

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE TEORICHE E APPLICATE

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA AMBIENTALE E PER LA SOSTENIBILITÀ DEGLI
AMBIENTI DI LAVORO**



**Analisi e Valutazione del Rischio da Campi Elettromagnetici negli Ambienti di Lavoro
Analysis and Risk Assessment of Electromagnetic Fields in Work Environments**

Relatrice: Prof.ssa Elisabetta Sieni

Correlatore: Prof. Marco Barozzi

Tesi di Laurea di:

Cristian Lago

Matricola Nr: 740636

Anno Accademico 2023/2024

Sommario

1.	INTRODUZIONE	6
1.1	Contesto e Motivazione dello Studio	6
1.2	Obiettivi della Ricerca	6
1.3	Definizione Di Campo Elettromagnetico	7
1.4	Valutazione del Rischio da Campi Elettromagnetici: Obblighi Normativi.....	7
2.	EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI PER LA SALUTE	9
2.1	Campi magnetici statici (da 0 a 1 Hz)	10
2.3	Campi magnetici a bassa frequenza (da 1 Hz a 100 kHz)	11
2.2	Campi elettrici a bassa frequenza (da 1 Hz a 100 kHz)	11
2.4	Campi elettromagnetici a frequenza intermedia (da 100 kHz A 10 MHz)	12
2.5	Campi elettromagnetici ad alta frequenza (da 100 kHz a 300 GHz)	12
3.	EVOLUZIONE NORMATIVA EUROPEA E ITALIANA SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	14
4.	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	16
4.1	Misura di campo elettrico in bassa frequenza (33S E)	16
4.2	Misura di campo magnetico in bassa frequenza (33S B)	18
5.	METODO DI MISURA DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO	19
5.1	Procedura pratica per la misurazione dei campi elettromagnetici	20
5.1.1	Misura Singola in Frequenza	21
5.1.2	Misura Singola nel Tempo	22
5.1.3.	Misura Continua	22
6.	ELENCO DELLE SORGENTI DI CAMPO ELETTROMAGNETICO	24
7.	VALUTAZIONE DEL RISCHIO	25
7.1	Fase 1 — Analisi preliminare	25
7.2	Fase 2 — Analisi dettagliata	26

7.2.1 Fase Preparatoria	26
7.2.2. Fase Di Misurazione Del Campo.....	27
7.2.3. Metodo Di Approccio Alle Valutazioni Strumentali	27
7.3 Fase 3 — Valutazione in base ai valori limite di esposizione (VLE)	29
8. MODALITÀ DI INDAGINE.....	32
9. MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE.....	33
9.1 Suddivisione in zone.....	33
9.2 Formazione.....	33
9.3 Segnaletica	34
9.4 Misure di protezione	35
10. TECNOLOGIE DI SALDATURA: GENERALITÀ, CLASSIFICAZIONI E APPLICAZIONI	37
10.1 Introduzione alla saldatura	37
10.2 Saldabilità dei materiali.....	38
10.3 Classificazione dei processi di saldatura	39
10.4 Saldatura TIG (Tungsten Inert Gas)	40
10.5 Saldatura MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas).....	41
11. ANALISI DELLA FREQUENZA DI FUNZIONAMENTO NELLA SALDATURA MIG/MAG E TIG	44
12. ANALISI DATI.....	45
12.1 Caso di studio 1	45
12.1.1 Analisi dei superamenti rispetto ai limiti ICNIRP 1998.....	47
12.1.2 Verifica secondo Direttiva 2013/35/UE.....	48
12.2 Confronto con il campo magnetico terrestre.....	50
12.3. Analisi delle Frequenze delle Saldatrici Campionate	51
12.4 Analisi completa di una saldatrice manuale e una saldatrice automatica.....	52
12.5 Analisi forno a induzione.....	61
12.6 Caso di studio 2	67

12.6.1 Campo Magnetico	70
12.6.2 Campo Elettrico	70
12.6.3 Sorgenti Critiche: Trasformatori	71
12.7 Analisi Di Un Trasformatore	73
13. CONCLUSIONI	78
14. BIBLIOGRAFIA	79
15. APPENDICE A	80
15.1 Definizioni	80
16. APPENDICE B	84
16.1 Tabella 3.2 (Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici)	84
17. APPENDICE C	92
17.1 ELENCO DELLE NORMATIVE DI LEGGE E DI BUONA TECNICA DI RIFERIMENTO	92
17.1.1 Norme giuridiche	92
17.1.2. Norme di Buona Tecnica	93
17.1.3 Linee guida	94

1. | INTRODUZIONE

1.1 *Contesto e Motivazione dello Studio*

L'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) è un aspetto rilevante della sicurezza negli ambienti di lavoro. Le tecnologie moderne, dai dispositivi elettronici agli impianti industriali, generano campi elettromagnetici a frequenze diverse la cui intensità in alcuni casi può essere rilevante. Ciò rende necessario uno studio approfondito per comprendere i potenziali rischi per la salute umana e le modalità di protezione.

Le normative internazionali ed europee stabiliscono i criteri di sicurezza e i limiti di esposizione, richiedendo valutazioni specifiche e l'adozione di misure preventive. Tuttavia, una corretta valutazione dei rischi legati ai campi elettromagnetici richiede strumenti di misurazione adeguati e metodologie di analisi avanzate.

Questa tesi si propone di analizzare le metodologie di valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici e di individuare strategie per la mitigazione dei rischi, fornendo un quadro generale utile per l'applicazione in vari contesti lavorativi.

1.2 *Obiettivi della Ricerca*

L'obiettivo principale della tesi è l'analisi e la valutazione del rischio derivante dall'esposizione ai campi elettromagnetici in ambienti di lavoro, attraverso l'analisi di valori misurati in prossimità delle sorgenti. I valori misurati verranno confrontati con i limiti normativi per stabilire eventuali situazioni in cui vi sia un rischio di esposizione a campi elettromagnetici. Nello specifico, gli obiettivi sono:

- Esaminare il quadro teorico relativo ai campi elettromagnetici e ai loro effetti.
- Analizzare le normative vigenti e i limiti di esposizione.
- Identificare le principali sorgenti di emissione nei diversi contesti.
- Descrivere le metodologie di misura e gli strumenti utilizzati.
- Presentare un'analisi delle misurazioni e dei risultati ottenuti.

1.3 Definizione Di Campo Elettromagnetico

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 tempo-varianti e dipendenti l'uno dall'altro, tanto da essere considerati come un unico fenomeno elettromagnetico quando il punto di osservazione è in una regione di campo lontano nella quale può essere approssimato con un'onda piana. 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 tempo-varianti, strettamente intercorrelati fra di loro. Le onde elettromagnetiche esistono anche in natura sotto forma di campi derivanti da fenomeni atmosferici (generati da temporali, fulmini, ...), e campi extraterrestri (generati dal Sole). Infine si ha il campo magnetico terrestre (generati dalla Terra stessa) che è di tipo statico.

1.4 Valutazione del Rischio da Campi Elettromagnetici: Obblighi Normativi

La valutazione del rischio derivante dall'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) è un obbligo normativo per i datori di lavoro, stabilito dal D.Lgs. 81/08, noto come Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro. Tale obbligo si basa sul principio di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori esposti a fattori di rischio fisici, tra cui i campi elettromagnetici.

L'obbligo di valutazione del rischio CEM trova fondamento in diverse normative nazionali ed europee:

- D.Lgs. 81/08, Titolo VIII, Capo IV: Definisce le prescrizioni per la protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici, imponendo ai datori di lavoro l'obbligo di effettuare una valutazione del rischio e adottare misure di prevenzione e protezione.
- Direttiva 2013/35/UE: Fornisce le disposizioni europee sulla protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dai CEM, recepita in Italia con il D.Lgs. 159/2016, che ha aggiornato il D.Lgs. 81/08. [1]
- Norme tecniche di riferimento (IEC, EN, CEI): Forniscono criteri specifici per la misurazione e la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici.

Il mancato rispetto dell'obbligo di valutazione del rischio CEM può comportare:

- Sanzioni amministrative e penali per il datore di lavoro.
- Aumento del rischio per la salute dei lavoratori, con possibili effetti avversi dovuti all'esposizione.
- Implicazioni legali e civili, in caso di danni alla salute dei lavoratori legati all'esposizione non controllata.

La valutazione del rischio da campi elettromagnetici non è solo un obbligo normativo, ma anche uno strumento fondamentale per garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori. Un'adeguata gestione del rischio permette di prevenire danni alla salute, migliorare la sicurezza sul lavoro e assicurare la conformità alle normative vigenti.

2. | EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI PER LA SALUTE

Le reazioni del corpo umano all'esposizione ai campi elettromagnetici variano principalmente in funzione della frequenza del campo stesso. Ogni gamma di frequenze interagisce in maniera differente con i tessuti biologici, per cui gli effetti causati dalle basse frequenze differiscono significativamente da quelli delle frequenze più elevate. In particolare, i campi a bassa frequenza (cioè quelli con frequenze inferiori a 10 MHz) tendono a stimolare il sistema nervoso e muscolare, mentre quelli ad alta frequenza (cioè quelli con frequenze superiori a 100 kHz) generano effetti termici, ovvero riscaldamento dei tessuti. Si noti che c'è un range di frequenze, tra 100 kHz e 10 MHz, in cui coesistono entrambi gli effetti.

Per cui dal punto di vista dell'interazione con il corpo umano, i campi elettromagnetici vengono suddivisi in quattro grandi categorie in base alla frequenza:

- Campi magnetici statici: con frequenze che vanno da 0 a 1 Hz, caratterizzati dall'assenza di variazione nel tempo del campo;
- Campi elettromagnetici a bassa frequenza: che coprono l'intervallo da 1 Hz a 100 kHz, con effetti maggiormente associati alla stimolazione neuromuscolare;
- Campi elettromagnetici a frequenza intermedia: tra 100 kHz e 10 MHz, che rappresentano una transizione tra gli effetti di stimolazione e termici e i due effetti coesistono senza che vi sia il prevalere dell'uno o dell'altro;
- Campi elettromagnetici ad alta frequenza: oltre i 10 MHz, per i quali sono predominanti gli effetti termici, soprattutto a livello della superficie corporea quando si raggiungono frequenze nell'ordine dei GHz.

Quindi per le frequenze superiori a 100 kHz, i campi elettromagnetici sono generalmente associati ad effetti di riscaldamento dei tessuti, definiti come effetti termici, mentre le frequenze inferiori possono produrre effetti non termici, principalmente legati alla stimolazione del sistema nervoso.

L'intensità del campo è un altro fattore utilizzato nella determinazione della reazione del corpo. I campi meno intensi tendono a causare percezioni sensoriali lievi o reazioni fisiologiche minime, mentre campi più intensi possono provocare effetti più significativi e potenzialmente dannosi. In ogni caso, affinché si verifichi una reazione, è necessario che l'esposizione superi una determinata soglia critica.

Per proteggere i lavoratori esposti a campi elettromagnetici, la direttiva europea 2013/35/UE stabilisce dei valori limite di esposizione (VLE) specifici per ciascuna gamma di frequenze. Questi

limiti prevedono due soglie principali: una legata a effetti sensoriali, inferiore, e una superiore che vuole prevenire conseguenze dannose per la salute. Le raccomandazioni si basano su studi condotti dalla Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP) e si concentrano principalmente sugli effetti a breve termine dell'esposizione, prendendo in considerazione meccanismi biofisici ben consolidati.

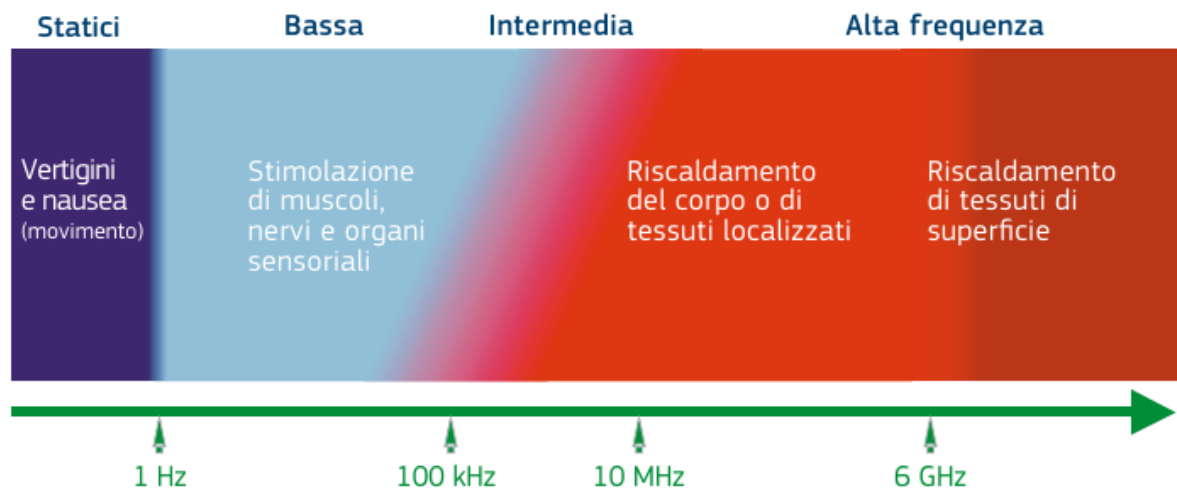


Figura 1 Rappresentazione schematica dei principali effetti diretti dei campi elettromagnetici, indicante le fasce in frequenza usate per delimitare l'insorgenza di determinati effetti (Fonte: <https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=14741&langId=it>)

2.1 Campi magnetici statici (da 0 a 1 Hz)

In caso di esposizione a campi magnetici statici, le persone non in movimento, in genere, non manifestano particolari effetti quando esposte a tali campi, salvo in casi di intensità estremamente elevate, dove potrebbero verificarsi sensazioni legate all'orientamento dei dipoli (esposizioni di alcuni Tesla, ad esempio in una risonanza magnetica). Tuttavia, chi si muove all'interno di questi campi può sperimentare gli stessi effetti indesiderati come si hanno per i campi tempo varianti.

Gli organi responsabili dell'equilibrio, situati nell'orecchio interno, sono particolarmente sensibili. Pertanto, camminare o muovere rapidamente la testa in un campo magnetico può provocare vertigini o capogiri. Anche la lingua potrebbe essere influenzata, con sensazioni alterate del gusto. In alcuni casi, sono stati segnalati sintomi come nausea e altri disturbi tra i lavoratori che utilizzano la risonanza magnetica. Fortunatamente, questi effetti sono temporanei e scompaiono non appena il movimento rallenta o si interrompe.

2.3 Campi magnetici a bassa frequenza (da 1 Hz a 100 kHz)

I campi magnetici a bassa frequenza possono indurre campi elettrici all'interno del corpo, stimolando i sensi a intensità più basse e attivando nervi e muscoli a intensità più elevate, soprattutto negli arti. Anche se gli effetti sensoriali non sono dannosi, possono essere fastidiosi o distrarre chi lavora. Se i campi sono molto intensi, possono provocare effetti spiacevoli o dolorosi sui muscoli.

La sensibilità ai campi varia tra i diversi tessuti corporei, e di conseguenza gli effetti percepiti cambiano a seconda della frequenza del campo magnetico.

In particolare, i campi magnetici tempo varianti generano campi elettrici indotti nei tessuti corporei. Poiché l'angolo di incidenza del vettore campo induzione magnetica può essere diverso da 0° (non è in direzione perpendicolare rispetto alla superficie del corpo), il campo interno indotto da quello esterno solitamente non è massimo. Inoltre, le intensità delle correnti indotte, e il conseguente campo elettrico indotto, sono legati alle proprietà elettriche dei diversi tessuti che hanno resistività che vanno da 0.5 a $50 \Omega\text{m}$ a 50 Hz e $X - Y$ a 100 kHz. Di conseguenza il campo che ci sia aspetta all'interno del corpo è inferiore rispetto a quello di massimo accoppiamento, cioè non è in direzione perpendicolare alla superficie del corpo).

2.2 Campi elettrici a bassa frequenza (da 1 Hz a 100 kHz)

I campi elettrici a bassa frequenza presenti attorno al corpo umano possono generare un flusso di cariche nei tessuti del corpo, cioè delle correnti elettriche. Ma possono dar luogo alla polarizzazione di molecole cariche legate (dipoli elettrici) e al loro orientamento. Tali fenomeni sono legati alle proprietà elettriche dei tessuti quali conducibilità elettrica e permittività dielettrica. Poiché anche l'interazione con i campi elettrici tempo varianti a bassa frequenza genera delle correnti elettriche indotte e quindi di conseguenza dei campi elettrici indotti, anche i campi elettrici indotti possono causare effetti simili a quelli dei campi magnetici tempo varianti. Nella maggior parte dei contesti lavorativi, tuttavia l'intensità è troppo bassa per causare problemi significativi.

Un fenomeno caratteristico dei campi elettrici a bassa frequenza è la sensazione di formicolio o pizzicore che si può avvertire sulla pelle. Questo accade, ma è molto raro, quando si è esposti a campi elettrici abbastanza intensi, come sotto linee elettriche ad alta tensione in giornate asciutte. In particolare le cariche elettriche si accumulano sulla superficie del corpo facendo vibrare i peli. Anche il contatto tra i peli e gli indumenti può generare una leggera vibrazione percepita come fastidiosa.

Inoltre, i campi elettrici a bassa frequenza possono caricare anche oggetti metallici o conduttori che non sono adeguatamente messi a terra, come veicoli o recinzioni. Quando si tocca un oggetto caricato elettricamente, si può percepire una leggera scossa. Anche se una singola scossa è spesso solo fastidiosa, scosse ripetute possono risultare sgradevoli o persino pericolose. Chi non è collegato a terra può ricevere una scossa toccando un oggetto che lo è. Per prevenire tali rischi, è essenziale che i lavoratori siano adeguatamente istruiti e che vengano utilizzati dispositivi di protezione, come scarpe isolanti, guanti e abbigliamento protettivo. Inoltre, è importante verificare la messa a terra degli oggetti per garantire la sicurezza.

2.4 Campi elettromagnetici a frequenza intermedia (da 100 kHz A 10 MHz)

I campi a frequenza intermedia rappresentano un'area di transizione tra quelli a bassa e ad alta frequenza. In questa fascia, gli effetti dei campi elettrici e magnetici includono anche il riscaldamento nei tessuti corporei che non è più trascurabile rispetto a quello che si ha per i campi sotto i 100 kHz per cui prevale l'effetti dei campi elettrici indotti. Gli effetti legati alla stimolazione nervosa predominano intorno ai 100 kHz, mentre quelli legati all'aumento di temperatura diventano più significativi man mano che ci si avvicina ai 10 MHz.

2.5 Campi elettromagnetici ad alta frequenza (da 100 kHz a 300 GHz)

Quando le persone sono esposte a campi elettromagnetici con frequenze superiori a 100 kHz, l'assorbimento di energia può causare un riscaldamento nei tessuti corporei. A partire da 100 kHz l'effetto di propagazione inizia a essere predominante; infatti, in aria la lunghezza d'onda del campo elettromagnetico è 3 km e diventa 7-8 m nei liquidi corporei (umor vitreo e liquido cerebro spinale), mentre a 10 MHz scende a 30 m in aria e a 70-80 cm nei liquidi del corpo. [5] Contro i 6000 km in aria e i 300-400 m nei liquidi del corpo (umor vitreo e liquido cerebro spinale). Questo riscaldamento può coinvolgere tutto il corpo oppure essere localizzato in alcune zone, come la testa o le estremità, a seconda della distribuzione del campo elettromagnetico. In condizioni normali, il corpo umano è in grado di gestire questo aumento di temperatura grazie ai meccanismi di regolazione termica, come la sudorazione e l'aumento della circolazione del sangue, mantenendo un equilibrio tra la produzione e la dissipazione del calore.

Tuttavia, se l'energia assorbita supera una certa soglia, i sistemi naturali di raffreddamento del corpo potrebbero non essere sufficienti. In tali casi, la temperatura corporea può aumentare gradualmente di 1°C o più, causando uno stato di stress termico. Questo fenomeno non solo può compromettere

la capacità di lavorare in sicurezza, ma, nei casi più gravi, un aumento prolungato della temperatura interna del corpo può risultare pericoloso per la salute.

Per evitare questi problemi, viene definito il tasso di energia assorbita dal corpo, il SAR (Tasso di Assorbimento Specifico). E' noto che con un SAR di 4 W/kg di peso corporeo e un'esposizione di 30 min l'aumento di temperatura è di circa 1 °C. Per cui mantenendo il SAR entro i limiti, è possibile prevenire l'accumulo eccessivo di calore. Poiché il riscaldamento del corpo dipende dal tempo di esposizione e non avviene immediatamente, i valori misurati sono mediati su un periodo di sei minuti prima di essere confrontati con i limiti di esposizione. Questo permette che, per brevi periodi, l'esposizione possa superare i valori dei limiti di campo elettrico consigliati, a patto che la media complessiva rimanga entro i limiti di sicurezza.

In molti contesti industriali, tuttavia, l'esposizione ai campi elettromagnetici si concentra in aree specifiche del corpo come le mani, i polsi o la testa. Per questo motivo, esistono limiti specifici per le diverse parti del corpo, meno sensibili agli effetti termici (es.: braccia) o altre più sensibili agli effetti termici come gli occhi (soprattutto il cristallino) e i testicoli.

Un altro aspetto importante riguarda le donne in gravidanza, poiché il feto è particolarmente sensibile agli aumenti di temperatura corporea della madre. Di conseguenza, è necessario prendere precauzioni speciali per proteggere le lavoratrici in stato interessante da potenziali rischi termici.

A frequenze superiori a 6 GHz, i campi elettromagnetici penetrano solo superficialmente nei tessuti corporei, con il riscaldamento che interessa principalmente la pelle. Per garantire una protezione adeguata ed evitare il rischio di surriscaldamento localizzato o danni ai tessuti superficiali, è importante limitare l'energia assorbita in queste aree.

Infine, come accade con i campi elettrici a bassa frequenza, chi si trova in un campo ad alta frequenza e tocca un oggetto conduttore può subire una scossa elettrica o un'ustione. Questo rischio è già contemplato dalle normative sulla sicurezza, che regolano l'esposizione ai campi elettromagnetici per garantire la protezione dei lavoratori. [1]

3. | EVOLUZIONE NORMATIVA EUROPEA E ITALIANA SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI

1998-2004: Il Principio di Precauzione e le Prime Normative

il primo documento che fornisce delle linee guida armonizzate sono le Linee Guida ICNIRP del 1998, che stabiliscono i limiti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori, coprendo il range di frequenze da 0 Hz a 300 GHz. In precedenza esistevano delle leggi nazionali come il DPCCM del 1992 in Italia e già dal 1974 si erano costituite commissioni di studio per le radiazioni non ionizzanti. Le linee guida ICNIRP 1998 si basano sul principio di precauzione, adottato per prevenire potenziali danni alla salute anche in assenza di prove definitive sugli effetti a lungo termine.

In Italia, nel 2001, viene emanata la Legge n. 36/2001, che stabilisce le linee guida generali per la protezione dai campi elettromagnetici focalizzata soprattutto sugli elettrodotti e le stazioni radio base per la telefonia mobile. Successivamente, il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dai campi elettrici e magnetici, con particolare riferimento alle emissioni emanate dagli elettrodotti e sistemi di telecomunicazione. Questo decreto definisce anche le metodologie per la misurazione e il monitoraggio dei livelli di esposizione, promuovendo una progressiva riduzione dell'impatto delle emissioni.

2004-2008: La Direttiva 2004/40/CE e il Suo Rinvio

Nel 2004, l'Unione Europea adotta la Direttiva 2004/40/CE, con l'obiettivo di proteggere i lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici. La direttiva stabilisce limiti basati sulle Linee Guida ICNIRP 1998.

Tuttavia, l'applicazione della direttiva incontra forti resistenze, in particolare da parte di alcuni settori industriali, come le telecomunicazioni e le infrastrutture elettriche, per i quali i limiti risultano difficili da rispettare senza impatti sulle operazioni aziendali. Di conseguenza, diversi Stati membri, tra cui l'Italia, evitano il recepimento immediato della direttiva, in attesa di ulteriori studi e possibili revisioni.

Nel 2008, la Direttiva 2008/46/CE modifica la precedente 2004/40/CE, senza introdurre cambiamenti nei limiti di esposizione, ma posticipandone l'entrata in vigore per consentire un riesame più approfondito della questione. Questo rinvio permette di avviare nuovi studi sugli effetti dei campi elettromagnetici e porta, negli anni successivi, alla formulazione di una nuova normativa più equilibrata, che culminerà nella Direttiva 2013/35/UE.

2013: La Direttiva 2013/35/UE e il Nuovo Approccio Europeo

A fronte delle difficoltà di applicazione della direttiva del 2004, l'Unione Europea pubblica la Direttiva 2013/35/UE, che ridefinisce le norme di protezione per i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici. Questa nuova direttiva si basa sulle Linee Guida ICNIRP del 2009 e del 2010, che distinguono tra campi statici e campi tempo-varianti fino a 100 kHz, e introduce valori più flessibili, mirati a evitare gli effetti diretti a breve termine, come la stimolazione nervosa e il riscaldamento dei tessuti, oltre agli effetti indiretti, come le interferenze con dispositivi medici impiantabili o il rischio propulsivo di oggetti metallici in forti campi magnetici statici. Questa direttiva abroga la 2004/40/CE e stabilisce nuovi valori limite di esposizione e livelli di azione, garantendo maggiore chiarezza e applicabilità nei diversi contesti lavorativi.

