

RISCHI DA CAMPI ELETTROMAGNETICI IN AMBIENTE LAVORATIVO

Fonti :

ISPESL, ISS, ELETTRA2000, ASL di Siena, Az.USL di Modena
Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province aut.




Generalità

Il rischio da campi elettromagnetici (CEM) è un rischio che appartiene alle "Radiazioni non Ionizzanti" (che comprendono anche le radiazioni ottiche e cioè i raggi ultravioletti, le radiazioni del visibile, i raggi infrarossi) e viene considerato dal DLgs.81/2008 tra gli "Agenti Fisici" al Titolo VIII e in particolare dal Capo IV.

I CEM comprendono in particolare le radiofrequenze (RF), le microonde (MO), le cosiddette ELF (radiazioni a frequenze estremamente basse) e i campi elettrici e magnetici statici.

I rischi da CEM non comprendono i rischi da contatto con parti in tensione che sono oggetto di altra normativa.

Tab. 1 - Principali tipologie di radiazioni elettromagnetiche e loro parametri caratteristici

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

Principali tipologie di sorgenti

Numerose attività lavorative possono comportare esposizioni a campi elettromagnetici, cioè nell'intervallo di frequenza da 0 Hz fino a 300 GHz , a livelli di campo sensibilmente più elevati di quelli in gioco nelle tipiche esposizioni della popolazione.

1. Sorgenti di campi elettrici e magnetici statici

In generale sono presenti campi elettrici e magnetici statici ovunque vi siano apparecchiature alimentate da tensione continua o linee percorse da elevate correnti continue. Concentrando l'attenzione sul solo campo magnetico, possono risultare esposti a livelli di gran lunga superiori al fondo naturale (in media circa 50 μ T di induzione magnetica), i lavoratori addetti a processi di elettrolisi (ad esempio nella preparazione dell'alluminio), e coloro che operano nel comparto ferroviario su trasporti alimentati in corrente continua. Elevati livelli di campi statici sono riscontrabili anche presso macchinari per la produzione di grandi elettrodi per archi voltaici, a causa delle elevate correnti elettriche continue in gioco (~ 150 kA), applicate

durante il cosiddetto processo di "grafitazione" degli elettrodi stessi, con conseguenti esposizioni a induzioni magnetiche anche superiori a 10 mT e in prossimità dei tomografi a Risonanza Magnetica Nucleare (campo magnetico statico in genere fino a 2 T per gli apparati di uso diagnostico).

2. Campi elettrici e magnetici ELF negli ambienti industriali

La frequenza di 50 Hz è impiegata per il trasporto e l'impiego dell'energia elettrica. Ogni linea elettrica aerea o interrata, cablaggio, barra di trasmissione, cavo, costituisce quindi una sorgente di dispersione nell'ambiente circostante. È noto, ad esempio, che al di sotto di una linea a 380 kV il campo elettrico può raggiungere i 5 kV/m e l'induzione magnetica qualche decina di μT .

L'esposizione degli addetti alle centrali elettriche, è stata stimata attorno a 40 μT come valore medio, con picchi sensibilmente più elevati, specie per gli addetti alla manutenzione delle linee. Molti sono peraltro gli impianti industriali dotati di sottostazione autonoma per l'alimentazione elettrica, con esposizioni parimenti significative. In ogni caso, l'esperienza mostra che la necessità di distribuire l'energia all'interno degli impianti può comportare una certa prossimità tra le postazioni di lavoro ed i cablaggi, con presenza di elevati livelli di campo magnetico.

Per quel che riguarda altri processi industriali, ogni apparecchiatura alimentata con correnti elevate costituisce una potenziale sorgente. Nei vari tipi di forni elettrici e nelle fonderie (fusione e trattamento dell'acciaio e altri metalli) i lavoratori possono risultare esposti con continuità a campi magnetici tra 100 μT e 10 mT, con picchi superiori ai 100 mT nel caso dei saldatori, che sembrano costituire la categoria potenzialmente esposta ai livelli più elevati. Esposizioni significative sono inoltre riscontrabili nei processi di smerigliatura a mano (fino 300 μT), e nella produzione di magneti permanenti (500 μT).

Indagini effettuate nel nostro Paese su modelli di motrici delle Ferrovie dello Stato utilizzate negli ultimi 30 anni, hanno evidenziato una esposizione a campi magnetici per i macchinisti valutabile in media attorno a 1 μT , in un intervallo spettrale tra 5 e 500 Hz, sostanzialmente a causa della presenza degli alternatori e gruppi statici a bordo delle motrici. Valori molto più elevati sono previsti in seguito alla trasformazione delle attuali linee a corrente continua in linee a corrente alternata a 25 kV, nell'ambito dei progetti per l'alta velocità.

3. Riscaldatori industriali a radiofrequenza e microonde

Tali macchine si basano sulla trasformazione in calore dell'energia elettromagnetica assorbita dal materiale oggetto di trattamento. Le applicazioni sono numerose, e si stima che in Italia il numero di apparati esistenti sia superiore alla decina di migliaia.

I riscaldatori industriali vengono tradizionalmente suddivisi in tre categorie in base al principio e alle modalità di funzionamento: **a perdite dielettriche**, **a induzione magnetica** e **a microonde**. Questi ultimi apparati, che vengono prevalentemente impiegati per la disinfestazione, precottura ed essiccamento di prodotti alimentari, rappresentano l'equivalente dei comuni forni di uso domestico con potenze molto più elevate, e non costituiscono sorgenti di esposizione rilevanti, a meno di grave usura o deterioramento delle guarnizioni sulle aperture.

3.1 Apparecchi per riscaldamento a perdite dielettriche

Tali apparecchiature sono in grado di produrre calore direttamente all'interno del materiale trattato, e vengono impiegati nell'industria del legno (incollaggio e piegatura), per la saldatura e stampaggio di manufatti in plastica (PVC in primo luogo) e nell'industria tessile (essiccamento delle fibre). I due strati di materiale da trattare vengono pressati tra due elettrodi a piastre di dimensioni variabili, che costituiscono l'applicatore, alimentati con la radiofrequenza tramite barraggi metallici.

Le potenze in gioco variano dal kW fino a diverse decine di kW, e le frequenze d'uso vanno tipicamente da qualche MHz sino al centinaio di MHz, anche in ragioni delle dimensioni degli applicatori e del materiale da trattare (le macchine per la plastica lavorano spesso alla frequenza ISM di 27.12 MHz, quelle per il legno a frequenze più basse).

L'esposizione degli operatori avviene in zona di campo vicino, e quindi è necessario a rigore misurare separatamente i campi elettrico e magnetico, anche se la sola misura del campo elettrico si dimostra conservativa in molti casi, in considerazione del principio di funzionamento dell'applicatore, che è in pratica un condensatore a facce piane e parallele in grado di generare intensi campi elettrici al suo interno (decine di kV/m).

