occhiali o indumenti di protezione.

Per quanto riguarda gli occhiali è necessario che sia specificato per quale tipo di radiazione UV e quindi di apparecchiatura forniscono protezione. È inoltre da sottolineare che gli occhiali devono poter garantire anche la protezione da incidenza obliqua che, tra l'altro, è la più pericolosa per induzione di cataratta, a causa dell'incidenza della luce sulle cellule germinali del cristallino. Gli occhiali dovranno essere costruiti conformemente alle norme UNI EN 166:1997 e UNI EN 170:1993 relativamente alla tipologia di impiego delle sorgenti UV e recare la marcatura CE. Gli occhiali di protezione devono essere sempre in numero adeguato agli utenti e ai lavoratori addetti interessati dalle emissioni UV. Qualora un DPI sia manomesso o non integro deve essere immediatamente sostituito.

### 3.6 Riferimenti normativi

**IRPA Guidelines:** Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Physics 49, 331-340 (1985)

**IRPA/INIRC Guidelines:** Proposed changes to the IRPS 1985 guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation 56, 971-972 (1989)

**ICNRIP Guidelines:** Guidelines on limits to exposure to broad – band incoherent optical radiation (0,38 to 3  $\mu$ m). Health Physics 73 (1997)

**ICNIRP statement:** Health issues of ultraviolet tanning appliances used for cosmetic purposes. Health Physics 84, 119-127 (2003)

**CEI EN 61228 (34-80):** Metodo di misura delle radiazioni UV delle lampade ultraviolette utilizzate per abbronzatura. Fascicolo 4129 (1997)

**CEI EN 60335-2-27 (61-184):** Sicurezza degli apparecchi elettrici d'uso domestico e similare. Parte 2: Norme particolari per apparecchi per il trattamento della pelle con raggi ultravioletti e infrarossi per uso domestico e similare. Fascicolo 4427 (1998)

D.P.R. 19 marzo 1956 n. 303

D.P.R. 9 giugno 1975 n. 482

D.Lgs. 4 dicembre 1992 n.475

D.Lgs. 19 settembre 1994 n.626

### 3.7 Tavola sinottica delle procedure per la sicurezza

Il seguente elenco riassume unicamente le procedure ritenute indispensabili ai fini specifici dell'esposizione a UV in ambito sanitario e non è esaustivo degli obblighi delle diverse figure coinvolte.

#### Fabbricante dell'apparecchiatura

| Deve  | Quando   |
|---|--|
| Dichiarare la conformità alle norme di sicurezza CEI e alla direttiva 93/42/CEE | All'atto della costruzione delle apparecchiature     |
| Caratterizzare le emissioni UV  | Al termine della costruzione mediante misure fisiche |
| Indicare/fornire adeguati DPI   | All'atto della consegna dell'apparecchiatura         |
| Etichettare il prodotto   | Al termine della costruzione e marcatura CE          |
| Fornire il manuale di istruzioni e uso in lingua italiana                       | All'atto della consegna dell'apparecchiatura         |

**Responsabile della struttura sanitaria**

| Deve  | Quando   |
|---|--|
| Provvedere a verificare l'idoneità degli ambienti e delle condizioni operative per i lavoratori addetti | Prima dell'installazione   |
| Provvedere alla formazione dei lavoratori addetti anche neoassunti                                      | Prima dell'utilizzo dell'apparecchiatura                           |
| Verificare la presenza del manuale di istruzioni e uso in lingua italiana                               | Prima dell'utilizzo dell'apparecchiatura                           |
| Verificare la corrispondenza dell'installazione con il progetto preventivo                              | Prima dell'utilizzo dell'apparecchiatura                           |
| Predisporre i controlli periodici di sicurezza e sulle emissioni  | Prima dell'utilizzo dell'apparecchiatura                           |
| Verificare il buon esito dei controlli  | Alle scadenze previste   |
| Aggiornare i lavoratori addetti   | A ogni modifica delle apparecchiature o delle modalità di utilizzo |

**Medico responsabile della terapia con UV**

| Deve   | Quando  |
|--|---|
| Informare l'utente dei rischi specifici legati all'esposizione a radiazioni UV | Al momento del consenso informato             |
| Informare l'utente delle precauzioni da seguire durante la terapia             | Al momento della programmazione della terapia |
| Verificare eventuali reazioni dell'utente alle radiazioni UV impiegate         | Alla prima seduta di terapia                  |
| Intervenire in caso di reazione atipica alla terapia                           | Durante la terapia e al termine di essa       |

**Lavoratori addetti all'utilizzo della sorgente UV**

| Devono   | Quando  |
|--|---|
| Effettuare la formazione necessaria  | Secondo i programmi previsti                        |
| Verificare presenza, adeguatezza e buono stato dei DPI                                 | Quotidianamente                                     |
| Rispettare le norme di sicurezza   | Quotidianamente                                     |
| Segnalare al preposto anomalie ed eventualmente interrompere l'attività se necessario  | Quando intervengano malfunzionamenti o anomalie     |
| Informare dei rischi e delle procedure di sicurezza i soggetti da sottoporre a terapia | Alla prima seduta con lo specifico soggetto esposto |
| Rispettare il programma di terapia   | A ogni seduta                                       |
| Compilare la scheda personale dell'utente per registrare gli irraggiamenti effettuati  | A ogni seduta                                       |
| Segnalare al personale medico eventuali reazioni atipiche degli utenti                 | A ogni insorgenza di reazioni atipiche              |

**Soggetto esposto a terapia UV**

| Deve   | Quando   |
|--|--|
| Ricevere adeguata informazione sui rischi derivanti dalla esposizione a radiazioni ultraviolette   | Alla firma del consenso informato  |
| Non usare cosmetici durante l'irraggiamento  | A ogni seduta  |
| Segnalare al medico dermatologo responsabile della terapia con UV l'assunzione di farmaci non prescritti dallo stesso  | A ogni seduta e in particolare prima di iniziare la terapia  |
| Segnalare ogni reazione atipica  | All'insorgenza della reazione  |
| Evitare esposizione a sorgenti di UV al di fuori delle sedute terapeutiche, soprattutto se in regime di assunzione di farmaci sensibilizzanti senza accordo con il medico dermatologo responsabile della terapia | Durante l'intero tempo della terapia e per il periodo indicato dal medico dermatologo responsabile della terapia |

**3.8 Glossario**

**Esposizione radiante:** flusso dell'energia radiante incidente su un elemento di superficie, espresso in joule per metro quadrato o millijoule per centimetro quadrato ( $J m^{-2}$  oppure  $mJ cm^{-2}$  rispettivamente)

**Irradianza:** flusso della potenza radiante incidente su un elemento di superficie, espresso in watt per metro quadrato o milliwatt per centimetro quadrato ( $W m^{-2}$  oppure  $mW cm^{-2}$  rispettivamente)

**Irradianza efficace:** flusso della potenza radiante incidente su un elemento di superficie, espresso in watt efficaci per metro quadrato o milliwatt efficaci per centimetro quadrato, pesato per una curva di peso di efficacia biologica; in queste linee guida è usata unicamente la curva eritemigena ( $W_{eff} m^{-2}$  oppure  $mW_{eff} cm^{-2}$  rispettivamente)

**Fenotipo:** complesso dei caratteri fisici esterni di un individuo

**Fototipo:** gruppo omogeneo della popolazione per risposta all'esposizione della cute alla radiazione UV. Si suddividono i gruppi sulla base della sensibilità, legata al colore della pelle e al fenotipo

**Fototerapia:** impiego di radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti in particolare di UV o di luce visibile nel trattamento di terapie cutanee

**Fotochemioterapia:** particolare forma di fototerapia in cui l'azione delle radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti, soprattutto nello spettro delle UV, viene combinata all'assunzione o all'applicazione di sostanze fotosensibilizzanti

**Radiometro:** strumento di misura delle caratteristiche radiometriche della radiazione ottica e in particolare UV. Nelle presenti linee guida le caratteristiche di interesse sono l'irradianza o l'esposizione radiante. I radiometri forniscono un valore unico di tali grandezze pesando le diverse componenti spettrali sulla base delle caratteristiche del sistema di raccolta del segnale e del sistema di rivelazione. I radiometri in quanto tali non sono adeguati per una valutazione dell'efficacia della radiazione UV a indurre un effetto biologico



**Spetttroradiometro:** strumento di misura delle caratteristiche radiometriche per intervalli di lunghezza d'onda su una data regione spettrale

**Spettro d'azione eritemigeno:** efficienza delle radiazioni monocromatiche nel produrre il fenomeno dell'eritema

**SED:** Standard Erythematol Dose pari a  $100 \text{ J m}^{-2}$  efficaci ( $10 \text{ mJ cm}^{-2}$ )

### 3.9 Bibliografia

Rapporti del Comité International de l'Eclairage (CIE) n. 63; 89; 98; 105; 114; 125; 134 e 138

Agati G, Donzelli GP, Fusi F, Pratesi R, Quantum yield and skin filtering effects on the formation of late lumirubin, *J Photochem, Photobiol, B* 18, 197-203 (1992)

Cremer RJ, Perryman PW, Richards DH, Influence of light on the hyperbilirubinemia of infants, *Lancet* 1, 1094-1097 (1958)

Fitzpatrick TB, Cesarini JP, Young A, Kollias N, Pathak MA, in Fitzpatrick TB, Bolognino JL, Human melanin pigmentation, role in pathogenesis of cutaneous melanoma, in Zeise L, Chedekel MR, Fitzpatrick TB eds, *Melanin: its role in human photoprotection*, Overland Park, KS, Valdenmar Pub, 177-182 (1995)

