

I campi elettromagnetici negli ambienti di lavoro

Lo spettro elettromagnetico viene tradizionalmente diviso in una sezione ionizzante (Ionizing Radiation o IR), comprendente raggi X e gamma, dotati di energia sufficiente per ionizzare direttamente atomi e molecole, e in una non ionizzante (Non Ionizing Radiation o NIR). Con il termine Radiazioni Non Ionizzanti, si indica, quindi, genericamente quella parte dello spettro elettromagnetico il cui meccanismo primario di interazione con la materia non è quello della ionizzazione.

Il campo delle Radiazioni Non Ionizzanti si suddivide, in funzione della frequenza, in una sezione ottica (300 GHz - 3×10^{14} THz) e in una non ottica (0 Hz – 300 GHz).

La prima include le radiazioni ultraviolette, la luce visibile e la radiazione infrarossa.

La seconda, oggetto della presente sezione, comprende le microonde (MW: microwave), le radiofrequenze (RF: radiofrequency), i campi elettrici e magnetici a frequenza estremamente bassa (ELF: Extremely Low Frequency), fino ai campi elettrici e magnetici statici.

Effetti diretti

I meccanismi di interazione dei campi elettromagnetici con la materia biologica accertati si traducono sostanzialmente in due effetti diretti fondamentali (definiti diretti in quanto risultato di un'interazione diretta dei campi con il corpo umano): induzione di correnti nei tessuti elettricamente stimolabili, e cessione di energia con rialzo termico.

Alle frequenze più basse e fino a circa 1 MHz, prevale l'induzione di correnti elettriche nei tessuti elettricamente stimolabili, come nervi e muscoli.

Con l'aumentare della frequenza diventa sempre più significativa la cessione di energia nei tessuti attraverso il rapido movimento oscillatorio di ioni e molecole di acqua, con lo sviluppo di calore e riscaldamento. A frequenze superiori a circa 10 MHz, quest'ultimo effetto è l'unico a permanere, e al di sopra di 10 GHz, l'assorbimento è esclusivamente a carico della cute.

Tali meccanismi sono in grado di determinare gli effetti acuti, che si manifestano al di sopra di una certa soglia di induzione, nei confronti dei quali esiste un ampio consenso scientifico e il quadro delle conoscenze consente di disporre di una base logico-scientifica per la definizione di valori limite di esposizione che contemplino ampi margini di sicurezza tra gli stessi e le reali soglie di pericolosità.

Effetti indiretti

Oltre agli effetti diretti, esistono anche effetti indiretti.

Due sono i meccanismi di accoppiamento indiretto con i soggetti esposti:

- correnti di contatto, che si manifestano quando il corpo umano viene in contatto con un oggetto a diverso potenziale elettrico e possono indurre effetti quali percezioni dolorose, contrazioni muscolari, ustioni;
- accoppiamento del campo elettromagnetico con dispositivi elettromedicali (compresi stimolatori cardiaci) e altri dispositivi impiantati o portati dal soggetto esposto.

Altri effetti indiretti consistono nel rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici all'interno di intensi campi magnetici statici; nell'innescò di elettrodetonatori ed nel rischio incendio di materiali infiammabili per scintille provocate dalla presenza dei CEM nell'ambiente.

Principali linee guida

Le principali organizzazioni protezionistiche internazionali hanno sviluppato un sistema di protezione dai CEM organico e ben fondato.

Il riferimento più autorevole è fornito dai documenti della International Commission on Non Ionising Radiation Protection (ICNIRP).

Per quanto riguarda i campi variabili nel tempo, l'ICNIRP ha pubblicato nel 1998 delle linee guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettromagnetici con frequenza fino a 300 GHz.

Nel 2010 ha pubblicato delle nuove linee guida per i campi variabili tra 1 Hz e 100 kHz mentre ha confermato la validità dei contenuti delle linee guida del 1998 per le radiofrequenza e microonde (frequenza superiore a 100 kHz).

Rilevanti sono anche le linee guida, emanate nel 2009, per la limitazione dell'esposizione a campi magnetici statici che aggiornano quelle precedentemente pubblicate nel 1994.

La filosofia seguita in tutti i documenti consiste nel definire in primo luogo le grandezze fisiche "dosimetriche" proprie dell'interazione tra i campi e i sistemi biologici, nei due differenti meccanismi di base diretti (induzione di correnti ed effetti termici).

Grandezze dosimetriche

Nel caso degli effetti termici, la grandezza fisica dosimetrica di base è costituita dall'entità dell'assorbimento di energia da parte dei tessuti per unità di massa e di tempo, ossia il tasso di assorbimento specifico (Specific Absorbtion Rate, SAR), espresso in watt/chilogrammo (W/kg).