2016: Il Recepimento della Direttiva 2013/35/UE in Italia

L'Italia recepisce ufficialmente la Direttiva 2013/35/UE con il D.Lgs. n. 159/2016, che introduce misure specifiche per la protezione dei lavoratori esposti ai campi elettromagnetici. Le principali novità di questo decreto includono l'introduzione di Valori Limite di Esposizione (VLE) e Livelli di Azione (LA), la distinzione tra esposizione ai campi statici e campi variabili e la gestione dei rischi per i lavoratori particolarmente sensibili, come portatori di dispositivi medici impiantabili e donne in gravidanza. Inoltre, viene ribadita la necessità di mantenere misure più stringenti per alcuni settori, come telecomunicazioni ed elettrodotti, al fine di garantire un livello di protezione più elevato rispetto agli standard minimi europei.

2020: Le Nuove Linee Guida ICNIRP e le Prospettive Future

Nel 2020, l'ICNIRP pubblica nuove linee guida, aggiornando i limiti di esposizione per le alte frequenze (RF) dai 100 kHz ai 300 GHz. Queste nuove raccomandazioni abbassano i limiti in alta frequenza.

4. | STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per le misure di campo elettrico e induzione magnetica è stato usato il misuratore NHT3DL prodotto da Microrad corredato dalle sonde in bassa e alta frequenza.

Costruttore	Modello
MICRORAD	NHT3DL equipaggiato con sonda: Sonda 33S

Dati sonda: 33S

Numero Seriale: A20-I134

Data Produzione: 22/12/2020

Data ultima taratura: 09/02/2024

Banda: (DC fino a 1 MHz)

4.1 Misura di campo elettrico in bassa frequenza (33S E)

L'immagine sottostante mostra un fermo immagine dello schermo dello strumento durante la misurazione del campo elettrico. In seguito, vengono elencati e descritti nel dettaglio tutti i parametri e i valori riportati sul display.

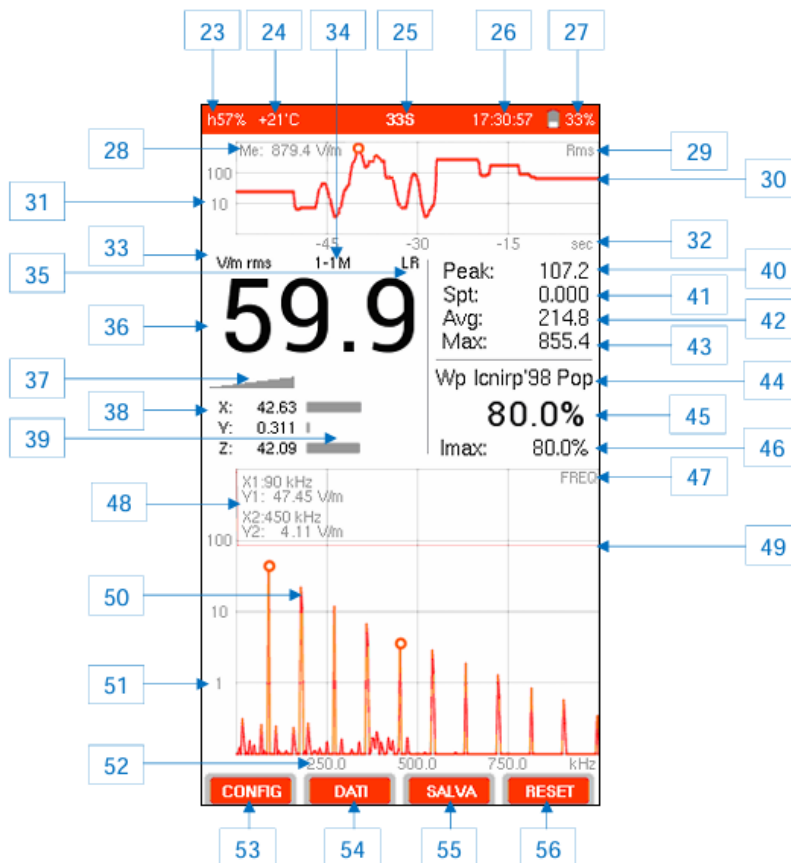


Figura 2 Cattura schermo dello strumento di misura

Item	Descrizione
23	Umidità relativa (%)
24	Temperatura ambiente (espressa in gradi Celsius o Fahrenheit)
25	Modello di sonda collegato allo strumento
26	Ora e data (visualizzate in modo alternato)
27	Livello di carica residua della batteria (%)
28	Cursore di valore massimo all'interno del grafico storico, attivabile da menù; m _e sta per massimo del campo elettrico, m _b per massimo del campo magnetico; in modalità Dual Field entrambi i massimi sono rappresentati
29	Indicatore del tipo di misura rappresentato nello storico: campo rms (RMS), valore di picco (Peak), media mobile (AVG), indice (WP o STD), componente del campo rms a una specifica frequenza (es. Rms@80kHz)
30	Andamento storico del valore prescelto per il tracciamento
31	Scala verticale (logaritmica) dei valori del campo elettrico (o dell'indice)
32	Scala orizzontale dei tempi
33	Unità di misura: V/m, A/m, W/m ² , mW/cm ² , uW/cm ² , kV/m, uT, mT, G
34	Banda di misura: il limite inferiore, per le sonde selettive in frequenza, può essere modificato da menù tramite filtro passa-alto

35	Selezione della dinamica della sonda: Low Range (LR) o High Range (HR)
36	Valore rms isotropico del campo misurato (Iso).
37	Barra grafica che rappresenta, con progressione logaritmica, il valore rms isotropico del campo; l'inizio della zona colorata coincide con il limite di portata del singolo asse
38	Valore rms del campo lungo le 3 componenti cartesiane X, Y, Z
39	Barre grafiche che rappresentano, con scala logaritmica, il valore rms del campo lungo le 3 componenti cartesiane X, Y, Z
40	Valore di picco del campo (Peak)
41	Valore della media spaziale del campo (Spt)
42	Valore della media mobile rms del campo (Avg)
43	Valore massimo del campo rms isotropico (Max)
44	Selezione dell'indice di misura e dei limiti di riferimento
45	Valore dell'indice di misura (Wp o Std)
46	Massimo valore dell'indice (Imax)
47	Indicazione della modalità attualmente selezionata per il grafico: dominio del tempo (TIME), dominio della frequenza (FREQ), dominio della frequenza con mantenimento dei massimi (HOLD)
48	Valore dei cursori 1 e 2, attivabili da menù). I cursori possono essere posizionati sul massimo oppure su un punto particolare scelto dall'utente. Nella modalità Dual Field il cursore 1 rimane associato al grafico del campo elettrico ed il cursore 2 a quello del campo magnetico
49	Rappresentazione grafica della curva dei limiti di riferimento selezionati
50	Grafico del campo nel dominio del tempo o nel dominio della frequenza
51	Scala verticale (logaritmica) dei valori del campo
52	Scala orizzontale dei tempi o delle frequenze
53	Tasto funzione per accedere al menu delle impostazioni
54	Tasto funzione per la visualizzazione delle misure memorizzate
55	Tasto funzione utilizzato per avviare le sessioni di registrazione
56	Tasto funzione per il reset simultaneo dei valori Max, Spt, Avg, Imax

4.2 Misura di campo magnetico in bassa frequenza (33S B)

Collegando la sonda 33S allo strumento e selezionando il sensore di campo magnetico B la schermata di misura è praticamente identica a quella del campo elettrico, eccetto il fatto che tutti i diagrammi sono rappresentati in blu, anziché in arancione.

5. | METODO DI MISURA DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO

Nelle valutazioni svolte, si è proceduto a rilevare i campi elettromagnetici di origine antropica dovuti alla presenza di sorgenti all'interno delle aziende analizzate, prestando particolare attenzione anche ad eventuali sorgenti esterne al ciclo produttivo, ma situate in prossimità degli stabilimenti, come ripetitori per la telefonia ed elettrodotti.

In assenza di una specifica normativa che regolamenti la misura dei campi elettromagnetici in ambiente di lavoro, sono state adottate le modalità indicate dalle norme CEI 211-6 e CEI 211-7, le quali forniscono riferimenti generali per la misura dei campi elettromagnetici in relazione all'esposizione umana. Per la valutazione delle sorgenti CEM a bassa frequenza, è stata seguita la metodologia indicata nella norma CEI 211-6, intitolata *"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"*, comprese le successive revisioni. Per la valutazione delle sorgenti CEM ad alta frequenza, è stata applicata la metodologia riportata nella norma 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"*, anch'essa con i relativi aggiornamenti.

Durante l'esecuzione delle misure, si è tenuto conto delle possibili perturbazioni. Il campo elettrico, essendo facilmente influenzabile dalla presenza di persone, è stato misurato, ove possibile, evitando la presenza dell'operatore nelle immediate vicinanze della sonda, che è stata montata su un apposito cavalletto. Il sensore impiegato è di tipo isotropo, quindi non risente dell'orientamento rispetto al campo e fornisce il valore efficace del campo elettrico misurato. Il campo magnetico, pur essendo meno sensibile alle perturbazioni rispetto a quello elettrico, è stato comunque misurato adottando le stesse precauzioni, come il mantenimento della distanza tra l'operatore e la sonda e l'uso di un cavalletto. Anche in questo caso, il sensore impiegato è isotropo, fornendo direttamente il valore efficace del campo magnetico rilevato.

Le misurazioni sono state eseguite posizionando il sensore isotropo nei punti indicati negli allegati grafici, mantenendo la testa della sonda a un'altezza di circa 1,5 m dal pavimento tramite un apposito supporto in legno, come previsto dalla norma CEI 211-6, che disciplina la *"caratterizzazione delle variazioni spaziali"* (Cap. 13.2.3). In presenza di campi fortemente disomogenei, come quelli riscontrabili nelle immediate vicinanze di una sorgente, la norma suggerisce di effettuare misure aggiuntive a diverse altezze, comprese tra 1,1 e 1,9 m, corrispondenti ai punti dello spazio occupati dalla testa e dal torso di una persona. Inoltre, per quanto riguarda la posizione delle misurazioni, la

norma CEI 211-6 (Cap. 13.2.2) specifica che la scelta del luogo di misura può variare in funzione della sorgente del campo e della posizione relativa del soggetto esposto.

Nelle valutazioni effettuate, le misure sono state condotte in tutte le postazioni di lavoro caratterizzate dalla presenza, saltuaria o continuativa, di operatori, in particolare in prossimità di sorgenti di campo elettromagnetico considerate meritevoli di indagine.

La procedura di misura è stata articolata nelle seguenti fasi:

- **Valutazione delle componenti in frequenza:** le misurazioni sono state eseguite impostando lo strumento per la rilevazione dei valori di campo elettromagnetico generati alle frequenze caratteristiche delle attrezzature analizzate. Qualora tali informazioni non fossero disponibili, si è proceduto con una valutazione su tutti i range di frequenza disponibili. Una volta individuate le frequenze predominanti del campo elettromagnetico emesso dalle apparecchiature esaminate, la misura è stata eseguita negli intervalli rilevanti per la sorgente considerata.
- **Valutazione dei valori di campo nel tempo:** in ciascuna posizione di misura sono stati rilevati, per il campo elettrico (E, in [V/m]) e per il campo di induzione magnetica (B, in [T]), i valori nel tempo (valore efficace globale - RMS/media quadratica) massimi in un determinato periodo di osservazione di un minuto, oltre all'indice di picco ponderato.
- **Valutazione della forma d'onda e dello spettro in frequenza:** lo spettro in frequenza è stato acquisito in modo istantaneo, mentre l'andamento temporale è stato misurato su una finestra di tempo compresa tra 25 e 250 ms, con acquisizione anch'essa istantanea.

5.1 Procedura pratica per la misurazione dei campi elettromagnetici

Per garantire un approccio sistematico e non tralasciare alcun dato, è stata predisposta una tabella che riporta l'ordine delle misurazioni da effettuare, in modo da raccogliere tutti i dati necessari alla valutazione del rischio. La Tabella 1 rappresenta la check list seguita per l'esecuzione delle misure, fornendo una guida chiara sui parametri da rilevare e sulle metodologie applicate.

Attrezzatura					
Frequenza	Misura (C.M.)	Misura (C.E.)	ICNIRP 98 (C.M)	2013/35/UE (C.M.)	Campo Magnetico Statico
1 kHz	<input type="checkbox"/> Singola Misura	<input type="checkbox"/> Singola Misura	<input type="checkbox"/> Misura Continua	<input type="checkbox"/> Misura Continua	<input type="checkbox"/> Misura Continua
10 kHz	<input type="checkbox"/> Singola Misura	<input type="checkbox"/> Singola Misura	ICNIRP 98 (C.E)	2013/35/UE (C.E.)	
100 kHz	<input type="checkbox"/> Singola Misura	<input type="checkbox"/> Singola Misura	<input type="checkbox"/> Misura Continua	<input type="checkbox"/> Misura Continua	
1000 kHz	<input type="checkbox"/> Singola Misura	<input type="checkbox"/> Singola Misura			
Tempo	<input type="checkbox"/> Singola Misura				

Tabella 1 Checklist utilizzata durante le misurazioni

Le misurazioni sono state effettuate adottando due diverse modalità di acquisizione: misura singola e misura continua. La scelta di queste due tipologie di misurazione è stata motivata dalla necessità di ottenere informazioni complementari sulla variazione del campo elettromagnetico nel tempo e sulla sua distribuzione in frequenza.

5.1.1 Misura Singola in Frequenza

La misurazione in frequenza singola consente di individuare le componenti spettrali predominanti del campo elettromagnetico emesso da una sorgente. Questa fase è essenziale per identificare la frequenza operativa principale dell'attrezzatura e l'eventuale presenza di armoniche o altre frequenze emesse che potrebbero influenzare il comportamento del campo nell'ambiente circostante.

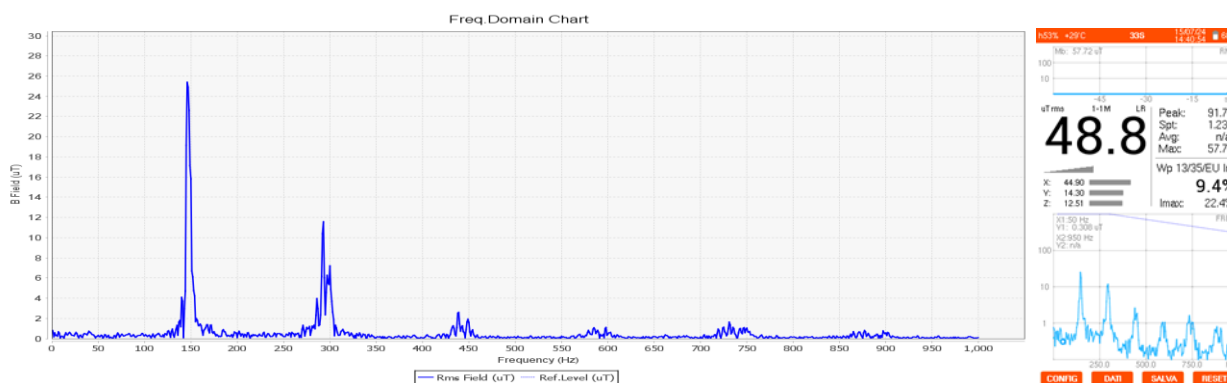


Figura 3 Misura Singola in Frequenza nel range di 1kHz

Procedura:

1. Lo strumento di misura viene impostato in modalità analisi in frequenza.
2. Si effettua una scansione dello spettro per individuare i principali picchi in frequenza presenti nel campo emesso.
3. I valori vengono registrati e confrontati con eventuali dati di riferimento sulle sorgenti analizzate.

Dati ottenuti:

- Frequenza dominante della sorgente.
- Presenza di armoniche o altre componenti in frequenza.

5.1.2 Misura Singola nel Tempo

La misura nel tempo singola è utile per osservare la variazione del campo in un intervallo di tempo ristretto e per analizzare eventuali transitori o fluttuazioni anomale nel segnale. Questa misurazione consente di capire se il campo ha una componente impulsiva o variabile nel breve periodo, che potrebbe risultare significativa per l'analisi dell'esposizione.

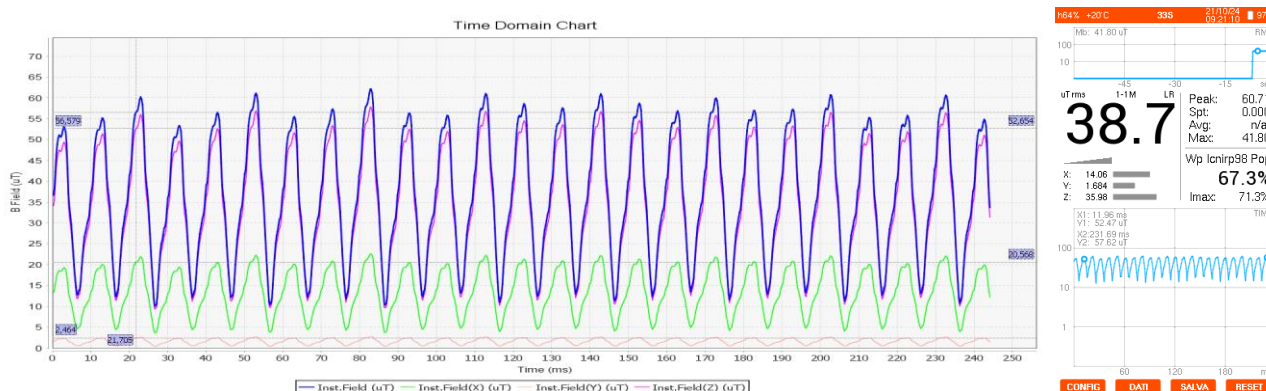


Figura 4 Misura singola nel tempo

Procedura:

1. Lo strumento viene configurato per registrare il segnale in funzione del tempo.
2. Il segnale viene analizzato per individuare eventuali picchi o variazioni di ampiezza.

Dati ottenuti:

- Andamento del campo nel tempo.
- Eventuali variazioni repentine o picchi nel segnale.

5.1.3. Misura Continua

La misura continua è fondamentale per analizzare l'andamento del campo su un periodo prolungato, valutando la stabilità della sorgente e il superamento dei limiti. Questo tipo di misurazione è particolarmente utile in presenza di sorgenti intermittenti o di dispositivi che operano con cicli di accensione e spegnimento.

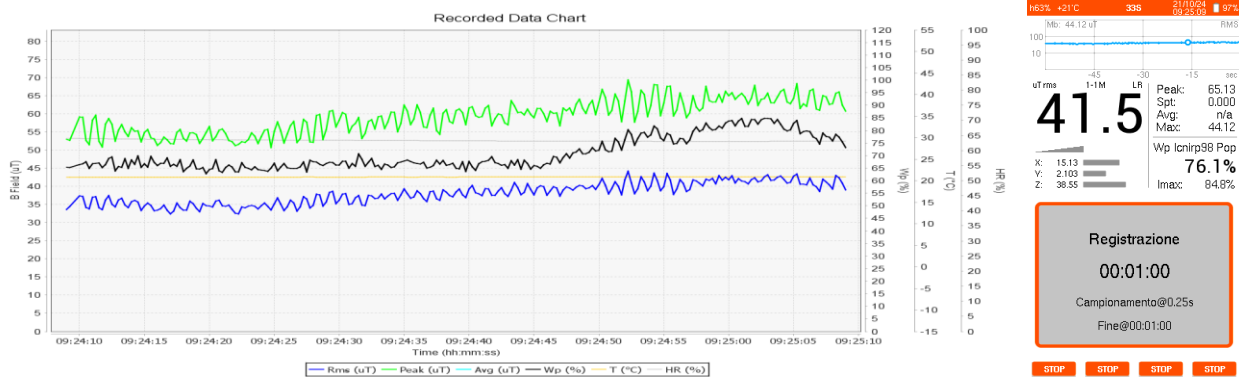


Figura 5 Misura Continua col metodo del picco ponderato per verificare i limiti legati alla popolazione

Procedura:

1. Lo strumento viene impostato per un'acquisizione continua su un periodo significativo.
2. La sonda viene posizionata e lasciata in registrazione per l'intero intervallo temporale stabilito.
3. I dati raccolti vengono analizzati per valutare la stabilità del segnale e individuare eventuali variazioni periodiche.

Dati ottenuti:

- Stabilità del campo nel tempo.
- Eventuali cicli di variazione legati al funzionamento della sorgente.

6. | ELENCO DELLE SORGENTI DI CAMPO ELETTROMAGNETICO

Attraverso l'uso di check list, in particolare attraverso l'uso della tabella 3.2 riportata in appendice B, si è fatto l'elenco delle sorgenti di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico non conformi a priori dal punto di vista normativo.

Per tutte le sorgenti non conformi a priori si è proceduto all'analisi mediante misure sul campo, indagando le metodologie di lavoro in prossimità delle installazioni oggetto di indagine.

Si riepilogano le macro-classi di sorgenti individuate in via preliminare al fine dell'individuazione delle aree di potenziale rischio, ovvero quelle aree presso le quali si è andata ad eseguire mediante misure (in allegato il dettaglio delle misure).

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

SORGENTE CONFORME A PRIORI: impianti, macchinari e/o attrezzature "conformi a priori", 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 saranno oggetto di indagine strumentale.

7. | VALUTAZIONE DEL RISCHIO

La valutazione del rischio derivante dall'esposizione ai campi elettromagnetici si articola in tre fasi principali, ognuna delle quali affronta il problema con un diverso livello di approfondimento e specificità. Questa suddivisione permette di adottare un approccio che garantisce una corretta analisi delle condizioni di esposizione e delle eventuali misure necessarie per la tutela dei lavoratori.

Fase 1: Analisi preliminare

Questa prima fase ha lo scopo di identificare in modo generale le sorgenti potenzialmente pericolose e le situazioni di lavoro che potrebbero generare campi elettromagnetici. Si verifica la conformità delle apparecchiature e delle attività ai requisiti normativi attraverso dati preesistenti, informazioni fornite dai fabbricanti o banche dati ufficiali come il portale agenti fisici.

Fase 2: Analisi dettagliata

Se nella Fase 1 emergono situazioni non pienamente conformi o che richiedono ulteriore approfondimento, si procede a una valutazione più specifica. Questa fase include misurazioni sul campo e calcoli dettagliati per verificare il rispetto dei livelli di azione stabiliti dalla normativa.

Fase 3: Verifica dei valori limite di esposizione (VLE)

Qualora nella Fase 2 si riscontrassero valori superiori ai limiti di azione, si avvia una valutazione più avanzata per verificare la conformità ai valori limite di esposizione. Questa fase prevede l'uso di tecniche di simulazione numerica o analisi dosimetriche per determinare con precisione gli effetti del campo elettromagnetico sul corpo umano.

7.1 Fase 1 — Analisi preliminare

Per dimostrare la conformità alla direttiva EMF (2013/35/UE), i datori di lavoro sono autorizzati a utilizzare i dati del fabbricante o le banche dati di valutazioni generiche se tali informazioni sono disponibili. La prima fase consiste nell'identificare ed elencare tutte le apparecchiature, le situazioni e le attività nel luogo di lavoro che potrebbero generare campi elettromagnetici. Successivamente è necessario considerare quali di queste siano conformi alla direttiva EMF e quali richiedano una valutazione più dettagliata (fase 2 e/o fase 3). Questa operazione può essere effettuata mediante la comparazione con la tabella 3.2. Gran parte delle apparecchiature, delle attività e delle situazioni non richiederanno una valutazione di fase 2 o 3 per assenza di campo o poiché il campo sarà a livelli molto bassi. Perché l'apparecchiatura sia considerata conforme alla fase 1 deve essere installata,

utilizzata e sottoposta a manutenzione conformemente alle istruzioni del fabbricante. È anche opportuno considerare se la situazione di esposizione è destinata a mutare durante la manutenzione, la revisione o la riparazione, nel qual caso potrebbe essere necessaria una valutazione di fase 2. I luoghi di lavoro conformi alla fase 1 non richiedono altre valutazioni se non la documentazione dei risultati nell'ambito della valutazione generale dei rischi. Qualora non sia possibile dimostrare la conformità del luogo di lavoro alla fase 1, sarà necessario procedere alla valutazione di fase 2 ed eventualmente di fase 3.

7.2 Fase 2 — Analisi dettagliata

Alcuni tipi di apparecchiature, attività e situazioni, come quelli indicati da un «Sì» nella colonna 1 della tabella 3.2 (presente nell'appendice B), richiedono una valutazione più dettagliata che può essere effettuata utilizzando le informazioni messe a disposizione dai fabbricanti o altre fonti. Tuttavia, qualora tali informazioni non siano facilmente reperibili e poiché tali apparecchiature operano in un contesto in cui possono essere presenti campi elettromagnetici generati da altre apparecchiature, di norma è necessario accertare il livello di campo elettromagnetico utilizzando tecniche di misurazione o di calcolo. In generale si utilizzano approcci basati sulla misurazione per valutare la conformità ai LA, mentre tecniche di modellizzazione numerica più complesse sono richieste per valutare la conformità ai VLE.

7.2.1 Fase Preparatoria

Nella preparazione alla valutazione di fase 2, occorre considerare in primo luogo gli elementi dell'apparecchiatura che possono emettere campi EMC, dell'attività o della situazione. Occorre registrare i dettagli relativi allo svolgimento del lavoro e le informazioni fornite dal fabbricante o dal fornitore, se disponibili. L'elemento chiave per determinare il corretto approccio di valutazione è una chiara comprensione del modo in cui il lavoro è svolto e la conoscenza delle caratteristiche dell'apparecchiatura (la sorgente di campo elettromagnetico) che genera i campi elettromagnetici. Di norma si tratta di informazioni sulla frequenza, la corrente di alimentazione, la tensione, la potenza assorbita, il ciclo di funzionamento ed eventuali trasformazioni operate dalla sorgente stessa (es.: presenza di inverter o trasformatori).

