



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

Dipartimento di Scienze Mediche Chirurgiche e della Salute

CORSO DI LAUREA

Tecniche della Prevenzione nell'Ambiente e nei Luoghi di Lavoro

TESI DI LAUREA

**Valutazione del rischio da campi elettromagnetici in
ambito cartario: analisi e tutela dei lavoratori
particolarmente sensibili**

Laureando: Cristian Moisei

Relatore: Prof.ssa Francesca Rui

Correlatore: Ing. Alessia Bonazza

Valutazione del rischio da campi elettromagnetici in ambito cartario: analisi e tutela dei lavoratori particolarmente sensibili

1. 2.1 INTRODUZIONE

2.1.1 Premessa

2.2 INTRODUZIONE STORICA ALL'ELETTROMAGNETISMO

2.3 Campi elettromagnetici (0 Hz-300 GHz)

2.4 Definizioni

2.5 Campi elettromagnetici in ambito industriale

2.6 Grandezze dosimetriche

2.7 Effetti biologici da esposizione a campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz)

2.7.1 Effetti a breve termine

2.7.1.1 Effetti diretti

2.7.1.2 Effetti indiretti

2.7.2 Effetti a lungo termine

2.8 Introduzione alla normativa

2.9 BASI SCIENTIFICHE PER LA LIMITAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

2.10 Limiti di esposizione stabiliti dall'ICNIRP

2.11 LINEE GUIDA PER LA LIMITAZIONE DELL'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI

2.12 MISURE PROTETTIVE

2.13 Normativa di riferimento Internazionale e Nazionale (Italia)

2.14 LIMITI PER LAVORATORI PROFESSIONALMENTE ESPOSTI

2.14.1 Effetti non termici

2.14.2 VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE) E VALORI DI AZIONE (VA) TRA 0 HZ E 10 MHZ

2.14.3 Effetti termici

2.14.4 VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE) E VALORI DI AZIONE (VA) TRA 100 KHZ E 300 GHZ

2.15 LIMITI PER LA POPOLAZIONE GENERALE

2.16 SUPERAMENTO DEI VALORI DI AZIONE

2.17 SUPERAMENTO DEI VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE

2.18 LIMITI PER LAVORATORI PARTICOLARMENTE A RISCHIO

2. Valutazione dei rischi da campi elettromagnetici in ambiente lavorativi

3.1 Valutazione del rischio

3.2 Stima dei rischi da esposizione

3.3 Studio della possibilità di eliminare o ridurre il rischio

3.4 SORGENTI GIUSTIFICABILI

3. Obiettivi della tesi

4. MATERIALI E METODI

5.1 Dati generali dell'azienda dove sono state effettuate le misurazioni

5.2 Descrizione del ciclo produttivo

5.3 Ciclo produttivo della carta tissue

5. METODO DI MISURA DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO

6.1 Misura dell'esposizione umana

6.2 Caratterizzazione delle variazioni spaziali

6.3 Caratterizzazione delle variazioni temporali

6.4 Metodologia di Misura e Caratterizzazione dei Campi Elettromagnetici in Ambiente Industriale

6.5 Modalità di indagine

6.6 Strumentazione di misura

6. ZONIZZAZIONE DEL RISCHIO

7. ATTENUAZIONE PRODOTTA DA DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

8. TEMPI DI ESPOSIZIONE

9. VALUTAZIONE DEL RISCHIO PRELIMINARE - ANALISI DELLE FONTI DI ESPOSIZIONE

10. RISULTATI

11.1 ESITO DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO MEDIANTE CAMPIONAMENTO STRUMENTALE

11.2 Riepilogo Misure Campi Elettromagnetici di Bassa Frequenza

11.3 Confronto con una seconda cartiera con simili caratteristiche

12. DISCUSSIONE

12.1 Analisi delle sorgenti e contesto operativo

12.2 Lavoratori particolarmente sensibili al rischio da esposizione a CEM

12.3 FORMAZIONE E INFORMAZIONE

12.4 MEDICO COMPETENTE E SORVEGLIANZA SANITARIA

12.5 Valutazione del rischio e aspetti normativi

12.6 Confronto tra gli impianti e validità del metodo

13. PIANO AZIENDALE DI RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE

14. CONCLUSIONI

15. Bibliografia e sitografia

INTRODUZIONE

PREMESSA:

Il presente elaborato si propone di approfondire il tema dell'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) in ambito lavorativo, con particolare riferimento al contesto industriale di una cartiera. L'obiettivo principale è valutare i rischi legati all'esposizione professionale a campi elettromagnetici, in particolare nelle bande di frequenza utilizzate da macchinari, impianti e dispositivi comunemente presenti in ambienti produttivi complessi.

L'attenzione verso i CEM, in particolare per quanto riguarda le esposizioni croniche a basse intensità, è cresciuta notevolmente negli ultimi decenni, anche a causa del rapido incremento delle tecnologie che li impiegano. La discussione pubblica e scientifica si è intensificata, alimentando interrogativi sulla reale entità dei rischi, sulla validità delle normative vigenti e sull'efficacia delle misure preventive adottate nei luoghi di lavoro.

L'elaborato si pone come obiettivo quello di descrivere ed analizzare in modo critico e oggettivo i dati relativi alla valutazione del rischio da esposizione a CEM nell'ambito industriale di una cartiera confrontando i dati valutati, sia con le normative di riferimento (nazionali e internazionali) sia con evidenze scientifiche relative ai principali effetti sanitari correlati all'esposizione a CEM. Il tutto al fine di gestire il rischio da esposizione a CEM, adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi al fine di proteggere la salute e la sicurezza dei lavoratori esposti.

INTRODUZIONE STORICA ALL'ELETTROMAGNETISMO

I fenomeni elettrici e magnetici erano noti nel passato e considerati per centinaia di anni come fenomeni naturali indipendenti. Nella seconda metà del XIX secolo James Clerk Maxwell elaborò una teoria completa dell'elettromagnetismo. Un gran numero di scienziati contribuì a questo importante risultato quali, tra gli altri, Charles Augustin de

Coulomb, André-Marie Ampère, Hans Christian Ørsted, Carl Friedrich Gauss e Michel Faraday. Maxwell raccolse i diversi risultati conseguiti da questi ricercatori e li riformulò sotto forma di un insieme di equazioni, ora note col nome di *equazioni di Maxwell*. Quale elemento cruciale in questo processo creativo, Maxwell modificò la cosiddetta legge di Ampère aggiungendovi un termine che implica la generazione di un campo magnetico in corrispondenza della variazione di un campo elettrico. Questo in analogia alla legge di Faraday sull'induzione, in cui la variazione di un campo magnetico determina la formazione di un campo elettrico.

Tali effetti, messi insieme, hanno la notevole conseguenza di attribuire ai campi una dinamica indipendente dalle sorgenti, nella forma di onde elettromagnetiche. L'esistenza di queste onde fu successivamente provata sperimentalmente da Heinrich Rudolf Hertz. Dallo studio delle sue equazioni, Maxwell dedusse inoltre che la luce è di natura elettromagnetica. La formulazione di Maxwell della teoria unificata dell'elettromagnetismo è considerata tra le maggiori conquiste nella storia della Fisica e la sua influenza sui successivi sviluppi sia della Fisica che della Tecnologia può difficilmente essere sottovalutata. La società moderna è completamente dipendente dalle applicazioni dell'elettromagnetismo per le comunicazioni, i trasporti, il trasferimento dell'energia e può essere difficile per le persone di oggi comprendere fino a che punto un risultato scientifico di circa 160 anni fa influenzi la nostra esistenza.

1

L'elettromagnetismo è la branca della fisica classica che studia l'interazione elettromagnetica e costituisce una teoria fondamentale che ha permesso di spiegare fenomeni naturali come l'elettricità, il magnetismo e la luce; è il primo esempio di unificazione di due diverse forze, quella elettrica e quella magnetica. La forza elettromagnetica ammette come caso particolare i fenomeni elettrostatici (ad es. l'elettricità) e i fenomeni magnetostatici (ad es. il magnetismo) e ad essa si possono ricondurre molti altri fenomeni fisici macroscopici quali ad esempio l'attrito, lo spostamento di un corpo a mezzo di una forza di contatto, ecc. Senza la teoria dell'elettromagnetismo non si sarebbe mai arrivati alla scoperta delle onde

elettromagnetiche. Senza di esse molti oggetti oggi ad uso comune, come il cellulare e la televisione, non esisterebbero. Sulla superficie terrestre è sempre presente una radiazione elettromagnetica di fondo, che ha origine sia dallo spazio sia dall'atmosfera terrestre, dove si manifestano come fenomeni meteorologici come le scariche elettrostatiche.

Campi elettromagnetici (0 Hz-300 GHz)

Le radiazioni elettromagnetiche si diffondono sotto forma di onde, la cui natura dipende dalla frequenza, cioè dal numero di oscillazioni che si verificano in un secondo, misurato in Hertz (Hz). All'aumentare della frequenza cresce anche l'energia trasportata dall'onda. Le onde elettromagnetiche sono fenomeni oscillatori a carattere sinusoidale che vedono variare nel tempo le due grandezze implicate nel fenomeno, che sono il campo elettrico e quello magnetico. Preso ad esempio un qualsivoglia campo elettrico, che muta nel corso del tempo, esso genera, perpendicolarmente a se stesso, un campo magnetico variabile e mutualmente legato al campo elettrico stesso. Le onde elettromagnetiche sono il fenomeno che permette il passaggio dell'energia elettromagnetica da un posto ad un altro per propagazione. Il trasferimento di energia si verifica nello spazio libero o può anche essere condotto attraverso specifiche linee di trasmissione, come i cavi coassiali. L'insieme di tutte le onde elettromagnetiche, in funzione della frequenza e della lunghezza d'onda, costituisce lo spettro elettromagnetico. Nello spettro elettromagnetico si distinguono e sono fondamentali per le ripercussioni oggi note nel campo della salute e della radioprotezione:

L'insieme di tutte le onde elettromagnetiche, ordinate in base alla frequenza, forma lo spettro elettromagnetico. Per comprendere meglio gli argomenti che seguiranno, è utile dividere lo spettro elettromagnetico in due grandi categorie: radiazioni ionizzanti e radiazioni non ionizzanti.

Le radiazioni ionizzanti (Ionizing Radiation IR) (es. raggi X e raggi γ) possiedono energia sufficiente per rompere i legami atomici delle molecole e ionizzare atomi e molecole, e

le radiazioni non ionizzanti (Non Ionizing Radiation NIR), non hanno la capacità di ionizzare la materia. La sezione relativa alle NIR comprende una sezione “ottica” (300GHz – 3x10¹⁴ THz) che comprende le radiazioni ultraviolette (UV), la luce visibile e la radiazione infrarossa (IR) e una non ottica (0 Hz – 300 GHz). È proprio all’interno di quest’ultima sezione che individuiamo:

- microonde (MW: microwave) (300MHz-300GHz)
- radiofrequenza (RF: radiofrequency) (300 kHz-300MHz)
- campi elettrici e statici a frequenza estremamente bassa (ELF: extremely low frequency) (1-300 kHz)
- campi elettrici e magnetici statici (0-1 Hz)²

(<https://www.librinews.it/varie/libri-manuali-elettromagnetismo/>, s.d.)

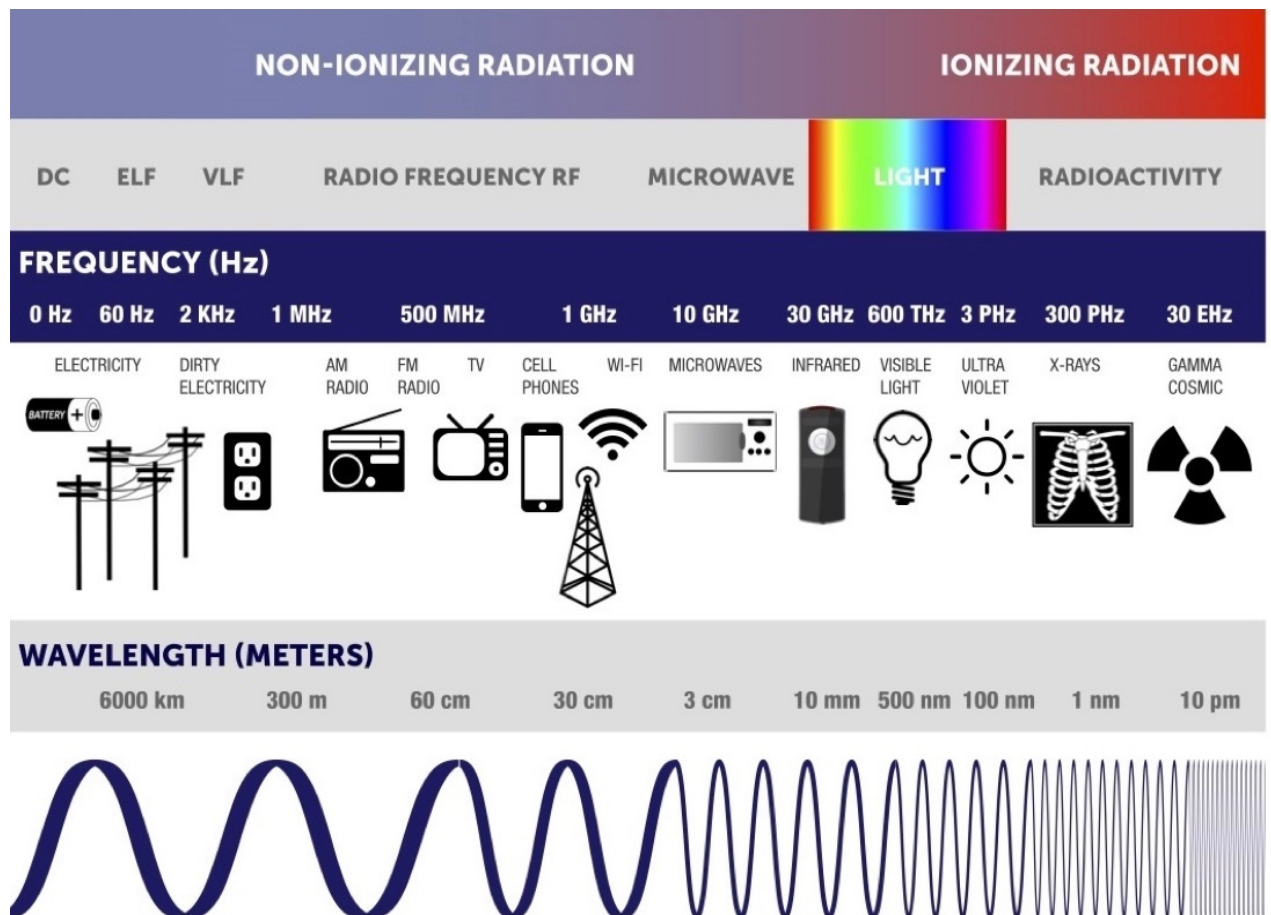


Figura 1.1: Suddivisione dello spettro elettromagnetico in base alla frequenza e alla lunghezza d’onda delle radiazioni (tratto da [4])

- La frequenza indica quante oscillazioni al secondo ha l'onda (espressa in hertz, Hz).
- La lunghezza d'onda è la distanza tra due picchi successivi dell'onda.

DEFINIZIONI

I campi elettrici sono creati da differenze di potenziale elettrico, o tensioni: più alta è la tensione, più intenso è il campo elettrico risultante. I campi magnetici si creano quando circola una corrente elettrica: più alta è la corrente, più intenso è il campo magnetico. Un campo elettrico esiste anche se non c'è corrente. Se circola una corrente, l'intensità del campo magnetico varia con il consumo di potenza, mentre l'intensità del campo elettrico rimane costante. (Estratto dal volume *Electromagnetic Fields*, pubblicato dall'Ufficio Regionale per l'Europa dell'OMS nel 1999 (Local authorities, health and environment pamphlet series; 32)).³

CAMPI ELETTRICI

Collegando un apparecchio a una presa si creano dei campi elettrici nello spazio circostante. Più alta è la tensione, più alto è il campo prodotto. Poiché la tensione può esistere anche se non circola corrente, non occorre che un apparecchio sia acceso perché esista un campo elettrico nello spazio circostante.

CAMPI MAGNETICI

I campi magnetici si creano solo quando circolano correnti elettriche. Quindi i campi elettrici e quelli magnetici coesistono nell'ambiente. Il campo magnetico è tanto più intenso quanto maggiore è la corrente. Nella trasmissione e nella distribuzione dell'elettricità si usano tensioni elevate, mentre in casa si usano tensioni relativamente basse. I campi elettrici attorno ai cavi di un apparecchio cessano di esistere quando questo viene scollegato, ma esistono ancora attorno ai cavi che si trovano nel muro.

Un campo statico non varia nel tempo. Una corrente continua (CC) è una corrente elettrica che scorre in un'unica direzione. In qualunque dispositivo a batteria, la corrente

scorre da quest'ultima all'apparecchio per tornare poi alla batteria. Questa corrente crea un campo magnetico statico. Il campo magnetico terrestre è anch'esso un campo statico, così come il campo magnetico creato da una calamita, che può essere visualizzato osservando le figure che si creano quando si sparge della limatura di ferro attorno ad essa. Al contrario, le correnti alternate (CA) producono campi elettromagnetici variabili nel tempo. Le correnti alternate invertono il loro verso ad intervalli regolari. Nella maggior parte dei paesi europei l'elettricità cambia verso ad una frequenza di 50 cicli al secondo, o 50 hertz. Così pure, i corrispondenti campi elettromagnetici cambiano il loro orientamento 50 volte al secondo. Nell'America settentrionale l'elettricità ha una frequenza di 60 Hz.

CAMPO ELETTRICO

Si definisce Campo Elettrico una regione dello spazio in cui una carica (o un corpo carico elettricamente) è sottoposta ad una forza proporzionale alla carica stessa. Viene descritto mediante un vettore $\vec{E}$ che in ogni punto della regione di spazio indica la direzione, l'intensità ed il verso della forza che agisce su una carica puntiforme unitaria positiva che venga posta in quel punto.

CAMPO MAGNETICO

Il campo magnetico è definito come una perturbazione di una certa regione di spazio determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di corrente elettrica o di massa magnetica.

CAMPO ELETTROMAGNETICO

Se il campo elettrico e magnetico non sono indipendenti; si parla di campo Elettromagnetico (campo lontano). r è la distanza dalla sorgente oltre la quale vi è la sicura presenza di campo lontano D è la massima dimensione dell'elemento radiante (supposta non trascurabile rispetto alla lunghezza d'onda)⁴

CAMPI ELETTROMAGNETICI IN AMBITO INDUSTRIALE

Nel contesto della sicurezza sul lavoro, la corretta identificazione e valutazione dei rischi derivanti da campi elettromagnetici (CEM) rappresenta un'attività fondamentale, specialmente in ambienti industriali complessi dove sono presenti numerose sorgenti di emissione, sia intenzionali che accidentali. I CEM, classificati tra gli agenti fisici e rientranti nel gruppo delle radiazioni non ionizzanti, possono generare effetti biologici anche significativi in caso di esposizione prolungata o intensa, motivo per cui la normativa richiede un'attenta analisi dei livelli presenti nei luoghi di lavoro.

Le cartiere sono ambienti produttivi complessi dove operano macchinari che emettono CEM, ad esempio:

FONTI A BASSA FREQUENZA (0–10 KHZ)

Queste sorgenti generano principalmente **campi magnetici alternati** e sono tipiche dei sistemi elettrici industriali:

- **Trasformatori di potenza** (es. MT/BT): presenti in cabine elettriche o lungo la distribuzione dell'energia.
- **Motori elettrici industriali**: soprattutto quelli di grande potenza (>100 kW), come motori di ventilatori, presse, pompe o raffinatori.
- **Quadri elettrici e armadi di rifasamento**: generano campi magnetici soprattutto nei pressi dei condensatori e degli interruttori.
- **Blindosbarre**: conduttori in canaline metalliche, spesso posti sopra le postazioni di lavoro.
- **Stazioni di ricarica per carrelli elevatori**: soprattutto quelle per carrelli elettrici dotati di batterie ad alta capacità.
- **Forni a induzione**: utilizzati per il trattamento termico o la fusione dei metalli.
- **Saldatrici elettriche ad arco o a resistenza**: impiegate per giunzioni metalliche o assemblaggi.

FONTI AD ALTA FREQUENZA (10 KHZ – 300 GHZ)

Queste sorgenti emettono **radiazione elettromagnetica irradiata** e sono associate a dispositivi di comunicazione o riscaldamento:

- **Saldatrici a radiofrequenza (RF):** usate per la saldatura di materiali plastici (es. PVC).
- **Forni a microonde industriali:** per l'essiccazione, il trattamento termico o la sterilizzazione.
- **Sistemi Wi-Fi industriali:** diffusi nei magazzini automatizzati, ambienti produttivi con dispositivi mobili.
- **Ricetrasmittenti** (es. walkie-talkie, apparati UHF/VHF): usati da operatori di linea, magazzinieri, manutentori.
- **Antenne di comunicazione interna o ripetitori telefonici** installati sul tetto dello stabilimento o all'interno del sito.