I livelli di esposizione risultano potenzialmente tra i più significativi, fino a più di 1 kV/m, dipendendo però in modo critico, oltre che dalla potenza della macchina, dal tipo e configurazione degli applicatori, dalla posizione del lavoratore, dalla presenza di riflessioni o meno su superfici metalliche, e dalle procedure di impiego della macchina.

Varie indagini condotte nell'incollaggio/curvatura del legno hanno evidenziato come, a partire da una diffusa condizione di cattivo utilizzo e installazione delle macchine, l'attuazione di semplici interventi di bonifica e contenimento, insieme con l'adozione delle più corrette procedure di impiego, possa portare ad una significativa riduzione dell'esposizione, ben al di sotto dei livelli di riferimento per gli effetti acuti.

3.2 Apparecchi per riscaldamento a induzione

Queste apparecchiature sfruttano intensi campi magnetici per produrre calore all'interno di metalli e semiconduttori. Il campo di applicazione è prevalentemente nel trattamento dei materiali metallici (saldatura, indurimento, tempera, fusione, etc.), e nell'industria elettronica.

Il materiale da trattare (ad esempio i due tratti di tubo da saldare) viene in genere posto all'interno di un applicatore a forma di solenoide o a spira che, alimentato con la radiofrequenza, cede energia al materiale attraverso l'induzione nello stesso di elevate correnti da parte del campo magnetico.

Le potenze impiegate possono variare tra le centinaia di kW e le migliaia di kW (solo per grossi impianti di saldatura tubi), mentre la frequenza d'uso può variare da qualche decina di kHz sino a poche decine di MHz (tipicamente tra 200 e 500 kHz per la saldatura dei tubi metallici).

Come per i riscaldatori a perdite dielettriche, l'esposizione degli operatori avviene in zona di campo vicino, e quindi è necessario a rigore misurare separatamente i campi elettrico e magnetico, ma il maggior interesse è naturalmente questa volta concentrato sulla componente magnetica.

I livelli di esposizione possono risultare tra i più elevati, con campi magnetici fino a 20 A/m e campi elettrici fino a 8 kV/m, in assenza delle opportune misure di protezione e contenimento, dipendendo sempre in modo critico, oltre che dalla potenza della macchina, dal tipo e configurazione degli induttori, dalla posizione del lavoratore rispetto ad essi, dalla presenza di altri oggetti metallici, e dalle procedure di impiego della macchina

4. Apparecchiature biomediche

Numerose indagini sperimentali effettuate in differenti strutture sanitarie presso apparecchiature emittenti radiazioni non ionizzanti hanno evidenziato situazioni di esposizione rilevante e talvolta elevati rischi per la salute e la sicurezza di operatori e pazienti, con notevoli carenze strutturali, organizzative e procedurali, dovute anche all'assenza di specifiche normative di prevenzione e protezione in materia, eccezion fatta per la Risonanza Magnetica Nucleare.

Le apparecchiature sorgenti di radiazioni non ionizzanti ELF, RF, di comune impiego in ambito sanitario, che presentano aspetti di interesse ai fini della tutela della salute di pazienti e lavoratori sono riportate in Tabella 2, in relazione ai rispettivi settori di impiego.

Tabella 2 - Sorgenti di campi elettromagnetici a RF, ELF di interesse in ambito sanitario

Apparecchiatura	Settore di impiego
Magnetoterapia	Terapia riabilitativa
Marconiterapia	Terapia riabilitativa
Radarterapia	Terapia riabilitativa
Elettrobisturi	Chirurgia
Tomografia RMN	Diagnostica

5. Apparati per telecomunicazioni

Il complesso delle sorgenti riferibili ai sistemi delle telecomunicazioni rappresenta il contributo più significativo per l'esposizione della popolazione alle radiofrequenze e microonde, e su tale

aspetto è maggiormente concentrata l'attenzione. Numerose categorie professionali possono comunque risultare esposte a livelli notevolmente elevati.

Gli operatori la cui mansione comporta l'ascesa su torri e tralicci, per l'installazione o la manutenzione di sistemi radio FM (87,5 MHz - 108 MHz), o televisivi UHF (470 MHz - 862 MHz), possono essere esposti a campi elettrici fino a 1000 V/m e magnetici fino a 5 A/m.

Esposizioni più contenute e non superiori a $0,1 \text{ W/m}^2$, sono in genere associate alla vicinanza a sistemi radar per il controllo del traffico aereo, nonostante potenze di picco dell'ordine dei 10 MW/m^2 , in considerazione della rotazione dell'antenna e della pulsazione del segnale.

In alcuni centri di trasmissione militari, può accadere che delle antenne si trovino prossime a strutture che ospitano uffici, o risultino comunque accessibili per la necessità di presidiare determinate aree all'interno delle installazioni.

6. Varchi magnetici e sistemi antitaccheggio

I sistemi elettronici antitaccheggio, insieme ai varchi magnetici per il controllo degli accessi e ai metal detector utilizzano campi magnetici variabili nel tempo per rivelare il passaggio attraverso determinate zone controllate di persone od oggetti, sono sorgenti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori di largo e crescente impiego presso centri commerciali, supermercati, negozi, banche, aeroporti ecc. Taluni di essi - se non conformi agli standard di emissione per la popolazione - possono presentare livelli di potenza emessi elevati, raggiungendo spesso livelli superiori a quelli raccomandati dalle norme per la prevenzione degli effetti a breve termine.

Le esposizioni delle persone del pubblico hanno generalmente durata molto breve in quanto il campo decresce rapidamente all'aumentare della distanza dalla sorgente (con l'inverso del cubo della distanza). Non è da trascurare invece il fatto che tali sistemi possono produrre esposizioni croniche per i lavoratori con postazioni di lavoro fisse in prossimità dei varchi, come è il caso degli addetti alle casse nei supermercati, che possono risultare esposti continuativamente per l'intero turno lavorativo a livelli di campo non trascurabili.

7. Sistemi di identificazione a radiofrequenza (RFID)

Si vanno rapidamente diffondendo dispositivi che consentono la rapida identificazione di persone o merci mediante la lettura a distanza di apposite etichette magnetizzate. Si prevede che entro pochi anni questi sistemi sostituiscano in molte situazioni quelli basati su codici a barre. I problemi posti da questi sistemi sono simili a quelli dei varchi elettromagnetici o dei dispositivi antitaccheggio.