- Controllare il manuale d'uso del fabbricante e le specifiche tecniche in dotazione con le apparecchiature per familiarizzarsi con queste ultime e con il loro utilizzo.

- Esaminare le modalità di svolgimento del lavoro e la posizione dell'operatore e degli altri lavoratori nel luogo di lavoro. Considerare anche le posizioni dei lavoratori durante le attività di manutenzione e riparazione, che potrebbero richiedere una diversa valutazione.
- Considerare altresì le persone che saranno presenti nell'area di lavoro: eventuali lavoratrici in gravidanza, portatori di dispositivi medici impiantabili o lavoratori che portano sul corpo dispositivi medici.

7.2.2. Fase Di Misurazione Del Campo

Nella maggior parte delle situazioni occorrerà effettuare misurazioni del campo magnetico, elettrico o elettromagnetico o misurazioni pilota nel luogo di lavoro per analizzare la natura del campo da valutare. Tali misurazioni sono effettuate all'inizio dell'ispezione e contribuiscono a determinare i tipi di misurazione e gli strumenti necessari a valutare adeguatamente i campi elettromagnetici.

7.2.3. Metodo Di Approccio Alle Valutazioni Strumentali

Prima di iniziare a eseguire le misurazioni, si comincia interpellando i lavoratori per individuarne le mansioni, e si trascorre un certo tempo a osservarli mentre lavorano in modo da identificare la posizione del lavoratore (corpo e arti) e trovare i punti più adatti per effettuare le misurazioni. Le valutazioni devono tener conto delle varie attività normalmente intraprese: normali operazioni, pulizia, rimozione dei blocchi, manutenzione, e revisione/riparazione se svolte all'interno dell'azienda.

L'approccio più comune utilizzato nelle valutazioni strumentali prevede l'utilizzo di misurazioni isolate in punti definiti del luogo di lavoro oppure in punti specifici intorno alle sorgenti di campo elettromagnetico. Le misure vanno effettuate durante il ciclo lavorativo normale con le apparecchiature accese e il lavoratore che svolge la propria mansione. Le posizioni dello strumento di misura dovrebbero riflettere le aree occupate dal lavoratore nell'adempimento delle proprie mansioni. È buona prassi utilizzare un'acquisizione ripetuta di misurazioni nello stesso punto in un intervallo di tempo adeguato ad accertare che le misurazioni siano stabili nel tempo. La misurazione dei campi elettrici rispetto a quella dei campi magnetici richiede un'attenzione maggiore, perché i campi elettrici sono facilmente perturbati dagli oggetti circostanti, tra cui il corpo umano. Per questo

motivo è consigliabile utilizzare un sostegno per la sonda e non tenere in mano lo strumento di misura.

La direttiva 2013/35/UE nel definire i limiti per i campi elettromagnetici che sono dati in termini di campo elettrico si riferisce a 'LA non perturbati'. Pertanto nell'eseguire le misure occorre prestare attenzione a tenere il corpo dei lavoratori o di chi fa le misurazioni lontano dalla sonda di misura (e la sonda ben lontana da oggetti metallici).

7.2.4. Parametri di valutazione

Se la valutazione di fase 2 indica che i livelli di campo elettrico, magnetico e elettromagnetico presenti nell'ambiente analizzato sono al di sotto dei valori riguardanti i lavoratori sensibili, automaticamente saranno al di sotto dei Livelli di Azione (LA) per i lavoratori ordinari. In tal caso, il luogo di lavoro è conforme alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici e la valutazione può considerarsi conclusa.

Tuttavia, se i Valori Limite di Esposizione (VLE) o i Livelli di Azione (LA) vengono superati, il datore di lavoro deve attuare adeguate misure di protezione e prevenzione. A basse frequenze, se vengono superati i LA inferiori, il datore di lavoro deve effettuare un'ulteriore valutazione per verificare il possibile superamento dei LA superiori. Se i valori ottenuti dalle misurazioni risultano al di sotto dei LA superiori, il datore di lavoro può decidere se attuare misure preventive e di protezione, come la formazione e informazione dei lavoratori, oppure procedere con una valutazione di fase 3 per dimostrare la conformità con i VLE relativi agli effetti sensoriali.

In caso di superamento dei LA superiori, è obbligatorio verificare se i VLE sanitari sono stati superati. Se i VLE sanitari risultano superati, non è possibile continuare le attività lavorative in tali condizioni e devono essere adottate misure immediate per ridurre l'esposizione, come schermature, delimitazione delle aree o riduzione dei tempi di esposizione.

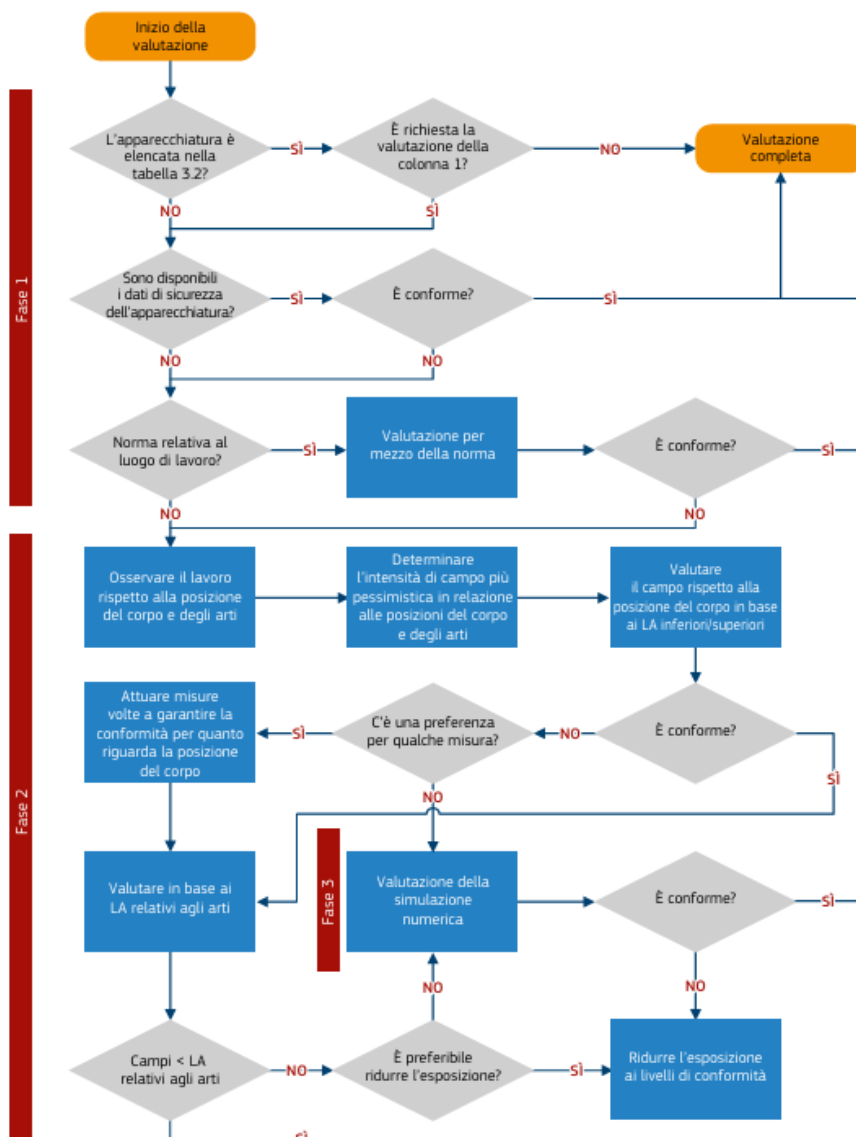


Figura 6 Diagramma di flusso che mostra le varie fasi di una valutazione del campo elettromagnetico nel luogo di lavoro per gli effetti non termici (Fonte: <https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=14741&langId=it>)

7.3 Fase 3 — Valutazione in base ai valori limite di esposizione (VLE)

Ai sensi della direttiva relativa ai campi elettromagnetici i VLE hanno lo scopo primario di limitare i campi elettrici indotti e il tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) nel corpo umano. Tali grandezze non sono facilmente misurabili direttamente in quanto si tratta di correnti indotte nel corpo o il suo riscaldamento. Di conseguenza una valutazione di fase 3 di solito si basa su tecniche di modellizzazione numerica utilizzate per determinare la conformità con i VLE perché non esistono modalità di misurazione non invasive che permettano di stabilire l'intensità delle grandezze biofisiche (es.: correnti indotte, temperatura interna) all'interno dei tessuti del corpo umano.

Per mantenere un margine di sicurezza di non superamento dei VLE, i LA sono stime prudenti dei limiti di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico a cui tutto il corpo del lavoratore può essere esposto senza che siano superati i corrispondenti VLE. Se le misurazioni indicano che un LA può essere superato per una specifica situazione di esposizione, potrebbe essere necessario effettuare una valutazione dosimetrica allo scopo di determinare la conformità con i VLE. Le simulazioni numeriche possono essere utilizzate per valutare se i campi elettromagnetici prodotti da un dispositivo comportino il superamento dei VLE all'interno del corpo umano. Le simulazioni, che permettono la valutazione delle grandezze dosimetriche, forniscono il collegamento tra i LA (campi elettromagnetici non perturbati misurati esternamente prodotti da una specifica sorgente, es.: un conduttore percorso da corrente o un'antenna trasmittente) e i VLE (che si riferiscono a grandezze dosimetriche valutate numericamente derivanti dall'interazione tra il campo elettromagnetico e il corpo umano). Queste simulazioni vengono utilizzate per tradurre i valori dei campi elettromagnetici, misurati in assenza del corpo, in grandezze dosimetriche nel corpo. Le grandezze dosimetriche relative ai VLE comprendono le intensità dei campi elettrici indotti, il tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) e la densità di potenza all'interno del corpo. Gli effetti per la salute e pertanto i valori limite delle grandezze dosimetriche dipendono dalla frequenza del campo incidente. A basse frequenze la direttiva specifica i VLE in termini di intensità dei campi elettrici indotti, mentre a frequenze superiori si utilizzano il valore del SAR e la densità di potenza.

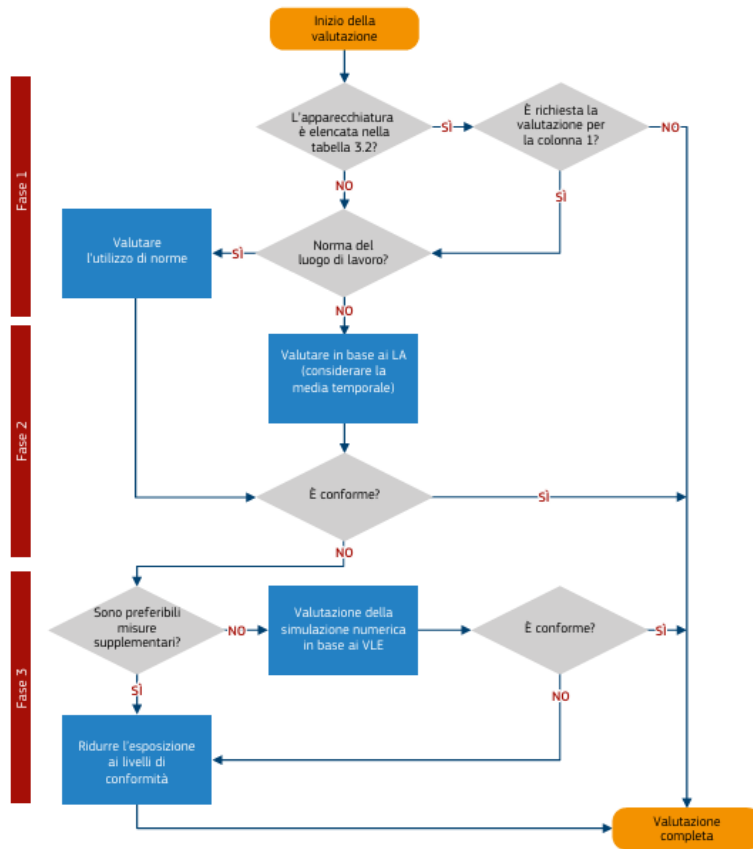


Figura 7 Diagramma di flusso che mostra le varie fasi di una valutazione del campo elettromagnetico nel luogo di lavoro per gli effetti termici (Fonte: <https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=14741&langId=it>)

8. | MODALITÀ DI INDAGINE

Nell'esecuzione delle misure si è provveduto a misurare sia l'induzione magnetica (B) che il campo elettrico (E) o il campo magnetico statico nei corrispondenti valori di picco o valore quadratico medio (rms, root mean square in inglese). In particolare, si misura:

- In DC il campo magnetico statico
- Per frequenze da 1 a 100 kHz il campo elettrico e il campo magnetico
- Per frequenze da 100 kHz a 10 MHz il campo elettrico e il campo magnetico con il sensore a bassa frequenza.
- Per frequenze da 10 MHz a 6 GHz il campo elettrico e campo magnetico con il sensore ad alta frequenza

Per ciascun punto di campionamento sono state eseguite misure in frequenza e nel tempo. La misura in frequenza permette di individuare la distribuzione spettrale delle componenti che formano la forma d'onda del campo identificando la frequenza di funzionamento fondamentale caratteristica dell'apparecchiatura e le armoniche successive (es.: per i quadri elettrici ci si aspetta una componente a 50 Hz e le successive armoniche dispari a 150 Hz, 250 Hz, etc.). Tramite la misura nel tempo invece è possibile individuare la forma d'onda del campo valutato e i valori di picco/rms acquisiti in un intervallo di acquisizione (es.: 1 min , 6 min, etc.).

Lo strumento inoltre è in grado di valutare il valore del picco ponderato per cui in ciascun punto di misurazione è stato valutato il valore del picco ponderato. Mediante il picco ponderato è stato verificato il superamento dei limiti per la popolazione utilizzando i limiti della direttiva 2013/35/UE (LA inf, Livelli di azione inferiori) oppure quelli per i lavoratori sensibili facendo riferimento ai livelli di riferimento per la popolazione definiti dalla Raccomandazione 1999/519/CE (che si riferiscono ai limiti suggeriti dalle linee guida dell'ICNIRP 1998, i più restrittivi).

9. | MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

9.1 Suddivisione in zone

Nell'ambito della gestione del rischio da campi elettromagnetici, il datore di lavoro può adottare una suddivisione degli ambienti lavorativi in diverse aree, al fine di individuare le zone in cui l'esposizione potrebbe superare determinati livelli di riferimento. Tali suddivisioni non devono necessariamente corrispondere a confini rigidi e rigorosi, ma possono essere stabilite in base alla configurazione del luogo di lavoro, come la suddivisione in reparti destinati a specifiche lavorazioni o in aree di magazzino.

Un esempio applicativo consiste nell'individuazione di edifici o aree specifiche che ospitano apparecchiature in grado di generare campi elettromagnetici tali da determinare esposizioni superiori ai limiti previsti per la popolazione generale, anche se tali valori non vengono superati in tutto l'ambiente circostante. In questi casi, il datore di lavoro può stabilire misure di controllo dell'accesso, limitandolo a determinate categorie di persone, come i lavoratori autorizzati, oppure escludendo individui particolarmente sensibili ai CEM, quali portatori di pacemaker o protesi metalliche.

La suddivisione in zone e la loro localizzazione all'interno del luogo di lavoro sono decisioni che spettano al datore di lavoro, il quale deve valutare le misure di prevenzione e protezione da adottare, comprese eventuali azioni da intraprendere ai confini delle aree individuate, in conformità alla normativa vigente e ai risultati della valutazione dei rischi.

9.2 Formazione

La prevenzione dei rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) non si limita all'adozione di misure tecniche e organizzative, ma comprende anche un'adeguata informazione e formazione dei lavoratori. Il Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro (D.Lgs. 81/08, Articolo 210-bis) stabilisce che il datore di lavoro è tenuto a garantire che tutti i lavoratori potenzialmente esposti ricevano istruzioni chiare e dettagliate in merito ai possibili rischi per la salute e alle misure di prevenzione adottate.

La formazione deve essere adeguata al livello di rischio presente nel luogo di lavoro e deve permettere ai lavoratori di acquisire consapevolezza sugli effetti indiretti dell'esposizione ai campi elettromagnetici, come le interferenze con dispositivi elettronici, il rischio di propulsione di oggetti ferromagnetici o l'attivazione involontaria di impianti medicali quali pacemaker o effetti sulle protesi

metalliche, sulla possibile insorgenza di sintomi transitori, tra cui disturbi neurologici come parestesie, vertigini, effetti sul sistema nervoso centrale o periferico e alterazioni della percezione sensoriale, nonché la formazione sui rischi specifici per gruppi di lavoratori vulnerabili, come soggetti con dispositivi medici impiantati e donne in gravidanza, per i quali possono essere necessarie misure di tutela aggiuntive.

Per essere efficace, la formazione deve trattare almeno i seguenti aspetti:

- Misure di prevenzione e protezione per ridurre l'esposizione ai CEM, in conformità alla normativa vigente.
- Concetti fondamentali sui parametri di sicurezza, come i Valori Limite di Esposizione (VLE) e i Livelli di Azione (LA), oltre alle strategie di mitigazione del rischio.
- Metodi di valutazione dell'esposizione, comprendenti misurazioni, monitoraggi e calcoli basati su standard tecnici specifici.
- Procedure di sicurezza da adottare, con particolare attenzione alle aree a rischio maggiore e ai comportamenti da seguire per ridurre l'esposizione.
- Sorveglianza sanitaria e diritti dei lavoratori, in merito alla possibilità di sottoporsi a controlli medici specifici in caso di esposizione prolungata o sintomi riconducibili ai CEM.

9.3 Segnaletica

L'adozione di una segnaletica adeguata nei luoghi di lavoro con esposizione a campi elettromagnetici (CEM) è una misura essenziale per la prevenzione dei rischi. I segnali e gli avvisi consentono di identificare aree potenzialmente pericolose e di informare i lavoratori sulle precauzioni da adottare.

L'efficacia della segnaletica dipende dalla sua visibilità e chiarezza: deve essere posizionata in modo strategico, preferibilmente all'altezza degli occhi, e riportare simboli comprensibili e conformi alla

normativa vigente. In alcuni casi, per migliorare la comprensione, può essere utile integrare la segnaletica con avvisi testuali esplicativi.



Figura 8 Cartelli di avvertimento standard affissi in relazione ai campi elettromagnetici

(Fonte: <https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=14741&langId=it>)

In figura 5 e 6 sono riportati alcuni esempi di segnali di sicurezza relativi ai campi elettromagnetici, suddivisi tra segnali di avvertimento e segnali di divieto, utili per la protezione dei lavoratori e la corretta gestione delle aree a rischio.



Figura 9 Cartelli di divieto standard affissi in relazione ai campi elettromagnetici

(Fonte: <https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=14741&langId=it>)

9.4 Misure di protezione

Non esistono al momento dispositivi di protezione individuali specifici per la diretta protezione dell'individuo. Per le sorgenti di piccole dimensioni, quali quelle utilizzate nell'industria, è possibile in alcuni casi, costruire schermature per il campo elettromagnetico emesso. Esse vanno realizzate, dove opportuno, intorno alla sorgente.

In 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. Ad esempio prevedendo la riduzione della potenza della sorgente in caso di avvicinamento di persone. Misure quali limitazioni agli accessi e l'uso di opportuna segnaletica acustica e visiva sono utili per

evitare esposizioni 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 impiantabili.

10. | TECNOLOGIE DI SALDATURA: GENERALITÀ, CLASSIFICAZIONI E APPLICAZIONI

10.1 Introduzione alla saldatura

Le saldatrici sono tra le attrezzature di lavoro che richiedono un attento monitoraggio del campo elettromagnetico emesso nel contesto lavorativo, soprattutto per il possibile superamento dei valori limite stabiliti delle linee guida ICNIRP 1998. Questo è dovuto al fatto che la corrente di saldatura genera campi elettromagnetici elevati durante i processi di saldatura essendo non trascurabile il valore della corrente di utilizzata.

Dato il pericolo insito in questi apparecchi dovuto ai campi elettromagnetici che possono essere intensi e al fatto che l'operatore il più delle volte tiene in mano l'elettrodo per saldare, occorre prudenza nell'utilizzo di queste apparecchiature. Per questo è essenziale analizzare le motivazioni che possono portare al superamento dei limiti normativi e confrontare i diversi tipi di saldatura. Per iniziare, è opportuno definire che cos'è la saldatura e fornire una classificazione chiara delle principali tecniche di saldatura.

La saldatura rappresenta una tecnica essenziale per unire permanentemente tra di loro componenti metallici. Essa avviene tramite l'applicazione di calore, talvolta con l'ausilio di un materiale aggiuntivo chiamato metallo d'apporto. Questo materiale, allo stato liquido, riempie le superfici di contatto dei pezzi da unire, adeguatamente preparate mediante specifiche configurazioni geometriche (cianfrinature) come quelle riportate in Figura 7.

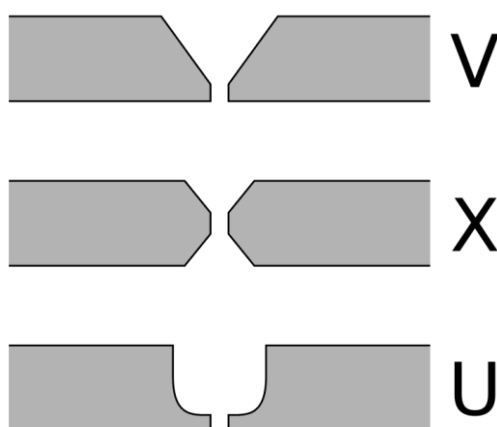


Figura 10 Geometrie di cianfrinatura nei giunti saldati (Fonte: Cianfrinatura - Wikipedia)

Queste configurazioni, ottimizzate per lo spessore dei componenti, consentono di facilitare il processo di saldatura e garantire una solida connessione meccanica.

La solidificazione del metallo fuso genera il cosiddetto cordone di saldatura, una struttura fondamentale che determina la continuità del giunto saldato e le proprietà meccaniche della connessione. Esistono diverse posizioni e tipologie di giunti di saldatura, riportate rispettivamente in Figura 8 e in Figura 9 classificate in base alla configurazione dei pezzi da unire.

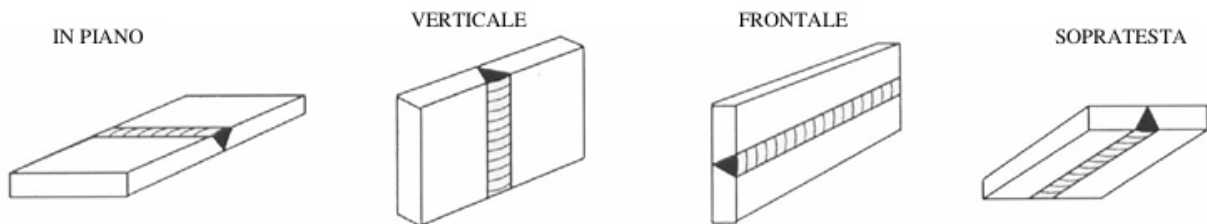


Figura 11 classificazione in base alla posizione di saldatura (Fonte: www.marconiprato.edu.it)

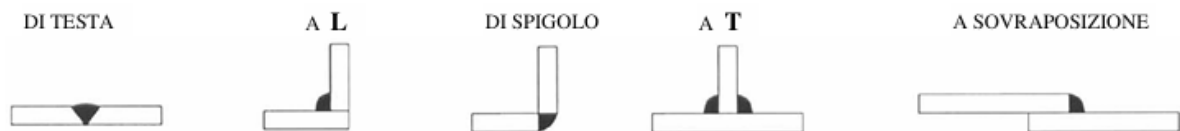


Figura 12 tipologie di giunto saldato (Fonte: www.marconiprato.edu.it)

10.2 Saldabilità dei materiali

La saldabilità è definita come l'attitudine di un materiale a formare giunzioni durevoli senza perdita delle caratteristiche meccaniche originali. Questo aspetto dipende da fattori quali:

- Temperatura di fusione del metallo e degli ossidi che si formano durante il processo di saldatura.
- Conducibilità termica ed elettrica del materiale.
- Trasformazioni strutturali che si verificano durante il processo di saldatura.

Materiali con un'alta conducibilità termica, come il rame e l'alluminio, richiedono tecniche specifiche per minimizzare problematiche di fusione incompleta o inclusione di ossidi.

10.3 Classificazione dei processi di saldatura

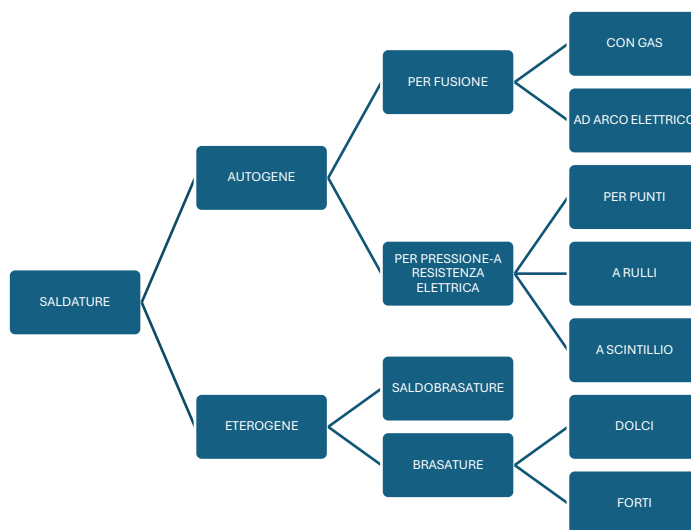


Grafico 1 classificazione dei processi di saldatura

In base al coinvolgimento del metallo di base nella formazione del giunto, è possibile classificare i processi di saldatura come segue:

4. Saldature autogene: In questo caso il metallo di base partecipa attivamente alla formazione del giunto fondendo durante il processo. La presenza del metallo d'apporto dipende dal procedimento utilizzato e dallo spessore dei pezzi. Quando presente, il metallo d'apporto ha una composizione simile a quella del metallo di base per garantire continuità strutturale e resistenza meccanica equivalenti a quelle dei materiali saldati.
5. Saldature eterogene: In questo tipo di saldature il metallo di base non partecipa alla formazione del giunto. Il cordone di saldatura è formato esclusivamente dal metallo d'apporto che ha una temperatura di fusione inferiore rispetto al metallo base.