GRANDEZZE DOSIMETRICHE

La quantizzazione dell'energia assorbita da un sistema esposto avviene attraverso altre grandezze, in particolare:

- **densità di corrente:** è la corrente indotta da un campo elettromagnetico perpendicolare alla sua direzione, nell'unità di superficie, nel corpo umano. L'unità di misura è l'Ampere/metro quadrato (**A/m²**). La densità di corrente è utilizzata come quantità dosimetrica per frequenze entro i 10 MHz

- **tasso di assorbimento specifico (SAR):** è il tasso temporale a cui l'energia elettromagnetica a radiofrequenza viene impartita ad un elemento di massa di un sistema biologico. L'unità di misura è il Watt per Chilogrammo (**W/kg**).

3) **l'assorbimento specifico (SA),** definito come il rapporto fra l'energia elementare assorbita in una massa elementare, contenuta in un volume elementare con una certa densità. L'unità di misura è il Joule per chilogrammo (**J/kg**).

L' International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), nella formulazione delle nuove linee guida, ha poi introdotto altre grandezze dosimetriche:

- la **corrente I**, misurata in ampere (**A**), per il range di frequenza fino a 110 MHz
- la **densità di potenza S**, misurata in **W/m²**, nel range di frequenza da 10 a 300 GHz.⁴

Effetti biologici da esposizione a campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz)

Le onde elettromagnetiche di differenti frequenze interagiscono in diversi modi con i sistemi biologici, come piante, animali o esseri umani. Gli effetti biologici, strettamente dipendenti dalla frequenza, variano a seconda del parametro preso in considerazione e del bersaglio. In particolare gli studi distinguono tra effetti termici, dove il bersaglio è l'intero corpo o un singolo organo e il parametro studiato è la potenza assorbita per unità di massa, ed effetti specifici, quelli che si studiano a livello cellulare o molecolare. Malgrado i numerosi studi compiuti, mentre i meccanismi riguardanti gli effetti termici sono stati ampiamente compresi, i fenomeni relativi agli effetti specifici non sono ancora completamente chiariti. Non è quindi tuttora possibile, secondo la OMS, definire con certezza tutti i possibili effetti biologici dei campi elettromagnetici. Per questo motivo, la stessa Oms, l'Unione Europea e numerose organizzazioni internazionali continuano a promuovere studi specifici e comparativi. Tuttavia, i dati resi disponibili negli ultimi anni tendono a ridimensionare le ipotesi di rischio sia sull'effettiva possibilità di sviluppare una patologia in seguito a un'esposizione a campo RF, sia per l'eventuale entità del danno causato.

L'esposizione a campi RF può causare riscaldamento o indurre correnti elettriche nei tessuti corporei. Il riscaldamento costituisce la principale interazione dei campi RF ad alta frequenza al di sopra di circa 1 MHz. Al di sotto di questa soglia, l'azione dominante dell'esposizione a RF è l'induzione di correnti elettriche nel corpo.⁶
(<https://www.epicentro.iss.it/campi-elettromagnetici/epidemiologia>, s.d.)

EFFETTI A BREVE TERMINE

1. Effetti diretti

- a. fino alla frequenza di circa 100 kHz il principale meccanismo di interazione consiste nell'induzione di correnti elettriche nei tessuti elettricamente stimolabili (nervi e muscoli)

- b. Frequenze superiori a 100 kHz: con l'aumentare della frequenza diventa prevalente l'assorbimento di energia nei tessuti attraverso il rapido movimento oscillatorio di ioni e molecole di acqua. A frequenze superiori a circa 10 MHz questo effetto è l'unico a permanere e al di sopra di 10 GHz l'assorbimento è esclusivamente superficiale. I meccanismi attraverso i quali l'esposizione a RF causa un riscaldamento dei tessuti biologici sono noti e causano risposte fisiologiche e fisiopatologiche negli individui e negli animali da laboratorio. Il riscaldamento è dovuto all'assorbimento di energia dissipata dai campi a RF o MW da parte del tessuto colpito e al conseguente innalzamento della temperatura. Il riscaldamento dei tessuti dipende da vari fattori quali:
 - Livelli di campo
 - Modalità di esposizione
 - Caratteristiche del tessuto irradiato
 - Capacità di dissipazione del calore da parte dei meccanismi di termoregolazione (es cristallino, gonadi).

Si misura in SAR (Specific Absorption Rate) ovvero la quantità di energia elettromagnetica assorbita nell'unità di tempo da un Kg di massa (W/Kg). È un indicatore diretto dell'incremento di temperatura, sistemica o localizzata a specifici distretti, conseguente all'esposizione. Sia il SAR localizzato che quello riferito a tutto il corpo sono mediati su un periodo di tempo specifico (6 min)

Gli effetti biofisici diretti sono quelli derivanti da un'interazione dei campi con i tessuti del corpo e possono essere di natura termica o non termica. Si tratta di effetti a soglia in quanto si verificano solo al di sopra di determinati livelli di esposizione e sono prevenuti rispettando i Valori Limite di Esposizione (VLE) fissati dal D.lgs. 81/08 Titolo VIII Capo IV e s.m.i.



Figura 1 Valutazione su banda degli effetti CEM ⁵

(Da: Iole Pinto; Valutazione e prevenzione rischio CEM: Portale Agenti Fisici)

2. EFFETTI INDIRETTI

Gli effetti indiretti che la normativa intende prevenire sono i seguenti:

- interferenze con attrezzature e altri dispositivi medici elettronici;
- interferenze con attrezzature o dispositivi medici impiantabili attivi, ad esempio stimolatori cardiaci e defibrillatori;

- interferenze con dispositivi medici portati sul corpo, ad esempio pompe per l'infusione di farmaci;
- interferenze con dispositivi impiantati passivi, ad esempio protesi articolari, chiodi, fili o piastre di metallo;
- effetti su schegge metalliche, tatuaggi, body piercing e body art;
- rischio di proiezione di oggetti ferromagnetici non fissi in un campo magnetico statico;
- innesco involontario di detonatori;
- innesco di incendi o esplosioni a causa di materiali infiammabili o esplosivi;
- scosse elettriche o ustioni dovute a correnti di contatto che si verificano quando, in presenza di un campo elettromagnetico, il corpo umano entra in contatto con un oggetto a diverso potenziale elettrico. Alcuni degli effetti indiretti possono insorgere a livelli di esposizione inferiori a quelli in grado di indurre gli effetti biofisici diretti e possono avere conseguenze anche gravi sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori.

EFFETTI A LUNGO TERMINE

- Allo stato attuale non vi sono evidenze sufficienti di effetti dei CEM indotti dalle esposizioni croniche, cioè dalle esposizioni prolungate nel tempo anche a bassi livelli
- Più aumenta il tempo di latenza di un effetto più diventa difficile stabilire un nesso causale tra l'esposizione e un possibile effetto – che potrebbe avere un'origine multifattoriale o un'incidenza caratterizzata da fluttuazioni statistiche.
- In base a evidenze limitate riscontrate da alcuni studi epidemiologici, la IARC ha classificato nel **gruppo 2B (possibili cancerogeni umani)** i campi magnetici a bassa frequenza (2001) con riferimento a un aumento del rischio di sviluppo di leucemie infantili, e i campi elettromagnetici a radiofrequenza (2011) con riferimento a un aumento del rischio di

sviluppo di alcuni tumori cerebrali e del nervo acustico in utilizzatori intensivi di telefoni cellulari.

- La IARC ha altresì evidenziato che i risultati di tali studi non sono conclusivi né sufficienti a dimostrare un nesso causale circa una possibile associazione tra esposizione cronica a CEM e rischio di sviluppo di tumori.
- Le principali autorità scientifiche ritengono quindi che, attualmente, non sussistono evidenze plausibili circa relazioni tra dose ed effetto utili a definire valori di soglia e restrizioni per le esposizioni subacute e croniche a CEM.

Secondo l'Oms, i risultati più recenti indicano che gli effetti dell'esposizione sono minimi e comunque non inducono gravi patologie, come di seguito indicato: ⁷

- **Cancro:** l'evidenza scientifica attuale indica che l'esposizione a campi a radiofrequenza quali quelli emessi dai telefoni cellulari e dalle stazioni radio base non inducono o favoriscono, verosimilmente, il cancro.
- **Altri rischi sanitari:** alcuni scienziati hanno riportato altri effetti legati all'impiego dei telefoni mobili, tra cui cambiamenti nell'attività cerebrale, nei tempi di reazione e nell'andamento del sonno. Questi effetti sono minimi e non sembrano avere alcun impatto sanitario significativo.
- **Interferenza elettromagnetica:** quando i telefoni cellulari sono utilizzati in prossimità di dispositivi medicali (tra cui pacemaker, defibrillatori impiantabili e certi apparecchi acustici) è possibile che si provochino interferenze.

Tre importanti studi recentemente pubblicati indicano l'assenza di qualunque aumento di tumore in relazione a qualunque indice di esposizione utilizzato. Anche l'Oms sostiene

che “una revisione dei dati scientifici svolta dall’Oms nell’ambito del progetto CEM (vedi Progetti in corso) ha concluso che, sulla base della letteratura attuale, non c’è nessuna evidenza convincente che l’esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza abbrevi la durata della vita umana, né che induca o favorisca il cancro.⁶ (<https://www.epicentro.iss.it/campi-elettromagnetici/>, s.d.)

Le prescrizioni del D.lgs 81/08 e s.m.i. non si applicano alla protezione da eventuali effetti a lungo termine dei campi elettromagnetici.

INTRODUZIONE ALLA NORMATIVA

Negli ultimi decenni, la **Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP)** – un’organizzazione scientifica senza fini di lucro che collabora con l’**Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)** e con l’**Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO)** – ha sviluppato e aggiornato diverse linee guida per la limitazione dell’esposizione dei lavoratori e della popolazione generale ai campi elettromagnetici (CEM), nel range da 0 Hz a 300 GHz (spettro delle radiazioni non ionizzanti). Lo scopo di tali linee guida è quello di fornire una protezione efficace contro gli effetti avversi, ossia gli effetti in grado di determinare un danno rilevabile alla salute dell’individuo esposto o della sua progenie (**rischi per la salute**), nonché contro gli effetti che possono comportare danni o infortuni (**rischi per la sicurezza**). Le linee guida ICNIRP sono state periodicamente riviste e aggiornate parallelamente ai progressi delle conoscenze scientifiche disponibili ⁸.

Gli effetti avversi diretti e indiretti derivanti dall’esposizione ai CEM, accertati sulla base delle evidenze scientifiche, sono **effetti acuti**, ossia si manifestano in un intervallo di tempo breve rispetto all’esposizione, ogniquale volta il livello del campo supera una determinata soglia. Una volta superata tale soglia, l’entità dell’effetto cresce proporzionalmente all’aumento dell’esposizione.⁹

Gli effetti diretti accertati dovuti a un’esposizione acuta ai CEM – cioè i **fenomeni biofisici derivanti dall’interazione diretta dei campi con il corpo umano** – consistono in effetti

sanitari o sensoriali a breve termine. Tra questi si annoverano, da un lato, gli effetti non termici dovuti alla stimolazione di nervi periferici, muscoli o organi sensoriali indotti da campi a bassa frequenza (fino a 10 MHz), e, dall'altro, gli effetti termici dovuti al riscaldamento dei tessuti corporei per assorbimento di energia da campi ad alta frequenza (sopra i 100 kHz).¹⁰

Gli **effetti indiretti** – ossia quelli causati dalla presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico che può dar luogo a rischi per la salute o la sicurezza – comprendono: le scariche elettriche o le correnti di contatto dovute al tocco di oggetti conduttori, l'interferenza con dispositivi medici o con elementi metallici impiantati o indossati sul corpo, il rischio di proiezione di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici, nonché l'innescio di dispositivi esplosivi elettrici (detonatori), incendi o esplosioni dovuti a scintille causate da campi indotti, correnti di contatto o scariche.¹¹

Il **livello di esposizione più basso** in grado di indurre un effetto biologico rappresenta il criterio scientifico di riferimento per la definizione dei limiti di esposizione a tutela contro gli effetti acuti accertati. A tal fine, l'ICNIRP ha adottato un approccio prudentiale applicando **fattori di riduzione** ai valori soglia, così da definire limiti di esposizione sufficientemente cautelativi da garantire protezione anche in caso di superamenti significativi. I fattori di riduzione tengono conto della variabilità biologica all'interno della popolazione, delle differenze nelle condizioni di base e negli scenari ambientali, delle incertezze dosimetriche legate alla definizione dei valori di esposizione, nonché, più in generale, di un principio di precauzione.

In questo contesto, i limiti di esposizione differiscono tra **lavoratori professionalmente esposti** e **popolazione generale**. I primi sono adulti esposti in condizioni controllate nell'ambito delle loro mansioni lavorative, formati per riconoscere e gestire i rischi che possono derivare dall'esposizione a CEM sul luogo di lavoro – ad esempio quelli connessi ad effetti sensoriali o indiretti che si possono verificare in particolari condizioni operative, come durante attività legate alla risonanza magnetica (MRI) – e addestrati a mettere in atto adeguate misure di prevenzione. Inoltre, i lavoratori professionalmente esposti

devono essere inseriti in specifici **programmi di salute e sicurezza** che garantiscano informazioni e protezione adeguate.

La **popolazione generale**, invece, comprende individui di tutte le età e con differenti condizioni di salute, inclusi i gruppi più vulnerabili, che possono non avere né consapevolezza né possibilità di controllo riguardo alla loro esposizione ai CEM.

Da quanto sopra emerge la necessità di stabilire **restrizioni più severe per la popolazione generale**, applicando fattori di riduzione ai limiti definiti per l'esposizione occupazionale. Tuttavia, i lavoratori esposti non sono considerati a maggior rischio rispetto alla popolazione generale, purché siano sottoposti a idonee procedure di selezione, formazione e prevenzione che tengano conto di tutti i rischi noti.¹²

BASI SCIENTIFICHE PER LA LIMITAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

Le linee guida per la limitazione dell'esposizione sono state sviluppate dopo un'accurata revisione della letteratura scientifica pubblicata. Si sono usati criteri consolidati per giudicare la validità scientifica della metodologia, i risultati e le relative conclusioni. Soltanto effetti per i quali esistano evidenze scientifiche affidabili sono stati usati come base per le restrizioni all'esposizione.

Rassegne degli effetti biologici dell'esposizione ai campi elettromagnetici a bassa frequenza sono state condotte dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), dall'ICNIRP e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) (IARC 2002, ICNIRP 2003a, WHO 2007a). Queste pubblicazioni hanno fornito la base scientifica per le presenti linee guida.¹³

Come spiegato in dettaglio nel seguito, la base delle linee guida è duplice: l'esposizione a campi elettrici a bassa frequenza può causare risposte biologiche ben definite, che sono dovute a effetti di cariche elettriche superficiali e che vanno dalla percezione al fastidio. Dall'altro canto, i soli effetti che sono stati accertati esponendo dei volontari a campi magnetici a bassa frequenza sono la stimolazione dei tessuti nervosi centrali e periferici e l'induzione nella retina di fosfeni, cioè la percezione di leggeri lampi luminosi

alla periferia del campo visivo. La retina fa parte del sistema nervoso ed è considerata un modello appropriato, anche se conservativo, per gli effetti generalmente indotti da un campo elettrico sui circuiti neuronali del sistema nervoso centrale.^{14,15}

Tenendo conto delle incertezze intrinseche ai dati scientifici, nel definire le linee guida per l'esposizione si sono introdotti dei fattori di riduzione. Per i dettagli si veda ICNIRP 2002.¹⁶ (<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdlita.pdf>, s.d.)

LIMITI DI ESPOSIZIONE STABILITI DALL'ICNIRP

I limiti di esposizione alle radiazioni non ionizzanti stabiliti dall'**ICNIRP** (Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti) si basano su un approccio scientifico strutturato e sequenziale, articolato nelle seguenti fasi:¹⁷

1. Revisione sistematica della letteratura scientifica
2. Identificazione degli effetti nocivi per la salute
3. Selezione dell'effetto critico (cioè l'effetto dannoso osservato al più basso livello di esposizione)
4. Applicazione di fattori di sicurezza (o di riduzione)
5. Definizione delle **restrizioni di base**
6. Derivazione dei **livelli di riferimento**

Per poter definire standard di esposizione affidabili ed efficaci, è fondamentale che esistano **effetti nocivi dimostrati scientificamente**, con relazioni **dose-risposta** ben definite, sia in termini qualitativi che quantitativi.¹⁸¹⁹

Sono considerati effetti scientificamente dimostrati quelli che soddisfano i seguenti criteri:

- Supportati da evidenze epidemiologiche e/o sperimentali affidabili, non attribuibili a errori

- Riproducibili, ossia confermati da studi indipendenti o coerenti tra diversi disegni di studio
- Comprensibili dal punto di vista dei meccanismi biologici coinvolti
- Coerenti con il quadro generale delle conoscenze scientifiche esistenti
- In base a queste premesse, i limiti di esposizione si distinguono in due categorie:
- **Per effetti deterministici** (cioè effetti che si manifestano solo oltre una certa soglia di esposizione), viene identificato un valore soglia
- **Per effetti stocastici** (cioè effetti che possono verificarsi anche a basse dosi), viene definito un livello accettabile di rischio

LINEE GUIDA PER LA LIMITAZIONE DELL'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI

Vengono fornite raccomandazioni separate per l'esposizione professionale e quella del pubblico generico. In queste linee guida, l'esposizione professionale si riferisce ad adulti esposti sul posto di lavoro, per attività professionali svolte con regolarità o a seguito di un incarico, a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo con frequenze comprese tra 1Hz e 10MHz, generalmente in condizioni note. Il termine popolazione generale si riferisce invece a soggetti di tutte le età ed in diverse condizioni di salute, che potrebbero rendere ancora più ampio il campo della suscettibilità individuale. In molti casi, i membri del pubblico non sono consapevoli della loro esposizione ai campi elettromagnetici. Queste considerazioni sono alla base dell'adozione di restrizioni più stringenti per l'esposizione del pubblico, rispetto a quella dei lavoratori esposti durante le loro attività professionali (<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdlita.pdf>, s.d.)

MISURE PROTETTIVE

L'ICNIRP nota che la protezione delle persone esposte a campi elettrici e magnetici può essere assicurata dal rispetto di tutti gli aspetti di queste linee guida.

Le misure per la protezione dei lavoratori comprendono misure tecniche, controlli amministrativi e programmi di protezione personale. Misure protettive adeguate devono essere adottate quando l'esposizione sui posti di lavoro dà luogo a un superamento delle restrizioni di base. Come primo passo, si devono effettuare, ove possibile, controlli tecnici per ridurre le emissioni degli apparati a livelli accettabili. Questi controlli comprendono buoni progetti di protezione e, se necessario, l'uso di interblocchi o di altri meccanismi simili di protezione.

Assieme ai controlli tecnici, si dovrebbero adottare controlli amministrativi, come limitazioni d'accesso e segnalazioni acustiche e visive. Misure di protezione personale, come indumenti protettivi, sebbene utili in alcune circostanze, devono considerarsi come soluzione ultima per garantire la sicurezza dei lavoratori, dando la precedenza, ove possibile, alle misure tecniche e amministrative. Inoltre, quando si usano questi mezzi, come ad esempio guanti isolanti per proteggere gli individui dalle scosse, non si dovrebbero comunque superare le restrizioni di base perché l'isolamento protegge solo dagli effetti indiretti dei campi.

Con l'eccezione degli indumenti protettivi e di altre misure di protezione personale, le stesse misure possono essere applicate per il pubblico ogni volta che vi sia la possibilità di un superamento dei limiti di riferimento. È anche essenziale definire e mettere in atto regole che prevengano:

- l'interferenza con apparati medici elettronici (compresi i pacemaker cardiaci);
 - l'innesco di sistemi elettro-esplosivi (detonatori);
 - incendi ed esplosioni dovuti all'azione delle scintille causate da campi indotti, da correnti di contatto o da scariche elettriche su materiali infiammabili.
- (<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdlita.pdf>, s.d.)

NORMATIVA DI RIFERIMENTO INTERNAZIONALE E NAZIONALE (ITALIA)

Il D.Lgs. 159/2016 modifica il Titolo VIII Capo IV e l'allegato XXXVI del D.Lgs. 81/08 recependo la Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici).

Il D.Lgs. 81/08 recepisce i limiti di esposizione e i valori di azione definiti dalla direttiva europea, alla luce degli studi scientifici presentati dall'ICNIRP nel 2010 riguardanti gli effetti sulla salute dell'esposizione alle radiazioni elettromagnetiche.

Il decreto determina i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300 GHz) durante il lavoro e stabilisce inoltre gli aspetti da tenere in considerazione nella valutazione del rischio.

Le disposizioni (Art. 206 Campo di applicazione) riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano, derivanti dalla circolazione di correnti indotte e dall'assorbimento di energia, nonché da correnti di contatto. I Valori Limite di Esposizione (VLE) riguardano soltanto le relazioni scientificamente accertate tra effetti biofisici diretti a breve termine e l'esposizione ai campi elettromagnetici (per soggetti NON particolarmente sensibili). Il decreto non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine e i rischi risultanti dal contatto con conduttori in tensione.

La Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" definisce cosa significa essere lavoratori professionalmente esposti.

In un ambiente di lavoro ove vi siano sorgenti di campo elettromagnetico l'esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (art. 3 lettera f).

Le esposizioni di carattere professionale sono quindi quelle strettamente connesse e necessarie alle finalità del processo produttivo. La stessa legge quadro specifica cosa si debba intendere per esposizione della popolazione generale a campi elettromagnetici: ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici e terapeutici. (art. 3 lettera g).

