

**PROMEMORIA**  
**SULLE LINEE GUIDA PER LA LIMITAZIONE DELL'ESPOSIZIONE**  
**A CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI VARIABILI NEL TEMPO (1 Hz – 100 kHz)**

**Pubbligate in Health Physics 99(6):818-836; 2010**

L'ICNIRP è l'istituzione, internazionalmente riconosciuta, che definisce linee guida per la protezione contro gli effetti nocivi per la salute delle radiazioni non ionizzanti. Essa ha recentemente pubblicato delle linee guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (da 1 Hz a 100 kHz); questo promemoria descrive il contenuto di tali linee guida e le loro basi scientifiche.

Le linee guida sostituiscono le raccomandazioni fornite in precedenza dall'ICNIRP per questo intervallo di frequenze. Esse derivano dalle attuali conoscenze scientifiche come descritte in ampie rassegne, tra cui in particolare quelle dell'Organizzazione Mondiale della Sanità e dell'ICNIRP. Alcune delle raccomandazioni fornite in questo nuovo documento si discostano dalle precedenti. Ove opportuno, le differenze sono spiegate in dettaglio.

La principale interazione dei campi elettrici e magnetici variabili a bassa frequenza con il corpo umano è l'induzione, nei tessuti, di campi elettrici e di correnti elettriche a questi associate. Inoltre, l'esposizione a campi elettrici a bassa frequenza può provocare effetti di carica superficiale.

Le risposte dei tessuti nervosi e muscolari, elettricamente eccitabili, a stimoli elettrici compresi quelli indotti dall'esposizione a campi elettrici e magnetici a bassa frequenza sono state chiaramente accertate. Usando un modello eterogeneo del corpo umano ed i dati forniti dall'esposizione di volontari ai campi di gradiente usati in risonanza magnetica, si è calcolato che occorre un campo elettrico minimo di circa 4-6 V/m per stimolare i nervi periferici.

L'effetto più solidamente stabilito dei campi elettrici, al di sotto della soglia per l'eccitazione diretta di nervi o muscoli, è l'induzione di magnetofosfeni, cioè la percezione di leggeri lampi luminosi alla periferia del campo visivo. Si ritiene che essi derivino dall'interazione del campo elettrico indotto con le cellule elettricamente eccitabili della retina. Questa costituisce una protrusione della parte anteriore del cervello e può considerarsi come un buon modello, anche se conservativo, dei processi che hanno luogo nel sistema nervoso centrale in generale. Si è stimato che la soglia, in termini d'intensità del campo elettrico indotto nella retina, si collochi tra circa 50 e 100 mV/m a 20 Hz. L'evidenza di effetti neurocomportamentali sull'attività elettrica del cervello, sulla cognizione, sul sonno e sull'umore di volontari esposti a campi elettromagnetici a bassa frequenza è molto meno chiara.

I dati scientifici finora disponibili non indicano che i campi elettrici e/o magnetici a bassa frequenza influenzino il sistema neuroendocrino in modo tale da produrre un impatto negativo sulla salute umana. Non ci sono sostanziali evidenze di un'associazione tra l'esposizione a campi di bassa frequenza e patologie quali il morbo di Parkinson, la sclerosi multipla e malattie cardiovascolari. I dati relativi a un'associazione tra esposizione a campi di bassa frequenza e morbo di Alzheimer, sclerosi laterale amiotrofica non sono conclusivi. Le evidenze di un'associazione tra esposizione a campi di bassa frequenza ed effetti sullo sviluppo e sulla riproduzione sono molto deboli.

Un numero considerevole di studi epidemiologici, pubblicati soprattutto negli anni '80 e '90, ha indicato che l'esposizione di lungo periodo a campi magnetici a 50 Hz potrebbe essere associata ad un aumento del rischio di leucemia infantile. Due analisi di dati aggregati indicano che potrebbe esistere un eccesso di rischio per esposizioni medie al di sopra di 0,3-0,4  $\mu$ T. Tuttavia, una combinazione di distorsioni di selezione, un certo grado di confondimento e casualità potrebbe spiegare i risultati. Inoltre, non si è identificato nessun meccanismo biofisico e gli studi sperimentali su animali e cellule non sostengono l'idea che l'esposizione a campi magnetici a 50-60 Hz sia una causa di leucemia infantile.

