

## **Sicurezza e Compatibilità Elettromagnetica in ambiente Ospedaliero**

M.Bini<sup>(1)</sup>, P.Feroldi<sup>(2)</sup>, C. Ferri<sup>(3)</sup>, A. Ignesti<sup>(1)</sup>, R.Olmi<sup>(1)</sup>, S.Priori<sup>(1)</sup>, C.Riminesi<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Istituto di Fisica Applicata, IFAC-CNR, Firenze

<sup>(2)</sup> Fisica Sanitaria, Azienda Ospedaliera Spedali Civili di Brescia, Brescia

<sup>(3)</sup> Servizio Protezione e Prevenzione, Azienda Ospedaliera di Desenzano, Desenzano  
(BS)

<sup>(4)</sup> ELab Scientific, *Spin-off* CNR, Firenze

## 1. Introduzione

Nel triennio 2009-2011 è stata formalizzata una collaborazione scientifica (Progetto SiCEO, Sicurezza e Compatibilità Elettromagnetica in ambiente Ospedaliero) tra IFAC-CNR, l'Azienda Ospedaliera Spedali Civili di Brescia (SCB) e l'Azienda Ospedaliera di Desenzano del Garda (AOD), che si avvale della collaborazione tecnica di ELab Scientific srl, azienda spin-off del CNR. Il progetto è stato motivato dall'interesse di SCB e AOD relativamente a: (1) valutazione dei rischi da esposizione a campi elettromagnetici non ionizzanti in ambiente ospedaliero, anche alla luce del D.Lgs.81/2008<sup>1</sup> e definizione di misure tecnico-organizzative procedurali finalizzate alla riduzione del rischio; (2) valutazione delle problematiche poste dalle sorgenti "outdoor" (elettrodotti, telefonia cellulare, radio-tv) ed "indoor" (apparecchiature per terapia e diagnostica, reti wireless) connesse alla esposizione di operatori, pazienti e popolazione e alla funzionalità delle apparecchiature; (3) individuazione ed analisi di sorgenti che in ambiente ospedaliero producano campi elettromagnetici e loro influenza in termini di qualità diagnostico-terapeutica delle apparecchiature elettromedicali "sensibili" e individuazione di possibili interventi.

Il progetto si è articolato in varie fasi:

- Definizione delle sorgenti e censimento delle apparecchiature (elettromedicali e non) che possono comportare "rischi", diretti e indiretti, connessi all'esposizione a campi elettromagnetici;
- Modalità per la valutazione dei livelli dei campi elettromagnetici all'interno di strutture ospedaliere;
- Individuazione delle apparecchiature "sensibili" suscettibili di disturbo e delle sorgenti di disturbo;
- Definizione di soluzioni comportamentali, organizzative o procedurali, coerenti con la normativa vigente e generalizzabili al fine di conseguire modalità utili a prevenire eventuali effetti dannosi e/o permettere una riduzione dei rischi.

Durante il progetto, sono state svolte analisi strumentali presso numerose strutture ospedaliere delle suddette aziende. Analisi, sperimentazioni, misure e risultati sono stati comparati con analoghi progetti realizzati presso altri Enti.

## 2. Procedura di intervento e strumentazione di misura

Nel corso del progetto è stata sviluppata una procedura di intervento relativa all'accertamento della presenza di rischi di esposizione elettromagnetica per il personale che opera nei presidi ospedalieri, conformemente al dettato del D.Lgs.81/2008, e adeguata alla valutazione del rischio per la popolazione (visitatori, personale "estraneo" all'attività connessa con l'emissione di energia elettromagnetica, pazienti non direttamente interessati alle terapie/diagnostiche comportanti l'emissione di campi elettromagnetici).

