

Esposizione occupazionale a campi elettromagnetici, complessità degli accertamenti tecnici ed efficacia nella comunicazione del rischio

Merlino A., Quadrio G.

Ce.S.N.I.R. srl, via Sangro 10, 20132 Milano, www.cesnir.com, a.merlino@cesnir.com,
g.quadrio@cesnir.com

INTRODUZIONE

Il decreto legislativo n. 81 del 9 aprile 2008, testo unico in materia di sicurezza sul lavoro, dedica il Titolo VIII ai rischi dovuti all'esposizione delle lavoratrici e dei lavoratori agli agenti fisici e il Capo IV del medesimo titolo ai rischi derivanti dall'esposizione a campi magnetici statici e a campi elettromagnetici con frequenza sino a 300 GHz.

Con questo lavoro ci proponiamo di fornire un quadro di insieme dei metodi di misurazione dell'esposizione e della strumentazione a questo scopo necessaria, per poi spostare il focus sugli aspetti di comunicazione del rischio. La prima parte è rivolta quindi al valutatore specialista, colui che il D.Lgs 81/08 individua come "personale qualificato" all'articolo 181, comma 2 e vuol essere un riepilogo pragmatico delle tecniche di misurazione e di determinazione dell'esposizione. La seconda parte è invece indirizzata anche ai soggetti non specializzati, ma comunque coinvolti nella valutazione del rischio e che sono, innanzitutto, i membri del SPP aziendale: datore di lavoro, RSPP, medico competente e RLS. Il lavoro si propone di indicare una via per rendere gli esiti delle complesse analisi compiute dal valutatore specialista ben comprensibili ai soggetti non specializzati cui sono destinate.

ACCERTAMENTO TECNICO

Ai fini della corretta misurazione delle due principali grandezze che devono essere misurate, ovvero l'intensità di campo elettrico e l'intensità di campo magnetico, è innanzitutto necessario conoscere il tipo di radiazione emessa dalla specifica sorgente. Le diverse modalità di emissione si possono suddividere nelle seguenti:

1. emissione mono-frequenza, continua nel tempo di esercizio della sorgente;
2. emissione multi-frequenza, continua nel tempo di esercizio della sorgente;
3. emissione discontinua, a impulsi brevi, impulsi lunghi e treni di impulsi;
4. emissione (continua o discontinua) irregolare (per la presenza di transienti).

Emissioni del primo tipo si hanno generalmente da sorgenti intenzionali di campo elettromagnetico come alcune macchine elettromedicali e per la fisioterapia, macchine per i trattamenti degli alimenti a radiofrequenza o per il riscaldamento dielettrico a radiofrequenza dei materiali; le emissioni del secondo tipo sono le più frequenti e sono normalmente tutte quelle connesse con la generazione, il trasporto, la distribuzione e l'utilizzazione dell'energia elettrica; le emissioni pulsate si hanno da parte di alcune macchine elettromedicali (come la magnetoterapia transcranica) e dagli apparecchi radar; l'emissione a treni di impulsi è tipica nuovamente degli elettrobisturi e dei radiobisturi in alcune specifiche modalità di esercizio; l'emissione dell'ultimo tipo, infine, è quella che caratterizza quasi tutti i processi di saldatura ad arco elettrico.

Figura 1 - Diagramma temporale del campo elettrico emesso da un elettrobisturi in esercizio ad onda continua

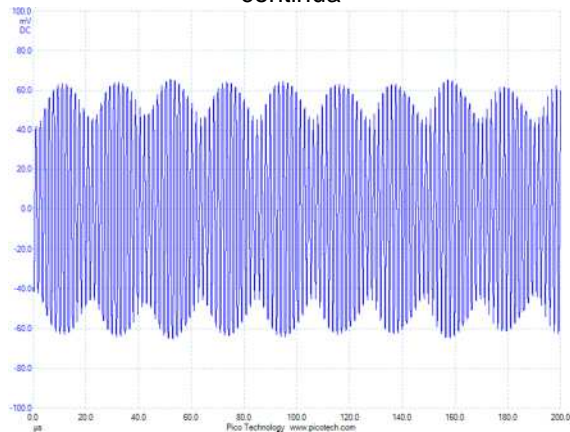


Figura 2 - Analisi spettrale del segnale di cui alla figura 1

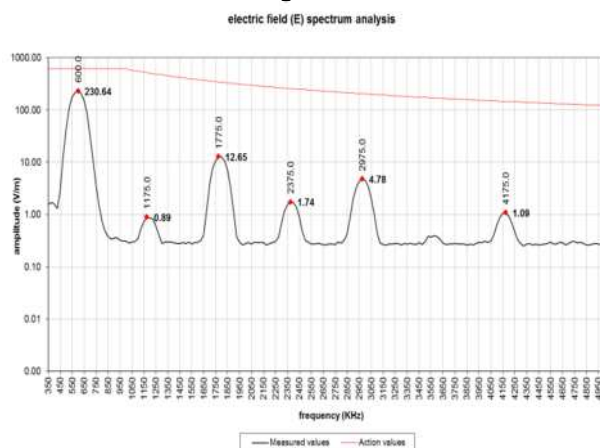


Figura 3 - Diagramma temporale del campo elettrico emesso da un elettrobisturi in esercizio ad onda discontinua