Per quanto riguarda l'induzione di correnti, nelle linee guida del 1998 la grandezza di base era la densità di corrente indotta, J , definita per la protezione del Sistema Nervoso Centrale (CNS) nella testa e nel tronco ed espressa in ampere/metro-quadrato (A/m^2), ovvero la quantità di corrente che fluisce attraverso una sezione unitaria di tessuto; le nuove linee guida del 2010 hanno introdotto, invece, una nuova grandezza dosimetrica, il campo elettrico indotto in situ, E_i , espresso in V/m, considerato maggiormente rappresentativo degli effetti in quanto diretto responsabile del meccanismo di elettrostimolazione a livello cellulare.

Grandezze ambientali

Nella pratica le grandezze di base dosimetriche non sono però direttamente misurabili nei soggetti esposti.

Per verificare il rispetto dei limiti di base è necessario considerare i valori delle grandezze fisiche proprie dei campi elettromagnetici, direttamente misurabili nell'ambiente. Tali grandezze sono rappresentate dalle intensità del campo elettrico e del campo magnetico. Alle frequenze significative per gli effetti termici (al di sopra di 10 MHz) può anche essere impiegata la densità di potenza, espressa in W/m^2 .

In base a modelli teorici di interazione bioelettromagnetica, successivamente validati da analisi sperimentali, vengono calcolati, in condizioni di massimo accoppiamento tra i campi e il corpo esposto, i cosiddetti livelli di riferimento per le grandezze misurabili, che garantiscano in tutte le circostanze di esposizione il rispetto dei limiti di base per il SAR e per il campo elettrico in situ.

I livelli di riferimento sono diversi per i lavoratori professionalmente esposti e per la popolazione, essendo applicati per quest'ultima fattori cautelativi maggiori.

Evoluzione normativa

Le linee guida dell'ICNIRP sono assunte quale riferimento tecnico-scientifico dalla direttiva 2004/40/CE che stabilisce i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori dalle esposizioni ai campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenze tra 0Hz e 300 GHz.

La direttiva 2004/40/CE è infatti articolata in valori limite di esposizione e valori di azione, i cui valori numerici sono identici, rispettivamente, alle restrizioni di base e ai livelli di riferimento raccomandati dall'ICNIRP nelle linee guida del 1998 ed è stata recepita integralmente dal DLgs 81/2008 la cui applicazione, però è stata posticipata dalle direttive 2008/46/CE e 2012/11/CE.

Il 26 giugno 2013 è stata approvata la nuova direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) che ha abrogato la direttiva 2004/40/CE a decorrere dal 29 giugno 2013.

Gli Stati membri dovranno conformarsi alla direttiva entro il primo luglio 2016: l'Italia lo ha fatto con il DLgs 159 del 01/08/2016 che modifica il DLgs 81/2008 per tutto quanto riguarda la protezione da CEM (Titolo VIII Capo IV).

Resta valido l'obbligo del datore di lavoro alla valutazione di tutti i rischi per la salute e la sicurezza, inclusi quelli derivanti da esposizioni a campi elettromagnetici, ed all'attuazione delle appropriate misure di tutela.

Titolo VIII
Agenti fisici
Capo IV

**Protezione dei lavoratori contro i rischi di
esposizione a campi elettromagnetici**

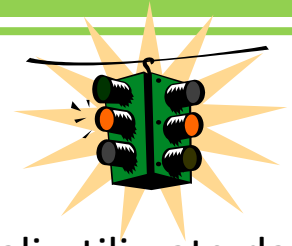
Definizioni

(art. 207)

- campi elettromagnetici: campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo di frequenza inferiore o pari a 300 GHz;
- “effetti biologici diretti”, effetti provocati direttamente nel corpo umano a causa della sua presenza all’interno di un campo elettromagnetico, che comprendono:
 - 1) effetti termici (riscaldamento dei tessuti a causa dell’assorbimento di energia dai campi elettromagnetici nei tessuti medesimi)
 - 2) effetti non termici (stimolazione di muscoli, nervi e organi sensoriali: detrimento per la salute mentale e fisica dei lavoratori esposti);
- valori limite di esposizione (VLE): limiti all’esposizione a campi elettromagnetici che sono basati direttamente sugli effetti sulla salute accertati e su considerazioni biologiche. Il rispetto di questi limiti garantisce che i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici sono protetti contro tutti gli effetti nocivi a breve termine per la salute conosciuti;
- valori di azione (VA): l’entità dei parametri direttamente misurabili, espressi in termini di intensità di campo elettrico (E), intensità di campo magnetico (H), induzione magnetica (B), corrente indotta attraverso gli arti (I_L) e densità di potenza (S), che determina l’obbligo di adottare una o più delle misure di salvaguardia. Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei pertinenti valori limite di esposizione.

Valori limite di azione

(art. 208)



Sono ottenuti a partire dai valori limite di esposizione secondo le basi razionali utilizzate dalla Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP) nelle sue linee guida sulla limitazione dell'esposizione alle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP 7/99).

