



I CEM in campo non sanitario. Valutazione dei rischi e misure di prevenzione e protezione.

flavia.groppi@unimi.it

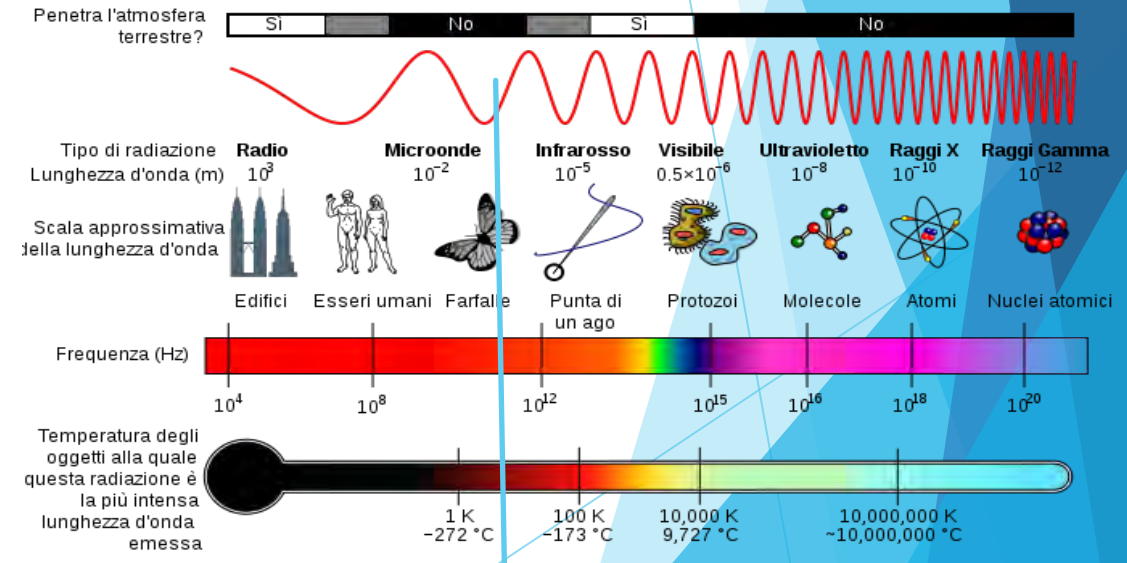
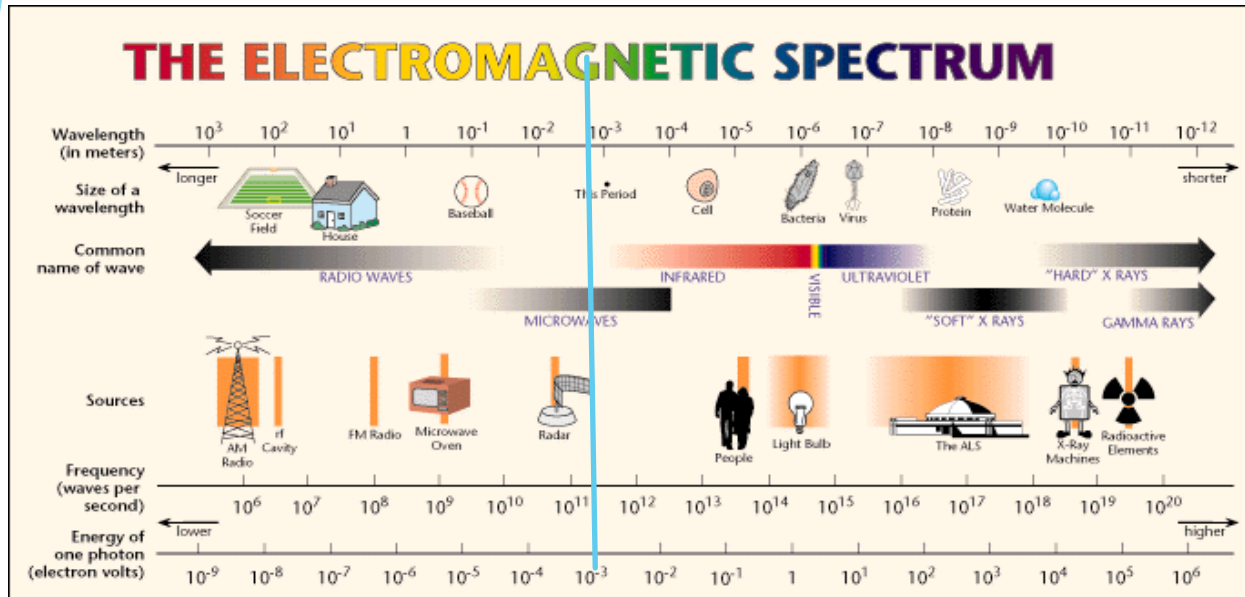
Cos'è un campo elettromagnetico e dove si trova in ambito industriale

Il **campo elettromagnetico** è una regione dello spazio dove agiscono forze elettriche e magnetiche:

è una manifestazione dell'interazione tra cariche elettriche e correnti:

- una carica in quiete produce un **campo elettrico**,
- una carica in moto genera anche un **campo magnetico**,
- e una variazione temporale di uno induce l'altro, come descritto dalle **equazioni di Maxwell**.

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{D} &= \rho & \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} & \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \\ \mathbf{D} &= \epsilon \mathbf{E} & \mathbf{B} &= \mu \mathbf{H} & \mathbf{J} &= \sigma \mathbf{E} \end{aligned}$$



- comprendono: o campi elettrici (E); o campi magnetici (B); o onde elettromagnetiche (**fino a 300 GHz**)
- Sono generati da apparecchiature elettriche, linee di potenza, sistemi radio, ecc.

Cos'è un campo elettromagnetico e dove si trova in ambito industriale

Nei luoghi di lavoro industriali i CEM sono generati da una vasta gamma di sorgenti, spesso legate a processi produttivi ad alta intensità energetica.

Esempi tipici includono:

- **forni a induzione**, dove **correnti alternate ad alta intensità** (spesso nell'intervallo **1–100 kHz**) riscaldano materiali metallici mediante induzione magnetica;
- **saldatrici a resistenza o ad arco**, che **producono campi magnetici intensi localizzati a basse frequenze**;
- **impianti di sigillatura a radiofrequenza** (tipicamente **13,56 MHz o 27,12 MHz**);
- **cabine elettriche, trasformatori, linee AT/BT**;
- **motori e generatori** di grande potenza;
- apparati **radar o di comunicazione industriale** operanti in microonde (**GHz**).

I CEM industriali coprono quindi **l'intero spettro di frequenze di interesse per la sicurezza: da campi quasi statici, dove predominano fenomeni induttivi e forze magnetiche, a campi ad alta frequenza, dove prevale la propagazione d'onda e il riscaldamento dielettrico.**

Cos'è un campo elettromagnetico e dove si trova in ambito industriale

Le norme tecniche (EN 50413 e EN 50499) e le linee guida ICNIRP (2010, 2020) distinguono cinque intervalli principali di frequenza, ognuno con differenti effetti fisici e biologici:

1. **Campi statici (0 Hz)** – prodotti da correnti continue e magneti permanenti. Rilevanti per dispositivi MRI o magneti industriali.
2. **Campi quasi statici (1 Hz–1 kHz)** – tipici di saldatrici o linee elettriche: generano correnti indotte nei tessuti.
3. **Bassa frequenza (1 kHz–100 kHz)** – prevale la stimolazione nervosa e muscolare.
4. **Intermedia (100 kHz–10 MHz)** – transizione: si sovrappongono stimolazione e riscaldamento.
5. **Alta frequenza e radiofrequenze (10 MHz–300 GHz)** – prevalgono effetti termici (SAR) e interazioni superficiali.