Il decreto limita le esposizioni massime fissando dei valori limite di esposizione (VLE) per gli effetti sensoriali e gli effetti sanitari; gli effetti sensoriali sono definiti mediante i limiti per effetti non termici, gli effetti sanitari mediante i limiti per effetti termici. I VLE relativi agli effetti sanitari devono essere sempre rispettati. Il superamento temporaneo dei VLE relativo agli effetti sensoriali è accettabile purché siano state fornite ai lavoratori informazioni opportune.

Nella maggior parte dei casi i VLE sono definiti da grandezze riscontrabili all'interno del corpo che non sono né misurabili direttamente né facilmente calcolabili. Il decreto definisce dei valori di azione (VA) fissati in termini di grandezze di campo esterne più facilmente rilevabili.

Se i VA non sono superati, si può ipotizzare che le esposizioni siano conformi ai VLE e non siano necessarie ulteriori valutazioni.

Se non è dimostrata la conformità ai VA, il datore di lavoro può scegliere se attuare misure di prevenzione e protezione oppure valutare la conformità ai VLE. Poiché quest'ultima è di difficile attuazione e potrebbe sfociare comunque nell'obbligo di attuare misure di prevenzione e protezione, si suggerisce, in caso di superamento dei VA, di definire e attuare misure di prevenzione e protezione.

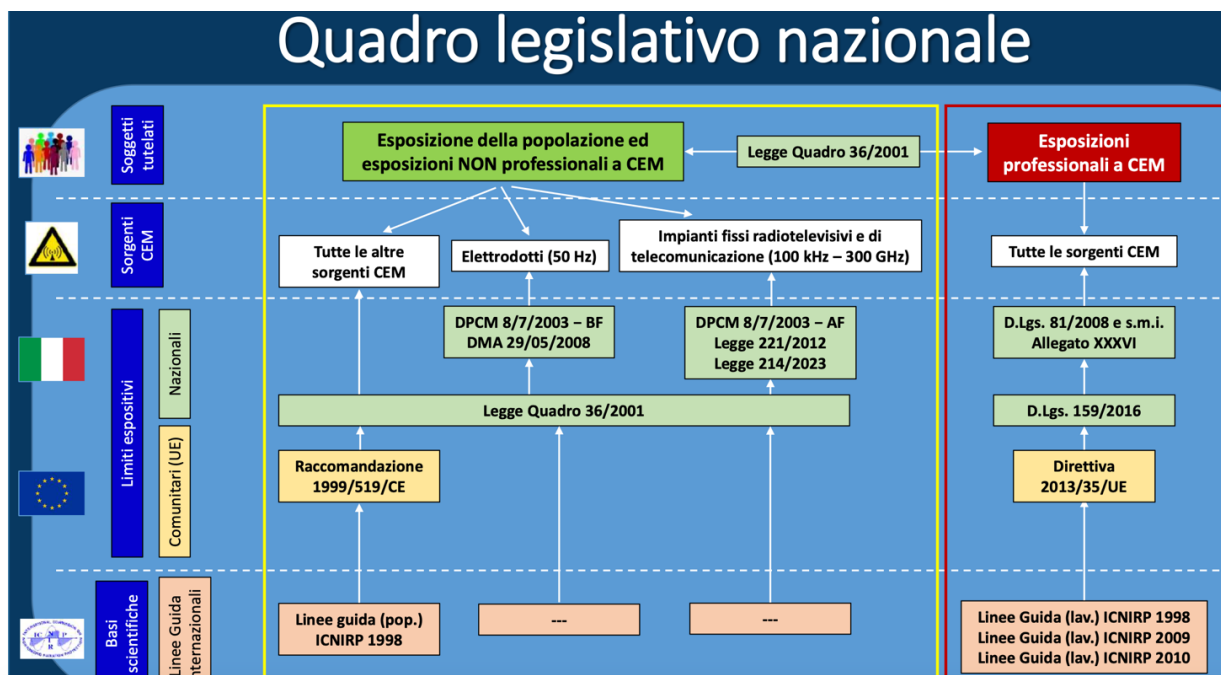


Figura 2 Quadro legislativo italiano ²⁰

LIMITI PER LAVORATORI PROFESSIONALMENTE ESPOSTI

Effetti non termici

VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE) E VALORI DI AZIONE (VA) TRA 0 HZ E 10 MHZ

Nelle seguenti tabelle sono individuati i (VLE) relativi agli effetti non termici definiti dal D.Lgs.

81/08.

VLE per un'induzione magnetica esterna (B_0) compresa tra 0 e 1 Hz (Tabella A1)

	VLE relativi agli effetti sensoriali
Condizioni di lavoro normali	2 T
Esposizione localizzata degli arti	8 T
	VLE relativi agli effetti sanitari
Condizioni di lavoro controllate	8 T

T: Tesla

VLE relativi agli effetti sanitari per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 10 MHz (Tabella A2)

Gamma di frequenza	VLE relativi agli effetti sanitari
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	1,1 V/m (picco)
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,9 \times 10^{-4} f \text{ V/m (picco)}$

f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

VLE relativi agli effetti sensoriali per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 400 Hz (Tabella A3)

Gamma di frequenza	VLE relativi agli effetti sanitari
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ V/m (picco)}$
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	0,07 V/m
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f \text{ V/m}$

f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori di azione (VA) il cui valore quantitativo è stabilito in modo da garantire, tramite una semplificazione della valutazione, il rispetto dei pertinenti VLE, o in corrispondenza dei quali devono essere adottate le pertinenti misure di protezione o di prevenzione.

VA per esposizione a campi elettrici compresi tra 1 Hz e 10 MHz (Tabella B1)

Gamma di frequenza	Intensità di campo elettrico VA(E) inferiori (V/m) (RMS)	Intensità di campo elettrico VA(E) superiori (V/m) (RMS)
$1 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \text{ Hz} \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

f è la frequenza espressa in Hertz (Hz). RMS:....

VA per esposizione a campi magnetici compresi tra 1 Hz e 10 MHz (Tabella B2)

Gamma di frequenza	Intensità di campo elettrico VA(E) inferiori (V/m) (RMS)	Intensità di campo elettrico VA(E) superiori (V/m) (RMS)
1 Hz ≤ f < 25 Hz	2,0 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴
25 Hz ≤ f < 50 Hz	5,0 x 10 ⁵ /f	2,0 x 10 ⁴
50 Hz ≤ f < 1,64 kHz	5,0 x 10 ⁵ /f	1,0 x 10 ⁶ /f
1,64 ≤ f < 3 kHz	5,0 x 10 ⁵ /f	6,1 x 10 ²
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	1,7 x 10 ²	6,1 x 10 ²

f è la frequenza espressa in Hertz (Hz). RMS:

VA per corrente di contatto I_c (Tabella B3)

Frequenza	LA (I_c) corrente di contatto stazionaria (mA) (RMS)
Fino a 2,5 kHz	1,0
2,5 ≤ f < 100 kHz	0,4 f
100 kHz ≤ f ≤ 10000 kHz	40

f è la frequenza espressa in kilohertz (kHz). RMS:

VA per induzione magnetica di campi magnetici statici (Tabella B4)

Rischi	LA(B0)
Interferenza con dispositivi impiantati attivi, ad esempio stimolatori cardiaci	0,5 mT
Rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti ad alta intensità (> 100 mT)	3 mT

EFFETTI TERMICI

VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE) E VALORI DI AZIONE (VA) TRA 100 KHZ E 300 GHZ

Nelle seguenti tabelle sono individuati i **Valori Limite di Esposizione (VLE)** definiti dal **D.Lgs. 81/08** relativi agli **effetti termici** il cui superamento è vietato.

VLE relativi agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici di frequenza compresa tra 100 kHz e 6 GHz (Tabella A1)

VLE relativi agli effetti sanitari	Valori SAR mediati ogni periodo di sei minuti
VLE relativo allo stress termico su tutto il corpo espresso come SAR mediato nel tempo	0,4 W/kg
VLE relativo allo stress termico localizzato nella testa e nel tronco espresso come SAR localizzato nel corpo	10 W/kg
VLE relativo allo stress termico localizzato negli arti espresso come SAR localizzato negli arti	20 W/kg

VLE relativi agli effetti sensoriali per esposizione a campi elettromagnetici di frequenza compresa tra 0,3 e 6 GHz (Tabella A2)

Gamma di frequenza	Assorbimento specifico localizzato di energia (SA)
$0,3 \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	10 mJ/kg

VLE relativi agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici di frequenza compresa tra 6 e 300 GHz (Tabella A3)

Gamma di frequenza	VLE relativo agli effetti sanitari correlati alla densità di potenza
---------------------------	---

$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	50 W/m^2
---	--------------------

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori di azione (VA) il cui valore quantitativo è stabilito in modo da garantire, tramite una semplificazione della valutazione, il rispetto dei pertinenti VLE, o in corrispondenza dei quali devono essere adottate le pertinenti misure di protezione o di prevenzione.

VA per esposizione a campi elettrici e magnetici compresi tra 100 kHz e 300 GHz (Tabella B1)

Gamma di frequenza	Intensità di campo elettrico VA(E) (V/m) (RMS)	Induzione magnetica VA (B) (μT) (RMS)	Densità di potenza VA(S) (W/m^2)
$100 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^2$	$2,0 \times 10^6/f$	-
$1 \leq f < 10 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^8/f$	$2,0 \times 10^6/f$	-
$10 \leq f < 400 \text{ MHz}$	61	0,2	-
$400 \text{ MHz} \leq f < 2 \text{ GHz}$	$3 \times 10^{-3} f^{1/2}$	$1 \times 10^{-5} f^{1/2}$	-
$2 \leq f < 6 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	-
$6 \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	50

f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

VA per le correnti di contatto stazionarie e le correnti indotte attraverso gli arti (Tabella B2)

Gamma di frequenza	Corrente di contatto stazionaria VA(Ic) (mA) (RMS)	Corrente indotta attraverso qualsiasi arto VA(IL) (mA) (RMS)
$100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	40	-

$10 \text{ MHz} \leq f \leq 110 \text{ MHz}$	40	100
--	----	-----

$[AL(IL)]^2$ deve essere mediata su un periodo di sei minuti.

LIMITI PER LA POPOLAZIONE GENERALE

Le esposizioni a sorgenti non correlate con la specifica attività dei lavoratori devono essere contenute entro i limiti vigenti per la tutela della popolazione, definiti in:

- D.P.C.M. 08/07/2003 G.U. 199/03 (relativo agli impianti fissi per le telecomunicazioni)
- D.P.C.M. 08/07/2003 G.U. 200/03 (relativo agli elettrodotti)
- Raccomandazione 1999/519/CE (relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 a 300 GHz) (ICNIRP 2010)

La Raccomandazione 1999/519/CE si applica nei casi in cui non siano presenti limiti applicabili nei primi due D.P.C.M. 199 e 200.

Di seguito si riportano i limiti definiti dai decreti e dalla Raccomandazione CE.

D.P.C.M. 08/07/2003 G.U. 199/03

Limiti di esposizione	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)
$0,1 < f \leq 3 \text{ MHz}$	60	0,2
$3 < f \leq 3000 \text{ MHz}$	20	0,05
$3 < f \leq 300 \text{ GHz}$	40	0,01

Obiettivi di qualità	Intensità di Campo Elettrico E (V/m)	Intensità di Campo Magnetico H (A/m)	Densità di potenza D (W/m ²)
$100 \text{ kHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	6	0,016	0,10 (3 MHz – 300 GHz)

D.P.C.M. 08/07/2003 G.U. 200/03

Campo Elettrico

Frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	
50 Hz	5000	

Campo Magnetico

Frequenza	Limiti di induzione magnetica (μT)	Valore di attenzione di induzione magnetica in luoghi di permanenza non inferiore a 4 ore (μT)	Obiettivo di qualità di induzione magnetica in luoghi di permanenza non inferiori a 4 ore e per nuovi insediamenti (μT)
50 Hz	100	10	3

Raccomandazione 1999/519/CE

Intervallo di frequenza	Intensità di campo E (V/m)	Intensità di campo H (A/m)	Induzione magnetica B (μT)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4
1-8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$

8-25 Hz	10000	$4000/f$	$5000/f$
0,025 – 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25
3-150 kHz	87	5	6,25
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$
10-400 MHz	28	0,073	0,092
400-2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$
2-300 GHz	61	0,16	0,20

f è nella stessa unità indicata nella colonna dell'intervallo di frequenza.

SUPERAMENTO DEI VALORI DI AZIONE

Se a seguito della valutazione dei rischi risultasse che i valori di azione sono superati, il datore di lavoro, a meno che la valutazione effettuata dimostri che i valori limiti di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza, deve **definire e attuare un programma d'azione** che deve includere misure tecniche e/o organizzative intese a prevenire esposizioni superiori ai VLE relativi agli effetti sanitari e ai VLE relativi agli effetti sensoriali, tenendo conto in particolare:

1. di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione ai campi elettromagnetici;
2. della scelta di attrezzature che emettano campi elettromagnetici di intensità inferiore, tenuto conto del lavoro da svolgere;
3. 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;

4. di misure appropriate di delimitazione e di accesso, quali segnali, etichette, segnaletica al suolo, barriere, al fine di limitare o controllare l'accesso;
5. in caso di esposizione a campi elettrici, delle misure e procedure volte a gestire le scariche di scintille e le correnti di contatto mediante strumenti tecnici e mediante la formazione dei lavoratori;
6. degli opportuni programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei sistemi, dei luoghi e delle postazioni di lavoro;
7. della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro;
8. della limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;
9. della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuale.

Nel caso in cui in un luogo di lavoro si verifichi il superamento del livello di azione, sarà necessario indicarlo con apposita segnaletica a meno che, in base ai risultati della valutazione, il datore di lavoro dimostri che i valori limite di esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza.

Queste aree devono essere identificate e l'accesso alle stesse deve essere limitato.

Il datore di lavoro in ogni caso è tenuto a **comunicare all'organo di vigilanza competente territorialmente il superamento** mediante una specifica relazione tecnico-protezionistica contenente:

- a) le motivazioni per cui ai fini della pratica o del processo produttivo è necessario il superamento dei VA inferiori o degli VLE relativi agli effetti sensoriali
- b) il livello di esposizione dei lavoratori e l'entità del superamento
- c) il numero di lavoratori interessati
- d) le tecniche di valutazione utilizzate
- e) le specifiche misure di protezione adottate
- f) le azioni adottate in caso di sintomi transitori
- g) le informazioni fornite ai lavoratori e ai rappresentanti dei

lavoratori per la sicurezza sulle situazioni di rischio

SUPERAMENTO DEI VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE

I VLE sanitari non possono essere superati in alcun caso, la direttiva tuttavia ammette la possibilità che siano ecceduti i VLE sensoriali in talune situazioni, in particolare:

- consente che siano superati i VLE sensoriali per gli effetti non termici (ovvero attribuibili ai campi di frequenza compresa tra 0 Hz e 10 MHz), ove giustificato dalla prassi o dal processo, purché
 - il loro superamento sia solamente temporaneo;
 - non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari;
 - siano prese misure specifiche di protezione quali il controllo dei movimenti;
 - siano prese misure specifiche di protezione per quei lavoratori che dovessero segnalare la comparsa di sintomi temporanei causati da campi magnetici statici, quali vertigini e nausea;
 - siano fornite ai lavoratori informazioni sulla possibilità di sintomi e sensazioni temporanee dovuti a effetti nel sistema nervoso centrale o periferico.
- consente che siano superati i VLE sensoriali per gli effetti termici (ovvero attribuibili ai campi di frequenza superiore a 100 kHz), ove giustificato dalla prassi o dal processo, purché
 - il loro superamento sia solamente temporaneo;
 - non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari;
 - siano prese misure specifiche di protezione per quei lavoratori che dovessero segnalare la comparsa di percezioni ed effetti sensoriali nel funzionamento del sistema nervoso centrale nella testa causati da campi magnetici che variano nel tempo, quali effetti uditivi provocati da

esposizioni della testa a microonde pulsate;

- siano fornite ai lavoratori informazioni sulla possibilità di sintomi e sensazioni temporanei dovuti a effetti nel sistema nervoso centrale o periferico.

Nel caso in cui, nonostante i provvedimenti intrapresi dal Datore di lavoro, i VLE sensoriali e sanitari siano superati (ad eccezione dei casi descritti sopra) il datore di lavoro deve adottare misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei VLE.

Il datore di lavoro deve individuare le cause del superamento e registrarle modificando di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

LIMITI PER LAVORATORI PARTICOLARMENTE A RISCHIO

Alcuni gruppi di lavoratori, sono considerati particolarmente sensibili a rischio, secondo la definizione dell'art. 183 del DLgs 81/08.

Tali lavoratori possono essere non protetti adeguatamente mediante i valori di azione definiti dal D.Lgs. 81/08, perciò il datore di lavoro deve esaminare la loro esposizione a campi elettromagnetici separatamente rispetto agli altri lavoratori.

I valori di azione prescritti dall'allegato XXXVI del DLg. 81/08 sono infatti fissati al fine di prevenire gli effetti noti dell'esposizione su soggetti sani.

I lavoratori particolarmente sensibili al rischio sono in genere tutelati adeguatamente se si rispettano i livelli di riferimento specificati nella raccomandazione 1999/519/CE relativa alla protezione della popolazione generale. Tuttavia per un'esigua minoranza anche questi livelli possono non essere sufficienti a garantire una protezione adeguata.

La valutazione del rischio per tali soggetti sarà quindi del tutto peculiare e prescindere dal mero rispetto dei valori di azione e limiti di esposizione, avvalendosi peraltro della collaborazione del medico competente, anche sulla base delle informazioni fornite dal medico o struttura curante o fabbricante, sulla natura e caratteristiche del dispositivo medico e/o della protesi in questione.

Tabella 1 – Lavoratori particolarmente a rischio¹

Lavori particolarmente a rischio	Esempi
Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA)	Stimulatori cardiaci, defibrillatori cardiaci, impianti cocleari, impianti nel tronco encefalico, protesi dell'orecchio interno, neurostimolatori, codificatori della retina, pompe impiantate per l'infusione di farmaci
Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili passivi contenenti metallo	Protesi articolari, chiodi, piastre, viti, clip chirurgiche, clip per aneurisma, stent, protesi valvolari cardiache, anelli per annuloplastica, impianti contraccettivi metallici e tipi di dispositivi medici impiantabili attivi
Lavoratori portatori di dispositivi medici indossati sul corpo	Pompe esterne per infusione di ormoni
Lavoratrici in gravidanza	

¹ Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della Direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici

Commissione Europea – novembre 2014

Le Linee Guida del Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, riportano inoltre un elenco di soggetti da considerare come particolarmente sensibili al rischio da effetti acuti da CEM.

a) Soggetti portatori di:

- schegge o frammenti metallici,
- clip vascolari,
- valvole cardiache,
- stent,
- defibrillatori impiantati,

- pacemaker cardiaci,
 - pompe di infusione di insulina o altri farmaci,
 - corpi metallici nelle orecchie o impianti per udito,
 - neurostimolatori, elettrodi impiantati nel cervello o subdurali,
 - distrattori della colonna vertebrale,
 - altri tipi di stimolatori o apparecchiature elettriche o elettroniche di qualunque tipo,
 - corpi intrauterini (ad esempio spirale o diaframma) se metallici o con componenti metalliche,
 - derivazioni spinali o ventricolari, cateteri cardiaci,
 - protesi metalliche di qualunque tipo (es. per pregresse fratture, interventi correttivi auricolari, ecc.), viti, chiodi, filo, ecc.,
 - altre protesi
- b) stato di gravidanza;
- c) soggetti con patologie del SNC, in particolare soggetti epilettici;
- d) soggetti con infarto del miocardio recente e con patologie del sistema cardiovascolare.

Per tali lavoratori sarà compito del Datore di Lavoro, in collaborazione con il Medico Competente, valutare caso per caso quali siano le specifiche valutazioni da effettuare e le necessarie misure di prevenzione da attuare.

VALUTAZIONE DEI RISCHI DA CAMPI ELETTROMAGNETICI IN AMBIENTE LAVORATIVI

Nel contesto della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, la valutazione del rischio rappresenta un'attività imprescindibile per l'identificazione, l'analisi e la gestione dei pericoli potenzialmente presenti nell'ambiente lavorativo. Tra i rischi igienico-ambientali,

quelli derivanti dall'esposizione a **campi elettromagnetici (CEM)** assumono una crescente rilevanza, soprattutto in considerazione della diffusione capillare di tecnologie e attrezzature che generano radiazioni non ionizzanti.

I campi elettromagnetici, che comprendono un ampio spettro di frequenze — dalle basse frequenze industriali fino alle alte frequenze delle microonde e delle radiofrequenze — possono avere effetti biologici e, in determinate condizioni, effetti sanitari potenzialmente dannosi. Per tale ragione, la normativa vigente impone l'obbligo per i datori di lavoro di effettuare un'accurata valutazione del rischio legato all'esposizione ai CEM, con l'obiettivo di tutelare sia i lavoratori professionalmente esposti sia, indirettamente, la popolazione generale.

Questo capitolo affronta in modo sistematico e articolato il tema della valutazione del rischio da CEM negli ambienti di lavoro. Dopo un inquadramento teorico e normativo, si passa all'analisi delle fonti di esposizione, alla descrizione delle metodologie di misura adottate e agli strumenti impiegati per la caratterizzazione dei campi. Vengono quindi illustrati i criteri di stima del rischio residuo, le misure di prevenzione e protezione applicabili — sia collettive che organizzative — e infine le strategie di mitigazione, tra cui la zonizzazione del rischio e l'adozione di eventuali schermature.