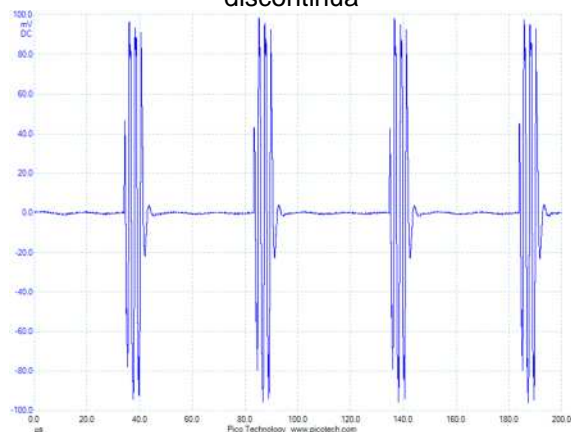


Figura 4 - Diagramma temporale del campo magnetico emesso da un radiobisturi in esercizio ad onda discontinua

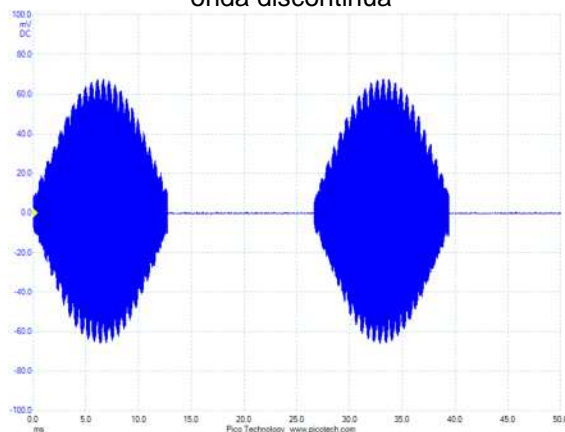


Figura 5 - Diagramma temporale del campo magnetico emesso durante una magnetoterapia transcranica

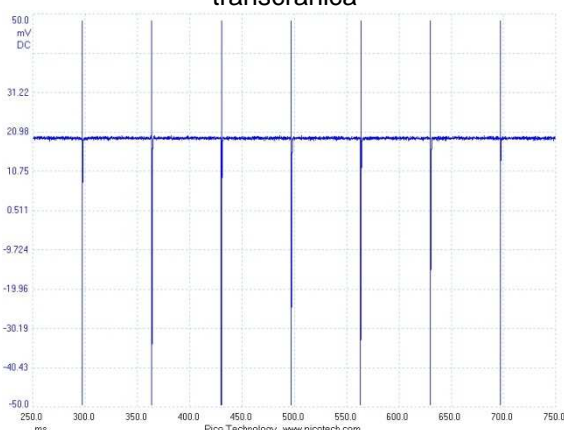


Figura 6 - Diagramma temporale del campo elettrico emesso durante una tecar terapia in modalità capacitiva

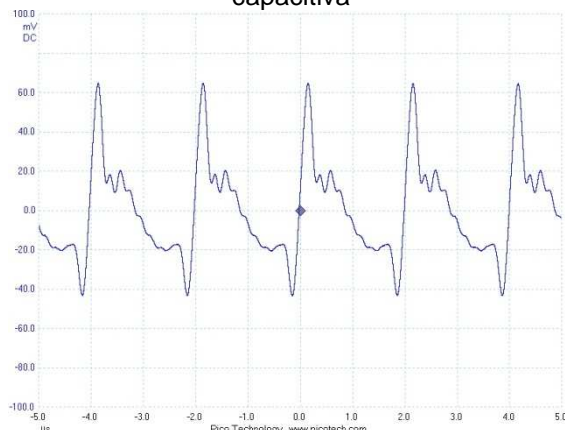


Figura 7 - Diagramma temporale del campo magnetico emesso da una saldatrice ad elettrodo in esercizio ad onda discontinua irregolare

