

Gli effetti sanitari

In ogni sistema biologico sono presenti delle cariche elettriche e l'esposizione di tale sistema ad un campo elettromagnetico esterno può dar luogo a meccanismi di interazione fisica. Queste *interazioni* possono determinare *effetti biologici*, che, in alcuni casi, si trasformano in *danni per salute*. Sebbene le radiazioni non ionizzanti non abbiano energia sufficiente a provocare danni diretti sulle cellule come avviene con le radiazioni ionizzanti, tuttavia sono loro associati alcuni effetti a seguito delle interazioni, che influiscono sull'assorbimento di energia e sulle risposte biologiche.

Si parla di *interazione* quando l'organismo umano interagisce appunto con un campo elettromagnetico con il risultato di una perturbazione del suo equilibrio preesistente. Ciò non implica, necessariamente, un effetto biologico di una certa rilevanza, né un effetto di danno alla salute.

L'interazione dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con il corpo umano può dare luogo ad effetti biologici dai quali possono scaturire, ma non necessariamente, effetti sanitari o di danno alla salute.

A tale proposito, l'OMS (l'Organizzazione Mondiale della Sanità) fornisce una distinzione tra effetto biologico e danno alla salute.

L'effetto biologico si verifica quando l'esposizione ai campi elettromagnetici provoca una variazione fisiologica notevole o rilevabile in un sistema biologico.

Il danno alla salute si verifica quando l'effetto biologico è al di fuori dell'intervallo in cui l'organismo può normalmente compensarlo e ciò determina un danno alla salute.

In questa situazione di incertezza scientifica, l'ICNIRP (International Commission on non-Ionizing Radiation Protection), basando le sue valutazioni esclusivamente sugli effetti acuti, che sono gli unici noti, ha stabilito, all'interno delle sue Linee Guida sui limiti di esposizione, le cosiddette "*basic restrictions*" o *limiti di base*.

In altri termini, per la valutazione degli effetti biologici derivanti dall'esposizione dei campi elettromagnetici è stato indispensabile individuare le grandezze fisiche che hanno un effettivo significato biologico e dosimetrico, in quanto connesse ai meccanismi di interazione dei campi elettromagnetici con l'organismo umano.

Queste grandezze fisiche sono dette *grandezze di base*.

Poiché i meccanismi di interazione sono fortemente dipendenti dalla frequenza del campo elettromagnetico, anche le grandezze di base sono differenziate in base alle bande di frequenza. Ad ogni grandezza sono stati associati dei valori limite, in modo da individuare il passaggio dall'effetto

biologico all'effetto di danno alla salute. Tali valori assumono il significato di *limiti di base* (e rappresentano i veri limiti di esposizione) al di sopra dei quali si manifestano effetti di carattere sanitario (tabelle 1 e 2).

Le misurazioni delle grandezze di base, però, poiché si riferiscono ai processi di accoppiamento dei campi elettromagnetici con i tessuti biologici, non sono facilmente realizzabili. Per rendere possibile la verifica dei limiti stabiliti per le grandezze di base, si fa riferimento a grandezze derivate che caratterizzano il campo elettromagnetico in termini di campo elettrico, campo magnetico e densità di potenza. Per come sono stati definiti, i *limiti derivati* (tabelle 6 e 7) assumono il significato di **limiti di esposizione** per la prevenzione dagli effetti acuti di danno alla salute. Il non superamento di tali limiti fornisce quindi la certezza del non superamento della soglia che separa l'effetto biologico dal danno immediato alla salute.

Tabella 1: Restrizioni di base per campi elettrici e magnetici variabili nel tempo con frequenze fino a 10 GHz (ICNIRP e Raccomandazione europea 519/99 del 12/07/99)

Caratteristiche dell'esposizione	Intervallo di frequenza	Densità di corrente (testa e tronco) (mA/m ²)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR localizzato (testa e tronco)	SAR localizzato (arti)
Esposizione professionale	Fino a 1 Hz	40	-	-	-
	1- 4 Hz	40/f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-
	1 - 100 kHz	f/100	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 MHz – 10 GHz	-	0.4	10	20
Esposizione residenziale	Fino a 1 Hz	8	-	-	-
	1- 4 Hz	8/f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
	1 - 100 kHz	f/500	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	-	0.08	2	4

Note:

- F è la frequenza in Hertz
- Le densità di corrente vanno mediate su una sezione trasversale di 1 cm² perpendicolare alla direzione della corrente
- Fino a 100 kHz, i valori di picco della densità di corrente possono essere ottenuti moltiplicando i valori efficaci per radical 2.
- Fino a 100 kHz e per campi magnetici pulsanti, la massima densità di corrente deve essere calcolata dal tempo di salita/discesa e dal massimo rateo di variazione dell'induzione magnetica.
- I valori di SAR devono essere mediati su un periodo di 6 minuti.
- Il SAR localizzato è mediato su qualunque massa contigua di 10 g di tessuto; il massimo SAR ottenuto dev'essere il valore usato per la prima esposizione.
- Tra 0.3 e 10 GHz e per esposizioni localizzate della testa si raccomanda un'ulteriore restrizione di base per evitare effetti uditivi causati dall'espansione termoelastica. L'SA, mediato su 10 g di tessuto, non deve superare 10 mJ/kg per i lavoratori e 2 mJ/kg per il pubblico

Tabella 2: Restrizioni di base per la densità di potenza per frequenze tra 10 e 300 GHz (ICNIRP e Raccomandazione europea 519/99 del 12/07/99)

Caratteristiche dell'esposizione	Densità di potenza (W/m ²)
Esposizione professionale	50
Esposizione residenziale	10

Note:

Le densità devono essere mediate su qualunque superficie di 20 cm² di area esposta e su qualunque periodo di 86/f^{1.05} minuti per compensare il sempre minore spessore di penetrazione all'aumentare della frequenza.

