

RADIAZIONI NON IONIZZANTI

PREMESSA

Il termine radiazioni non ionizzanti (NIR) viene usato in prevalenza per indicare onde elettromagnetiche a bassa energia, che non provocano la ionizzazione degli atomi attraversati.

Il parametro critico dell'onda e.m., dal quale dipende l'energia, è la **frequenza** ν , ed è quindi questa a determinare il livello di interazione fra la radiazione e la materia attraversata.

Non esiste attualmente una normativa specifica, in base alla quale si prenda atto di una effettiva pericolosità di queste radiazioni. Questo principalmente perché non è disponibile una statistica sufficiente sull'esposizione a NIR. Inoltre, lo spettro in frequenza di questo tipo di radiazioni è molto ampio (circa 13 ordini di grandezza contro i 5 delle radiazioni ionizzanti), e questo porta ad una estrema varietà di interazione con la materia (vivente, nel caso qui di interesse!).

Pertanto, quanto è genericamente indicato sotto il nome di NIR è in realtà una vasta gamma di fenomeni, strumenti, attività di laboratorio che possono presentare pericoli più o meno evidenti ed immediati.

Si cercherà qui di dare un quadro il più generale possibile di questi fenomeni, a partire dagli effetti che la radiazione e.m. induce nella materia vivente, per illustrare poi le misure di prevenzione e protezione che si rendono necessarie per queste attività.

I tipi principali di radiazione non ionizzante con i quali si può entrare in contatto sono:

- **radiofrequenze RF** ($10^4 < \nu < 10^9$ Hz), tra cui anche gli **ultrasuoni US** ($10^6 < \nu < 10^7$ Hz)
- **microonde MW** ($10^9 < \nu < 10^{12}$ Hz)
- **raggi infrarossi IR** ($10^{12} < \nu < 10^{15}$ Hz)
- **raggi ultravioletti UV** ($10^{15} < \nu < 10^{16}$ Hz)

L'interazione delle radiazioni non ionizzanti con la materia è dovuto essenzialmente alla polarizzazione delle molecole del mezzo, ed al loro successivo rilassamento.

Nei tessuti biologici l'intensità I dell'onda incidente decresce con la distanza x secondo la relazione:

$$I = I_0 e^{-a x}$$

dove I_0 è l'intensità per $x = 0$, e a è il coefficiente di assorbimento, di dimensioni $[L^{-1}]$; $\lambda = 1/a$ è detta lunghezza di penetrazione, e dipende dalla conducibilità elettrica e dalla costante dielettrica del mezzo, e dalla frequenza dell'onda incidente; i differenti valori di queste costanti per i diversi tipi di tessuto che l'onda incontra portano a diversi valori di assorbimento e riflessione, con conseguenti fenomeni di interferenza.

In ogni caso, l'interazione con la radiazione comporta **fenomeni termici** dovuti all'assorbimento dell'onda (fenomeni che possono innalzare la temperatura dei tessuti), e **fenomeni "non termici"** conseguenti al rilassamento dei dipoli indotti ed al conseguente riarrangiamento delle strutture: il campo elettrico dell'onda incidente può ad esempio interagire con la membrana cellulare, alterando il potenziale di membrana e la sua funzione nella conduzione degli impulsi nervosi.

Le principali conseguenze di questi effetti sono:

per microonde e radiofrequenze:

- danni agli occhi (opacizzazione del cristallino) ed agli organi riproduttivi, per l'gi effetti termici;
- danni a carico del sistema nervoso, con sintomi simili a quelli dovuti allo stress, per gli effetti non termici

per raggi infrarossi:

- effetti dannosi di tipo termico a carico dell'occhio

per raggi UV:

- effetti termici sulla pelle (eritemi o addirittura ustioni)
- non esiste una statistica sufficiente per la correlazione tra tumori della pelle ed esposizione ad UV

A livello atomico gli effetti sono:

- le **onde corte** modificano l'orientamento degli spin elettronici, e inducono la formazione di dipoli (MW modificano lo stato rotazionale delle molecole, IR modificano lo stato vibrazionale);

- la radiazione **visibile** (760-390 nm) provoca transizioni di livello degli elettroni atomici più esterni;
- i raggi **ultravioletti** (390-100 nm) agiscono sugli elettroni degli strati più interni, diventando anche ionizzanti nel lontano UV.