L'intero percorso valutativo è stato condotto secondo le linee guida tecniche fornite dalle normative CEI 211-6 e CEI 211-7, in assenza di una normativa cogente specifica a livello nazionale. L'analisi presentata si basa su una campagna di misurazioni strumentali eseguite presso differenti reparti produttivi, con particolare attenzione alle aree a maggior rischio potenziale e alle sorgenti non giustificabili secondo criteri normativi.

L'obiettivo di questo capitolo è dunque fornire un quadro metodologico e operativo completo per affrontare la valutazione dei rischi da campi elettromagnetici in ambito lavorativo, promuovendo un approccio preventivo, razionale e proporzionato alla reale entità del rischio.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Il rischio derivante dai campi elettromagnetici è considerato un rischio per la salute e rientra tra i rischi igienico-ambientali, classificati nella categoria degli "Agenti Fisici", all'interno del gruppo delle "Radiazioni non Ionizzanti". Queste includono, tra le altre, alcune componenti dei raggi ultravioletti, le microonde, le radiofrequenze, i raggi infrarossi, i raggi X e i raggi laser. La valutazione del rischio consiste in un'analisi sistematica di tutti gli aspetti legati all'attività lavorativa, mirata a individuare le possibili cause di lesioni o danni, al fine di eliminarle o, ove ciò non sia possibile, di ridurle a un livello considerato accettabile. Anche per quanto riguarda i campi elettromagnetici, è fondamentale identificare il percorso di esposizione, che va dalle cause più comuni, alle sorgenti di pericolo, ai gruppi di lavoratori maggiormente esposti, fino ai metodi di misurazione delle onde emesse e ai provvedimenti da adottare per minimizzare il livello di esposizione sia per il lavoratore che per la popolazione generale.

Le applicazioni delle radiazioni non ionizzanti variano notevolmente in base alla frequenza, e si suddividono in tre principali intervalli:

Frequenze industriali (0 - 50 Hz) Utilizzate prevalentemente nelle linee elettriche per il trasporto e la distribuzione dell'energia. Trovano impiego anche nel funzionamento di motori elettrici, trasformatori e numerosi elettrodomestici di uso quotidiano, come televisori, forni, lavatrici, computer, asciugacapelli, vasche idromassaggio, radiosveglie, rasoi elettrici, ecc.

Basse frequenze (50/60 Hz – 10 kHz) Impiego tipico nella telefonia, nelle trasmissioni radio intercontinentali e via cavo. Sono associate anche al funzionamento dei carichi non lineari, come i convertitori statici, collegati alle reti di distribuzione dell'energia elettrica.

Alte frequenze (10 kHz – 300 GHz) Riguardano sistemi non diffusivi, che generano inquinamento elettromagnetico localizzato, limitato alle persone che si trovano nelle immediate vicinanze della sorgente.

INDIVIDUAZIONE DI RISCHI DA ESPOSIZIONE

L'identificazione dei rischi da esposizione ha inizio con un'analisi complessiva delle sorgenti di pericolo, per poi proseguire con l'esame delle procedure operative e delle misure di prevenzione e protezione già in essere. Partendo dallo studio delle sorgenti, della loro distribuzione nello spazio e della compatibilità elettromagnetica in presenza di più fonti, è necessario definire metodi operativi e misure di sicurezza adeguate per prevenire i danni legati al rischio elettromagnetico. In questo contesto, è essenziale affrontare anche gli aspetti organizzativi, in particolare quelli relativi alla gestione degli spazi di lavoro e alla scarsa consapevolezza del rischio da parte degli operatori. Fin dalle fasi iniziali sono state fornite indicazioni per prevenire esposizioni inappropriate, con interventi che hanno interessato anche la progettazione, sia in caso di ristrutturazione sia nella realizzazione ex novo di ambienti destinati ad attività che prevedono l'uso di campi elettromagnetici, come ad esempio le strutture per la diagnostica magnetica o per la fisioterapia che utilizza la magnetoterapia. Quando possibile, è opportuno adottare misure di protezione, che possono essere di tipo collettivo, accompagnate da percorsi di formazione e informazione rivolti ai lavoratori. Questi interventi devono favorire una corretta consapevolezza del rischio e promuovere comportamenti adeguati, senza però generare allarmismi ingiustificati.

STIMA DEI RISCHI DA ESPOSIZIONE

A partire dall'analisi delle sorgenti di pericolo e dalla determinazione dei livelli di rischio, è necessario procedere con una stima del rischio residuo di esposizione.

Questa stima può essere effettuata attraverso diverse modalità:

a) **Verifica del rispetto delle normative di sicurezza** applicabili alle macchine durante il loro normale funzionamento.

b) **Valutazione dell'accettabilità delle condizioni di lavoro**, basata su un'analisi oggettiva dell'intensità e della durata delle lavorazioni, delle modalità operative adottate e di tutti i fattori che influenzano l'entità dell'esposizione. Tale valutazione può

essere supportata dal confronto con dati relativi a condizioni di esposizione analoghe riscontrate in contesti lavorativi simili, anche attraverso l'utilizzo di risultati derivanti da indagini su larga scala.

c) **Verifica della documentazione aziendale** relativa alla sicurezza, inclusa l'eventuale disponibilità di certificazioni o attestazioni già presenti negli archivi dell'organizzazione.

d) **Misurazione accurata dell'esposizione**, effettuata secondo le normative vigenti, con l'obiettivo di quantificare oggettivamente il rischio e confrontarlo con i valori di riferimento previsti, al fine di valutarne l'effettiva significatività.

STUDIO DELLA POSSIBILITÀ DI ELIMINARE O RIDURRE IL RISCHIO

La riduzione delle emissioni elettromagnetiche negli ambienti di lavoro dipende da diversi fattori, tra cui la frequenza e le caratteristiche dell'onda, il tipo di sorgente (es. macchinari industriali, elettrodomesti, antenne) e il contesto in cui avviene l'esposizione.

La schermatura dei campi elettrici, magnetici o elettromagnetici rappresenta una soluzione efficace in due principali ambiti:

1. **Tutela dei lavoratori**, per limitare l'esposizione nelle aree vicine a sorgenti di emissione;
2. **Compatibilità elettromagnetica**, per evitare che le emissioni interferiscano con altri dispositivi o si sommino amplificandosi.

I **campi elettrici** sono facilmente attenuati anche da materiali non conduttivi, come pareti o edifici. I **campi magnetici**, invece, penetrano facilmente attraverso gli ostacoli e risultano più difficili da schermare.

La possibilità di intervenire con schermature dipende dalla natura della sorgente:

- **Emissioni intenzionali** (es. trasmettitori radio, radar): non si può schermare la sorgente senza comprometterne il funzionamento. In questi casi si cerca di schermare l'ambiente da proteggere.
- **Emissioni accidentali** (es. elettrodomestici, computer, macchinari industriali): è possibile schermare direttamente la sorgente, usando materiali conduttivi, come pannelli metallici.

Per i **campi a bassa frequenza** (es. 50 Hz), sono necessari materiali ferromagnetici spessi (es. acciaio), mentre per i **campi ad alta frequenza** (es. radiofrequenze come 900 MHz), bastano sottili schermature metalliche. Esistono anche soluzioni leggere, come tessuti conduttivi arricchiti con grafite o filamenti metallici, utili per applicazioni pratiche a basso costo.

SORGENTI GIUSTIFICABILI

Come Riportato nelle Indicazioni Operative sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro, redatto dal Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, revisione 03 del 13/02/2014, si definisce una situazione "giustificabile" una condizione che può avvalersi di questa più semplice modalità di valutazione del rischio, nella quale la condizione espositiva non comporta apprezzabili rischi per la salute. Definiamo, pertanto, situazione "giustificabile" (art.181 c.3 D.lgs.81/08) la condizione prevista dalla normativa generale sugli agenti fisici secondo cui il datore di lavoro può eseguire una valutazione del rischio semplificata quando ritiene che la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata. Per poter definire una esposizione lavorativa giustificabile occorre che non vi siano rischi sia per gli effetti diretti che per gli effetti indiretti, sia per i lavoratori esposti per ragioni professionali sia per i lavoratori che si configurano come "popolazione". Ai fini di questa definizione si reputano in primo luogo non comportare rischi per la salute, le esposizioni inferiori ai livelli di riferimento per la popolazione, di cui alla

raccomandazione europea 1999/519/CE. In linea con questa definizione sono condizioni espositive giustificabili quelle elencate nella tabella 4.1 (che di seguito si riporta), elaborate a partire dalla norma CENELEC EN 50499 recepita dal CEI a novembre 2009. In questi casi la giustificazione è adottabile indipendentemente dal numero di attrezzature di lavoro in uso.

Tabella 4.1 – Attrezzature e situazioni giustificabili. Lista non esaustiva

Tipo di attrezzatura/situazione	Note
Tutte le attività che si svolgono unicamente in ambienti privi di impianti e apparecchiature elettriche e di magneti permanenti	
Luoghi di lavoro interessati dalle emissioni di sorgenti CEM autorizzate ai sensi della normativa nazionale per la protezione della popolazione, con esclusione delle operazioni di manutenzione o altre attività svolte a ridosso o sulle sorgenti	Il datore di lavoro deve verificare se è in possesso di autorizzazione ex legge 36/2001 e relativi decreti attuativi ovvero richiedere all'ente gestore una dichiarazione del rispetto della legislazione nazionale in materia.
Uso di apparecchiature a bassa potenza (così come definite dalla norma CEI EN 62479) con emissione di frequenza 10 MHz – 300 GHz	Non sono comprese le attività di manutenzione
Uso di attrezzature marcate CE, valutate secondo gli standard armonizzati per la protezione dai CEM. Lista soggetta a frequenti aggiornamenti: • CEI EN 50360: telefoni cellulari; • CEI EN 50364: sistemi di allarme antitaccheggio; • CEI EN 62233: elettrodomestici;	Le attrezzature devono essere installate ed utilizzate secondo le indicazioni del costruttore. Non sono comprese le attività di manutenzione. Il datore di lavoro deve verificare sul libretto di uso e

• CEI EN 62479: norma generica per gli apparecchi elettrici ed elettronici di bassa potenza; • CEI EN 50385: stazioni radio base e stazioni terminali fisse per sistemi di telecomunicazione senza fili; • CEI EN 50401: apparecchiature fisse per trasmissione radio (110 MHz – 40 GHz) destinate a reti di telecomunicazione senza fili; • CEI EN 60335-2-25: forni a microonde e forni combinati per uso domestico e similare;	manutenzione che l'attrezzatura sia dichiarata conformemente al pertinente standard di prodotto.
• CEI EN 60335-2-90: forni a microonde per uso collettivo (uso domestico e similare)	
Attrezzature presenti sul mercato europeo conformi alla raccomandazione 1999/519/CE e non richiedono marcatura CE essendo per esempio parte di un impianto	
Apparati luminosi (lampade)	Escluso specifiche lampade attivate RF
Computer e attrezzature informatiche	
Attrezzature d'ufficio	I cancellatori di nastri possono richiedere ulteriori valutazioni
Cellulari e cordless	
Radio rice-trasmittenti	Solo quelle con potenze inferiori a 20 mW
Basi per telefoni DECT e reti Wlan	Limitatamente alle apparecchiature per il pubblico

Apparati di comunicazione non wireless e reti	
Utensili elettrici manuali e portatili	es: conformi alle CEI EN 60745-1 e CEI EN 61029-1 inerenti la sicurezza degli utensili a motore trasportabili
Attrezzature manuali per riscaldamento (escluso il riscaldamento a induzione e dielettrico)	es: conformi alla CEI EN 60335-2-45 (es. pistole per colla a caldo)
Carica batterie	Inclusi quelli ad uso domestico e destinati a garage, piccole industrie e aziende agricole (CEI EN 60335- 2-29)
Attrezzature elettriche per il giardinaggio	
Apparecchiature audio e video	Alcuni particolari modelli che fanno uso di trasmettitori radio nelle trasmissioni radio/TV necessitano di ulteriori valutazioni
Apparecchiature portatili a batteria esclusi i trasmettitori a radiofrequenza	
Stufe elettriche per gli ambienti	esclusi i riscaldatori a microonde
Reti di distribuzione dell'energia elettrica a 50Hz nei luoghi di lavoro: campo elettrico e magnetico devono essere considerati separatamente.	I criteri qui riportati per dimostrare la conformità ai limiti di esposizione nel luogo di lavoro sono basati sulla
Per esposizione al campo magnetico sono conformi: - Ogni installazione elettrica con una intensità di corrente di	dimostrazione che le esposizioni sono inferiori ai limiti minimi della Raccomandazione CE (1999)

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,...) - 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 luoghi di lavoro interni.	sulle esposizioni EMF per la popolazione. Tali criteri sono sufficienti a dimostrare la conformità della maggior parte dei luoghi di lavoro. I criteri di valutazione basati direttamente sui limiti di esposizione della Direttiva 2004/40/CE per il luogo di lavoro, sono indicati nell'Allegato F della norma CEI EN 50499. Essi utilizzano 500 A al posto di 100 A, 200 kV invece di 100 kV e 250 kV invece di 125 kV. La lista di controllo indicata in F.2.4 della norma CEI EN 50499 può quindi essere utilizzata per dimostrare la conformità ai campi magnetici e quella in F.3.1 della norma CEI EN 50499 per la conformità ai campi elettrici in qualsiasi luogo di lavoro.
Strumentazione e apparecchi di misura e controllo	
Elettrodomestici	Sono inclusi in questa tabella 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.

Computer e attrezzature informatiche con trasmissione wireless	es: Wlan (Wi-Fi), Bluetooth e tecnologie simili, limitatamente all'uso pubblico.
Trasmettitori a batteria	Limitatamente alla apparecchiature per il pubblico
Antenne di stazioni base	Ulteriori valutazioni sono necessarie solo se i lavoratori possono essere più vicini all'antenna rispetto alle distanze di sicurezza stabilite per l'esposizione al pubblico.
Apparecchiature elettromedicali non per applicazioni con campi elettromagnetici e di corrente	

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.

Se le situazioni espositive non rientrano tra le condizioni di esposizione "giustificabili" sarà necessario ricorrere ad una valutazione del rischio più dettagliata.

OBIETTIVI DELLA TESI

L'obiettivo principale di questa tesi è quello di analizzare e valutare i rischi derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici (CEM) in ambienti lavorativi industriali, con particolare riferimento al settore cartario. I CEM rappresentano un agente fisico non trascurabile, inserito tra i rischi igienico-ambientali previsti dalla normativa sulla salute e sicurezza nei luoghi di lavoro. Nonostante gli effetti acuti sull'organismo siano ben noti e regolamentati, la valutazione concreta dell'esposizione in ambienti produttivi rimane un tema spesso sottovalutato o affrontato in modo non sistematico.

La tesi si propone di verificare l'effettivo livello di esposizione dei lavoratori attraverso un'indagine tecnico-strumentale, applicando le metodologie previste dalle norme CEI per la misurazione dei campi elettrici e magnetici, sia a bassa che ad alta frequenza. Il lavoro è stato condotto in due impianti industriali operanti nel medesimo settore, al fine di confrontare situazioni operative simili ma in contesti strutturali e organizzativi differenti, e valutare l'efficacia delle misure di prevenzione e protezione adottate.

Tra gli obiettivi specifici si evidenziano:

- la mappatura delle sorgenti di emissione presenti nei reparti produttivi e nei locali tecnici;
- la misurazione strumentale dei livelli di campo elettromagnetico nei pressi delle postazioni di lavoro, secondo le norme tecniche CEI;
- la valutazione del rischio residuo in base ai valori limite di azione (VLA) e di esposizione (VLE) definiti dalla normativa vigente;
- l'analisi delle strategie di mitigazione, come la zonizzazione del rischio e l'adozione di misure organizzative e tecniche;
- l'elaborazione di conclusioni operative e raccomandazioni pratiche a supporto dei datori di lavoro e dei responsabili della sicurezza.

Attraverso un approccio integrato, questa tesi intende quindi fornire uno strumento utile per la gestione consapevole del rischio elettromagnetico, contribuendo alla promozione di ambienti di lavoro più sicuri e conformi alle normative di tutela della salute dei lavoratori.

MATERIALI E METODI

DATI GENERALI DELL'AZIENDA DOVE SONO STATE EFFETTUATE LE MISURAZIONI

La Cartiera di Monfalcone è operativa dal 16/09/1999, data di primo avviamento dell'impianto.

Nel maggio 2002 la cartiera è stata acquisita dalla SOFIDEL S.p.A. e nel novembre 2012 entra a far parte della Soffass S.p.A.

Nel giugno del 2011 il Gruppo SOFIDEL S.p.A. acquista il capannone attiguo alla Cartiera, di proprietà della Rotocart e ne stabilisce il reparto di trasformazione Cartotecnica, con due linee di trasformazione, linea "igienica" e linea "asciugatutto".

Il 1° giugno 2016 è avvenuta la fusione per incorporazione di Delicarta S.p.A. in Soffass S.p.A. A far data dal 1° giugno 2016 la nuova denominazione è diventata Soffass S.p.A Monfalcone.

DESCRIZIONE DEL CICLO PRODUTTIVO

Nel reparto cartiera viene prodotta carta *tissue* da pasta di cellulosa vergine, per uso igienico-sanitario. Il mercato è prevalentemente quello domestico.

Il dato di produzione annuo si aggira intorno alle 30.000 ton/anno di carta *tissue*; tale dato è da intendere ripartito tra diverse tipologie di carta, principalmente carta igienica e asciugatutto.

CICLO PRODUTTIVO DELLA CARTA *TISSUE*

REPARTO CARTIERA

- **Arrivo e stoccaggio cellulosa e prodotti accessori:** ricezione e immagazzinamento della cellulosa e degli altri materiali necessari.
- **Preparazione e raffinazione dell'impasto:** lavorazione della materia prima per creare l'impasto di base.

- **Formazione del foglio (Macchina Continua):** creazione del foglio di carta attraverso un processo industriale continuo.
- **Creazione della bobina:** avvolgimento del foglio di carta per formare una grande bobina madre.
- **Ribobinatura:** taglio della bobina madre in bobine più piccole, secondo le misure richieste.
- **Stoccaggio Prodotto Finito:** immagazzinamento delle bobine finite in attesa della consegna.
- **Spedizione Prodotto Finito:** invio del prodotto finale ai clienti.

REPARTO CONVERTING (TRASFORMAZIONE)

Trasferimento bobine di carta *tissue* dal magazzino materie prime al reparto produttivo mediante carrelli elevatori e successivamente posizionate in macchina tramite apparecchi di sollevamento.

- **Preparazione** anime di cartoncino (svolgitore a strisce – tubiera);
- **Svolgitura:** passaggio carta nel gruppo Ribobinatrice;
- **Ribobinatura** (avvolgimento della carta) goffratura, incollaggio, stampa e formazione delle steccate logs;

Il taglio trasversale dei logs è eseguito mediante una o più troncatrici a disco rotante.

- **Confezionamento:** sulle macchine i rotoli vengono contati, raggruppati e confezionati secondo il formato richiesto; tutte le operazioni di confezionamento e insaccamento sono di tipo meccanico automatizzato;
- I sacchi vengono poi inviati alle isole di pallettizzazione;
- Successivamente, tramite navette LGV (a guida laser), vengono trasferiti al fasciatore che forma la colonna di prodotto finito con film di polietilene estensibile.
- Il trasferimento dei pallets nel magazzino prodotto finito, ubicato al piano primo, viene effettuato con ausilio di rulliera di trasporto e ascensore, mentre il prodotto

destinato direttamente al carico, viene trasferito, con ausilio di rulliera in area pre-carico, ubicata al piano terra.

METODO DI MISURA DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO

MISURA DELL'ESPOSIZIONE UMANA

Le misurazioni effettuate in presenza di campi elettrici o magnetici pressoché uniformi possono essere considerate rappresentative dell'esposizione dell'intero corpo umano. Al contrario, quando si ha a che fare con campi non uniformi, l'interpretazione dei dati risulta più complessa, poiché la misura rilevata è indicativa solo per la parte del corpo che si trova esattamente nel punto di rilevazione.

La scelta del punto di misura dipende quindi dalla posizione della sorgente del campo e dalla posizione del soggetto esposto. A differenza dei campi magnetici, i campi elettrici vengono alterati dalla presenza del corpo umano. Per questo motivo, durante la misurazione è importante evitare l'influenza dell'operatore e di altre persone vicine, per non falsare i risultati.

Inoltre, è necessario evitare misurazioni nei pressi di oggetti appuntiti o sporgenze, dove il campo elettrico risulta perturbato e la misura non rappresenta fedelmente l'esposizione effettiva.

Per valutare in modo accurato l'esposizione umana in un'area specifica, è fondamentale rilevare sia le variazioni spaziali che quelle temporali del campo. È infine utile raccogliere informazioni sulle attività svolte abitualmente nella zona, per avere un quadro completo delle condizioni di esposizione.

CARATTERIZZAZIONE DELLE VARIAZIONI SPAZIALI

I punti di misura devono essere distribuiti in modo uniforme su tutta l'area da analizzare, e il loro numero deve essere proporzionato alla superficie oggetto di indagine. È importante evitare che la sonda passi vicino a superfici elettricamente cariche, come ad esempio indumenti in plastica, poiché queste possono causare variazioni del campo

elettrico. Allo stesso modo, la presenza di masse ferrose può alterare la misurazione del campo magnetico.