In base allo stato fisico dei pezzi durante l'unione, si distinguono per quanto riguarda le saldature autogene:

- Saldature per fusione: I materiali vengono uniti nello stato liquido. Il calore necessario alla fusione del metallo può essere generato da una fiamma (saldature a gas) o da un arco elettrico (saldature ad arco).
- Saldature a pressione: I materiali vengono connessi in uno stato pastoso, raggiunto generalmente grazie all'effetto Joule, attraverso il passaggio di corrente elettrica.

Tra tutti i tipi di saldatura, la nostra analisi si concentrerà principalmente sulle saldature TIG e MIG/MAG, in quanto queste tecniche, basandosi sull'uso di energia elettrica, sono le principali responsabili della generazione di campi magnetici di elevata intensità.

10.4 Saldatura TIG (Tungsten Inert Gas)

La saldatura TIG (Tungsten Inert Gas) è una tecnica che utilizza un arco elettrico generato tra un elettrodo infusibile in tungsteno e il metallo di base. Questo processo avviene in un ambiente protetto da gas inerti come argon, elio o una loro miscela, che impediscono l'ossidazione del bagno di fusione e garantiscono la qualità del cordone.

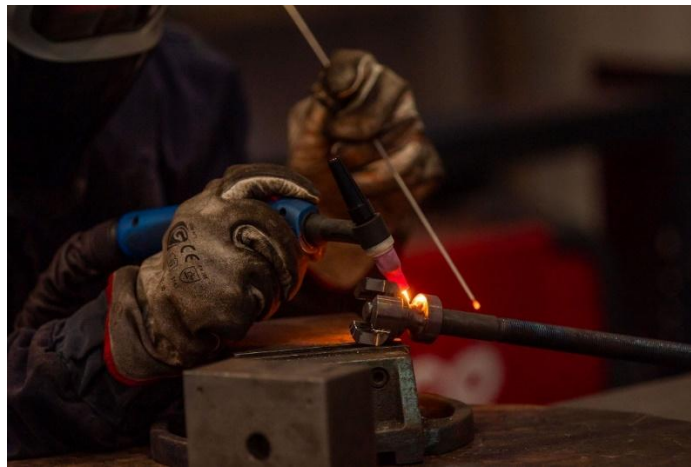


Figura 13 Saldatura Tig (Fonte: Saldatura a Tig Torino e provincia - TLM srl)

10.4.1 Caratteristiche principali

L'elettrodo in tungsteno non partecipa alla fusione, mantenendo una stabilità termica elevata grazie al suo alto punto di fusione. Il metallo d'apporto, utilizzato nei casi di spessori superiori a 1 mm, viene introdotto manualmente sotto forma di bacchette o automaticamente sotto forma di filo. Questo processo è caratterizzato da un'alta precisione e permette di ottenere giunti di saldatura estremamente puliti, privi di inclusioni o difetti superficiali.

Gli elettrodi possono essere:

- Tungsteno puro: adatto per applicazioni meno critiche con il vantaggio di un costo inferiore.
- Tungsteno con zirconio: utilizzato per saldature che richiedono maggiore stabilità dell'arco e correnti più basse. Ideale per spessori sottili.

- Tungsteno con torio: scelto per la saldatura in corrente alternata e quando si richiedono prestazioni intermedie.

10.4.2 Materiali adatti e applicazioni

La saldatura TIG è ideale per materiali difficili come leghe di alluminio, magnesio, titanio e zirconio, poiché l'atmosfera inerte impedisce reazioni chimiche indesiderate durante il processo. Questa tecnica è particolarmente indicata per saldature di precisione su spessori sottili, come nella produzione aerospaziale, medica e di componenti elettronici.

Tuttavia, per spessori superiori a 3 mm (medi) e oltre i 6 mm (grandi), il processo risulta meno conveniente dal punto di vista economico e del tempo richiesto, rispetto ad altre tecniche come MIG o arco sommerso.

10.4.3 Vantaggi e limitazioni

I principali vantaggi del processo TIG includono:

- Elevata qualità del giunto saldato, con una finitura pulita e priva di scorie.
- Capacità di saldare materiali altamente reattivi.
- Maggiore controllo del processo
- Ideale per applicazioni di precisione.

Tra le limitazioni si evidenziano:

- Costi elevati legati al gas protettivo e all'attrezzatura necessaria.
- Bassa velocità di deposizione, che ne limita l'efficienza su spessori elevati.

10.5 Saldatura MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas)

La saldatura MIG/MAG rappresenta una delle tecniche più versatili e produttive, particolarmente adatta per lavorazioni su larga scala. Questo processo utilizza un arco elettrico generato tra un elettrodo consumabile (sotto forma di filo continuo) e il metallo base. Il filo funge sia da sorgente di calore che da metallo d'apporto, semplificando l'intero procedimento.

10.5.1 Differenza tra MIG e MAG

La distinzione tra MIG e MAG si basa sul tipo di gas utilizzato:

- MIG (Metal Inert Gas): utilizza gas inerti come argon o elio, che proteggono il bagno di fusione dall'aria atmosferica, creando un'atmosfera inerte localizzata. È preferito per materiali non ferrosi, come alluminio, rame e acciai inossidabili.
- MAG (Metal Active Gas): utilizza gas attivi come l'anidride carbonica (CO₂) o miscele gassose, che interagiscono chimicamente con il bagno di fusione. È ideale per acciai dolci o a basso tenore di carbonio. È più economica grazie al costo inferiore dei gas utilizzati.

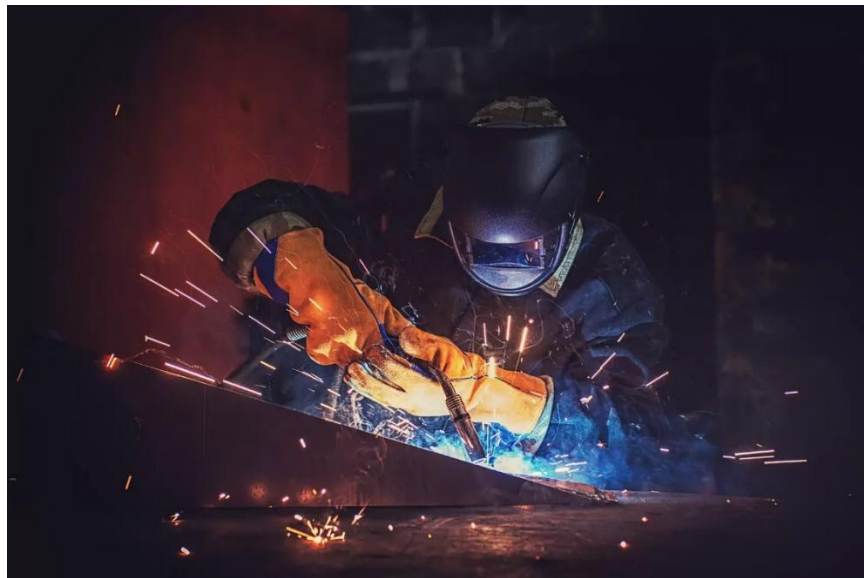


Figura 14 Saldatura Mig-Mag (Fonte: Saldatura MIG/MAG: tutto quello che devi sapere | expondo.it)

10.5.2 Modalità operative

Il trasferimento del metallo d'apporto avviene attraverso diverse modalità, a seconda della tensione e della corrente utilizzate:

1. Modalità Short Arc: caratterizzata da basse tensioni (<20 V) e correnti ridotte. Le gocce di metallo d'apporto si trasferiscono al bagno di fusione tramite brevi cortocircuiti, rendendo questa modalità adatta per spessori sottili e saldature in posizioni complesse.
2. Modalità Spray Arc: richiede tensioni elevate (>25 V) e correnti maggiori. Il metallo d'apporto si trasferisce sotto forma di numerose gocce fini, garantendo una fusione omogenea e una maggiore velocità di deposizione. Questa modalità è ideale per spessori elevati e saldature piane.

10.5.3 Vantaggi e limitazioni del processo MIG/MAG

Rispetto ad altre tecniche, il processo di saldatura MIG/MAG offre diversi vantaggi:

- Elevata velocità di esecuzione, grazie all'elettrodo che lavora in continuo.
- Possibilità di saldare una vasta gamma di materiali, dalle leghe leggere agli acciai.
- Facilità di automazione, rendendolo ideale per applicazioni industriali su larga scala.

Nonostante i numerosi vantaggi, questa tecnica presenta alcune limitazioni:

- Necessità di apparecchiature costose e complesse.
- Difficoltà nel saldare in aree difficilmente accessibili.
- La rapidità di raffreddamento del bagno di fusione può generare tensioni interne nel giunto, causando potenziali difetti, specialmente negli acciai con medio tenore di carbonio.

11. | ANALISI DELLA FREQUENZA DI FUNZIONAMENTO NELLA SALDATURA MIG/MAG E TIG

La frequenza di funzionamento nella saldatura rappresenta un aspetto fondamentale per comprendere le caratteristiche elettriche e il comportamento del processo di fusione. Nel caso della saldatura MIG/MAG, la corrente utilizzata è prevalentemente continua, con il polo positivo sulla torcia e il negativo sul pezzo da lavorare. Tuttavia, in alcuni casi particolari, come nella saldatura di lamiere di alluminio sottili, si possono adottare configurazioni in corrente alternata. La presenza di una frequenza caratteristica nel processo MIG/MAG non è legata alla frequenza della corrente di rete, bensì ad altri fattori che determinano il trasferimento del materiale d'apporto e la stabilità dell'arco elettrico.

Nella saldatura MIG/MAG, le frequenze osservate derivano principalmente dal fenomeno del trasferimento delle gocce di metallo fuso dall'elettrodo al bagno di fusione. Questo trasferimento può avvenire con diverse modalità, tra cui il corto circuito, lo spray arc e la pulsazione controllata. Nel caso del corto circuito, il filo dell'elettrodo tocca il bagno di fusione e si scioglie rapidamente, ristabilendo il contatto in cicli molto brevi. Questo genera una frequenza caratteristica compresa tipicamente tra i 20 e i 200 Hz, a seconda delle impostazioni del generatore e delle condizioni operative. In modalità pulsata, invece, il generatore imposta una serie di impulsi di corrente che regolano il distacco delle gocce di metallo, producendo frequenze generalmente comprese tra 50 e 300 Hz, con possibilità di raggiungere valori più elevati nei casi di saldatura di materiali particolari come l'alluminio.

Un aspetto importante da considerare è l'influenza del sistema di alimentazione del generatore di saldatura. I moderni generatori ad inverter possono introdurre componenti di frequenza aggiuntive legate alla modulazione della tensione e alla gestione elettronica dell'arco. Questo spiega perché nei dati raccolti tramite oscilloscopio si osservano spesso frequenze intorno ai 150-250 Hz, valori tipici di una saldatura MIG/MAG in modalità pulsata. Questi valori indicano che il processo è probabilmente ottimizzato per garantire un trasferimento controllato del metallo, migliorando la stabilità dell'arco e la qualità della saldatura.

12. | ANALISI DATI

Nel contesto di questo studio, ho avuto l'opportunità di approfondire l'analisi e la relazione tra le sorgenti di campi elettromagnetici e il rischio associato per i lavoratori esposti. In questa sezione, presento i dati raccolti e l'elaborazione effettuata sui campioni analizzati.

12.1 Caso di studio 1

La prima azienda presso cui sono state condotte le misurazioni è leader nel settore della produzione di componenti oleodinamici, come pistoni e centraline per ascensori.

All'interno dell'azienda, come evidenziato nella Tabella 2 e nel Grafico 2, è stato evidenziato che la mansione maggiormente esposta ai campi elettromagnetici è quella del saldatore. La sezione che segue riporta l'elenco dettagliato delle apparecchiature analizzate, con particolare attenzione ai valori più significativi emersi dalle misurazioni.

Tipologia Sorgente	Sorgenti Campionate Caso di studio 1
Quadro principale	4
Saldatrice	10
Forno elettrico	1
Totale	15

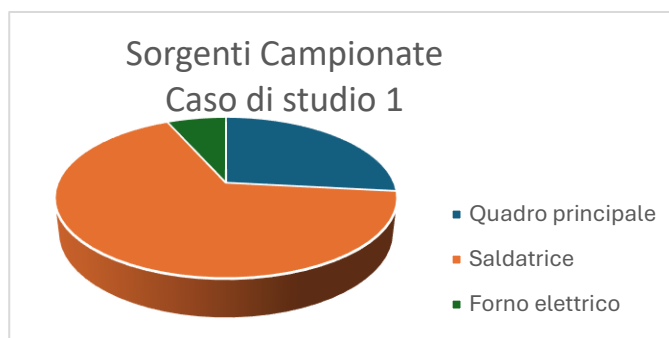


Tabella 2 Elenco e istogramma delle sorgenti campionate nell'azienda Moris

Grafico 1 Istogramma rappresentativo delle sorgenti campionate in Crealis

Mentre nei grafici precedenti si è fornita una visione generale delle sorgenti analizzate, nella tabella 3 viene presentata un'analisi dettagliata delle apparecchiature specifiche. Per ogni sorgente campionata, vengono riportate la tipologia, la frequenza principale (identificata con quella di intensità maggiore) e i valori degli indici di picco ponderato misurati.

Questi dati sono confrontati sia con i limiti previsti dalle linee guida ICNIRP 1998, sia con i valori di azione inferiori definiti dalla Direttiva 2013/35/UE. Inoltre, per le sorgenti che emettono campi magnetici statici, è stato incluso il valore misurato. Questa analisi consente una valutazione più precisa delle sorgenti e delle loro caratteristiche, evidenziando eventuali criticità rispetto ai limiti normativi.




ID	DESCRIZIONE PUNTO DI MISURA	Freq. Principal e [Hz]	ICNIRP 1998 (Metodo del picco ponderato)		2013/35/UE (Metodo del picco ponderato)		H [uT] Statico	Frequenze
			Campo magnetico [%]	Campo elettrico [%]	Campo magnetico [%]	Campo elettrico [%]		
1	Lincoln Power Wave 405.	150	284,8	11,1	3,6	4,1	78,4	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
2	Lorsch S3 Speed- Pulse MicroMIG	161	156,3	17,0	3,4	3,8	110,9	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
3	Lorsch S3 Speedpulse.	170	252,5	12	5,2	4,1	116,2	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
4	Lorsch S3 Speedpulse	390	78,9	15,1	2,7	4,4	91,2	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
5	Lincoln S350 Power Wave	340	456,3	8	9,5	4,1	171,0	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
6	Forno a induzione	2600	220,4	129,0	9,5	71,8	85,8	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
7	Remasald WF200	170	49,7	13,8	0,5	6,4	74,3	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
8	Lastek 4020	10	290,7	8,1	6,6	9,3	109,9	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
9	Weldtronic	50	28,6	9,8	2,2	4,6	92,8	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
10	Saldatrice automatica Lastek	300	39,6	8,6	1,5	4	102,9	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
11	Saldatrice automatica Yaskawa	300	25	7,7	0,2	4	92,8	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
12	Quadro elettrico sx Padiglione 1	50	9,3	8,1	0,5	4,3	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
13	Quadro elettrico dx Padiglione 1	50	17,7	8,4	0,9	4,2	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
14	Quadro elettrico vicino alla macchinetta del caffè Padiglione 2	50	32,0	7,7	2,5	4,0	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
15	Quadro elettrico lato E-TRONIC Padiglione 2	50	28,6	8,1	1,1	4,2	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz-10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz

Tabella 3 Elenco dettagliato delle sorgenti campionate e nell'azienda Moris

LEGENDE**Parametri**

- E: campo elettrico in [V/m]
- H: campo magnetico statico in [T]
- B: induzione magnetica in [T]

RISCHIO RESIDUO

	NESSUN LIMITE SUPERATO
	SUPERATI I LIMITI PER LA POPOLAZIONE
	SUPERATI I LIMITI PER I LAVORATORI

12.1.1 Analisi dei superamenti rispetto ai limiti ICNIRP 1998

Campo magnetico

Osservando la quarta colonna della tabella, si evidenzia che alcune sorgenti superano i limiti normativi definiti dall'ICNIRP del 1998 per la popolazione generale e per i lavoratori sensibili. Questi limiti sono rappresentati nel grafico come il 100%. In particolare, si nota un superamento significativo nel caso del campo magnetico, con:

- Sorgente 1 ("Lincoln Power Wave 405"), che raggiunge un valore dell'indice di picco ponderato pari al 284,8%, superando di oltre due volte il limite.
- Sorgente 2 ("Lorsch S3 Speed-Pulse MicroMIG", che raggiunge un valore dell'indice di picco ponderato pari al 156,3% e superando di oltre una volta e mezza il limite.
- Sorgente 5 ("Lincoln S350 Power Wave"), che raggiunge un valore dell'indice di picco ponderato pari al 456,3%, superando di oltre quattro volte il limite.
- Sorgente 6 ("Forno a induzione"), che presenta un valore dell'indice di picco ponderato pari al 220,4%, anch'esso ben oltre il limite previsto.
- Sorgente 8 ("Lastek 4020"), che presenta un valore dell'indice di picco ponderato pari al 290,7%, un valore quasi tre volte superiore al limite.

Campo elettrico

Per tutte le sorgenti misurate, i valori del campo elettrico sono risultati generalmente di lieve entità, restando ampiamente al di sotto dei limiti normativi. L'unica sorgente che ha evidenziato un superamento della soglia critica è stata il forno a induzione, che ha registrato un valore dell'indice di picco ponderato del 129,0%, superando significativamente il valore del limite consentito per la popolazione.

12.1.2 Verifica secondo Direttiva 2013/35/UE

I valori riportati nella tabella, che indicano gli indici di picco ponderato per il campo magnetico e campo elettrico espressi in percentuale (presenti nella colonna 6 e 7), in confronto dei livelli di azione inferiori, mostrano che tutte le sorgenti misurate risultano ben al di sotto della soglia critica del 100%.

- Campo Magnetico: i valori variano tra 0,2% e 9,5% del limite, con un'incisività molto bassa rispetto al limite normativo, indicando che non vi sono valori critici.
- Campo Elettrico: i valori vanno da 4,0% a 71,8%, ma anche in questo caso, tutte le misurazioni si mantengono sotto il limite di azione inferiore, senza alcun superamento dei valori previsti dalla normativa.

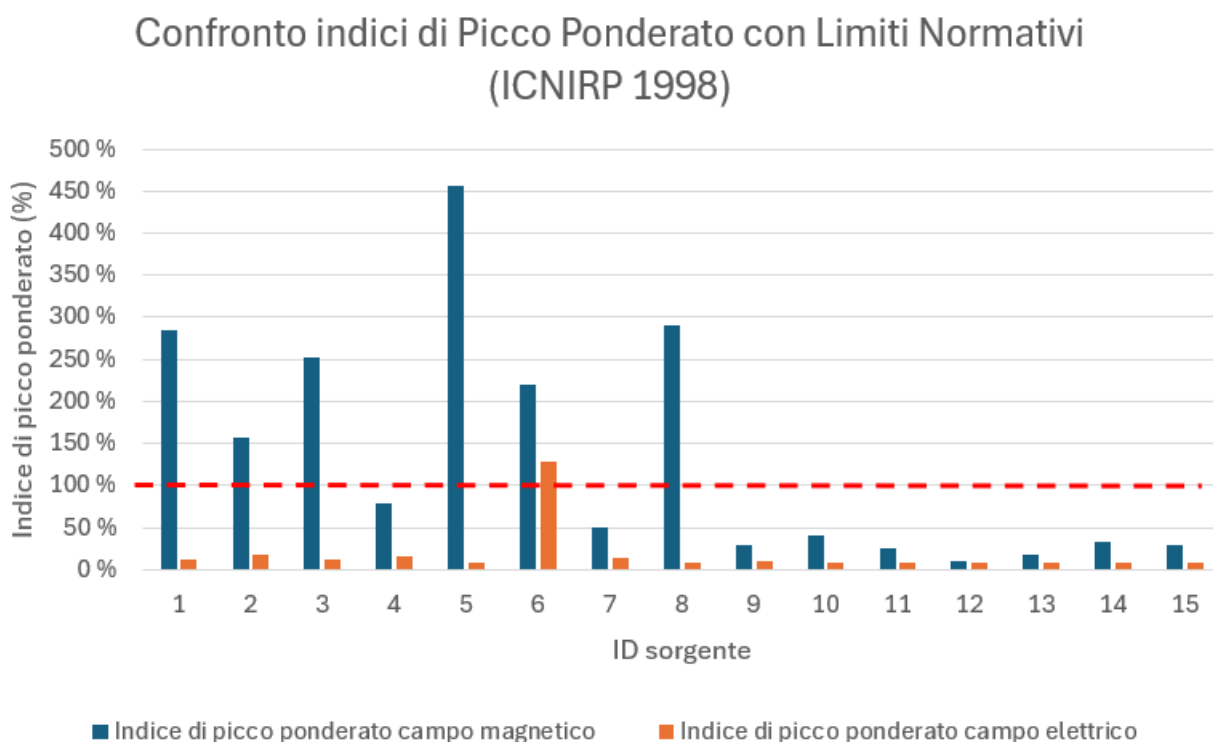


Grafico 2 Confronto indici di picco ponderato con limiti normativi (ICNIRP 1998)

Tutte queste indicazioni sono facilmente visibili tramite il grafico esposto qui sopra e il grafico mostrato qui sotto, ognuno relativo al suo limite normativo. Il grafico posto sopra è relativo al confronto degli indici di picco ponderato con i limiti normativi ICNIRP 1998. Mentre il grafico sottostante serve per verificare il rispetto dei livelli di azione inferiori dettati dalla 2013/35/UE.

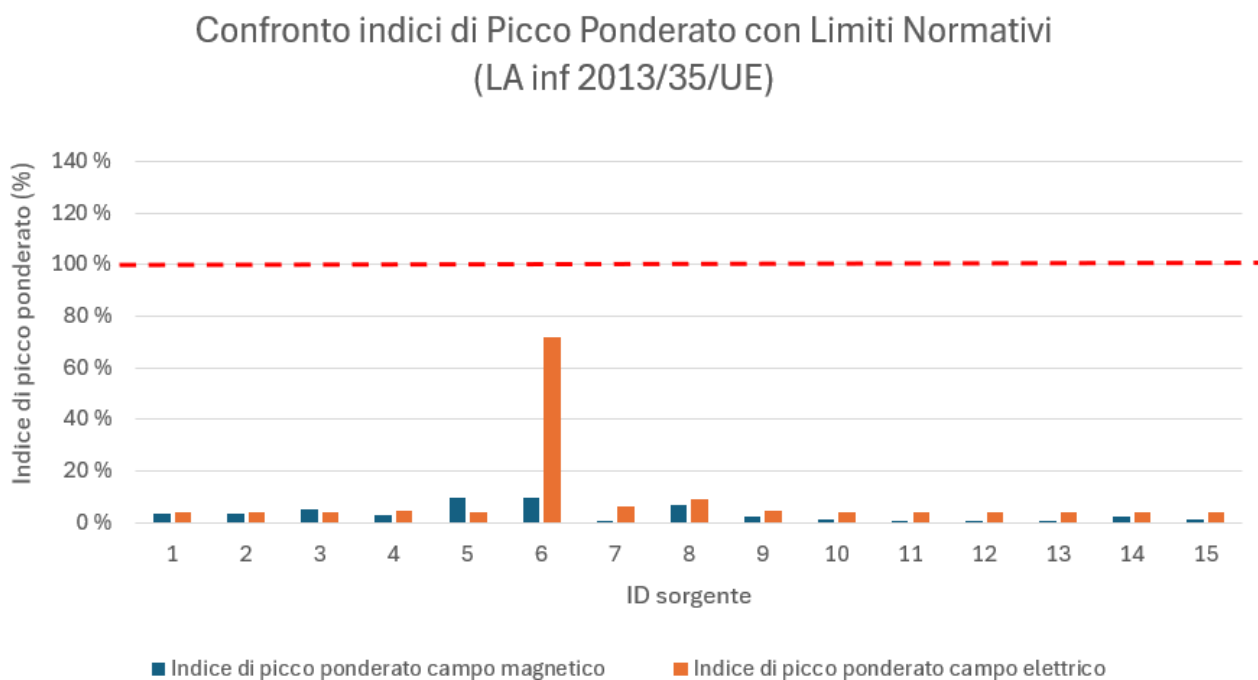


Grafico 3 Confronto indici di picco ponderato con limiti normativi (LA inf 2013/35/UE)

12.2 Confronto con il campo magnetico terrestre

Il campo magnetico terrestre ha un valore medio di circa 45 μT in Italia, rappresentando il livello naturale di riferimento per qualsiasi misurazione di campi magnetici statici in ambienti industriali. Tuttavia, la presenza di apparecchiature elettriche, come le saldatrici, può influenzare significativamente il campo magnetico statico locale, generando variazioni misurabili rispetto al valore di fondo terrestre.