È opinione dell'ICNIRP che le attuali evidenze scientifiche di una relazione causale tra esposizione prolungata a campi magnetici a bassa frequenza ed aumenti di rischio di leucemia infantile siano troppo deboli per costituire la base delle linee guida di esposizione. Quindi, la percezione di cariche elettriche superficiali, la stimolazione diretta dei tessuti nervosi e muscolari e l'induzione di fosfeni nella retina sono gli unici effetti nocivi ben stabiliti e servono come basi per le linee guida.

Sulla base della rassegna dei dati scientifici sopra riassunti, l'ICNIRP raccomanda i seguenti limiti di esposizione.

**Esposizioni professionali.** Nell'intervallo di frequenze tra 10 e 25 Hz, l'esposizione professionale dovrebbe essere limitata a campi che inducano nei tessuti del sistema nervoso centrale della testa (cioè nel cervello e nella retina) campi elettrici di intensità inferiore a 50 mV/m, al fine di evitare l'induzione di fosfeni nella retina. Questa restrizione dovrebbe anche prevenire tutti i possibili effetti transitori sulle funzioni cerebrali. Questi non sono considerati effetti nocivi per la salute; tuttavia l'ICNIRP riconosce che possono costituire un disturbo in alcune situazioni lavorative e dovrebbero quindi essere evitati, ma per essi non si applica nessun fattore di riduzione aggiuntivo. A frequenze più basse il valore limite per l'intensità del campo elettrico indotto aumenta in misura inversamente proporzionale alla frequenza. A frequenze più alte, fino a 400 Hz, il valore limite aumenta proporzionalmente alla frequenza. A frequenze comprese nell'intervallo 400 Hz – 3 kHz l'esposizione professionale dovrebbe essere limitata a campi che inducano in qualunque parte del corpo campi elettrici inferiori a 800 mV/m, al fine di evitare la stimolazione dei nervi mielinizzati del sistema nervoso centrale e di quello periferico. A frequenze superiori a 3 kHz, il valore limite aumenta proporzionalmente alla frequenza.

In ambienti controllati, dove i lavoratori sono informati dei possibili effetti transitori, l'esposizione nell'intervallo di frequenze tra 1 e 400 Hz dovrebbe essere limitata a campi esterni che inducano nella testa e nel corpo campi elettrici di intensità inferiore a 800 mV/m, al fine di evitare la stimolazione dei nervi mielinizzati dei sistemi nervosi centrale e periferico. Questo valore è stato ottenuto applicando un fattore di riduzione pari a 5 alla soglia di 4 V/m per la stimolazione dei nervi periferici, per tener conto delle incertezze sopra descritte. Il valore di queste restrizioni aumenta in misura proporzionale alla frequenza al di sopra di 3 kHz.

**Esposizioni del pubblico generico.** Nell'intervallo di frequenze tra 10 e 25 Hz, l'esposizione del pubblico generico dovrebbe essere limitata a campi che inducano nei tessuti del sistema nervoso centrale della testa (cioè nel cervello e nella retina) campi elettrici di intensità inferiore a 10 mV/m, al fine di evitare l'induzione di fosfeni nella retina. Questa restrizione dovrebbe anche prevenire tutti i possibili effetti transitori sulle funzioni cerebrali. Si è applicato un fattore di riduzione pari a 5 alla soglia di 50 mV/m per l'induzione di fosfeni, al fine di tener conto delle incertezze. Al di sopra e al di sotto di questo intervallo di frequenze la restrizione di base aumenta. A 1000 Hz essa interseca le restrizioni di base che proteggono dalla stimolazione dei nervi mielinizzati del sistema nervoso centrale e di quello periferico. Qui, un fattore di riduzione pari a 10 rispetto alla suddetta soglia di stimolazione di 4 V/m porta ad una restrizione di base di 400 mV/m, da applicare a qualunque parte del corpo.