La conoscenza del tipo di sorgente e della frequenza operativa è il primo passo di ogni valutazione del rischio (EN 50499:2019, § 5.2).

(Fonti: EN 50413:2019 § 4.2; EN 50499:2019 § 5; ICNIRP 2010; ICNIRP 2020)

Grandezze fisiche: Unità di Misura

- Densità di potenza, misurata in **Watt m⁻²**
- Densità di corrente, misurata in **A m⁻²**
- **Induzione Magnetica (T)**

A seconda dei range di frequenza si usa una grandezza o l'altra per il diverso meccanismo di interazione del campo con il materiale biologico

Le grandezze fisiche sopra descritte caratterizzano però il **campo elettromagnetico** emesso **dalla sorgente** o comunque quello che si **propaga in aria** in funzione dei **parametri della sorgente emittente**.

Per quantificare e caratterizzare l'energia assorbita da un sistema esposto a campi elettromagnetici, da cui dipendono gli eventuali effetti, è necessario definire altri parametri

Effetti biofisici

Mentre per le radiazioni ionizzanti si ha un processo più “elementare”, le interazioni di onde elettromagnetiche con strutture biologiche non sono riconducibili ad un unico processo, ma sono il risultato di più processi concomitanti: trasferimento/assorbimento di energia, ΔT .

un **effetto biologico** si verifica quando l'esposizione alle onde elettromagnetiche provoca qualche **variazione fisiologica notevole o rilevabile** in un sistema biologico.

Un effetto biologico **non produce necessariamente un danno**.

Per poter parlare di danno alla salute, **effetto sanitario**, è necessario che l'effetto biologico sia al di fuori dell'intervallo in cui l'organismo può normalmente compensarlo.

Effetti biofisici

Si distinguono in:

- **Effetti accertati** → **Induzione nervosa**
 - **Contrazioni muscolari**
 - **Disturbi del ritmo cardiaco** (nei casi più gravi)
 - **Fosfeni magnetici** (sensazione di vedere lampi di luce)
- **Effetti incerti** → **effetti/patologie a lungo termine**

Gli effetti dipendono molto dal tipo di esposizione:

- esposizione casuale o della popolazione in generale
- esposizioni professionali continuative.

Effetti biofisici diretti

effetti provocati direttamente nel corpo umano a causa della sua presenza all'interno di un campo elettromagnetico. Comprendono:

- **effetti termici**: riscaldamento dei tessuti a causa dell'assorbimento di energia dai campi elettromagnetici nei tessuti medesimi;
- **effetti non termici** : quali la stimolazione di muscoli, nervi e organi sensoriali. Tali effetti possono essere di **detrimento per la salute mentale e fisica dei lavoratori esposti**. La stimolazione degli organi sensoriali può comportare sintomi transitori quali vertigini e fosfeni. Tali effetti possono generare disturbi temporanei e influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari e possono, pertanto, influire negativamente sulla capacità di un lavoratore di operare in modo sicuro;
- **correnti negli arti**

Effetti biofisici diretti

Tipo di effetto	Descrizione	Frequenze interessate	Esempio pratico
Stimolazione nervosa e muscolare	Correnti indotte che interferiscono con impulsi elettrici naturali	0 Hz - 100 kHz	Campi magnetici statici, saldatrici
Riscaldamento dei tessuti (effetto termico)	Aumento della temperatura corporea per assorbimento di energia	>100 kHz	Forni a induzione, microonde
Alterazioni sensoriali	Fosfeni magnetici, vertigini, percezioni transitorie	<300 Hz	Campi magnetici statici intensi

Effetti biofisici indiretti

effetti provocati dalla **presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico**, che potrebbe essere causa di un pericolo per la salute e sicurezza, quali:

- **interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici**, (stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo);
- **rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici** all'interno di campi magnetici statici;
- **innesco di dispositivi elettro-esplosivi** (detonatori);
- **incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili** a causa di scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;
- **correnti di contatto.**

Effetti biofisici indiretti - interferenziali

Tipo di effetto	Descrizione	Esempi
Interferenza con dispositivi medici	Stimolatori cardiaci, pompe insuliniche, apparecchi acustici	Ambienti industriali o sanitari
Rischio di correnti indotte / scintille	Correnti di contatto o scariche elettriche	Lavori su metalli o superfici conduttive
Attrazione di oggetti ferromagnetici	Forze meccaniche in presenza di campi statici elevati	MRI, apparecchi elettromagnetici

Effetti biofisici e criteri di protezione

L'interazione dei CEM con il corpo umano **dipende dalla frequenza**.

A basse frequenze, fino a circa 100 kHz, i campi variabili generano **correnti indotte** nei tessuti, secondo la legge di Faraday $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$. Queste correnti possono eccitare cellule nervose o muscolari quando superano determinate soglie: per esempio, un campo elettrico interno di circa **1 V m⁻¹** può indurre potenziali d'azione percepibili (ICNIRP 2010 § 3.3).

Le grandezze di riferimento in questo dominio sono la **densità di corrente J [A m⁻²]** e il **campo elettrico interno E_{int} [V m⁻¹]**, che definiscono i **Valori Limite di Esposizione (VLE)** nella direttiva 2013/35/UE (Allegato II).

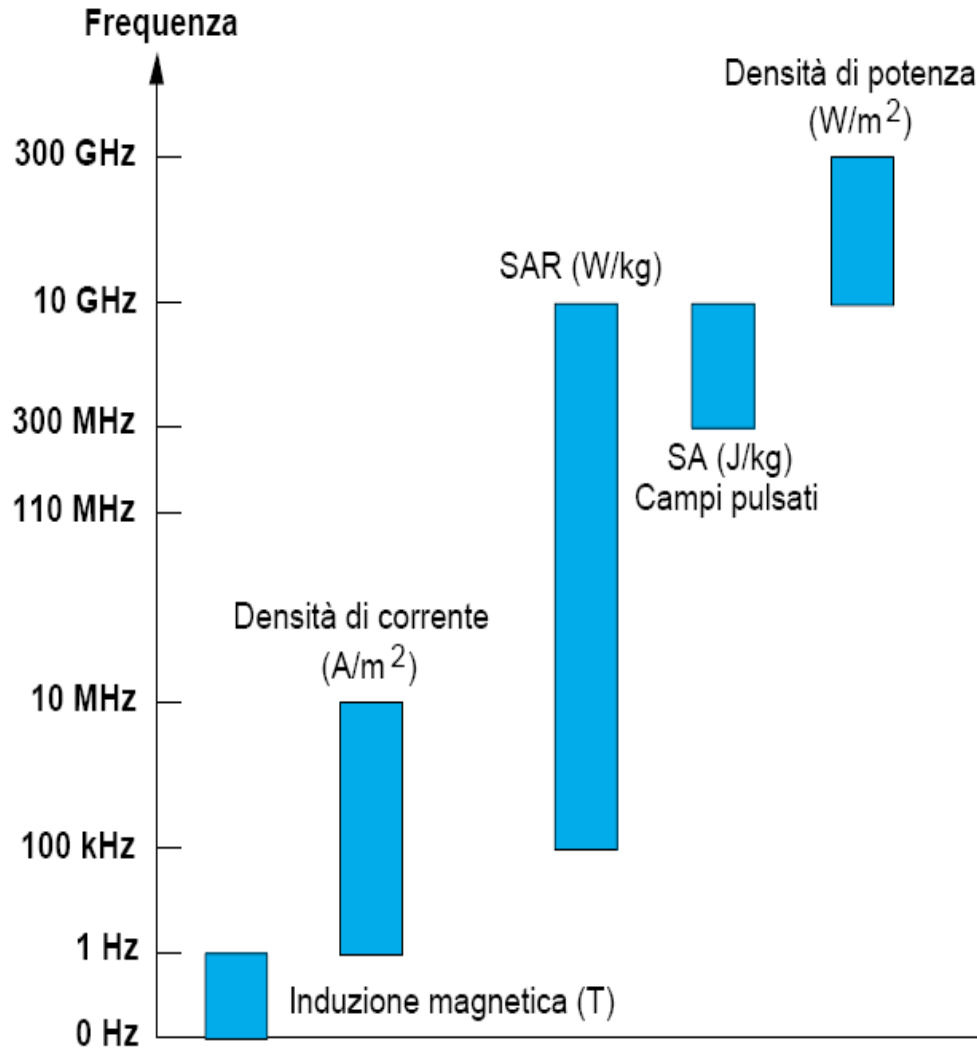
Alle frequenze superiori a 100 kHz, gli effetti di stimolazione diventano trascurabili e **predominano quelli termici**: l'assorbimento di energia elettromagnetica provoca un aumento della temperatura nei tessuti. La quantità fisica che misura questo effetto è il **SAR – Specific Absorption Rate** espressa in watt per chilogrammo (**W kg⁻¹**), definita come:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho}$$