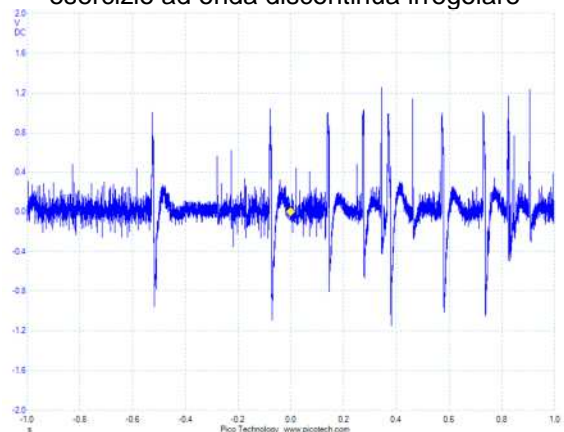
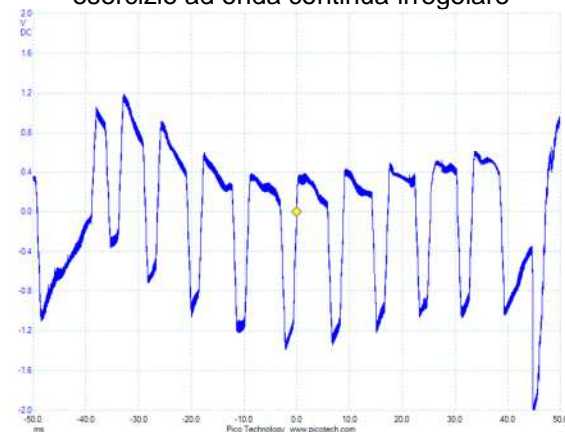


Figura 8 - Diagramma temporale del campo magnetico emesso da una saldatrice GMAW in esercizio ad onda continua irregolare



Ai fini della determinazione dell'intensità di campo elettrico e magnetico nei diversi scenari descritti, con la strumentazione ad oggi disponibile si può procedere come descritto di seguito.
EMISSIONE MONO-FREQUENZA, CONTINUA

Queste emissioni sono normalmente di tipo intenzionale, ovvero si tratta di emissioni funzionali al compito che la sorgente svolge (ad esempio consideriamo l'emissione durante una tempra ad induzione) e, per lo stesso motivo, il contenuto armonico di questi segnali può generalmente essere trascurato. L'intensità del campo elettrico e di quello magnetico può quindi essere efficacemente determinata mediante sistemi a banda larga. La frequenza del campo generato è

nota dal data-sheet della macchina e la misura di campo elettrico (in V/m) e di campo magnetico (in A/m o in μT) restituita dalla strumentazione, può quindi essere direttamente confrontata con il valore di azione previsto dalla norma a quella specifica frequenza.

EMISSIONE MULTI-FREQUENZA, CONTINUA

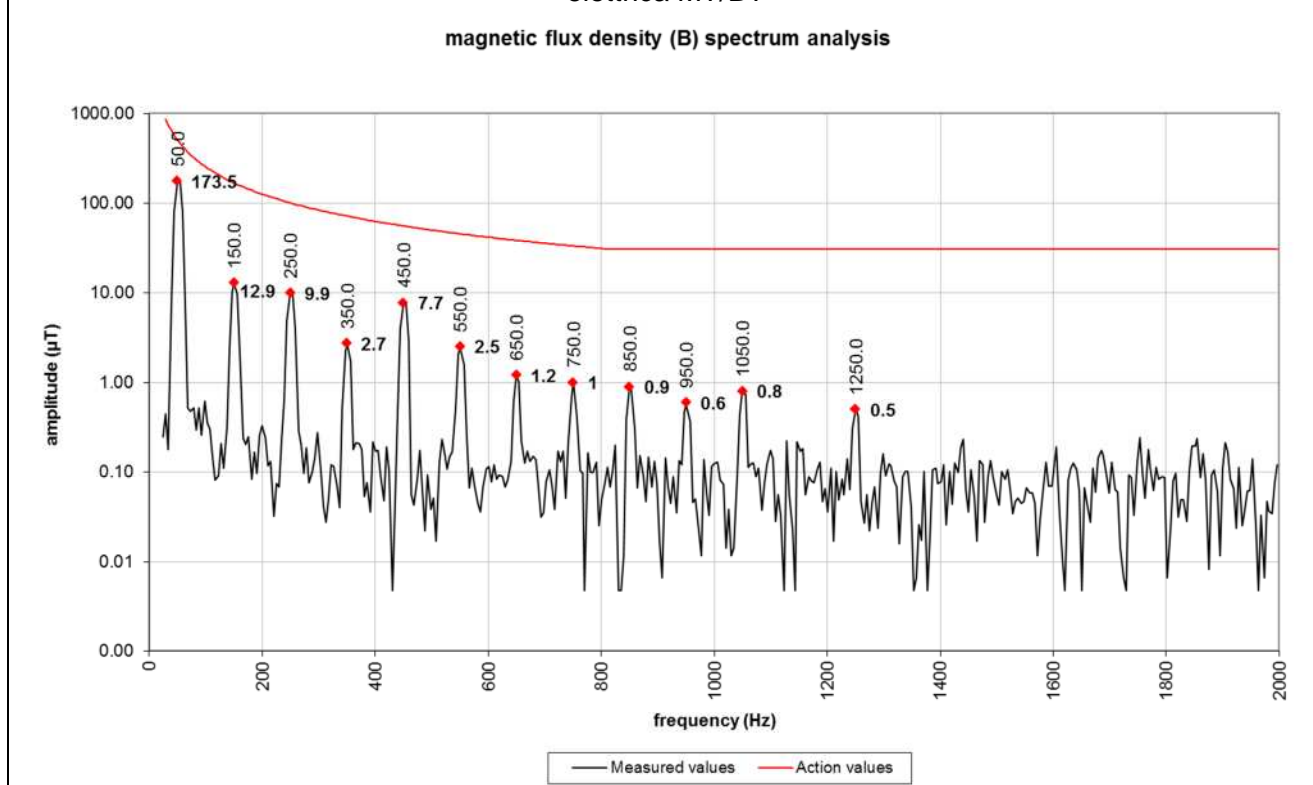
Questo tipo di emissione elettromagnetica è normalmente non intenzionale e la presenza di segnali a diverse frequenze può essere un effetto direttamente connesso con la complessità della sorgente (supponiamo un motore elettrico alimentato alla frequenza di rete) e/o il risultato della presenza di componenti armoniche di rilevante intensità (come accade in una cabina elettrica). In questi casi non può essere impiegato un rilevatore a banda larga e si deve passare ad un sistema selettivo in frequenza che consenta di determinare l'intensità di ogni componente e calcolare l'effetto complessivo a mezzo delle seguenti relazioni di cui alla norma tecnica CEI EN 50499:2009, Allegato D, titolo "D.2.1.1 Valutazione nel dominio della frequenza".