Jori G, Pottier RH, Rodgers MAJ, Truscott TG, *Photobiology in Medicine*, eds NATO ASI Series, Series A Life Sciences, Vol. 272, Plenum Press Pub (1994)

Matzeu M, Il rischio da esposizione alla radiazione ultravioletta naturale e artificiale, *Rapporti ISTISAN* 98/22 (1998)

Sliney DH, Ultraviolet radiation effects upon the eye: problems of dosimetry, *Radiation Protection Dosimetry* 72, 197-206 (1997)



## 4. PREVENZIONE DEI RISCHI DA ESPOSIZIONE A LASER

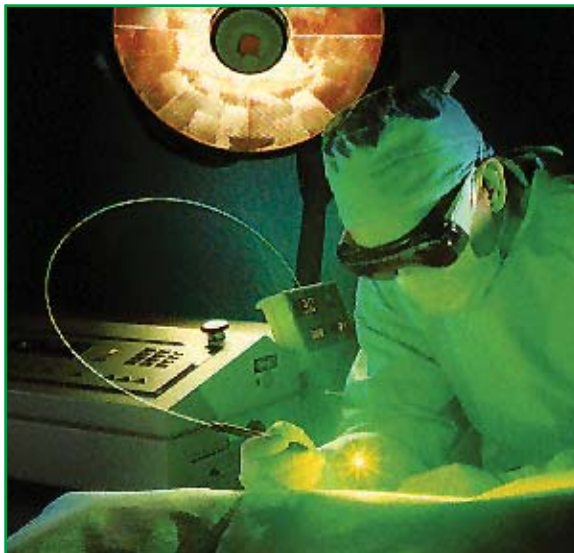
### 4.1 Premessa

La gestione degli agenti fisici di rischio in ambiente ospedaliero, e più in generale sanitario, richiede una particolare attenzione nei confronti di una importante sorgente di rischio che sta diffondendosi negli ultimi anni in Italia. Si tratta dei laser medicali che appartengono alla categoria delle cosiddette sorgenti di radiazioni *non ionizzanti*. Essi sono in continua evoluzione sia per tecnologia che per le diverse applicazioni in campo medico e vengono impiegati con ottimi risultati in chirurgia, in fisioterapia e in medicina estetica. Tuttavia, è necessario considerare il fatto che, a causa di una normativa che non contempla in modo specifico le procedure di sicurezza da adottare per tali dispositivi medici, è piuttosto recente l'attenzione ai problemi di sicurezza inerenti al loro uso, che espone a rischi importanti sia i lavoratori addetti che gli utenti. L'attuale quadro normativo, infatti, impone attraverso le "misure generali di tutela" a carico dei datori di lavoro (art. 4 del D.Lgs. 277/91 e artt. 3 e 35 del D.Lgs. 626/94) la regolamentazione dell'impiego dei laser e le relative procedure per la gestione degli aspetti della sicurezza connessi al loro utilizzo.

### 4.2 Identificazione delle sorgenti di rischio e descrizione delle attività connesse al loro utilizzo

L'acronimo L.A.S.E.R. (laser) deriva dalla espressione inglese Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ovvero *amplificazione della luce mediante emissione stimolata di radiazione*. Il fascio laser viene generato attraverso un processo di amplificazione, detto *emissione stimolata*, di un sistema atomico eccitato che costituisce il *mezzo attivo*. Il mezzo attivo può essere costituito da materiale solido, semiconduttore, liquido o gassoso. I mezzi attivi più utilizzati per i laser medicali sono l'Anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), l'Argon, il Krypton, il Neodimio-YAG, l'Holmio-YAG, l'Arseniuro di Gallio (Ga-As).

L'emissione di *luce laser* è caratterizzata da una lunghezza d'onda espressa in nanometri (nm) che determina anche il potere di assorbimento da parte dei tessuti e quindi il loro impiego. Le potenze emesse variano da pochi milliwatt (mW) fino a un centinaio di watt (W). Inoltre l'emissione può essere continua o pulsata. La luce laser è fortemente direzionale e non perde la sua energia nel propagarsi anche per riflessione. Le sue caratteristiche intrinseche ne consentono l'uso in chirurgia per il taglio, la coagulazione e la vaporizzazione di tessuti con estrema precisione e in fisioterapia per la terapia dei dolori articolari e degli stati infiammatori muscolari. Il fascio di radiazione laser, visibile o invisibile, viene in genere utilizzato attraverso fibre ottiche e/o adeguati manipoli o sistemi di specchi che ne consentono l'applicazione nel sito richiesto. In alcune tecniche il fascio viene utilizzato attraverso sistemi di riflessione a specchio collegati a dei micro-manipolatori. In fisioterapia viene utilizzata sia la tecnica *a contatto* sia la tecnica *a scansione* (il fascio viene riflesso da una serie di *specchi* in movimento sincronizzato per irradiare superfici corporee delimitate) per la terapia di diverse patologie a carico di tendini e articolazioni. In chirurgia la possibilità di veicolare il fascio laser attraverso una fibra ottica per via laparoscopica o endoscopica, all'interno del corpo umano, ha aperto nuovi orizzonti consentendo ai chirurghi di migliorare l'efficacia e l'efficienza del loro operato con grandi vantaggi per i utenti. Per tali motivi, e anche per la facilità di impiego, i laser chirurgici sono in crescente diffusione presso strutture sa-



nitarie pubbliche e private in molte specialità, quali ginecologia, otorinolaringoiatria, oculistica, urologia, chirurgia vascolare, pneumologia, odontoiatria, dermatologia, ortopedia, neurochirurgia, cardiocirurgia, gastroenterologia. In campo estetico le sorgenti laser vengono utilizzate per la depilazione cutanea, per l'eliminazione di piccole imperfezioni della cute o per la stimolazione dei tessuti superficiali in associazione a farmaci a uso topico.

Sono inoltre presenti in ambito sanitario:

- sorgenti laser impiegate come sistemi di puntamento dei laser chirurgici o terapeutici e di posizionamento di utenti in radiodiagnostica e radioterapia (classe 2)
- sorgenti laser utilizzate come dissestori di campioni biologici per analisi di anatomia patologica o per indagini spettrometriche (classe 3B).

Il proliferare di queste sorgenti comporta la necessità di valutare attentamente i rischi per i lavoratori addetti e gli utenti, in considerazione del fatto che si tratta di sorgenti classificate ad alto rischio da specifiche norme tecniche. Il simbolo internazionale che identifica tali tipi di sorgenti è quello a fianco.

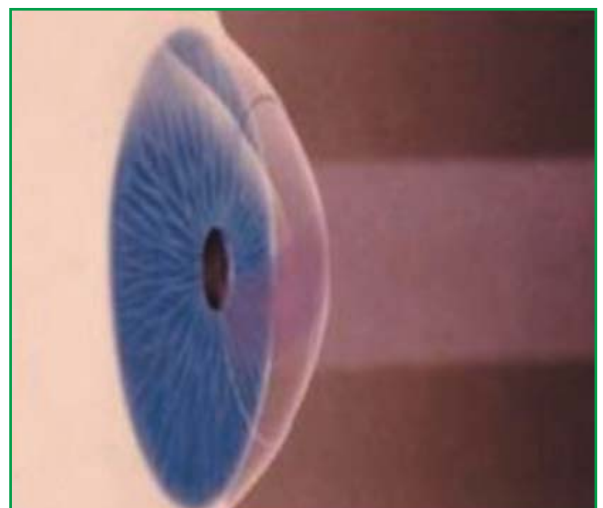


#### 4.3 Individuazione dei soggetti esposti

Facendo riferimento alle attività in cui vengono impiegate le sorgenti prima descritte, i soggetti esposti, oltre agli utenti che vengono sottoposti a specifici trattamenti chirurgici anche ambulatoriali, sono tutti i lavoratori che permangono all'interno degli ambienti in cui le sorgenti laser sono installate e utilizzate. A tal fine si raccomanda l'acquisizione dei nominativi e delle qualifiche degli operatori sanitari che partecipano alle attività che richiedono l'utilizzo di sorgenti laser. Ciò al fine di stabilire degli elenchi dei lavoratori per i quali è necessario effettuare una valutazione dei rischi di esposizione a sorgenti laser, la necessaria formazione e la eventuale sorveglianza medica periodica. Sarà comunque necessario prevedere apposite procedure che forniscano indicazioni ai soggetti esposti e più in generale a tutti coloro che si accingano a frequentare ambienti in cui sono presenti sorgenti laser pericolose (studenti, specializzandi, persone in visita ecc.). L'esposizione fortuita o di tipo incidentale può e in generale deve essere evitata. Nel caso quindi di esposizione non desiderata sarà necessario valutare l'entità dell'incidente e le eventuali implicazioni mediche.

#### 4.4 Individuazione dei rischi nell'utilizzo del laser

Il fascio laser generato da un dispositivo medico per impiego chirurgico o per fisioterapia trasporta la sua energia sulla parte da trattare in vari modi (fibra ottica o manipolo a contatto o tramite sistemi di riflessione a movimento sincronizzato). Ciò si traduce in una serie di rischi potenziali laddove la *luce* laser colpisca accidentalmente una superficie riflettente, come ad esempio un ferro chirurgico non satinato, una parte metallica cromata del tavolo operatorio, di un tavolino servitore o di altri oggetti cromati presenti nei pressi del campo di lavoro. Inoltre gli stessi teli di *tessuto non tessuto* impiegati nel campo operatorio o gli indumenti dei lavoratori addetti possono incendiarsi se accidentalmente colpiti dal fascio. Gli interventi chirurgici in anestesia generale con utilizzo di laser richiedono l'impiego di tubi endotracheali



rivestiti di metallo adatti all'uso, qualora il campo operatorio preveda la vicinanza del fascio laser con il distretto tracheale dell'utente. Ciò al fine di evitare incidenti dovuti all'accensione della miscela gassosa respiratoria, a seguito dell'impatto accidentale tra il fascio laser e un comune tubo endotracheale, in materiale plastico, che attiverebbe la combustione all'interno dell'utente. Gli organi a rischio sono in prima istanza gli occhi e la pelle ma esistono anche dei rischi **collaterali** associati all'utilizzo dei laser. Le sorgenti laser sono classificate in funzione del livello di esposizione massima ammissibile (EMP) per l'occhio e la pelle. In **Tabella 4.1** si riporta la classificazione vigente in classi di rischio crescenti e in **Tabella 4.2** gli effetti della esposizione a radiazione laser per occhi e pelle.