Effetti su salute e sicurezza e valori limite

Gli effetti dell'interazione dei campi elettrici e magnetici con i tessuti biologici si differenziano in relazione alle frequenze del campo elettrico e magnetico; si prendono pertanto in considerazione due differenti tipologie di campi elettromagnetici:

1. Campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde (10 kHz - 300 GHz).
2. Campi elettromagnetici ELF (frequenze estremamente basse) e statici

1 Campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde (10 kHz - 300 GHz).

In questo intervallo di frequenza l'effetto biologico è quello dell'assorbimento di energia all'interno del corpo umano, con conseguente innalzamento della temperatura del tessuto. Per tale effetto sono note una serie di relazioni dose-risposta, su cui si basano gli attuali standard protezionistici. L'assorbimento di energia viene misurato dalla grandezza SAR (Specific Absorption Rate) la cui unità di misura è il W/kg (watt al chilogrammo). Gli standard protezionistici attuali ci dicono che non ci sono effetti termici al di

sotto di 4 W/kg poiché a tali livelli di esposizione non è associato un innalzamento significativo di temperatura del corpo. Ovviamente, a seconda di quanta energia viene assorbita si ottengono effetti differenziati, che possono andare dall'innalzamento della temperatura corporea di pochi gradi con la conseguente attivazione del sistema di termoregolazione dell'individuo esposto, ad effetti da stress termico, fino a vere e proprie ustioni e necrosi da radiofrequenze.

L'ICNIRP (Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti), che è la massima autorità del campo, fissa gli standard protezionistici che ogni Paese dovrà recepire nella propria normativa. Considerato che gli effetti noti da esposizione a CEM a RF si riscontrano a partire da 4 W/kg, la Commissione ha diviso per un fattore di sicurezza pari a 10 questo valore, fissando su questa base i limiti primari per i lavoratori (quindi 0,4 W/kg); dividendo per un ulteriore fattore di sicurezza pari a 5 viene fissato il limite primario per la popolazione (quindi 0,08 W/kg).

Poiché però questa grandezza (SAR) non è misurabile in modo diretto si sono individuate delle grandezze fisiche misurabili (il campo elettrico ed il campo magnetico), e conseguentemente dei limiti derivati, che, se rispettati, ci danno la garanzia che non vengano superati i limiti primari. In altri termini, alle varie frequenze sono fissati valori limite per il campo elettrico e per il campo magnetico sia per i lavoratori che per la popolazione, che, se rispettati, non fanno sicuramente mai superare i limiti SAR e quindi non sono in grado di produrre effetti termici.

2 Campi elettromagnetici ELF,IF (basse frequenze) ($f < 10$ kHz).

In questo intervallo di frequenza gli attuali standard protezionistici prendono in considerazione la prevenzione di effetti acuti dovuti all'induzione di correnti elettriche interne nel soggetto esposto, ad esempio le correnti indotte possono produrre fibrillazione ventricolare o stimolazione dei tessuti nervosi.

L'ICNIRP ha fissato dei limiti di base di densità di correnti indotte nel corpo e da questi ha ottenuto dei limiti derivati in termini di correnti di contatto, intensità di esposizione a campo elettrico ed intensità di esposizione a campo magnetico .

Anche in questo caso il rispetto dei limiti derivati garantisce il non superamento dei limiti primari.

Va ricordato che nel contesto della protezione della salute umana dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici si possono distinguere due classi di effetti sanitari:

- **effetti certi**, acuti o subacuti, la cui insorgenza scaturisce da esposizioni a campi di elevata intensità. Di tali effetti sono noti i meccanismi di interazione che ne sono alla base e le rispettive soglie di insorgenza: stimolazione dei tessuti muscolari e nervosi alle frequenze più basse e riscaldamento dei tessuti per assorbimento dell'energia elettromagnetica alle frequenze più alte; è unicamente tale categoria di effetti che gli attuali standard protezionistici prendono in considerazione nell'emanazione dei valori limite e dei livelli di azione, e che conseguentemente sono presi in considerazione dal DLgs.81/2008 capo IV.
- **effetti ipotizzati**, a lungo termine, connessi ad esposizioni croniche a campi di intensità inferiore alle soglie di insorgenza degli effetti acuti cui al precedente punto, per i quali esistono solo alcune evidenze non conclusive (non accertati dalla ricerca scientifica) limitatamente alle frequenze estremamente basse (ELF). In particolare alcuni studi epidemiologici hanno evidenziato un incremento del rischio di insorgenza di alcuni tipi di neoplasie -ed in particolare di leucemie infantili- correlabile ad esposizioni croniche ai campi magnetici a 50 Hz. In tali studi l'incremento del rischio di leucemia infantile è stato osservato per esposizioni a campi magnetici superiori a 0,3 - 0,4 μ T. Le evidenze epidemiologiche non sono tuttavia supportate dai numerosi studi sperimentali finora condotti per indagare in condizioni controllate di laboratorio un eventuale ruolo dei campi magnetici ELF nel rischio di neoplasie. Verso questa tipologia di esposizione a campi elettromagnetici è comunque al momento rivolto il maggiore interesse ai fini preventivi, soprattutto in considerazione del fatto che i valori limite attualmente in vigore per l'esposizione della popolazione (100 μ T) sono centinaia di volte superiori ai valori cui sono esposti i soggetti studiati nelle succitate indagini epidemiologiche. Sulla base delle evidenze epidemiologiche e dei risultati degli studi sperimentali che non supportano tali evidenze la IARC classifica i campi elettrici e magnetici statici ed ELF come riportato in Tabella 3 di pagina seguente. Un'ulteriore tipologia di effetti a lungo termine degli ELF in corso di studio è rappresentato dalle malattie neurodegenerative, ed in particolare dalla Sclerosi laterale amiotrofica (SLA) e dal morbo di Alzheimer (MA)), ma secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità le evidenze di simili effetti sono

molto deboli. La difficoltà dell'effettuazione di studi epidemiologici su tali effetti è anche dovuta all'assenza, in generale, di registri nazionali di tali patologie, contrariamente a quanto avviene per i tumori.

Tab. 3 - Conclusioni dello IARC (2002) - OMS

CAMPI MAGNETICI ELF: gruppo 2B -possibile cancerogeno per l'uomo

CAMPI ELETTRICI ELF: gruppo 3 -non classificabile in relazione alla cancerogenicità per l'uomo

CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI STATICI: gruppo 3 -non classificabile in relazione alla cancerogenicità per l'uomo

3 Effetti indiretti: Interferenza con pace-maker e compatibilità elettromagnetica

Tali effetti sono associati alla capacità di un apparato elettrico o elettronico, di generare in un altro apparato disturbi elettromagnetici che possano creare problemi alla salute di particolari categorie di persone o problemi di sicurezza. Nell'ottica della sicurezza negli ambienti di lavoro e di vita, la questione assume rilievo particolarmente in tre ambiti:

1. Gli effetti su apparati elettronici preposti alla segnalazione di allarme per eventi ad alto rischio, e in generale alla gestione di processi industriali a potenziale rischio di incidente;
2. **Gli effetti su protesi biomedicali (es. pace-maker, protesi metalliche etc.)** direttamente indossate dal soggetto interessato, sia lavoratore sia paziente.
3. l'immunità di apparati diagnostici o terapeutici, dal cui corretto funzionamento dipende la qualità della prestazione, qualità che in taluni casi può rivestire un ruolo critico (es. apparati di supporto vitale);

Va sottolineato che tali effetti possono insorgere anche a valori di esposizione inferiori ai livelli d'azione fissati per i lavoratori.

