

Rischi da esposizione a Campi Elettromagnetici (CEM)



Il Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 (conosciuto anche come "Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro") stabilisce le norme di sicurezza e salute nei luoghi di lavoro in Italia. In particolare, per quanto riguarda i campi elettromagnetici (CEM), il riferimento principale è il **Titolo VIII, Capo IV**, che include vari articoli dedicati alla prevenzione e protezione dai rischi derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici.

Ecco i principali articoli del Titolo VIII, Capo IV, del D.Lgs. 81/08 che trattano specificamente i CEM:

Articolo 206 - Campo di applicazione

Questo articolo definisce il campo di applicazione delle norme in materia di esposizione a campi elettromagnetici, specificando che si applicano a tutte le attività in cui i lavoratori sono esposti a rischi derivanti da CEM, in linea con i limiti di esposizione stabiliti dalle normative.

Articolo 207 - Definizioni

L'articolo fornisce le definizioni necessarie per comprendere il Capo IV, compresi termini come "campi elettromagnetici", "valori limite di esposizione" e "livelli di azione".

Articolo 208 - Valori limite di esposizione e livelli di azione

In questo articolo sono descritti i valori limite di esposizione e i livelli di azione per i CEM, secondo quanto stabilito da normative europee. Sono riportati i livelli di azione che, se superati, richiedono l'adozione di misure specifiche di prevenzione.

Articolo 209 - Valutazione dei rischi

L'articolo 209 stabilisce l'obbligo del datore di lavoro di effettuare una valutazione dei rischi derivanti da campi elettromagnetici. Questa valutazione deve considerare:

I livelli di CEM presenti nei luoghi di lavoro.

Gli effetti diretti e indiretti dei campi elettromagnetici.

La durata e le condizioni dell'esposizione.

La valutazione deve essere adeguatamente documentata e rivista ogni volta che ci siano modifiche significative nelle condizioni di lavoro.

Articolo 210 - Misure di prevenzione e protezione

Questo articolo stabilisce che il datore di lavoro deve adottare misure tecniche e organizzative per ridurre al minimo l'esposizione dei lavoratori ai CEM. Le misure possono includere:

La progettazione di luoghi di lavoro che minimizzino l'esposizione. L'adozione di dispositivi di protezione collettiva e individuale. La limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione.

Articolo 211 - Informazione e formazione dei lavoratori

L'articolo 211 stabilisce l'obbligo per il datore di lavoro di fornire ai lavoratori informazioni e formazione adeguate sui rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici.

In particolare, i lavoratori devono essere informati su:

- I valori limite di esposizione.
- I potenziali effetti sulla salute dei campi elettromagnetici.
- Le misure adottate per ridurre al minimo il rischio.

Articolo 212 - Sorveglianza sanitaria

Questo articolo descrive l'obbligo di effettuare la sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti a campi elettromagnetici, qualora sia stato riscontrato un rischio per la salute in base alla valutazione dei rischi. La sorveglianza deve essere condotta dal medico competente, che ha il compito di monitorare eventuali effetti nocivi sulla salute.

I **campi elettromagnetici (CEM)** sono campi di forza generati da cariche elettriche in movimento. Sono una combinazione di campi elettrici e magnetici, che si propagano nello spazio sotto forma di onde. Queste onde possono avere lunghezze d'onda molto diverse tra loro e si dividono in diverse categorie lungo lo **spettro elettromagnetico**, che include, ad esempio, onde radio, microonde, infrarosso, luce visibile, ultravioletti, raggi X e raggi gamma.

Tipologie di Campi Elettromagnetici

I campi elettromagnetici possono essere suddivisi in base alla loro **frequenza**:

- **Campi statici**: generati da fonti come i magneti permanenti o i dispositivi che utilizzano corrente continua (come le batterie). Non variano nel tempo.
- **Campi a bassa frequenza**: sono quelli generati dalle linee elettriche, da dispositivi elettrici e elettrodomestici. Tipicamente sono compresi tra 0 e 300 Hz.
- **Campi ad alta frequenza**: includono le onde radio, le microonde e la luce visibile. Sono generati da sorgenti come antenne per la trasmissione di radio e TV, telefoni cellulari e forni a microonde.

Fonti Comuni di Campi Elettromagnetici

- **Apparecchiature domestiche** come forni a microonde, televisori e router WiFi.
- **Dispositivi elettronici portatili**, tra cui telefoni cellulari, tablet e laptop.
- **Linee ad alta tensione e sottostazioni elettriche**, che emettono campi a bassa frequenza.
- **Antenne per telecomunicazioni** e trasmettitori di segnali radio e televisivi.



Effetti sulla Salute dei Campi Elettromagnetici

L'esposizione ai campi elettromagnetici può avere diversi effetti sulla salute, che variano in base alla frequenza, all'intensità del campo e alla durata dell'esposizione.

Effetti Termici:

I campi elettromagnetici a **alta frequenza**, come le microonde, possono provocare un **riscaldamento dei tessuti biologici**. Questo effetto è simile al funzionamento di un forno a microonde e, a livelli elevati, può causare danni ai tessuti e organi, in particolare in aree come gli occhi e il cervello, dove la dissipazione del calore è limitata.

Effetti Non Termici:

I campi elettromagnetici a **bassa frequenza** non causano un **riscaldamento significativo dei tessuti**, ma possono interagire con il sistema nervoso e con le correnti elettriche interne del corpo.

Gli effetti non termici comprendono **potenziali interferenze con il funzionamento del cuore, dei muscoli e del sistema nervoso centrale**.

Effetti sul Sistema Nervoso:

L'esposizione a campi elettromagnetici ad alta intensità può causare stimolazione dei nervi e dei muscoli, con sintomi come **formicolio o contrazioni muscolari**.

Esposizioni acute possono avere effetti più gravi, come vertigini e nausea.

Possibili Effetti a Lungo Termine:

Alcuni studi hanno suggerito che un'esposizione prolungata a campi elettromagnetici possa aumentare il rischio di **malattie croniche**, come **tumori e leucemia** (specialmente nei bambini esposti a campi magnetici di elevata intensità).

L'**Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC)** ha classificato i campi elettromagnetici a bassa frequenza come **“possibilmente cancerogeni per l'uomo”** (gruppo 2B). Tuttavia, la ricerca è ancora in corso, e le prove non sono conclusive.

Sintomi di Esposizione a CEM

- **Mal di testa**
- **Affaticamento**
- **Disturbi del sonno**
- **Problemi di concentrazione**
- **Ansia e irritabilità**

Questi sintomi, spesso associati all'esposizione a CEM, rientrano nella cosiddetta **ipersensibilità elettromagnetica**. Tuttavia, la comunità scientifica è divisa sul fatto che questi sintomi siano direttamente collegati all'esposizione ai campi elettromagnetici, poiché in molti casi non si è riusciti a trovare una correlazione chiara.