Di norma, i punti di misura situati a un'altezza compresa tra 1 e 1,5 metri dal suolo sono considerati rappresentativi per la valutazione dell'esposizione umana. Tuttavia, in situazioni particolari, come in presenza di campi non uniformi, è consigliabile effettuare misurazioni aggiuntive a quote corrispondenti alla posizione della testa e del torso di una persona, al fine di ottenere una valutazione più completa

CARATTERIZZAZIONE DELLE VARIAZIONI TEMPORALI

I campi elettrici, essendo legati principalmente alla tensione, tendono a rimanere pressoché costanti nel tempo. Tuttavia, possono subire variazioni dovute a effetti di schermatura causati dai materiali da costruzione, influenzati a loro volta dalle condizioni atmosferiche o dalla presenza di oggetti conduttivi in movimento nelle vicinanze.

Al contrario, i campi magnetici, generati da correnti elettriche che variano nel tempo, possono presentare fluttuazioni molto ampie. Per caratterizzare in modo completo le variazioni temporali di questi campi, è necessario effettuare registrazioni prolungate, in grado di coprire l'intero ciclo di funzionamento degli impianti o delle apparecchiature che li generano.

Poiché l'intensità del campo magnetico dipende dalle correnti di carico, che possono variare su base giornaliera, settimanale o secondo altri cicli operativi, diventa fondamentale individuare un intervallo temporale di misura sufficientemente rappresentativo da cogliere tali variazioni. A tal fine, può essere utile eseguire uno studio preliminare (studio pilota) mirato a definire in modo ottimale la durata del campionamento.

METODOLOGIA DI MISURA E CARATTERIZZAZIONE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI IN AMBIENTE INDUSTRIALE

Un campo elettromagnetico è una perturbazione dello spazio data dalla combinazione dei campi elettrico e magnetico variabili e mutuamente dipendenti. Quando le caratteristiche della sorgente variano nel tempo, essa produce campi elettrico e magnetico oscillanti e dipendenti l'uno dall'altro, tanto da essere considerati come un unico fenomeno elettromagnetico. Per radiazione elettromagnetica si intende la propagazione nello spazio dell'energia (energia elettromagnetica) associata ai campi elettrici e magnetici, variabili nel tempo, generati da cariche e correnti oscillanti, strettamente intercorrelati fra di loro. Le onde elettromagnetiche esistono anche in natura sotto forma di campi atmosferici (generati da temporali, fulmini,...), campi terrestri (generati dalla Terra stessa) e campi extraterrestri (generati dal Sole e dallo spazio profondo). La presente valutazione vuole andare a rilevare i campi elettromagnetici di origine antropica dovuti alla presenza di sorgenti all'interno dell'azienda, prestando particolare attenzione ad eventuali ulteriori sorgenti in prossimità dell'azienda ma dovute a cause esterne al ciclo di produzione (es: ripetitori per telefonia, elettrodotti,...)

In assenza di una specifica normativa che regoli la misura dei campi elettrici in ambiente di lavoro, sono state adottate le modalità consigliate dalle norme CEI 211-6 e 211-7, facenti un generico riferimento alla misura dei campi elettromagnetici in merito all'esposizione umana.

Come metodologia di misura per sorgenti di bassa frequenza è stato applicato quanto consigliato dalla normativa CEI 211-6 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici

nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana" e successivi aggiornamenti per la misura su sorgenti di bassa frequenza.

Come metodologia di misura su sorgenti ad alta frequenza è stato applicato quanto consigliato dalla normativa CEI 211-7 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana" e successivi aggiornamenti.

MODALITÀ DI INDAGINE

Durante l'esecuzione delle misure si è tenuto conto di possibili perturbazioni:

1. Campo elettrico. Il campo elettrico è facilmente perturbabile e quindi risente fortemente della presenza di persone; a tal fine le misure sono state effettuate, ove possibile, in assenza dell'operatore vicino alla sonda di misura impiegando un cavo a fibra ottica di collegamento a distanza tra sonda e strumento analizzatore o personal computer. Il sensore impiegato è del tipo Isotropo e quindi non risente dell'orientamento dello stesso rispetto al campo fornendo direttamente il valore efficace del campo elettrico misurato.
2. Campo Magnetico. Il campo magnetico non è così facilmente perturbabile come quello elettrico, però sono state adottate egualmente tutte le precauzioni prima citate (come distanza tra operatore e sonda, strumentazione e metodologia). Il sensore impiegato è del tipo Isotropo e quindi non risente dell'orientamento dello stesso rispetto al campo fornendo direttamente il valore efficace del campo magnetico misurato.

Le misure sono state effettuate con impostazioni dello strumento per la ricerca dei valori di campo elettromagnetico generati alle frequenze tipiche delle attrezzature rilevate. E' stata effettuata una prima ricerca delle frequenze a cui operano le sorgenti che causano delle emissioni di campo e, una volta individuate, è stata eseguita la misura.

Le misurazioni sono state effettuate ponendo il sensore isotropo nelle posizioni di rilievo indicate in nelle schede di misura, mantenendolo, tramite apposito supporto in legno, ad un'altezza di circa 1-1.5 m dal pavimento del locale in esame, come consigliato dalla Norma CEI 211-6 per "caratterizzazioni delle variazioni spaziali" (Cap. 13.2.3). In casi particolari, come in presenza di campi molto disuniformi (riscontrabili ad esempio nelle immediate vicinanze dalla sorgente), la medesima norma consiglia di effettuare misure aggiuntive ad altezze corrispondenti ai punti nello spazio occupati dalla testa e dal torso di una persona (da 1,1 a 1,9 m). In merito alla posizione di misura la Norma CEI 211-6 (Cap.13.2.2) enuncia "La scelta del luogo o dei luoghi di misura può variare in funzione della sorgente del campo e della posizione relativa del soggetto umano". Nella presente valutazione sono state misurate tutte le postazioni di lavoro con presenza saltuaria o continuativa di operatori (in assenza dell'operatore stesso) considerate meritevoli di indagine (poiché in prossimità di sorgenti).

Durante le indagini tecnico scientifiche sono stati misurati i valori (efficaci globali - rms\media quadratica) massimi riscontrati sulla lettura dello strumento per un certo periodo di osservazione in ogni posizione di misura.

Nell'esecuzione delle misure si è provveduto a misurare sia l'induzione magnetica (B) che il campo elettrico (E).

Per ciascun punto di campionamento sono state eseguiti i rilievi in frequenza di B ed E; tale rilievo ha lo scopo di individuare la distribuzione spettrale della forma d'onda e di identificare la frequenza di funzionamento dell'apparecchiatura.

I rilievi con modalità picco ponderato sono stati eseguiti per tutti i punti di campionamento.

Con il picco ponderato sono stati verificati i valori inferiori (LOW) e superiori (HIGH), se applicabile, definiti dal D.Lgs. 81/08, e i livelli di riferimento per la popolazione definiti dalla Raccomandazione 1999/519/CE (ICNIRP 1998).

STRUMENTAZIONE DI MISURA

Per le misurazioni e le analisi dei dati rilevati di cui alla presente relazione sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

Descrizione	Costruttore	Modello	Numero di serie	Data taratura
Narda	PMM	EHP50G	310WY80491	30/06/2023
Microrad – alta frequenza	Microrad	PROBE 01E	A14-F104	10/07/2023

ZONIZZAZIONE DEL RISCHIO

La zonizzazione del rischio è una procedura di gestione ed organizzazione dell'esposizione al rischio che un datore di lavoro può voler considerare per la definizione di aree diverse nei luoghi di lavoro.

Creare una zonizzazione del rischio può significare mettere in opera dei confini rigidi o rigorosi corrispondenti all'esatta posizione ove possano essere superati livelli diversi di esposizione. Possono anche corrispondere, per esempio, ad aree esistenti su un luogo di lavoro. Per esempio, un edificio o un'area specifica possono contenere apparecchiature che provocano esposizioni superiori ai livelli per la popolazione, anche se tali livelli non sono superati nella maggior parte dell'edificio o dell'area. Il datore di lavoro può scegliere, per motivi di convenienza, di limitare l'accesso all'intero edificio o all'area ad alcune persone (es., escludendo visitatori generici) o di consentire l'accesso fornendo informazioni sugli eventuali livelli di EMF. La definizione delle varie zone inclusa la loro presenza e l'ubicazione precisa dei loro confini è demandata alla decisione del datore di lavoro. Anche le (eventuali) azioni da intraprendere ai confini della zona sono demandate al datore di lavoro.

ZONIZZAZIONE ITALIANA DEI LUOGHI DI LAVORO

La suddivisione in zone dei luoghi di lavoro proposta nella Norma CEI 106-45 deriva dalla procedura organizzativa descritta nell'Allegato E della Norma EN 50499:2019, con alcune integrazioni per tenere conto delle specifiche disposizioni della normativa italiana. Le zone sono definite sulla base dei risultati della valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro, con l'obiettivo sia di evitare esposizioni indebite sia di ridurre il rischio. Le zone non sono intese come aree definite da confini rigidi o rigidi, corrispondenti all'esatta superficie in cui i diversi livelli di esposizione possono essere superata.

Per comodità, le zone possono corrispondere ad aree esistenti sul luogo di lavoro, come parti specifiche di un edificio o un ambiente che contiene apparecchiature che possono causare un'esposizione superiore ai limiti per il pubblico. Le zone sono definite nella norma CEI 106-45.²⁰

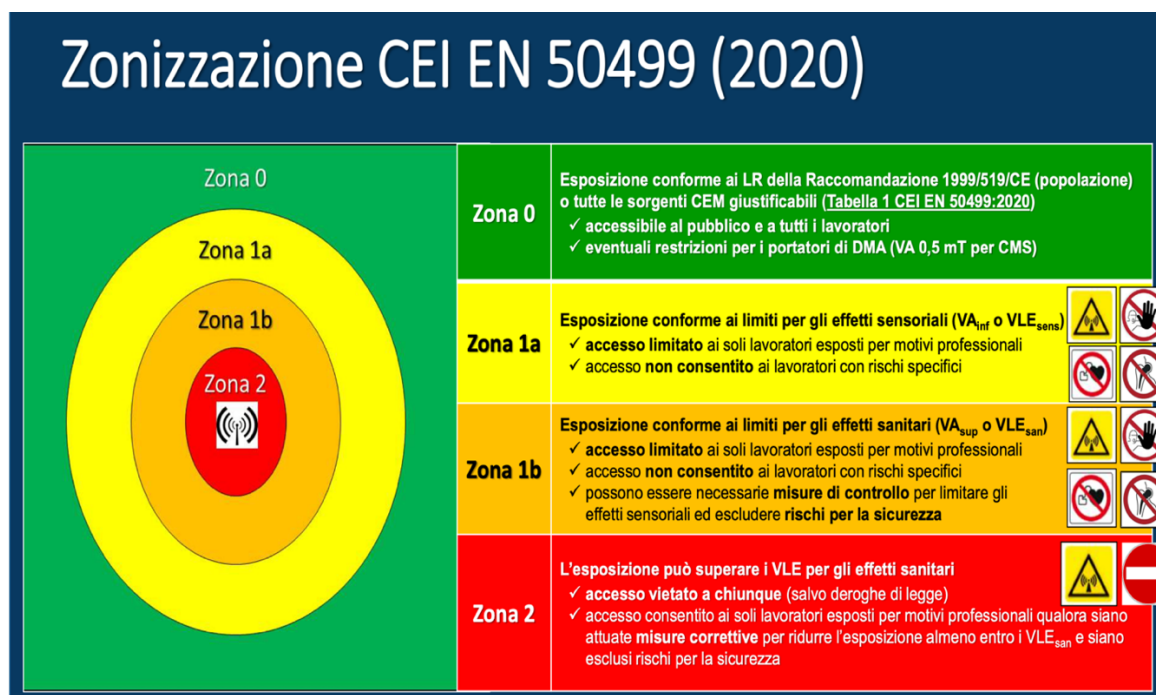


Figura 3 Rappresentazione grafica di zonizzazione ²¹

ATTENUAZIONE PRODOTTA DA DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

Non esistono al momento dispositivi di protezione individuali specifici per la diretta protezione dell'individuo di natura efficace. Per le sorgenti di piccole dimensioni, quali quelle utilizzate nell'ambiente industriale, è possibile in alcuni casi, costruire schermature di campo. Vanno realizzate, dove possibile, intorno alla sorgente, e risultano tanto più efficaci quanto più piccole sono le dimensioni, e buono il collegamento a terra a disposizione. In dipendenza di alcune situazioni, è poi possibile adottare accorgimenti o adattare utensili che aumentino la distanza tra l'individuo e la sorgente di emissione, riducendone conseguentemente l'esposizione mediante azioni e procedure comportamentali.

Misure organizzative quali limitazioni degli accessi, e l'uso di opportuna segnaletica acustica e visiva possono essere utili per evitare esposizioni indebite al personale non direttamente coinvolto nell'utilizzo degli apparati che generano campi elettromagnetici. Tali misure sono particolarmente importanti per la prevenzione degli effetti indiretti in portatori di pacemaker o altri dispositivi impiantati.

TEMPI DI ESPOSIZIONE

La stima della durata della permanenza dei lavoratori nelle varie postazioni considerate non viene considerata significativa in virtù del tipo di limite espresso dalle normative. Nella legislazione si evidenziano gli effetti a breve termine dell'esposizione a campi elettromagnetici. Per questa tipologia di agente fisico non vi è attualmente un'indicazione, sia a livello scientifico che normativo, in merito ad esposizioni giornaliere o settimanali. Gli effetti a breve termine (dovuti a campi elettromagnetici sia di alta che di bassa frequenza) fanno riferimento a tempi ben più brevi della giornata lavorativa. Si sono quindi unicamente individuate le postazioni in cui sia possibile un'esposizione anche basandosi sull'elenco delle attrezzature meritevoli di indagine fornito dall'ISPESL anche in virtù della normativa specifica per i luoghi di lavoro espressi dagli enti normatori CEI o CENELEC.

L'individuazione delle postazioni sottoposte ad indagine strumentale sono stati individuati dopo aver consultato i lavoratori interessati, e in base alle indicazioni fornite dal Responsabile del servizio di prevenzione e protezione, dai capi reparto e sulla base dell'esperienza in materia del tecnico valutatore.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO PRELIMINARE - ANALISI DELLE FONTI DI ESPOSIZIONE

Attraverso l'uso di chek-list si è proceduto al censimento ed alla verifica delle sorgenti di rischio non giustificabili dal punto di vista normativo. Per tutte le sorgenti non giustificabili si è proceduto alla analisi strumentale e spaziale andando ad indagare le metodologie di lavoro in prossimità delle installazioni oggetto di indagine.

Si riepilogano le macro classi di sorgenti indagate in via preliminare al fine dell'individuazione delle aree di potenziale rischio, ovvero quelle aree presso le quali si è andata ad eseguire l'indagine tecnico scientifica mediante campionamento strumentale (di seguito verrà riportato il dettaglio delle misure suddivise per aree produttive omogenee).

SORGENTE DA MISURARE: impianti, macchinari e/o scenari di esposizione che richiedono ulteriori valutazioni

SORGENTE GIUSTIFICABILE: impianti, macchinari e/o attrezzature "giustificabili" ovvero sorgenti la cui esposizione al rischio specifico non può causare un danno alla popolazione lavorativa normodotata. Tutte le sorgenti così indicate, anche se presenti, non sono state oggetto di indagine strumentale.

In particolar modo i punti censiti, in quanto non giustificabili dal punto di vista dell'esposizione al rischio, mediante le liste di controllo e secondo quanto riportato in normativa vigente ed in letteratura sono:

ID	Reparto	Descrizione
1	CONVERTING	UFFICIO RESPONSABILE PRODUZIONE VICINO FINESTRE (3CV)
2	CONVERTING	UFFICIO RESPONSABILE PRODUZIONE FRONTE CENTRALINA ANTINCENDIO (5CV)
3	CONVERTING	UFFICIO MANUTENZIONE (7CV)
4	CONVERTING	LABORATORIO CONTROLLO QUALITA' (6CV)
5	CONVERTING	POSTAZIONE TUBIERE SOTTO BLINDOSBARRA (10CV)
6	CONVERTING	POSTAZIONE CONFEZIONATRICE SOTTO BLINDOSBARRA (11CV)
7	CONVERTING	AREA DI RICARICA CARRELLI ELEVATORI (9Cv)
8	CONVERTING	AREA DI RICARICA CARRELLI ELEVATORI (9Cv)
9	CONVERTING	CABINA ELETTRICA DI FRONTE TRAF01 E 2 (1CV)
10	CONVERTING	QUADRO RIFASAMENTO (2CV)
11	IMPIANTO DI COGENERAZIONE	PASSAGGIO CAVI CABINA (1COG)
12	STABILIMENTO	CABINA 20000V ARRIVO ENEL
13	CARTIERA	CABINA ELETTRICA FRONTE SEZIONATORE MT (1CA)
14	CARTIERA	CABINA ELETTRICA ARRIVO TRASFORMAZIONE BT (2CA)
15	CARTIERA	CABINA ELETTRICA QUADRO DI PARTENZA MACCHINA 754 (3CA)
16	CARTIERA	CABINA ELETTRICA DI RIFASAMENTO TRAF01 E 2 (5CA)
17	CARTIERA	INTERRUTTORE BASSA TENSIONE TRAF02
18	CARTIERA	SALA DCS QUADRO AZIONAMENTO SCOMPARTO MISURE (6CA)
19	CARTIERA	MOTORE PRESSA 315KW 400V FRONTE MOTORE (7CA)
20	CARTIERA	MOTORE PRESSA 315KW 400V FRONTE SCATOLA ALIMENTAZIONE (7CA)
21	CARTIERA	MOTORE MONOLUCIDO N 1 2x315KW 400V (8CA)

22	CARTIERA	MOTORE MONOLUCIDO N 2 2x315KW 400V (9CA)
23	CARTIERA	MOTORE VENTILATORE CAPP A UMIDA 315KW 400V (13CA)
24	CARTIERA	VENTILATORE COMBURENTE E PROCESSO CAPP A SECCA
25	CARTIERA	FAN PUMP 2 360KW 400V (11CA)
26	CARTIERA	FAN PUMP 1 630KW 400V (10CA)
27	CARTIERA	MOTORE RAFFINATORE 754 400KW 400V (12CA)
28	CARTIERA	MOTORE PULPER CONVERTING
29	OFF. CARTIERA	SCALDACUSCINETTI
30	OFF. CARTIERA	SALDATRICE AD ELETTRODO
31	CARTIERA	CAVO RADIANTE
32	CARTIERA	AREA DI RICARICA CARRELLI ELEVATORI (14CA)
33	MAGAZZINO PRODOTTO FINITO	RICETRASMITTENTE MIDLAND G11 PRO
34	MAGAZZINO PRODOTTO FINITO	LETTORE CODICE A BARRE ZEBRA
35	MAGAZZINO PRODOTTO FINITO	SISTEMA ANTICOLLISIONE WIRELESS
36	MAGAZZINO PRODOTTO FINITO	WI-FI

RISULTATI

ESITO DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO MEDIANTE

CAMPIONAMENTO STRUMENTALE

La tabella seguente riepiloga l'esito della valutazione strumentale condotta presso i singoli reparti, le singole postazioni o aree omogenee di rischio precedentemente individuate.

Si riporta per confronto il valore limite di azione (VLA) in quanto secondo la normativa vigente è previsto che al superamento del VLA il SPP metta in atto delle azioni immediate per ridurre l'esposizione al di sotto di predetti limiti e/o valutare eventualmente il superamento dei valori limite di esposizione (VLE)

La colonna contenente i risultati di misura relativa ai campionamenti strumentali evidenzia mediante una scala cromatica, la classe di rischio residua. Tale classe di rischio identifica l'eventuale necessità di ulteriori indagini e/o misure di prevenzione e protezione della popolazione lavorativa esposta al rischio.