Interferenza con pacemaker

I pacemaker sono dispositivi impiantabili in grado di rilevare l'attività elettrica del cuore e di stimolarla quando questa è insufficiente.

Allo scopo di prevenire interferenze è pertinente riportare i livelli di sicurezza raccomandati dall'ICNIRP (Linee Guida 2009) per i campi magnetici statici e dall'American Conference of Government Industrial Hygienist (ACGIH, 1999) per i campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz (valori efficaci):

campi magnetici statici: $B = 0,5 \text{ mT}$
campi a 50 Hz: $E = 1 \text{ kV/m}$; $B = 100 \text{ } \mu\text{T}$

La possibilità di interferenze elettromagnetiche può essere efficacemente ridotta seguendo queste indicazioni pratiche:

- fornire una corretta informazione ai lavoratori;
- apporre adeguata segnaletica di avviso in prossimità di sistemi emittenti radiazione elettromagnetica in grado di interferire con i pace maker;
- creare percorsi alternativi per i portatori di pacemaker nel caso di sistemi di prossimità (metal detector, sistemi antitaccheggio), quale misura di cautela;
- interdire l'accesso a portatori di pacemaker alle sorgenti di CEM potenzialmente interferenti.

Interferenze con dispositivi e protesi metalliche

Per quanto riguarda i potenziali rischi dovuti all'interferenza di campi magnetici statici con dispositivi o materiali ferromagnetici impiantati, le Linee Guida ICNIRP del 2009 raccomandano di indicare con speciali segnali di avvertimento le aree con induzioni magnetiche superiori a 0,5 mT, valore al di sotto del quale non è verosimile che si manifestino effetti come lo spostamento di schegge metalliche o parti metalliche ferromagnetiche di protesi.

Legislazione e valutazione del rischio

Il DLgs.81/08 ha introdotto per la prima volta nel nostro Paese specifiche norme di tutela della salute per i lavoratori esposti a campi elettromagnetici (Titolo VIII capo IV) ed a radiazioni ottiche artificiali (Titolo VIII capo V). Nonostante che la presenza di elevati livelli di esposizione a tali tipologie di radiazione sia riscontrabile in numerose e diversificate attività lavorative, al momento appare che la valutazione e la prevenzione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori associati a tali esposizioni sia stata spesso trascurata.

Alla base della normativa c'è l'obbligo di valutare l'esposizione dei lavoratori facendo riferimento ai livelli d'azione ed ai valori limite prescritti da una direttiva europea e ripresi dalle linee guida ICNIRP. Va tenuto conto che i livelli d'azione prescritti dalla direttiva sono stati fissati al fine di prevenire gli effetti noti dell'esposizione, su soggetti sani. L'esposizione a campi elettromagnetici di entità inferiore al livello d'azione può comportare comunque problemi per persone portatrici di stimolatori cardiaci, impianti ferromagnetici e dispositivi medicali impiantati, che non sono protetti dai livelli d'azione, come espressamente richiamato dalla normativa. Pertanto è possibile affermare che i lavoratori non esposti sono quelli che hanno una esposizione ai campi EM che risulti inferiore ai livelli di riferimento per la popolazione riportati nella normativa ICNIRP, ad esclusione dell'esposizione a campo magnetico statico.

Il DLgs 81/08, titolo VIII capo IV, esplicita in maniera chiara gli obblighi del Datore di lavoro relativamente alla Valutazione del rischio.

Secondo tale riferimento legislativo, se non è possibile "giustificare" (essere certi che le esposizioni sono nulle o trascurabili; vedi Tabella 4) il datore di lavoro valuta e, quando necessario (qualora risulti che siano superati i valori di azione), 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) tenendo conto in particolare di:

- a) livello, spettro di frequenza, durata e tipo dell'esposizione;
- b) valori limite di esposizione e valori di azione;
- c) tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio;
- d) qualsiasi effetto indiretto quale:
 1. interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati);
 2. rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici con induzione magnetica superiore a 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;
- e) l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;
- f) la disponibilità di azioni di risanamento volte a minimizzare i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;
- g) per quanto possibile, informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria, comprese le informazioni reperibili in pubblicazioni scientifiche;
- h) sorgenti multiple di esposizione;
- i) esposizione simultanea a campi di frequenze diverse.

Tab. 4: Attrezzature e situazioni "giustificabili". Lista non esaustiva

1	Tutte le attività che si svolgono unicamente in ambienti privi di impianti e apparecchiature elettriche e di magneti permanenti
2	Luoghi di lavoro interessati dalle emissioni di sorgenti CEM autorizzate ai sensi della normativa nazionale per la protezione della popolazione
3	Uso di apparecchiature a bassa potenza (così come definite dalla norma EN 50371: con emissione di frequenza 10 MHz ÷ 300 GHz e potenza media trasmessa fino a 20 mW e 20 W di picco), anche se non marcate CE
4	Uso di attrezzature marcate CE, valutate secondo gli standard armonizzati per la protezione dai CEM Lista soggetta a frequenti modifiche: <ul style="list-style-type: none">• EN 50360: telefoni cellulari;• EN 50364: sistemi di allarme e antitaccheggio;• EN 50366: elettrodomestici;• EN 50371: norma generica per gli apparecchi elettrici ed elettronici di bassa potenza;• EN 50385: stazioni radio base e stazioni terminali fisse per sistemi di telecomunicazione senza fili;• EN 50401: apparecchiature fisse per trasmissione radio (110 MHz - 40 GHz) destinate a reti di telecomunicazione senza fili;• EN 60335-2-25: forni a microonde e forni combinati per uso domestico e similare;• EN 60335-2-90: forni a microonde per uso collettivo (uso domestico e similare)
5	Attrezzature presenti sul mercato europeo conformi alla raccomandazione 1999/159/EC che non richiedono marcatura CE essendo per esempio parte di un impianto
6	Apparati luminosi (lampade), escluso specifiche lampade attivate da RF
7	Computer e attrezzature informatiche
8	Attrezzature da ufficio. I cancellatori di nastri possono richiedere ulteriori valutazioni
9	Cellulari e cordless
10	Radio rice-trasmittenti con potenze inferiori a 20 mW
11	Basi per telefoni DECT e reti Wlan (limitatamente ad apparecchiature per il pubblico)
12	Apparati di comunicazione non wireless e reti
13	Utensili elettrici manuali e portatili conformi alle EN 60745-1 e EN 61029-1 inerenti la sicurezza degli utensili a motore trasportabili.
14	Attrezzature manuali per riscaldamento (escluso il riscaldamento a induzione e dielettrico)
15	Carica batterie, inclusi quelli ad uso domestico e destinati a garage, piccole industrie e aziende agricole (EN 60335-2-29)
16	Attrezzature elettriche per il giardinaggio
17	Apparecchiature audio e video (esclusi alcuni particolari modelli che fanno uso di trasmettitori radio nelle trasmissioni radio/TV)
18	Apparecchiature portatili a batteria (esclusi i trasmettitori a radiofrequenza)
19	Stufe elettriche per gli ambienti (esclusi i riscaldatori a microonde)
20	Rete di distribuzione dell'energia elettrica a 50 Hz nei luoghi di lavoro: campo elettrico e magnetico devono essere considerati separatamente. Per esposizioni al campo magnetico sono conformi: <ul style="list-style-type: none">• Ogni installazione elettrica con una intensità di corrente di fase ≤ 100 A;• Ogni singolo circuito all'interno di una installazione con una intensità di corrente di fase ≤ 100 A;• Tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri di cui sopra sono conformi (incluso i conduttori, interruttori, trasformatori ecc...);