Normative di Sicurezza

Per minimizzare il rischio derivante dall'esposizione ai campi elettromagnetici, diverse normative nazionali e internazionali, come il **D.Lgs. 81/08** in Italia e le direttive dell'**Unione Europea**, stabiliscono **valori limite** per l'esposizione. Questi limiti variano in base alla frequenza e al tipo di campo e sono definiti per garantire la sicurezza dei lavoratori e della popolazione generale.

Misure di Prevenzione

Distanza dalle Fonti: Aumentare la distanza dalle sorgenti di campi elettromagnetici è uno dei modi più efficaci per ridurre l'esposizione.

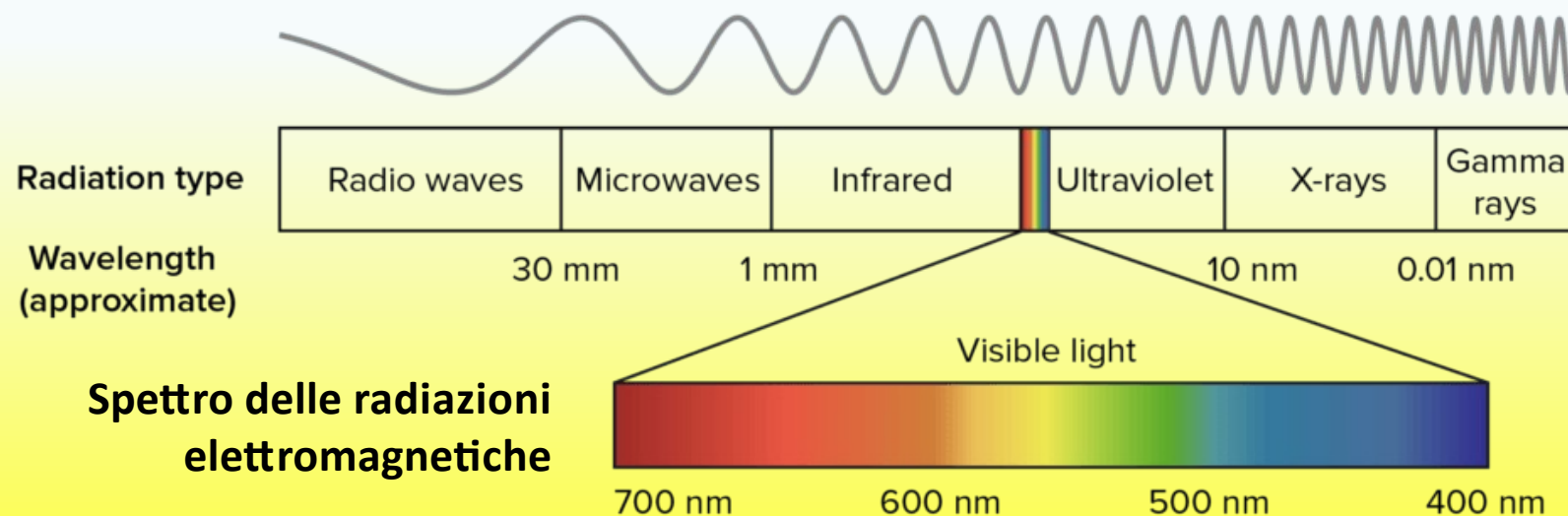
Riduzione del Tempo di Esposizione: Limitare il tempo in cui si è esposti a campi ad alta intensità.

Schermatura: L'uso di schermature fisiche può ridurre l'esposizione ai campi elettromagnetici, specialmente in ambiti industriali.

Monitoraggio: Utilizzare strumenti per misurare i livelli di campo elettromagnetico sul luogo di lavoro e assicurarsi che siano conformi ai limiti di sicurezza.

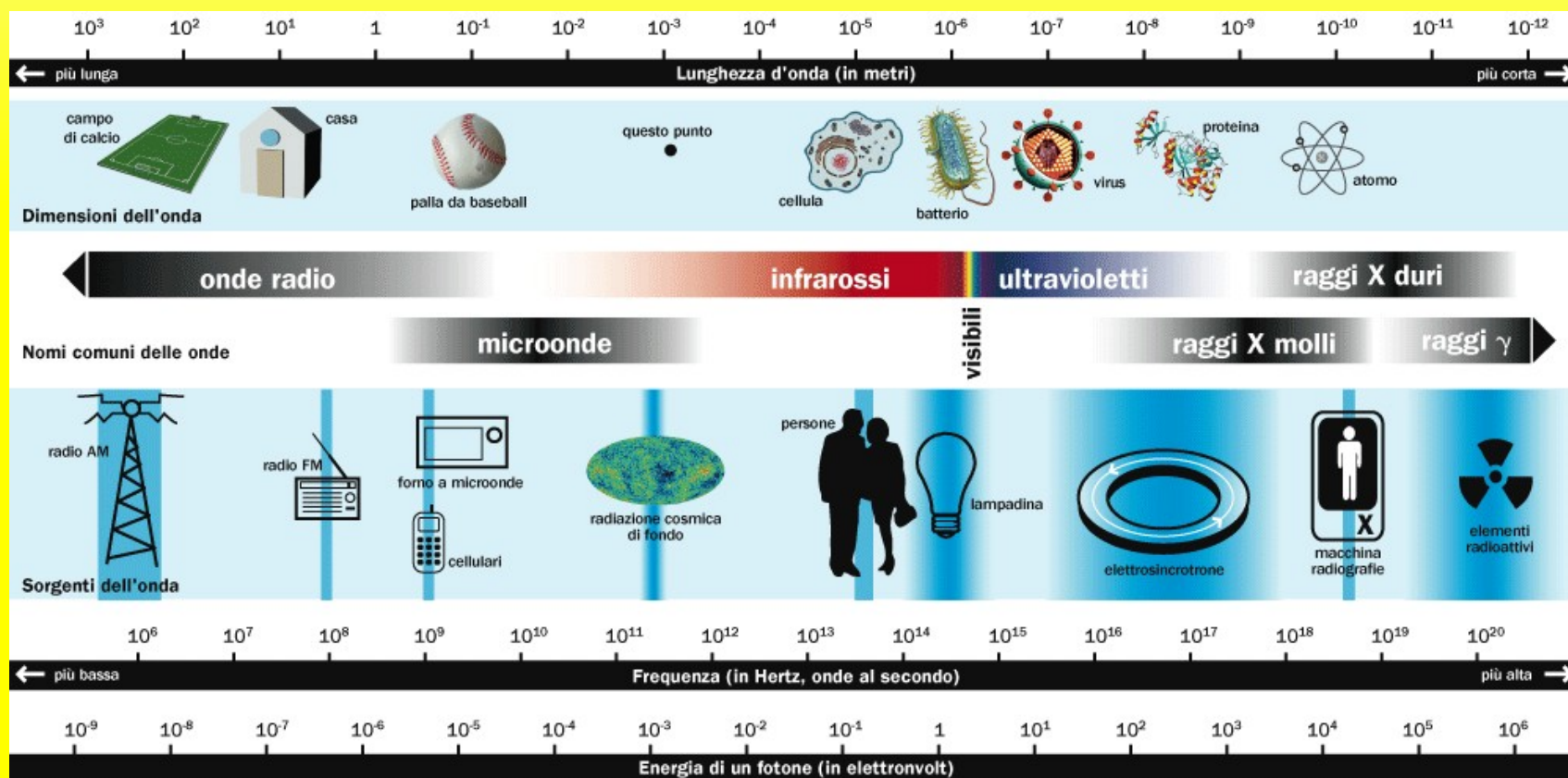
I campi elettromagnetici dunque fanno parte della nostra vita quotidiana, ma l'esposizione a livelli elevati o per periodi prolungati può avere potenziali effetti sulla salute. È importante comprendere le fonti di esposizione e adottare misure preventive per minimizzare i rischi, soprattutto in ambienti lavorativi dove l'esposizione può essere maggiore.