Per quantificare l'influenza delle saldatrici sul campo magnetico statico, è stato misurato il campo magnetico statico nella postazione dell'operatore per la valutazione del rischio da esposizione ai campi elettromagnetici. Il valore del campo magnetico terrestre è stato assunto costante a 45 μT , mentre le misurazioni effettive hanno registrato valori superiori, evidenziando un incremento dovuto all'attività delle saldatrici.

Dai dati raccolti e riportati nella Tabella 1, si osserva che il campo magnetico statico misurato nelle vicinanze delle saldatrici supera frequentemente il valore di riferimento del campo magnetico terrestre. L'incremento del campo magnetico varia a seconda del modello della saldatrice e della tecnologia utilizzata. Questi dati mostrano come le saldatrici possano generare campi magnetici aggiuntivi significativi rispetto al fondo terrestre, influenzando l'ambiente di lavoro.

L'analisi della Tabella 3 mostra che il campo magnetico statico misurato nelle postazioni di saldatura varia significativamente tra i diversi modelli di macchine. In alcuni casi, il campo magnetico totale misurato supera i 100 μT , con differenze rispetto al valore terrestre che possono raggiungere i 126 μT . Queste differenze suggeriscono che l'incremento del campo magnetico non è uniforme e dipende da diversi fattori, tra cui l'intensità della corrente continua della saldatrice e la tecnologia impiegata. La presenza di un forno a induzione (punto di misura 6) con un campo magnetico totale misurato di 85,8 μT e una differenza di 40,8 μT rispetto al valore terrestre conferma che anche altre apparecchiature industriali possono contribuire al campo magnetico statico. Le saldatrici automatiche mostrano incrementi variabili, con differenze rispetto al valore terrestre che si collocano tra i 50 e i 60 μT nei casi più rilevanti.

L'analisi dei dati ha confermato che le saldatrici generano un incremento significativo del campo magnetico statico rispetto al valore terrestre di riferimento. Ma questa differenza, che può superare i 100 μT in alcuni casi, non risulta superare i limiti e quindi almeno in questi casi non ci sono esposizioni rilevanti che inficino la salute e la sicurezza dei lavoratori.

\square	DESCRIZIONE PUNTO DI MISURA	H terrestre [μ T]	Campo statico H [μ T]	Differenza tra il campo magnetico emesso dall'attrezzatura e il campo magnetico terrestre [μ T]
1	Lincoln Power Wave 405.	45	78,4	33,4
2	Lorsch S3 Speed-Pulse MicroMIG	45	110,9	65,9
3	Lorsch S3 Speedpulse.	45	116,2	71,2
4	Lorsch S3 Speedpulse	45	91,2	46,2
5	Lincoln S350 Power Wave	45	171	126
6	Forno a induzione	45	85,8	40,8
7	Remasald WF200	45	74,3	29,3
8	Lastek 4020	45	109,9	64,9
9	Weldtronic	45	92,8	47,8
10	Saldatrice automatica Lastek	45	102,9	57,9
11	Saldatrice automatica Yaskawa	45	92,8	47,8

Tabella 4 Campo magnetico statico effettivo emesso dalle attrezzature

12.3. Analisi delle Frequenze delle Saldatrici Campionate

Dai dati raccolti tramite l'analisi delle forme d'onda e della scomposizione in frequenza del campo magnetico, è stato possibile individuare le frequenze principali di ogni saldatrice, sia tramite la sonda elettromagnetica che con l'oscilloscopio:


- Lincoln Power Wave 405 → 150 Hz (sonda), 149 Hz (oscilloscopio)
- Lorsch S3 Speed-Pulse MicroMIG → 161 Hz (sonda), 148,6 Hz (oscilloscopio)
- Lorsch S3 Speedpulse → 170 Hz (sonda), 163,8 Hz (oscilloscopio)
- Lincoln S350 Power Wave → 130 Hz (sonda), 246 Hz (oscilloscopio, calcolato con il periodo)
- Lastek 4020 → 10 Hz (sonda), 23 Hz (oscilloscopio)

L'analisi dei dati ha permesso di confermare che tutte le saldatrici campionate rientrano nella categoria MIG/MAG, in quanto le frequenze osservate corrispondono a quelle tipiche di questa tecnologia. Non sono stati individuati valori che suggeriscano la presenza di saldatrici TIG, che si

caratterizzerebbero per frequenze diverse (50-60 Hz in AC, regolabili fino a 500 Hz nei sistemi più avanzati).

12.4 Analisi completa di una saldatrice manuale e una saldatrice automatica

La tabella seguente riporta un esempio di misurazione effettuata su una saldatrice manuale MIG-MAG. L'analisi ha lo scopo di valutare l'esposizione ai campi elettromagnetici generati durante l'operazione di saldatura, evidenziando i parametri rilevanti come la distanza operatore-sorgente, la il valore picco-picco della corrente (senza la parte continua) e i valori di riferimento per la sicurezza dei lavoratori e della popolazione. I dati acquisiti permettono di confrontare le emissioni con i limiti normativi stabiliti dalle direttive ICNIRP 1998 e 2013/35/UE, fornendo un quadro dettagliato dell'impatto del campo elettromagnetico in riferimento alla postazione di lavoro.

MISURAZIONE		n.3
MANSIONE	Saldatura	
ATTREZZATURA	Lorsch S3 Speedpulse.	
REPARTO	Pistoni	
REPORT		
FREQUENZA	<input type="checkbox"/> HIGH FREQUENCY <input checked="" type="checkbox"/> LOW FREQUENCY <input checked="" type="checkbox"/> DC	
DISTANZA OPERATORE-SORGENTE	50 cm	
ALTEZZA DA TERRA	150 cm	
TEMPO DI ACQUISIZIONE	60 s	
CORRENTE PICCO-PICCO(utilizzo tipico)	408 A	

VALORI DI RIFERIMENTO PER LA POPOLAZIONE (ICNIRP 98)			
Indice di Picco Ponderato C.M.+		Indice di Picco Ponderato C.E.	
Unità di misura	%	Unità di misura	%
Valore massimo	252,5	Valore massimo	12
VALORI DI RIFERIMENTO PER I LAVORATORI (2013/35/UE)			
Indice di Picco Ponderato C.M.		Indice di Picco Ponderato C.E.	
Unità di misura	%	Unità di misura	%
Valore massimo	5,2	Valore massimo	4,1
SCOMPOSIZIONE IN FREQUENZE DEL CAMPO MAGNETICO*			
Frequenza (Hz)		Livello di riferimento (uT)	
170		8,933	
340		2,408	
500		0,929	
840		0,517	
1030		0,280	

*fino alla frequenza f_i per cui $100 \cdot (B(f_i)/B_{max}) > 3\%$.

Le misurazioni delle componenti del campo magnetico sono state analizzate scomponendole nelle diverse frequenze presenti durante il funzionamento della saldatrice. I valori ottenuti non consentono un confronto diretto con i limiti normativi, ma permettono alla persona addetta alle misure di individuare la componente principale in frequenza, facilitando l'analisi delle emissioni elettromagnetiche e la comprensione delle caratteristiche del segnale generato dalla saldatrice.

Analisi in frequenza

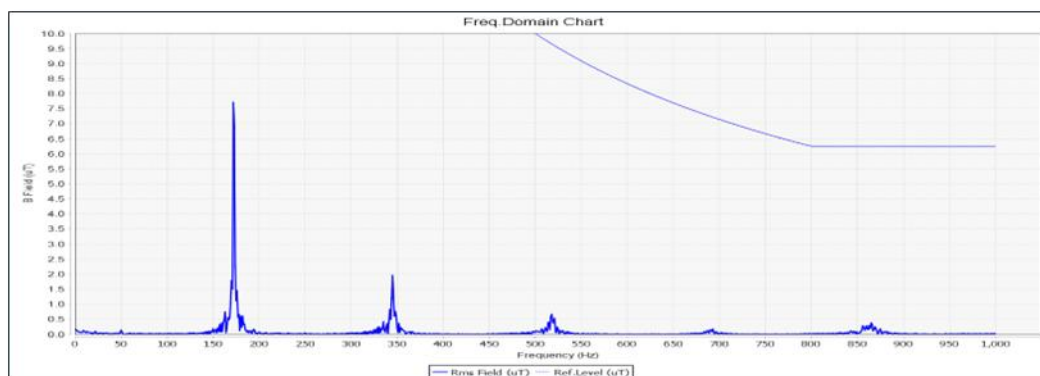


Figura 15 Analisi singola delle frequenze nel range del 1 kHz

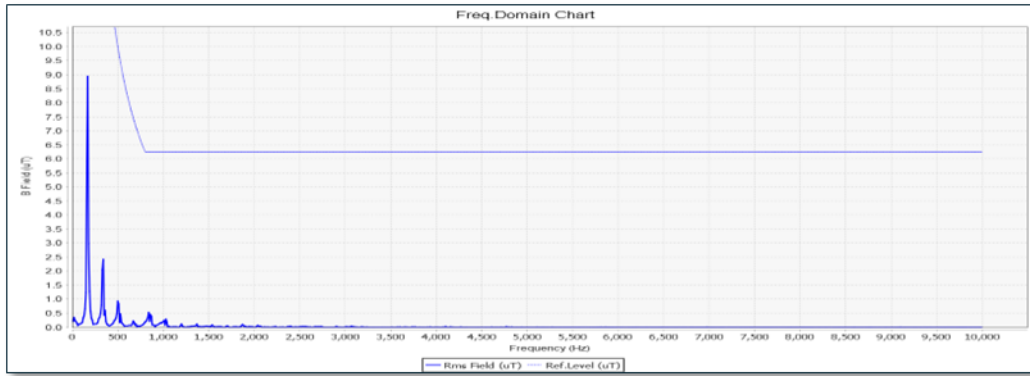


Figura 16 Analisi singola delle frequenze nel range dei 10 kHz

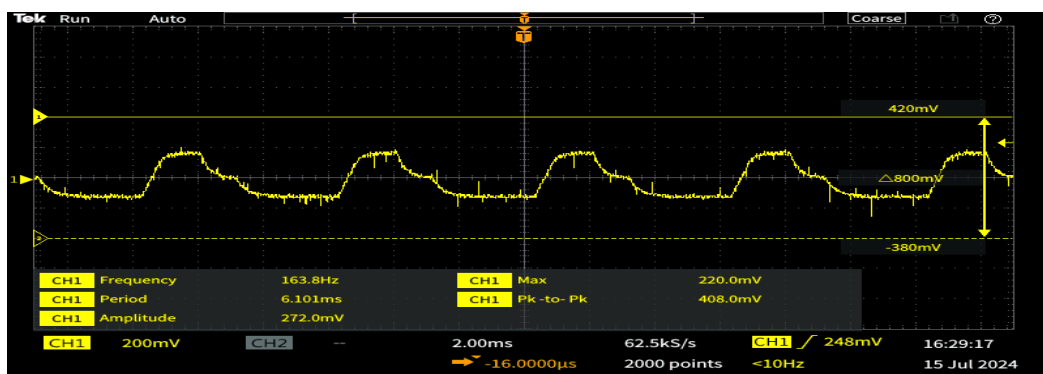


Figura 17 Screenshot oscilloscopio : tipica forma d'onda della corrente di saldatura. Ipk-pk=408 A

Analisi nel tempo

Limiti di riferimento: Icnirp 98

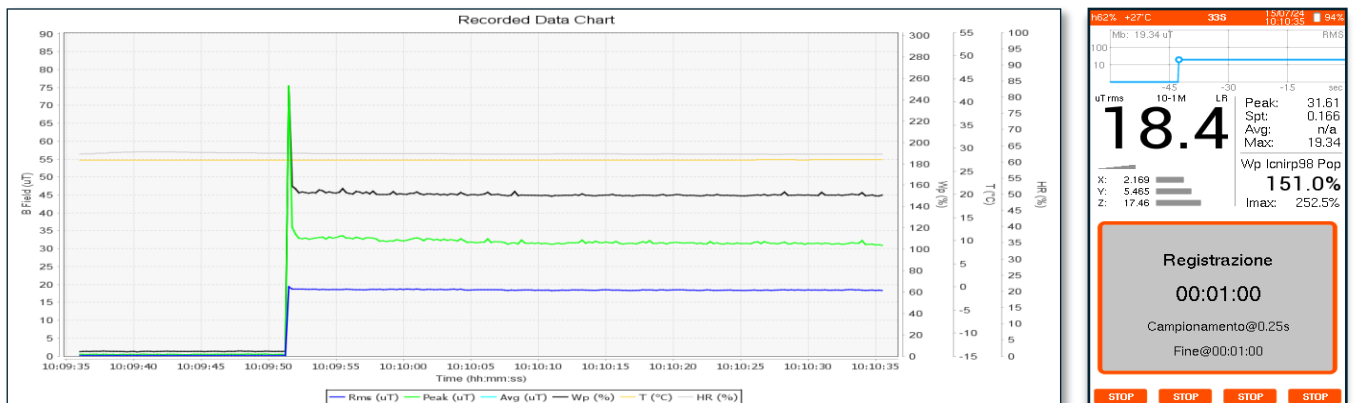


Figura 18 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo magnetico)

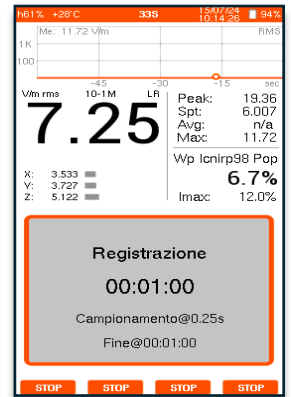
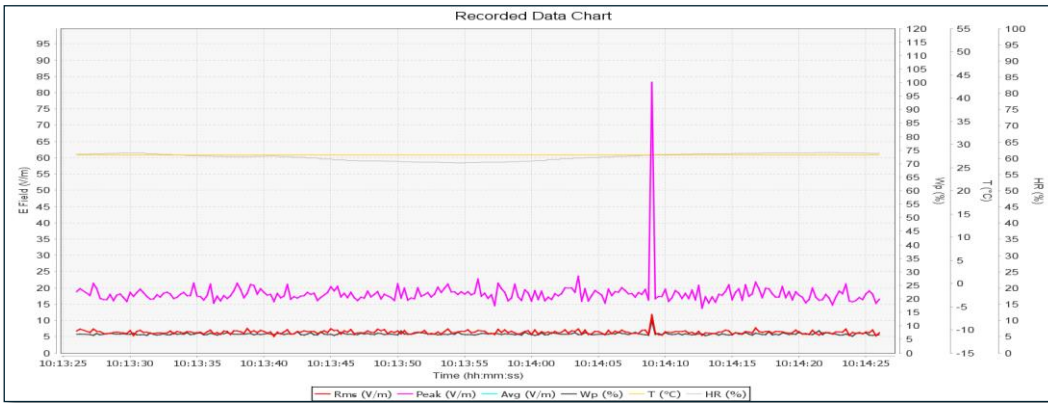


Figura 19 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo elettrico)

Confronto con i limiti di riferimento: 2013/35/UE

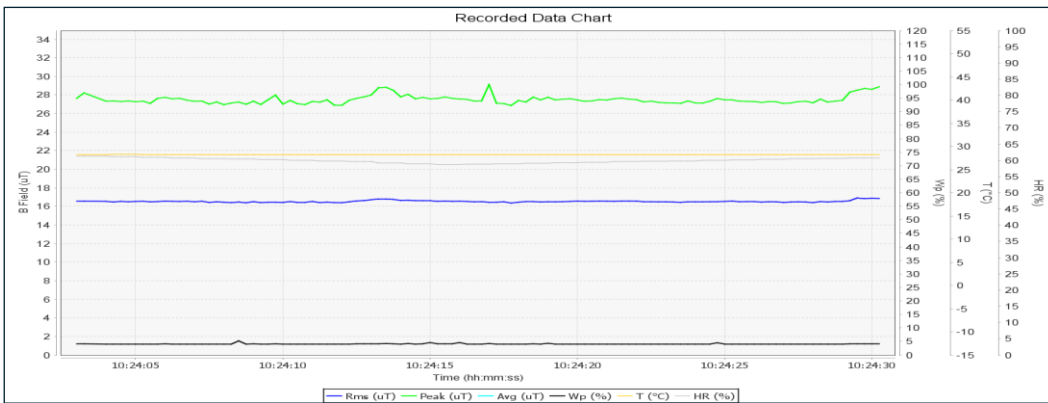


Figura 21 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo magnetico)

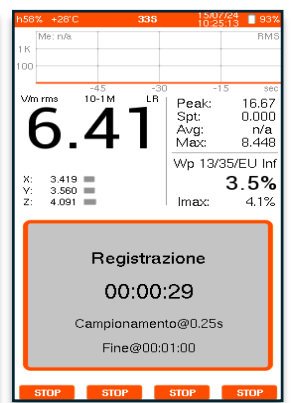
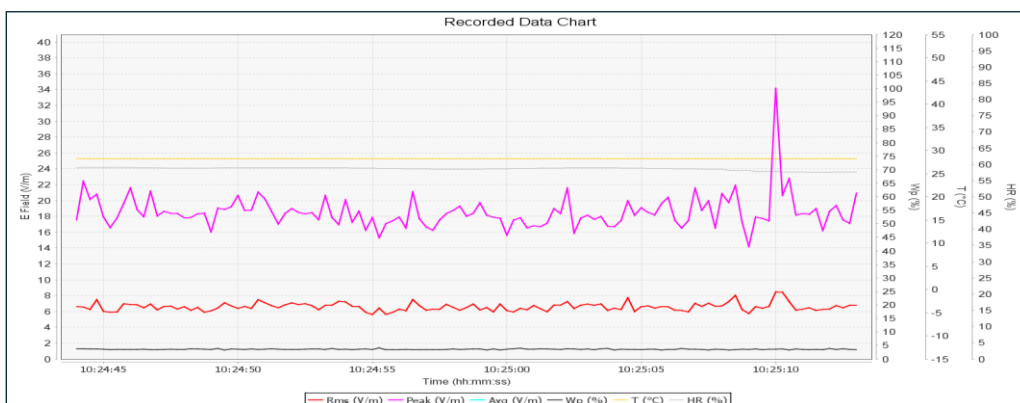


Figura 20 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo elettrico)

Componente DC del campo magnetico. Limiti di riferimento: ICNIRP 2009

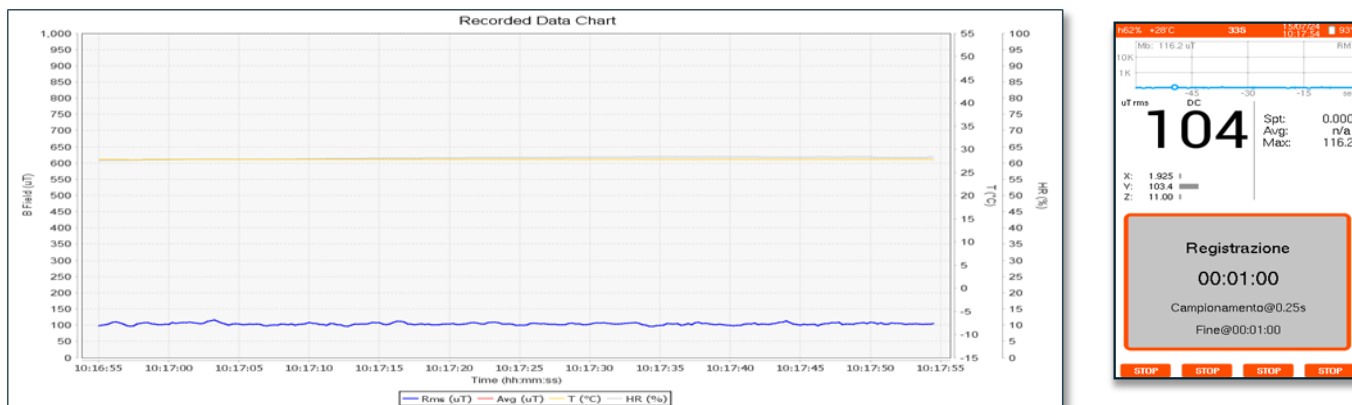


Figura 22 Analisi nel tempo del campo magnetico statico

Riassunto dei Risultati

Questa sezione integra la tabella riassuntiva, evidenziando se i valori dei campi magnetici ed elettrici rilevati superano o rientrano nei limiti di riferimento per la popolazione e i lavoratori. In base ai risultati ottenuti, viene assegnata una classe di rischio, distinguendo tra condizioni accettabili per i lavoratori e situazioni non compatibili con la sicurezza della popolazione o di soggetti particolarmente sensibili. Il superamento dei limiti impone l'adozione di misure di prevenzione e protezione.


RISULTATI	
CAMPI MAGNETICI PER LA POPOLAZIONE	
<input checked="" type="checkbox"/> SUPERATI (≥100%)	<input type="checkbox"/> NON SUPERATI(≤100%)
CAMPI ELETTRICI PER LA POPOLAZIONE	
<input type="checkbox"/> SUPERATI (≥100%)	<input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI(≤100%)
CAMPI MAGNETICI PER I LAVORATORI	
<input type="checkbox"/> SUPERATI (≥100%)	<input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI(≤100%)
CAMPI ELETTRICI PER I LAVORATORI	
<input type="checkbox"/> SUPERATI (≥100%)	<input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI(≤100%)

Valutazione effettuata col metodo del picco ponderato. Il superamento dei valori di azione determina l'obbligo di adottare una o più misure di prevenzione-sicurezza.

CLASSE DI RISCHIO DI APPARTENENZA

<p>ACCETTABILE PER I LAVORATORI</p>	<p>Sorgenti per cui non sono superati i valori di azione per i lavoratori professionalmente esposti.</p> <p>Poiché tutti i valori risultano inferiori rispetto ai valori di azione inferiori (2013/35/UE) per i lavoratori professionalmente esposti, si possono escludere rischi relativi alla salute dei lavoratori nei confronti dell'esposizione a campi elettromagnetici.</p>
<p>NON ACCETTABILE PER LA POPOLAZIONE/ LAVORATORI FRAGILI</p>	<p>Sorgenti per cui sono superati i valori di riferimento per la popolazione (ICNIRP 98).</p> <p>Poiché vengono superati i livelli di riferimento per la popolazione generale, il datore di lavoro in collaborazione con il RSPP e il Medico Competente, adotterà misure, al fine di prevenire rischi per la salute e la sicurezza, nei confronti delle persone non professionalmente esposte e quelle particolarmente sensibili.</p>

Qui sotto è riportata un'altra tabella riassuntiva dei risultati ottenuti da una saldatrice automatica. Questo confronto permette di evidenziare le differenze rispetto alla saldatrice manuale e dimostrare l'efficacia delle schermature e delle misure di protezione nell'attenuare l'esposizione ai campi elettromagnetici durante il processo di saldatura.