RIEPILOGO MISURE CAMPI ELETTROMAGNETICI DI BASSA FREQUENZA														
□	Reparto	Descrizione	Freq. Dom. [E]	E [V/m]	VA(E) ipersensibili [V/m]	VLA (E) inf [V/m]	VLA (E) sup [V/m]	Freq. Dom. [B]	B [μT]	VA(B) ipersensibili [μT]	VLA (B) inf [μT]	VLA (B) sup [μT]	Verifica VA ipersensibili [Campo Elettrico]	Verifica VA ipersensibili [Induzione Magnetica]
1	CONVERTING	UFFICIO RESPONSABILE PRODUZIONE VICINO FINESTRE (3CV)	50.02 Hz	2.41	4998	9996	19992	50.02 Hz	0.29	100	1000	5998	OK	OK
2	CONVERTING	UFFICIO RESPONSABILE PRODUZIONE FRONTE CENTRALINA ANTINCENDIO (5CV)	50.02 Hz	20.12	4998	9996	19992	50.02 Hz	0.30	100	1000	5998	OK	OK
3	CONVERTING	UFFICIO MANUTENZIONE (7CV)	50.02 Hz	5.66	4998	9996	19992	50.02 Hz	0.12	100	1000	5998	OK	OK
4	CONVERTING	LABORATORIO CONTROLLO QUALITA' (6CV)	50.02 Hz	1.60	4998	9996	19992	50.02 Hz	0.36	100	1000	5998	OK	OK
5	CONVERTING	POSTAZIONE TUBIERE SOTTO BLINDOSBARRA (10CV)	50.02 Hz	4.43	4998	9996	19992	50.02 Hz	0.04	100	1000	5998	OK	OK
6	CONVERTING	POSTAZIONE CONFEZIONATRICE SOTTO BLINDOSBARRA (11CV)	50.02 Hz	3.28	4998	9996	19992	50.02 Hz	0.48	100	1000	5998	OK	OK
7	CONVERTING	AREA DI RICARICA CARRELLI ELEVATORI (9CV)	50.02 Hz	30.42	4998	9996	19992	50.02 Hz	1.39	100	1000	5998	OK	OK
8	CONVERTING	AREA DI RICARICA CARRELLI ELEVATORI (9CV)	50.02 Hz	4.44	4998	9996	19992	50.02 Hz	0.12	100	1000	5998	OK	OK
9	CONVERTING	CABINA ELETTRICA DI FRONTE TRAF01 E 2 (1CV)	50.02 Hz	0.60	4998	9996	19992	50.02 Hz	13.02	100	1000	5998	OK	OK
10	CONVERTING	QUADRO RIFASAMENTO (2CV)	50.02 Hz	9.27	4998	9996	19992	50.02 Hz	5.70	100	1000	5998	OK	OK
11	IMPIANTO DI COGENERAZIONE	PASSAGGIO CAVI CABINA (1COG)	50.02 Hz	0.79	4998	9996	19992	50.02 Hz	0.56	100	1000	5998	OK	OK

RIEPILOGO MISURE CAMPI ELETTROMAGNETICI DI BASSA FREQUENZA														
Q	Reparto	Descrizione	Freq. Dom. [E]	E [V/m]	VA(E) ipersensibili [V/m]	VLA (E) inf [V/m]	VLA (E) sup [V/m]	Freq. Dom. [B]	B [μT]	VA(B) ipersensibili [μT]	VLA (B) inf [μT]	VLA (B) sup [μT]	Verifica VA Ipersensibili [Campo Elettrico]	Verifica VA Ipersensibili [Induzione Magnetica]
12	STABILIMENTO	CABINA 20000V ARRIVO ENEL	50.02 Hz	36.98	4998	9996	19992	50.02 Hz	10.12	100	1000	5998	OK	OK
13	CARTIERA	CABINA ELETTRICA FRONTE SEZIONATORE MT (1CA)	50.05 Hz	16.25	4995	9990	19980	50.02 Hz	12.03	100	1000	5998	OK	OK
14	CARTIERA	CABINA ELETTRICA ARRIVO TRASFORMAZIONE BT (2CA)	50.02 Hz	0.40	4998	9996	19992	50.02 Hz	11.88	100	1000	5998	OK	OK
15	CARTIERA	CABINA ELETTRICA QUADRO DI PARTENZA MACCHINA 754 (3CA)	50.02 Hz	76.31	4998	9996	19992	50.02 Hz	14.85	100	1000	5998	OK	OK
16	CARTIERA	CABINA ELETTRICA DI RIFASAMENTO TRAF01 E 2 (5CA)	50.02 Hz	5.12	4998	9996	19992	50.02 Hz	29.40	100	1000	5998	OK	OK
17	CARTIERA	INTERRUTTORE BASSA TENSIONE TRAF02	50.02 Hz	18.73	4998	9996	19992	50.02 Hz	67.43	100	1000	5998	OK	OK
18	CARTIERA	SALA DCS QUADRO AZIONAMENTO SCOMPARTO MISURE (6CA)	50.02 Hz	452.65	4998	9996	19992	50.02 Hz	45.67	100	1000	5998	OK	OK
19	CARTIERA	MOTORE PRESSA 315KW 400V FRONTE MOTORE (7CA)	45.14 Hz	15.63	5538	11077	20000	45.14 Hz	2.73	111	1000	6646	OK	OK
20	CARTIERA	MOTORE PRESSA 315KW 400V FRONTE SCATOLA ALIMENTAZIONE (7CA)	45.14 Hz	0.20	5538	11077	20000	45.14 Hz	1.30	111	1000	6646	OK	OK
21	CARTIERA	MOTORE MONOLUCIDO N 1 2x315KW 400V (8CA)	51.24 Hz	1.90	4879	9758	19516	51.24 Hz	1.88	98	1000	5855	OK	OK
22	CARTIERA	MOTORE MONOLUCIDO N 2 2x315KW 400V (9CA)	51.24 Hz	3.40	4879	9758	19516	50.02 Hz	126.36	100	1000	5998	OK	Attenzione

RIEPILOGO MISURE CAMPI ELETTROMAGNETICI DI BASSA FREQUENZA														
Q	Reparto	Descrizione	Freq. Dom. [E]	E [V/m]	VA(E) ipersensibili [V/m]	VLA (E) inf [V/m]	VLA (E) sup [V/m]	Freq. Dom. [B]	B [μT]	VA(B) ipersensibili [μT]	VLA (B) inf [μT]	VLA (B) sup [μT]	Verifica VA Ipersensibili [Campo Elettrico]	Verifica VA Ipersensibili [Induzione Magnetica]
23	CARTIERA	MOTORE VENTILATORE CAPPA UMIDA 315KW 400V (13CA)	50.02 Hz	0.55	4998	9996	19992	53.68 Hz	3.32	93	1000	5589	OK	OK
24	CARTIERA	VENTILATORE COMBURENTE E PROCESSO CAPPA SECCA	14.64 Hz	0.10	10000	20000	20000	47.58 Hz	4.88	105	1000	6305	OK	OK
25	CARTIERA	FAN PUMP 2 360KW 400V (11CA)	34.16 Hz	104.05	7319	14637	20000	34.16 Hz	13.99	146	1000	8782	OK	OK
26	CARTIERA	FAN PUMP 1 630KW 400V (10CA)	50.02 Hz	0.31	4998	9996	19992	34.16 Hz	12.48	146	1000	8782	OK	OK
27	CARTIERA	MOTORE RAFFINATORE 754 400KW 400V (12CA)	50.02 Hz	174.72	4998	9996	19992	50.02 Hz	119.14	100	1000	5998	OK	Attenzione
28	CARTIERA	MOTORE PULPER CONVERTING	50.02 Hz	0.40	4998	9996	19992	50.02 Hz	0.08	100	1000	5998	OK	OK
29	OFF. CARTIERA	SCALDACUSCINETTI	50.02 Hz	8.57	4998	9996	19992	50.02 Hz	347.49	100	1000	5998	OK	Attenzione
30	OFF. CARTIERA	SALDATRICE AD ELETTRODO	50.02 Hz	10.16	4998	9996	19992	100.04 Hz	0.55	50	1000	2999	OK	OK
31	CARTIERA	CAVO RADIANTE	14.64 Hz	0.10	10000	20000	20000	50.02 Hz	0.09	100	1000	5998	OK	OK
32	CARTIERA	AREA DI RICARICA CARRELLI ELEVATORI (14CA)	9.77 Hz	0.97	10000	20000	20000	50.05 Hz	0.08	100	1000	5994	OK	OK

LEGENDA RISCHIO RESIDUO

	GIUSTIFICABILE (Nessuna condizione di rischio potenziale)
	BASSO $VM < VLA$
	MEDIO $VLA < VM < 10^* VLA$
	ALTO $VM > 10^* VLA$

DEFINIZIONI RISCHIO RESIDUO

GIUSTIFICABILE

Nessun valore misurato in quanto la sorgente, presente nei luoghi di lavoro dell'azienda, risulta essere censita nelle liste di controllo e/o nelle check list e/o nella letteratura scientifica comprovata. Si ritiene pertanto non vi possa essere alcun effetto per la salute e sicurezza dei lavoratori esposti nemmeno se appartenenti alle categorie ipersensibili. Le sorgenti presenti in azienda di tipo giustificabile, sono elencate nel riepilogo sorgenti precedente.

BASSO

Il valore misurato sta al di sotto del valore limite di azione, il rischio si può ritenere quindi fonte potenziale di rischio esclusivamente per eventuali soggetti ipersensibili esposti.

MEDIO

Il valore misurato supera il valore limite di azione ma si mantiene al di sotto del valore per il quale la letteratura scientifica comprovata ha dimostrato un nesso causa – effetto in termini di esposizioni dosimetriche al rischio specifico, tale valore risulta essere circa 10 volte il VLA. Il rischio si può ritenere quindi fonte potenziale di rischio per tutti gli esposti ed in

particolar modo per i soggetti ipersensibili. Sono necessarie delle misure immediate di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori esposti al fine di ridurre l'esposizione a valori inferiori al valore limite di azione. Si consiglia l'intensificazione della sorveglianza sanitaria in accordo al SPP.

ALTO

Il valore misurato supera il valore per il quale la letteratura scientifica comprovata ha dimostrato un nesso causa – effetto in termini di esposizioni dosimetriche al rischio specifico, tale valore risulta essere circa 10 volte il VLA. Tale sorgente è certamente in grado di poter provocare danni a breve termine per tutti gli esposti al rischio. Sono da attuarsi immediate misure di prevenzione e protezione degli esposti ed in particolar modo va ristretto l'accesso ai soggetti ipersensibili. Risulta necessaria l'intensificazione della sorveglianza sanitaria in accordo al SPP.

RIEPILOGO MISURE CAMPI ELETTROMAGNETICI DI BASSA FREQUENZA

Questa sezione riepiloga i risultati delle misurazioni di campi elettromagnetici a bassa frequenza, confrontandoli con i valori limite di azione (VLA) per i lavoratori e i valori di azione (VA) specifici per i soggetti ipersensibili. I valori sono espressi in termini di campo elettrico (E in V/m) e induzione magnetica (B in μ T).

- **Valori Generali (OK):** La maggior parte dei punti di misura analizzati per le basse frequenze, che includono uffici, laboratori, postazioni di produzione, aree di ricarica carrelli elevatori, cabine elettriche e motori, ha mostrato valori di campo elettrico e induzione magnetica **inferiori ai limiti di azione sia per i lavoratori generici che per i lavoratori ipersensibili**. Questo è indicato dalla dicitura "OK" nella colonna "Verifica VA Ipersensibili [Campo Elettrico]" e "Verifica VA Ipersensibili [Induzione Magnetica]".

- **Punti che Richiedono Attenzione per Soggetti Ipersensibili:** Sono stati identificati tre punti di misura in cui i valori di induzione magnetica, sebbene generalmente inferiori ai limiti per i lavoratori non particolarmente a rischio, **superano i valori di azione specifici per i lavoratori ipersensibili** (considerati 100 μ T a 50 Hz, un limite rilevante per dispositivi come i pacemaker). Questi punti sono marcati con "Attenzione" nella colonna "Verifica VA Ipersensibili [Induzione Magnetica]":

◦ **22 - CARTIERA MOTORE MONOLUCIDO N 2 2x315KW 400V (9CA):** È stata rilevata un'induzione magnetica (B) di **126.36 μ T** ad una frequenza dominante di 50.02 Hz. Questo valore supera il VA(B) per ipersensibili di 100 μ T.

◦ **27 - CARTIERA MOTORE RAFFINATORE 754 400KW 400V (12CA):** La misurazione ha indicato un'induzione magnetica (B) di **119.14 μ T** ad una frequenza dominante di 50.02 Hz. Anche questo valore supera il VA(B) per ipersensibili di 100 μ T.

◦ **29 - OFF. CARTIERA SCALDACUSCINETTI:** Questo punto ha mostrato il valore di induzione magnetica più elevato tra quelli che richiedono attenzione per gli ipersensibili, con un B di **347.49 μ T** ad una frequenza dominante di 50.02 Hz. Questo valore è notevolmente superiore al VA(B) per ipersensibili di 100 μ T

ID	Reparto	Descrizione	E (V/m)	B (μ T)	Verifica VA Ipersensibili
1-21,23-26,28,30-32	Vari (Converting, Cartiera, etc.)	Uffici, Motori, Cabine Elettriche	<77	<68	OK
22	Cartiera	Motore Monolucido N2	3.40	126.36	Attenzione (B)
27	Cartiera	Motore Raffinatore 400KW	174.72	119.14	Attenzione (B)
29	Off. Cartiera	Scaldacuscinetti	8.57	347.49	Attenzione (B)

Per questi tre punti, sebbene il rischio non sia considerato "Alto" per la popolazione lavorativa generale (i valori sono comunque al di sotto del VLA (B) inferiore di 1000 μ T per lavoratori), **è essenziale implementare misure specifiche per proteggere i lavoratori ipersensibili**, come quelli portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA). Il piano aziendale di riduzione dell'esposizione prevede l'apposizione di segnaletica e l'istruzione di procedure per limitare l'accesso a tali sorgenti per i lavoratori o visitatori occasionali con ipersensibilità accertate.

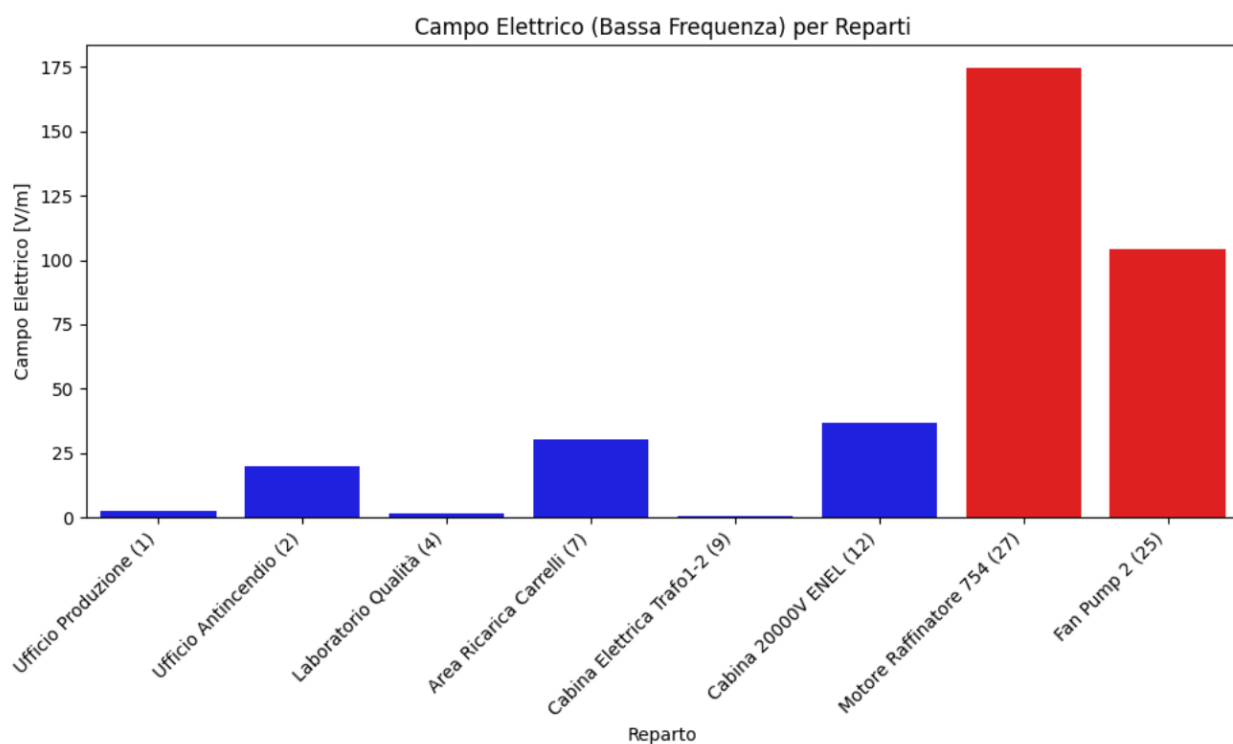
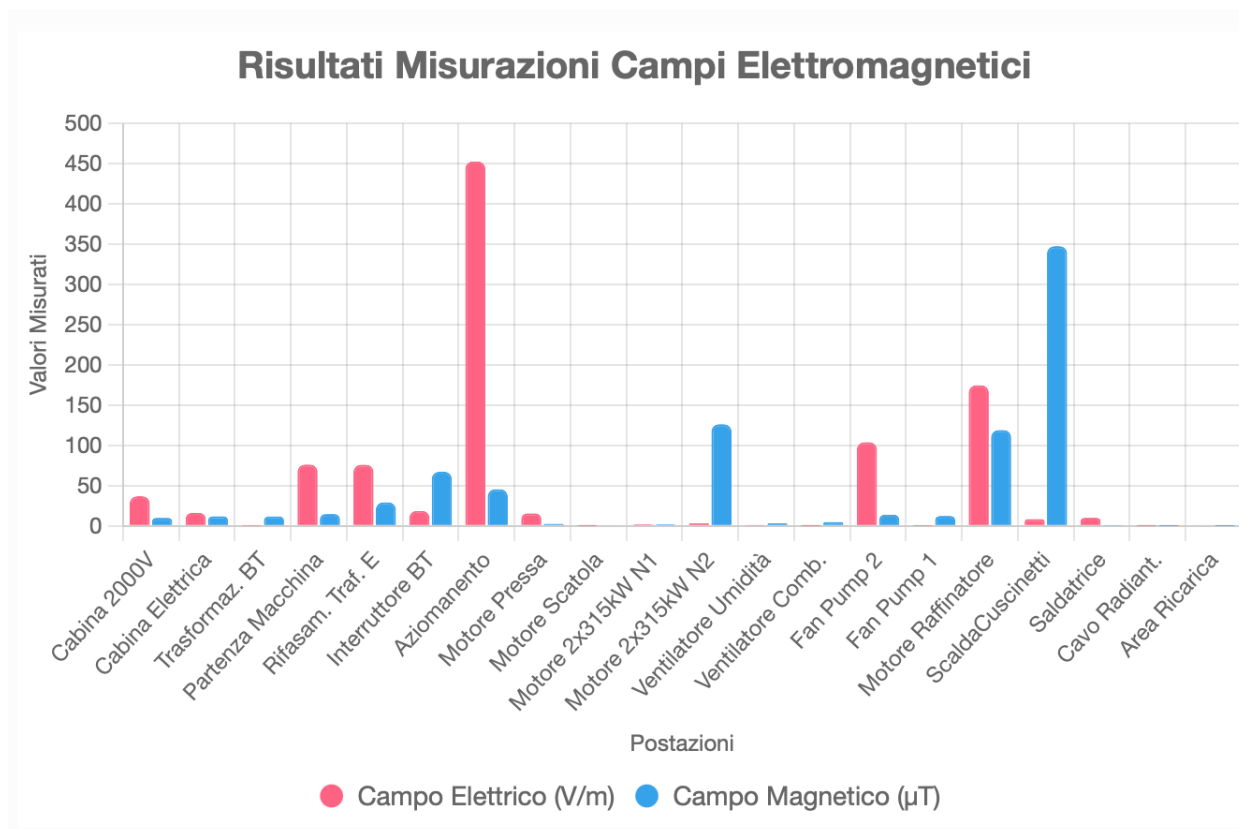


Figura 4 rappresentazione grafica dei punti CEM significativi

N. misur a	Descrizione punto misura	Sorgente	Induzione magnetica [μT]	Campo elettrico efficace [V/m]
01	Sottostazione 132/15 kV – trafo 1	Sottostazione	6,77	1233,7
02	Sottostazione quadro lettura 132 kV – arrivo trafo 1	Quadro elettrico	2,67	232,14
03	Ambientale uffici pesa	Terna	0,03	2,71
06	Esterno locale portineria Soffass sotto terna 132 kV	Terna	5,40	722,10
07	Quadro partenze 15 kV	Quadro elettrico	6,41	0,40
08	PCC Quadro generale PM1-PM2 – preparazione impasti	Quadro elettrico	7,49	0,35
09	PCC Quadro PM2 – preparazione impasti P.P	Quadro elettrico	9,22	1,23
10	PCC Quadro PM1 – preparazione impasti P.P	Quadro elettrico	8,90	2,36
11	Motore raffinatori PM1	Motore	10,29	20,09
12	Motore raffinatori PM3 – fibra lunga	Motore	3,55	23,50
13	Motore raffinatori PM3 – fibra corta	Motore	2,96	6,64
14	Quadro PCC – SH 303 PM3 piano primo	Quadro elettrico	17,41	1,63
15	Quadro arrivo linea rifasatore SH302 PM3 piano primo	Quadro elettrico	7,56	1,21
16	Quadro PCC PM1	Quadro elettrico	40,91	44,60
17	Quadro PCC PM2	Quadro elettrico	18,70	13,66
18	Motore Pope PM1 Brushless	Motore	1,40	3,80

19	Motore Pope PM3	Motore	2,40	0,10
20	Motore raffinatore PM2	Motore	8,95	1,27
21	Quadro PCC PM3 Ausiliari – SL 310 PT	Quadro elettrico	8,07	0,99
22	Quadro PCC PM3 Ausiliari – SL 307 PT	Quadro elettrico	14,50	5,20
23	Motore Pompa a vuoto Nash PM3 – 33F306	Motore	5,30	3,76
24	Cabina di controllo PM2 Quadri Pompe a vuoto Nash	Quadro elettrico	26,10	4,10
25	Trasformatore T307 PM3 2500 kVA	Trasformatore	7,49	0,76
26	Trasformatore T308 PM3 660V	Trasformatore	5,65	0,77
27	Riscaldatore ad induzione per cuscinetti piccolo	Riscaldatore ad induzione	31,13	1,13
28	Riscaldatore ad induzione per cuscinetti grande	Riscaldatore ad induzione	75,20	5,45
29	PM3 PCC SL 309 – 660 V	Quadro elettrico	16,32	16,18
N. misur a	Descrizione punto misura	Sorgente	Induzione magnetica [μT]	Campo elettrico efficace [V/m]
30	PM3 PCC SL 308 – 660 V	Quadro elettrico	14,26	3,55
31	Trasformatore T309 – 660 V	Trasformatore	6,52	0,88
32	Ambientale Sala CED ufficio reti e sistemi	Ambientale	3,82	11,95
34	Ambientale data center - batterie	Batterie	0,18	1,21
35	Ambientale data center - quadri	Quadri	0,56	6,87
37	Arrivo linea TG3	Arrivo linea	23,66	0,48

CONFRONTO CON UNA SECONDA CARTIERA CON SIMILI CARATTERISTICHE

A completamento della valutazione svolta, è stata inoltre condotta un'analoga indagine presso un **secondo impianto cartario**, al fine di confrontare i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici in contesti produttivi simili ma distinti per struttura, dimensioni e configurazione impiantistica.

