

## MISURE DI CAMPO ELETTROMAGNETICO IN AMBITO SANITARIO

Alessandro Merlini (1), Gabriele Quadrio (1), Daniele Andreuccetti (2), Nicola Zoppi (2),  
Andrea Bogi (3), Iole Pinto (3), Luca Diamanti (4), Neva Pasqualini (4), Paolo Zani (4)

(1) CESNIR, via Confalonieri 46 – 20058 Villasanta (MB)  
[a.merlino@cesnir.com](mailto:a.merlino@cesnir.com), [g.quadrio@cesnir.com](mailto:g.quadrio@cesnir.com)

(2) IFAC-CNR, via Madonna del Piano 10 - 50019 Sesto Fiorentino (FI)  
[n.zoppi@ifac.cnr.it](mailto:n.zoppi@ifac.cnr.it), [d.andreuccetti@ifac.cnr.it](mailto:d.andreuccetti@ifac.cnr.it)

(3) Azienda U.S.L. 7 di Siena Laboratorio Agenti Fisici, Strada di Ruffolo 4 - 53100 Siena  
[a.bogi@usl7.toscana.it](mailto:a.bogi@usl7.toscana.it), [i.pinto@usl7.toscana.it](mailto:i.pinto@usl7.toscana.it)

(4) Ospedale San Raffaele, via Olgettina n.60 20132 Milano (MI)  
[diamanti.luca@hsr.it](mailto:diamanti.luca@hsr.it), [pasqualini.neva@hsr.it](mailto:pasqualini.neva@hsr.it), [zani.paolo@hsr.it](mailto:zani.paolo@hsr.it)

### INTRODUZIONE

In ambito sanitario sono presenti sorgenti di campo elettromagnetico dalle caratteristiche molto eterogenee. Alcune tra queste hanno però come caratteristica comune quella di emettere campi con forma d'onda complessa e con spettri che si collocano entro la banda di frequenze tra 100 kHz e 10 MHz in cui le linee guida ICNIRP [1][2] prescrivono di considerare sia gli effetti di stimolazione (collegati ai valori di picco dei campi) sia gli effetti termici (collegati a medie su 6 minuti dei campi stessi).

In questo lavoro si presentano dei casi studio basati su misure di campo elettrico e magnetico riferite a elettrobisturi e radiobisturi, che la società di consulenza CESNIR ([www.cesnir.com](http://www.cesnir.com)) ha effettuato presso l'Ospedale San Raffaele di Milano, in collaborazione con il Servizio di Prevenzione e Protezione e il Servizio di Ingegneria Clinica dell'ospedale stesso. I risultati delle misure sono stati quindi elaborati presso IFAC-CNR di Firenze e USL7 di Siena, che sono intervenuti nella cornice di un progetto riguardante lo sviluppo ed il popolamento del Portale Agenti Fisici ([www.portaleagentifisici.it](http://www.portaleagentifisici.it)) ed in particolare della sezione riguardante le radiazioni non ionizzanti.

Per ciascuna delle due sorgenti esaminate si danno indicazioni sulle caratteristiche tecniche, sulla strumentazione di misura e sulle problematiche talvolta incontrate sia durante le misure, sia nella successiva fase di elaborazione dei risultati.

Nell'articolo tuttavia non ci si limita ad elencare i problemi e le questioni aperte, ma si mira a definire una procedura in grado di fornire indicazioni sui livelli degli indici di esposizione riferiti alle grandezze radiometriche che possono essere riscontrati in prossimità degli apparati considerati.

### UN IMPASSE PER IL VALUTATORE?

La principale fonte normativa a livello europeo che riguarda l'esposizione occupazionale ai campi elettromagnetici è la più volte emendata Direttiva Europea 2004/40/CE<sup>1</sup> [3], successivamente recepita a livello nazionale nel 2008 dal D.Lgs 81/08 [4]. La ratio scientifica alla quale la normativa si riferisce è rappresentata dalle linee guida ICNIRP del 1998 [1] e i limiti oggi vigenti sono i medesimi proposti da ICNIRP quattordici anni fa. Ciò nonostante il consulente aziendale che oggi si trova a dover valutare se occorra mettere in atto delle misure di prevenzione e protezione per i lavoratori esposti a campi elettromagnetici, deve affrontare ancora molte difficoltà, tra le quali (1)

---

<sup>1</sup> È attualmente in corso una revisione che potrebbe modificare profondamente l'impianto della Direttiva

orientarsi in un quadro normativo frammentario, con limiti definiti su più livelli e spesso di non facile interpretazione/compressione, (2) dotarsi di appropriata strumentazione di misura, (3) implementare dei metodi di valutazione adatti ad ogni situazione espositiva.

Sulla base della più che decennale esperienza che sia CESNIR sia ASL7 hanno maturato in questo settore, è possibile affermare che ad oggi l'esposizione al campo elettromagnetico in ambito industriale rappresenta la valutazione più complessa, se confrontata con le valutazioni degli altri agenti di cui al Titolo VIII del D.Lgs 81/08 (rumore, vibrazioni meccaniche e radiazioni ottiche artificiali). Infatti, diversamente dal rumore e dalle vibrazioni meccaniche, le cui modalità di valutazione in ambito industriale sono delineate con puntualità dalle norme tecniche di riferimento, le tecniche di valutazione dei campi elettromagnetici sono ancora in forte evoluzione. Questo incide anche sulla strumentazione di cui il valutatore si deve dotare, che oggi comprende una molteplicità di dispositivi, comunque non sufficienti a coprire tutte le casistiche di emissione. Lontano appare quindi anche l'obiettivo di un sistema integrato, che sarebbe di grande utilità pratica. È pertanto probabile che il professionista incaricato di una valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici in un luogo di lavoro, si trovi di fronte a problematiche di elevata complessità ed è anche possibile che si verifichi il caso di esposizioni non del tutto valutabili.