Electromagnetic spectrum



I campi elettromagnetici possono quindi essere suddivisi in:

- radiazioni a frequenze estremamente basse (ELF)
- radiofrequenze (RF)
- microonde (MO)
- infrarosso (IR)
- luce visibile
- radiazione ultravioletta (UV)
- raggi x (radioattività artificiale)
- raggi gamma (radioattività naturale)



Lo spettro elettromagnetico si divide anche in: radiazioni non ionizzanti (NIR) che sono onde elettromagnetiche di energia tale da non provocare la ionizzazione della materia, cioè il distacco di elettroni da atomi o molecole e radiazioni ionizzanti (IR) che, al contrario, hanno l'energia sufficiente per rompere i legami atomici profondi. La zona della luce visibile rappresenta il confine tra le due classificazioni.

Comunemente parlando, però, con il termine “campi elettromagnetici” le persone si riferiscono alle onde relative alla sola parte di spettro delle radiazioni non ionizzanti, quindi utilizzeremo di seguito il termine “campi elettromagnetici” impropriamente per descrivere solo questa porzione di spettro.

Campi Elettromagnetici [0 Hz - 300 GHz] : descrizione del rischio

Con il termine Radiazioni Non Ionizzanti, sinteticamente NIR dalle iniziali della omologa definizione inglese Non-Ionizing Radiation, si indica genericamente quella parte dello spettro elettromagnetico il cui meccanismo primario di interazione con la materia non è quello della ionizzazione. Lo spettro elettromagnetico viene infatti 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). Quest'ultima viene a sua volta suddivisa, 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 analisi, 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.

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

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'innescare di elettrodetonatori ed nel rischio incendio di materiali infiammabili per scintille provocate dalla presenza dei CEM nell'ambiente (DLgs.81/2008, art. 209, comma 4, lettera d). 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 tramite uno statement la validità dei contenuti delle linee guida del 1998 per le radiofrequenze 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 precedentemente descritti.

I campi elettromagnetici vengono dunque descritti tramite due grandezze fisiche:
il campo elettrico ed il campo magnetico.

Il campo elettrico si definisce come una perturbazione dello spazio causata dalla sola presenza di cariche elettriche.

L'intensità di campo elettrico viene misurata in Volt/metro (V/m).

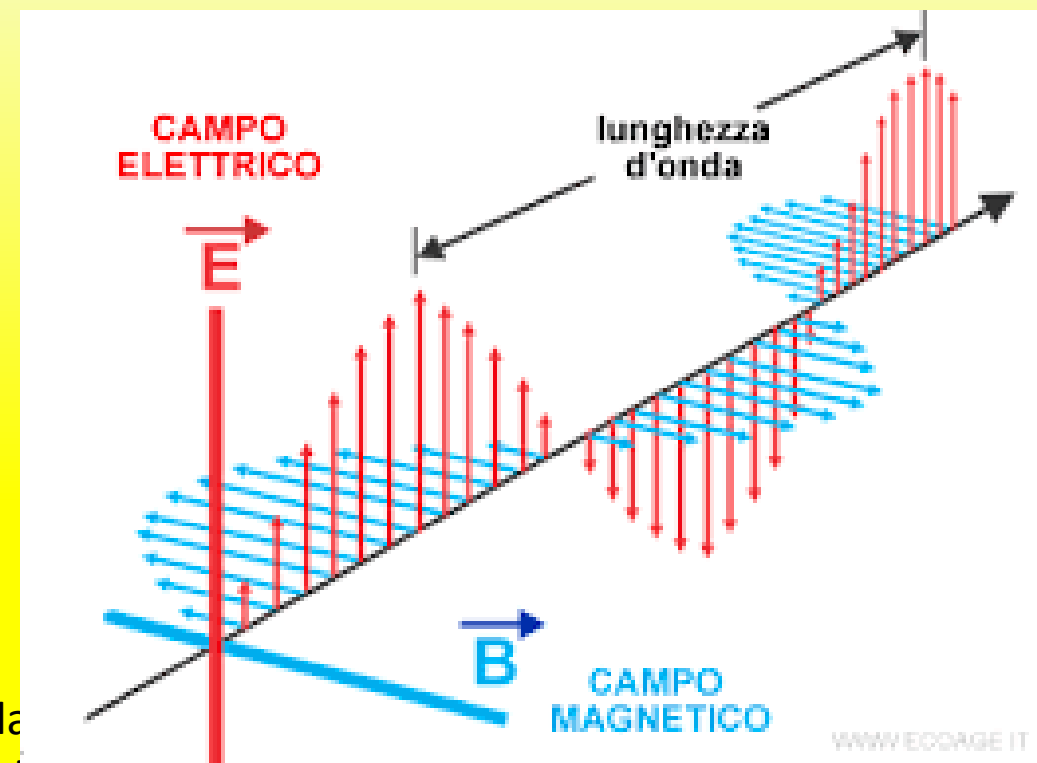
Il campo magnetico, invece, è prodotto dal movimento fisico delle cariche elettriche (presenza di correnti elettriche) o dalle caratteristiche intrinseche di alcuni materiali.

L'intensità del campo magnetico è misurata in Ampère/metro (A/m). Un'altra grandezza fisica legata alle caratteristiche magnetiche dei campi è l'induzione magnetica la cui intensità è misurata in tesla (T).