	<ul style="list-style-type: none"> • Qualsiasi conduttore nudo aereo di qualsiasi voltaggio. Per esposizioni al campo elettrico sono conformi: • Qualsiasi circuito in cavo sotterraneo o isolato indipendentemente dal voltaggio • Qualsiasi circuito nudo aereo tarato ad un voltaggio fino a 100 kV, o linea aerea fino a 125 kV, sovrastante il luogo di lavoro, o a qualsiasi voltaggio nel caso di luogo di lavoro interni.
21	Strumentazione e apparecchi di misura e controllo
	Elettrodomestici. Sono incluse anche le apparecchiature professionali per la cottura, lavaggio (lavatrici), forni a microonde ecc... usate in ristoranti, negozi, ecc... Necessitano invece di ulteriori valutazioni i forni di cottura ad induzione.
22	Computer e attrezzature informatiche con trasmissione wireless. Es.: Wlan (Wi-Fi), Bluetooth e tecnologie simili, limitatamente all'uso pubblico
23	Trasmettitori a batteria
24	Antenne di stazioni base. Ulteriori valutazioni sono necessarie solo se i lavoratori che possono essere più vicini all'antenna rispetto alle distanze di sicurezza stabilite per l'esposizione del pubblico
25	Apparecchiature elettromedicali non per impiego con campi elettromagnetici o di corrente

In questi casi la giustificazione è adottabile indipendentemente dal numero di attrezzature di lavoro in uso.

Esempi di luoghi di lavoro per i quali, comunemente, si può effettuare la giustificazione del rischio sulla base della Tabella 4: uffici, centri di calcolo, negozi, alberghi, parrucchieri ecc.

Resta ferma la piena responsabilità del datore di lavoro nell'assumere la giustificazione per la propria particolare sorgente nelle specifiche condizioni e ambiente di utilizzo.

La seconda lista, riportata con integrazioni nella Tab. 5, è dedicata alle situazioni che meritano un approfondimento valutativo

Tab. 5 - Impianti e situazioni che richiedono ulteriori valutazioni. Lista non esaustiva

1	Elettrolisi industriale
2	Saldatura e fusione elettriche
3	Riscaldamento a induzione
4	Riscaldamento dielettrico
5	Saldatura dielettrica
6	Magnetizzatori/smagnetizzatori industriali, incluso grossi cancellatori di nastri, attivatori disattivatori magnetici di sistemi antitaccheggio non certificati ai sensi della EN 53064
7	Specifiche lampade attivate a RF
8	Dispositivi a RF per plasma
9	<p>Tutti gli apparecchi elettromedicali per applicazioni con radiazioni elettromagnetiche o di corrente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Stimolatori magnetici transcranici ✓ Apparecchi per magnetoterapia ✓ Tomografi RMN ✓ Diatermia ad onde corte o cortissime <p>Tutti gli apparecchi elettromedicali che utilizzano sorgenti RF con potenza media emessa elevata (>100 mW)</p>
10	Sistemi elettrici per la ricerca di difetti
11	Radar

12	Trasporti azionati elettricamente: treni e tram
13	Essiccatoi e forni industriali a microonde
14	Antenne delle stazioni radio base (lavoratori addetti all'installazione e manutenzione)
15	Reti di distribuzione dell'energia elettrica nei luoghi di lavoro che non soddisfano i criteri della Tabella 1

Esempi di luoghi di lavoro o mansioni per i quali, comunemente, si devono effettuare approfondimenti nella valutazione del rischio sulla base della Tabella 5 sono: centrali e sottostazioni elettriche; installatori e manutentori di sistemi fissi di telecomunicazioni, manutentori di linee elettriche, saldatori ad arco o a induzione o a scarica capacitiva, installatori e manutentori di sistemi radar, fonditori di metalli preziosi, addetti a macchine dielettriche utilizzate nel settore tessile o lavorazione di legno o plastica, macchinisti su treni ad alta velocità, operatori sanitari e personale pulizie su RM, chirurghi e personale sanitario che utilizza elettrobisturi e apparecchiature similari, fisioterapisti che utilizzano apparati di diatermia, addetti alla manutenzione e riparazione di apparecchiature/impianti medicali emittenti CEM, ecc.

In generale l'esposizione a campi elettromagnetici all'interno dei luoghi di lavoro dipende, oltre che dalle sorgenti, anche da una complessa serie di fattori, quali le caratteristiche dell'installazione degli apparati, il loro stato di manutenzione, le procedure di utilizzo, le caratteristiche degli ambienti, la disposizione delle postazioni di lavoro, le modalità operative adottate dagli addetti. E' quindi in linea di principio possibile che si riscontrino esposizioni completamente differenti in luoghi di lavoro ove siano impiegate tipologie di sorgenti simili.

La stima dell'entità dell'esposizione (e quindi il superamento dei valori di esposizione previsti per la popolazione e i valori di azione previsti per i lavoratori) può essere effettuata a partire dai dati dei produttori delle attrezzature, da dati bibliografici o mediante misurazioni strumentali.

Se si accerta il superamento dei valori di azione è consigliabile adottare tutte le misure previste per il superamento dei valori limite in quanto l'utilizzo delle tecniche di calcolo numerico (previste per accertarsi del mancato superamento dei valori limite) è ad oggi appannaggio pressoché esclusivo di centri ricerca altamente specializzati e non è ancora pensabile l'utilizzo estensivo di detto strumento da parte di tutti i datori di lavoro, soprattutto per le piccole e medie imprese.