### I DISPOSITIVI ESAMINATI E LA CATENA DI MISURA UTILIZZATA

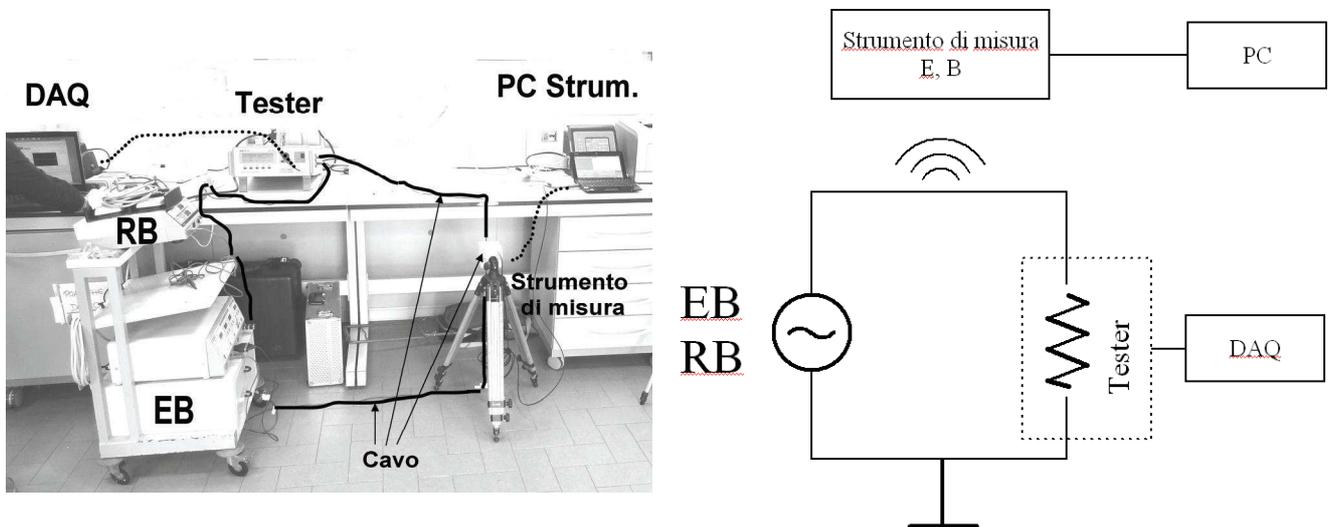
I dispositivi analizzati in questo lavoro sono l'elettrobisturi Erbotom ICC 300 della Erbe con frequenza nominale di 330 kHz (**EB** nel seguito) ed il radiobisturi Surgitron 4.0 Dual RF della Ellman con frequenza nominale di 4 MHz (**RB** nel seguito). Entrambi i dispositivi sono stati testati in due modalità di funzionamento monopolari: il taglio (**cut**) e la coagulazione (**coag**).

Come resistenza di carico è stato utilizzato il tester per apparati elettrochirurgici QA-ES Electrosurgical Analyzer della Metron (**tester** nel seguito) che, avendo banda nominale 100 Hz-10 MHz risulta adeguato alla prova di entrambi gli apparati.

La campagna di misura ha avuto luogo il 25 luglio 2012 presso il laboratorio di Ingegneria Clinica dell'Ospedale San Raffaele di Milano che ha messo a disposizione anche EB, RB ed il tester.

Durante le misure il manipolo e la piastra di ritorno di EB ed RB sono stati collegati al tester, funzionante come carico fisso di 500 ohm (pari al carico nominale sia di EB sia di RB). Il tester è dotato di un'uscita analogica non calibrata su BNC che è stata acquisita con l'oscilloscopio Picoscope 4000 della Pico Technology (DAQ nel seguito) utilizzando una frequenza di campionamento pari a 20 MSample/s.

L'immagine di figura 1 rappresenta il sito di misura e gli elementi che compongono la catena utilizzata; a fianco, in figura 2, è riportato uno schema esplicativo.

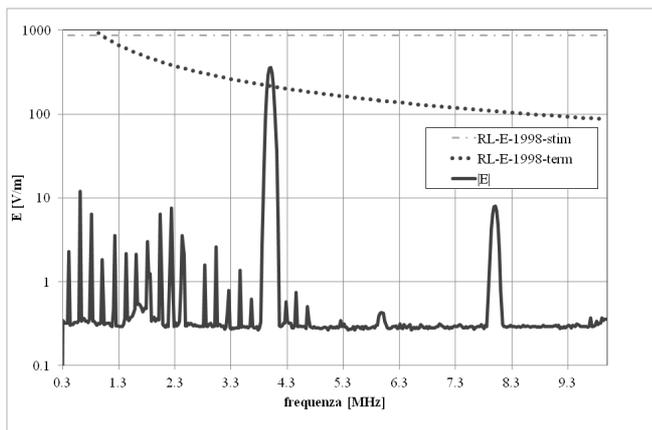
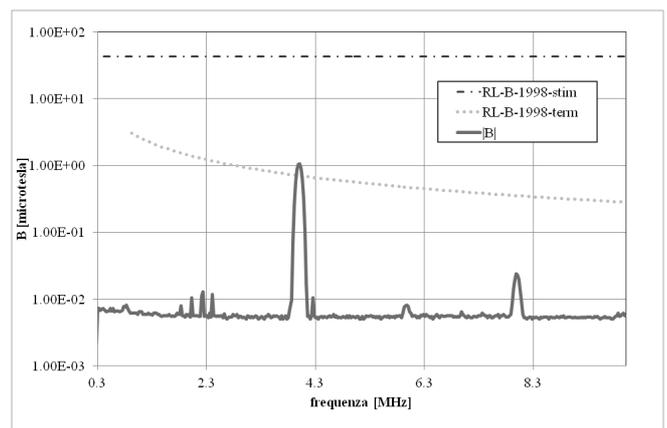