[valori efficaci (rms) imperturbati]

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (μ T)	Densità di potenza di onda piana S_{eq} (W/m ²)	Corrente di contatto, I_c (mA)	Corrente indotta attraverso gli arti I_L (mA)
0 - 1 Hz	/	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	/	1,0	/
1 - 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	/	1,0	/
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$	/	1,0	/
0,025 - 0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	/	1,0	/
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	/	1,0	/
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	/	$0,4f$	/
65 - 100 kHz	610	$1600/f$	$2000/f$	/	$0,4f$	/
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	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$	/	/
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50	/	/

Valori limite di esposizione

(art. 208)



Tutte le condizioni devono essere rispettate.

Intervallo di frequenza	Densità di corrente per capo e tronco J (mA/m ²) (rms)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR localizzato (capo e tronco) (W/kg)	SAR localizzato (arti) (W/kg)	Densità di potenza (W/m ²)
Fino a 1 Hz	40	/	/	/	/
1 - 4 Hz	40/f	/	/	/	/
4 - 1000 Hz	10	/	/	/	/
1000 Hz - 100 kHz	f/100	/	/	/	/
100 kHz - 10 MHz	f/100	0,4	10	20	/
10 MHz - 10 GHz	/	0,4	10	20	/
10 - 300 GHz	/	/	/	/	50

Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi

(art. 209)

Nell'ambito della valutazione dei rischi, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura o calcola i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori.

La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati in conformità alle norme europee standardizzate del Comitato europeo di normalizzazione elettrotecnica (CENELEC).

Finché le citate norme non avranno contemplato tutte le pertinenti situazioni per quanto riguarda la valutazione, misurazione e calcolo dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici, il datore di lavoro adotta le specifiche buone prassi individuate od emanate dalla Commissione consultiva permanente per la prevenzione degli infortuni e per l'igiene del lavoro, o, in alternativa, quelle del Comitato Elettrotecnico italiano (CEI), tenendo conto, se necessario, dei livelli di emissione indicati dai fabbricanti delle attrezzature.

A seguito della valutazione dei livelli dei campi elettromagnetici effettuata in conformità al comma 1, qualora risulti che siano superati i valori di azione, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, calcola se i valori limite di esposizione sono stati superati.

Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi

(art. 209)

Nella valutazione del rischio, va prestata particolare attenzione ai seguenti elementi:

- a. il livello, lo spettro di frequenza, la durata e il tipo dell'esposizione;
- b. i valori limite di esposizione e i valori di azione;
- c. tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili;
- d. qualsiasi effetto indiretto quale:
 1. interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (stimolatori cardiaci, ecc.);
 2. rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici con induzione magnetica superiore 3 mT;
 3. innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori);
 4. incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;
 5. l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;
- e. la disponibilità di azioni di risanamento volte a minimizzare i livelli di esposizione;
- f. informazioni raccolte con la sorveglianza sanitaria ed informazioni scientifiche;
- g. sorgenti multiple di esposizione;
- h. esposizione simultanea a campi di frequenze diverse

Misure di prevenzione e protezione

(art. 210)

A seguito della valutazione dei rischi, qualora risulti che i valori di azione di cui all'articolo 208 sono superati, il datore di lavoro, a meno che la valutazione effettuata dimostri che i valori limite di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza, elabora ed applica un programma d'azione che comprenda misure tecniche e organizzative intese a prevenire esposizioni superiori ai valori limite di esposizione, tenendo conto in particolare:

- a. di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione ai campi elettromagnetici;
- b. della scelta di attrezzature che emettano campi elettromagnetici di intensità inferiore, tenuto conto del lavoro da svolgere;
- c. delle misure tecniche per ridurre l'emissione dei campi elettromagnetici, incluso se necessario l'uso di dispositivi di sicurezza, schermature o di analoghi meccanismi di protezione della salute;
- d. degli appropriati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei luoghi e delle postazioni di lavoro;
- e. della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro;
- f. della limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;
- g. della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuale.

Misure di prevenzione e protezione

(art. 210)

I luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti a campi elettromagnetici che superano i valori di azione devono essere indicati con un'apposita segnaletica. Tale obbligo non sussiste nel caso in cui sia dimostrabile che i valori limite di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza. Dette aree sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista il rischio di un superamento dei valori limite di esposizione.

In nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione. Allorché, nonostante i provvedimenti presi, i valori limite di esposizione risultino superati, devono essere adottate misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione, individuate le cause del superamento dei valori limite di esposizione e adeguate, di conseguenza, le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

Sorveglianza sanitaria

(art. 211)

La sorveglianza sanitaria viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità inferiore decisa dal medico competente con particolare riguardo ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio, tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi trasmessi dal datore di lavoro.

È facoltà dell'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, disporre contenuti e periodicità della sorveglianza diversi rispetto a quelli forniti dal medico competente.

Sono tempestivamente sottoposti a controllo medico i lavoratori per i quali è stata rilevata un'esposizione superiore ai valori di azione a meno da precise valutazioni effettuate non si dimostri che i valori limite di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza.

In caso di inottemperanza, il datore di lavoro è soggetto a sanzione penale con arresto da tre a sei mesi convertibile in ammenda da 2.000 a 4.000 euro.