dove σ è la conducibilità elettrica e ρ la densità del tessuto.

Effetti biofisici e criteri di protezione

GRANDEZZE DOSIMETRICHE



Questi meccanismi fisici sono alla base della distinzione normativa tra:

- **Valori Limite di Esposizione (VLE)**
- e
- **Livelli di Azione (LA)**

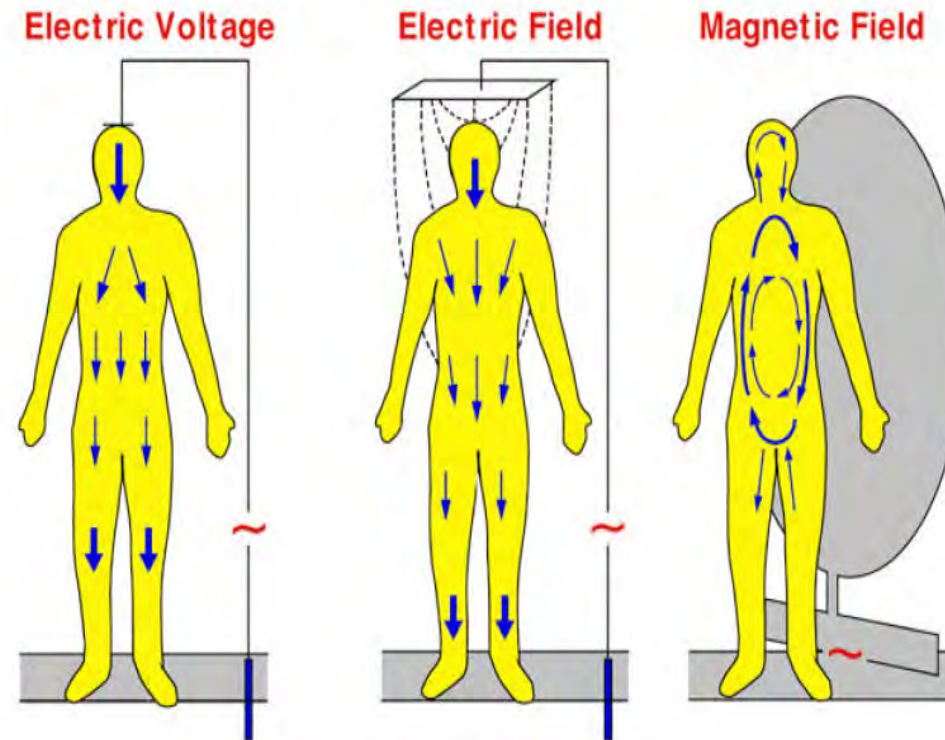
Fonti:

- Direttiva 2013/35/UE Art. 2 e Allegato II;
- ICNIRP 2010 § 3.3;
- ICNIRP 2020 Tab. 4;
- EN 50413 § 4.1

Principali meccanismi fisico-chimici di interazione

- 1 - innalzamento della temperatura: effetti termici-deterministici
- 2 - induzione di correnti elettriche e flussi ionici: effetti non termici
 - effetti deterministici
 - effetti stocastici
- 3 - possibili alterazioni conformazionali delle macromolecole organiche importanti per il metabolismo cellulare: effetto oncogeno, di tipo stocastico.

THE PHYSICAL MECHANISM: INDUCTION OF ELECTRIC CURRENTS



**THE HEALTH CRITERION:
TO KEEP INDUCED CURRENT DENSITIES BELOW 10 mA/m²**

Campo Vicino e Campo Lontano

Campo lontano - Zona “abbastanza” lontana dalle sorgenti ove la potenza decresce come $1/r^2$ e quindi il campo come $1/r$ (propagazione in spazio libero).

Campo vicino - In “prossimità” delle sorgenti si è in situazione di campo reattivo, (le equazioni complesse del campo di radiazione hanno termini immaginari, indice di potenza reattiva c'è quindi energia immagazzinata) il campo ha più caratteristiche tipiche delle sorgenti (cariche e correnti) che non quelle della mutua interazione, E ed H sono tra loro incorrelati e possono essere considerati indipendenti.

$$\text{Campo reattivo} = r \leq \frac{\lambda}{10}$$

$$\text{Campo vicino} = r \leq \lambda$$

Nella normativa nazionale

Limite di esposizione: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come **valore di immissione**, definito ai fini **della tutela della salute da effetti acuti**, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione dalla popolazione e dei lavoratori per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a) della Legge Quadro;

Valore di attenzione: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come **valore di immissione**, **che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate** per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c).

Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;

Obiettivi di qualità:

- sono i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8 della Legge Quadro;
- sono i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva miticizzazione dell'esposizione ai campi medesimi.

Concetto di Valore Limite di Esposizione (VLE)

Il **Valore Limite di Esposizione, VLE**, rappresenta la grandezza fisica interna al corpo umano che non deve essere superata per garantire la protezione contro gli **effetti biofisici diretti** dei campi elettromagnetici.

Nella **Direttiva 2013/35/UE** (Allegato II, Tabelle A1–B2), i VLE vengono distinti in due categorie principali:

- **VLE per effetti sanitari**, che proteggono contro la stimolazione dei tessuti nervosi e muscolari (a basse frequenze) e contro il riscaldamento dei tessuti (ad alte frequenze).
- **VLE per effetti sensoriali**, che limitano fenomeni transitori come vertigini, fosfeni magnetici o percezioni visive dovute a campi magnetici variabili.

I limiti occupazionali indicati da ICNIRP (2010 per basse frequenze, 2020 per radiofrequenze) e recepiti nella Direttiva sono, per esempio:

- per il corpo intero, **SAR $\leq 0.4 \text{ W kg}^{-1}$** (media su 6 minuti);
- per esposizioni localizzate, **SAR $\leq 10 \text{ W kg}^{-1}$** su 10 g di tessuto;
- per la densità di corrente indotta, **J $\leq 10 \text{ mA m}^{-2}$** nella regione centrale del corpo per frequenze fino a 1 kHz (ICNIRP 2010 §3.3).

(Fonti: Direttiva 2013/35/UE, Allegato II; ICNIRP Guidelines 2010 §3.3; ICNIRP 2020 §5.2)

Livelli di Azione (LA) e loro interpretazione pratica

Il concetto di VLE è puramente fisico e si riferisce a grandezze interne, non direttamente misurabili sul campo. Per questo la Direttiva introduce anche i **Livelli di Azione (LA)**, basati su grandezze esterne più facilmente valutabili. (Fonti: Direttiva 2013/35/UE, Allegato II; ICNIRP Guidelines 2010 §3.3; ICNIRP 2020 §5.2)

I **Livelli di Azione (LA)** rappresentano i valori di riferimento per le grandezze di campo **misurabili esternamente al corpo**: campo elettrico E [$V\ m^{-1}$], campo magnetico H [$A\ m^{-1}$], induzione magnetica B [T] e densità di potenza S [$W\ m^{-2}$].