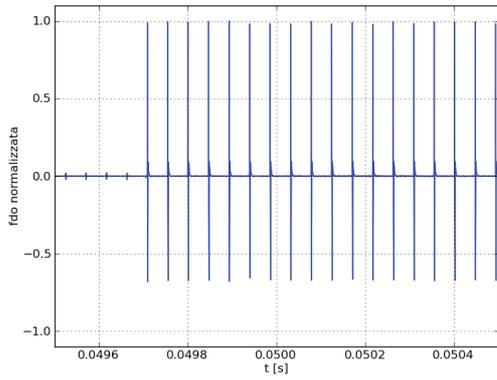
**Figura 1:** la catena di misura e i dispositivi esaminati.**Figura 2:** schema della catena di misura.

Il campo elettrico e l'induzione magnetica sono stati misurati in prossimità della calata verticale del cavo compresa tra il tavolo ed il pavimento. Durante la campagna di misura sono stati utilizzati gli strumenti di misura elencati nel seguito. (1) Sonda di campo magnetico Narda ELT400 in modalità 'Field Strength', cioè con risposta piatta in frequenza, le cui tre uscite analogiche, che rappresentano le componenti cartesiane dell'induzione magnetica, sono state acquisite mediante il DAQ. Questo strumento avendo una banda che arriva a 400 kHz, è stato utilizzato solo per EB. (2) Strumento Narda EHP 200 che misura sia campo elettrico sia induzione magnetica tra 9 kHz e 30 MHz e che quindi è stato impiegato sia per EB sia per RB. (3) Infine, solo per RB sonda di campo elettrico EFS1 della SAT-Service Schneider con banda tra 1 e 60 MHz, anche in questo caso in abbinamento al DAQ. In questo lavoro presenteremo solo elaborazioni basate su forme d'onda (**fdo** nel seguito) acquisite dall'uscita analogica del tester e su misure effettuate con EHP 200.

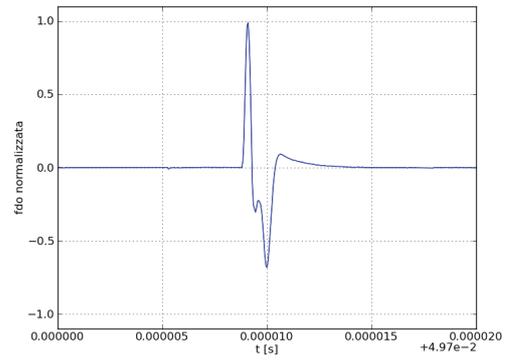
Nelle figure 3 e 4 sono rappresentati i risultati delle misure rispettivamente di campo elettrico e induzione magnetica effettuate con EHP200 ed eseguite a circa cinque centimetri dalla calata verticale del cavo che alimenta il manipolo (figura 1). Insieme alle scansioni in frequenza da 300 kHz a 10 MHz, eseguite con una resolution bandwidth pari a 100 kHz, sono riportati i livelli di riferimento definiti nelle linee guida ICNIRP del 1998, sia per le basse frequenze (RL-1998-E,B-stim) sia per le alte frequenze (RL-1998-E,B-term). Gli spettri forniti dall'EHP200 comprendono le ampiezze delle componenti spettrali ma non le relative fasi, che sono strettamente necessarie per il calcolo di alcuni degli indici di esposizione che vedremo nel seguito.

Nelle figure da 5 a 8 sono riportate le fdo misurate sul carico del Tester nel caso di EB dove le prime due figure si riferiscono alla modalità coag e mentre la terza e la quarta alla modalità cut. Inoltre le figure della colonna di destra riportano l'ingrandimento relativo all'intervallo di tempo vicino all'innesco. Le fdo sono state *normalizzate*; si tratta cioè di fdo adimensionali la cui ampiezza massima è stata normalizzata a 1.0. Le figure dalla 9 alla 12 si riferiscono invece a RB e sono disposte come le precedenti. Trattandosi di un carico resistivo è ovvio che le forme d'onda saranno rappresentative sia per la differenza di potenziale (**ddp**) sia per la corrente (che, visto il carico resistivo, saranno in fase l'una con l'altra).