MISURAZIONE		n.10	
MANSIONE	Saldatura		
ATTREZZATURA	Saldatrice automatica Lastek		
REPARTO	Pistoni		
REPORT			
FREQUENZA	<input type="checkbox"/> HIGH FREQUENCY <input checked="" type="checkbox"/> LOW FREQUENCY <input checked="" type="checkbox"/> DC		
DISTANZA OPERATORE-SORGENTE	50 cm		
ALTEZZA DA TERRA	150 cm		
TEMPO DI ACQUISIZIONE	60 s		
CORRENTE PICCO-PICCO(utilizzo tipico)	182 A		
VALORI DI RIFERIMENTO PER LA POPOLAZIONE (ICNIRP 98)			
Indice di Picco Ponderato C.M.		Indice di Picco Ponderato C.E.	
Unità di misura	%	Unità di misura	%
Valore massimo	39,6	Valore massimo	8,6
VALORI DI RIFERIMENTO PER I LAVORATORI (2013/35/UE)			
Indice di Picco Ponderato C.M.		Indice di Picco Ponderato C.E.	
Unità di misura	%	Unità di misura	%
Valore massimo	1,5	Valore massimo	4,0
SCOMPOSIZIONE IN FREQUENZE DEL CAMPO MAGNETICO*			
Frequenza (Hz)		Valore efficace (uT)	
100		0,392	
200		0,31	

300	2,888
400	0,137
500	0,114
600	0,688

Analisi in frequenza

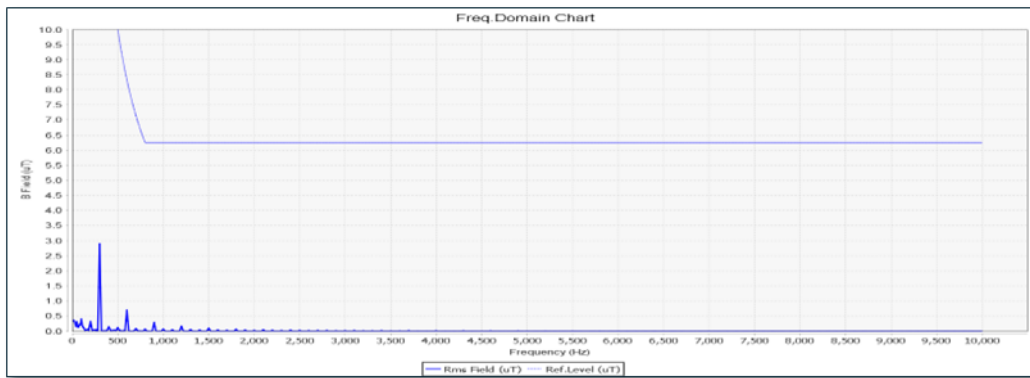


Figura 23 Analisi singola delle frequenze nel range del 1 kHz

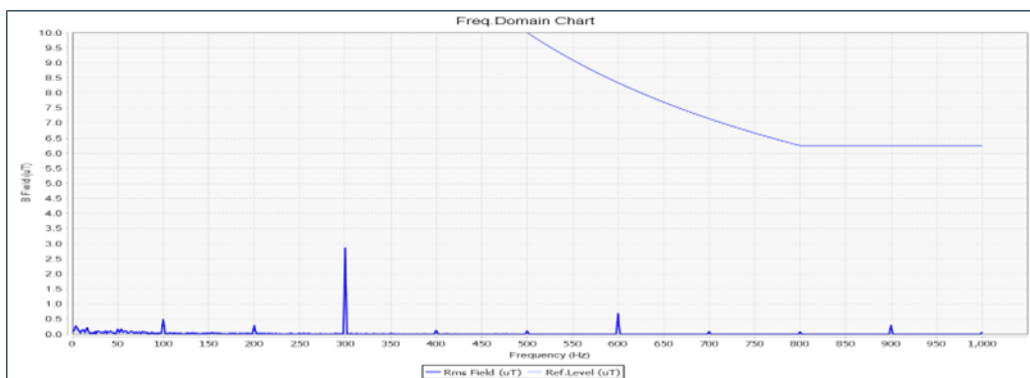


Figura 24 Analisi singola delle frequenze nel range del 1 kHz

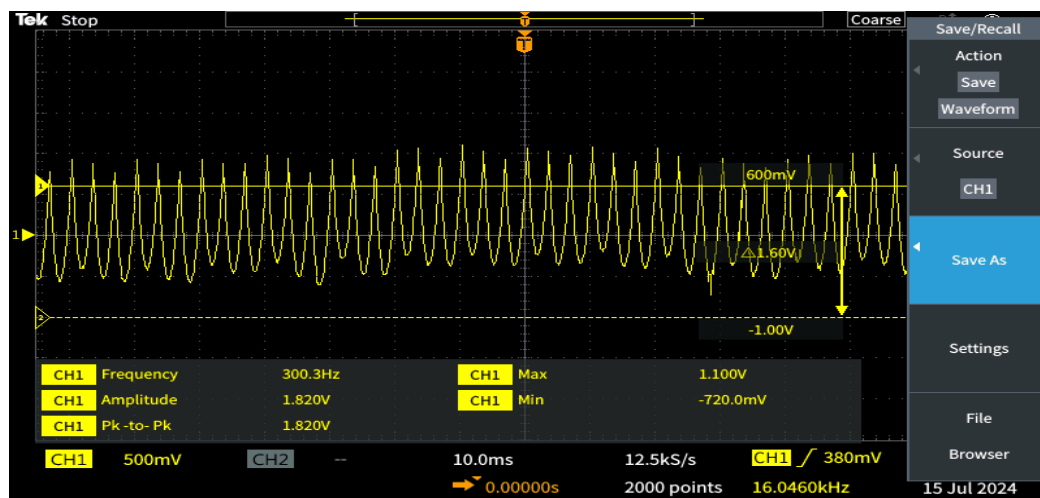


Figura 25 Screenshot oscilloscopio: tipica forma d'onda della corrente di saldatura. Ipk-pk=154 A (Nota usata probe 10x)

Analisi nel tempo

Limiti di riferimento: ICNIRP 98

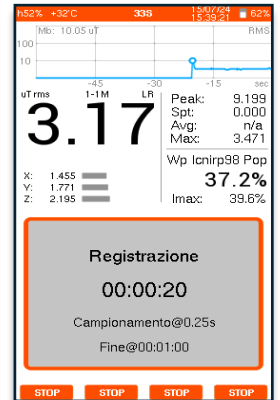
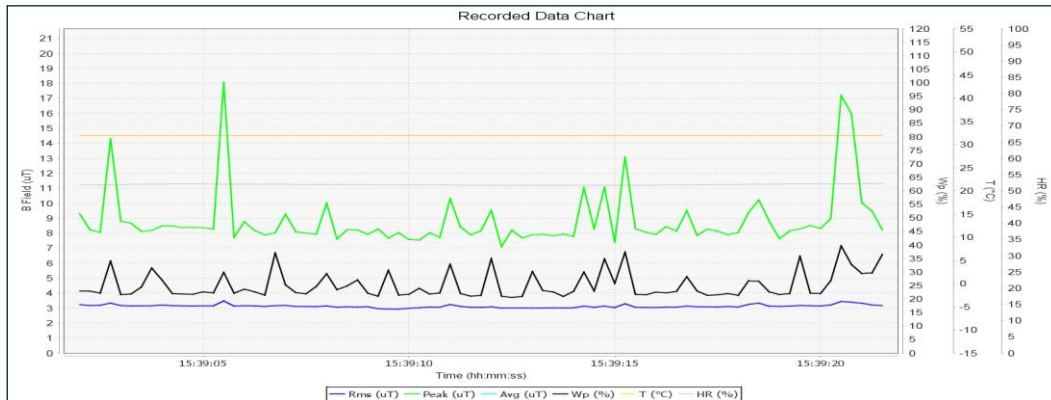


Figura 26 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo magnetico)

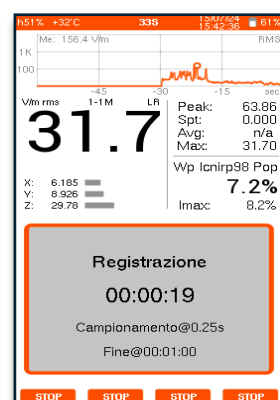
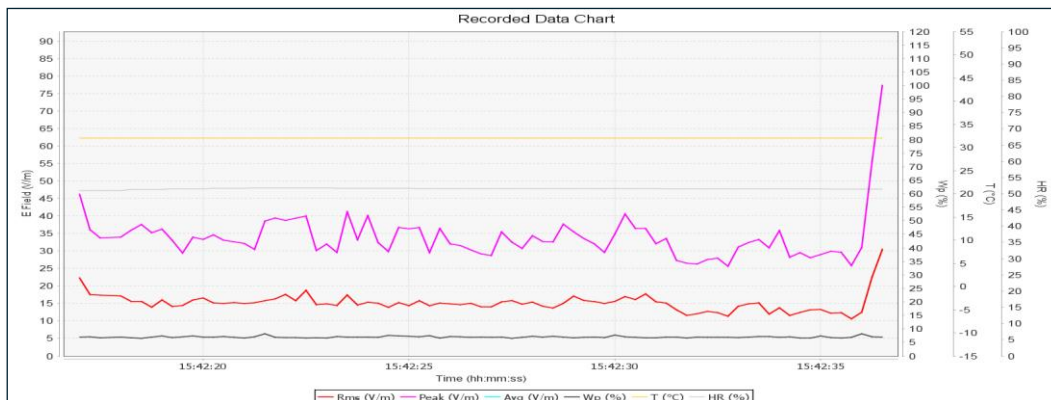


Figura 27 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo elettrico)

Di seguito vengono riportati i risultati conclusivi, che evidenziano come i valori misurati rientrano nei limiti di riferimento, confermando l'efficacia delle schermature e delle misure di protezione adottate.

RISULTATI	
CAMPI MAGNETICI PER LA POPOLAZIONE	
<input type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)	
CAMPI ELETTRICI PER LA POPOLAZIONE	


<input type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)
CAMPI MAGNETICI PER I LAVORATORI
<input type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)
CAMPI ELETTRICI PER I LAVORATORI
<input type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)

CLASSE DI RISCHIO DI APPARTENENZA

ACCETTABILE PER I LAVORATORI	Sorgenti per cui non sono superati i valori di azione per i lavoratori professionalmente esposti. Poiché tutti i valori risultano inferiori rispetto ai valori di azione inferiori (2013/35/UE) per i lavoratori professionalmente esposti, si possono escludere rischi relativi alla salute dei lavoratori ne confronti dell'esposizione a campi elettromagnetici.
NON ACCETTABILE PER LA POPOLAZIONE/ LAVORATORI FRAGILI	Sorgenti per cui non sono superati i valori di riferimento per la popolazione (ICNIRP 98) e che non comportano misure preventive da adottare per la salute e la sicurezza del personale interno ed esterno.

12.5 Analisi forno a induzione

In questo paragrafo sono riportati i risultati di una misurazione del campo magnetico generato da un forno ad induzione utilizzato per la saldatura nel reparto Pistoni. Durante la rilevazione, l'operatore si trovava a una distanza di 50 cm dalla sorgente. La misurazione è stata effettuata in prossimità della posizione occupata dall'operatore ad un'altezza di 150 cm dal suolo con un tempo di acquisizione di 60 secondi. La corrente di picco-picco registrata, esclusa la parte continua, è di 188 A. L'analisi riportata include una scomposizione del campo magnetico nelle principali frequenze presenti, utile per individuare la componente predominante e comprenderne l'andamento.

MISURAZIONE		n.6	
MANSIONE	Saldatura		
ATTREZZATURA	Forno a induzione		
REPARTO	Pistoni		
REPORT			
FREQUENZA	<input type="checkbox"/> HIGH FREQUENCY <input checked="" type="checkbox"/> LOW FREQUENCY <input checked="" type="checkbox"/> DC		
DISTANZA OPERATORE-SORGENTE	50 cm		
ALTEZZA DA TERRA	150 cm		
TEMPO DI ACQUISIZIONE	60 s		
CORRENTE PICCO-PICCO(utilizzo tipico)	188 A		
VALORI DI RIFERIMENTO PER LA POPOLAZIONE (ICNIRP 98)			
Indice di Picco Ponderato C.M.+		Indice di Picco Ponderato C.E.	
Unità di misura	%	Unità di misura	%
Valore massimo	220,4	Valore massimo	129,0
VALORI DI RIFERIMENTO PER I LAVORATORI (2013/35/UE)			
Indice di Picco Ponderato C.M.		Indice di Picco Ponderato C.E.	
Unità di misura	%	Unità di misura	%
Valore massimo	9,5	Valore massimo	71,8
SCOMPOSIZIONE IN FREQUENZE DEL CAMPO MAGNETICO*			
Frequenza (Hz)		Valore efficace (uT)	
2600		6,191	
5200		3,416	
7800		0,225	
10400		0,342	
13000		0,258	

La scomposizione in frequenza del campo magnetico mostra un valore frequenza principale a 2600 Hz, con un'intensità di 6,914 μT , seguito da componenti minori a 5200 Hz, 7800 Hz e 10400 Hz.

La frequenza principale è legata al funzionamento del forno a induzione, che opera con correnti alternate ad alta frequenza per generare il riscaldamento per induzione del pezzo metallico. Questa componente è una delle armoniche fondamentali del segnale generato dal sistema di alimentazione. L'andamento dei valori suggerisce una progressiva riduzione dell'energia trasmessa alle frequenze più alte.

Analisi singole frequenze

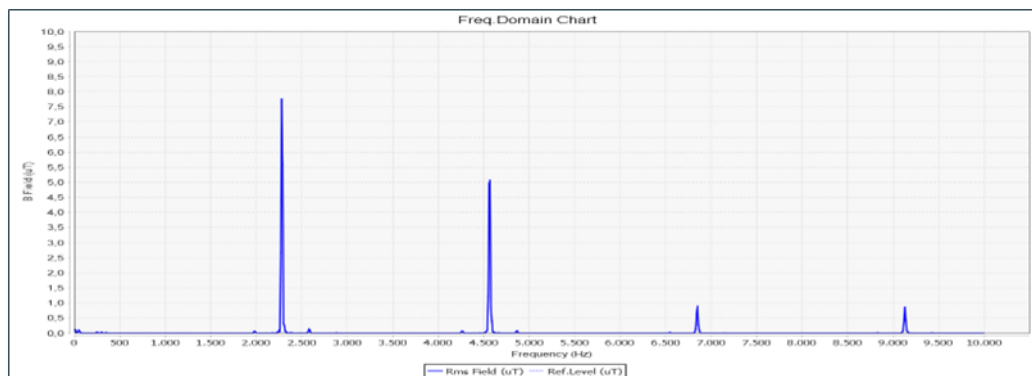


Figura 28 Analisi singola delle frequenze nel range dei 10 kHz

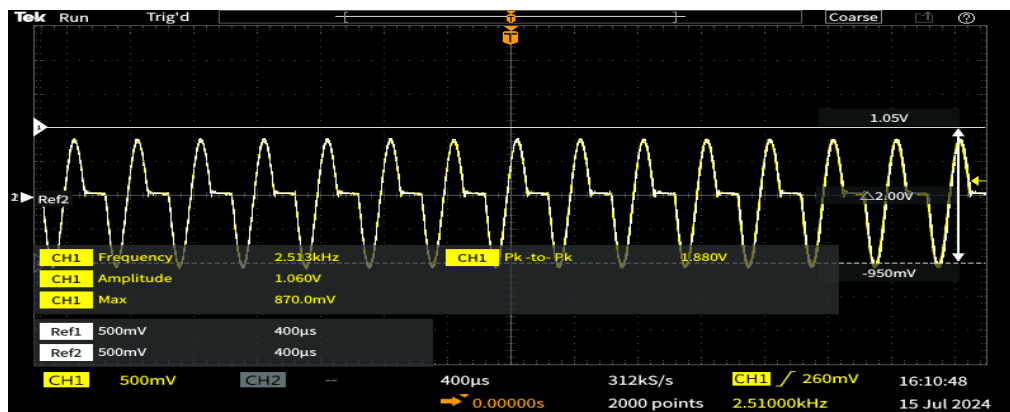


Figura 29 Screenshot oscilloscopio: tipica forma d'onda della corrente del forno a induzione. I_{pk-pk}=188 A (Nota usata probe 10x)

Analisi nel tempo

Limiti di riferimento: ICNIRP 1998

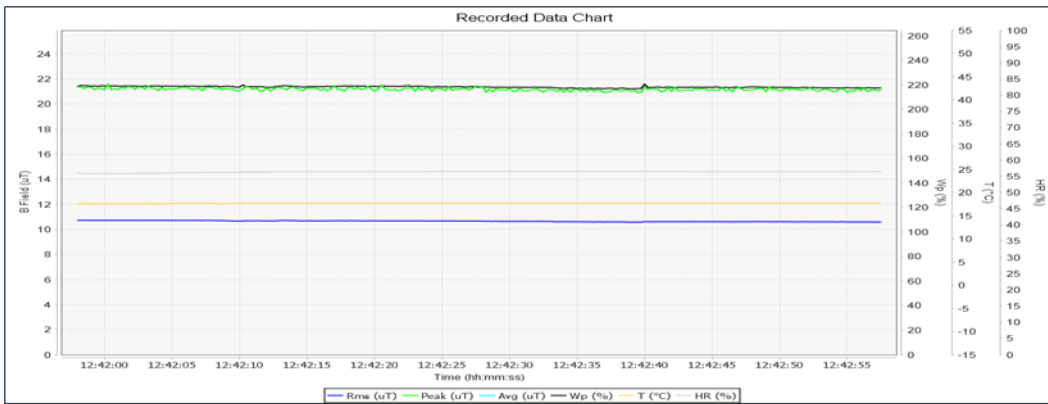


Figura 30 Analisi nel tempo con metodo del picco ponderato (campo magnetico)

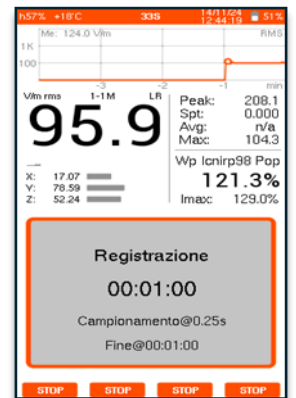
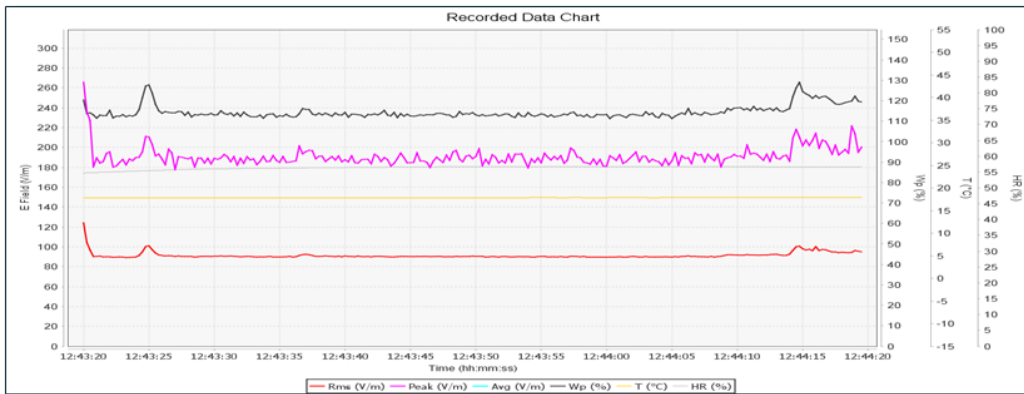


Figura 31 Analisi nel tempo con metodo del picco ponderato(campo elettrico)

Limiti di riferimento: 2013/35/UE

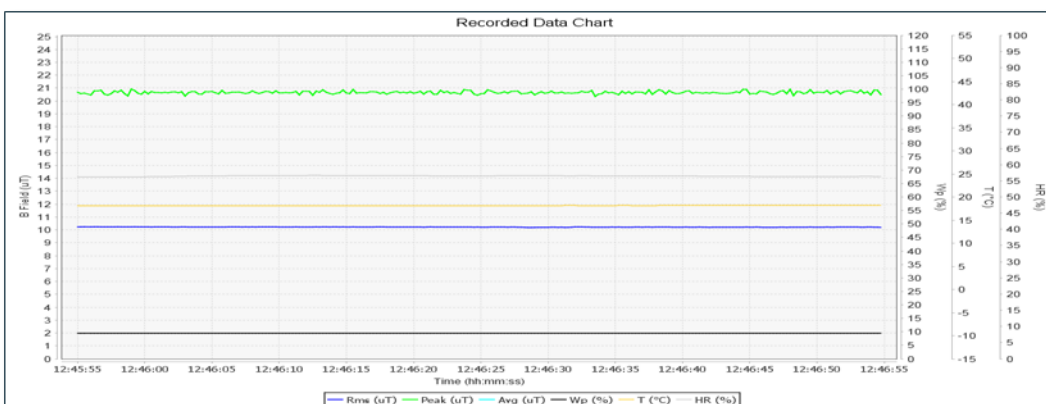


Figura 32 Analisi nel tempo con metodo del picco ponderato (campo magnetico)

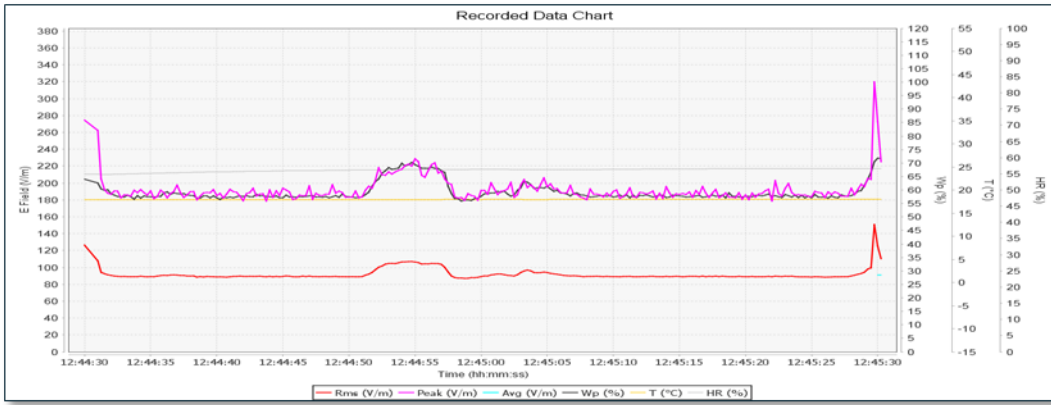


Figura 33 Analisi nel tempo con metodo del picco ponderato (campo elettrico)

Componente DC del campo magnetico. Limiti di riferimento: ICNIRP 2009

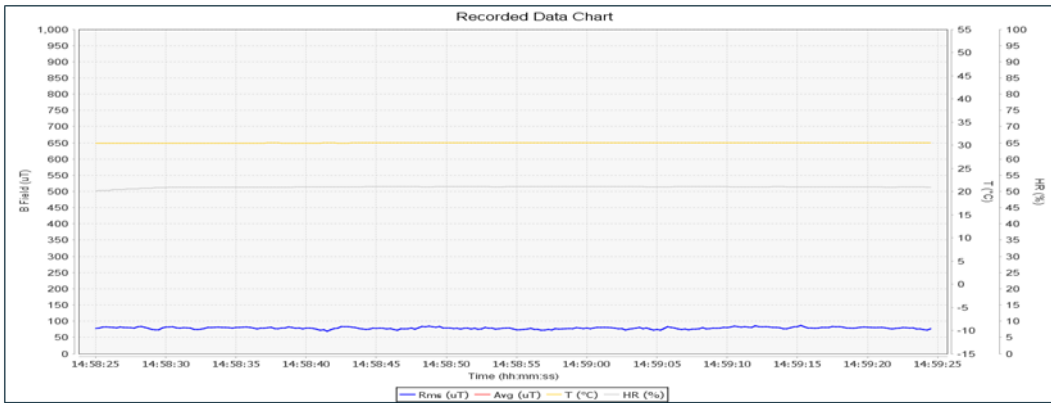


Figura 34 Analisi nel tempo con metodo del picco ponderato(campo magnetico statico)

Riassunto dei risultati

RISULTATI
CAMPI MAGNETICI PER LA POPOLAZIONE <input checked="" type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)
CAMPI ELETTRICI PER LA POPOLAZIONE <input checked="" type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)
CAMPI MAGNETICI PER I LAVORATORI <input type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)
CAMPI ELETTRICI PER I LAVORATORI <input type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)

Valutazione effettuata col metodo del picco ponderato. Il superamento dei valori di azione determina l'obbligo di adottare una o più misure di prevenzione-sicurezza per i lavoratori sensibili. I limiti di riferimento per i lavoratori non sono superati.

CLASSE DI RISCHIO DI APPARTENENZA

ACCETTABILE PER I LAVORATORI	<p>Sorgenti per cui non sono superati i valori di azione per i lavoratori professionalmente esposti.</p> <p>Poiché tutti i valori risultano inferiori rispetto ai valori di azione inferiori (2013/35/UE) per i lavoratori professionalmente esposti, si possono escludere rischi relativi alla salute dei lavoratori nei confronti dell'esposizione a campi elettromagnetici.</p>
NON ACCETTABILE PER LA POPOLAZIONE/ LAVORATORI FRAGILI	<p>Sorgenti per cui sono superati i valori di riferimento per la popolazione (ICNIRP 98).</p> <p>Poiché vengono superati i livelli di riferimento per la popolazione generale, il datore di lavoro in collaborazione con il RSPP e il Medico Competente, adotterà misure, al fine di prevenire rischi per la salute e la sicurezza, nei confronti delle persone non professionalmente esposte e quelle particolarmente sensibili.</p>

12.6 Caso di studio 2

La seconda azienda analizzata è il punto di riferimento nella produzione di capsule e sistemi di chiusura per bottiglie di vino, spumanti, liquori, olio d'oliva e aceti. L'azienda, con un'ampia gamma di prodotti realizzati in materiali come polilaminato, stagno e materiali termoretraibili (PVC e PET-G), si distingue per l'attenzione alla qualità, al design e alla personalizzazione, rispondendo alle esigenze del mercato globale. Nella tabella e nel grafico sottostante come nel caso precedente sono elencate le attrezzature campionate presso l'azienda.

Tipologia Sorgente	Sorgenti Campionate Caso di studio 2
Caricatore industriale	1
Forno elettrico	1
Inverter Principale	1
Postazione operativa macchina	7
Quadri elettrici	15
Saldatrice	1
Trasformatore	4
Ups	1
Totale	31

Tabella 5 Elenco delle sorgenti campionate nell'azienda Crealis

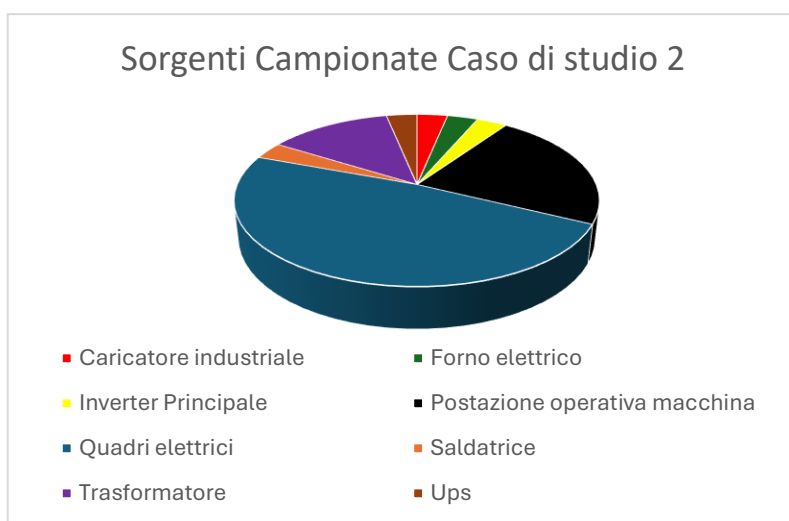


Grafico 4 Istogramma rappresentativo delle sorgenti campionate in Crealis

Per andare nello specifico è stata riportata la tabella 5, che anche in questo caso riporta tutte le informazioni importanti, estratte dal campionamento delle sorgenti di campo elettrico e magnetico in azienda.