Essi sono calcolati in modo tale che, **se rispettati, i corrispondenti VLE non vengono superati**.

I LA sono quindi strumenti pratici di **conformità operativa** e vengono utilizzati nella valutazione del rischio e nella pianificazione delle misure di protezione (Direttiva 2013/35/UE, Art. 4 e Allegato II).

LA non sono soglie di rischio ma valori operativi: superare un LA non implica automaticamente un rischio per la salute, ma richiede una valutazione più approfondita, eventualmente con misure più accurate o simulazioni numeriche del campo interno (EN 50499:2019 §6.3).

In molti impianti industriali, come forni a induzione o saldatrici a resistenza, si possono registrare superamenti temporanei dei LA sensoriali, che sono ammessi se gestiti con procedure operative adeguate e informazione ai lavoratori (Direttiva 2013/35/UE, Art. 3, par. 4).

(Fonti: Direttiva 2013/35/UE Allegato II Tabelle 2 e 3; ICNIRP Guidelines 2010 e 2020; EN 50499:2019 §6.3)

Quadro normativo: Direttiva 2013/35/UE e D.Lgs. 81/2008

- Direttiva 2013/35/UE: disposizioni minime di sicurezza e salute.
- D.Lgs. 81/2008 – Titolo VIII, Capo IV: protezione dei lavoratori dai rischi derivanti da CEM.
- Valori Limite di Esposizione (VLE) e Livelli di Azione (LA) – Allegato XXXVI del D.Lgs. 81/08.

La **Direttiva 2013/35/UE** stabilisce le **disposizioni minime di sicurezza e salute** per la protezione dei lavoratori dai rischi dovuti ai campi elettromagnetici. Essa è articolata in **13 articoli e 4 allegati**.

Gli articoli definiscono gli obblighi generali del datore di lavoro, le modalità di valutazione, le misure di prevenzione e la formazione. Gli allegati riportano i limiti di esposizione e le grandezze di riferimento.

D.Lgs. 81/2008 – Titolo VIII, Capo IV : **Obiettivi principali della normativa**

- Proteggere i lavoratori da **effetti diretti** (riscaldamento, stimolazione nervosa e muscolare)
- Evitare **effetti indiretti** (interferenze con dispositivi medici, rischio scintille o correnti indotte)
- Stabilire una **metodologia standardizzata di valutazione del rischio**
- Promuovere **misure preventive e di controllo tecnico/organizzativo**

Fonti: Direttiva 2013/35/UE; D.Lgs. 81/2008 Titolo VIII Capo IV; EN 50499:2019 §4; Portale Agenti Fisici – CEM)

Quadro normativo: Direttiva 2013/35/UE e D.Lgs. 81/2008

Il **D.Lgs. 159/2016** ha recepito integralmente la Direttiva modificando il **Titolo VIII, Capo IV** del D.Lgs. 81/2008. Le disposizioni principali sono:

- **Art. 206:** definizioni e campo di applicazione (da 0 Hz a 300 GHz);
- **Art. 207:** obbligo di valutazione dei rischi e adozione di misure di prevenzione;
- **Art. 208:** determinazione e valutazione dell'esposizione;
- **Art. 210:** informazione e formazione dei lavoratori;
- **Art. 211:** sorveglianza sanitaria;
- **Art. 212:** deroghe per attività specifiche e aggiornamento dei limiti.

L'articolo 208 stabilisce che la valutazione del rischio da CEM deve tenere conto di:

- frequenza, intensità, durata e tipo di esposizione;
- valori limite e livelli di azione;
- eventuali effetti indiretti;
- presenza di lavoratori particolarmente sensibili (es. portatori di pacemaker);
- e, quando necessario, di misure o calcoli effettuati secondo le **norme tecniche armonizzate** (EN 50499, EN 50413, IEC 61786).

È importante ricordare che, a differenza di altri agenti fisici (rumore, vibrazioni), la Direttiva CEM **non prevede un'esposizione media giornaliera ponderata nel tempo**, ma limiti istantanei di picco. Tuttavia, il concetto di media temporale è applicato per il SAR e la densità di potenza (periodo di 6 minuti).

Allegato XXXVI - Valori di riferimento

Contiene:

- ▶ VLE: limiti massimi di esposizione per evitare effetti nocivi.
- ▶ LA: Livelli di Azione che impongono misure preventive.
- ▶ Tabelle di riferimento per:
 - ▶ E (campo elettrico),
 - ▶ B (induzione magnetica),
 - ▶ H (campo magnetico).

Tipo di Campo	Tipo di Valore	Effetto associato	Intervallo tipico
Campo elettrico (E)	LA e VLE	Stimolazione nervosa, correnti indotte	0 Hz - 100 kHz
Campo magnetico (B / H)	LA e VLE	Correnti indotte, vertigini, percezioni sensoriali	0 Hz - 1 MHz
Campi RF e microonde	LA e VLE	Riscaldamento tessuti (effetto termico)	100 kHz - 300 GHz

Procedura di valutazione secondo EN 50499

La norma **EN 50499:2019** fornisce la **procedura generale** per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici nel range 0 Hz–300 GHz.

La norma introduce un **approccio a livelli**, per rendere la valutazione proporzionata al rischio reale.

Il processo si articola in cinque fasi:

- 1. Identificazione delle sorgenti:** censimento delle apparecchiature che generano CEM, raccolta dei dati di potenza, frequenza, distanze operative, tempi di esposizione e condizioni di utilizzo (EN 50499 §5.2).
- 2. Confronto con banche dati e letteratura:** se le sorgenti sono note per produrre campi inferiori ai limiti (es. motori di piccola potenza, cablaggi comuni), la valutazione può concludersi allo **screening iniziale**.
- 3. Stima preliminare dei livelli di campo:** tramite dati di targa, informazioni del costruttore o formule di calcolo semplificate (EN 50413 §5.3).
- 4. Misurazione o calcolo dettagliato:** se i valori stimati si avvicinano o superano i LA, si procede con misure strumentali secondo IEC 61786-1 (LF) o IEC 62232 (RF).
- 5. Confronto con limiti e definizione delle misure di riduzione:** eventuali interventi tecnici (schermature, distanze) o organizzativi (limitazione tempi, segnaletica).

Procedura di valutazione secondo EN 50499

Il risultato della valutazione deve essere documentato nel **Documento di Valutazione dei Rischi (DVR)**, con indicazione delle sorgenti, dei livelli rilevati, delle norme seguite e delle misure adottate.

La norma EN 50499 prevede anche la rivalutazione periodica in caso di modifiche impiantistiche o tecnologiche.

Esempio:

in un'industria metalmeccanica con saldatrici a resistenza, lo screening iniziale può bastare;

in un impianto RF di sigillatura o in presenza di forni a induzione, si rende necessaria una misura dettagliata.

(Fonti: EN 50499:2019 §5–8; Direttiva 2013/35/UE Art. 4; Portale Agenti Fisici – CEM)

Strumenti di misura e tecniche di rilevazione dei CEM

Obiettivo

► Identificare e utilizzare gli strumenti adeguati per misurare o stimare i livelli di campo elettrico (E), magnetico (H, B) e densità di potenza (S) in relazione alla frequenza e alla tipologia di sorgente.