I massimi valori spaziali della densità di potenza mediati su 1 cm² non devono superare 20 volte i valori sopra riportati.

Tabella 3: Livelli derivati di esposizione professionale a campi elettrici e magnetici (valori efficaci imperturbati) (ICNIRP e Raccomandazione europea 519/99 del 12/07/99)

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (μT)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente S _{eq} (W/m ²)
Fino a 1 Hz	-	1.63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	-
1 – 8 Hz	20000	1.63 x 10 ⁵ /f ²	2 x 10 ⁵ /f ²	-
8 – 25 Hz	20000	2 x 10 ⁴ /f	2 x 10 ⁴ /f	-
0.025 – 0.82 kHz	500/f	20/f	25/f	-
0.82 – 65 kHz	610	24.4	30.7	-
0.065 – 1 MHz	610	1.6/f	2.0/f	-
1 – 10 MHz	610/f	1.6/f	2.0/f	-
10 – 400 MHz	61	0.16	0.2	10
400 – 2000 MHz	3f ^{1/2}	0.008f ^{1/2}	0.01f ^{1/2}	f/40
2 – 300 GHz	137	0.36	0.45	50

Tabella 4: Livelli derivati di esposizione residenziale a campi elettrici e magnetici (valori efficaci imperturbati) (ICNIRP)

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (μT)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente S _{eq} (W/m ²)
Fino a 1 Hz	-	3.2 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴	-
1 – 8 Hz	10000	3.2 x 10 ⁴ /f ²	4 x 10 ⁴ /f ²	-
8 – 25 Hz	10000	4000/f	5000/f	-
0.025 – 0.82 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 – 1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	-
1 – 10 MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f	0.92/f	-
10 – 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 – 2000 MHz	1.375 f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.0046f ^{1/2}	f/200
2 – 300 GHz	61	0.16	0.20	10

Note per tabelle 3 e tabella 4:

I valori di intensità di campo possono essere superati se sono rispettate le prescrizioni di base ed esclusi gli effetti indiretti.

Tra 100 kHz e 10 GHz, S_{eq}, E², H², B² devono essere mediate su qualunque periodo di 6 minuti.

Per valori di picco a frequenze minori di 100 kHz, i valori di picco della densità di corrente possono essere ottenuti moltiplicando i valori efficaci per radical 2.

I valori di SAR devono essere mediati su un periodo di 6 minuti.

Il SAR localizzato è mediato su qualunque massa contigua di 10 g di tessuto; il massimo SAR ottenuto dev'essere il valore usato per la prima esposizione.

Tra 0.3 e 10 GHz e per esposizioni localizzate della testa si raccomanda un'ulteriore restrizione di base per evitare effetti uditivi causati dall'espansione termoelastica. L'SA, mediato su 10 g di tessuto, non deve superare 10 mJ/kg per i lavoratori e 2 mJ/kg per il pubblico.

E' necessario, però, operare un'ulteriore distinzione tra: **effetti acuti a breve termine** ed **effetti cronici a lungo termine**.

Per i primi, l'OMS parla essenzialmente di effetti di natura termica, ovvero quando l'energia associata alle onde elettromagnetiche ad alta frequenza viene in gran parte assorbita dai tessuti biologici, provocando un aumento della temperatura, che però è contrastato dai normali meccanismi di termoregolazione.

Per gli effetti a lungo termine, sono stati effettuati molti studi ma nessuno di questi conferma che possano insorgere effetti di danno alla salute come, ad esempio, neoplasie; tuttavia, questi risultati non escludono neanche ipotesi contrarie ed è per questo che la ricerca sui possibili effetti derivanti dall'esposizione ai CEM continua.

In ogni caso, per questa delicata e controversa tematica è stato applicato il *principio di precauzione*. Il principio di precauzione è una politica di gestione del rischio, che viene applicata in circostanze caratterizzate da un alto grado di incertezza scientifica e riflette la necessità di intervenire preventivamente nei confronti di un rischio potenzialmente grave senza attendere risultati certi della ricerca scientifica. Il principio è stato definito dal trattato di Maastricht come *“l'adozione di azioni prudenti quando vi è sufficiente evidenza (ma non necessariamente la prova assoluta) che l'inazione potrebbe portare ad un danno e quando le azioni possono essere giustificate in base a ragionevoli valutazioni di costo-efficacia”*. Il principio di precauzione è quindi orientato dal rischio. Il suo impiego è chiaramente mirato a fornire risposte provvisorie a minacce potenzialmente gravi per la salute, fino a quando non saranno disponibili dati adeguati per azioni fondate su una maggiore base scientifica.