**Tabella 4.1 – Classificazione dei laser** (Norma CEI EN 60825-1; Pubbl. 2003-02)

**Classe 1:** laser che sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, compreso l'impiego di strumenti ottici per la visione diretta del fascio.

**Classe 1M:** laser che emettono radiazione nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 302,5 e 4000 nm, che sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, ma che possono essere pericolosi se l'utilizzatore impiega ottiche all'interno del fascio.

**Classe 2:** laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm, in cui la protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa compreso il riflesso palpebrale. Questa reazione può essere prevista per fornire una protezione adeguata nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, compreso l'impiego di strumenti ottici per la visione diretta del fascio.

**Classe 2M:** laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm, in cui la protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa compreso il riflesso palpebrale. Tuttavia l'osservazione dell'emissione può risultare pericolosa se, all'interno del fascio, l'utilizzatore impiega ottiche.

**Classe 3R:** laser che emettono nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 302,5 e 10<sup>6</sup> nm, in cui la visione diretta del fascio è potenzialmente pericolosa, ma il rischio è inferiore a quello dei laser di classe 3B.

**Classe 3B:** laser che sono normalmente pericolosi in caso di visione diretta del fascio (cioè all'interno della DNRO). Le riflessioni diffuse sono normalmente sicure.

**Classe 4:** laser che sono anche in grado di produrre riflessioni diffuse pericolose. Possono causare lesioni alla pelle e potrebbero anche costituire un pericolo di incendio. Il loro uso richiede estrema cautela.

*NB. Per le apparecchiature immesse sul mercato precedentemente al gennaio 2004 valgono le classi riportate nella versione precedente della norma CEI EN 60825-1 pubblicata nel 1998. Non risultano differenze significative per la gestione delle sorgenti di classe 3B e 4, maggiormente diffuse in ambito sanitario.*

I laser per fisioterapia appartengono in genere alla classe 3B mentre quelli chirurgici, largamente diffusi, appartengono alla classe 4. Esistono anche dei laser cosiddetti *estetici* che vengono utilizzati per la stimolazione cutanea dei tessuti. In genere si tratta di sorgenti il cui mezzo attivo è una miscela di gas He-Ne. Emettono radiazione visibile, la loro potenza non supera generalmente 10 mW e possono appartenere alla classe 2 o 2M (ex classe 2). Tali laser sono compresi nelle attrezzature impiegabili dalle estetiste ai sensi della legge n. 1 del 4/1/90, mentre i laser di classe 3B e 4 devono essere impiegati esclusivamente da personale medico, anche se con finalità di tipo estetico. Ciò in quanto è necessario valutare a priori l'idoneità del soggetto al trattamento tenendo conto dei rischi per la salute che ne possono derivare (ad esempio, contemporanea assunzione di farmaci, fototipo, fragilità capillare ecc.). I rischi per gli occhi e la pelle riassunti in **Tabella 4.2** sono controllabili attraverso l'applicazione di apposite procedure sia in

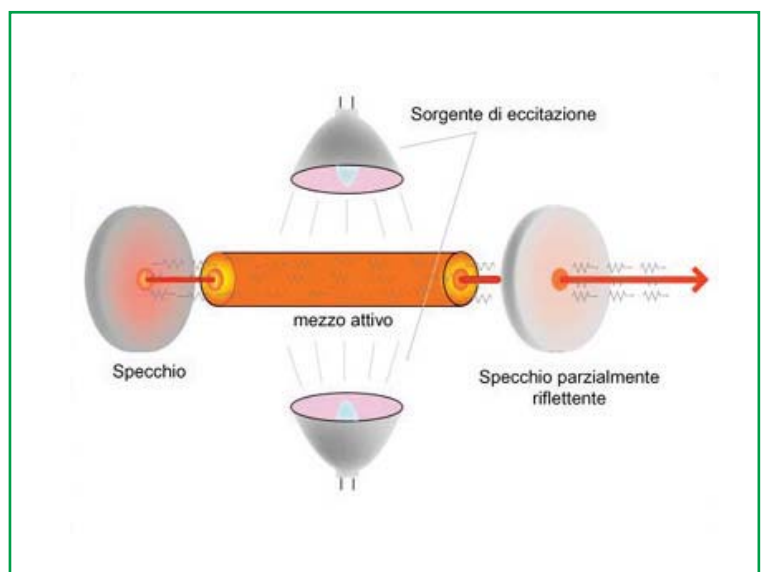
**Tabella 4.2 – Effetti della radiazione laser sull’occhio e la pelle**

| Regione spettrale CIE*                  | Occhio  | Pelle   |   |
|---|---|---|---|
| Ultravioletto C<br>(da 180 nm a 280 nm) | Fotocheratite   | Eritema<br>(bruciatura della pelle)                                 | Processo accelerato di invecchiamento della pelle |
| Ultravioletto B<br>(da 280 nm a 315 nm) |   | Aumento della pigmentazione   |   |
| Ultravioletto A<br>(da 315 nm a 400 nm) | Cataratta fotochimica                                     | Colore più intenso della pigmentazione, reazione di fotosensibilità |   |
| Visibile<br>(da 400 nm a 780 nm)        | Lesione fotochimica e termica della retina                |   | Bruciatura della pelle                            |
| Infrarosso A<br>(da 780 nm a 1400 nm)   | Cataratta e bruciatura della retina                       |   |   |
| Infrarosso B<br>(da 1400 nm a 3000 nm)  | Infiammazione acquosa, cataratta, bruciatura della cornea |   |   |
| Infrarosso C<br>(da 3000 nm a 1 mm)     | Bruciatura della sola cornea                              |   |   |

\*Comité International de l’Eclairage

fase di prima installazione della sorgente laser nell’ambiente di lavoro sia durante l’uso routinario. Paradossalmente i rischi collaterali, che sono meno controllabili, spesso vengono sottovalutati e possono generare danni di elevata entità. I laser di classe 4 possono infatti produrre energia sufficiente a incendiare materiali infiammabili, causare la combustione di gas endogeni (come il metano nel tratto gastro-intestinale dell’utente) e anestetici, bruciare la guaina esterna di un endoscopio (che è di materiale infiammabile), surriscaldare i ferri chirurgici. Durante interventi chirurgici possono svilupparsi fumi tossici e può esservi dispersione di particelle di materiale biologico contaminato.

Si aggiungono a questi rischi quelli tipici derivanti dall’uso di una apparecchiatura elettrica (elettrocuzione) e l’emissione di campi elettromagnetici a radiofre-



quenza o di ultravioletti o anche di raggi X dovuti ai sistemi di *pompaggio del mezzo attivo*. Questi ultimi sono in genere efficacemente schermati dai pannelli di rivestimento dell'apparecchiatura.

#### 4.5 Prevenzione e protezione

In relazione ai rischi considerati, è necessario provvedere al loro controllo e all'avvio di idonee procedure che garantiscano ai lavoratori addetti e ai utenti adeguate condizioni di sicurezza. Per fare ciò il datore di lavoro, in possesso di sorgenti laser di classe 3B o 4, **deve** nominare un **Addetto Sicurezza Laser (ASL)** che, esperto in materia, supporta e consiglia sull'uso sicuro di tali dispositivi medici e sulle relative misure di prevenzione e protezione da porre in atto. L'**Addetto Sicurezza Laser** deve valutare i rischi relativi all'installazione laser, delimitare la **zona laser controllata** e individuarla con apposita segnaletica adesiva e luminosa, scegliere i dispositivi di protezione individuale adatti a ciascuna sorgente, effettuare la valutazione delle condizioni di sicurezza dell'ambiente e dei lavoratori sia in fase di acquisto che durante l'utilizzo della sorgente, partecipare alla attività di formazione del personale operatore, effettuare i test di accettazione di ogni sorgente e i controlli periodici di sicurezza, analizzare tutti gli infortuni e incidenti che riguardano i laser, definire le procedure di sicurezza, definire e mantenere il programma di *assicurazione della qualità* (Norma CEI 76-6 *Sicurezza degli apparecchi laser Parte 8: Guida all'uso degli apparecchi laser in medicina*). Per poter utilizzare in sicurezza queste sorgenti, è necessario prevedere dei corsi di formazione per tutto il personale che opera direttamente o nelle vicinanze di una apparecchiatura laser di classe 3B o 4. È necessario prevedere anche una sorveglianza medica dei lavoratori addetti per valutare l'integrità dei parametri visivi dei soggetti e in particolare effettuare una visita oftalmica preventiva e delle visite periodiche di monitoraggio. Qualsiasi incidente o infortunio provocato dall'uso di un apparecchio laser deve essere segnalato immediatamente all'Addetto Sicurezza Laser che dovrà effettuare un'analisi e dovrà intraprendere delle azioni per evitare il ripetersi dello stesso. Va inoltre istituito un registro su cui riportare tali incidenti o infortuni. È fondamentale assicurare un programma di manutenzione delle apparecchiature da parte di personale qualificato così come un *programma di assicurazione della qualità* (AQ), di cui risponde l'Addetto Sicurezza Laser, per garantire il funzionamento ottimale di ciascuna apparecchiatura sia in termini di prestazioni rese sia in termini di sicurezza. A tale uopo potranno essere utilizzate adeguate procedure e apposite liste di controllo da applicare con le periodicità stabilite dall'Addetto Sicurezza Laser. L'Addetto Sicurezza Laser è la persona che ha la responsabilità di monitorare e aumentare il controllo sui possibili rischi causati dal laser e possiede le conoscenze necessarie per valutare e controllare i rischi causati dai laser. Per installazioni in cui vengono utilizzati apparecchi laser di classe 3B o 4, "l'organismo responsabile" deve nominare un Addetto Sicurezza Laser e definirne le responsabilità. L'Addetto Sicurezza Laser dovrebbe avere la competenza necessaria per informare "l'organismo responsabile" della struttura sanitaria sugli aspetti relativi alla sicurezza laser correlati all'uso dei laser in quella struttura. Le sue responsabilità sono descritte nella tabella seguente che riporta testualmente quanto contenuto nella guida tecnica CEI 76-6.