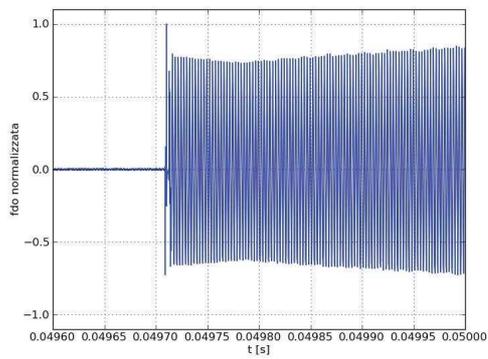
**Figura 3:** misure di campo elettrico con EHP200 per RB CUT a circa 5 cm dal cavo.**Figura 4:** misure di campo elettrico con EHP200 per RB CUT a circa 5 cm dal cavo.



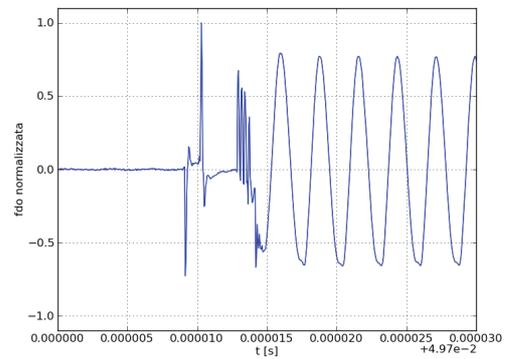
**Figura 5:** forma d'onda EB coag.



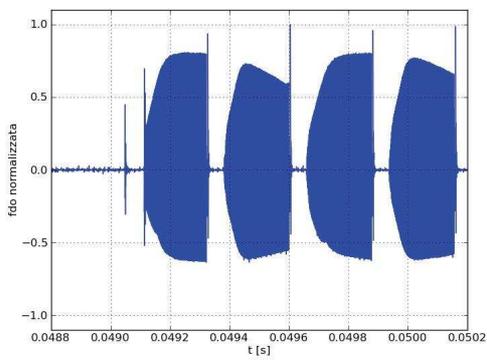
**Figura 6:** forma d'onda EB coag.



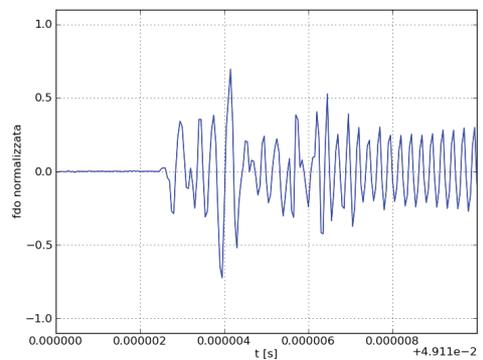
**Figura 7:** forma d'onda EB cut.



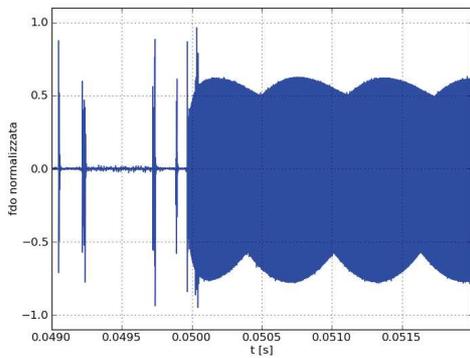
**Figura 8:** forma d'onda EB cut.



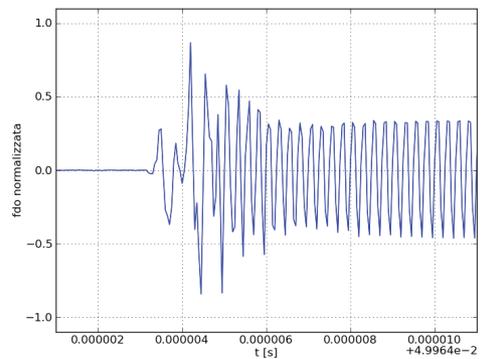
**Figura 9:** forma d'onda RB coag.



**Figura 10:** forma d'onda RB coag.



**Figura 11:** forma d'onda RB cut.



**Figura 12:** forma d'onda RB cut.

## LA PROCEDURA DI VALUTAZIONE

Sia RB che EB sono assimilabili a sorgenti monofase, per le quali sia il campo elettrico sia l'induzione magnetica risultano polarizzati linearmente. In caso di campo con polarizzazione lineare è possibile separare il problema della valutazione dell'esposizione in due parti, la prima che riguarda la dipendenza dei campi dal tempo, la seconda che ne considera la distribuzione nello spazio. I risultati delle elaborazioni che riguardano spazio e tempo saranno poi combinati per ottenere delle indicazioni di distanza dalla sorgente oltre le quali i livelli di riferimento della normativa sono rispettati (**distanze di rispetto** nel seguito).

Prima di descrivere la procedura è necessario però definire quali sono gli indici di esposizione significativi per la valutazione dell'esposizione, che sono diversi a seconda che si considerino effetti di stimolazione ed effetti termici. Le fdo incontrate non sono delle sinusoidi pure ed è quindi necessario utilizzare degli indici e delle tecniche di elaborazione che permettano di mettere in relazione fdo complesse con dei limiti di esposizione che variano con la frequenza.

A tal proposito, è opportuno notare che in questo lavoro considereremo sempre i limiti normativi applicabili ai lavoratori professionalmente esposti, trascurando quelli validi per la popolazione generale.