Tabella 1 – Determinazione dell'effetto dell'esposizione a frequenze multiple

$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$ $\sum_{j=1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65\text{kHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$	<p>dove:</p> <p>E_i = intensità del campo elettrico alla frequenza i; $E_{L,i}$ = valore di azione per il campo elettrico alla frequenza i; H_i = intensità del campo magnetico alla frequenza i; $H_{L,i}$ = valore di azione per il campo magnetico alla frequenza i; $a = 610 \text{ V/m}$; $b = 24.4 \text{ A/m}$ ($30.7 \mu\text{T}$).</p>
$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$ $\sum_{j=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$	<p>dove:</p> <p>E_i = intensità del campo elettrico alla frequenza i; $E_{L,i}$ = valore di azione per il campo elettrico alla frequenza i; H_i = intensità del campo magnetico alla frequenza i; $H_{L,i}$ = valore di azione per il campo magnetico alla frequenza i; $c = 610/f \text{ V/m}$ (f in MHz); $d = 16/f \text{ A/m}$ (f in MHz).</p>

In questo caso il confronto normativo è realizzato mediante la verifica delle disuguaglianze di cui alla tabella 1. Se è verificata la disuguaglianza stretta (risultato < 1) significa che è rispettato il complesso dei valori di azione, altrimenti che è raggiunto (risultato $= 1$) o superato (risultato > 1).

Figura 9 – Diagramma della distribuzione spettrale dell'induzione magnetica rilevata in una cabina elettrica MT/BT



In queste situazioni la restituzione del valore dell'intensità di campo elettrico o magnetico alla sola frequenza fondamentale (50 Hz in questo caso) può essere fuorviante perché il suo contributo all'esposizione totale può essere anche inferiore al 50%. A titolo di esempio si consideri il caso seguente, derivante dall'esperienza concreta. La misurazione dell'intensità dell'induzione magnetica all'interno di una cabina elettrica di trasformazione da media a bassa tensione ha restituito uno spettro (vedi figura 9) che, oltre alla componente fondamentale a 50 Hz, si compone di armoniche di intensità significativa sino alla frequenza di 1250 Hz (per lo meno tra quelle dispari).