Le basi razionali dei limiti forniti da queste linee guida sono descritte in dettaglio in "Guidelines for limiting exposure to time varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics 99(6):818-836, 2010".<sup>1</sup>

I principali cambiamenti rispetto alle precedenti raccomandazioni dell'ICNIRP sono:

- Le restrizioni di base si fondano sui campi elettrici indotti internamente al corpo, anziché sulle correnti indotte, perché questa è la grandezza fisica che determina l'effetto biologico. Le precedenti valutazioni di rischio sanitario si basavano sulla corrente elettrica indotta perché all'epoca la maggior parte dei dati sperimentali era basata su questa metrica. Oggi sui campi elettrici indotti internamente sono disponibili informazioni sufficienti per usare questa metrica nelle linee guida.
- Le precedenti linee guida erano state definite per prevenire effetti sul sistema nervoso e si raccomandava soltanto una limitazione alla densità di corrente indotta nei tessuti del sistema nervoso centrale. I fosfeni non erano considerati come un effetto nocivo. L'ICNIRP considera ora questi effetti sulla retina come un modello di effetti nel cervello e la soglia per l'induzione di fosfeni fornisce una base per limitare le esposizioni, come sopra specificato. Ciò porta a una limitazione dell'esposizione in qualunque tessuto del corpo. I valori limite sono basati sulle conoscenze scientifiche attuali e non semplicemente convertiti, in base alla conducibilità dei tessuti, dalle precedenti limitazioni in termini di densità di corrente indotta.

---

<sup>1</sup> La traduzione italiana "Linee guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (1 Hz 100 kHz) è disponibile all'indirizzo <http://www.icnirp.org>. (NdT).

La tabella sottostante riassume le restrizioni di base

Caratteristiche dell'esposizione	Intervallo di frequenza	Campo elettrico interno (V/m)
Esposizione professionale		
Sistema nervoso centrale della testa	1 – 10 Hz	0.5 / f
	10 Hz – 25 Hz	0.05
	25 Hz – 400 Hz	$2 \times 10^{-3} \times f$
	800 Hz – 3 kHz	0.8
	3 kHz – 10 MHz	$2.7 \times 10^{-4} \times f$
Tutti i tessuti della testa e del corpo	1 Hz – 3 kHz	0.8
	3 kHz – 10 MHz	$2.7 \times 10^{-4} \times f$
Esposizione del pubblico		
Sistema nervoso centrale della testa	1 – 10 Hz	0.1 / f
	10 Hz – 25 Hz	0.01
	25 Hz – 1000 Hz	$4 \times 10^{-4} \times f$
	1000 Hz – 3 kHz	0.4
	3 kHz – 10 MHz	$1.35 \times 10^{-4} \times f$
Tutti i tessuti della testa e del corpo	1 Hz – 3 kHz	0.4
	3 kHz – 10 MHz	$1.35 \times 10^{-4} \times f$

Note:

- f è la frequenza in hertz.
- Tutti i valori sono valori quadratici medi.
- Nell'intervallo di frequenze oltre i 100 kHz, si devono anche considerare le restrizioni di base specifiche per i campi a radiofrequenza.

**Livelli di riferimento.** I livelli di riferimento sono stati determinati mediante modelli matematici, per condizioni di esposizione tali che le variazioni del campo elettrico o del campo magnetico entro lo spazio occupato dal corpo siano relativamente piccole, cioè per esposizioni uniformi. Essi sono calcolati in condizioni di massimo accoppiamento del campo con il soggetto esposto, in modo da fornire la massima protezione. Si sono tenute in considerazione la dipendenza dalla frequenza e le incertezze nella dosimetria. Alla frequenza di rete (50 Hz) i livelli di riferimento per l'esposizione professionale sono di 10 kV/m per il campo elettrico e di 1 mT per l'induzione magnetica. Per quanto riguarda l'esposizione del pubblico, i livelli di riferimento sono di 5 kV/m per il campo elettrico e di 200 µT per l'induzione magnetica.