Frequenza	Tipo di campo	Strumento tipico	Unità di misura	Applicazioni
0 - 100 Hz	Magnetico (B)	Gaussmetro / Teslametro	Tesla (T) o μT	Forni a induzione, motori, trasformatori
100 Hz - 10 MHz	Elettrico e magnetico (E/H)	Sonde isotropiche a banda larga	V/m - A/m	Saldatrici, linee elettriche, apparati industriali
10 MHz - 300 GHz	RF e microonde	Analizzatore di spettro + antenne calibrate	W/m^2 - $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$	Forni a microonde, telecomunicazioni, radar
Tutte	E/H/B	Sistemi integrati multicanale	Variabile	Campagne di misura complete

Soggetti sensibili e categorie di rischio particolare

Tutela dei lavoratori maggiormente esposti

Alcuni soggetti possono presentare una maggiore suscettibilità agli effetti dei campi elettromagnetici.

Il datore di lavoro deve adottare misure specifiche per identificarli, informarli e proteggerli.

Categoria	Potenziale rischio	Misure di prevenzione
Portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (PMIA)	Interferenze con pacemaker, defibrillatori, pompe insuliniche	Evitare aree con forte campo EM, segnaletica dedicata, distanze di sicurezza
Lavoratrici gestanti	Effetti termici e stimolazione del feto	Limitare l'esposizione a campi intensi e microonde, riassegnazione temporanea
Lavoratori con patologie neurologiche o cardiache	Maggiore sensibilità alle correnti indotte	Sorveglianza sanitaria e limitazioni operative
Personale con dispositivi passivi metallici (protesi, clip, impianti)	Forze meccaniche o surriscaldamento localizzato	Valutazione individuale del rischio e restrizioni d'accesso

Obblighi del Datore di Lavoro e del Medico Competente

- Datore di Lavoro
 - Identificare preventivamente i soggetti sensibili
 - Adottare misure tecniche e organizzative specifiche
 - Coinvolgere il medico competente per la sorveglianza sanitaria
 - Informare e formare il personale sui rischi CEM
- Medico competente
 - Collaborare alla valutazione dei rischi
 - Definire protocolli sanitari mirati
 - Informare i lavoratori sui rischi e sui sintomi potenziali
 - Segnalare eventuali inidoneità temporanee o permanenti

Misure tecniche di prevenzione e protezione dai CEM

Obiettivo:

- Ridurre l'esposizione dei lavoratori alla fonte, agendo su impianti, apparecchiature e configurazioni operative.
- Applicare la gerarchia delle misure di prevenzione: eliminare, sostituire, isolare, schermare.

Fase	Azione tecnica	Esempi pratici
1 Sorgente	Riduzione dell'emissione	Limitare potenza o tempo di funzionamento, usare generatori a bassa emissione
2 Propagazione	Isolamento o schermatura	Gabbie di Faraday, barriere metalliche, pannelli conduttivi
3 Lavoratore	Protezione diretta	Dispositivi di protezione, distanze di sicurezza, zone di esclusione

Misure tecniche aggiuntive:

- Collegamenti a terra e schermature dei cavi
- Filtri e componenti per riduzione armoniche
- Sistemi di allontanamento o delimitazione automatica
- Manutenzione periodica
- Calibrazione strumenti

Integrazione delle schermature nel processo industriale

La schermatura dei campi elettromagnetici non deve essere considerata un elemento aggiuntivo, ma parte integrante della progettazione del layout industriale.

Nelle industrie moderne, la gestione del rischio CEM si basa sull'insieme di tre strategie: distanza, schermatura e tempo.

- **Distanza:** il campo magnetico decresce con la distanza secondo legge $\propto 1/r^3$ nei campi vicini e $\propto 1/r$ in quelli lontani. Ad esempio, raddoppiando la distanza da una sorgente quasi statica, il campo si riduce di circa un fattore 8 (EN 50413 §4.4).
- **Schermatura:** nei campi elettrici è sufficiente un materiale conduttivo (rame, alluminio) con spessore maggiore di tre skin depth; nei campi magnetici servono materiali ferromagnetici ad alta μ_r .
La combinazione di materiali conduttivi e magnetici in strati alternati fornisce la protezione più efficace (Ott 2009, cap. 8).
- **Tempo:** la Direttiva non prevede limiti medi giornalieri, ma la riduzione del tempo di permanenza è comunque una misura di prevenzione valida, soprattutto per campi sensoriali intermittenti.
Esempio: in un reparto di saldatura, l'installazione di barriere metalliche di 2 mm in acciaio e la riduzione del tempo di esposizione diretta a meno di 1 minuto per ciclo hanno portato il campo da 0.5 mT a 0.08 mT, sotto il livello sensoriale (INAIL 2022).

Le schermature devono essere messe a terra correttamente per evitare correnti vaganti e verificate periodicamente con misure di continuità elettrica.

(Fonti: EN 50413:2019 §4.5; EN 50499:2019 §6.4; INAIL Linee guida 2022; Ott 2009 cap. 8)

Misure organizzative e gestionali

Obiettivo

Integrare la protezione tecnica con misure organizzative, procedurali e formative, garantendo un controllo efficace dell'esposizione ai CEM durante tutte le attività lavorative.

Area di intervento	Azione prevista	Esempi pratici
Informazione e formazione	Addestrare il personale sui rischi e le misure di prevenzione	Sessioni formative, briefing di sicurezza, schede operative
Gestione delle aree di lavoro	Limitare l'accesso alle zone con campi elevati	Zone controllate o vietate con segnaletica ISO 7010
Procedure operative	Definire modalità sicure di lavoro in presenza di CEM	Distanze minime, tempi di esposizione ridotti, permessi di accesso
Manutenzione e controllo	Verifiche periodiche delle sorgenti e delle schermature	Piano di manutenzione programmata
Sorveglianza sanitaria	Monitoraggio della salute dei lavoratori esposti	Visite mediche mirate e follow-up periodico

Zone di esposizione e classificazione dei livelli di rischio

Obiettivo

Classificare gli ambienti di lavoro in zone di esposizione ai CEM, in funzione dei valori misurati o stimati rispetto ai Livelli di Azione (LA) e ai Valori Limite di Esposizione (VLE).

Zona	Colore	Condizione di esposizione	Accesso consentito	Misure richieste
Zona 0	 Verde	Livelli di campo inferiori ai VA	Libero	Nessuna restrizione
Zona 1	 Giallo	Livelli prossimi o pari ai VA	Solo personale informato	Sorveglianza periodica e formazione
Zona 2	 Rosso	Livelli superiori ai VA o prossimi ai VLE	Accesso limitato e segnalato	Interventi tecnici e controllo medico

Applicazione pratica

- Utilizzare la mappatura dei campi EM per identificare le aree critiche;
- Segnalare le zone con cartellonistica conforme alla norma ISO 7010;
- Aggiornare periodicamente le misure dopo modifiche impiantistiche;
- Integrare le zone nel DVR.

Segnaletica di sicurezza e comunicazione visiva

 Riferimento normativo: Art. 211 del D.Lgs. 81/08, art. 210 (misure di prevenzione e protezione)

Tipo di segnale	Simbolo ISO 7010	Significato / Applicazione	Colore principale
Avvertimento generico CEM	 W006	Presenza di campo elettromagnetico	Giallo
Divieto di accesso ai non autorizzati	 P010	Limitare accesso alle zone controllate	Rosso
Obbligo di spegnere apparecchi medicali	 M024	Dispositivi medici sensibili ai CEM	Blu
Informazione area sicura	 I002	Area esente da rischio elettromagnetico	Verde

Criteri di posizionamento

- Collocare i cartelli in prossimità delle aree di transizione tra zone a diverso rischio;
- Usare materiali resistenti e ben visibili anche in ambienti industriali;
- Associare la segnaletica a procedure operative e informative;
- Integrare i simboli nei piani di emergenza e DVR.



radiazioni non ionizzanti



campo magnetico intenso



vietato l'ingresso ai portatori di stimolatori elettrici



vietato l'ingresso ai portatori di protesi metalliche od oggetti metallici nel corpo

! Segnaletica di sicurezza e comunicazione visiva



Sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a CEM

⚙️ Riferimento normativo: Art. 211 del D.Lgs. 81/08

La sorveglianza sanitaria è obbligatoria quando la valutazione del rischio indica un potenziale superamento dei Livelli di Azione (LA) o la presenza di effetti indiretti rilevanti.