Misure di Prevenzione e Protezione

Sono adottate a seguito della valutazione dei rischi e servono a:

- 1) prevenire il superamento dei valori limite di esposizione per i lavoratori professionalmente esposti;
- 2) prevenire il superamento livelli di riferimento ICNIRP per la popolazione nel caso di soggetti con controindicazione assoluta;
- 3) ridurre l'esposizione a valori minimi tecnicamente conseguibili.

In nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione.

Per prevenire esposizioni superiori a tali valori limite il datore di lavoro elabora ed applica un programma di azioni che comprende misure tecniche e organizzative, 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.

La possibilità di ridurre le emissioni elettromagnetiche in ambiente lavorativo, dipende da una serie di fattori tra cui le caratteristiche del campo, la natura del servizio (se si tratta per esempio di una macchina industriale o di un elettrodotto, o di un'antenna per radiotelefonica) e l'ambiente in cui il lavoratore è esposto.

La schermatura di un campo elettrico, magnetico o elettromagnetico può risultare molto utile in numerosi settori tecnici che vedono l'utilizzo di campi elettromagnetici. Innanzitutto quando si vuole ridurre l'esposizione di individui che debbano transitare o stazionare nei pressi di una sorgente di campo elettromagnetico in ambiente lavorativo, in secondo luogo nell'ambito della cosiddetta "compatibilità elettromagnetica", quando è importante evitare che le emissioni elettromagnetiche prodotte da una apparecchiatura elettrica disturbino il funzionamento di altre apparecchiature poste nelle vicinanze della prima, o che la sommatoria delle onde elettromagnetiche di più sorgenti crei un'amplificazione dell'intensità dell'onda.

In particolare, i campi elettrici vengono fortemente attenuati anche dagli oggetti materiali non conduttivi che si interpongono tra le sorgenti e gli individui: una parete o un edificio sono utili attenuatori di campo elettrico.

I campi magnetici, invece, non subiscono attenuazione da parte degli oggetti materiali. Pertanto si ritrovano quasi inalterati all'interno e all'esterno di un edificio.

La possibilità di schermatura dipende anche dal fatto che l'emissione della sorgente sia intenzionale o accidentale.

Nel primo caso, in cui l'emissione di un campo elettromagnetico è necessaria espressamente per diffondere un segnale elettromagnetico (per esempio: impianti di teleradiodiffusione, stazioni radio-base, apparati radar), non è possibile schermare la sorgente, ovvero impedire che le sue emissioni diffondano nell'ambiente circostante, poiché questo ne impedirebbe il regolare funzionamento. A questo proposito deve essere schermata, laddove sia possibile, la regione di spazio all'interno della quale non si vuole che il campo elettromagnetico possa penetrare.

Nel secondo caso, invece, troviamo le sorgenti la cui emissione è del tutto "accidentale" (per esempio: elettrodotti, elettrodomestici, computer e altre macchine da ufficio) e quegli apparati industriali il cui funzionamento richiede la generazione di un intenso campo, ma solo in una regione limitata di spazio, dove si trova lo strumento che eroga il campo. In questi casi, è possibile pensare di schermare la stessa sorgente.

Gli schermi si realizzano maggiormente con l'impiego di pannelli o contenitori metallici o comunque di materiale che possieda una buona conducibilità elettrica. Si deve tener presente che il campo magnetico statico o di bassa frequenza (50 Hz) è molto difficile da schermare: per una schermatura efficace occorrerebbero lastre di acciaio o altro materiale ferromagnetico spesso diversi millimetri. Attualmente vengono però prodotte leghe metalliche con alta permeabilità magnetica che possono schermare anche campi a bassa frequenza ad altissima intensità con lastre dello spessore di pochi millimetri, peraltro con costi di produzione relativamente bassi.

Il campo elettromagnetico a radiofrequenza (per esempio a 900 MHz, come nel caso della telefonia cellulare) può essere, invece, facilmente schermato da materiali metallici. Uno schermo può anche essere realizzato con un tessuto (filato o non filato, naturale o sintetico) attraversato

da un materiale che deve essere dotato di una buona conducibilità elettrica (ad es. grafite, filamenti metallici).

Questo significa che è possibile abbattere i livelli di campo elettromagnetico ad alta frequenza mediante l'uso di semplici tende purché dotate delle succitate caratteristiche

Acquisto di nuovi macchinari

Come nel caso di rumore e vibrazioni, anche nel caso dei campi elettromagnetici l'acquisto di macchinari marcati CE consente di valutare preventivamente il livello di emissione prodotto dal macchinario ed orientare la scelta verso il macchinario a ridotte emissioni. La Direttiva Macchine richiede infatti che la progettazione e costruzione dei macchinari sia tale da limitare qualsiasi emissione di radiazioni a quanto necessario al loro funzionamento e tale che i suoi effetti sulle persone esposte siano nulli o comunque non pericolosi.

La norma di riferimento per la valutazione e riduzione delle emissioni di un macchinario è la UNI EN 12198-1 del gennaio 2009, che riguarda l'emissione di tutti i tipi di radiazione elettromagnetica non ionizzante, sia i campi elettromagnetici che le radiazioni ottiche. In funzione del livello di emissione di radiazioni, il fabbricante deve assegnare alla macchina una categoria di emissione di radiazioni, apporre adeguata segnaletica (vedi Figura a seguito) e indicare le pertinenti esigenze di informazione/addestramento e misure di protezione (Tabella 6).



Tab.6: Classificazione dei macchinari in funzione dei livelli di emissione

Cat.	Livelli emissione	Restrizione e misure di protezione	Informazione - addestramento
0	< livelli di riferimento per la popolazione	Nessuna	Nessuna
1	> livelli di riferimento per la popolazione raccom. europea 1999/519/CE	Possono essere necessarie Limitazione accesso e misure di protezione	Informazioni su pericoli, rischi ed effetti indiretti
2	> livelli azione DLgs.81/2008 -titolo VIII capo IV	Restrizioni speciali e misure di protezione obbligatorie	Come sopra, in più necessario l'addestramento

L'uso di tali indicazioni in fase di acquisto dei nuovi macchinari consente di orientare la scelta verso macchinari ottimizzati ai fini della riduzione delle esposizioni ai campi elettromagnetici.

Misure di tutela organizzative e procedurali

Nelle attività lavorative ove siano presenti macchinari o impianti emettitori di campi elettromagnetici potenzialmente nocivi è in genere sempre possibile individuare un insieme di misure di tutela di tipo organizzativo e procedurale, che se messe in atto, consentono di:

- prevenire l'esposizione di individui con controindicazioni assolute o relative all'esposizione;
- ridurre al minimo l'esposizione dei lavoratori ai CEM irradiati da tali apparati.