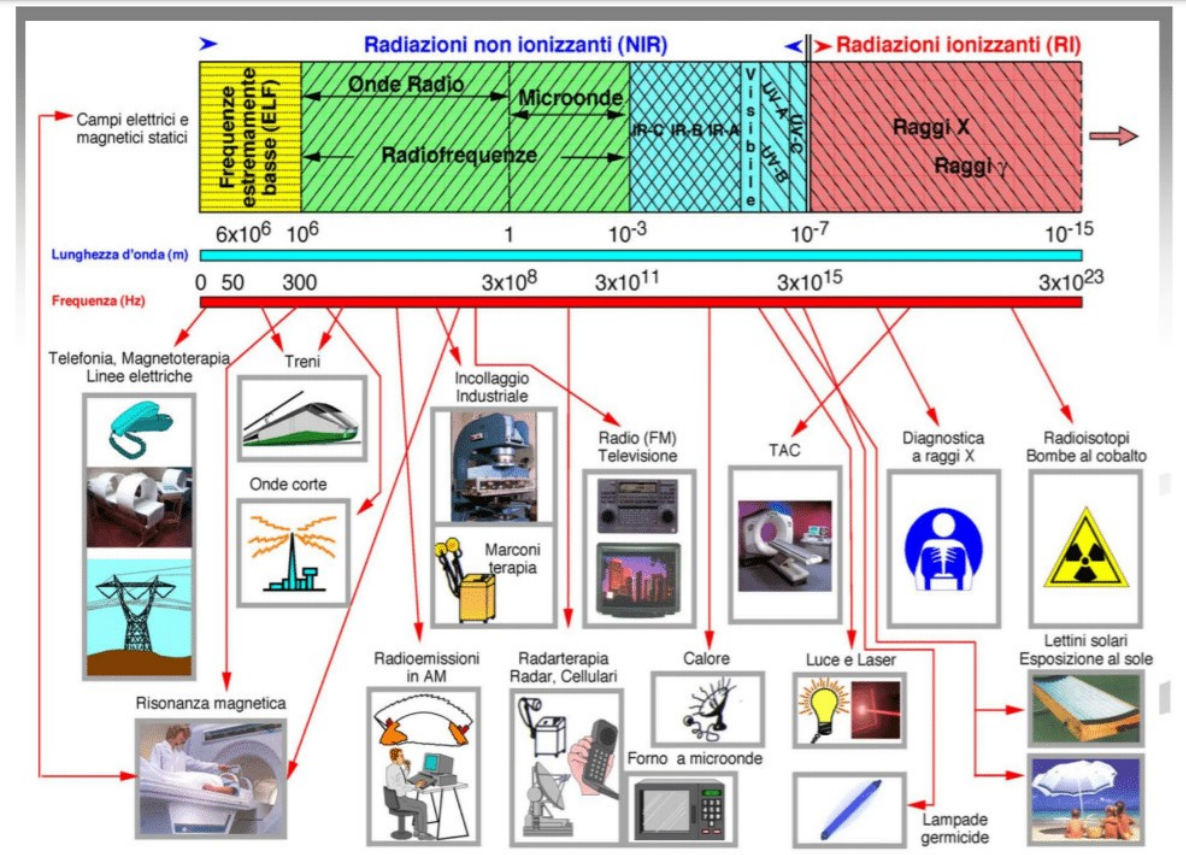
Tra i CEM rientra anche, come detto, la luce visibile.

In questo ambito la protezione dell'ambiente si esplica in termini di controllo e minimizzazione dell'inquinamento luminoso: esso ha ricadute non tanto sulla salute umana, quanto sugli ecosistemi, sulla perdita di capacità di osservazione del cielo buio.

La sensibilità al tema dell'inquinamento luminoso va aumentando in relazione alla necessità di aumentare l'efficienza dei sistemi illuminanti ai fini della riduzione dei consumi elettrici: uno dei primi passi in questa direzione è quello di evitare che la luce prodotta venga dispersa verso il cielo.



	NOME	Frequenza	ESEMPI DI IMPIEGO
	Campi s.	0 – 1 Hz	Risonanza magnetica
	ELF	1 Hz - 3 KHz	Elettrodotti - MagnetoT
IF	VLF	3-30 KHz	Antifurto e antitaccheggio
	LF	30-300 KHz	Radio AM onde lunghe
RF	MF	300 KHz – 3 MHz	Radio AM onde medie e corte Forni a induzione
	HF	3-30 MHz	Termoincollatrici - MarconiT
	VHF	30-300 MHz	Radio FM - TV
MO	UHF	300 MHz -3GHz	Cellulari – TV - Forni a MO - Radarterapia
	SHF	3-30 GHz	Radar – Collegam. satellitari
	EHF	30-300 GHz	



Campi Statici	Lunghezza d'onda λ (metri)	Frequenza f (Hz)
	-	0
VLF, ELF, IF 	100 km ÷ 1 km	3 ÷ 300 kHz
RF – MO 	1 km ÷ 1 mm	300 kHz ÷ 300 GHz

PARAMETRI CARATTERISTICI

I **campi elettromagnetici (CEM)** possono avere una varietà di effetti sugli organismi viventi, dipendenti dalla frequenza, dall'intensità del campo e dalla durata dell'esposizione. Gli effetti possono essere di tipo **termico**, **non termico**, o ancora a lungo termine, e possono interessare differenti livelli biologici, dall'intero organismo fino alle singole cellule.

Di seguito una panoramica sugli **effetti dei CEM sugli organismi viventi**.

1. Effetti Termici

Gli **effetti termici** sono causati dal riscaldamento dei tessuti quando sono esposti a campi elettromagnetici ad alta frequenza, come quelli generati dai forni a microonde o dalle antenne per telecomunicazioni.

Quando i CEM ad alta frequenza interagiscono con il corpo, possono generare calore, aumentando la temperatura dei tessuti.

Un esempio comune è l'utilizzo di telefoni cellulari: l'assorbimento delle microonde può portare a un riscaldamento delle cellule vicine al punto di contatto, come quelle della testa.

A lungo termine, l'esposizione a livelli elevati di CEM termici può causare danni ai tessuti sensibili, come quelli degli occhi e dei testicoli, poiché questi non sono in grado di dissipare il calore in maniera efficace.

2. Effetti Non Termici

Gli **effetti non termici** si verificano a esposizioni di frequenza più bassa, dove il riscaldamento non è significativo ma ci sono effetti biologici dovuti all'interazione tra i campi elettromagnetici e le cellule o i tessuti.

Stimolazione dei Nervi e dei Muscoli: I campi a bassa frequenza, come quelli generati da linee elettriche e dispositivi elettronici domestici, possono causare stimolazione dei nervi e dei muscoli, provocando sensazioni come **formicolio** o **contrazioni muscolari involontarie**.

Alterazione delle Funzioni Cellulari: I campi elettromagnetici possono alterare la permeabilità della membrana cellulare e interferire con la comunicazione cellulare. Ciò potrebbe portare a **squilibri ionici** e alterazioni nei processi biochimici delle cellule.

3. Effetti a Lungo Termine e Cancro

Gli effetti a lungo termine dell'esposizione ai CEM sono ancora oggetto di ricerca e dibattito. Le principali preoccupazioni riguardano il possibile **sviluppo di tumori**.

Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC): I campi elettromagnetici a bassa frequenza sono stati classificati dalla IARC come “**possibilmente cancerogeni per l'uomo**” (categoria 2B). Questo significa che c'è una possibile correlazione tra esposizione ai CEM e lo sviluppo di alcune forme di tumore, come il **glioma**, un tipo di tumore cerebrale.

Leucemia Infantile: Alcuni studi epidemiologici hanno suggerito una possibile associazione tra l'esposizione prolungata a campi magnetici a bassa frequenza (come quelli emessi da linee ad alta tensione) e un aumento del rischio di **leucemia infantile**. Tuttavia, le prove non sono ancora conclusive.