Tabella 2 – Entità delle diverse componenti in frequenza di cui al diagramma di figura 9 e calcolo dell'effetto dell'esposizione complessiva

frequenza (Hz)	valore misurato B_j (μ T)	valore di azione B_L (μ T)	B_j/B_L	verifica di conformità
50	173.5	500	0.35	0.90
150	12.9	167	0.08	
250	9.9	100	0.10	
350	2.7	71	0.04	
450	7.7	56	0.14	
550	2.5	45	0.06	
650	1.2	38	0.03	
750	0.9	33	0.03	
850	0.9	31	0.03	
950	0.6	31	0.02	
1050	0.8	31	0.03	
1250	0.5	31	0.02	

Nella tabella 2 sono riportati i valori di induzione magnetica di ogni componente in frequenza ritenuta significativa, i corrispondenti valori di azione e il rapporto tra i primi ed i secondi. Nell'ultima cella è riportata la somma dei rapporti [valore misurato]/[valore limite] e questa somma rappresenta il numero adimensionale da confrontare con l'unità. Come si può notare l'intensità del contributo a 50 Hz è pari a 173.5 μ T e quindi il suo rapporto con il corrispondente valore di azione vale 0.35; ciò nonostante l'esposizione complessiva, tenuto conto del contributo di 11 armoniche, è pari a 0.90; è interessante anche osservare che il contributo più importante da parte delle componenti armoniche è quello a 450 Hz, pari a 0.14. In questo caso il campo magnetico alla frequenza di 50 Hz rappresenta quindi solo il 35% del corrispondente valore di azione, ma l'esposizione totale raggiunge il 90% di quella massima consentita dal complesso dei valori di azione.

Va detto che il calcolo dell'esposizione basata sull'analisi in frequenza del segnale, restituisce un valore che sovrastima l'esposizione reale, quanto più questo è ricco di contributi distinti in frequenza. Questa sovrastima si deve al fatto che ogni contributo è considerato in fase con tutti gli altri, cosa che può non rispondere al vero.

Allo scopo di valutare l'esposizione a questo tipo di emissioni si possono anche utilizzare strumenti detti "shaped time domain" (*std*), ovvero sistemi che compiono una misura del campo nel dominio del tempo, tramite un rilevatore di picco e lo ponderano nel dominio delle frequenze con una curva che riproduce l'andamento dei valori di azione al variare della frequenza. Questo metodo è detto del "picco ponderato" e lo strumento che lo implementa restituisce un valore adimensionale che è espressione diretta dell'esposizione complessiva (ad esempio un valore percentuale da confrontare con il valore 100% per stabilire se sia superata o meno la massima esposizione consentita). Il vantaggio dell'uso di questa strumentazione (se disponibile per la banda di frequenze e il campo di nostro interesse) è di restituire immediatamente se l'esposizione sia conforme o meno al complesso dei valori di azione e di compiere una misura non affetta dalla distorsione introdotta dal metodo precedente nel considerare tutte diverse componenti in frequenza necessariamente in fase tra loro.

EMISSIONI DISCONTINUE O IRREGOLARI

Per la determinazione dell'esposizione a campi connessi con questo tipo di emissioni si rende obbligatorio ricorrere alla strumentazione std introdotta sopra. Il primo scoglio all'uso della strumentazione non std è rappresentato dall'esame dei singoli impulsi, per i quali il valore di azione sarebbe definito dalla loro frequenza equivalente (l'inverso del doppio della durata dell'impulso). Il secondo aspetto che rende inadeguata la strumentazione tradizionale è che, normalmente, non è dotata di rivelatore di picco ma del solo rivelatore RMS.

LA STRUMENTAZIONE DISPONIBILE

Concludiamo questa prima parte con un riepilogo della strumentazione concretamente utilizzabile per la valutazione dell'esposizione occupazionale a campi elettromagnetici. La tabella riportata di seguito fornisce una panoramica sulla strumentazione più adatta ai diversi scopi, per lo meno in ambito industriale e medicale.

Tabella 3 – Panoramica della strumentazione

range di frequenze	descrizione della strumentazione	note
campo magnetico statico	gaussmetro (possibilmente triassiale)	utilizzo infrequente
campo elettromagnetico a basse frequenze (entro 100 kHz)	misuratore a banda larga, con sonde triassiali di campo elettrico e magnetico	adatto per segnali regolari e mono-frequenza
	misuratore di campo elettrico e magnetico, con sonde triassiali e capacità di calcolo della FFT del segnale	adatto per segnali regolari, compresi quelli multi-frequenza
	misuratore del livello di esposizione con implementazione del metodo del picco ponderato	necessario per segnali caratterizzati da transienti veloci o impulsi.
campo elettromagnetico a frequenze intermedie (oltre 100 kHz ed entro 30 MHz)	misuratore di campo elettrico e magnetico, con sonde triassiali e capacità di calcolo della FFT del segnale	adatto a segnali persistenti e necessario se non ne è nota la frequenza
	misuratore in banda larga e le rispettive sonde di campo elettrico e magnetico	adatto anche a segnali non persistenti, di cui si conosce la frequenza
campo elettromagnetico ad alta frequenza (oltre 30 MHz)	misuratore in banda larga e le rispettive sonde di campo elettrico e magnetico	utilizzo raro nel campo industriale e medicale

COMUNICAZIONE DEL RISCHIO

In questa seconda parte intendiamo affrontare gli aspetti di comunicazione del livello di rischio. Viste le complessità tecniche in gioco, in parte illustrate nella prima parte di questo lavoro, per compiere questo passaggio informativo efficacemente è necessario che il valutatore faccia un ulteriore sforzo, questa volta nella direzione della semplificazione e riesca a sintetizzare gli esiti delle complesse valutazioni compiute, in un momento di informazione che, senza rinunciare alla completezza, possa essere pienamente compreso dai destinatari che sono, innanzitutto, i membri del SPP aziendale.