##### 4.5.1 La formazione dei lavoratori addetti

La conoscenza delle problematiche di sicurezza connesse all'utilizzo dei laser medicali deve essere considerato l'aspetto più importante nella gestione del rischio. La formazione dei lavoratori addetti, peraltro obbligatoria per la vigente normativa, deve prevedere dei corsi mirati e differenziati in modo da adeguarsi alle sorgenti laser da utilizzare e al ruolo delle persone interessate. In partico-

**Responsabilità dell'Addetto Sicurezza Laser**

(Norma CEI 76-6 – Sicurezza degli apparecchi laser, parte 8: Guida all'uso degli apparecchi laser in medicina; pubblicata 02-2001, in vigore dal 1 aprile 2001)

Valutazione dei rischi nella zona di trattamento laser, compresa la determinazione della zona nominale di pericolo

Avviso al responsabile amministrativo e alla persona responsabile della zona di trattamento laser per quanto riguarda le problematiche relative alla sicurezza in fase di acquisto e di messa in opera dell'apparecchio laser, così come le misure di sicurezza per il funzionamento e per il personale

Scelta dei dispositivi di protezione individuale

Partecipazione all'aggiornamento del personale che lavora con il laser o in sua prossimità riguardo ai rischi e alle misure di sicurezza

Partecipazione al controllo e all'approvazione dell'apparecchio laser in base alle regolamentazioni nazionali e verifica che la manutenzione e l'impiego dell'apparecchio siano effettuate da persone che siano state addestrate a tale fine e che siano comunque altrimenti qualificate

Assicurazione, mediante ripetute verifiche, che le misure di controllo prescritte siano efficaci, cioè il controllo dei dispositivi di protezione individuale, che le barriere contro la radiazione laser e la segnaletica laser siano in loco, verifica delle procedure standard di funzionamento, procedure di allineamento, liste di controllo perioperative

Fornire informazioni al capo dell'amministrazione e alla persona responsabile della zona di trattamento laser relativamente a imperfezioni o guasti dell'apparecchio laser

Analisi di tutti gli infortuni e gli incidenti che riguardano i laser, fornendo informazioni sulle misure preventive a coloro che sono coinvolti, compresi gli addetti alla sicurezza della struttura

**Responsabilità aggiuntive possono comprendere**

- a) potere decisionale riguardo a misure di sicurezza tecniche e organizzative
- b) consigli a personale operante con il laser o operante nelle zone laser
- c) ritiro degli apparecchi laser dall'uso, se necessario
- d) avvio di indagini mediche, in caso di segnalazione di infortunio laser
- e) relazione con organismi a livello nazionale

lare dovranno essere previsti dei corsi di formazione di livello base e con contenuti generali destinati a tutti gli operatori sanitari che svolgono la propria attività in prossimità di sorgenti laser. Per gli operatori laser (personale medico e infermieristico) dovranno invece realizzarsi dei corsi di formazione ad hoc della durata minima di 4 ore con i contenuti previsti dalla guida CEI 76-6. In particolare modo la formazione deve essere in grado di trasferire adeguate conoscenze sui rischi per gli operatori stessi e gli utenti derivanti dall'impiego di radiazioni laser, al fine di acquisire comportamenti sicuri nella gestione e utilizzo delle apparecchiature e dei dispositivi di protezione individuale (DPI). I DPI per gli occhi (normalmente occhiali in grado di filtrare adeguatamente la radiazione laser e costruiti secondo norme tecniche specifiche) e quelli per la pelle (indumenti di materiale idoneo) sono in genere sufficienti a eliminare i pericoli diretti più importanti. I lavoratori addetti devono essere inoltre in grado di fornire adeguate informazioni ai soggetti esposti.

**4.5.2 Valutazione dei livelli di esposizione**

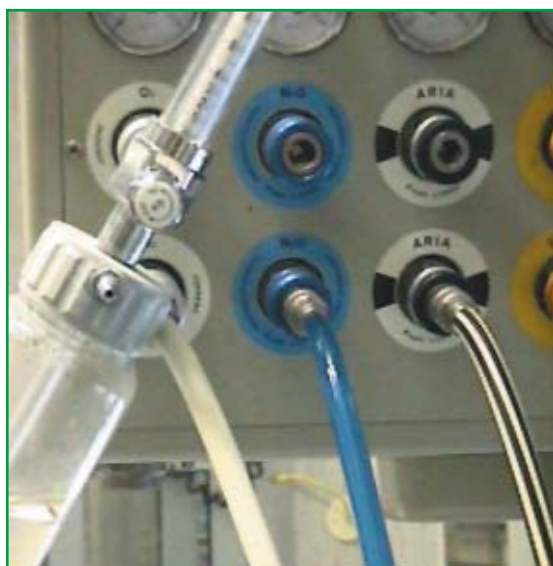
Le apparecchiature emittenti radiazioni laser di cui ogni struttura è dotata o si deve dotare dovrebbero essere sempre in numero e di tipo adeguato alle finalità di impiego.

Al fine di valutare i livelli di esposizione è necessario approntare due tipi di verifiche sperimentali.

### Misure ambientali

Sono misure volte a verificare il corretto confinamento della radiazione laser agli ambienti ove sia utilizzata. Questo tipo di misure è rivolto alla sicurezza dei lavoratori addetti e della popolazione. Vanno effettuate possibilmente in fase preventiva all'installazione dell'apparecchiatura oppure al più presto se la stessa è già operante.

È necessario sottolineare che anche l'esposizione indiretta a fonti di radiazione laser conseguente a fenomeni di riflessione può essere causa degli effetti dannosi citati. Pertanto dovrà essere valutata attentamente l'idoneità degli ambienti in cui sono installate le sorgenti. In particolare dovranno evitarsi superfici cromate e lucidate a specchio (ad esempio, tavolini servitori, accessori per i lettini operatori, ferri chirurgici non satinati, rubinetterie, telai di porte e/o finestre, vetrine, cornici cromate di negativoscopi o orologi di sala operatoria ecc.). In presenza di tali condizioni, si dovranno adottare tutti i provvedimenti necessari per rendere non riflettenti tali superfici (ad esempio, ricoprendole con dei teli di tessuto di cotone pesante o satinandole o impiegando vernici opache). La presenza in sala operatoria di tubi plastici per il trasporto di gas medicali può costituire una fonte di rischio e pertanto dovranno essere ricoperti, durante gli interventi con laser chirurgici a trasmissione diretta (ad esempio, CO<sub>2</sub>) con materiali idonei (cotone pesante o alluminio opaco in fogli).



### Misure di emissione

Sono misure volte a verificare il buon funzionamento delle apparecchiature e vanno eseguite secondo quanto previsto nella norma CEI EN 60601-2-22. Questo tipo di misure è necessario al fine di garantire adeguata sicurezza ai soggetti esposti e ai lavoratori addetti. Per la peculiarità e complessità di tali verifiche è necessario avvalersi di personale competente e con dimostrata esperienza nel settore. Nell'ambito di strutture sanitarie è possibile avvalersi dei Servizi di Fisica Sanitaria ove disponibili.



#### 4.5.3 Verifiche strumentali sulle prestazioni di funzionamento delle apparecchiature laser

Al fine di controllare le prestazioni di funzionamento delle apparecchiature e dei sistemi di protezione è necessario eseguire delle verifiche strumentali, e in particolare delle misure fisiche, che possono essere effettuate secondo quanto indicato dalla citata norma CEI EN 60601-2-22 del 1997 (classificata CEI 62-42).

##### 4.5.3.1 Verifica prestazioni di funzionamento delle apparecchiature

All'atto dell'installazione di una nuova apparecchiatura devono essere fornite dal produttore dell'apparecchiatura le caratteristiche di emissione della sorgente laser. Tali caratteristiche devono essere verificate in fase di collaudo (prove di accettazione).

I controlli sulle sorgenti laser devono essere effettuati con le periodicità indicate nella norma CEI 76-6, e comunque periodicamente (prove di costanza) e dopo rilevanti interventi di manutenzione e/o riparazione (prove di stato) nell'ambito di un programma di *assicurazione della qualità* come citato nelle stesse norme CEI. Le misure strumentali dovranno essere eseguite con strumentazione idonea alla potenza erogata, lunghezza d'onda e modalità di emissione (continua e/o pulsata) della sorgente laser verificata secondo le modalità indicate dalle pertinenti norme tecniche.