Tra queste le principali, comuni alla maggior parte delle situazioni espositive, sono:

Installazione e lay out

E' necessario che gli apparati emettitori di CEM siano installati in aree di lavoro adibite ad uso esclusivo degli stessi ed ad idonea distanza dalle altre aree di lavoro ove il personale staziona per periodi prolungati. Inoltre, per prevenire effetti indiretti, interferenze e per evitare esposizioni indebite, è di fondamentale importanza evitare che in prossimità delle sorgenti vengano posizionati, se non previa idonea valutazione tecnica, oggetti metallici di qualsiasi tipo ed apparecchiature elettriche.

In generale la distanza di rispetto tra l'area di installazione dell'apparato -che può essere definita come "area ad accesso controllato" in relazione al rischio di esposizione a CEM- e le altre aree di lavoro ad accesso libero dipende dalle caratteristiche tecnologiche dell'apparecchiatura, e dovrà essere valutata da colui che effettua la valutazione del rischio.

Delimitazione delle aree

Le aree di lavoro ove i valori di esposizione possono risultare superiori ai livelli di riferimento per la popolazione devono essere delimitate con cartelli di segnalazione della presenza di campi elettromagnetici, conformi alle normative vigenti in materia di segnaletica di sicurezza (Fig. 1). L'accesso a tali aree andrà consentito solo a personale autorizzato, previa valutazione dell'assenza di controindicazioni fisiche all'esposizione.

Formazione ed addestramento del personale

Ai fini della prevenzione dei rischi per la salute dei soggetti esposti, è fondamentale che il personale sia formato sulle corrette norme comportamentali da adottare nelle operazioni in prossimità del macchinario sorgente di CEM e soprattutto sulla necessità di limitare la permanenza nelle aree a rischio (zone controllate) al tempo strettamente funzionale ad attività ed operazioni di controllo del macchinario/impianto sorgente di CEM.

Inoltre, ai fini della prevenzione degli effetti indiretti dell'esposizione il personale dovrà essere formato in particolare sui seguenti elementi:

- ✓ Condizioni di controindicazioni personali all'esposizione ai CEM;
- ✓ Corretti comportamenti da adottare in prossimità del macchinario, che in genere comprendono il divieto di introdurre oggetti metallici di qualsiasi tipo ed apparecchiature elettriche all'interno dell'area, se non espressamente autorizzate dal responsabile della sicurezza.

Qualora il macchinario non possa essere schermato, le aree ove si possano riscontrare valori superiori ai livelli d'azione per i lavoratori vanno opportunamente segnalate e delimitate.

Nei casi in cui l'accesso alle aree con rischio di superamento del valore limite per i lavoratori non possa essere impedito fisicamente, come ad esempio nel caso di lavorazioni su tralicci o su linee elettriche aeree di alta tensione, è necessario dotare i lavoratori di:

- ✓ Monitor portatile di CEM con dispositivo d'allarme atto a segnalare tempestivamente il superamento dei valori d'azione di campo elettrico e magnetico fissati dalla normativa
- ✓ Indumenti di protezione RF specifici per le frequenze di interesse. Questi in generale consistono di abiti e tute anti-RF, caschi di protezione anti-RF, guanti e calze anti RF. Tali indumenti protettivi sono in genere composti dagli stessi tessuti sintetici normalmente impiegati per indumenti ignifughi (es. Nomex) ed acciaio inossidabile in percentuale del 20%-30%. Tali indumenti forniscono un'attenuazione alle radiofrequenze emesse dagli apparati di telecomunicazioni (100 MHz -10 GHz) dell'ordine di 1/10 - 1/100.

Informazione e formazione dei lavoratori

Il rischio da campo elettromagnetico resta, nonostante l'intensificarsi degli studi in materia, un argomento complesso, ancora poco chiaro per quanto riguarda i reali effetti sulla salute e nei

meccanismi di esplicazione di tali effetti. Per questa ragione è fondamentale, per questo particolare rischio e soprattutto per l'esposizione professionale, la corretta informazione e formazione dei lavoratori e di tutte le figure del sistema di sicurezza, soprattutto in specifici settori lavorativi che prevedono esposizioni massicce e prolungate nel tempo a questi agenti fisici. Tali processi sono ormai obbligatori secondo legge (D.Lgs 81/2008, Titolo VIII) e vengono considerati a tutti gli effetti misure di tutela per la salute e sicurezza dei lavoratori. L'articolo 184 del D.Lgs 81/08 recita infatti: "Il datore di lavoro provvede affinché i lavoratori esposti a rischi derivanti da agenti fisici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi con particolare riguardo:

- a) alle misure adottate;
- b) all'entità e al significato dei valori limite di esposizione e dei valori di azione definiti nei Capi II, III, IV e V, nonché ai potenziali rischi associati;
- c) ai risultati della valutazione, misurazione o calcolo dei livelli di esposizione ai singoli agenti fisici;
- d) alle modalità per individuare e segnalare gli effetti negativi dell'esposizione per la salute;
- e) alle circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria e agli obiettivi della stessa;
- f) alle procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione;
- g) all'uso corretto di adeguati dispositivi di protezione individuale e alle relative indicazioni e controindicazioni sanitarie all'uso".

Sorveglianza sanitaria

Secondo il D.Lgs 81/2008, 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 (Donne in stato di gravidanza, minori, ecc.) tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi trasmessi dal datore di lavoro. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, può disporre contenuti e periodicità diversi da quelli forniti dal medico competente.

Devono essere tempestivamente sottoposti a controllo medico i lavoratori per i quali è stata rilevata un'esposizione superiore ai valori di azione stabiliti nel Titolo VIII capo IV del DLgs.81/2008.

RESPONSABILITA'

Il Testo Unico include la valutazione del rischio tra le misure generali di tutela la cui adozione è riservata al Datore di Lavoro.

Anche i rischi da campi elettromagnetici devono essere valutati in quanto il documento di valutazione del rischio deve considerare tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, e la valutazione deve considerare i lavoratori esposti a rischi particolari.

Nella stesura di tale documento il Datore di Lavoro deve:

- 1) avvalersi della collaborazione del Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP) e del Medico Competente
- 2) consultare il rappresentante dei lavoratori per la sicurezza

Il Datore di Lavoro è il principale soggetto passibile delle sanzioni penali e civili previste dalla legislazione italiana.