Al Servizio di Prevenzione e Protezione il valutatore dovrebbe chiarire, a nostro avviso, i seguenti tre principali temi.

- 1) Com'è stata classificata l'esposizione degli addetti.
- 2) Qual è il quadro normativo di riferimento per ogni specifico caso
- 3) Qual è l'esito delle valutazioni quantitative sui livelli di esposizione degli addetti.

CLASSIFICAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

Nel caso del campo elettromagnetico è possibile che sul luogo di lavoro esistano addetti esposti per ragioni non riconducibili alla propria occupazione e la cui tutela è da attuarsi applicando le norme previste a protezione della popolazione generica. La mera esposizione al campo elettromagnetico di un individuo sul luogo di lavoro non implica infatti, automaticamente, che si tratti di un'esposizione occupazionale. Inoltre anche la valutazione dei rischi per i soggetti particolarmente sensibili al rischio può richiedere un confronto con la normativa sulle esposizioni generiche.

Questa dualità tra esposizione generica e occupazionale, pur se le esposizioni avvengono sul luogo di lavoro, è introdotta dalla legge 36/01, *Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*, che all'art. 2, comma 1, lettera f), definisce l'esposizione dei lavoratori come *ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*. Su questo punto interviene inoltre il Coordinamento Tecnico Interregionale della Prevenzione nei Luoghi di Lavoro che precisa che sono da intendersi esposizioni di carattere professionale solo quelle strettamente correlate e necessarie alle finalità del processo produttivo e che le esposizioni a sorgenti non correlate con la specifica attività dei lavoratori, che ricadono sotto la gestione del datore di lavoro, devono essere ricondotte entro le restrizioni previste dalla normativa vigente per la tutela della popolazione. Emerge quindi che il datore di lavoro si può trovare a dover condurre una valutazione dei rischi rispetto a un doppio sistema di riferimenti normativi che, oltre al D.Lgs 81/08, comprende anche quelli che definiscono tutele nei confronti della popolazione. Questo aspetto non è presente nella valutazione degli altri agenti fisici. A titolo di esempio si consideri il caso di impiegati con compiti amministrativi che, in virtù dell'adiacenza del loro ufficio con la cabina elettrica, sono esposti al campo elettromagnetico da questa generato.

Il valutatore dovrà pertanto esplicitare all'interno del proprio rapporto, caso per caso, se abbia considerato l'esposizione di tipo occupazionale o generico, oppure condurre sempre il confronto con entrambi i sistemi di limiti. Quest'ultimo approccio è anche utile ai fini della valutazione del rischio per i soggetti particolarmente sensibili, per soggetti terzi quali i visitatori, nonché ai fini della zonizzazione suggerita all'allegato G (informativo) dalla norma tecnica CEI EN 50499:2009, che prevede di suddividere i luoghi di lavoro in tre zone ideali, denominate 0, 1 e 2, corrispondenti rispettivamente ai luoghi in cui sono rispettati i limiti per la popolazione generica, ai luoghi in cui non sono rispettati questi limiti ma sono rispettati quelli definiti a protezione dei lavoratori ed ai luoghi in cui sono superati anche i limiti previsti per le esposizioni occupazionali.

Il Servizio di Prevenzione e Protezione, nel ricevere la valutazione condotta dallo specialista, deve poter comprendere chiaramente quale sia stata la classificazione dell'esposizione con la quale il valutatore ha qualificato ciascun lavoratore.

QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Compiuto il passaggio di cui sopra deve essere portato all'attenzione del SPP quale sia quindi il sistema di limiti che deve essere preso in considerazione, preso atto che i soli limiti introdotti dal D.Lgs 81/08, con il Capo IV del Titolo VIII non completano l'insieme dei riferimenti con i quali confrontarsi, dal momento che regolamentano le sole esposizioni occupazionali.

I dispositivi che regolano l'esposizione ai campi elettromagnetici dei soggetti esposti per ragioni generiche, sono invece:

- DPCM 8/7/2003 Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 199 del 28 agosto 2003;
- DPCM 8/7/2003 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) generati dagli elettrodotti, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 200 del 29 agosto 2003;
- Raccomandazione 1999/519/CE, del 12 luglio 1999 Limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz, pubblicata sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 199 del 30 luglio 1999.