Criteri di attuazione:

Fase	Attività del medico competente	Frequenza
Prima dell'esposizione	Visita preventiva e raccolta anamnestica	All'assunzione o cambio mansione
Durante l'attività lavorativa	Monitoraggio dello stato di salute e sintomi correlabili ai CEM	Periodica (almeno annuale)
In caso di superamento LA/VLE	Valutazione straordinaria e aggiornamento DVR	Immediata
Fine rapporto o trasferimento	Relazione sanitaria finale e archivio dati	Alla cessazione o spostamento

🏥 Finalità della sorveglianza sanitaria

- **Prevenire effetti nocivi** derivanti da esposizioni prolungate o elevate;
- **Individuare precocemente eventuali disturbi funzionali;**
- **Garantire l'idoneità specifica** al lavoro in aree con presenza di CEM;
- **Proteggere lavoratori sensibili** (es. portatori di dispositivi medici, gestanti).

Alcuni esempi nel settore industriale

Le indagini condotte da INAIL e ISPESL negli ultimi anni (INAIL, Rapporto Campi Elettromagnetici nei luoghi di lavoro, 2022) mostrano che la maggior parte delle esposizioni in ambito industriale è **ben al di sotto dei limiti normativi**, ma esistono casi critici che richiedono misure specifiche.

Tipo di sorgente	Frequenza operativa	Livello di campo tipico	Area di rischio	Misure di prevenzione
Forni a induzione	50 Hz - 10 kHz	Elevato (campo magnetico B)	Zona 2 (rossa)	Schermature, distanze, barriere metalliche
Saldatrici a resistenza o ad arco	50 Hz - 1 MHz	Medio-alto (E e B)	Zona 1-2	Riduzione tempo di esposizione, segnaletica, formazione
Motori elettrici e trasformatori	50 Hz	Basso-medio (campo magnetico)	Zona 1	Distanze minime, verifica installazioni
Sistemi RFID e controllo accessi	13,56 MHz - 900 MHz	Basso (campo RF)	Zona 0-1	Valutazione preliminare e informazione lavoratori
Forni a microonde industriali	2,45 GHz	Alto (campo RF, rischio termico)	Zona 2	Schermature, manutenzione, controlli periodici



Osservazioni pratiche

- I valori reali dipendono dalla distanza, potenza e tempo di esposizione;
- Importanza della manutenzione periodica per evitare perdite di campo;
- Necessario il monitoraggio ambientale periodico con strumenti calibrati.

Forno a induzione - 10 kHz



Contesto operativo




Stabilimento metallurgico per **fusione di leghe metalliche** mediante **forno a induzione da 250 kW**, alimentato a **frequenza di 10 kHz**.

Operatori presenti in prossimità della sorgente durante le fasi di carico e colata.



Rilevazioni effettuate

- Strumento utilizzato: **Gaussmetro isotropico calibrato (DC – 10 MHz)**;
- Condizioni di misura: distanza 0,5 m – 1,0 m – 2,0 m dalla sorgente;
- Valori medi rilevati (**campo magnetico B**):

Distanza	Campo magnetico (μT)	Valutazione rispetto VA (1000 μT)
0,5 m	850 μT	 <i>Prossimo al limite</i>
1,0 m	400 μT	 <i>Sotto limite</i>
2,0 m	150 μT	 <i>Sicuro</i>



Azioni di mitigazione adottate

- Installazione di barriera metallica schermante attorno al crogiolo;
- Delimitazione **zona controllata (1 m di raggio)** con cartellonistica ISO 7010;
- Formazione del personale su **tempi di permanenza massimi**;
- Aggiornamento della **valutazione del rischio (DVR)**.



Risultato

Dopo le misure correttive:

- Campo ridotto del **35–40%** nella zona operatore;
- Tutti i valori al di sotto dei **Livelli di Azione (LA)**;
- Nessuna segnalazione di effetti sensoriali o disturbi.

Saldatrice a resistenza / ad arco - 50 Hz



Contesto operativo




Reparto di carpenteria metallica con uso continuativo di **saldatrici a resistenza e a corrente alternata**.

Gli operatori lavorano a distanze comprese tra 30 e 80 cm dal generatore.



Rilevazioni effettuate

- Strumento utilizzato: **Sonda isotropica triassiale** (0 Hz – 1 MHz)
- Condizioni operative: corrente di saldatura 400 A, ciclo di lavoro 60%
- Valori medi del **campo magnetico (B)**:

Distanza	Campo magnetico (μT)	Valutazione rispetto VA (1000 μT)
0,3 m	950 μT	 <i>Vicino al limite</i>
0,5 m	600 μT	 <i>Sotto limite</i>
1,0 m	250 μT	 <i>Sicuro</i>



Azioni di mitigazione adottate

- **Posizionamento corretto dei cavi di ritorno** (riduzione dell'anello magnetico);
- **Limitazione del tempo di esposizione** a meno di 2 ore continuative;
- **Rotazione del personale** su postazioni con esposizione alternata;
- **Formazione specifica** sugli effetti dei campi magnetici
- **Sorveglianza sanitaria** dei lavoratori esposti. frequentemente



Risultato

Dopo la riorganizzazione:

- Riduzione media dell'esposizione del **30–50%**;
- Tutti i valori di campo entro i Livelli di Azione (LA);
- Nessuna interferenza con dispositivi medici o sensazioni anomale riferite.

Linee elettriche e quadri di potenza



Contesto operativo




Reparto produttivo con **quadri elettrici di distribuzione da 400–800 A** e linee di **alimentazione trifase a 50 Hz**.

Operatori di manutenzione e tecnici elettrici con accesso periodico.



Rilevazioni effettuate

- Strumento utilizzato: **Teslametro a banda stretta** (0–1 kHz);
- Condizioni di misura: linee in regime nominale di carico;
- Parametro misurato: **Induzione magnetica B (μT)**.

Distanza	Campo magnetico (μT)	Valutazione rispetto VA (1000 μT)
0,2 m	750 μT	 <i>Prossimo al limite</i>
0,5 m	300 μT	 <i>Conforme</i>
1,0 m	100 μT	 <i>Sicuro</i>



Azioni di mitigazione adottate

- **Riorganizzazione dei cablaggi** e riduzione dei loop magnetici;
- **Schermatura parziale dei quadri** con pannelli metallici conduttivi;
- **Delimitazione visiva** dell'area di accesso tecnico;
- **Procedure di lavoro** con tempi massimi di permanenza prestabiliti;
- **Formazione elettrica PES/PAV** con modulo CEM incluso.



Risultato

- Riduzione del campo magnetico fino al **60%** vicino ai quadri;
- Esposizioni sempre al di sotto dei Livelli di Azione (LA);
- Migliore organizzazione degli accessi e controllo documentato.

Analisi dell'incertezza di misura e confronto con i limiti

Ogni misura o simulazione di campo elettromagnetico comporta un certo grado di incertezza, dovuto a vari fattori:

- accuratezza dello strumento ($\pm 1-3$ dB tipici);
- influenza della geometria e del posizionamento della sonda;
- variabilità temporale della sorgente;
- riflessioni ambientali e accoppiamenti indesiderati.

La **EN 50413:2019 §7.4** prescrive che l'incertezza estesa totale non superi ± 3 dB per misure conformi.