ID	DESCRIZIONE PUNTO DI MISURA	Freq. Principale [Hz]	ICNIRP 1998		2013/35/UE		H [uT] Statico	Frequenze
			(Metodo del picco ponderato)		(Metodo del picco ponderato)			
			Campo magnetico [%]	Campo elettrico [%]	Campo magnetico [%]	Campo elettrico [%]		
1	Cabina trasformatore	50	94,8	8,3	4,1	4,7	//	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
2	UPS	50	32,3	8,2	1,7	4,7	92,3	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
3	Quadro principale reparto Termo	50	22,9	8,1	1,7	5,4	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
4	Quadro macchina reparto Termo	50	4,9	9,7	0,3	5,4	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
5	Macchina PVCX04	50	4,8	8,1	0,3	4,5	96,4	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
6	Quadro di derivazione	50	5,2	8,1	0,3	4,2	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
7	Foermatrice gabbiette	//	4,7	10,8	0,5	6,2	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
8	Quadro di derivazione Elite	50	5,8	8,0	0,3	4,2	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
9	Quadro macchina Elite	50	4,8	14,5	0,3	8,4	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
10	Macchina 590 Elite	//	4,6	68,3	0,3	43,5	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
11	Quadro Magazzino	50	4,9	8,0	0,3	4,0	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
12	Trasformatore impianto recupero solventi	50	265,1	14,6	7,9	7,1	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
13	Trasformatore stampo	50	9,8	8,7	0,6	4,1	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz

ID	DESCRIZIONE PUNTO DI MISURA	Freq. Principale [Hz]	ICNIRP 1998 (Metodo del picco ponderato)		2013/35/UE (Metodo del picco ponderato)		H [uT] Statico	Frequenze
			Campo magnetico	Campo elettrico	Campo magnetico	Campo elettrico		
			[%]	[%]	[%]	[%]		
14	Quadro distribuzione stampa	50	17,7	8,0	0,9	4,2	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
15	Quadro distribuzione stampa 2	50	17,7	8,0	0,9	4,2	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
16	Inverter fotovoltaico	50	13	8,4	1	4,2	53,37	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
17	Quadro principale reparto accoppiatrici	50	8,6	8,1	0,4	4,3	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
18	Quadro principale reparto premium	50	27,1	7,9	0,9	4,0	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
19	Quadro macchina c89 Premium	50	4,7	22,5	0,3	10,3	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
20	Cap M64 reparto Premium	//	4,6	15,7	0,3	8,3	110,5	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
21	Quadro sala compressori reparto Premium	50	10,0	8,1	0,5	4,3	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
22	Quadro H1 e H2 Stampa	50	14,0	8,4	0,8	4,1	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
23	Macchina 224	//	4,7	8,0	0,2	4,2	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
24	Accoppiatrice	//	4,7	8,2	0,3	4,1	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
25	Postazione ricarica muletti	50	34,1	8,7	0,5	5,1	94,46	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz

ID	DESCRIZIONE PUNTO DI MISURA	Freq. Principale [Hz]	ICNIRP 1998 (Metodo del picco ponderato)		2013/35/UE (Metodo del picco ponderato)		H [uT] Statico	Frequenze
			Campo magnetico [%]	Campo elettrico [%]	Campo magnetico [%]	Campo elettrico [%]		
			26	Trasformatore Tappo a vite	50	228,1		
27	Quadro principale tappo a vite	50	13,0	8,3	0,8	3,9	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
28	Forno elettrico tappo a vite	//	9,8	8,7	0,6	4,1	110,1	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
29	Macchina Maca Engineering Tappo a vite	//	4,6	50,2	0,3	34,2	108,9	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
30	Quadro elettrico officina	50	39,0	8,2	1,5	4,0	//	<input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz
31	Saldatrice ad elettrodo	//	9,8	8,7	0,6	4,1	82,53	<input checked="" type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> 1Hz-100kHz <input type="checkbox"/> 100kHz- 10MHz <input type="checkbox"/> f>10MHz

Tabella 6 Elenco dettagliato delle sorgenti campionate e nell'azienda Crealis

12.6.1 Campo Magnetico

I valori dell'indice di picco ponderato misurati per la maggior parte delle sorgenti risultano significativamente inferiori al limite previsto sia dalla normativa ICNIRP 1998, sia dalla Direttiva 2013/35/UE. Le sorgenti come i quadri elettrici, le postazioni operative e le macchine presentano valori dell'indice di picco ponderato che variano tra il 4% e il 34,1%, rimanendo abbondantemente al di sotto delle soglie dei limiti ICNIRP 1998. Le uniche sorgenti che hanno mostrato un superamento dei valori limite dell'indice di picco ponderato per la popolazione sono due trasformatori.

12.6.2 Campo Elettrico

Anche in questo caso, i valori sono generalmente bassi, con un range compreso tra il 4% e il 43,5%. Nessuna delle apparecchiature, supera i limiti previsti dalla direttiva.

12.6.3 Sorgenti Critiche: Trasformatori

I due trasformatori principali (impianto recupero solventi e tappo a vite) presentano valori dell'indice di picco ponderato del campo di induzione magnetica pari al 265,1% e al 228,1% dei limiti ICNIRP del 1998 (popolazione), superando ampiamente le soglie previste. Tuttavia, è importante sottolineare che l'accesso a queste apparecchiature è riservato esclusivamente a personale qualificato di aziende appaltatrici, che segue procedure specifiche di sicurezza e dispone di una formazione adeguata a gestire l'esposizione. Inoltre, l'area in cui si trovano i trasformatori è segregata e opportunamente segnalata per evitare rischi per il personale ordinario.

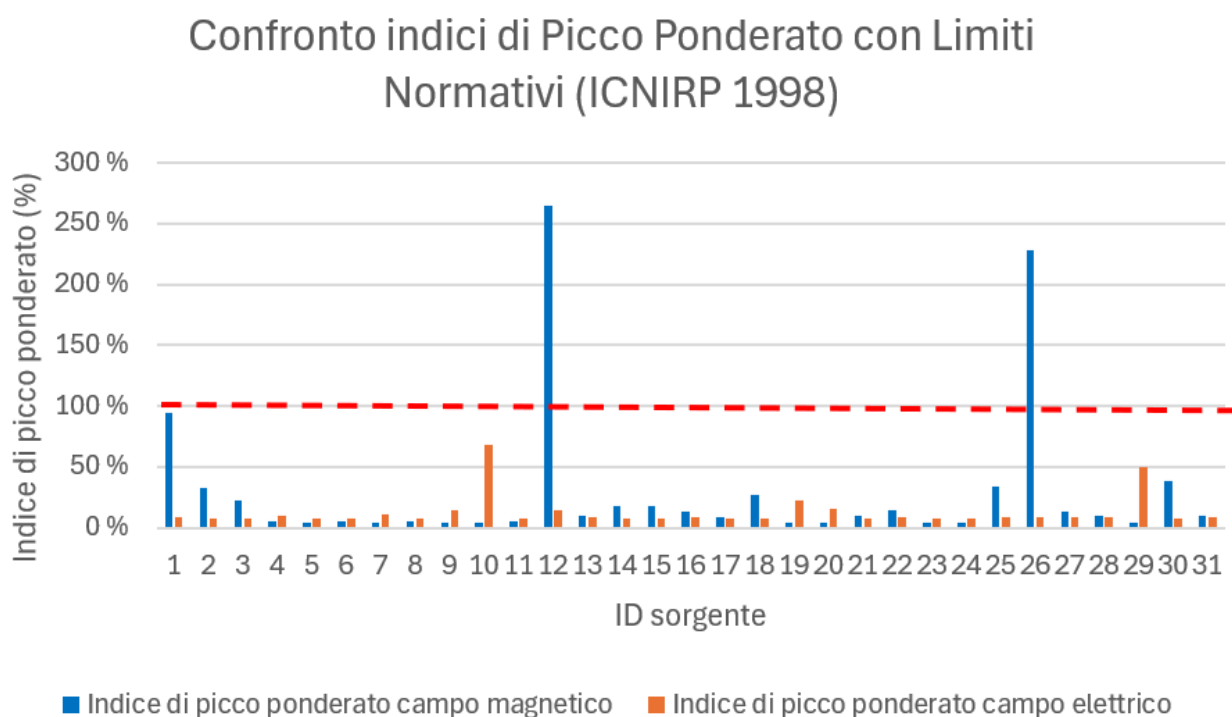


Grafico 5 Confronto indici di picco ponderato con limiti normativi (ICNIRP 1998)

Confronto indici di Picco Ponderato con Limiti Normativi (LA inf 2013/35/UE)

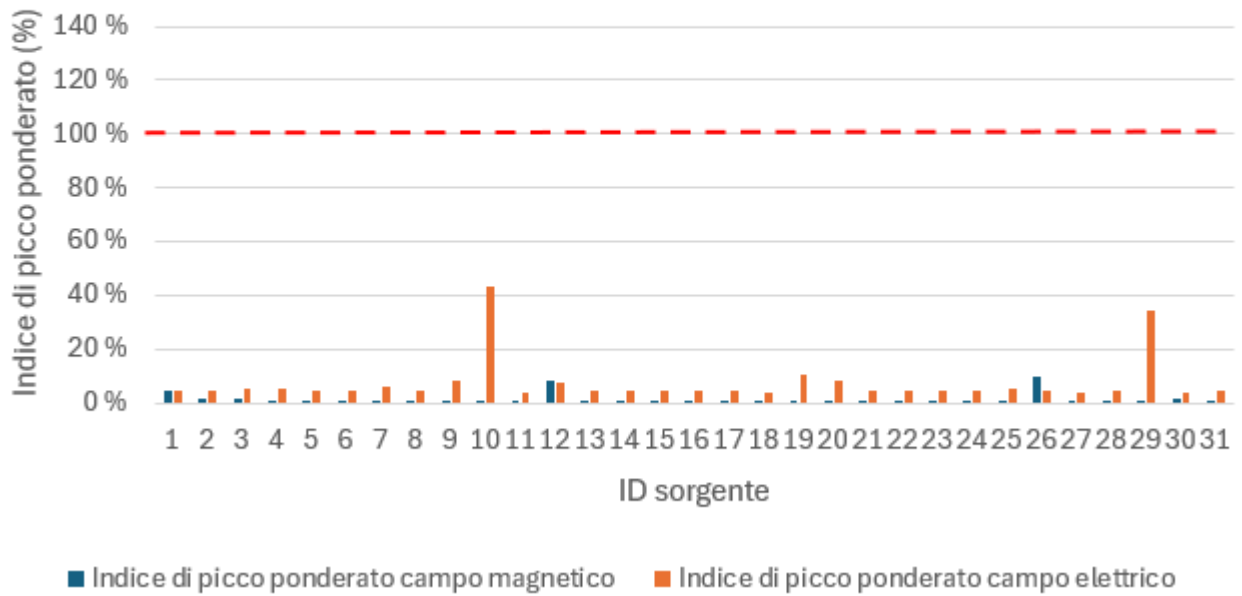



Grafico 6 Confronto indici di picco ponderato con limiti normativi (LA inf 2013/35/UE)

12.7 Analisi Di Un Trasformatore

MISURAZIONE		n.26	
ATTREZZATURA	Trasformatore		
REPARTO	Tappo a vite		
REPORT			
FREQUENZA	<input type="checkbox"/> HIGH FREQUENCY <input checked="" type="checkbox"/> LOW FREQUENCY <input type="checkbox"/> DC		
DISTANZA OPERATORE-SORGENTE	50 cm		
ALTEZZA DA TERRA	150 cm		
TEMPO DI ACQUISIZIONE	60 s		
VALORI DI RIFERIMENTO PER LA POPOLAZIONE (ICNIRP 98)			
Indice di Picco Ponderato C.M.		Indice di Picco Ponderato C.E.	
Unità di misura	%	Unità di misura	%
Valore massimo	228,1	Valore massimo	8,3
VALORI DI RIFERIMENTO PER I LAVORATORI (2013/35/UE)			
Indice di Picco Ponderato C.M.		Indice di Picco Ponderato C.E.	
Unità di misura	%	Unità di misura	%
Valore massimo	9,4	Valore massimo	4,3
SCOMPOSIZIONE IN FREQUENZE DEL CAMPO MAGNETICO*			
Frequenza (Hz)		Valore efficace (uT)	
50		61,98	
150		3,63	
250		12,37	
350		4,77	

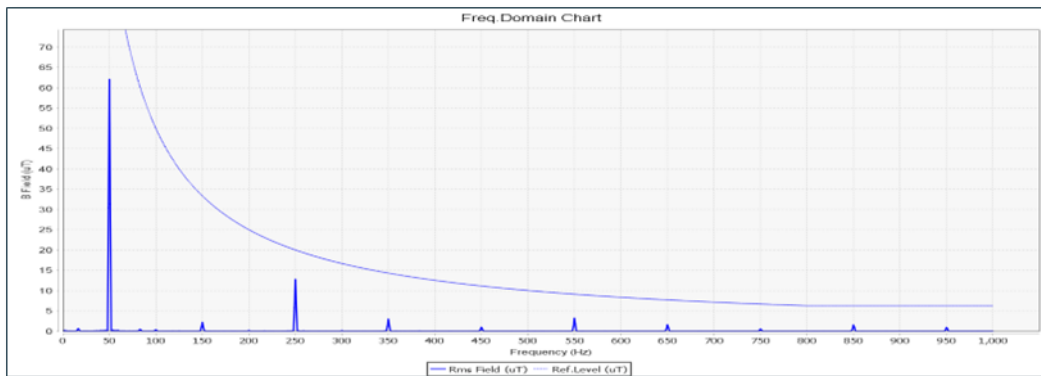
Analisi singola in frequenza

Figura 30 Analisi singola delle frequenze nel range del 1 kHz

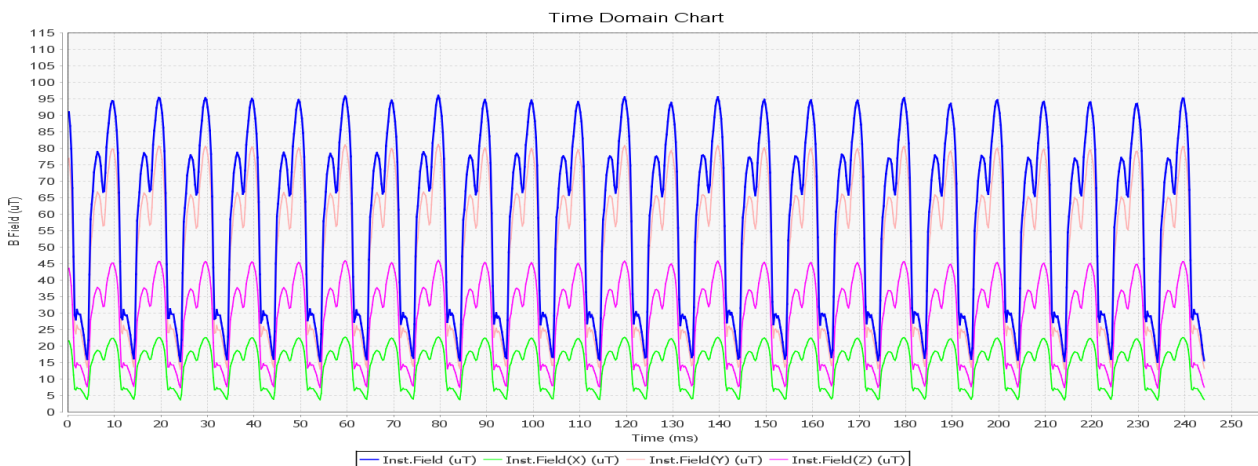
Analisi singola nel tempo

Figura 31 Analisi singola nel tempo

La figura 32 mostra l'andamento del campo magnetico nel dominio del tempo per questo trasformatore, evidenziando un segnale periodico ma con evidenti distorsioni. La forma d'onda non è perfettamente sinusoidale, suggerendo la presenza di armoniche superiori come emerge dall'analisi in frequenza in Fig. 31. Questo comportamento potrebbe derivare dalla presenza di carichi induttivi e/o capacitivi. Tali distorsioni armoniche possono influenzare l'efficienza del trasformatore e generare emissioni indesiderate, rendendo necessaria un'analisi più approfondita.

Analisi nel tempo

Limiti di riferimento: ICNIRP 1998

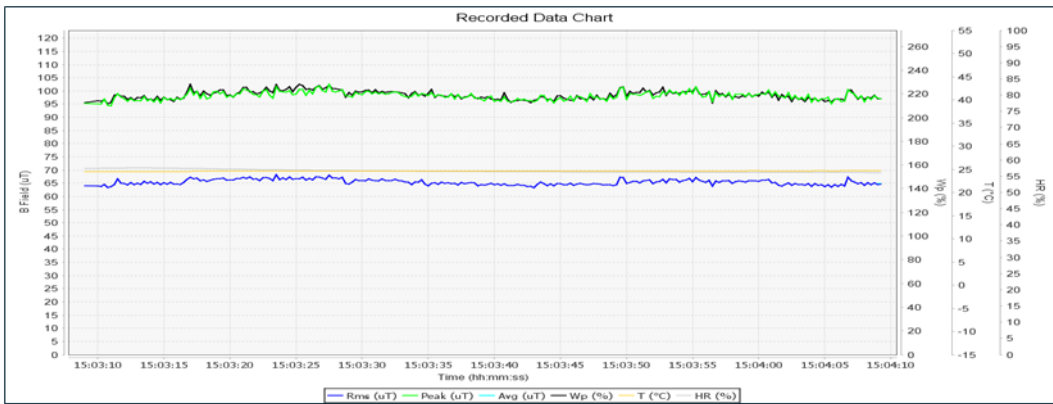


Figura 32 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo magnetico)

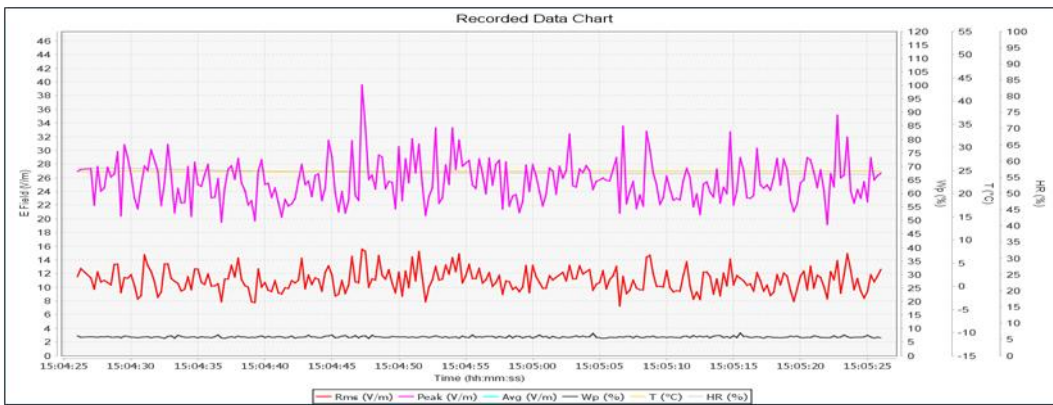


Figura 33 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo elettrico)

Limiti di riferimento: 2013/35/UE

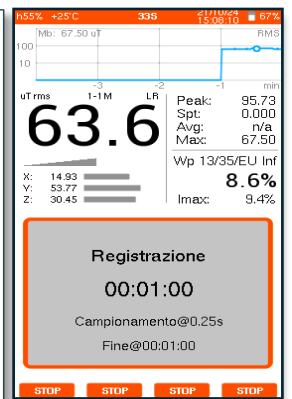
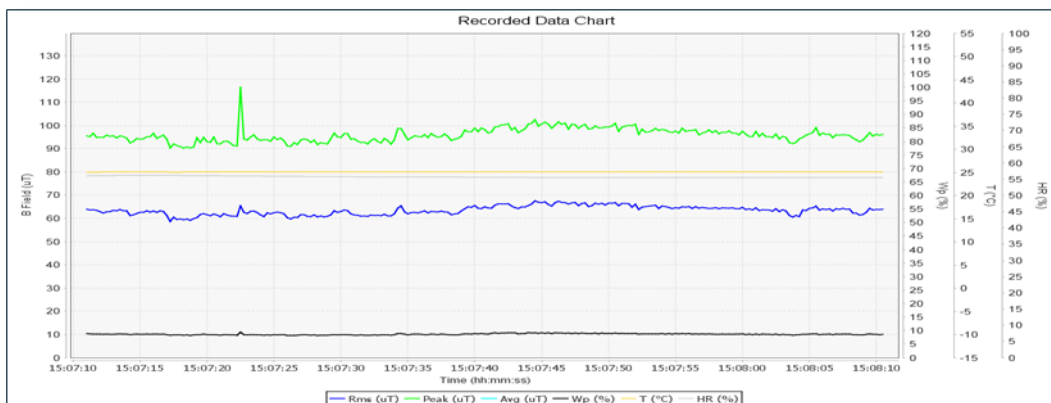


Figura 34 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo magnetico)

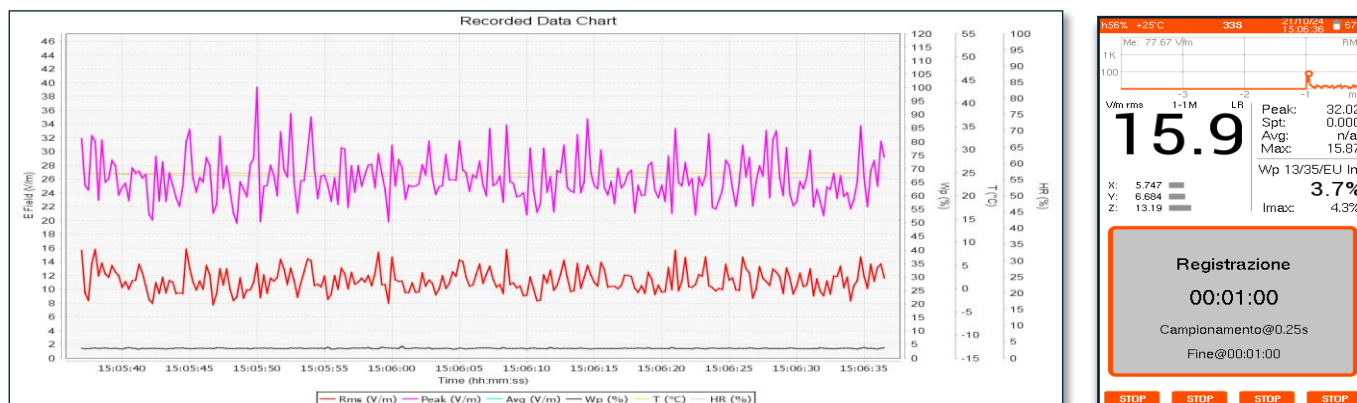


Figura 35 Analisi nel tempo con il metodo del picco ponderato (campo magnetico)

Riassunto dei risultati

RISULTATI
<p>CAMPI MAGNETICI PER LA POPOLAZIONE</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)</p>
<p>CAMPI ELETTRICI PER LA POPOLAZIONE</p> <p><input type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)</p>
<p>CAMPI MAGNETICI PER I LAVORATORI</p> <p><input type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)</p>
<p>CAMPI ELETTRICI PER I LAVORATORI</p> <p><input type="checkbox"/> SUPERATI ($\geq 100\%$) <input checked="" type="checkbox"/> NON SUPERATI ($\leq 100\%$)</p>

La valutazione effettuata col metodo del picco ponderato mostra il superamento dei valori di azione per la popolazione e determina l'obbligo di adottare una o più misure di prevenzione-sicurezza.

CLASSE DI RISCHIO DI APPARTENENZA

<p>ACCETTABILE PER I LAVORATORI</p>	<p>Sorgenti per cui non sono superati i valori di azione per i lavoratori professionalmente esposti.</p> <p>Poiché tutti i valori risultano inferiori rispetto ai valori di azione inferiori (2013/35/UE) per i lavoratori professionalmente esposti, si possono escludere rischi relativi alla salute dei lavoratori nei confronti dell'esposizione a campi elettromagnetici.</p>
<p>NON ACCETTABILE PER LA POPOLAZIONE</p>	<p>Sorgenti per cui sono superati i valori di riferimento per la popolazione (ICNIRP 98).</p> <p>Poiché vengono superati i livelli di riferimento per la popolazione generale, il datore di lavoro in collaborazione con il RSPP e il Medico Competente, adotterà misure, al fine di prevenire rischi per la salute e la sicurezza, nei confronti delle persone non professionalmente esposte e quelle particolarmente sensibili.</p>

13. | CONCLUSIONI

L'analisi condotta in questa tesi ha permesso di approfondire la valutazione del rischio derivante dall'esposizione ai campi elettromagnetici negli ambienti di lavoro, ponendo particolare attenzione alle normative vigenti, alle tecniche di misurazione e agli effetti sulla salute umana. Attraverso lo studio delle sorgenti che emettono campi elettrici e magnetici, è stato possibile individuare le aree di maggiore criticità e verificare il rispetto dei limiti di esposizione previsti dalla normativa.

Dai dati raccolti è emerso che, sebbene molte delle sorgenti analizzate risultavano conformi ai valori limite stabiliti per i lavoratori, in alcuni casi l'esposizione superava le soglie previste per la popolazione. Ciò evidenzia la necessità di adottare misure di mitigazione, quali la delimitazione delle aree a rischio, la formazione specifica per i lavoratori esposti e l'utilizzo di strumenti di protezione collettiva.