##### 4.5.3.2 Verifica dei sistemi di segnalazione e sicurezza

All'esterno di ogni locale di trattamento (zona laser controllata) deve essere affissa opportuna segnaletica indicante la presenza di radiazione laser e deve essere installato un segnalatore luminoso indicante il funzionamento delle apparecchiature. Ove previsto deve essere applicata apposita segnaletica di prescrizione delle protezioni oculari.

All'atto dell'installazione e periodicamente va verificato il corretto funzionamento dei segnalatori luminosi all'esterno dei locali. Inoltre va verificato il corretto funzionamento degli interruttori di emergenza posti sugli apparecchi laser e dei cavi per l'alimentazione e per il pedale erogazione raggi. Devono essere affisse in tali ambienti adatte norme comportamentali e di sicurezza per i lavoratori addetti e gli utenti.



##### 4.5.3.3 Caratteristiche delle apparecchiature

Le apparecchiature, se prodotte dopo il 14 giugno 1998, devono ottemperare a quanto disposto dalla direttiva 93/42/CEE recepita dal decreto legislativo 46/97 in materia di dispositivi medici. Per tali apparecchiature è prevista:

- la marcatura CE riportante il codice numerico dell'ente che ne ha verificato la conformità alla direttiva 93/42/CEE
- opportuna documentazione in lingua italiana nella quale viene dichiarata la conformità alle normative CEE pertinenti



- segnaletica di avvertimento o pericolo con scritte nere su fondo giallo in lingua italiana
- etichettatura ben visibile riportante i dati di “targa” dell’apparecchiatura (potenza, lunghezza d’onda, classe di rischio ecc.) compreso il numero di serie e/o matricola
- istruzioni per l’installazione, uso e manutenzione, in lingua italiana, comprendenti le necessarie informazioni di sicurezza.

Inoltre deve essere garantita la sicurezza elettrica mediante apposite prove che tengano conto di quanto indicato nella norma CEI 62-5. Le caratteristiche di funzionamento e di sicurezza devono essere mantenute mediante un programma adeguato di manutenzione, secondo le indicazioni del fabbricante e tramite delle verifiche periodiche secondo quanto stabilito dall’Addetto Sicurezza Laser nel programma di assicurazione della qualità. Per le apparecchiature più datate è necessario verificare la conformità alle norme vigenti al momento della loro produzione, fermo restando che devono essere sottoposte anch’esse a manutenzione periodica e ai controlli citati.

#### 4.5.4 Uso dei Dispositivi di Protezione Individuali (DPI)

Devono essere a disposizione dei lavoratori addetti e dei soggetti esposti i DPI, in particolare occhiali o indumenti di protezione. Per quanto riguarda gli occhiali è necessario che sia specificato per quale tipo di radiazione laser (modalità di emissione e lunghezza d’onda) e quindi di apparecchiatura forniscono protezione. È inoltre da sottolineare che gli occhiali devono poter garantire anche la protezione da incidenza obliqua. Gli occhiali dovranno essere costruiti conformemente alle norme UNI EN 207:2000 relativamente alla tipologia di impiego delle sorgenti laser e recare la marcatura CE. Gli occhiali di protezione devono essere sempre in numero adeguato agli utenti e ai lavoratori addetti interessati dalle emissioni laser e adeguati al tipo di attività svolta.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta ai lavoratori addetti portatori di occhiali da vista. Per questi dovranno essere scelti occhiali confortevoli da potere indossare sopra quelli da vista. Qualora un DPI sia manomesso o non integro deve essere immediatamente sostituito. Per gli indumenti di protezione, necessari in caso di utilizzo di laser di classe 4, è consigliato l’utilizzo di camici di cotone pesante. Per il campo operatorio sono da evitare i teli di tessuto non tessuto (TNT) in quanto facilmente infiammabili quando investiti da fasci laser chirurgici.



#### 4.6 Riferimenti normativi

D.P.R. 9.6.1975 n. 482

D.Lgs. 19 settembre 1994 n. 626 e s.m.i. – Allegato IV

**Norme tecniche**

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>CEI 76</b>            | Guida per l'utilizzazione di apparati laser   |
| <b>CEI EN 60825-1</b>    | Sicurezza degli apparecchi laser<br>Parte 1: Classificazione delle apparecchiature, prescrizioni e guida per l'utilizzatore |
| <b>CEI EN 61040</b>      | Rilevatori, strumenti e apparati per la misura della potenza e dell'energia della radiazione laser                          |
| <b>CEI EN 60825-4</b>    | Sicurezza degli apparecchi laser<br>Parte 4: Barriere per laser   |
| <b>CEI 76-6</b>          | Sicurezza degli apparecchi laser<br>Parte 8: Guida all'uso degli apparecchi laser in medicina                               |
| <b>CEI EN 60601-2-22</b> | Apparecchi elettromedicali<br>Parte 2: Norme particolari per la sicurezza degli apparecchi laser terapeutici e diagnostici  |
| <b>UNI EN ISO 11554</b>  | Laser e sistemi laser – Metodi di prova della potenza del fascio, dell'energia e delle caratteristiche temporali            |
| <b>UNI EN 207</b>        | Filtri e protettori dell'occhio contro radiazioni laser   |
| <b>UNI EN 208</b>        | Protettori dell'occhio per i lavori di regolazione sui laser e sistemi laser  |

**4.7 Tavola sinottica delle procedure per la sicurezza**

Il seguente elenco riassume unicamente le procedure ritenute indispensabili ai fini specifici dell'esposizione a laser in ambito sanitario e non è esaustivo degli obblighi delle diverse figure coinvolte per i quali occorre fare riferimento alla norma CEI 76-6.

**Fabbricante dell'apparecchiatura**

| <b>Deve</b>   | <b>Quando</b>  |
|---|--|
| Dichiarare la conformità alle norme di sicurezza CEI e alla direttiva 93/42/CEE | All'atto della costruzione dell'apparecchiatura      |
| Caratterizzare le emissioni (UV, EM, Laser)                                     | Al termine della costruzione mediante misure fisiche |
| Indicare/fornire adeguati DPI   | All'atto della consegna dell'apparecchiatura         |
| Etichettare il prodotto   | Al termine della costruzione e marcatura CE          |
| Fornire il manuale di istruzioni e uso in lingua italiana                       | All'atto della consegna dell'apparecchiatura         |

**Responsabile della struttura sanitaria**

| Deve  | Quando   |
|---|--|
| Provvedere a verificare l'idoneità degli ambienti e delle condizioni operative per i lavoratori addetti | Prima dell'installazione   |
| Provvedere alla formazione dei lavoratori addetti anche neoassunti                                      | Prima dell'utilizzo dell'apparecchiatura                           |
| Verificare la presenza del manuale di istruzioni e uso in lingua italiana                               | Prima dell'utilizzo dell'apparecchiatura                           |
| Verificare la corrispondenza dell'installazione con il progetto preventivo                              | Prima dell'utilizzo dell'apparecchiatura                           |
| Predisporre i controlli periodici di sicurezza e sulle emissioni  | Prima dell'utilizzo dell'apparecchiatura                           |
| Verificare il buon esito dei controlli  | Alle scadenze previste   |
| Aggiornare i lavoratori addetti   | A ogni modifica delle apparecchiature o delle modalità di utilizzo |

**Medico responsabile dell'utilizzo di radiazioni laser**

| Deve   | Quando  |
|--|---|
| Informare l'utente dei rischi specifici legati all'esposizione laser                     | Al momento del consenso informato                                   |
| Informare l'utente delle precauzioni da seguire durante la diagnostica/terapia/chirurgia | Al momento della programmazione della diagnostica/terapia/chirurgia |
| Verificare eventuali reazioni dell'utente alle radiazioni laser                          | Alla prima seduta   |
| Intervenire in caso di reazione atipica alla terapia                                     | Durante la terapia e al termine di essa                             |

**Soggetto esposto a radiazioni laser**

| Deve  | Quando  |
|---|---|
| Ricevere adeguata informazione sui rischi derivanti dalla esposizione a radiazioni laser                      | Alla firma del consenso informato   |
| Segnalare al medico responsabile della applicazione laser l'assunzione di farmaci non prescritti dallo stesso | A ogni seduta e in particolare prima di iniziare la diagnostica/terapia/chirurgia |
| Segnalare ogni reazione atipica   | All'insorgenza della reazione   |
| Utilizzare correttamente i DPI se previsti e osservare le norme di sicurezza                                  | A ogni seduta   |

**Operatore/utilizzatore laser**

| Deve  | Quando   |
|---|--|
| Effettuare la formazione necessaria   | Secondo i programmi previsti                                 |
| Verificare presenza, adeguatezza e buono stato dei DPI  | Quotidianamente  |
| Rispettare le norme di sicurezza  | Quotidianamente  |
| Segnalare all' <i>Addetto Sicurezza Laser</i> anomalie ed eventualmente interrompere l'attività se necessario | Quando intervengano malfunzionamenti o anomalie              |
| Informare dei rischi e delle procedure di sicurezza i soggetti da sottoporre a radiazioni laser               | Alla prima seduta con lo specifico utente o soggetto esposto |
| Rispettare il programma di terapia  | A ogni seduta  |
| Compilare la scheda personale dell'utente per registrare gli irraggiamenti effettuati                         | A ogni seduta  |
| Segnalare al personale medico eventuali reazioni atipiche degli utenti  | A ogni insorgenza di reazioni atipiche                       |

**4.8 Glossario**

**Addetto Sicurezza Laser (ASL):** persona che ha la responsabilità di monitorare e aumentare il controllo sui possibili rischi causati dal laser e possiede le conoscenze necessarie per valutare e controllare i rischi causati dai laser (CEI 76-6). L'*Addetto Sicurezza Laser* è in genere nominato dal Direttore Generale/legale rappresentante o suo delegato e fa parte dell'organigramma della sicurezza. Tale soggetto collabora alla redazione del Documento di Valutazione dei Rischi (art. 4 D.Lgs. 626/94) e al suo aggiornamento