Le caratteristiche delle NIR importanti ai fini di una corretta valutazione del rischio sono:

1. la **frequenza**, che determina la penetrazione nei tessuti: i tessuti biologici hanno un elevato contenuto in acqua, e l'assorbimento delle onde em da parte di questa cresce con la frequenza dalle onde lunghe fino all'infrarosso; dopo un massimo di assorbimento nell'infrarosso vicino si ha una brusca caduta in corrispondenza della finestra visibile (massima trasparenza intorno al giallo); l'assorbimento torna a valori elevati nell'UV, per poi decrescere in corrispondenza dei raggi X e gamma. Questo è esattamente il tipo di comportamento che si osserva nei tessuti irraggiati da NIR.
2. La **coerenza**, che aumenta l'efficacia di una radiazione monocromatica (più fotoni possono interagire simultaneamente con una molecola). Questo fatto costituisce il grande vantaggio e l'estrema pericolosità del **laser**¹.
3. L'**intensità** (flusso di energia trasportato dall'onda nell'unità di tempo attraverso un'area unitaria perpendicolare alla direzione di propagazione), che determina la potenza assorbita per unità di tempo e di superficie; questa varia con la frequenza e con la parte del corpo irradiata.

RADIOFREQUENZE E MICROONDE

Questo tipo di NIR è stato studiato in modo particolare negli ultimi anni; è difficile tuttavia quantificarne gli effetti biologici, dal momento che l'accoppiamento energetico fra radiazioni e animali di taglie diverse ha mostrato grandi differenze, e quindi non è stato possibile effettuare una dosimetria precisa.

Gli effetti biologici dovuti ad esposizione a queste radiazioni sono soprattutto di natura termica, ma non si escludono effetti atermici legati alla proprietà della radiazione elettromagnetica di alterare, per mezzo di interazioni coerenti, il contenuto di informazione di segnali bioelettromagnetici intra e intercellulari. Nel dettaglio:

Effetti termici

È stata dimostrata sperimentalmente la possibilità di indurre, per mezzo di radiofrequenze e microonde, lesioni delle epifisi fertili, delle gonadi e degli occhi. Di particolare rilievo sono gli effetti teratogeni² osservati per esposizioni ad alta intensità con effetti ipertermici. È addirittura possibile un effetto mutageno, come mostrano alcuni lavori condotti con valori di densità di potenza inferiori a 5 mW/cm².

dal punto di vista della radioprotezione, il corpo assorbe l'energia elettromagnetica con particolare efficacia alle frequenze di risonanza, che per l'uomo cadono fra 30 e 300 Mhz, con un picco di assorbimento fra 60 e 80 Mhz.

In termini di rischio l'OMS distingue tre fasce di valori di densità di potenza: superiore a 10 mW/cm², inferiore a 1 mW/cm², ed una fascia intermedia.

Per quanto riguarda i possibili effetti termici per il personale professionalmente esposto, il campo è ristretto a due bersagli critici: gli occhi e le gonadi:

- il cristallino, privo di vasi, può andare incontro ad opacizzazione dopo ripetute esposizioni a valori di densità di potenza > 10 mW/cm²
- le gonadi si ritengono organi critici in base agli effetti osservati su animali esposti a potenze superiori a 50 mW/cm²: degenerazione, atrofia e fibrosi dei testicoli; alterazioni del ciclo ed aumento della percentuale di aborti.

Effetti atermici

Le condizioni di esposizione necessarie per la comparsa di questi effetti (bassa densità di potenza e lunghi tempi di esposizione) riguardano le fasce professionalmente esposte; si tratta di un tema controverso con posizioni più o meno pessimistiche: alcuni autori riferiscono che tecnici radaristi esposti a valori di densità di potenza superiori o inferiori a 0,2 mW/cm², e rispettivamente divisi in due gruppi, non mostrarono alcuna differenza né dal punto di vista neurovegetativo né a livello del cristallino. Altri autori, in uno studio sulle cause di morte di 40.000 tecnici della marina USA, concludono che fra i tecnici esposti a radiazioni elettromagnetiche si nota un aumento significativo delle morti per incidenti causati da rallentamento del ritmo e diminuzione della vigilanza.