In pratica, ciò significa che un valore misurato di 100 V m^{-1} può rappresentare un campo compreso tra 71 e 141 V m^{-1} con un intervallo di confidenza del 95%.

Nel confronto con i limiti ICNIRP e Direttiva 2013/35/UE si applica il **principio di precauzione**:

se il valore misurato più l'incertezza supera il livello di azione, è necessario approfondire la valutazione.

Esempio: misurato $E=130 \text{ V m}^{-1}$ a 2.45 GHz con incertezza ± 3 dB.

Limite = 137 V m^{-1} → considerando l'incertezza superiore ($130 \times 1.41 \approx 183 \text{ V m}^{-1}$), il valore "peggiore" eccede il limite.

Si consiglia quindi di ripetere la misura o ridurre l'esposizione.

La **Guida UE 2016, Volume 1**, raccomanda di documentare sempre l'incertezza e di adottare un **fattore di sicurezza di almeno 1.5 per le stime preliminari**.

(Fonti: EN 50413:2019 §7.4; Guida UE non vincolante Vol. 1, 2016 §3.5; ICNIRP 2020 §6.4)

Le norme tecniche di riferimento: il ruolo del CENELEC e dell'IEC

Per l'attuazione pratica della **Direttiva 2013/35/UE**, la Commissione Europea ha incaricato il **CENELEC** (Comitato Europeo di Normazione Elettrotecnica) e l'**IEC** (International Electrotechnical Commission) di sviluppare norme tecniche armonizzate che permettano ai datori di lavoro di dimostrare la conformità.

Tali norme rappresentano il collegamento operativo tra la teoria fisica dei campi e le prescrizioni legali.

Le principali norme di riferimento sono:

- **EN 50499:2019** – “Procedura generale per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz.” È la norma quadro per la valutazione del rischio, da applicare in tutti i luoghi di lavoro.
- **EN 50413:2019** – “Principi generali di misura e calcolo dei campi elettromagnetici.” Fornisce le basi fisiche e le metodologie di misura e calcolo.
- **IEC 61786-1/2:2013–2014** – “Strumenti per la misura dei campi magnetici statici e a bassa frequenza.” Descrive i requisiti degli strumenti e delle procedure di misura.
- **EN 50527-1:2016 e successivi** – “Procedura di valutazione per lavoratori con dispositivi medici impiantabili attivi (AIMD).”
- **EN 50519:2010** – “Valutazione dell'esposizione dei lavoratori per impianti di riscaldamento a induzione.”
- **IEC/EN 62822-2:2018** – “Valutazione delle esposizioni da apparecchi di saldatura a resistenza.”

Queste norme non sostituiscono la legge, ma ne costituiscono l'applicazione riconosciuta. In altre parole, un datore di lavoro che segue le procedure delle norme armonizzate beneficia della **presunzione di conformità** alla Direttiva (Gazzetta Ufficiale UE, elenco norme armonizzate EMF 2023/C 154/07).

In Italia, il **Portale Agenti Fisici (PAF)** raccoglie in un'unica piattaforma l'interpretazione operativa di queste norme, con moduli per lo screening, esempi di DVR, banche dati di sorgenti e linee guida INAIL.

Struttura della EN 50499: approccio graduale alla valutazione

La **EN 50499:2019** propone un approccio strutturato e graduale, adatto sia alle piccole imprese sia agli impianti complessi.

Il principio chiave è che non tutte le sorgenti richiedono misure dettagliate: molte possono essere escluse tramite screening iniziale basato su conoscenze note o dati di letteratura.

La norma distingue tre livelli di approfondimento:

1. Screening iniziale (livello 1):

Si confrontano le sorgenti presenti con una lista di apparecchiature note a basso rischio, disponibile nel Portale Agenti Fisici e nell'Appendice A della norma.

Esempio: motori elettrici < 5 kW, computer, ventilatori, utensili portatili → rischio trascurabile.

2. Valutazione semplificata (livello 2):

Si utilizzano dati di targa, curve di decadimento del campo e valori tabulati.

Se i risultati restano sotto i livelli di azione, non servono ulteriori indagini.

3. Valutazione dettagliata (livello 3):

Si eseguono misure o calcoli secondo EN 50413 e IEC 61786.

Questo livello si applica a sorgenti ad alta potenza, RF, o quando vi sono lavoratori sensibili.

Il **vantaggio** di questo metodo è **la proporzionalità**: permette di concentrare le risorse di misura solo dove serve davvero.

Per ogni sorgente, devono essere documentati nel DVR i seguenti dati: frequenza, potenza, distanza, tempo di esposizione, eventuali superamenti dei livelli di azione e misure adottate (EN 50499 §6.3).

(Fonti: EN 50499:2019 §5–7; PAF – Modulo CEM; INAIL Linee guida 2022)

Norme specifiche per apparecchiature industriali

Oltre alle norme generali, esistono norme di prodotto o di processo dedicate ai principali impianti industriali che generano CEM:

- **EN 50519:2010** – “Procedura di valutazione dell’esposizione dei lavoratori a campi elettromagnetici prodotti da apparecchi di riscaldamento a induzione.”
Specifica come calcolare o misurare il campo intorno ai forni e agli impianti di trattamento termico. Prevede modelli di decadimento empirici del tipo $H(r)=H_0 (r_0/r)^n$ con $n \approx 2-3$ per la zona vicina.
- **IEC/EN 62822-2:2018** – “EMF – Parte 2: apparecchi di saldatura a resistenza.”
Descrive le condizioni operative tipiche (correnti di 10–50 kA a 50–60 Hz) e i punti critici per la misura, come le mani dell’operatore e il torace.
Specifica anche i metodi per il confronto con i livelli di azione, includendo l’incertezza di $\pm 30\%$.
- **EN 50527-1:2016** – “Valutazione per lavoratori con AIMD.”
Definisce una procedura a due fasi: screening iniziale e valutazione dettagliata caso per caso, includendo simulazioni numeriche dell’accoppiamento EM-dispositivo.

Queste norme settoriali sono fondamentali perché traducono i principi generali della Direttiva in criteri tecnici concreti per le singole macchine o processi.

Un tecnico della sicurezza deve sempre verificare se esiste una norma specifica per il tipo di impianto presente (EN 50499 §4.2).

(Fonti: EN 50519:2010; IEC/EN 62822-2:2018; EN 50527-1:2016; EN 50499:2019 §4.2)

Monitoraggio periodico e manutenzione preventiva

Obiettivo

Assicurare che nel tempo i livelli di esposizione ai CEM restino al di sotto dei Livelli di Azione (LA) attraverso attività regolari di controllo, taratura e manutenzione delle apparecchiature.

Attività di monitoraggio raccomandate

Tipo di controllo	Frequenza consigliata	Responsabile	Strumenti / mezzi
Misure ambientali dei CEM	Annuale o dopo modifiche impiantistiche	Tecnico qualificato / RSP	Sonde isotropiche, teslametri
Verifica schermature e barriere	Ogni 12 mesi	Manutentore elettrico	Check visivo e misura campo residuo
Taratura strumenti di misura	Ogni 24 mesi	Laboratorio accreditato	Certificato LAT o ISO 17025
Aggiornamento DVR	Dopo ogni variazione significativa	Datore di lavoro / RSP	Report tecnico e schede di misura
Formazione del personale	Ogni 3 anni (minimo)	Datore di lavoro / Formatore HSE	Sessioni didattiche e quiz di verifica

Buone pratiche operative

- Annotare i risultati in **un registro delle verifiche CEM**;
- Mantenere la **tracciabilità delle tarature**;
- Riesaminare i risultati in riunione periodica sicurezza;
- Prevedere **controlli straordinari** in caso di modifiche impiantistiche.