**Blocco a sicurezza intrinseca:** blocco che, in caso di guasto di un suo singolo componente meccanico o elettrico, forza o mantiene il sistema in condizioni di sicurezza (ad esempio, disattivazione del fascio laser)

**Classificazione dei laser:** le classi che indicano in ordine crescente il grado di pericolosità dei sistemi laser in funzione del quale devono essere adottate opportune precauzioni. La classificazione del fascio laser deve essere effettuata dal costruttore sulla base dei LEA e di opportuni parametri correttivi (Norma CEI EN 60825-1)

**Distanza Nominale di Rischio Oculare (DNRO):** distanza dall'apertura laser al disotto della quale l'irradiazione o l'esposizione energetica sono ritenute maggiori della EMP

**Esposizione energetica:** energia radiante per unità di area irradiata, espressa in joule per metro quadrato ( $J/m^2$ )

**Esposizione Massima Permessa (EMP):** livello di radiazione a cui, in normali circostanze, la pelle o l'occhio possono rimanere esposti senza riportarne effetti negativi. È funzione della lunghezza d'onda, della durata dell'esposizione, della modulazione e dell'organo colpito. È definita da specifiche tabelle

**Incidente:** situazione potenzialmente pericolosa che potrebbe causare una lesione all'utente e/o al personale

**Infortunio:** incidente che provoca una lesione

**Irradiazione:** flusso radiante, in watt per unità di area irradiata ( $W/m^2$ )

**Limite di Emissione Accessibile (LEA):** livello massimo di emissione accessibile permesso in una particolare classe; la valutazione del livello di emissione del sistema, paragonato al LEA, consente la classificazione del sistema laser (vedasi Classificazione)

**Operatore laser:** persona che regola i controlli laser (ad esempio, impostazione dei parametri, interruttore di attivazione). L'operatore laser può anche essere lo stesso utilizzatore laser

**Organismo Responsabile:** gruppo o individuo responsabile dell'uso e della manutenzione dell'apparecchiatura e del corretto addestramento degli *operatori* laser e degli *utilizzatori* laser

**Potenza radiante:** potenza emessa, trasmessa o ricevuta sotto forma di radiazione, espressa in watt (W)

**Radiazione laser accessibile:** radiazione laser a cui può essere esposto l'occhio o la pelle durante il normale utilizzo del sistema. La radiazione laser accessibile può essere spesso inferiore alla massima uscita potenziale del laser grazie alla presenza di involucri, l'uso di filtri o di altri dispositivi che limitino la potenza emessa

**Struttura sanitaria:** ospedali, poliambulatori per utenti esterni, cliniche o altre strutture in cui il laser possa essere utilizzato a fini diagnostici *in vivo* o per fini chirurgici o terapeutici su esseri umani

**Utilizzatore laser:** persona che controlla la trasmissione della radiazione laser nell'area di lavoro

**Zona controllata laser:** zona in cui si applicano i controlli per la sicurezza laser

**Zona Nominale di Rischio Oculare (ZNRO):** zona intorno al fascio laser all'interno della quale l'irradiazione o l'esposizione energetica è ritenuta superiore all'EMP.

#### 4.9 Bibliografia

Allen L, Essentials of Lasers, Pergamon Press

Cubeddu R, Donati S, Marchesini R, Sona A, Sicurezza LASER, AEI, 1994

Goldman L, Rockwell RJ, Lasers in medicine, Gordon and Breich, NY, 1971

Maitland A, Dunn MH, Laser Physics, North Holland Publishing Co

Pratesi R, Luce e Laser in medicina e chirurgia e in biotecnologie, 1995

Sliney D, Wolbarst M, Safety with Lasers and other optical sources, Plenum Press, NY, 1980



## 5. SORVEGLIANZA SANITARIA DEI LAVORATORI ESPOSTI A SORGENTI DI RADIAZIONI NON IONIZZANTI

L'obbligatorietà o meno della sorveglianza sanitaria per le esposizioni lavorative a radiazioni non ionizzanti, e in particolare ai campi elettromagnetici a bassa frequenza (ELF), radiofrequenza (RF) e microonde (MO), è stata oggetto negli anni scorsi di ampia discussione.

Un riferimento normativo esplicito riguarda solo i lavoratori addetti alla Risonanza Magnetica (RM) per i quali sono previsti controlli medici “almeno annuali” (D.M. 2/08/1991 e s.m.i.).

Il D.P.R. 303/56 cita alla voce 46 della tabella allegata all'art. 33 le “radiazioni ultraviolette ed infrarosse”, limitando però il ricorso a visite semestrali alle “applicazioni industriali dei raggi UV e IR e alla saldatura ad arco”.

Sempre il D.P.R. 303/56 all'art. 34 richiama l'obbligatorietà delle visite mediche per le lavorazioni “soggette all'assicurazione obbligatoria contro le malattie professionali” e che si svolgono a giudizio dell'Ispettorato del lavoro, ora della ASL – Servizio Prevenzione e sicurezza negli ambienti di lavoro, in condizioni particolarmente pregiudizievoli alla salute dei lavoratori che vi sono addetti. Questo richiamo fa includere nella obbligatorietà le voci previste dal D.P.R. 336/94, quale la voce 51, lettera b), “malattie causate da laser e onde elettromagnetiche”.

Il D.Lgs. 626/94 e s.m.i. pur precisando all'art. 16 che la “sorveglianza sanitaria è effettuata nei casi previsti dalla normativa vigente”, prevede all'art. 17, comma i), che “il medico competente [...] effettua le visite mediche richieste dal lavoratore qualora tale richiesta sia correlata ai rischi professionali”. Questa possibilità, pur limitata a una esplicita richiesta fatta dal lavoratore, conferma sicuramente il principio che una sorveglianza sanitaria, pur non obbligatoria, è auspicabile quando è prevedibile un effetto sanitario per l'esposizione a un rischio professionale.

Sempre nel D.Lgs. 626/94 e s.m.i. all'art. 3 “misure generali di tutela”, comma 1, si trova una ulteriore conferma al principio sopra espresso laddove si indica tra le misure generali per la protezione della salute e per la sicurezza dei lavoratori il “controllo sanitario dei lavoratori in funzione dei rischi specifici”.

Il problema rimane quindi legato a una corretta analisi dei rischi finalizzata alla predisposizione del documento previsto dall'art. 4 del D.Lgs. 626/94 e s.m.i., che non può non tenere conto della presenza di sorgenti di radiazioni non ionizzanti, i cui effetti sanitari acuti e/o cronici risultano molto probabili, probabili o possibili in base alla entità o modalità di esposizione.

Anche il recente Decreto del Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali del 27 aprile 2004, contenente il nuovo elenco delle malattie per le quali è obbligatoria la denuncia ai sensi e per gli effetti dell'art. 139 del testo unico, nel gruppo 2 della lista delle “malattie la cui origine è di elevata probabilità”, riporta gli agenti di rischio: radiazioni ultraviolette (voce 08), laser (voce 09), radiazioni infrarosse (voce 10), radiofrequenze e microonde (voce 11). L'inclusione di questi agenti nella Lista 1, cioè tra i patogeni capaci di produrre malattie con nesso causale esposizione/danno di elevata probabilità, depone per la necessità di introdurre misure di sorveglianza degli esposti.

Residue incertezze sulla necessità della sorveglianza sanitaria dovrebbero essere fugate dalla legge quadro n. 36 del 22 febbraio 2001 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettromagnetici, che all'art. 4, comma 2, recita che “viene prevista una disciplina per la sorveglianza medica sulle lavoratrici e i lavoratori professionalmente esposti”, ferme restando le disposizioni previste dal D.Lgs. 626/94 e s.m.i.

La citata Legge Quadro 36/01 rimanda alla emanazione di successivi decreti la disciplina di “limiti di esposizione, valori di attenzione, obiettivi di qualità e regime di sorveglianza medica sulle lavoratrici e sui lavoratori professionalmente esposti”.

Più recentemente la direttiva europea 2004/40/CE del 29 aprile 2004, riguardante la esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici, precisa all'art. 8 che “ai fini della prevenzione e della diagnosi precoce di qualunque effetto negativo per la salute imputabile alla esposizione a campi elettromagnetici, una adeguata sorveglianza sanitaria è effettuata a norma dell'articolo 14 della direttiva 89/391/CEE”.



Per la predisposizione del piano di sorveglianza sanitaria il medico competente, nominato ai sensi dell'art. 16 del D.Lgs. 626/94 e s.m.i., terrà conto pertanto di tutti gli elementi che emergeranno dal documento di valutazione dei rischi circa le modalità e tempi di esposizione, compresi i risultati di misurazioni effettuate sul campo.

In attesa delle più precise indicazioni previste dalla legge 36/01 e del recepimento della direttiva 2004/40/CE, utili riferimenti per l'avvio della sorveglianza sanitaria sono ovviamente i limiti indicati dall'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Nel caso siano superati i limiti di esposizione previsti per i lavoratori la sorveglianza sanitaria sarà più che giustificata; da valutare invece con attenzione, tenendo presente l'intero contesto e modalità di esposizione, quando i valori saranno compresi tra quelli definiti per i lavoratori e quelli stabiliti per la popolazione generale.

Gli accertamenti sanitari preventivi e periodici dovranno essere correlati ovviamente sia alla entità della esposizione, sia ai possibili effetti acuti o cronici provocati dalle diverse tipologie di radiazioni sull'organismo intero o su specifici organi bersaglio. In fase preventiva si dovranno evidenziare le controindicazioni alla esposizione e la presenza di fattori individuali predisponenti lo sviluppo di patologie.