4. Disturbi del Sonno e del Sistema Nervoso

L'esposizione ai CEM può influenzare anche il **sistema nervoso centrale** e il **sistema endocrino**, con effetti sulla qualità della vita.

Disturbi del Sonno: È stato suggerito che l'esposizione ai campi elettromagnetici, soprattutto durante la notte, possa influire sulla qualità del sonno. I CEM potrebbero interferire con la produzione di **melatonina**, l'ormone che regola il ciclo sonno-veglia, causando insonnia e riducendo la qualità del riposo.

Ansia e Affaticamento: Alcuni studi indicano che una lunga esposizione ai campi elettromagnetici possa contribuire a sintomi come **affaticamento cronico**, **ansia**, **irritabilità** e difficoltà di concentrazione. Questi sintomi rientrano spesso nella condizione nota come **ipersensibilità elettromagnetica**.

5. Effetti sul Sistema Riproduttivo

Ci sono preoccupazioni sugli effetti dei campi elettromagnetici sul **sistema riproduttivo**, in particolare per gli uomini.

Riduzione della Fertilità: Studi su animali e umani hanno suggerito che l'esposizione a campi elettromagnetici a frequenza elevata potrebbe ridurre la **qualità dello sperma**, diminuendo la motilità e aumentando i danni al DNA degli spermatozoi.

Effetti sui Feti: L'esposizione delle donne incinte a campi elettromagnetici potrebbe, secondo alcuni studi, avere effetti negativi sullo sviluppo del **feto**, ma sono necessarie ulteriori ricerche per confermare queste correlazioni.

6. Effetti Cellulari e Molecolari

Gli effetti dei CEM a livello cellulare includono:

Stress Ossidativo: I campi elettromagnetici possono contribuire alla formazione di **radicali liberi**, portando a **stress ossidativo** che può danneggiare lipidi, proteine e DNA all'interno delle cellule.

Danni al DNA: Sebbene i campi elettromagnetici non siano ionizzanti (e quindi non direttamente in grado di rompere i legami chimici nel DNA), alcuni studi suggeriscono che l'esposizione prolungata possa aumentare i **danni al DNA**, sia attraverso meccanismi diretti che indiretti, come l'induzione di stress ossidativo.

7. Ipotesi sull'Ipersensibilità Elettromagnetica

L'**ipersensibilità elettromagnetica** è una condizione in cui alcune persone riferiscono sintomi quali mal di testa, affaticamento, disturbi del sonno e irritabilità, attribuendoli all'esposizione ai CEM. Tuttavia, studi scientifici non sono stati in grado di stabilire una correlazione chiara tra l'esposizione a CEM e questi sintomi. Si ritiene che, in molti casi, i sintomi possano essere di origine **psicosomatica**.

Si ricorda che la frequenza di 50 Hz (60 Hz nel Nord America) è “universalmente impiegata per il trasporto e l’impiego dell’energia elettrica” e che “ogni linea elettrica aerea o interrata, cablaggio, barra di trasmissione, cavo, costituisce una sorgente di dispersione nell’ambiente circostante”.

In particolare “al di sotto di una linea a 380 kV il campo elettrico può raggiungere e superare i 5 kV/m e l’induzione magnetica qualche decina di μ Tesla”.

Ricordiamo, a questo proposito, che l’unità di misura del campo elettrico più comunemente impiegata è il Volt/metro (V/m), mentre quella del campo magnetico è l’Ampère/metro, anche se per comodità si misura il flusso di induzione magnetica che si esprime in Tesla e nei suoi sottomultipli, come il microtesla μ T e il millitesla mT.

Qualunque “**apparecchiatura alimentata con correnti elevate** costituisce una potenziale sorgente”.

Ad esempio esposizioni significative sono riscontrabili “nei processi di smerigliatura a mano (tra 100 e 600 μ Tesla)”.

Altri lavoratori che possono “risultare esposti con continuità a campi magnetici tra 100 μ Tesla e 10 mTesla con picchi superiori ai 100 mTesla” sono quelli impiegati “nei vari tipi di forni elettrici e nelle fonderie (fusione e trattamento dell’acciaio e altri metalli)”, specialmente nell’ambito della saldatura.

Riscaldatori industriali a radiofrequenza e microonde

In Italia il numero di riscaldatori è nell’ordine delle decine di migliaia, “tradizionalmente suddivisi in tre categorie secondo il principio e le modalità di funzionamento:

- a perdite dielettriche;
- a induzione magnetica;
- a microonde.

In particolare i **riscaldatori a microonde**, che vengono impiegati per la “disinfestazione, precottura ed essiccamento di prodotti alimentari”, “non costituiscono sorgenti significative di esposizione, a meno di grave usura o deterioramento delle guarnizioni sulle aperture”.

I **riscaldatori a perdite dielettriche**, che “sono in grado di produrre calore direttamente all’interno del materiale trattato” ([industria del legno](#), [saldatura](#) e stampaggio di manufatti in plastica, industria tessile (essiccamento delle fibre) possono produrre [livelli di esposizione](#) significativi: “tipicamente tra 0.1 e 20 A/m per il campo magnetico e tra 10 e 300 V/m per il campo elettrico”.

I livelli di esposizione dipendono:

- dalla potenza;
- dal tipo e configurazione degli applicatori;
- dalle procedure di impiego;
- dalla posizione del lavoratore;
- dalla presenza di riflessioni o meno su superfici metalliche.

Le **saldatrici a induzione** sfruttano invece “[intensissimi campi magnetici per produrre calore all’interno di metalli e semiconduttori](#)” e si usano “nel trattamento dei materiali metallici (saldatura, indurimento, tempera, fusione, etc.) e nell’industria elettronica”.

Ricordando che “le potenze possono variare tra le centinaia di kW e le migliaia di kW e la frequenza d’uso “varia dal centinaio di kHz sino a qualche MHz”, i livelli di esposizione possono risultare elevati “in assenza delle opportune misure di protezione e contenimento”.

In particolare per “un apparato funzionante alla frequenza di 10 kHz, alla distanza di 1 m si possono rilevare livelli di induzione magnetica variabili tra 30 μ T e 500 μ T e a 10 cm di distanza picchi fino a 5 mT”.

Apparati per telecomunicazioni

Per i lavoratori “la cui mansione comporta [l’ascesa su torri e tralicci](#), per l’installazione o la manutenzione di sistemi radio FM o televisivi UHF” ci possono essere esposizioni “a campi elettrici fino a 1000 V/m, e magnetici fino a 5 A/m”.

Inoltre “esposizioni di interesse protezionistico possono riguardare anche operatori addetti alla [manutenzione di stazioni radio base GSM \(900MHz - 1800 MHz\) e UMTS \(1900 MHz – 2200 MHz\)](#)”.