I risultati ottenuti in questa seconda cartiera hanno confermato in larga parte quanto già emerso nella prima sede analizzata: la presenza di sorgenti localizzate ad alta emissione, in particolare presso cabine elettriche, trasformatori e aree di ricarica dei carrelli elevatori, e livelli di esposizione generalmente contenuti, al di sotto dei valori limite di azione previsti dalla normativa.

Questa coerenza nei dati rilevati evidenzia non solo l'efficacia delle misure di prevenzione già implementate, ma anche la ripetibilità e la validità del protocollo di indagine adottato. L'analisi comparativa tra i due siti consente di rafforzare le considerazioni emerse e di proporre linee guida condivise per la gestione del rischio CEM in ambienti produttivi con caratteristiche analoghe.

Nel prosieguo del capitolo saranno quindi presentati, oltre ai dati della prima cartiera, anche i risultati delle misurazioni effettuate nel secondo stabilimento, con un focus sulle eventuali differenze riscontrate e sulle implicazioni operative che ne derivano per la valutazione e la mitigazione del rischio da esposizione elettromagnetica.

RISULTATI DELLE MISURAZIONI

Le misurazioni coprono basse frequenze (50 Hz, tipiche di impianti elettrici) e alte frequenze (446 MHz-2.45 GHz, da dispositivi wireless). Tutti i punti sono classificati in Zona 0 (nessun superamento limiti popolazione).

- **Bassa Frequenza (Campo Magnetico - Induzione B in μT):**

- Valori misurati: Da 0,03 μT (uffici pesa) a 75,20 μT (riscaldatore ad induzione grande).
- Confronti: Tutti < VA D.Lgs. 81/2008 (500 μT); < LA inf./sup. Dir. UE (1000-6000 μT); < limiti popolazione (100 μT). Nessun rischio interferenza con dispositivi impiantati (<100 μT).
- Sorgenti principali: Quadri PCC (fino a 40,91 μT), riscaldatori ad induzione (31,13-75,20 μT), motori (fino a 10,29 μT).
- **Bassa Frequenza (Campo Elettrico E in V/m):**
 - Valori misurati: Da 0,10 V/m (motore Pope PM3) a 1233,7 V/m (sottostazione trafo 1).
 - Confronti: Tutti < VA D.Lgs. 81/2008 (10000 V/m); < LA inf./sup. Dir. UE (10000-20000 V/m); < limiti popolazione (5000 V/m).

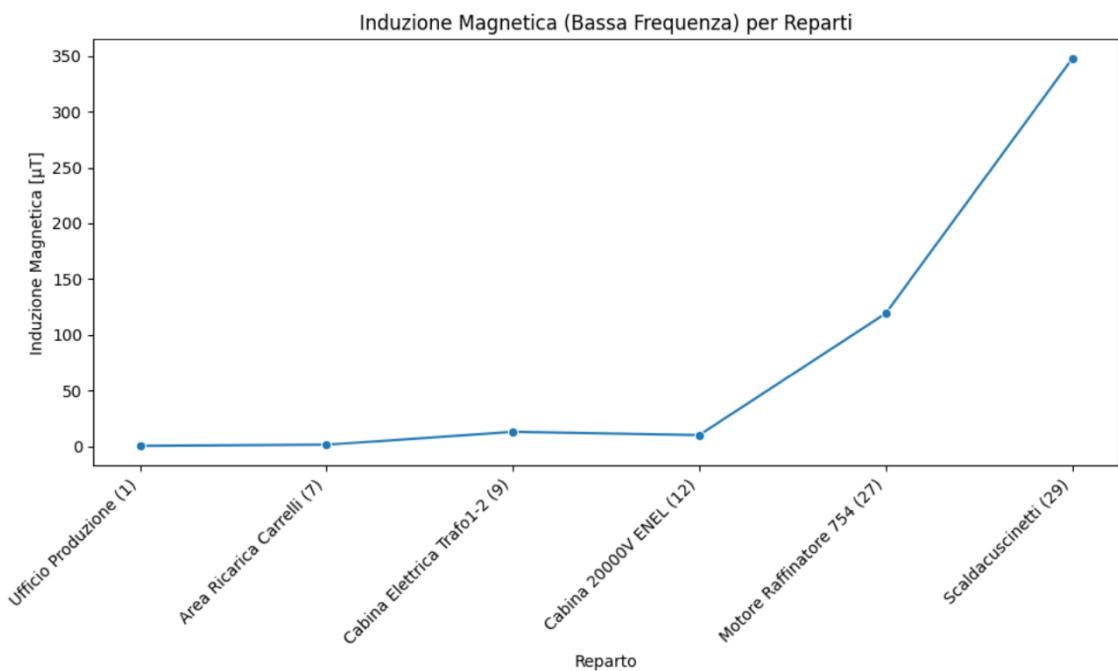


Figura 5 Grafico dell'induzione magnetica per reparto

CONCLUSIONI SUI RISULTATI

Dai dati emerge un quadro di conformità normativa complessiva, con esposizioni CEM contenute e non critiche:

- **Livello di Rischio Globale:** Basso/irrilevante. Nessun superamento di VA/VLE o limiti popolazione in alcun punto. Esclusa interferenza con dispositivi medici impiantati. Tutte le aree sono Zona 0, accessibili a chiunque (inclusi portatori di protesi, donne in gravidanza, minori) senza restrizioni aggiuntive.

- **PUNTI CRITICI IDENTIFICATI:**
 - Riscaldatori ad induzione: Valori magnetici più elevati (fino a 75,20 μ T), ma entro limiti. Raccomandata distanza >1,5 m durante l'uso.
 - Cabine Elettriche: Interdire accesso a portatori di dispositivi medici elettronici per precauzione.
 - Dispositivi Wireless (AME, WI-FI, Ricetrasmittenti): Esposizioni minime, anche in condizioni peggiorative (es. a bordo carrello elevatore per AME).

- **Misure di Prevenzione:** Non necessarie azioni aggiuntive oltre quelle esistenti (es. formazione, sorveglianza sanitaria). La valutazione conferma l'efficacia delle protezioni in atto. Aggiornamento consigliato ogni 4 anni o in caso di modifiche (nuovi macchinari, layout).
- **Implicazioni per la Salute:** Nessun rischio acuto (stimolazione nervosa o termica). Focus su effetti indiretti minimizzato dai bassi livelli.

DISCUSSIONE

L'indagine condotta ha permesso di affrontare in modo sistematico e concreto il tema dell'esposizione a campi elettromagnetici (CEM) in ambito industriale, con particolare riferimento a un contesto produttivo specifico: quello di una cartiera. La metodologia seguita si è basata sull'applicazione delle norme CEI 211-6 e CEI 211-7, che forniscono le linee guida per la misura e la valutazione dei campi elettrici e magnetici nei diversi intervalli di frequenza, con riferimento all'esposizione umana.

ANALISI DELLE SORGENTI E CONTESTO OPERATIVO

Il primo elemento significativo che emerge dall'analisi è la diffusa presenza di sorgenti di CEM all'interno dell'ambiente industriale analizzato, soprattutto in prossimità di cabine elettriche, trasformatori, motori ad alta potenza e sistemi di ricarica per carrelli elevatori. La diversificazione delle sorgenti (tra emissioni intenzionali e non intenzionali, a bassa e alta frequenza) rende necessaria una valutazione che tenga conto non solo dell'intensità dei campi, ma anche della posizione e della permanenza dei lavoratori nelle aree interessate.

Le misurazioni strumentali hanno mostrato valori di campo ampiamente al di sotto dei Valori Limite di Azione (VLA) previsti dalla normativa italiana (D.Lgs. 81/08, Titolo VIII, Capo IV).. Questo dato conferma l'assenza di rischio per effetti acuti o immediati sulla salute, che rappresentano il riferimento normativo principale per le esposizioni professionali. Si tratta infatti di effetti "a soglia" in quanto si verificano solo al di sopra di determinati livelli di esposizione e sono prevenuti rispettando i Valori Limite di Esposizione (VLE) fissati dal D.lgs. 81/08 Titolo VIII Capo IV e s.m.i. La norma però impone al Datore di Lavoro di prestare particolare attenzione ai "tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio; eventuali effetti sulla salute e la sicurezza dei lavoratori esposti a rischi particolari, con particolare riferimento a soggetti portatori di dispositivi medici impiantati, attivi o passivi, o dispositivi medici portati sul corpo e le lavoratrici in stato di gravidanza e qualsiasi effetto indiretto" (DLgs 81/2008; art. 209).

Gli effetti indiretti che la normativa intende prevenire sono i seguenti:

- interferenze con attrezzature e altri dispositivi medici elettronici;
- interferenze con attrezzature o dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA), ad esempio stimolatori cardiaci e defibrillatori;
- interferenze con dispositivi medici portati sul corpo, ad esempio pompe per l'infusione di farmaci; – interferenze con dispositivi impiantati passivi, ad esempio protesi articolari, chiodi, fili o piastre di metallo;
- effetti su schegge metalliche, tatuaggi, body piercing e body art;
- rischio di proiezione di oggetti ferromagnetici non fissi in un campo magnetico statico;
- innesco involontario di detonatori;
- innesco di incendi o esplosioni a causa di materiali infiammabili o esplosivi;
- scosse elettriche o ustioni dovute a correnti di contatto che si verificano quando, in presenza di un campo elettromagnetico, il corpo umano entra in contatto con un oggetto a diverso potenziale elettrico

LAVORATORI PARTICOLARMENTE SENSIBILI AL RISCHIO DA ESPOSIZIONE A CEM

Alcuni degli effetti indiretti possono insorgere a livelli di esposizione inferiori a quelli in grado di indurre gli effetti biofisici diretti e possono avere conseguenze anche gravi sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori. Il rispetto dei VA non garantisce infatti una adeguata protezione dei soggetti sensibili. Alcuni gruppi di **lavoratori** infatti sono da considerarsi **particolarmente sensibili al rischio da esposizione ai campi elettromagnetici**. Tali lavoratori sono in genere tutelati adeguatamente mediante il rispetto dei requisiti di protezione specificati per la popolazione generale.

I lavoratori portatori di protesi o altri dispositivi medici impiantati passivi, inclusi metallici (es. schegge, piercing etc.) devono essere considerati lavoratori particolarmente sensibili al rischio. Numerosi impianti medici possono essere metallici o

contenere parti metalliche: ad es. protesi articolari, protesi endoauricolari passive, chiodi, piastre, viti, clip chirurgiche, clip per aneurisma, stent, protesi valvolari cardiache, anelli per annuloplastica, impianti contraccettivi, otturazioni dentali etc. Se questi dispositivi contengono materiali ferromagnetici, questi possono subire torsioni e/o spostamenti in presenza di campo magnetico statico. Il rischio dipende dalla **composizione**, dalla **frequenza e intensità del campo**, e dalle **dimensioni dell'impianto**. Le linee guida ICNIRP (2009) raccomandano un limite di **0,5 mT** per proteggere i portatori, mentre il D.lgs. 81/08 fissa un **valore d'attenzione di 3 mT** per rischi di attrazione. Le stesse considerazioni si possono estendere anche al caso di portatori di inclusi metallici o contenenti parti metalliche, quali ad esempio schegge metalliche e piercing.

I lavoratori portatori di DMIA (Dispositivi Medici Impiantabili Attivi) devono essere considerati lavoratori particolarmente sensibili al rischio. Tra questi ricordiamo: stimolatori cardiaci, defibrillatori, impianti cocleari, impianti al tronco encefalico, protesi dell'orecchio interno, neurostimolatori, pompe per l'infusione di farmaci, codificatori della retina. Dal 1995 i DMIA devono rispettare norme europee che ne garantiscano la sicurezza, anche rispetto ai **campi elettromagnetici**. La direttiva 2007/47/CE richiede che i dispositivi siano progettati per ridurre i rischi ambientali prevedibili, tra cui quelli da campi magnetici. Le norme tecniche armonizzate (EN 45502 e EN 50527) stabiliscono i criteri di **immunità elettromagnetica**, assumendo esposizioni simili a quelle dell'ambiente normale. Tuttavia, in ambito lavorativo possono essere necessarie **valutazioni specifiche**. A supporto dei datori di lavoro la norma il CENELEC ha sviluppato delle norme (EN 50527-1, EN50527-2-1 e EN50527- 2-2) che definiscono una metodologia generale per effettuare la valutazione del rischio di soggetti portatori di uno o più DMIA.

L'assunto di base è che i dispositivi medici funzionino correttamente, qualora non siano superati i livelli di esposizione stabiliti per la popolazione generale dalla Raccomandazione 1999/519/CE, quando impiantati e programmati conformemente alle buone pratiche mediche. Per i campi magnetici statici o quasi statici (fino a qualche Hz) si consiglia di non superare il livello di 1 mT se non per esposizioni di breve durata. Si

precisa tuttavia che il D.lgs. 81/08 stabilisce il VA di 0,5 mT al fine di prevenire interferenze con dispositivi impiantabili attivi.

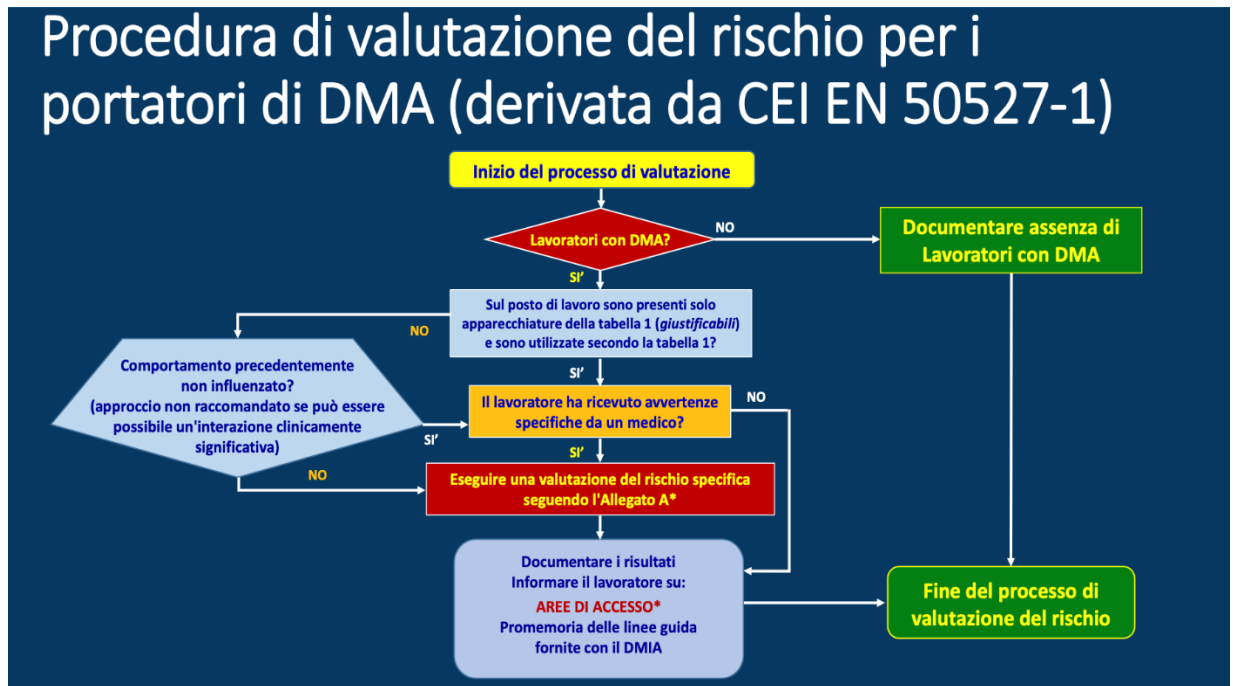


Figura 6 Diagramma di flusso rischio CEM-DMA ²²

I lavoratori portatori di dispositivi medici portati sul corpo rientrano tra i soggetti particolarmente sensibili all'esposizione a CEM; ad esempio: le pompe per infusione di farmaci/ormoni (rientrano nel campo di applicazione della direttiva concernente i dispositivi medici). I dispositivi medici indossabili si stanno diffondendo molto velocemente nella popolazione anche in età lavorativa: es. microinfusori di insulina, i misuratori di glicemia e gli apparecchi acustici. In futuro si prevede una diffusione degli esoscheletri e delle protesi indossabili attive. Nel caso di un lavoratore portatore di dispositivo indossabile è importante stabilire in quale ambiente elettromagnetico lavora ed eventualmente fare un'analisi caso per caso (eventualmente anche consultando il manuale d'uso) (da La compatibilità elettromagnetica dei dispositivi medici indossabili Federica Censi)

Gravidanza: la normativa di riferimento per la tutela della lavoratrice madre (D.lgs. 26.03.2001 n. 151 e smi "Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di tutela e sostegno della maternità e della paternità") prevede, nelle aziende in cui sono impiegate

donne in età fertile, che il datore di lavoro con la collaborazione del Servizio di prevenzione e protezione e del medico competente, informi le lavoratrici e i rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza, sui rischi per la gravidanza, puerperio e allattamento presenti nell'ambiente di lavoro e individui le mansioni non pregiudizievoli per la salute della donna e del nascituro, modificando se possibile condizioni e orario di lavoro. In tale contesto è da considerare che la donna in gravidanza rientra tra i soggetti che, per loro particolari condizioni fisiologiche e per la presenza del feto/embrione, possono essere particolarmente sensibili ai rischi connessi agli effetti diretti dei campi elettromagnetici.²³

Ove, in particolari situazioni lavorative, non sia possibile mantenere l'esposizione al di sotto dei limiti di esposizione per la popolazione, il cui rispetto non deriva comunque da alcun obbligo normativo, e fermo restando il pieno rispetto dei limiti per i lavoratori previsti dall'art. 208, l'idoneità della lavoratrice in stato di gravidanza e degli altri soggetti particolarmente sensibili, e le eventuali specifiche misure di protezione, dovrebbero essere valutate su base individuale (art. 210, comma 3) caso per caso dal medico competente e dall'RSPP.

ZONIZZAZIONE: in generale i lavoratori particolarmente sensibili sono adeguatamente tutelati se sono rispettati i requisiti di protezione stabiliti per la popolazione generale. Per tale motivo le aree di superamento dei livelli di riferimento per la popolazione generale devono essere delimitate e segnalate.

FORMAZIONE E INFORMAZIONE

La formazione viene attivata per quei lavoratori che possono risultare esposti a livelli superiori a quelli previsti per il pubblico e in relazione all'utilizzo di attrezzature potenzialmente in grado di produrre interferenze elettromagnetiche su dispositivi medici impiantati. In base all'esito della valutazione del rischio, verrà prevista la formazione e informazione dei soggetti esposti. Sarà importante avvertire i lavoratori o i loro rappresentanti che alcuni lavoratori potrebbero essere particolarmente a rischio. Qualsiasi lavoratore che rientri in uno dei gruppi «a rischio» riconosciuti sarà così

consapevole della necessità di comunicarlo ai dirigenti, per attivare - se necessario - un processo di valutazione “specifico” del rischio. Tale informazione è indispensabile anche per rendere consapevoli tutti i lavoratori che, qualora nel corso degli anni intervenga un possibile cambiamento nella situazione individuale che li faccia rientrare nella categoria di “soggetto particolarmente sensibile al rischio CEM” (ad esempio gravidanza; pacemaker; protesi etc.) devono darne tempestiva comunicazione coinvolgendo il Medico Competente.