Non vi è ancora un protocollo condiviso circa le modalità di esecuzione degli accertamenti, indagini cliniche e di laboratorio integrative e periodicità degli stessi, a causa delle incertezze ancora esistenti per alcuni degli effetti possibili, soprattutto di tipo stocastico.

Ciò rende ancora più importante rapportare il controllo sanitario alla effettiva modalità di esposizione e alle caratteristiche individuali dei lavoratori. Utili risultano comunque come riferimento i recenti documenti elaborati dalle Società Scientifiche delle discipline interessate (Associazione Italiana di Radioprotezione Medica – AIRM; Società Italiana di Medicina del Lavoro ed Igiene Industriale – SIMLII).

Occorre sottolineare inoltre che spesso l'esposizione a NIR in ambiente sanitario è associata ad altri rischi lavorativi di natura ergonomica, fisica, chimica o biologica. Ci si trova quindi nella situazione di integrare un piano di sorveglianza sanitaria già esistente con accertamenti mirati ai campi elettromagnetici a bassa frequenza (ELF), radiofrequenza (RF) e microonde (MO) nonché alle sorgenti UV e ai laser.

È utile ricordare, infine, che l'esito degli accertamenti medici va tenuto in considerazione per la predisposizione (o l'aggiornamento o la rivalutazione) delle altre misure di prevenzione: informazione, formazione, adozione di mezzi di protezione generale, dispositivi di prevenzione individuali.



## 6. SCHEDA OPERATIVA PER L'IMPOSTAZIONE DI UN PROGRAMMA PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA NELL'IMPIEGO DI SORGENTI DI RADIAZIONI NON IONIZZANTI (ELF-RF-MO/UV/LASER) IN AMBITO SANITARIO

|  |
|--|
| Effettuare un censimento delle sorgenti e una verifica dei livelli di emissione negli ambienti di lavoro attraverso idonee misure strumentali e controlli periodici  |
| Limitare ai soli lavoratori addetti l'accesso agli ambienti in cui sono presenti le sorgenti ELF-RF-MO/UV/Laser  |
| Informare e formare i lavoratori addetti circa i rischi connessi a tali sorgenti ed esporre nei luoghi a rischio apposite norme operative e comportamentali  |
| In caso di sorgenti a elevata intensità di irradiazione, apporre adeguati cartelli segnaletici anche luminosi sulle vie di accesso ai locali a rischio   |
| Evitare inutili permanenze nei locali a rischio se non per il tempo necessario a effettuare la prestazione richiesta, mantenendosi il più lontano possibile dalle sorgenti e facendo uso dei DPI se previsti   |
| Utilizzare sorgenti con caratteristiche costruttive idonee all'impiego e minimizzare, con l'uso di materiali adatti, la riflessione non desiderata (ad esempio, un muro intonacato bianco riflette circa il 65% di radiazione UV)  |
| Proteggere adeguatamente il personale a rischio di esposizione. Per gli occhi è necessario prevedere appositi occhiali con schermi laterali in grado di filtrare le radiazioni Laser/UV e trasmettere adeguatamente quella visibile. Per la pelle delle mani, delle braccia o di altre parti esposte vanno usati materiali con adeguate proprietà assorbenti (popeline o flanelle a trama fitta per gli UV; cotone pesante per la radiazione laser) avendo cura di non utilizzare materiali trasparenti agli UV (cotone, batista, voile e nylon) o facilmente infiammabili con i laser chirurgici (teli o camici di Tessuto Non Tessuto) |
| Per sorgenti che emettono UV di lunghezza inferiore a 245 nm si può verificare formazione di ozono per interazione con l'ossigeno atmosferico. Per evitare elevate concentrazioni di ozono è necessario garantire una idonea ventilazione negli ambienti in cui sono presenti tali sorgenti  |
| Predisporre un programma di sorveglianza sanitaria per i soggetti professionalmente esposti a radiazioni ELF-RF-MO/UV/Laser  |
| Predisporre un programma di <i>assicurazione della qualità</i> che preveda controlli e prove negli ambienti e sulle apparecchiature  |
| Avvalersi di personale con adeguata formazione e competenza nel campo delle sorgenti citate, ad esempio dei Servizi di Fisica Sanitaria ove disponibili  |



## LE RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE NON IONIZZANTI

L'introduzione del concetto di campo elettrico e di campo magnetico permette di descrivere, da un punto di vista fisico-matematico, l'interazione tra cariche elettriche, siano esse ferme o in movimento.

I fenomeni dell'attrazione elettrica tra cariche opposte e dell'allineamento di oggetti ferromagnetici (ad esempio, l'ago di una bussola) al campo magnetico sono due fenomeni noti comunemente e (inizialmente) descritti e studiati come distinti: campo elettrico e campo magnetico.

La carica elettrica è, al pari della massa, una caratteristica fondamentale della materia. Gli atomi sono però formati, in condizioni normali, da un numero eguale di particelle con carica positiva (protoni) e particelle con carica negativa (elettroni), oltre che da particelle neutre, cioè senza carica (neutroni). Pertanto da un punto di vista macroscopico non si ha immediata evidenza dell'esistenza del campo elettrico e delle cariche stesse. A seguito di sollecitazioni (ad esempio, lo strofinio di un panno su un materiale plastico adeguato) si ha una ridistribuzione spaziale delle cariche che induce a livello macroscopico la presenza di campo elettrico. Le leggi fisiche che descrivono il campo elettrico generato da cariche ferme sono del tutto analoghe a quelle che descrivono la forza gravitazionale. L'unica sostanziale differenza è che, a differenza della massa, come detto le cariche possono essere positive e negative.

Il concetto di campo magnetico è stato introdotto invece per spiegare i fenomeni di attrazione tra magneti, come il già ricordato allineamento dell'ago della bussola o la repulsione tra calamite.

È stato dimostrato, fin dalla seconda metà del XIX secolo, che campo elettrico e campo magnetico sono due aspetti del medesimo fenomeno, e in particolare che quando si accelerano delle cariche elettriche si ha la generazione di campo magnetico. Inoltre è possibile, dal punto di vista qualitativo, descrivere il fenomeno dei campi magnetici semplicemente come effetto della rotazione delle cariche elettriche fondamentali (gli elettroni) e della interazione tra le stesse.

Pertanto quando si ha una modifica del campo elettrico si induce una modifica del campo magnetico, e viceversa, e si ha una modifica del campo elettromagnetico che si propaga nello spazio. Infatti, come il suono, anche queste modifiche non si possono propagare a velocità infinita.

Si parla quindi di radiazione elettromagnetica riferendosi propriamente a questo "segnale" che si propaga anche nel vuoto oltre che in mezzi fisici come l'aria (a dimostrazione di ciò si pensi che sulla terra arriva la radiazione solare, in particolare la luce visibile, nonostante il vuoto tra il nostro pianeta e il sole stesso).

La **velocità** ( $c$ ) di propagazione della radiazione è circa 300000 chilometri al secondo nel vuoto (e di fatto anche nell'aria). Quindi, da un punto di vista pratico, se parliamo di apparecchiature utilizzate in ambito sanitario, nella maggior parte dei casi la modifica di campo giunge in modo istantaneo nello spazio attorno alla apparecchiatura che genera il segnale (per percorrere 3 metri la radiazione impiega 0,00000001 secondi!).

Se all'interno di un materiale metallico facciamo scorrere della corrente elettrica (cioè facciamo muovere delle cariche elettriche) non continua (come quella erogata da una batteria), ma alternata (come quella che alimenta gli impianti elettrici delle nostre case), le cariche sono continuamente accelerate e decelerate in modo da ottenere così una corrente variabile. Per quanto detto attorno al materiale si forma un segnale elettromagnetico. Sistemi più o meno sofisticati in grado di generare tali correnti costituiscono le sorgenti emittenti un campo magnetico e sono in grado di propagarle nello spazio tramite antenne (ad esempio, quelle radiotelevisive). Tali antenne sono caratteristiche di alcune apparecchiature generatrici di microonde e radiofrequenze.

Alternativamente se la materia si surriscalda ha la tendenza a emettere radiazione elettromagnetica (si pensi al sole, ma anche più semplicemente al fuoco di un camino che diventa luminoso). Il fenomeno è qualitativamente comprensibile se si pensa che al riscaldamento della materia (cioè



all'innalzamento della sua temperatura) corrisponde un aumento della intensità delle vibrazioni degli atomi di cui ogni corpo è composto (ecco perché un corpo solido se riscaldato oltre certe temperature si scioglie e diventa liquido vincendo le forze di legame che lo rendono solido); le cariche costituenti gli atomi si muovono pertanto a velocità maggiori e sono continuamente soggette a urti e quindi ad accelerazione e decelerazioni. In realtà ogni corpo emette delle radiazioni in funzione della sua temperatura. Tipico esempio del fenomeno è la lampadina che si illumina quando è attraversata da una corrente che riscalda il filamento.

Altri sistemi di generazione di campi elettromagnetici, come la scarica elettrica in un gas o la generazione di radiazioni laser, necessiterebbero di una trattazione la cui complicazione è al di là dell'obiettivo di queste linee guida. Basti sottolineare che anche in questo caso si ha la formazione di un segnale elettromagnetico che si propaga nello spazio.

Le modifiche del campo elettromagnetico generate dalle apparecchiature di interesse in queste linee guida sono di tipo periodico, nel senso che la generazione di segnale avviene con una **frequenza** di ripetizione ( $\nu$ ) che caratterizza la radiazione, misurata in hertz, cioè cicli al secondo. Ad esempio, una frequenza di 50 Hz significa che in un punto dello spazio il fenomeno si ripete allo stesso modo per 50 volte in un secondo.