### Indici di esposizione relativi agli effetti di stimolazione

Per tenere conto degli effetti di stimolazione si utilizzano gli indici detti *weighted peak* (**WP** nel seguito) il cui significato, oltre che nei riferimenti originali ICNIRP [2] e [5] può essere approfondito in [6]. In particolare, in questo lavoro, distingueremo tra indici che si riferiscono all'induzione magnetica (**WPB**) ed indici che si riferiscono al campo elettrico (**WPE**). Infine si terrà conto dei diversi andamenti dei limiti di esposizione definiti in [1] (**WPB98** e **WPE98**) ed in [2] (**WPB10** e **WPE10**). In ogni caso una violazione dei limiti di esposizione è associata ad un indice WP superiore all'unità. In questo lavoro gli indici WP sono stati calcolati nel dominio del tempo elaborando via software i campioni delle fdo acquisite con il DAQ.

### Indici di esposizione relativi agli effetti termici

Oltre i 100 kHz le linee guida ICNIRP del 1998 introducono una specifica tipologia di indice (che chiameremo **IT** nel seguito) che tiene conto degli effetti termici e che, per il campo elettrico assume l'espressione (1). In questa espressione  $RL_i$  è il livello di riferimento alla frequenza  $i$  mentre  $c$  vale  $610/f$ , dove  $f$  è la frequenza espressa in MHz [1]. I termini  $E_i$  rappresentano le ampiezze efficaci delle componenti spettrali della rappresentazione del campo elettrico in serie di Fourier e dovrebbero essere valori mediati su 6 minuti. In questo lavoro tuttavia trascureremo le medie su 6 minuti ed utilizzeremo le componenti spettrali ricavate elaborando serie di campioni che rappresentano intervalli di tempo dell'ordine delle frazioni di secondo.

$$ITE = \sqrt{\sum_{i=100kHz}^{1MHz} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i=1MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{RL_i}\right)^2} \quad (1)$$

In questo lavoro considereremo anche un indice analogo a ITE ma riferito all'induzione magnetica, che indicheremo con **ITB**. Non dovremo distinguere tra le linee guida del 1998 e quelle del 2010 visto che queste ultime si riferiscono solo agli effetti di stimolazione.

### Determinazione della distanza di rispetto

La procedura per la determinazione delle cosiddette distanze di rispetto è descritta abbastanza diffusamente in un altro lavoro in questi stessi atti [7] e si rimanda ad esso per approfondimenti. In questo contesto si riportano solo le espressioni fondamentali.

$$\vec{E}(t, Q) = \frac{V(t)}{V_0} \cdot \vec{E}_n(Q) = v_n(t) \cdot \frac{V_{\max}}{V_0} \cdot \vec{E}_n(Q) \quad \text{con } V_0 = 1V \quad \text{e} \quad v_n(t) = \frac{V(t)}{V_{\max}} \quad (2)$$

Nella espressione (2),  $\vec{E}_n(Q)$  è il campo elettrico generato dalla sorgente, quando questa è caratterizzata da una ddp rispetto a terra pari ad 1 V. Si tratta di un termine vettoriale la cui direzione individua la polarizzazione del campo. Il termine  $V(t)$  rappresenta invece l'andamento della ddp del conduttore rispetto a terra ed in particolare  $V_{\max}$  è il suo massimo. Di conseguenza  $v_n(t)$  è la fdo adimensionale della ddp rispetto a terra con massimo normalizzato a 1.0 che viene detta fdo normalizzata. Più in generale si definisce come normalizzata una fdo adimensionale con massimo assoluto pari a 1.0 che, nel caso di sorgente monofase e carico resistivo rappresenta sia la fdo della tensione e della corrente sia quella delle componenti cartesiane del campo elettrico e dell'induzione magnetica.

Si definisce poi la funzione  $f(d) = |\vec{E}_n(Q - P_0)|$  dove  $d = |Q - P_0|$ ; si tratta della funzione che descrive come il modulo del campo elettrico  $\vec{E}_n$  varia con la distanza  $d$  del punto di calcolo  $Q$  da un punto di riferimento  $P_0$  sulla sorgente, modellata come vedremo nel seguito e supposta caratterizzata da una ddp rispetto a terra pari a 1V. La  $f(d)$  si ricava facendo muovere il punto  $Q$  su una direttrice di riferimento. Si applicano gli indici WP e IT alla fdo normalizzata  $v_n(t)$  e si determina la distanza di rispetto  $d_R$  imponendo che:

$$f(d_R) \cdot \frac{V_{\max}}{V_0} \cdot \{\text{indice WP o IT}\} = 1.0 \quad (3)$$

Gli indici WP e IT applicati alle fdo normalizzate non costituiscono solo un risultato intermedio della procedura di valutazione delle distanze di rispetto ma è possibile attribuire ad essi un particolare significato.

L'espressione (4), una scrittura alternativa della (2), descrive un campo elettrico con polarizzazione lineare e direzione di polarizzazione  $\hat{i}_p$  in un generico punto  $Q$ , caratterizzato da una particolare fdo normalizzata  $v_n(t)$ . In questa espressione si è evidenziato il termine  $E_{\max}(Q)$  che è un termine vettoriale che rappresenta il massimo campo elettrico misurabile in un certo punto  $Q$ .

$$\vec{E}(t, Q) = E(t, Q) \cdot \hat{i}_p = E_{\max}(Q) \frac{E(t, Q)}{E_{\max}(Q)} \cdot \hat{i}_p = E_{\max}(Q) \cdot v_n(t) \cdot \hat{i}_p \quad \text{con} \quad v_n(t) = \frac{E(t, Q)}{E_{\max}(Q)} \quad (4)$$