MEDICO COMPETENTE E SORVEGLIANZA SANITARIA

L’art. 211 del D.lgs 81/08 e s.m.i., stabilisce che: “La sorveglianza sanitaria viene effettuata periodicamente, di norma una volta all’anno o con periodicità inferiore decisa dal medico competente, con particolare riguardo ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio di cui all’art. 183, tenuto conto dei risultati della valutazione dei rischi trasmessi dal datore di lavoro” e che: “Nel caso in cui un lavoratore segnali effetti indesiderati o inattesi sulla salute, ivi compresi effetti sensoriali, il datore di lavoro garantisce, in conformità all’art. 41, che siano forniti al lavoratore o ai lavoratori interessati un controllo medico e, se necessario, una sorveglianza sanitaria appropriati. Il controllo di cui al presente comma è garantito anche nei casi in cui sia stata rilevata un’esposizione superiore ai VLE per gli effetti sensoriali oppure un’esposizione superiore ai VLE per gli effetti sanitari”. Pertanto, la sorveglianza sanitaria, dovrà essere attuata quando il lavoratore riferisca effetti indesiderati o inattesi sulla salute e quando siano superati i VLE per effetti sensoriali o per effetti sanitari. Pertanto qualora vi sia la possibilità di superare sistematicamente i VA/VLE per gli effetti sensoriali e i VLE per gli effetti sanitari, sarà necessario attivare un opportuno programma di sorveglianza sanitaria. Per quanto riguarda invece i lavoratori particolarmente sensibili al rischio e, in particolare, i portatori di DMIA, che possono essere oggetto di interferenza elettromagnetica potenzialmente pericolosa per livelli di esposizione superiori ai limiti previsti per la popolazione e a volte anche per esposizioni inferiori a tali limiti (es. campi magnetici statici), è tuttavia opportuno, al superamento dei livelli di riferimento per la popolazione generale è

consigliabile effettuare, a prescindere da considerazioni sui livelli espositivi, una ricognizione finalizzata ad accertare la presenza di lavoratori portatori di DMIA, che saranno destinatari di un'attività di informazione e formazione specifica. Tale ricognizione può essere condotta ad esempio attraverso somministrazione di un questionario specifico gestito dal Medico Competente. L'unica figura professionale abilitata a valutare lo stato di salute dei lavoratori infatti è quella del Medico Competente.

SORVEGLIANZA SANITARIA

Secondo la normativa italiana, la sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti per motivi professionali ai campi elettromagnetici (CEM) è effettuata periodicamente, di solito con cadenza annuale o comunque a intervalli di tempo inferiori, sulla base della decisione del medico competente, ai sensi dell'Articolo 211, comma 1, del Decreto Legislativo 81/2008 e s.m.i.²⁴. Inoltre, ai sensi dell'Articolo 211, comma 2, è previsto l'accertamento sanitario per i lavoratori che segnalino effetti indesiderati o inattesi sulla salute, compresi gli effetti sensoriali, con l'attivazione della sorveglianza sanitaria ritenuta opportuna dal medico competente. L'accertamento sanitario previsto da questo comma è inoltre garantito qualora venga rilevata un'esposizione superiore ai valori limite di esposizione (VLE) per effetti sensoriali o ai VLE per effetti sulla salute.

Un autorevole riferimento a livello nazionale è rappresentato anche dalle *Linee guida per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a campi elettromagnetici*, emanate dall'Associazione Italiana di Radioprotezione Medica (AIRM) nel 2012 e aggiornate nel 2021 con una revisione aggiornata della letteratura scientifica e medica²⁵. Esse illustrano i protocolli di sorveglianza sanitaria raccomandati ai medici competenti coinvolti nella valutazione del rischio da CEM nei luoghi di lavoro.²⁰

VALUTAZIONE DEL RISCHIO E ASPETTI NORMATIVI

Dal punto di vista normativo, la valutazione del rischio CEM non si limita alla verifica del superamento dei limiti, ma richiede un'analisi complessiva delle sorgenti, dei percorsi espositivi, delle condizioni operative e delle caratteristiche del personale esposto. In questo contesto, il lavoro svolto ha permesso di:

- identificare le sorgenti non giustificabili dal punto di vista normativo, per le quali è stato necessario effettuare un approfondimento strumentale;
- applicare una zonizzazione del rischio teorica, utile a definire aree a diversa probabilità di esposizione e a supportare la gestione operativa del rischio;
- escludere, sulla base dei dati, la necessità di interventi di emergenza o restrizioni operative, pur suggerendo misure di prevenzione e informazione mirata.

Un punto critico riguarda l'assenza di dispositivi di protezione individuale (DPI) efficaci contro l'esposizione ai campi elettromagnetici. Tale mancanza rafforza la necessità di agire principalmente a livello collettivo e organizzativo, ad esempio attraverso l'informazione, la formazione e la delimitazione delle aree a rischio.

Nonostante l'assenza di superamenti dei limiti normativi, va sottolineato che la valutazione del rischio CEM deve essere dinamica, ovvero riconsiderata ogni volta che avvengono modifiche impiantistiche o tecnologiche.

Da questo punto di vista, la tesi ha il merito di evidenziare la necessità di un approccio preventivo e non meramente reattivo, che privilegi la conoscenza, la sorveglianza e la gestione consapevole del rischio, anche quando esso risulta tecnicamente contenuto.

VALUTAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO CEM

Il processo di valutazione del rischio cem, di cui all'articolo 209 del decreto legislativo italiano 81/2008 e sma (recepimento dell'articolo 4 della direttiva 2013/35/UE ma con alcune integrazioni per tenere conto delle disposizioni della legislazione italiana), si

sviluppa attraverso le seguenti fasi: l'identificazione delle sorgenti cem e dei lavoratori esposti a cem, seguita dalla valutazione della conformità alle restrizioni di esposizione cem pertinenti mediante misurazioni e/o calcoli o sulla base di informazioni facilmente accessibili. La valutazione, le misurazioni e i calcoli dei livelli di esposizione cem devono essere effettuati tenendo conto delle Guide pratiche della Commissione europea e delle norme tecniche pertinenti del Comitato europeo di normazione elettrotecnica (CENELEC) e del Comitato elettrotecnico italiano (CEI), nonché delle informazioni disponibili in banche dati ufficialmente riconosciute.²⁶²⁷²⁸²⁶

Il processo di valutazione dei rischi si conclude con l'individuazione delle misure di prevenzione e/o protezione volte a evitare o ridurre i rischi, tra cui le misure tecniche e organizzative, la formazione e l'informazione e la sorveglianza sanitaria di cui rispettivamente agli articoli 210, 210-bis e 211, nonché con il loro adattamento ai lavoratori particolarmente a rischio, quali i lavoratori portatori di dispositivi medici impiantati attivi o passivi (ad esempio, pacemaker cardiaci), i lavoratori con dispositivi medici indossati sul corpo (ad esempio, pompe per insulina) e le lavoratrici in gravidanza, per i quali i VA di cui all'allegato XXXVI del decreto legislativo 81/2008 e sma (ovvero i LA di cui agli allegati II e III della direttiva 2013/35/UE) potrebbero non fornire una protezione adeguata o evitare rischi per la sicurezza derivanti dagli effetti indiretti dei campi elettromagnetici. L'esito della valutazione dei rischi deve essere riportato nel rapporto di valutazione dei rischi obbligatorio, ovvero il Documento di Valutazione dei Rischi di cui agli articoli 17 e 28 del D.Lgs. 81/2008.²⁰

CONFRONTO TRA GLI IMPIANTI E VALIDITÀ DEL METODO

Il confronto tra due impianti industriali appartenenti allo stesso settore produttivo ha dimostrato che, nonostante differenze impiantistiche e organizzative, i livelli di esposizione sono confrontabili e le problematiche emerse presentano molte analogie.

Questo rafforza la validità e la replicabilità del metodo di valutazione adottato, rendendolo uno strumento utile anche per altri contesti industriali simili.

Inoltre, la raccolta sistematica dei dati ha permesso non solo la valutazione del rischio in senso stretto, ma anche la creazione di un database tecnico utile per la pianificazione futura, l'eventuale zonizzazione degli ambienti e la formazione del personale.

PIANO AZIENDALE DI RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE

Dall'analisi dei dati misurati e dopo l'elaborazione compiuta ai sensi della vigente normativa è stato elaborato il seguente piano di miglioramento suddiviso per le tipologie di attività. Qualora vi siano delle sorgenti target degli adempimenti queste vengono esplicitate.

Divieti restrizioni	e ✓ Apporre la seguente cartellonistica in prossimità della sorgente di rischio indicata, mantenendo sempre visibile il cartello; ○ 22 – CARTIERA MOTORE MONOLUCIDO N 2 2x315KW 400V (9CA) ○ 27 – CARTIERA MOTORE RAFFINATORE 754 400KW 400V (12CA) ○ 29 - OFF. CARTIERA SCALDACUSCINETTI ○ Vista la tipologia di rischio si consiglia inoltre di estendere l'adempimento a tutte le attrezzature similari presenti  Vietato l'accesso ai portatori di dispositivi cardiaci impiantabili attivi Vietato l'accesso ai portatori di impianti metallici ✓ Istruire procedura per mantenere controllato e ristretto l'accesso alle sorgenti indicate ai lavoratori o visitatori occasionali con iper sensibilità accertate. ○ 22 – CARTIERA MOTORE MONOLUCIDO N 2 2x315KW 400V (9CA) ○ 27 – CARTIERA MOTORE RAFFINATORE 754 400KW 400V (12CA) ○ 29 - OFF. CARTIERA SCALDACUSCINETTI ○ Vista la tipologia di rischio si consiglia inoltre di estendere l'adempimento a tutte le attrezzature similari presenti
--------------------------------	--

Suggerimenti migliorativi	✓ Formare il personale esposto direttamente alle seguenti sorgenti di rischio: ○ 22 – CARTIERA MOTORE MONOLUCIDO N 2 2x315KW 400V (9CA) ○ 27 – CARTIERA MOTORE RAFFINATORE 754 400KW 400V (12CA) ○ 29 - OFF. CARTIERA SCALDACUSCINETTI ○ Vista la tipologia di rischio si consiglia inoltre di estendere l'adempimento a tutte le attrezzature similari presenti
Formazione e Informazione	Ai sensi della vigente normativa, qualora presente un fattore di rischio residuo, deve essere svolta l'informazione e la formazione per i lavoratori esposti professionalmente ai campi elettromagnetici diretti per l'uso delle sorgenti specifiche indagate o esposti anche al solo livello ambientale. L'informazione dovrà, ad esempio, contenere i seguenti argomenti: • Informare sugli esiti della valutazione del rischio CEM, sul significato dei limiti di esposizione e dei valori di azione nonché dei potenziali rischi associati all'esposizione. • Nozioni sulle condizioni che possono comportare particolare suscettibilità e in particolare un avviso ai soggetti portatori di dispositivi medici impiantabili attivi o protesi mediche impiantate. • Le misure di sicurezza da adottare al fine di prevenire i rischi per la salute e sicurezza specifici associati alla mansione. • L'uso corretto di eventuali dispositivi protezione individuale e relative indicazioni e controindicazioni sanitarie all'uso.
Soggetti particolarmente sensibili al rischio	L'informazione specifica nel caso di presenza di soggetti particolarmente sensibili dovrà contenere, ad esempio, i seguenti argomenti che potranno anche essere approfonditi in sede di sorveglianza sanitaria: • Esiti della valutazione del rischio CEM, sul significato dei limiti di esposizione e dei valori di azione nonché dei potenziali rischi associati all'esposizione. • Nozioni sulle condizioni che possono comportare particolare suscettibilità e in particolare un avviso ai soggetti portatori di dispositivi medici impiantabili attivi o protesi mediche impiantate. • Le misure di sicurezza da adottare al fine di prevenire i rischi per la salute e sicurezza specifici associati alla mansione. • Informazioni sull'uso corretto di eventuali dispositivi di protezione individuale e relative indicazioni e controindicazioni sanitarie all'uso. Tutti i soggetti classificati come particolarmente sensibili al rischio è raccomandabile che non siano esposti a valori di campo superiori ai livelli di riferimento definiti per la popolazione. Nel caso dei portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA) il medico competente dovrà valutare se esistono possibilità di interferenza tra il dispositivo e le attività svolte dagli addetti contattando eventualmente chi ha installato il dispositivo. Nel caso delle gestanti, esse non devono essere esposte a valori di campo superiori ai livelli di riferimento definiti per la popolazione.
Ulteriori misure volte alla riduzione del rischio	Da definire a cura del Datore di Lavoro in collaborazione con il Medico Competente.

Ulteriori volte riduzione rischio	misure alla del Le informazioni fornite dal produttore ai sensi delle norme di prodotto rappresentano preziosi strumenti per la riduzione ed il controllo del rischio da esposizione a campi elettromagnetici in ambito aziendale, nell'ambito delle seguenti fasi: Ø Adeguamento del parco macchine Ø Collaudo/accettazione nuovi macchinari Ø Regolare manutenzione del parco macchine Ø Controllo del rischio residuo
--	--

Qualora queste informazioni non siano presenti nel manuale di istruzione di nuovi macchinari ed il rischio CEM sia evidenziato come presente, il macchinario non potrà essere considerato conforme alla Direttiva Macchine e/o alle pertinenti direttive comunitarie, pertanto non dovrà essere accettato in fase di collaudo ed aggiornamento della valutazione del rischio.

**Procedure specifiche
per
portatori
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 per i campi magnetici statici e dall'American Conference of Government Industrial Hygienist 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 analizzate nell'ambito della sorveglianza sanitaria

CONCLUSIONI

La presente tesi ha affrontato in modo approfondito il tema della valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici (CEM) in ambiente lavorativo, focalizzandosi sul contesto industriale specifico di una cartiera. L'indagine si è basata su un'attenta analisi delle sorgenti presenti, sulla misurazione strumentale dei campi elettrici e magnetici e sul confronto con i limiti normativi vigenti, con l'obiettivo di garantire la tutela della salute dei lavoratori esposti.

Dallo studio è emerso che i valori di esposizione rilevati nelle postazioni operative indagate risultano in tutti i casi inferiori ai Valori Limite di Azione (VLA) previsti dal D.Lgs. 81/08. Anche nei punti prossimi alle principali sorgenti, come cabine elettriche, trasformatori e aree di ricarica carrelli, i livelli di campo elettromagnetico misurati si collocano ampiamente al di sotto delle soglie di rischio previste dalla normativa per la popolazione lavorativa normodotata. Nonostante ciò il rispetto dei VA non garantisce un'adeguata protezione dei soggetti particolarmente sensibili al rischio da esposizione a CEM infatti alcuni degli effetti indiretti possono insorgere a livelli di esposizione inferiori a quelli in grado di indurre gli effetti biofisici diretti e possono avere conseguenze anche gravi sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori. Data la crescente diffusione negli ultimi anni di dispositivi medici attivi impiantabili ed indossabili e la comparsa di nuove sorgenti di campi elettromagnetici in ambito lavorativo, la protezione dei lavoratori particolarmente sensibili è diventata, nel corso degli anni, un argomento sempre più discusso e importante. Le indagini eseguite hanno permesso anche di individuare una serie di postazioni soggette a potenziale esposizione localizzata, che, pur rispettando i VA previsti dalla norma, sono risultate meritevoli di attenzione, soprattutto in un'ottica di prevenzione degli effetti indiretti (es. interferenze con dispositivi medici impiantabili). In questo contesto è stato necessario elaborare un programma d'azione che comprendesse misure tecniche e organizzative che fossero in grado di prevenire eventuali rischi da esposizione a CEM per tutti i lavoratori, anche quelli che risultano particolarmente sensibili.

Sotto il profilo organizzativo, pertanto, lo studio evidenzia l'importanza di:

- conoscere e classificare correttamente le sorgenti CEM presenti nei luoghi di lavoro;
- attuare misure di prevenzione di tipo collettivo, come la schermatura o la delimitazione di zone con livelli superiori ai livelli di riferimento per i lavoratori;
- formare e informare il personale sulla natura del rischio e sulle buone pratiche da adottare per minimizzare l'esposizione e per sensibilizzare i lavoratori particolarmente sensibili al rischio da CEM;
- prevedere aggiornamenti periodici della valutazione in caso di modifiche impiantistiche o introduzione di nuove apparecchiature.

L'approccio metodologico adottato, basato sulle norme CEI 211-6 e CEI 211-7, ha dimostrato di essere efficace, ripetibile e adattabile a diversi contesti produttivi. La tesi ha inoltre mostrato come, anche in ambienti industriali elettrificati e ad alta densità di apparecchiature, sia possibile mantenere condizioni di sicurezza pienamente conformi alle normative.

Il lavoro svolto ha dimostrato come, anche in un settore industriale fortemente elettrificato come quello cartario, sia possibile gestire efficacemente il rischio CEM attraverso strumenti tecnici validi, una buona organizzazione del lavoro e una corretta cultura della prevenzione. Il rischio, sebbene presente, può essere mantenuto a livelli trascurabili, a patto di garantire aggiornamenti periodici della valutazione e un'efficace comunicazione con i lavoratori.

In definitiva, il lavoro svolto ha permesso non solo di accertare la non criticità del rischio CEM nella cartiera analizzata, ma anche di costruire una base tecnico-operativa solida, utile per la pianificazione di interventi futuri e per la diffusione di una cultura della prevenzione integrata sul rischio elettromagnetico nei luoghi di lavoro.

Bibliografia e sitografia

1. Panareo M. INTRODUZIONE STORICA ALL'ELETTROMAGNETISMO.
2. , s.d.) - Cerca con Google. Accessed August 29, 2025.
<https://www.librinews.it/varie/libri-manuali-elettromagnetismo/>
3. Cosa sono i campi elettromagnetici.
4. Campi Elettromagnetici a Radiofrequenza e Radioprotezione.
5. Falsaperla R. Esposizione ai campi elettromagnetici: valutazione del rischio e misure di tutela anche in riferimento ai portatori di DMIA.
6. EpiCentro. Campi elettromagnetici aspetti epidemiologici. Accessed August 29, 2025. <https://www.epicentro.iss.it/campi-elettromagnetici/epidemiologia>
7. SCHEER - scientific evidence on radiofrequency - European Commission. Accessed August 30, 2025. https://health.ec.europa.eu/publications/scheer-scientific-evidence-radiofrequency_en
8. Matthes R, Bernhardt JH, eds. *Guidelines on Limiting Exposure to Non-Ionizing Radiation: A Reference Book Based on the Guidelines on Limiting Exposure to Non-Ionizing Radiation and Statements on Special Applications*. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 1999.
9. ICNIRPLFgdlita.pdf. Accessed August 29, 2025.
<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdlita.pdf>
10. Vila J, Turner MC, Gracia-Lavedan E, et al. Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach. *Environ Int*. 2018;119:353-365.
doi:10.1016/j.envint.2018.06.038
11. ICNIRPepireview2001.pdf. Accessed August 30, 2025.
<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPepireview2001.pdf>
12. ICNIRPstatgdl.pdf. Accessed August 30, 2025.
<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPstatgdl.pdf>

13. INTERPHONE Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol.* 2010;39(3):675-694. doi:10.1093/ije/dyq079
14. IARC. *Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields.* Accessed August 30, 2025. <http://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Non-ionizing-Radiation-Part-1-Static-And-Extremely-Low-frequency-ELF-Electric-And-Magnetic-Fields-2002>
15. Scientific Committee on Emerging Newly Identified Health Risks. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics.* 2015;36(6):480-484. doi:10.1002/bem.21930
16. Guidelines for Limiting Exposure to Electric Fields Induced by Movement of the Human Body in a Static Magnetic Field and by Time-Varying Magnetic Fields below 1 Hz. *Health Phys.* 2014;106(3):418-425. doi:10.1097/HP.0b013e31829e5580
17. ICNIRPLFgdlita.pdf. Accessed August 30, 2025. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdlita.pdf>
18. Li W, Ray RM, Thomas DB, et al. Occupational exposure to magnetic fields and breast cancer among women textile workers in Shanghai, China. *Am J Epidemiol.* 2013;178(7):1038-1045. doi:10.1093/aje/kwt161
19. Gao H, Aresu M, Vergnaud AC, et al. Personal radio use and cancer risks among 48,518 British police officers and staff from the Airwave Health Monitoring Study. *Br J Cancer.* 2019;120(3):375-378. doi:10.1038/s41416-018-0365-6
20. Filosa L, Lopresto V. Assessment and Management of Risks from Occupational Exposure to Electromagnetic Fields (0 Hz to 300 GHz): A Compass to Keep the Right Course Through European and Italian Regulations. *Safety.* 2024;10(4):104. doi:10.3390/safety10040104
21. Valutazione_rischio_CEM_24_gennaio_2025_PUB_rid.pdf. Accessed August 30, 2025. https://www.cni.it/images/eventi/2025/Valutazione_rischio_CEM_24_gennaio_2025_PUB_rid.pdf
22. Valutazione_rischio_CEM_23_giugno_2025.pdf. Accessed August 30, 2025. https://www.cni.it/images/eventi/2025/Valutazione_rischio_CEM_23_giugno_2025.pdf
23. Banca dati vibrazioni ispesl - PAF - Portale Agenti Fisici. Accessed August 30, 2025. <https://www.portaleagentifisici.it/>

24. DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81 - Normattiva. Accessed August 30, 2025. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2008-04-09;81>
25. Airm R. Le nuove Linee Guida AIRM per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a campi elettromagnetici. AIRM. November 23, 2021. Accessed August 30, 2025. <https://airm.name/le-nuove-linee-guida-airm-per-la-sorveglianza-sanitaria-dei-lavoratori-esposti-a-campi-elettromagnetici/>
26. EN 50499:2019 - Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields. Accessed August 30, 2025. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/9e9a550f-3ff7-426d-88ce-8d7be3bb030d/en-50499-2019?srsItd=AfmB>
27. Banca Dati Campi Elettromagnetici - CEM o NIR. Accessed August 30, 2025. https://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_list_macchinari_avanzata.php?lg=IT
28. EU Electromagnetic Fields | Safety and health at work EU-OSHA. Accessed August 30, 2025. <https://osha.europa.eu/it/legislation/guidelines/non-binding-guide-good-practice-implementing-directive-201335eu-electromagnetic-fields>