Il primo dei due DPCM, relativo alle alte frequenze, definisce i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettromagnetici generati dai sistemi fissi delle telecomunicazioni. Il secondo tratta invece gli stessi aspetti relativi all'esposizione della popolazione ai campi elettrici e magnetici connessi all'esercizio degli elettrodotti. Per quanto concerne le esposizioni non riconducibili agli elettrodotti e non riconducibili ai sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi, come stabilito all'articolo 1 ("Campo di applicazione") di entrambi i decreti, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999.

Ci preme infine portare l'attenzione del lettore su un altro argomento che deve essere ben introdotto al SPP, ovvero quello del significato di *valore limite di esposizione* e di *valore di azione*, grandezze a mezzo delle quali il D.Lgs 81/08 fissa le soglie di esposizione occupazionale ai campi elettromagnetici dei lavoratori. Nel caso di questo agente fisico, differentemente da quanto accade per rumore e vibrazioni, i valori di azione non rappresentano una vera e propria soglia preliminare rispetto ai valori limite di esposizione; si tratta infatti di grandezze diverse, valutate in mezzi diversi (i primi in aria e i secondi internamente al corpo umano). Tant'è che il legislatore si preoccupa di specificare che il rispetto dei valori di azione garantisce anche il rispetto dei valori limite (art. 207, c. 1, lettera c) affermazione che sarebbe tautologica se i primi rappresentassero una soglia preliminare rispetto ai secondi come accade per rumore e vibrazioni. I valori di azione sono parametri direttamente misurabili, derivati dai limiti di esposizione che invece direttamente misurabili non sono, perché sono intesi internamente al corpo umano. Si potrebbe dire che i valori di azione traducono i valori limite di esposizione in limiti verificabili esternamente al corpo umano. Questo dovrebbe rendere chiaro al SPP e soprattutto al datore di lavoro che la valutazione del rischio è correttamente condotta anche se il confronto normativo è attuato solo rispetto ai valori di azione, senza ricorrere al confronto con i valori limite, anche se l'articolo 209 del testo unico sulla sicurezza, al c. 2, introduce questa possibilità. Inoltre un confronto diretto con i valori limite di esposizione non è attuabile per la maggior parte delle aziende, come ben spiegato dal Coordinamento Tecnico Interregionale della Prevenzione nei Luoghi di Lavoro nelle proprie linee guida in formato di "FAQ" ai punti 4.17 e 4.18. Questi argomenti dovrebbero essere introdotti al SPP affinché comprenda che le misure di prevenzione e protezione, che la legge prevede al superamento dei valori limite di esposizione, devono in realtà essere attuate al superamento dei valori di azione, considerando questi ultimi come soglia invalicabile al posto dei primi.

ENTITÀ DELL'ESPOSIZIONE

Al SPP deve essere proposto un modo organico ed eterogeneo per valutare l'esito di ciascuna misurazione. A questo fine è spesso poco utile riferire del livello di campo elettrico e/o magnetico, rilevato, tenuto conto che:

- tutte le volte che si ha esposizione simultanea a più componenti in frequenza (consueto quando l'emissione è effetto indiretto dell'utilizzazione o del trasporto di energia elettrica, cfr. Figura 9 e Tabella 2) l'entità del campo elettrico e/o magnetico alla sola frequenza fondamentale (50 Hz) può rappresentare una frazione minoritaria dell'esposizione complessiva;
- quando il campo ha forma d'onda pulsata o comunque complessa (come nel caso delle emissioni da parte della maggior parte dei sistemi per saldatura ad arco elettrico) l'esposizione deve essere valutata mediante un'analisi nel dominio del tempo anziché in quello delle frequenze e l'esito è dato da un numero adimensionale, espressione del livello percentuale di esposizione rispetto all'insieme dei limiti previsti;
- il medesimo livello di campo può essere considerato sicuro o pericoloso a seconda che l'esposizione sia di tipo occupazionale o generico, ovvero a seconda del dispositivo di legge cui ci si riferisce per il confronto normativo (ad esempio 12 μT , misurati a 50 Hz possono essere considerati accettabili per un'esposizione occupazionale, mentre invece può essere necessario ridurli se si tratta di un'esposizione generica, subordinata al DPCM 8/7/03 sugli elettrodotti).