Quando si è a distanze sufficientemente grandi rispetto al sistema di generazione della radiazione essa si propaga in forma di onda, e si parla appunto di onde elettromagnetiche. È così possibile definire anche la **lunghezza d'onda** ( $\lambda$ ) come spazio percorso dall'onda in un periodo.

Le tre grandezze sopra definite sono correlate dalla relazione

$$\lambda \cdot \nu = c$$

Esiste poi una seconda relazione fondamentale che viene derivata dalla trattazione *quantistica* della radiazione elettromagnetica. Per semplicità basta notare come venga stabilita una relazione di proporzionalità tra la frequenza della radiazione e il **quanto di energia** trasportata dalla radiazione (ovvero la quantità di energia che la radiazione può scambiare con la materia a livello atomico-molecolare) detto anche fotone. Questa seconda relazione è:

$$E = h\nu$$

dove "E" è l'energia del quanto e "h" è una costante chiamata "costante di Planck" [( $h = 6,672 \cdot 10^{-34}$  J x s), dove "J" = joule (unità di misura dell'energia) e "s" = secondo (tempo)].

Lo schema presentato in **Tabella A.1** riporta i nomi delle unità di misura utilizzate per la descrizione delle grandezze frequenza, lunghezza d'onda ed energia e la loro relazione con le unità di misura secondo, metro e joule.

La radiazione elettromagnetica può quindi essere descritta in modo del tutto equivalente in termini di frequenza, di lunghezza d'onda o di energia del quanto. La classificazione e organizzazione delle diverse radiazioni in questi termini è chiamata "spettro elettromagnetico", mostrato in **Figura A.1**.

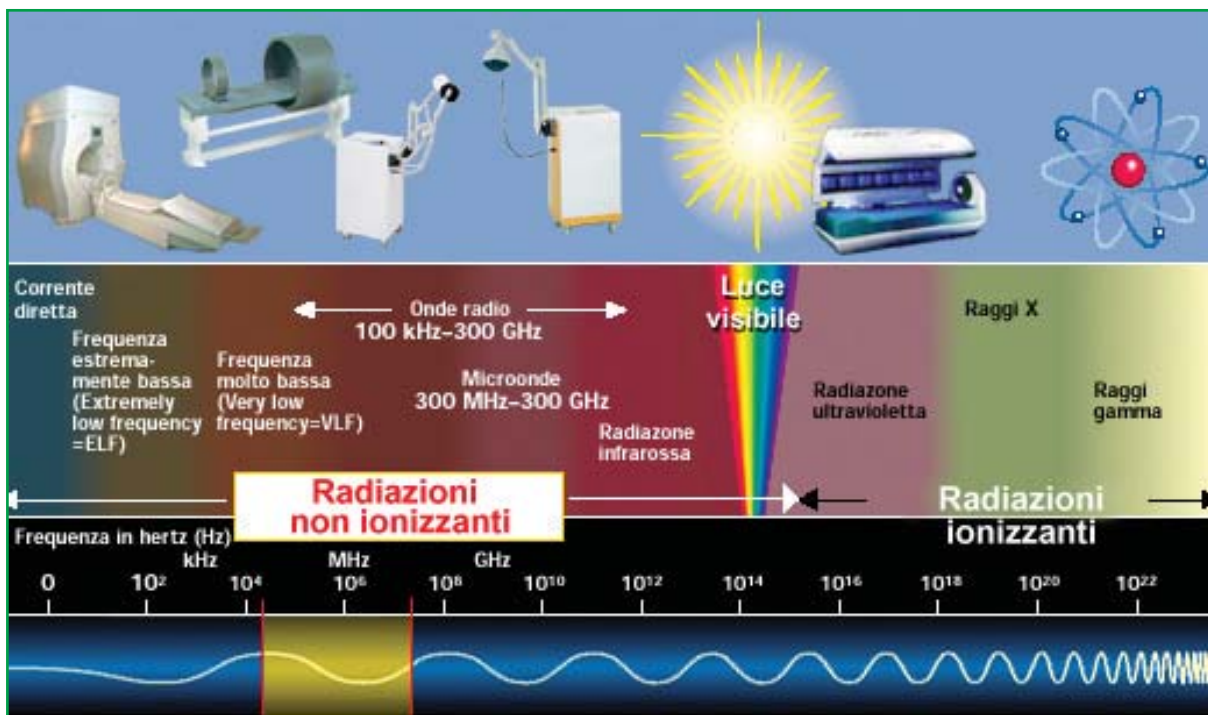
L'interazione della radiazione elettromagnetica con la materia biologica, e quindi con l'uomo, è legata alla capacità della radiazione stessa di scambiare energia, e in particolare di cedere energia agli atomi e alle molecole che costituiscono le strutture cellulari.

Se l'energia "E" trasportata è elevata (ad esempio per la radiazione X, vedi **Figura A.1**), allora è possibile che la cessione di energia provochi la ionizzazione delle molecole o degli atomi e si par-

Tabella A.1 – Unità di misura utilizzate nella linea guida

| Grandezza fisica | Unità di misura                               | Simbolo                   | Fattore di conversione  |
|------------------|---|---------------------------|---|
| Frequenza        | hertz<br>chilohertz<br>megahertz<br>gigahertz | Hz<br>kHz<br>MHz<br>GHz   | $s^{-1}$<br>$10^3 \text{ Hz} = 1000 \text{ Hz}$<br>$10^6 \text{ Hz}$<br>$10^9 \text{ Hz}$ |
| Lunghezza d'onda | millimetro<br>micrometro<br>nanometro         | mm<br>$\mu\text{m}$<br>nm | $10^{-3} \text{ m} = 0,001$<br>$10^{-6} \text{ m}$<br>$10^{-9} \text{ m}$                 |
| Energia          | elettronvolt                                  | eV                        | $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  |

Figura A.1 – Rappresentazione dello spettro elettromagnetico in termini di frequenza, lunghezza d'onda ed energia



la di *radiazione ionizzante*.

Convenzionalmente la radiazione il cui quanto di energia è inferiore a 12,56 eV (quindi a frequenza inferiore a  $302 \times 10^4 \text{ GHz}$  o lunghezza d'onda superiore a 99,5 nm), che è l'energia di legame dell'acqua, si chiama *radiazione non ionizzante*.

Le onde elettromagnetiche possono produrre effetti biologici che talvolta possono portare a effetti di danno alla salute. È importante distinguere tra i due effetti:

- un effetto biologico si verifica quando l'esposizione alle onde elettromagnetiche provoca qualche variazione fisiologica notevole o rilevabile in un sistema biologico
- un effetto di danno alla salute si verifica quando l'effetto biologico è al di fuori dell'intervallo in cui l'organismo può normalmente compensarlo, e ciò porta a qualche condizione di detrimento della salute.

Alcuni effetti biologici possono essere innocui, come ad esempio quella reazione corporea che consiste in un aumento della circolazione sanguigna nella pelle in risposta a un leggero aumento del riscaldamento da parte del sole. Alcuni effetti possono essere vantaggiosi, come la sensazio-



ne di calore da parte dei raggi diretti del sole in una giornata fredda, o possono addirittura portare a effetti positivi per la salute, come nel caso del sole che aiuta la produzione di vitamina D. Tuttavia, alcuni effetti biologici conducono a effetti nocivi per la salute, come il dolore per le ustioni solari o il cancro della pelle.

È noto ad esempio che i campi a radiofrequenza (RF) producono riscaldamento e/o inducono correnti elettriche, a seconda della frequenza, mentre l'azione fondamentale dei campi elettrici e magnetici a frequenze estremamente basse (ELF) sui sistemi biologici è l'induzione di cariche e correnti elettriche.

In conclusione, il modo in cui le onde elettromagnetiche influenzano i sistemi biologici è determinato in parte dall'intensità del campo e in parte dalla quantità di energia di ogni fotone.

**COLLANA EDITORIALE**  
**DIREZIONE GENERALE SANITÀ**

1. La prevenzione del tabagismo nella Regione Lombardia: incontro di aggiornamento
2. Metodi raccomandati per analisi microbiologiche non normate di alimenti
3. Edilizia sanitaria in Lombardia
4. La prevenzione del bioterrorismo in Lombardia
5. La qualità percepita dai cittadini nella Sanità lombarda
6. Linee guida della Regione Lombardia per la ristorazione scolastica
7. Segnalazioni dei cittadini e azioni di miglioramento delle strutture sanitarie
8. Il Piano Socio-Sanitario Regionale 2002-2004
9. La radioprotezione in campo sanitario in Lombardia
10. Regional Community Health Plan 2002-2004
11. Classificazione delle malattie, dei traumatismi, degli interventi chirurgici e delle procedure diagnostiche e terapeutiche
12. Atlante dei disturbi psichici in Lombardia
13. Region of Lombardy – Health Care Directorate
14. Atlante dei ricoveri in Lombardia
15. Salmonellosi aviarie e riflessi zoonosici.  
Applicazione dei Piani di controllo D.M. 339/2000
16. Animali sani, alimenti sicuri (2002)
17. Osservatorio Telesanità 2003
18. Il trattamento del tabagismo
19. L'applicazione del D.Lgs. 626/94 in Lombardia: risultati e proposte
20. Odontoiatria e fondi sanitari
21. Animali sani, alimenti sicuri (2003)

*Finito di stampare nel mese di*  
*marzo 2005*  
*1000 copie*



**RegioneLombardia**

Direzione Generale Sanità  
[www.sanita.regione.lombardia.it](http://www.sanita.regione.lombardia.it)

**Call Center**  
**840.000.006**

Televideo di RAI 3 pp. 530-535