Infine riguardo ai [sistemi di trasmissione portatili a radiofrequenza](#) si ricorda che “possibili superamenti del SAR locale nella testa” (il SAR è il tasso di assorbimento specifico) “possono verificarsi nel caso di sistemi TETRA montati su autoveicoli per improprie procedure di utilizzo (frequenza di funzionamento 400 MHz e potenze di picco variabili tra 3 e 30 W)”.

- **Effetto sanitario** = l'effetto biologico supera i meccanismi di adattamento dell'organismo, con comparsa di disturbi clinici o vere e proprie malattie;
- I meccanismi di adattamento variano con l'età, il sesso, lo stato di salute, il tipo e grado di attività del soggetto, nonché con le condizioni ambientali esterne, come temperatura e umidità o la contemporanea presenza di altri agenti nocivi.

L'interazione dei CEM con la materia biologica produce due effetti accertati:

1. Alle frequenze più basse (fino a ≈ 1 MHz) prevale l'induzione di correnti elettriche nei tessuti elettricamente stimolabili, come nervi e muscoli.
 2. Con l'aumentare della frequenza aumenta sempre più la cessione di energia nei tessuti attraverso il rapido movimento oscillatorio di ioni e molecole di acqua, con lo sviluppo di calore.
- A frequenze ≥ 10 MHz, l'effetto termico è l'unico a permanere
 - Al di sopra di 10 GHz, l'assorbimento è esclusivamente a carico della cute.
 - **Elettrici**: aritmie cardiache, stimolazioni nervose e muscolari, ...
 - **Termici**:
 - innalzamento della temperatura corporea di pochi gradi con conseguente attivazione del sistema di termoregolazione
 - effetti da stress termico
 - fino a vere e proprie ustioni e necrosi da radiofrequenze.
 - Organi bersaglio: cristallino (cataratta) e testicoli (atrofia)
 - **correnti di contatto**: quando l'organismo viene in contatto con oggetti caricati dal CEM a diverso potenziale elettrico: percezioni dolorose, contrazioni muscolari, ustioni;
 - **accoppiamento del CEM con dispositivi elettromedicali** (compresi stimolatori cardiaci) e altri dispositivi impiantati o portati dal soggetto esposto.
 - **rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici**: all'interno di intensi campi magnetici statici;
 - **innesco di elettrodetonatori e rischio incendio**: di materiali infiammabili per scintille provocate dalla presenza dei CEM nell'ambiente

Limiti dosimetrici primari per i CEM a basse frequenze:
< 100 kHz (ELF, VLF, IF)

- L'ICNIRP ha fissato i limiti dosimetrici primari di densità di correnti indotte nel corpo ($J = \text{mA/m}^2$)
- L'Unione Europea ha adottato una direttiva sull'esposizione occupazionale ai CEM, Direttiva 2004/40/CE (Campi elettromagnetici), recepita nel DLgs 81/08, al Titolo VIII, Capo IV.
- Nel 2013 nuova DIRETTIVA 2013/35/UE sui CEM. Gli stati membri dovranno conformarsi alla direttiva entro il primo luglio 2016.
- Art. 208 DLgs 81/08 – Tit. VIII – Allegato XXXVI: Valori limite di esposizione CEM a bassa frequenza (= valori dosimetrici primari)

Frequenza	Densità di corrente per corpo e tronco (mA/m^2)
< 1 Hz	40
1 - 4 Hz	$40/f$
4 - 1.000 Hz	10
1 - 100 KHz	$f/100$

Limiti dosimetrici primari per i CEM a RF e MO (100 kHz – 300 GHz)

- L'assorbimento di energia viene misurato dalla grandezza SAR (Specific Absorption Rate) la cui unità di misura è il W/kg .
- Non ci sono effetti termici al di sotto di 4 W/kg
- Dividendo per 10 il valore di 4 W/kg , si è fissato il limite primario per i lavoratori (quindi $0,4 \text{ W/kg}$);
- 10-300 GHz = Densità di potenza, espressa in W/m^2

Limiti **derivati** di riferimento per i CEM a **bassa frequenza**

Le **grandezze dosimetriche primarie** non sono **direttamente misurabili**, per cui si utilizzano i valori limite derivati:

- Intensità di campo elettrico (E, espresso in Volt/metro - V/m)
- Intensità di campo magnetico (H, espresso in ampère/metro - A/m)
- **Induzione magnetica (B, espressa in Tesla – T)**
- Correnti di contatto (I_c, espresso in mA)
- il rispetto dei limiti derivati garantisce il non superamento dei limiti primari.

Frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (micro T)	Densità di Potenza S (W/m ²)	Corrente di Contatto I _c (mA)
0-1 Hz	/	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	/	1,0
1-8 Hz	20.000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	/	1,0
8-25 Hz	20.000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	/	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	$1.600 / f$	$2.000 / f$	/	0,4f

Art. 208 DLgs 81/08 – Tit. VIII - Valori limite di
esposizione CEM ad alta frequenza
(= valori dosimetrici primari)

Frequenza	Densità di corrente per corpo e tronco (mA/m ²)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR localizzato a capo e tronco (W/kg)	SAR localizzato agli arti (W/kg)	Densità di potenza (W/m ²)
0,1 - 10 MHz	f/100	0,4	10	20	/
0,01 - 10 GHz	/	0,4	10	20	/
10 - 300 GHz	/	/	/	/	50

In Italia, i valori limite per l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici (CEM) ad alta frequenza (da 100 kHz a 300 GHz) sono stabiliti dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri (D.P.C.M.) dell'8 luglio 2003. Questo decreto definisce tre parametri chiave: limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità.

Limiti di esposizione: questi rappresentano i livelli massimi di CEM consentiti per prevenire effetti a breve termine sulla salute. Per frequenze comprese tra 3 MHz e 3 GHz, il limite per l'intensità del campo elettrico è di 20 V/m. **Elettrosmog**

Valori di attenzione: introdotti come misura cautelativa per proteggere da possibili effetti a lungo termine, si applicano in ambienti dove la permanenza è superiore a quattro ore giornaliere. Per frequenze tra 0,1 MHz e 300 GHz, il valore di attenzione per l'intensità del campo elettrico è di 6 V/m. **Elettrosmog**

Obiettivi di qualità: mirano alla progressiva minimizzazione dell'esposizione ai CEM. Per frequenze tra 0,1 MHz e 300 GHz, l'obiettivo di qualità per l'intensità del campo elettrico è di 6 V/m. **Elettrosmog**

È importante notare che, a seguito del Decreto Legislativo 24 marzo 2024, n. 48, sono state introdotte modifiche ai limiti di esposizione, con un innalzamento dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità. In particolare, il limite per l'intensità del campo elettrico è stato elevato a 15 V/m, con una media su 24 ore.

Per quanto riguarda i lavoratori, il Decreto Legislativo 81/2008 stabilisce valori limite di esposizione specifici, basati su grandezze come la densità di corrente e il tasso di assorbimento specifico (SAR), variabili in funzione della frequenza, per prevenire effetti nocivi sul sistema nervoso centrale e altri tessuti.

Frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (micro T)	Densità di Potenza S (W/m ²)	Corrente di Contatto I _c (mA)	Corrente indotta attr. gli arti I _L (mA)
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	/	/
0,4-2 GHz	3f ^{1/2}	0,008f ^{1/2}	0,01f ^{1/2}	f/40	/	/
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50	/	/

Campi magnetici statici

- Il campo magnetico statico naturale della terra è di circa $50 \mu\text{T}$ (30 - 70 μT)
- Livelli di induzione magnetica dell'ordine di $20 \mu\text{T}$ si producono sotto le linee ad alta tensione
- I campi all'interno delle carrozze passeggeri sono relativamente bassi, al di sotto di $100 \mu\text{T}$
- piccoli magneti permanenti in clip e accessori (come borse, bottoni, collane e braccialetti magnetici, cinture, giocattoli magnetici, ecc), generano campi statici locali superiori a $0,5 \text{ Mt}$

a) induzione magnetica:

- Su elettroliti ematici in movimento:* (alterazioni ritmo cardiaco?)
- Correnti indotte:* generate dal movimento in un campo magnetico statico (vertigini, nausea, fosfeni)

b) azione magnetomeccanica

- Orientamento nello spazio (uccelli migratori)*
- Traslazione di materiali ferromagnetici (Fe-Hb)*

c) Interazioni di spin elettronico

- Alterazione della reattività di una coppia di radicali liberi*

Limiti di esposizione a CM statico

- Le attuali conoscenze scientifiche non suggeriscono alcun effetto nocivo per esposizioni a induzioni magnetiche statiche fino a 2 T .
- L'ICNIRP raccomanda che il limite di esposizione professionale sia pari a un valore di 200 mT mediato nel tempo su una giornata di lavoro, con un valore massimo di 2 T .
- Poiché le estremità non contengono grossi vasi sanguigni o organi critici, può essere consentito per esse un limite più elevato, pari a 5 T .
- per attività lavorative per cui si rendano necessarie esposizioni al di sopra di 2 T , si possono consentire esposizioni fino a 8 T se l'ambiente è controllato e se vengono messe in atto adeguate procedure di lavoro che controllino gli effetti indotti dal movimento.
- Se limitate alle estremità, sono accettabili esposizioni massime fino a 8 T .

parte esposta	Intensità di campo	Tempo max. di esposizione
Corpo intero	200 mT	1 ora/giorno
Corpo intero	2 T	15 minuti/giorno
Arti	2 T	1 ora/giorno
Arti	4 T	15 minuti/giorno

La **prevenzione del rischio** legato ai **campi elettromagnetici (CEM)** è fondamentale per minimizzare gli effetti negativi sulla salute, specialmente in ambienti lavorativi e domestici dove l'esposizione può essere prolungata e intensa. Le misure preventive possono essere suddivise in **tecniche, organizzative**, e legate all'**informazione e formazione**.

1. Misure Tecniche di Prevenzione

Le misure tecniche mirano a ridurre direttamente l'esposizione ai campi elettromagnetici attraverso interventi sui dispositivi, sulle fonti e sull'ambiente.

1.1. Progettazione degli Ambienti di Lavoro

Schermatura delle Sorgenti: Installare **schermi elettromagnetici** attorno a sorgenti di campi ad alta intensità. Ad esempio, l'uso di materiale metallico per schermare le sale macchine o i trasformatori.

Segregazione delle Aree a Rischio: Le aree in cui i campi elettromagnetici sono particolarmente elevati possono essere separate da barriere fisiche e accessibili solo a personale autorizzato.

Distanza dalle Sorgenti: Ridurre l'esposizione aumentando la distanza tra i lavoratori e le fonti di CEM. Il campo elettromagnetico decresce rapidamente con l'aumento della distanza dalla sorgente, quindi **posizionare i dispositivi in modo strategico** aiuta a ridurre il rischio.

1.2. Attrezzature e Dispositivi

Riduzione della Potenza delle Fonti: Utilizzare apparecchiature con una **potenza di emissione ridotta** o con modalità a bassa emissione, quando possibile.

Manutenzione e Controlli Periodici: Assicurarsi che le apparecchiature siano in buone condizioni e ben schermate. La manutenzione regolare riduce le perdite di energia che possono aumentare l'esposizione.

Uso di Dispositivi di Protezione Personale (DPI): In ambienti di lavoro ad alto rischio, possono essere forniti **dispositivi di protezione individuale** come abbigliamento protettivo schermante, guanti e occhiali, sebbene questa misura sia meno comune per i CEM rispetto ad altri agenti fisici.

1.3. Riduzione delle Emissioni

Dispositivi con Spegnimento Automatico: Utilizzare dispositivi che si **spengono automaticamente** quando non sono in uso, per ridurre il tempo di emissione.

Posizionamento dei Router e delle Antenne: Evitare di posizionare router WiFi, ripetitori o antenne vicino a luoghi frequentati come uffici e aree di riposo.

2. Misure Organizzative di Prevenzione

Le misure organizzative riguardano la pianificazione e gestione dell'esposizione, attraverso la modifica delle modalità di lavoro e dell'organizzazione degli spazi.

2.1. Valutazione del Rischio

Valutazione del Rischio Esposizione: Effettuare una **valutazione accurata del rischio** legato ai CEM, considerando la frequenza, l'intensità, e la durata dell'esposizione. Tale valutazione deve essere rivista periodicamente e ogni volta che vengono introdotte nuove apparecchiature.

Misurazioni dei CEM: Monitorare costantemente i livelli di campo elettromagnetico presenti sul posto di lavoro utilizzando strumenti di misurazione specifici per verificare la conformità ai **valori limite di esposizione** stabiliti dalla normativa.

2.2. Pianificazione dei Tempi di Esposizione

Rotazione del Personale: Limitare l'esposizione dei lavoratori attraverso **turnazioni** e riduzione del tempo passato vicino alle sorgenti. La rotazione permette di distribuire l'esposizione su più persone, riducendo così il rischio individuale.

Programmazione degli Interventi: Gli interventi di manutenzione o controllo su apparecchiature che emettono CEM devono essere programmati in orari in cui il numero di lavoratori esposti sia limitato.

2.3. Restrizione dell'Accesso

Zone a Accesso Limitato: Identificare e segnalare con cartelli specifici le aree in cui i campi elettromagnetici superano i livelli di azione. L'accesso a tali aree deve essere limitato al personale necessario e dotato di formazione adeguata.

Segnaletica di Sicurezza: Utilizzare **segnali di avvertimento** per indicare le aree con potenziali esposizioni elevate, specificando il rischio e le precauzioni da adottare.

3. Informazione e Formazione dei Lavoratori

Un aspetto cruciale della prevenzione è garantire che tutti i lavoratori siano informati sui rischi e sappiano come comportarsi per ridurre l'esposizione.

3.1. Informazione sui Rischi

Comunicazione Chiara e Completa: Fornire informazioni complete sui rischi associati all'esposizione ai campi elettromagnetici, comprese le potenziali conseguenze a breve e lungo termine per la salute.