Ora, pur non entrando nei dettagli, è possibile dimostrare che l'applicazione degli indici WP al campo di espressione (4) implica solo operazioni lineari, per cui si ha che, come riportato nell'espressione (5), l'inverso di  $WPE_n$  cioè l'indice WP applicato a  $v_n(t)$ , è pari all'ampiezza massima del campo tale da far assumere all'indice WPE il valore unitario.

$$WPE = E_{\max} \cdot WPE_n \quad \text{e quindi} \quad \frac{1}{WPE_n} = E_{\max @ WPE=1} \quad (5)$$

Considerando l'indice  $ITE$  dell'espressione (1) è possibile dimostrare che l'inverso dell'indice  $ITE_n$  ha un significato analogo (espressione (6)).

$$ITE = E_{\max} \cdot ITE_n \quad \text{e quindi} \quad \frac{1}{ITE_n} = E_{\max @ ITE=1} \quad (6)$$

## APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA ALLE MISURE EFFETTUATE

In tabella 1 sono riportati gli inversi degli indici WP e IT (vedi anche espressioni (5) e (6)) per le fdo misurate e normalizzate, insieme ai livelli di riferimento pertinenti all'indice considerato ed alla frequenza nominale di ciascuno dei dispositivi analizzati. Come si può notare l'inverso degli indici

WP applicati alle fdo normalizzate è sempre allineato al pertinente livello di riferimento. Questo perché oltre 100 kHz i livelli di riferimento relativi agli effetti di stimolazione *non variano con la frequenza* (figure 3 e 4). Ciò significa che in questo caso non conta molto la forma della fdo ma solo il suo valore di picco. Sempre nelle figure 3 e 4 si può notare invece come i livelli di riferimento relativi agli effetti termici variano con la frequenza e quindi in questo caso ci si aspetterebbe che le caratteristiche della fdo assumano maggiore importanza. Tuttavia nel caso della modalità *cut* (sia per EB sia per RB), il fatto che vi sia una componente spettrale dominante (alla frequenza nominale) e che la sommatoria dell'espressione (1) sia quadratica, fa sì che l'inverso dell'indice IT applicato alle fdo normalizzate sia anch'esso allineato con il livello di riferimento alla frequenza nominale stessa. Non è così nel caso delle fdo in modalità *coag* che evidentemente sono caratterizzate da uno spettro più disperso.

Sempre osservando la tabella 1 è possibile ricavare quale tra gli effetti di stimolazione e quelli termici dà luogo agli indici più alti a parità di ampiezza di picco del campo. Per quanto riguarda l'induzione magnetica dominano gli effetti termici sia per EB sia per RB. Per quanto riguarda il campo elettrico invece si deve distinguere tra EB, per cui dominano gli effetti di stimolazione, ed RB, per cui a parità di ampiezza del campo si ottengono indici WPE dello stesso ordine di grandezza rispetto a ITE.

	1/WPB98 <sub>n</sub>	1/WPB10 <sub>n</sub>	1/ITB <sub>n</sub>	1/WPE98 <sub>n</sub>	1/WPE10 <sub>n</sub>	1/ITE <sub>n</sub>
Significato	B <sub>max</sub> @ WPB98=1 [T]	B <sub>max</sub> @ WPB10=1 [T]	B <sub>max</sub> @ ITB=1 [T]	E <sub>max</sub> @ WPE98=1 [V/m]	E <sub>max</sub> @ WPE10=1 [V/m]	E <sub>max</sub> @ ITE=1 [V/m]
EB cut	4.34E-05	1.41E-04	8.67E-06	862.7	240.5	2642.9
EB coag	4.34E-05	1.42E-04	2.21E-05	863.2	241.0	6742.7
RL (330 kHz)	4.34E-05	1.41E-04	8.57E-06	862.7	240.4	2614.2
RB cut	4.34E-05	1.41E-04	9.99E-07	862.5	240.4	304.7
RB coag	4.34E-05	1.42E-04	8.58E-07	863.0	240.6	261.6
RL (4 MHz)	4.34E-05	1.41E-04	7.07E-07	862.7	240.4	215.7

**Tabella 1:** valori di picco dei campi per cui si ha che l'indice di esposizione assume valore unitario.

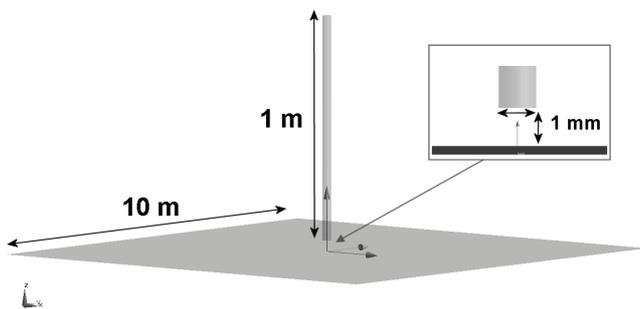
### Determinazione della distribuzione spaziale dei campi

Per determinare  $\vec{E}_n(Q)$  ed il suo corrispettivo in termini di induzione magnetica  $\vec{B}_n(Q)$ , si è scelto di utilizzare un modello di sorgente estremamente semplice, costituito da uno spezzone di cavo verticale, rettilineo, lungo 1 m, di raggio pari ad 1 mm che ha il suo punto più basso a 1 mm dal punto centrale di un piano di terra quadrato (considerato solo per il calcolo del campo elettrico) con lato di 10 m (figura 14).