Per evitare questi inconvenienti si può restituire l'informazione sull'entità della misurazione ricorrendo in tutte le situazioni a un parametro adimensionale, che potremmo denominare indice di conformità e indicare con la lettera "C", che fornisca direttamente l'informazione sul rapporto tra i livelli di esposizione dell'addetto e il complesso dei limiti applicabili alla sua specifica situazione espositiva, cosicché a seconda che tale numero sia inferiore, pari o superiore ad 1, si abbia l'immediata informazione se l'esposizione è inferiore, pari o superiore al complesso di limiti applicabili al caso in esame, qualunque questi siano, sia che si tratti di esposizione generica che occupazionale. Questa iniziativa consente di poter restituire l'esito quantitativo della valutazione dell'esposizione senza dover richiamare, caso per caso, quali fossero le grandezze fisiche che sono state misurate, quali i dispositivi di legge di riferimento, se vi fosse o meno un'esposizione simultanea a campi di frequenza diversa.

L'indice C andrebbe calcolato come:

- rapporto tra il valore misurato e il corrispondente limite ($C = \text{val}_{\text{mis}}/\text{limite}$) in caso di campi a frequenza inferiore a 100 kHz, mono-frequenza e nel caso di esposizioni al campo generato dagli elettrodotti (regolate dal DPCM 8/7/03, G.U. 200/03);
- rapporto tra il quadrato del valore misurato¹ e il corrispondente limite, anch'esso elevato a quadrato ($C = \text{val}_{\text{mis}}^2/\text{limite}^2$), in caso di campi a frequenza e superiore a 10 MHz, mono-frequenza e nel caso di esposizioni al campo generato dagli impianti fissi delle telecomunicazioni (regolate dal DPCM 8/7/03, G.U. 199/03);
- il maggiore dei due valori di cui sopra per campi a singola frequenza, compresa tra 100 kHz e 10 MHz;
- il risultato delle sommatorie di cui alla tabella 1 nel caso di esposizioni occupazionali a campi multifrequenza;
- il risultato di sommatorie analoghe a quelle fornite in tabella 1, ma applicabili al caso delle esposizioni generiche e definite dalla Raccomandazione 1999/519/CE, all'allegato IV: "Esposizione da sorgenti di diverse frequenze";
- il risultato della valutazione mediante strumentazione "shaped time domain" dove la curva di ponderazione sarà definita sulla base dei valori di azione individuati a tutela dei lavoratori esposti dal D.Lgs 81/08, o sulla base dei livelli di riferimento individuati a tutela della popolazione esposta dalla Raccomandazione 1999/519/CE, nel caso di esposizione a campi di forma d'onda complessa.

Il Servizio di Prevenzione e Protezione e nello specifico il responsabile del servizio (RSPP), riceve l'informazione sull'entità dell'esposizione a mezzo di tale indice ed è immediatamente in grado di valutare il livello del rischio anche senza entrare nel merito di come sia stata misurata l'esposizione, né di quale fosse il riferimento normativo da assumere come riferimento. $C = 1$ indica comunque il raggiungimento dei livelli assunti come limite, $C < 1$ il loro rispetto e $C > 1$ il superamento di questi.

Chiarito al SPP che deve far riferimento solo all'entità di questo parametro C, la nostra scelta è quella di restituire comunque un quadro che comprenda anche qualche elemento relativo ai livelli di campo riscontrati e ai criteri su cui si è basata la singola valutazione e a questo fine proponiamo una scheda di cui si riporta un estratto di seguito (figura 10).

Figura 10 - Esempio di restituzione del risultato di una misurazione dei livelli di esposizione derivanti da una misurazione in un punto di una cabina elettrica di trasformazione MT/BT

Metodo del rilievo: analisi nel dominio delle frequenze

Effetti non termici

ID rilievo	Componente	Componente spettrale dominante			Segnale multifrequenza	C (lavoratori)	C (popolazione)
		f (Hz)	I	Valore azione Limite pop			
03	E (V/m)	50	84.7	10 000 5 000	SI	≤ 0.10	≤ 0.10
	H (A/m)	50	46.6	400 80	SI	0.38	1.89

Effetti termici (non valutati perché tutti i contributi in frequenza sono inferiori a 100 kHz)

Bibliografia

CEI EN 50499:2009 **Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici**

Coordinamento Tecnico Interregionale della Prevenzione nei Luoghi di Lavoro (2010-03) **D.Lgs 81/08, Titolo VIII, Capo I, II, III, IV e V sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro. Indicazioni operative**

A. Merlino (2011) **Complessità nel processo di valutazione del rischio di esposizione a campi elettromagnetici**, Atti del 28° Congresso Nazionale AIDII (Ravenna 22-24 giugno 2011); 137-148

A. Merlino (2011) **Valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici**, ISL Igiene & Sicurezza del Lavoro; n. 11/2011, 771-778

¹ Alle alte frequenze il valore di esposizione è in realtà ottenuto come valore quadratico medio dei valori assunti dal campo su un qualsiasi intervallo di 6 minuti; è quindi a questo che ci si riferisce con val_{mis} .