Lo studio ha inoltre confermato l'importanza di una corretta procedura di misurazione, che deve tenere conto non solo dell'intensità dei campi elettrici e magnetici, ma anche di variabili ambientali, come l'eventuale presenza di schermature, il layout degli spazi di lavoro e l'interferenza con altre sorgenti elettromagnetiche e delle condizioni operative, quali la distanza dei lavoratori rispetto alla sorgente del campo. L'impiego di strumentazione adeguata e di procedure di misura standardizzate rappresenta un elemento chiave per garantire valutazioni affidabili e ripetibili, in grado di supportare i datori di lavoro nell'adozione di strategie preventive efficaci.

Sarebbe inoltre interessante analizzare altre sorgenti di emissione per ampliare il quadro conoscitivo e valutare eventuali ulteriori criticità legate all'esposizione ai campi elettromagnetici in ambito lavorativo.

In conclusione, questa tesi ha contribuito a evidenziare l'importanza della valutazione del rischio da campi elettromagnetici negli ambienti di lavoro, sottolineando il ruolo fondamentale delle misurazioni strumentali, delle normative di riferimento e delle misure di prevenzione. L'applicazione di tali principi è essenziale per tutelare la salute e la sicurezza dei lavoratori, garantendo al contempo la conformità alle disposizioni legislative e la sostenibilità delle attività produttive.

14. | BIBLIOGRAFIA

[1] ec.europa.eu

<https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=14741&langId=it>

[2] www.mriworkers.eu

http://www.mriworkers.eu/wp-content/uploads/2017/05/Guida_CE_vol_1.pdf

[3] www.portaleagentifisici.it

https://www.portaleagentifisici.it/filemanager/userfiles/cem/ElectromagneticFields_ita_2.pdf?lg=IT

[4] www.marconiprato.edu.it

[Microsoft Word - SALDATURA.DOC](#)

[5] <http://niremf.ifac.cnr.it>

[Dielectric Properties of Body Tissues: HTML clients](#)

15. | APPENDICE A**15.1 Definizioni**

Sorgente: dispositivo/attrezzatura/prodotto/installazione/prototipo/strumentazione dotata di alimentazione elettrica che emette campi elettrici, magnetici o elettromagnetici durante il suo funzionamento. Si farà riferimento a tali fonti con il termine 'Sorgenti di CEM'.

Frequenza, f: Numero di cicli o periodi nell'unità di tempo. Si misura in [Hz].

Campo elettrico, E: Grandezza vettoriale che rappresenta il rapporto fra la forza esercitata su una carica elettrica di prova q ed il valore della carica medesima. Si misura in [V/m].

Campo magnetico H: rapporto tra induzione magnetica B e permeabilità magnetica μ in [H/m]. Si misura in [A/m]: $H=B/\mu$

Induzione dielettrica, Grandezza vettoriale pari al prodotto del campo elettrico per la permittività e del mezzo (costante dielettrica, in [F/m]). Si misura in [C/m²]

Induzione magnetica, B: Grandezza vettoriale che rappresenta la forza su di una carica q in moto con la velocità v in ogni punto di una data regione. Si misura in [T].

Intensità del campo elettrico: modulo del vettore campo elettrico. Si misura in [V/m]

Intensità del campo induzione magnetica: modulo del vettore campo induzione magnetica. Si misura in [T]

Valore efficace del campo elettrico (in [V/m]): Radice quadrata della somma quadratica dei valori efficaci delle tre componenti E_x , E_y ed E_z ortogonali del vettore campo elettrico.

Valore efficace dell'induzione magnetica (in [T]): Radice quadrata della somma quadratica dei valori efficaci delle tre componenti B_x , B_y e B_z ortogonali del vettore induzione magnetica.

Lunghezza d'onda, λ grandezza caratteristica di un'onda elettromagnetica legato alla frequenza f ed alla velocità di propagazione v dall'espressione $c = f\lambda$. Nel vuoto la velocità v è uguale alla velocità della luce, c . Si misura in [m] (A 50 Hz $\lambda = 6000$ km).

Impedenza d'onda del vuoto, Z_0 : Rapporto tra i moduli del campo elettrico e magnetico nel caso di onda piana che si propaga nel vuoto ($Z_0=377 \Omega$).

Onda piana: campo elettromagnetico in cui i vettori campo elettrico e campo magnetico sono perpendicolari fra loro, giacciono in un piano, sono ortogonali alla direzione di propagazione in ogni punto e in ogni istante;

Vettore di Poynting: flusso di energia associato alla propagazione del campo elettromagnetico c . Prodotto vettoriale del vettore campo elettrico e del vettore campo magnetico associati al campo elettromagnetico

SAR tasso di assorbimento specifico (Specific Absorption Rate): dato un volume elementare dV di massa dm il SAR è la derivata dell'energia elementare dW assorbita dalla massa elementare dm del volume dV . Si misura in $[W/g]$;

Campo perturbato Campo modificato in grandezza e/o in direzione per introduzione di un oggetto.

Campo non perturbato Campo in un punto che permane uguale in assenza di persone o di oggetti non permanenti.

Campo quasi-statico Campo per il quale vale la condizione $f \ll c/l$, con f frequenza del campo, c velocità della luce e l dimensione caratteristica della geometria (es.: distanza tra la sorgente del campo e il punto di misura).

Conduttività, σ : Proprietà elettrica di un materiale data dal rapporto tra la densità di corrente di conduzione e l'intensità del campo elettrico. Si misura in $[S/m]$.

Regione di campo lontano Regione in cui il campo elettromagnetico si propaga per onde sferiche e localmente è approssimabile con un'onda piana. Il campo elettromagnetico è composto da distribuzioni uniformi delle intensità di campo elettrico e magnetico ortogonali tra loro e alla direzione di propagazione dell'onda. I campi elettrico e magnetico sono in fase, e le loro ampiezze sono in rapporto costante. Tale zona va da una distanza dalla sorgente λ o $2D^2/\lambda$ (il maggiore dei due), con D massima distanza tra due punti appartenenti alla sorgente, a infinito;

Regione di campo vicino radiativo: Regione in cui comincia a formarsi il fascio di radiazione. Regione che inizia alla distanza da $\lambda/2$ a 3λ (detta di transizione) e si esaurisce a λ o $2D^2/\lambda$ (il maggiore dei due);

Regione di campo vicino reattivo Regione in prossimità della sorgente in cui le componenti reattive del campo elettromagnetico predominano su quelle radiative. Si estende dalla sorgente fino ad una distanza da $\lambda/2$ a 3λ dalla sorgente a seconda della lunghezza d'onda (λ) e delle dimensioni della sorgente.

Corrente di contatto: Corrente che si instaura attraverso il corpo umano quando esso tocca un oggetto conduttore immerso in un campo elettromagnetico.

Effetto diretto dell'esposizione: interazione diretta dei campi elettromagnetici con il corpo umano se in condizione di esposizione;

Esposizione: Condizione nella quale una persona è soggetta a campi elettrici, magnetici o elettromagnetici o a correnti di contatto provenienti dall'ambiente e diversi da quelli generati da fenomeni naturali o processi fisiologici;

Esposizione breve Esposizione per periodi di tempo più brevi del tempo di valutazione della media.

Esposizione continua Esposizione per periodi di tempo più lunghi del tempo di valutazione della media.

Esposizione non uniforme: Livelli di esposizione non uniforme si determinano quando i campi non sono uniformi su volumi di dimensioni paragonabili a quelle del corpo umano

Livelli di esposizione Valori della grandezza considerata quando una persona è esposta a campi elettrici e magnetici o a correnti di contatto.

Livelli di riferimento Livelli di grandezze misurabili (es.: valore efficace di campo elettrico e magnetico, o correnti indotte e di contatto) derivati dai limiti di base, ai quali una persona può essere esposta senza effetti dannosi. Possono essere superati se i limiti di base sono rispettati.

Popolazione esposta Persone esposte a campi elettrici e/o magnetici non per specifica attività lavorativa, né per scopi diagnostici o terapeutici.

Effetti biofisici diretti: sono effetti nel corpo umano dovuti dalla presenza di un campo elettrico, magnetico o elettromagnetico, e si distinguono in:

- a) effetti termici, come il riscaldamento dei tessuti per assorbimento di energia di campi elettromagnetici
- b) effetti non termici, come la stimolazione di muscoli, nervi o organi sensoriali. Possono comportare disturbi temporanei (es.: vertigini o fosfeni) o influenzare altre funzioni cerebrali (es.: capacità cognitive, muscolari) che possono comportare rischi per la sicurezza;
- c) correnti negli arti;

Effetti biofisici indiretti: provocati dalla presenza di oggetti in un campo elettromagnetico che diventano un rischio per la sicurezza o la salute:

- a) interferenza con dispositivi medici elettronici o attrezzature (es.: stimolatori cardiaci o dispositivi medici impiantati o dispositivi portati sul corpo);
- b) in campi magnetici statici rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici;
- c) innesco dispositivi elettro-esplosivi (detonatori);

- d) all'accensione di materiali infiammabili scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche (es.: incendi ed esplosioni)
- e) correnti di contatto;

VLE (valori limite di esposizione): limiti derivanti da considerazioni biofisiche e biologiche basati su effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati (es.: effetti termici e elettrostimolazione dei tessuti). Si dividono in:

- a) **VLE relativi agli effetti sanitari:** VLE dei campi elettrico, magnetico ed elettromagnetico sopra il quale i lavoratori potrebbero avere effetti nocivi per la salute (es.: riscaldamento, stimolazione del tessuto nervoso o muscolare);
- b) **VLE relativi agli effetti sensoriali:** VLE dei campi elettrico, magnetico ed elettromagnetico sopra i quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi temporanei (es.: percezioni sensoriali, modifiche minori delle funzioni cerebrali);

livelli di azione (LA): livelli operativi stabiliti per grandezze correlate ai VLE e misurabili. Utilizzati per semplificare la dimostrazione della conformità ai VLE o determinare misure di protezione o prevenzione come specificato nella direttiva 2013/35/UE. Si dividono in:

- a) **LA inferiori:** per i campi elettrici sono connessi a misure di protezione/prevenzione, mentre per i campi magnetici sono connessi agli effetti sanitari
- b) **LA superiori:** per i campi elettrici sono connessi a misure di protezione, mentre per i campi magnetici sono connessi agli effetti sensoriali.

Tempo di media t_m : Intervallo di tempo su cui è mediata l'esposizione allo scopo di determinare il rispetto dei limiti.

EMF (Electromagnetic Field): campi elettromagnetici

16. | APPENDICE B**16.1 Tabella 3.2 (Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici)**

Tipo di apparecchiatura o luogo di lavoro	Valutazione richiesta per i		
	Lavoratori non particolarmente a rischio*	Lavoratori particolarmente a rischio (esclusi quelli con dispositivi impiantabili attivi)**	Lavoratori con dispositivi impiantabili attivi)***
Comunicazioni senza filo			
Telefoni senza filo (comprese le stazioni base per telefoni senza filo DECT) — utilizzo di	No	No	Si
Telefoni senza filo (comprese le stazioni base per telefoni senza filo DECT) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Telefoni cellulari — utilizzo di	No	No	Si
Telefoni cellulari — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Dispositivi di comunicazione senza fili (per esempio Wi-Fi o Bluetooth) comprendenti punti di accesso per WLAN — utilizzo di	No	No	Si
Dispositivi di comunicazione senza fili (per esempio Wi-Fi o Bluetooth) comprendenti punti di accesso per WLAN — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Ufficio			
Apparecchiature audiovisive (per esempio televisori, lettori DVD)	No	No	No
Apparecchiature audiovisive contenenti trasmettitori a radiofrequenza	No	No	Si
Apparecchiature di comunicazione e reti cablate	No	No	No
Computer e apparecchiature informatiche	No	No	No
Termoventilatori, elettrici	No	No	No
Ventilatori elettrici	No	No	No
Apparecchiature per ufficio (ad esempio fotocopiatrici, distruggidocumenti, aggraffatrici a funzionamento elettrico)	No	No	No

Tipo di apparecchiatura o luogo di lavoro	Valutazione richiesta per i		
	Lavoratori non particolarmente a rischio*	Lavoratori particolarmente a rischio (esclusi quelli con dispositivi impiantabili attivi)**	Lavoratori con dispositivi impiantabili attivi)***
Telefoni (fissi) e fax	No	No	No
Infrastrutture (immobili e terreni)			
Sistemi di allarme	No	No	No
Antenne per stazioni base, all'interno della zona di esclusione destinata all'operatore	Si	Si	Si
Antenne per stazioni base, all'esterno della zona di esclusione destinata all'operatore	No	No	No
Utensili da giardino (a funzionamento elettrico) — utilizzo di	No	No	Si
Utensili da giardino (elettrici) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Apparecchi per il riscaldamento (elettrici) per il riscaldamento dell'ambiente	No	No	No
Apparecchi domestici e professionali, per esempio frigoriferi, lavatrici, asciugatrici, lavastoviglie, forni, tostapane, forni a microonde, ferri da stiro, a condizione che non contengano dispositivi di trasmissione come WLAN, Bluetooth o telefoni cellulari	No	No	No
Apparecchi di illuminazione, per esempio illuminazione di interni e lampade da scrivania	No	No	No
Apparecchi di illuminazione, attivati a radiofrequenza o a microonde	Si	Si	Si
Luoghi di lavoro accessibili al pubblico conformi ai livelli di riferimento indicati nella raccomandazione (1999/519/CE) del Consiglio	No	No	No
Sicurezza			
Sistemi di sorveglianza e identificazione a radio frequenza (RFID) di oggetti	No	No	Si
Cancellatori, per nastri o dischi rigidi	No	No	Si
Metal detector (rivelatore di metalli)	No	No	Si

Tipo di apparecchiatura o luogo di lavoro	Valutazione richiesta per i		
	Lavoratori non particolarmente a rischio*	Lavoratori particolarmente a rischio (esclusi quelli con dispositivi impiantabili attivi)**	Lavoratori con dispositivi impiantabili attivi)***
Alimentazione elettrica			
Circuito elettrico in cui i conduttori sono vicini l'uno all'altro e con una corrente netta pari o inferiore a 100 A — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	No	No	No
Circuito elettrico in cui i conduttori sono vicini l'uno all'altro e con una corrente netta superiore a 100 A — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	Si	Si	Si
Circuiti elettrici all'interno di un impianto, con corrente di fase nominale pari o inferiore a 100 A per un singolo circuito — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	No	No	No
Circuiti elettrici all'interno di un impianto, con corrente di fase nominale superiore a 100 A per un singolo circuito — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	Si	Si	Si
Impianti elettrici con corrente di fase nominale superiore a 100 A — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	Si	Si	Si
Impianti elettrici con corrente di fase nominale pari o inferiore a 100 A — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	No	No	No
Generatori e generatori di emergenza — lavori con	No	No	Si
Inverter, compresi quelli su sistemi fotovoltaici	No	No	Si
Conduttore nudo aereo con tensione nominale inferiore a 100 kV o linea aerea inferiore a 150 kV, sopra il luogo di lavoro — esposizione a campi elettrici	No	No	No

Tipo di apparecchiatura o luogo di lavoro	Valutazione richiesta per i		
	Lavoratori non particolarmente a rischio*	Lavoratori particolarmente a rischio (esclusi quelli con dispositivi impiantabili attivi)**	Lavoratori con dispositivi impiantabili attivi)***
Conduttore nudo aereo con tensione nominale superiore a 100 kV o linea aerea superiore a 150 kV (1), sopra il luogo di lavoro — esposizione a campi elettrici	Si	Si	Si
Conduttori nudi aerei con qualsiasi tensione — esposizione a campi magnetici	No	No	No
Circuito a cavo sotterraneo o isolato, con qualsiasi tensione nominale — esposizione a campi elettrici	No	No	No
Turbine eoliche, lavori con	No	Si	Si
Industria leggera			
Procedimenti di saldatura ad arco manuali (compresi MIG, MAG, TIG), seguendo le buone prassi e senza avvolgere il filo attorno al corpo	No	No	Si
Caricabatterie industriali	No	No	Si
Caricabatterie professionali di grandi dimensioni	No	No	Si
Apparecchiature per la verniciatura e il rivestimento	No	No	No
Attrezzature di controllo non contenenti trasmettitori radio	No	No	No
Apparecchiature per il trattamento corona delle superfici	No	No	Si
Riscaldamento dielettrico	Si	Si	Si
Saldatura dielettrica	Si	Si	Si
Apparecchiature per la verniciatura elettrostatica	No	Si	Si
Forni di riscaldamento a resistenza	No	No	Si
Pistole incollatrici (portatili) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Pistole incollatrici — utilizzo di	No	No	Si
Pistole ad aria calda (portatili) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Pistole ad aria calda — utilizzo di	No	No	Si

Tipo di apparecchiatura o luogo di lavoro	Valutazione richiesta per i		
	Lavoratori non particolarmente a rischio*	Lavoratori particolarmente a rischio (esclusi quelli con dispositivi impiantabili attivi)**	Lavoratori con dispositivi impiantabili attivi)***
Rampe idrauliche	No	No	No
Riscaldamento a induzione	Si	Si	Si
Sistemi di riscaldamento a induzione automatizzati, in cui la ricerca di guasti e la riparazione comportano la stretta vicinanza con la sorgente del campo elettromagnetico	No	Si	Si
Apparecchi di sigillatura a induzione	No	No	Si
Saldatura a induzione	Si	Si	Si
Macchine utensili (per esempio trapani a colonna, smerigliatrici, torni, fresatrici, seghe)	No	No	Si
Ispezione con particelle magnetiche (rilevazione di incrinature)	Si	Si	Si
Magnetizzatori/smagnetizzatori, industriali (compresi i cancellatori per nastri)	Si	Si	Si
Apparecchiature e strumenti di misura non contenenti trasmettitori radio	No	No	No
Riscaldamento ed essiccazione a microonde, nelle industrie del legno (essiccazione, piegatura e incollaggio del legno)	Si	Si	Si
Dispositivi al plasma a radiofrequenza (RF), compresi quelli per deposizione e polverizzazione catodica (sputtering) in vuoto	Si	Si	Si
Utensili (elettrici portatili e trasportabili per esempio trapani, levigatrici, seghe circolari e smerigliatrici angolari) — utilizzo di	No	No	Si
Utensili (elettrici portatili e trasportabili) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No

Tipo di apparecchiatura o luogo di lavoro	Valutazione richiesta per i		
	Lavoratori non particolarmente a rischio*	Lavoratori particolarmente a rischio (esclusi quelli con dispositivi impiantabili attivi)**	Lavoratori con dispositivi impiantabili attivi)***
Sistemi di saldatura automatizzati, in cui la ricerca di guasti, la riparazione e la formazione comportano una stretta vicinanza con la sorgente del campo elettromagnetico	No	Si	Si
Saldatura a resistenza manuale (saldatura a punti, saldatura continua)	Si	Si	Si
Industria pesante			
Elettrolisi industriale	Si	Si	Si
Forni fusori ad arco	Si	Si	Si
Forni fusori a induzione (i forni di piccole dimensioni hanno in genere campi accessibili di frequenza più alta dei forni di grandi dimensioni)	Si	Si	Si
Edilizia			
Macchinari per cantieri (per esempio betoniere, vibratori, gru ecc.) — lavoro in stretta prossimità	No	No	Si
Asciugatura a microonde nell'industria edilizia	Si	Si	Si
Settore medico			
Apparecchiature mediche senza impiego di campi elettromagnetici per diagnosi o terapie	No	No	No
Apparecchiature mediche con impiego di campi elettromagnetici per diagnosi e terapie (per esempio diatermia a onde corte, stimolazione magnetica transcranica)	Si	Si	Si
Trasporti			
Veicoli e impianti a motore — lavoro in stretta prossimità di motorini di avviamento, alternatori e sistemi di accensione	No	No	Si

Tipo di apparecchiatura o luogo di lavoro	Valutazione richiesta per i		
	Lavoratori non particolarmente a rischio*	Lavoratori particolarmente a rischio (esclusi quelli con dispositivi impiantabili attivi)**	Lavoratori con dispositivi impiantabili attivi)***
Radar di controllo del traffico aereo, militari, meteorologici e a lungo raggio	Si	Si	Si
Treni e tram a trazione elettrica	Si	Si	Si
Varie			
Caricabatterie, ad accoppiamento induttivo o di prossimità	No	No	Si
Caricabatterie, ad accoppiamento non induttivo per uso domestico	No	No	No
Sistemi e dispositivi di radiodiffusione (radio e TV: LF, MF, HF, VHF e UHF)	Si	Si	Si
Apparecchiature che generano campi magnetici statici superiori a 0,5 millitesla, generati elettricamente o da magneti permanenti (per esempio piani, tabelle e trasportatori magnetici, magneti di sollevamento, supporti magnetici, targhette, distintivi)	No	No	Si
Apparecchiature immesse sul mercato europeo conformemente alla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio o alle norme armonizzate sui campi elettromagnetici	No	No	No
Cuffie che producono forti campi magnetici	No	No	Si
Apparecchiature di cucina a induzione, professionali	No	No	Si
Apparecchi non elettrici di tutti i tipi eccetto quelli contenenti magneti permanenti	No	No	No
Apparecchiature portatili (a batteria) non contenenti trasmettitori a radiofrequenza	No	No	No
Radio bidirezionali (per esempio ricetrasmettitori, radio per veicoli)	No	No	Si
Trasmettitori a batteria	No	No	Si

*Valutazione richiesta rispetto ai livelli di azione o ai valori limite di esposizione applicabili

**Da valutare rispetto ai livelli di riferimento della raccomandazione del Consiglio dell'UE 1999/25/CE

***L'esposizione personale localizzata può superare i livelli di riferimento indicati nella raccomandazione del Consiglio. Questo aspetto va considerato nella valutazione del rischio, che dovrà basarsi sulle informazioni fornite dagli operatori sanitari responsabili dell'impianto del dispositivo e/o della successiva assistenza.

17. | APPENDICE C**17.1 ELENCO DELLE NORMATIVE DI LEGGE E DI BUONA TECNICA DI RIFERIMENTO****17.1.1 Norme giuridiche**

- DECRETO LEGISLATIVO 4 dicembre 1992, n. 475 (*Attuazione della direttiva 89/686/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1989 in materia di riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relativa ai dispositivi di protezione individuale*)
- DECRETO LEGISLATIVO 27 gennaio 2010, n. 17 (*Attuazione della direttiva 2006/42/CE relativa alle macchine*)
- LEGGE QUADRO 22 febbraio 2001 n. 36 (*Leggi quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici magnetici ed elettromagnetici*) D.P.C.M. 8 luglio 2003 (*lavoratori, popolazione, ambiente*)
- DECRETO LEGISLATIVO 19 novembre 2007, n. 257 (*Attuazione della direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (CAMPI ELETTROMAGNETICI)*)
- DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i (*attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*)
- DECRETO LEGISLATIVO 1 agosto 2016, n. 159 (*Attuazione della direttiva 2013/35/EU sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)*)
- DPCM 08 luglio 2003 “*fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenza comprese tra 100 kHz e 300 GHz*” G.U.29/08/2003 n. 199;
- DPCM 08 luglio 2003 “*fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generato dagli elettrodotti*” G.U.29/08/2003 n. 200;
- Direttiva 2004/40/CE del parlamento europeo e del consiglio del 29/04/2004 sulle prestazioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'art. 16, paragrafo 1 della direttiva 89/391/CEE)
- Direttiva 2013/35/UE del parlamento europeo e del consiglio del 26/06/2013 sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti

fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'art. 16, paragrafo 1 della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.

17.1.2. Norme di Buona Tecnica

- CEI 211-6 (2001-01) *“Campi elettromagnetici – 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”*.
- CEI 211-7 (2001-01) *“Campi elettromagnetici- Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell’intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all’esposizione umana”*
- CEI 211-7/A (2006-05) *“Campi elettromagnetici – Guida per la misura e la valutazione dei campi elettromagnetici nell’intervallo di frequenza 10kHz – 300 GHz, con riferimento all’esposizione umana. Appendice A: Centraline di monitoraggio dei campi elettromagnetici a radiofrequenza: procedure e finalità di utilizzo”*
- CEI 211-5 (1999-11) *“Considerazioni per la valutazione dell’esposizione umana ai campi elettromagnetici (EMF) derivanti da apparecchi di telecomunicazione mobile (MTE) nel campo di frequenza da 30 MHz e 6 GHz”*
- CEI 211-4 (1996-07) *“Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche” per i criteri di valutazione dei campi*
- CEI 111-1 (1997-06) *“Esposizione umana ai campi elettromagnetici ad alta frequenza. Rapporto informativo”*
- CEI 111-3 (1995-05) *“Esposizione umana ai campi elettromagnetici. Alta frequenza (10 kHz – 300 GHz)”*
- CEI 111-4 (1995-05) *“Esposizione umana ai campi elettromagnetici. Bassa frequenza (0 – 10 kHz) corrispondente alla norma CENELEC ENV50166-1 (1995-01)”, ritirata dalla Raccomandazione del Consiglio europeo 1999/519/CE*
- CEI 103-14 (1998-11) *“Misure di esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza. Intensità di campo nell’intervallo di frequenza da 100 kHz a 1 GHz”*
- CEI 42-7 (1997-05) *“Misura di campi elettrici a frequenza industriale”*
- prEN 50499: *“Procedura per la misurazione dell’esposizione da parte dei lavoratori ai campi elettromagnetici*

1.1.3 Linee guida

- ICNIRP 1998: Linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo (fino a 300 GHz).
- ICNIRP 2003: Linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici nella gamma da 0 a 100 kHz.
- ICNIRP 2009: Linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici emessi da apparecchiature mediche e industriali.
- ICNIRP 2010: Linee guida per l'esposizione ai campi elettromagnetici nelle frequenze comprese tra 1 Hz e 100 kHz.
- ICNIRP 2020: Linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici variabili nel tempo ed a campi elettromagnetici (fino a 300 GHz).