Schede Tecniche e Manuali: Fornire **schede tecniche** con informazioni sui livelli di emissione delle apparecchiature utilizzate e le misure di sicurezza necessarie.

3.2. Formazione Specifica

Corsi di Formazione: Organizzare **corsi di formazione** per i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici, in modo che possano comprendere i rischi e adottare le giuste misure di prevenzione.

Uso Corretto delle Attrezzature: Insegnare ai lavoratori come utilizzare correttamente le attrezzature, minimizzando il rischio di esposizione. Ad esempio, mantenere una distanza sicura dalle antenne durante il loro funzionamento.

4. Normative e Linee Guida

La prevenzione del rischio da esposizione ai CEM deve seguire le **normative vigenti**, tra cui il **D.Lgs. 81/08** in Italia e le direttive europee come la **Direttiva 2013/35/UE**. Queste normative stabiliscono i **valori limite di esposizione** e indicano le misure necessarie per la protezione dei lavoratori.

Valori Limite di Esposizione (VLE): Rappresentano il livello massimo di CEM al quale un lavoratore può essere esposto senza rischi per la salute. Superare questi limiti richiede misure di protezione specifiche.

Livelli di Azione (LA): Se i livelli di azione sono superati, il datore di lavoro deve adottare misure tecniche e organizzative per ridurre l'esposizione.

5. Sorveglianza Sanitaria

Quando la valutazione dei rischi identifica un'esposizione significativa ai CEM, è necessaria la **sorveglianza sanitaria** per monitorare la salute dei lavoratori potenzialmente a rischio.

Visite Mediche Periodiche: Il medico competente deve effettuare visite periodiche per verificare l'assenza di effetti negativi sulla salute dovuti all'esposizione ai CEM.

Monitoraggio degli Effetti Biologici: Il medico può prescrivere specifici test o monitoraggi per valutare eventuali effetti a livello biologico

Tabella riepilogativa dei valori limite, valori di attenzione e obiettivi di qualità per i campi elettromagnetici (CEM) ad alta frequenza in Italia, come stabilito dalla normativa vigente

Parametro	Frequenza	Valore Intensità Campo Elettrico (E)	Note
Limiti di Esposizione	3 MHz - 3 GHz	20 V/m	Protezione contro effetti a breve termine
Valori di Attenzione	0,1 MHz - 300 GHz	6 V/m	Ambienti con permanenza > 4 ore giornaliere
Obiettivi di Qualità	0,1 MHz - 300 GHz	6 V/m	Minimizzazione progressiva dell'esposizione
Nuovi Limiti (2024)	Media su 24 ore	15 V/m	Aggiornamento dei valori introdotto dal D.Lgs. 48/2024
Lavoratori	Variabile (in base alla frequenza)	Basati su SAR e densità di corrente	Specifici per prevenire effetti nocivi sul

Parametro	Frequenza	Valore Intensità Campo Magnetico (B)	Note
Limiti di Esposizione	3 MHz - 3 GHz	5.3×10^{-8} T	Calcolato per E=20 V/m
Valori di Attenzione	0,1 MHz - 300 GHz	1.6×10^{-8} T	Calcolato per E=6 V/m
Obiettivi di Qualità	0,1 MHz - 300 GHz	1.6×10^{-8} T-8T	Stesso valore dei "Valori di Attenzione"
Nuovi Limiti (2024)	Media su 24 ore	4.0×10^{-8} T	Calcolato per E=15 V/m

Technical drawing of a room layout showing magnetic field lines and equipment placement. The drawing includes a central rectangular area labeled "OR65 4T-925AS" with a coordinate system (a, b, bx, bz). A legend box in the upper right corner lists magnetic field strength ranges and corresponding magnetic induction (mT) values:

3 mT / 30G
5 mT / 50G
10 mT / 100G
20 mT / 200G
40 mT / 400G
200 mT / 2000G

Other labels and dimensions include:

- 0.5 mT / 5G
- 1 mT / 10G
- 2 mT / 20G
- 3 mT / 30G
- 4 mT / 40G
- 5 mT / 50G
- 6 mT / 60G
- 7 mT / 70G
- 8 mT / 80G
- 9 mT / 90G
- 10 mT / 100G
- 11 mT / 110G
- 12 mT / 120G
- 13 mT / 130G
- 14 mT / 140G
- 15 mT / 150G
- 16 mT / 160G
- 17 mT / 170G
- 18 mT / 180G
- 19 mT / 190G
- 20 mT / 200G
- 21 mT / 210G
- 22 mT / 220G
- 23 mT / 230G
- 24 mT / 240G
- 25 mT / 250G
- 26 mT / 260G
- 27 mT / 270G
- 28 mT / 280G
- 29 mT / 290G
- 30 mT / 300G
- 31 mT / 310G
- 32 mT / 320G
- 33 mT / 330G
- 34 mT / 340G
- 35 mT / 350G
- 36 mT / 360G
- 37 mT / 370G
- 38 mT / 380G
- 39 mT / 390G
- 40 mT / 400G
- 41 mT / 410G
- 42 mT / 420G
- 43 mT / 430G
- 44 mT / 440G
- 45 mT / 450G
- 46 mT / 460G
- 47 mT / 470G
- 48 mT / 480G
- 49 mT / 490G
- 50 mT / 500G
- 51 mT / 510G
- 52 mT / 520G
- 53 mT / 530G
- 54 mT / 540G
- 55 mT / 550G
- 56 mT / 560G
- 57 mT / 570G
- 58 mT / 580G
- 59 mT / 590G
- 60 mT / 600G
- 61 mT / 610G
- 62 mT / 620G
- 63 mT / 630G
- 64 mT / 640G
- 65 mT / 650G
- 66 mT / 660G
- 67 mT / 670G
- 68 mT / 680G
- 69 mT / 690G
- 70 mT / 700G
- 71 mT / 710G
- 72 mT / 720G
- 73 mT / 730G
- 74 mT / 740G
- 75 mT / 750G
- 76 mT / 760G
- 77 mT / 770G
- 78 mT / 780G
- 79 mT / 790G
- 80 mT / 800G
- 81 mT / 810G
- 82 mT / 820G
- 83 mT / 830G
- 84 mT / 840G
- 85 mT / 850G
- 86 mT / 860G
- 87 mT / 870G
- 88 mT / 880G
- 89 mT / 890G
- 90 mT / 900G
- 91 mT / 910G
- 92 mT / 920G
- 93 mT / 930G
- 94 mT / 940G
- 95 mT / 950G
- 96 mT / 960G
- 97 mT / 970G
- 98 mT / 980G
- 99 mT / 990G
- 100 mT / 1000G



- "Mio generale, morte ai
cretini".- "Caro amico, il suo
programma è troppo ambizioso".

Charles de Gaulle



**Non voglio sentirmi intelligente
guardando dei cretini, voglio
sentirmi cretino guardando
persone intelligenti.**

Franco Battiato