Descrittori del rischio

I descrittori del rischio relativi ai campi elettromagnetici sono:

Campo Elettrico (E): per campo elettrico si intende una regione dello spazio in cui una carica elettrica (o corpo carico elettricamente) è sottoposta ad una forza proporzionale alla carica stessa. Per descrivere il campo si utilizza il vettore campo elettrico, che si indica con E e che rappresenta la forza elettrica che agisce sull'unità di carica. Nel Sistema Internazionale l'unità di misura del campo elettrico è il **volt/metro (V/m)**. Un campo elettrico è generato da cariche elettriche o anche da un campo magnetico variabile nel tempo.

Campo Magnetico (H): Il campo magnetico viene generato da cariche in movimento, cioè da correnti elettriche, e a sua volta agisce su correnti, ovvero cariche in movimento. Il campo magnetico può essere creato anche da un campo elettrico variabile nel tempo. L'unità di misura del campo magnetico nel sistema S.I. è l'**ampere/metro (A/m)**

Induzione magnetica (B): In ogni punto dello spazio in cui è presente un campo magnetico si definisce induzione magnetica un vettore B , la cui ampiezza è data dal valore massimo della forza che si esercita su un elemento di corrente esploratore diviso per il prodotto della corrente stessa e per la lunghezza dell'elemento. Questo vettore caratterizza in modo completo tutte le proprietà del campo magnetico e viene misurato, nel Sistema Internazionale, in **tesla (T)**

Densità di potenza (S): È l'energia trasportata dall'onda in un secondo attraverso l'unità di superficie disposta perpendicolarmente alla sua direzione di propagazione ed è una misura dell'intensità dell'onda stessa. La densità di potenza ha come unità di misura il watt al metro quadro (W/m^2).

Corrente di contatto: È la corrente che fluisce al contatto tra un individuo ed un oggetto caricato dal campo elettromagnetico. Essendo una corrente si misura in **ampere (A)** o, nel caso specifico, in sottomultipli dell'ampere.

Tutti questi parametri sono misurabili in maniera diretta con opportuni strumenti di misura.

Altri descrittori del rischio non misurabili in maniera diretta sono:

Densità di corrente (J): La densità di corrente in un punto viene definita dal rapporto fra l'intensità di corrente attraverso un elemento di superficie (perpendicolare alla direzione della corrente) e la superficie dell'elemento stesso. La densità di corrente è un vettore e si indica con J . Si dimostra che l'intensità di corrente può essere rappresentata come il flusso del vettore J attraverso la sezione del conduttore. La densità di corrente, nel Sistema Internazionale, si misura in **ampere al metro quadro (A/m^2)**. Si utilizzano spesso i sottomultipli: **milliampere al metro quadro (mA/m^2)**, **microampere al metro quadro ($\mu A/m^2$)** o **nanoampere al metro quadro (nA/m^2)**.

Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR): Esprime la potenza assorbita per unità di massa (W/kg). Serve per quantificare la potenza assorbita da un organismo biologico quando interferisce con un campo elettromagnetico o un'onda. È importante distinguere tra SAR locale, per esempio il SAR in un determinato punto, e il SAR mediato su di un certo volume (per esempio il SAR medio nell'intero corpo); inoltre può essere calcolato come SAR istantaneo o come SAR mediato su di un certo periodo. Il tasso di assorbimento specifico dipende dalle caratteristiche del corpo esposto, come le dimensioni, le proprietà dielettriche dei differenti strati del tessuto, poi anche dagli effetti di terra e da quelli di riflessione causati dalla presenza di altri oggetti nel campo come superfici metalliche vicine al corpo esposto, ecc... Il SAR è dato da: $sE^2/2r$ dove s è la conduttanza del tessuto biologico, r è la densità del corpo (kg/m^3) e E il campo elettrico interno.

VALORI DI AZIONE

La definizione di valori di azione (VdA) è data nel Titolo VIII - Capo IV - articolo 207- "Definizioni" - del Testo Unico

valori di azione: l'entità dei parametri direttamente misurabili, espressi in termini di intensità di campo elettrico (E), intensità di campo magnetico (H), induzione magnetica (B) e densità di potenza (S), che determina l'obbligo di adottare una o più delle misure specificate nel presente capo. Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei pertinenti valori limite di esposizione.

I valori di azione sono legati alla frequenza del campo elettromagnetico a cui il lavoratore è esposto e vengono presentati in forma riassuntiva nel Titolo VIII - Capo IV - Articolo 208 - "Valori limite di esposizione e valori d'azione" - del Testo Unico attraverso la seguente tabella:

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 Hz	/	1,63x10 ⁵	2x10 ⁵	/	1,0	/
1-8 Hz	20.000	1,63x10 ⁵ /f ²	2x10 ⁵ /f ²	/	1,0	/
8-25 Hz	20.000	2x10 ⁴ /f	2,5x10 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	/
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	/	/

VALORI LIMITE

La definizione di valori limite (VLE) è data nel Titolo VIII - Capo IV - articolo 207- "Definizioni" - del Testo Unico

valori limite: 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

I valori di limite sono presentati in forma riassuntiva nel Titolo VIII - Capo IV - Articolo 208 - "Valori limite di esposizione e valori d'azione" - del Testo Unico attraverso la seguente tabella:

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)
< 1 Hz	40	/	/	/	/
1 - 4 Hz	40/f	/	/	/	/
4 - 1.000 Hz	10	/	/	/	/
1 - 100 KHz	f/100	/	/	/	/
0,1 - 10 MHz	f/100	0,4	10	20	/
0,01 - 10 GHz	/	0,4	10	20	/
1 - 300 GHz	/	/	/	/	50

Soggetti, situazioni fisiologiche e patologiche che possono comportare condizioni di maggiore suscettibilità ai CEM

Soggetti portatori di:

- Schegge o frammenti metallici
- Clips su aneurismi (vasi sanguigni), aorta, cervello
- Valvole cardiache
- Stents
- Defibrillatori impiantati
- Distrattori della colonna vertebrale
- Pompe di infusione di insulina o altri farmaci
- Pace maker cardiaci
- Corpi metallici nel condotto uditivo o impianti per udito
- Neurostimolatori o elettrodi impiantati nel cervello o subdurali
- Tutti gli stimolatori
- Corpi intrauterini (spirale o diaframma)
- Derivazione spinale o ventricolare
- Cateteri cardiaci
- Protesi metalliche per pregresse fratture o interventi correttivi articolari
- Chiodi e viti impiantati
- Espansori mammari
- Protesi peniene
- Stato di gravidanza
- Patologie del Sistema Nervoso Centrale (con particolare riferimento all'epilessia)
- Patologie del Sistema Cardiovascolare (in particolare soggetti che hanno subito di recente infarto del miocardio)

Per approfondimenti:

<http://www.iss.it/elet>

http://www.ausl.mo.it/dsp/spsal/spsal_lg_coord_interregionale.htm:

Decreto Legislativo 81/2008, Titolo VIII, Capo I, II, III e IV sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro. Prime indicazioni applicative

www.elettra2000.it