Essendo la lunghezza d'onda grande rispetto alle dimensioni del teatro espositivo sia per EB sia per RB, è possibile calcolare l'induzione magnetica ed il campo elettrico separatamente, ricorrendo ai metodi della magnetostatica e dell'elettrostatica.

In figura 13 è riportata la distribuzione del campo elettrico su un piano verticale passante per lo spezzone di cavo, calcolata utilizzando il pacchetto software SEMCADX v.14.6 della SPEAG (<http://www.speag.com/products/semcad/solutions/>) che integra diversi metodi di calcolo numerico dei campi elettromagnetici. In particolare i risultati illustrati in figura sono stati calcolati utilizzando un solutore (detto 'Elettro-Statico') che risolve numericamente l'equazione di Laplace per il potenziale elettrostatico nello spazio libero, discretizzandola mediante un algoritmo alle *differenze finite* su celle aventi forma di parallelepipedo. La direttrice di riferimento scelta per il calcolo delle distanze di rispetto è la semiretta orizzontale che parte a metà altezza del cavo e si allontana da esso radialmente.

Il modello scelto è volutamente molto semplice. Per quanto sarebbe stato possibile considerare un cavo disposto in modo più simile a quello che si può vedere in figura 1, senza complicare troppo il modello, si è preferito svincolarsi dalla particolare situazione analizzata per fornire indicazioni il più possibile generali. Inoltre per quanto riguarda il campo elettrico sarà proprio la calata del cavo e più in generale i tratti più distanti da oggetti connessi a terra, a generare livelli di campo significativi. Inoltre, se si fosse rappresentato il cavo in modo più realistico, sarebbe stato necessario rappresentare, oltre al piano di terra, anche gli altri elementi che caratterizzano il teatro espositivo. Infine si è voluto utilizzare lo stesso modello per il calcolo del campo elettrico e dell'induzione magnetica per rendere significativo il confronto tra le intensità dei campi generati (anche se non è detto che i risultati di tale confronto siano generalizzabili a cavi disposti in modo diverso rispetto al piano di terra).



**Figura 14** Modello utilizzato per il calcolo della distribuzione spaziale dell'induzione magnetica e del campo elettrico.



**Figura 13** Distribuzione del campo elettrico supponendo il cavo verticale carico e caratterizzato da una ddp di 100V rispetto a terra.

### Correnti e tensioni di picco

Per poter determinare le distanze di rispetto mediante espressioni analoghe alla (3) è necessario conoscere le grandezze elettriche di picco che caratterizzano la sorgente (tensione  $V_{max}$  e corrente  $I_{max}$ ). Le correnti e le tensioni di picco per EB e RB, riportate in tabella 2, sono state ricavate a partire dai dati forniti dal tester che indicava la tensione picco-picco sul carico, il valore efficace della corrente, la potenza dissipata sul carico ed il fattore di cresta della fdo.

Dispositivo	Modalità	$P_{nom}$ @ 500 $\Omega$	Fatt. di cresta	$I_{max}$ [A]	$V_{max}$ [V]
EB	cut	300	1.7	1.30	651
EB	coag	130	6.4	3.30	1783
RB	cut	100	2.1	0.94	470
RB	coag	75	3.4	1.32	660

**Tabella 2:** correnti e tensioni di picco.

La tensione di picco è stata quindi ricavata a partire da quella picco-picco, tenendo conto del rapporto tra il massimo ed il minimo assoluto della forma d'onda normalizzata. Si è verificato inoltre che i dati letti sul tester fossero congruenti con i dati di targa ed in particolare con la potenza dissipata sul carico nominale. In tabella 2 oltre i dati di picco necessari per le elaborazioni presentate nel seguito, sono riportati la potenza nominale dissipata sul carico da 500 ohm ed il fattore di cresta rilevato con il tester.

### Distanze di rispetto

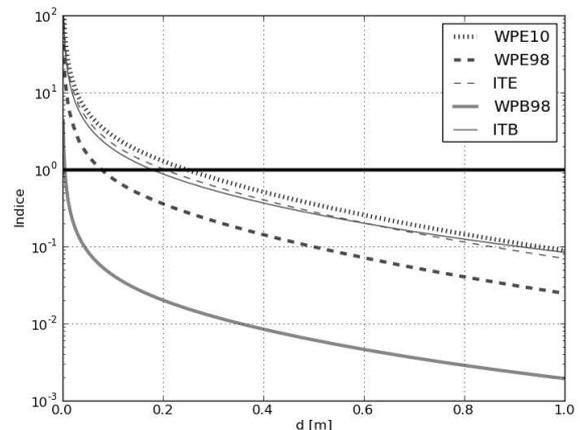
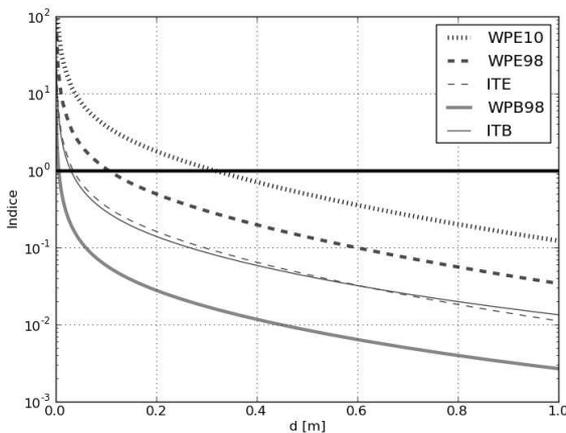
In tabella 3 sono riportate le distanze di rispetto, espresse in centimetri, calcolate come descritto nei precedenti paragrafi. I valori riportati non solo permettono di confermare le considerazioni fatte a margine della tabella 1, su quali tra effetti termici e di stimolazione risultassero dominanti, ma permette anche di stabilire quale tra campo elettrico e campo magnetico risulta dare luogo a distanze di rispetto maggiori.