Per una sorgente molto localizzata, a una distanza di pochi centimetri dal corpo, la sola opzione realistica per la valutazione dell'esposizione consiste nel determinare dosimetricamente, caso per caso, il campo elettrico indotto. A distanze maggiori, la distribuzione del campo diventa meno localizzata ma è ancora non uniforme ed in questo caso è possibile confrontare la media spaziale nel corpo, o in parti di esso, con i livelli di riferimento. Le correnti di contatto possono dar luogo a scosse e ustioni. Vengono quindi forniti livelli di riferimento per le correnti di contatto, per frequenze fino a 100 kHz.

I principali cambiamenti rispetto alle precedenti raccomandazioni dell'ICNIRP sono:

- Mentre nel 1998 le considerazioni dosimetriche si basavano su semplici modelli geometrici, le nuove linee guida utilizzano i dati di simulazioni numeriche basate su modelli anatomici dettagliati del corpo umano.

- Le restrizioni di base revisionate ed i modelli dosimetrici usati portano a livelli di riferimento che si discostano da quelli precedenti. I livelli di riferimento per il campo magnetico tendono ad essere meno conservativi, mentre quelli per il campo elettrico sono, salvo poche eccezioni, sostanzialmente immutati.

Vengono fornite ulteriori indicazioni su come applicare le linee guida nel caso di esposizioni simultanee a campi elettrici e magnetici, a campi a frequenze multiple e a campi non sinusoidali. Non vi sono modifiche sostanziali rispetto alle precedenti raccomandazioni.

**Misure protettive.** L'ICNIRP nota che la protezione delle persone esposte a campi elettrici e magnetici può essere assicurata dal rispetto di tutti gli aspetti di queste linee guida. Misure protettive adeguate devono essere adottate quando l'esposizione sui posti di lavoro dia luogo a un superamento delle restrizioni di base. Si dovrebbero adottare congiuntamente controlli tecnici e amministrativi. Sui posti di lavoro si possono usare ulteriori mezzi di protezione personale, ma questi dovrebbero essere visti come soluzione ultima. È anche essenziale adottare regole che prevengano l'interferenza con apparati medici elettronici, l'innescò di sistemi elettro-esplosivi, incendi ed esplosioni per effetto di scintille, provocate da campi indotti, da correnti di contatto o da scariche elettriche, su materiali infiammabili. Tutto ciò è in linea con le raccomandazioni precedenti.

**Effetti a lungo termine.** Come sopra osservato, gli studi epidemiologici hanno indicato che l'esposizione cronica a campi magnetici a frequenza industriale di bassa intensità è associata a un aumento del rischio di leucemia infantile. Tuttavia, gli studi di laboratorio non hanno fornito supporto a questa associazione, né si è stabilita una relazione causale tra campi magnetici e leucemia infantile, né si è appurato alcun altro effetto a lungo termine. La mancanza di prove di causalità costituisce il motivo per cui, per definire le restrizioni di base, non si sono considerati gli studi epidemiologici. L'ICNIRP è ben consapevole che questi dati epidemiologici hanno suscitato preoccupazioni nella popolazione di molti paesi. È opinione dell'ICNIRP che queste preoccupazioni possano fronteggiarsi nel modo migliore in un ambito nazionale di gestione del rischio. La gestione del rischio si basa generalmente su diversi fattori, compresi quelli sociali, economici e politici. In questo contesto, l'ICNIRP fornisce solamente pareri scientifici. Ulteriori consigli per la gestione del rischio, comprendenti anche considerazioni su misure precauzionali, è fornita, ad esempio, dall'Organizzazione Mondiale della Sanità e da altre istituzioni.

*Traduzione italiana di Paolo Vecchia, Istituto Superiore di Sanità, Roma  
La responsabilità del testo italiano è interamente del traduttore. In caso di difformità rispetto all'originale, fa fede il testo inglese.  
L'articolo originale è disponibile sul sito dell'ICNIRP: [www.icnirp.org](http://www.icnirp.org)*