Benefici

- ✓ Riduzione del rischio di non conformità normativa;
- ✓ Maggiore affidabilità degli impianti e delle misurazioni;
- ✓ Miglioramento continuo del sistema di sicurezza aziendale.

Miglioramento continuo e errori comuni nella valutazione CEM

La gestione del rischio CEM deve essere intesa come un processo dinamico, da aggiornare periodicamente e in parallelo all'evoluzione tecnologica.

Molte aziende commettono errori ricorrenti che derivano da una comprensione parziale della fisica dei campi o dalla mancata applicazione delle norme tecniche.

Errori più comuni:

1. **Valutazione solo documentale**, senza misure reali → può portare a sottostime significative (EN 50499 §5.2).
2. **Uso improprio di strumenti non calibrati o non isotropici**, che sovrastimano i valori di campo (EN 50413 §7.3).
3. **Assenza di considerazione per i lavoratori sensibili (AIMD)**, obbligatoria per legge.
4. **Schermature installate senza messa a terra**, che si trasformano in antenne secondarie.
5. **Ignorare l'incertezza di misura**: una misura di 130 V/m con ± 3 dB di incertezza può effettivamente superare il limite di 137 V m^{-1} .

Miglioramento continuo:

- **Riesame annuale del DVR** e delle misure;
- **Aggiornamento tecnico-formativo del personale**;
- **Utilizzo del Portale Agenti Fisici (PAF)** per dati aggiornati e strumenti di calcolo;
- **Collaborazione** tra fisici, medici competenti e RSPP per valutazioni integrate.

La Direttiva 2013/35/UE (art. 12) incoraggia gli Stati membri a promuovere la ricerca e la formazione continua, riconoscendo il ruolo centrale dei **professionisti tecnici nella prevenzione dei rischi emergenti**.

(Fonti: Direttiva 2013/35/UE Art. 12; EN 50499 §5–8; PAF 2023; INAIL 2022)

Formazione e informazione dei lavoratori

Obiettivo

Garantire che tutti i lavoratori comprendano i rischi derivanti dai CEM e conoscano le misure di prevenzione e comportamento corrette da adottare.

Contenuti minimi della formazione

Area tematica	Obiettivi formativi	Strumenti didattici
Concetti base sui CEM	Comprendere i campi elettrici, magnetici e RF	Slide, video, modelli interattivi
Rischi e limiti di esposizione	Conoscere VA e VLE, zone e misure	Schede sintetiche, quiz
Procedure operative	Applicare comportamenti sicuri	Addestramento pratico in campo
Segnaletica e aree di rischio	Riconoscere i simboli e le zone	Cartellonistica ISO 7010
Sorveglianza sanitaria	Capire ruolo e finalità	Incontri con il Medico Competente

Riferimento normativo

 Art. 210, D.Lgs. 81/08

Il datore di lavoro deve assicurare che i lavoratori esposti a CEM ricevano **informazione e formazione adeguata**, in particolare riguardo a:

- rischi potenziali connessi all'esposizione;
- Le misure tecniche e organizzative di prevenzione;
- I valori limite e le procedure operative;
- Il corretto uso di segnaletica e dispositivi di protezione;
- I sintomi di esposizione e le modalità di segnalazione.

Documentazione e registrazione della valutazione dei rischi CEM

Obiettivo

Garantire la tracciabilità, aggiornamento e conservazione di tutte le informazioni relative alla valutazione dei rischi da campi elettromagnetici (CEM), in conformità con il D.Lgs. 81/08 e le Linee guida europee.

Documenti principali da predisporre

Documento	Contenuto	Responsabile
Documento di Valutazione dei Rischi (DVR)	Analisi completa dei rischi CEM, valori misurati, misure adottate	Datore di lavoro / RSPP
Relazioni tecniche di misura	Risultati delle campagne di rilevazione (metodi, strumenti, incertezze)	Tecnico competente CEM
Registro delle verifiche periodiche	Misure di monitoraggio e manutenzione delle schermature	RSPP / Manutentore
Schede di formazione e informazione	Elenco lavoratori formati, date e contenuti	Formatore aziendale / HR
Sorveglianza sanitaria	Referti medici, idoneità, protocolli sanitari	Medico Competente



Modalità di gestione

- Tutti i documenti devono essere datati, firmati e conservati per almeno 10 anni;
- La documentazione deve essere consultabile in caso di ispezione o audit;
- Aggiornamento obbligatorio in caso di:
 - Modifiche impiantistiche o organizzative;
 - Nuovi macchinari o processi;
 - Superamento dei LA rilevato.

Conclusione

In conclusione, la valutazione dei Campi Elettromagnetici nei luoghi di lavoro non sanitari richiede la conoscenza integrata di fisica, normativa e tecnica.

Per un fisico, il compito è tradurre le equazioni di Maxwell e i modelli di propagazione in strumenti operativi per la sicurezza.

Per l'azienda, significa gestire il rischio attraverso misure tecniche, organizzative e formative, documentate nel DVR.

I concetti chiave che devono rimanere sono:

- I CEM industriali sono ubiqui ma gestibili;
- I limiti normativi derivano da solide basi biofisiche (ICNIRP);
- La Direttiva 2013/35/UE e il D.Lgs. 81/2008 impongono la valutazione, non la misura automatica, ma richiedono un approccio consapevole;
- Le norme EN e IEC forniscono gli strumenti pratici di applicazione;
- La protezione dei lavoratori sensibili è una priorità;
- La conoscenza fisica resta essenziale per progettare soluzioni efficaci.

Principali riferimenti

1. Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, 26 giugno 2013.
2. D.Lgs. 81/2008, Titolo VIII, Capo IV (e D.Lgs. 159/2016).
3. ICNIRP Guidelines (2010 – Low-Frequency Fields; 2014 – Static Fields; 2020 – RF Fields).
4. EN 50413:2019 – Basic Standard on EMF Measurement and Calculation.
5. EN 50499:2019 – Procedure for the Assessment of Worker Exposure to EMF.
6. EN 50519:2010 – Induction Heating Systems.
7. EN 50527-1:2016 – Workers with Active Implantable Medical Devices.
8. IEC 61786-1/2:2013–2014 – Magnetic Field Measurement.
9. INAIL (2021, 2022) – Campi Elettromagnetici nei luoghi di lavoro.
10. Portale Agenti Fisici – CEM (<https://www.portaleagentifisici.it>).
11. Ott, H.W., Electromagnetic Compatibility Engineering, Wiley, 2009.
12. Guida non vincolante UE, Vol. 1–2, 2016.

12th International Conference on Isotopes

Florence, 15 – 19 February 2026



Abstract submission is open!



CHAIR:
Prof. Flavia Groppi
CO-CHAIR:
Dr. Gaia Pupillo
Conference Scientific Secretary:
Dr. Michele Colucci

Timeline

Abstract submission deadline	30 th Oct. 2025
Early bird registration closure	25 th Nov. 2025
Regular registration closure	14 th Feb. 2026
Conference	

Scientific Programme

- Isotope Production and Devices
- Applications of Isotopes
- Isotopes in the Environment
- Policy, Economics, and Global Impact of Isotope Production and Use
- Energy and decommissioning
- Security, Safety, and Quality Assurance
- Education and Training
- Marie Curie Session
- Young Scientists Forum



Visit the website

Grazie per l'attenzione

Classificazione delle N.I.R.

Campi elettrici e magnetici statici:

0 - 1 Hz

ELF (Extremely Low Frequency):

1 - 300 Hz

LF (Low Frequency):

300 Hz-300 KHz

RF (radio Frequency):

300 KHz- 300 MHz -1 GHz

MW (Microwaves):

1 Ghz - 300 MHz - 300 GHz

IR (Infrared)

10^{12} - 10^{14} Hz

Visibile

10^{15} Hz

UV

7×10^{14} - 5×10^{17} Hz