Dispositivo	Modalità	distanza di rispetto in centimetri					
		WPB98	WPB10	ITB	WPE98	WPE10	ITE
EB	cut	< 1	< 1	3.0	10.5	<b>31.6</b>	3.5
EB	coag	1.5	< 1	3.0	25.7	<b>59.3</b>	3.8
RB	cut	< 1	< 1	<b>17.7</b>	7.8	<b>24.8</b>	<b>20.4</b>
RB	coag	< 1	< 1	<b>27.0</b>	10.7	<b>32.0</b>	<b>30.2</b>

**Tabella 3:** distanze di rispetto in centimetri.

Come si può notare per EB si ha che le distanze di rispetto maggiori si ottengono considerando il campo elettrico e gli effetti di stimolazione. Per RB, invece, risulta che le distanze di rispetto sono abbastanza simili se si considerano gli effetti termici per campo elettrico e induzione magnetica e gli effetti di stimolazione per il campo elettrico, con particolare riferimento alle linee guida ICNIRP del 2010 che introducono limiti di esposizione più bassi rispetto a quelli definiti nelle linee guida del 1998.

A complemento dei risultati di tabella 3 si riportano, nelle figure 15 e 16 i profili degli indici in funzione della distanza dalla sorgente per le sole modalità di funzionamento *cut* ed escludendo per semplificare la lettura gli indici WPB10 che sono sempre i meno significativi.



**Figura 15** Indici WP e IT in funzione della distanza per EB **Figura 16** Indici WP e IT in funzione della distanza RB cut.

In particolare, osservando le curve relative a ITB ed ITE in figura 16 si ha che a circa 5 centimetri dalla sorgente si ottengono valori del tutto in linea con quelli che si ricavano a partire dalle misure effettuate con EHP 200 presentate in figura 3 (ITE=3.4) e figura 4 (ITB=3.07).

Questo tipo di profili possono essere utilizzati anche per dare indicazioni di primo livello che tengono conto delle medie su 6 minuti relative agli effetti termici. Infatti, ad una distanza alla quale l'indice IT (che si riferisce ad una esposizione 'ad onda continua') è pari ad 2.0 si può associare una massima durata continuativa dell'esposizione di 3 minuti su un intervallo di 6; alla distanza alla quale l'indice vale 6.0 una durata massima di 1 minuto su un intervallo di 6 e così via.

## CONCLUSIONI

Gli elettrobisturi ed i radiobisturi sono apparati tanto diffusi quanto difficili da valutare come sorgenti di campo elettromagnetico.

In questo lavoro, a partire dalla presentazione di tali difficoltà, si espone una possibile procedura per determinare la distanza dalle sorgenti oltre la quale risultano rispettati i livelli di riferimento definiti nelle linee guida internazionali che riguardano l'esposizione umana ai campi elettromagnetici.

L'applicazione della procedura ad un modello di elettrobisturi ed uno di radiobisturi permette, da un lato di testarla su apparati reali e dall'altro di sviluppare una serie di riflessioni su quali sono gli indici di esposizione più significativi per questa particolare tipologia di sorgenti.

In particolare, distanze di rispetto dell'ordine delle decine di centimetri, indicano che il chirurgo che impugna il manipolo sarà esposto in modo significativo e pertanto, per il suo caso, sarebbe opportuno un approfondimento della valutazione in senso dosimetrico, mirato alla determinazione delle grandezze di base indotte internamente all'organismo.

L'esposizione di altro personale eventualmente presente in sala dipende invece dalle particolari procedure adottate e dalla effettiva disposizione degli apparati e dei cavi nel teatro espositivo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1]. ICNIRP "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Physics, Vol.74, N.4, April 1998, pp.494-522, April 1998.
- [2]. ICNIRP. "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)". Health Physics, Vol.99, N.6, pp.818-836, December 2010.
- [3]. Direttiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici); 2004/40/CE - 24.5.2004 - Gazzetta ufficiale dell'Unione europea - L 184/1.
- [4]. Decreto legislativo 9 aprile 2008, n.81: "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro", Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.101 del 30-4-2008, supplemento ordinario n.108.
- [5]. ICNIRP Statement: "Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines", Health Physics, Vol.84, N.3, March 2003, pp.383-387, March 2003.
- [6]. Nicola Zopetti, Daniele Andreuccetti, Andrea Bogi, Iole Pinto "Impatto dell'evoluzione normativa sulla valutazione del rischio da esposizione occupazionale a campi magnetici fino a 100 kHz in ambito industriale e sanitario" Atti (su supporto elettronico) del quinto convegno nazionale "Controllo degli agenti fisici: ambiente, salute e qualità della vita", Novara, 6-8 giugno (2012)
- [7]. Nicola Zopetti, Daniele Andreuccetti, Andrea Bogi, Iole Pinto, "Norme CENELEC relative all'esposizione umana ai campi magnetici generati da saldatrici ad arco: una ricognizione critica basata su interventi in situazioni reali" XXXV Congresso dell'AIRP, Venezia, 17-19 ottobre (2012)