¹ alla radiazione laser è stato dedicato un capitolo specifico

² dannosi per il feto

MISURE DI PREVENZIONE

Tutte le apparecchiature e le macchine funzionanti con sistemi a radiofrequenze o microonde devono essere opportunamente schermate contro la dispersione in aria delle radiazioni elettromagnetiche (schermi metallici, gabbia di Faraday, etc.).

Allo stato attuale, la conformità alle specifiche tecniche indicate nel Decreto di cui sopra è garantita dalla marcatura CE, obbligatoria dal 21 settembre 1996 anche per il mercato nazionale.

ULTRAVIOLETTO

Lo spettro delle radiazioni UV è piuttosto ampio (da 100 a 400 nm).

La luce solare ad esempio è ricca di radiazioni a grande lunghezza d'onda (UV vicino, superiore ai 280 nm) capaci di penetrare in profondità nello strato cutaneo e responsabili di una pigmentazione cutanea intensa e duratura.

Molto diversa è la radiazione delle lampade a vapori di mercurio: spettro discontinuo a righe, spostato verso le lunghezze d'onda brevi (UV lontano, 250 nm), poco penetranti nell'epidermide, ad azione più infiammante (eritema e congiuntivite) che pigmentante.

Nell'UV lontano lunghezze d'onda di 125 nm sono già ionizzanti (energia 10 eV). L'UV lontano, inoltre, interagisce con il DNA, provocando gravi danni (effetti mutageni).

Effetti biologici

Tra gli effetti biologici si distinguono quelli a lungo e a breve termine:

- effetti acuti a breve termine: azione infiammatoria a livello di cute e congiuntiva. Alcune lunghezze d'onda (250-295 nm) sono più eritemogene di altre.
- patologia a lungo termine: possibile induzione di neoplasie cutanee. In questi casi la pelle del viso è discromica, discheratosica, infiammata; come ogni tessuto cronicamente infiammato può andare incontro alla trasformazione cancerosa.

MISURE DI PREVENZIONE

Bisogna provvedere affinché i lavoratori esposti in modo continuativo a radiazioni ultraviolette siano protetti mediante l'adozione di DPI (occhiali e indumenti idonei) e di schermi.

ULTRASUONI

Tra le radiazioni non ionizzanti vengono inseriti anche gli ultrasuoni (US), onde simlacustiche di elevata frequenza (1-15 MHz). L'interazione tra gli ultrasuoni e i tessuti biologici dipende sia dai parametri caratteristici del fascio sia dai parametri fisici del mezzo attraversato.

Per le onde acustiche, l'assorbimento è forte in tutti i tessuti biologici, ed è legato prevalentemente al contenuto in proteine.

In generale, il processo di assorbimento si può descrivere come dovuto a processi di rilassamento nei quali l'energia acustica è attenuata a frequenze specifiche, determinate dalle proprietà dei materiali.

Interazione con i tessuti biologici

L'interazione con i tessuti biologici avviene principalmente in tre modi: produzione di calore, cavitazione, effetto diretto.

PERICOLI CONNESSI ALL'IMPIEGO DI ULTRASUONI

Secondo i risultati di esperimenti sugli effetti collaterali degli ultrasuoni, per esposizioni inferiori a 100 mW/cm² non ci sono effetti biologici significativi (BIOEFFECT COMMITTEE A.I.U.M.); tuttavia ad alta intensità e frequenze basse l'orecchio umano, in quanto dispositivo "adattatore di impedenza", può essere danneggiato dalle vibrazioni ultrasoniche.

Per quanto riguarda alti livelli di intensità per subarmoniche nell'udibile, essi possono provocare nausea e leggere vertigini, oltre ad uno spiacevole senso di pressione alle orecchie. Infine quando si impiegano bagni ad ultrasuoni per emulsione o pulizia, con frequenze nella banda 50 - 100 kHz, si possono avere effetti biologici, date le alte potenze in gioco, per l'operatore che immerge le mani nel bagno.