La procedura di intervento nei riguardi del rischio elettromagnetico prevede il coinvolgimento di diverse professionalità: nel caso della valutazione competenze tecnico-scientifiche (per misurazioni, calcoli ed elaborazioni, simulazioni e valutazioni biofisiche), nel caso della prevenzione sia competenze tecniche che, soprattutto, competenze di tipo organizzativo-gestionale che diventano preminenti nel caso degli aspetti legati alla protezione. In questo contesto, interpretando la normativa tecnica vigente (in particolare la norma CEI EN 50499<sup>2</sup>), è stata definita una procedura di valutazione del rischio da CEM in ambiente ospedaliero. Tale procedura prevede una serie di passi:

1. sopralluogo degli ambienti soggetti alla valutazione e censimento delle sorgenti, esterne ed interne all'area dell'ospedale;
2. individuazione delle sorgenti (dispositivi, apparecchiature, etc.), dei locali (sale, reparti, etc.) e più in generale delle aree (atri, piani, edifici, parcheggi, etc.) che risultano conformi a priori al D.Lgs. 81/2008 secondo quanto prescritto nella Tabella 1 della norma CEI EN 50499;
3. individuazione delle sorgenti, dei locali e più in generale delle aree che **non** risultano a priori conformi alla normativa:
  - a. per la protezione della popolazione (DPCM 8 luglio 2003) (**misure ambientali**);
  - b. per la protezione dei lavoratori professionalmente esposti (D.Lgs. 81/2008) (**sorgenti di campo elettromagnetico particolari**);
  - c. di compatibilità elettromagnetica relative alle possibili interferenze che possono, anche solo potenzialmente, verificarsi tra le apparecchiature e i dispositivi sia di pertinenza dell'azienda e/o dell'organizzazione responsabile della sicurezza dell'ambiente di lavoro, che quelli di uso personale (valutazione dei **rischi indiretti**);
4. in merito al punto 3) scelta della strumentazione e pianificazione della campagna di misura;
5. esecuzione della campagna di misura;

<sup>1</sup> "Testo Unico integrato per la sicurezza nei Luoghi di Lavoro", Decreto Legislativo N. 81 del 9 aprile 2008: che può essere scaricato con allegati a tabelle dal sito: <http://www.lavoro.gov.it/NR/rdonlyres/88EB5823-1FC9-403F-86E7-051227F6B32C/0/DLgs812008integratoconDLgs1062009.pdf>

<sup>2</sup> CEI EN 50499, *Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici*, 1.a Ed., 01/12/2009.

- a. verifica della calibrazione e funzionalità della strumentazione da utilizzare;
- b. esecuzione delle misure;
- c. controllo della calibrazione e funzionalità della strumentazione utilizzata al ritorno dalla campagna;
6. elaborazione dei risultati delle misurazioni
7. relazione tecnica sull'intervento eseguito mirata a:
  - a. definire per le sorgenti, i locali e le aree censite il rischio elettromagnetico, ovvero per quelle per cui si è resa necessaria l'esecuzione materiale di misurazioni riportare i valori di campo misurati in confronto ai limiti previsti dalla normativa ad essi pertinente;
  - b. suggerire, dove e quando necessario, appropriate procedure o riorganizzazioni degli ambienti di lavoro per la riduzione del rischio elettromagnetico.

La strumentazione di misura, impiegata da IFAC-CNR e da ELab Scientific srl nelle campagne di misura presso le varie strutture ospedaliere, è elencata di seguito.

- Analizzatore di Spettro R&S ESPI 7, per analisi spettrale di segnali da 9 kHz a 7 GHz
- Analizzatore di Spettro Portatile R&S FSH-3 per analisi spettrale di segnali nell'intervallo 100 kHz – 3 GHz
- Misuratore a larga banda W&G isotropico EMR-300, gamma di frequenza: 100 kHz – 3 GHz
- Misuratore di campo magnetico EMDEX II per frequenza di rete (50 Hz)
- Misuratore di campo magnetico Narda-STS, ELH-400
- Sonda per campo elettrico e campo magnetico Narda-STS EHP50, 5 Hz – 100 kHz
- Sensore di campo magnetico HP 11941, banda 9 kHz – 30MHz
- Loop Antenna R&S HFH 2-Z2, 9 kHz – 30 MHz
- Antenna biconica di precisione Seibersdorf PCD 8250, gamma 80 MHz – 2.5 GHz
- Oscilloscopio digitale ATTEN ADS1062CM

### 3. Sorgenti di campo elettromagnetico

Sono state prese in considerazione sia le sorgenti “indoor” – principalmente apparecchiature diagnostiche e terapeutiche, ma anche impianti tecnici presenti nelle strutture ospedaliere – sia quelle “outdoor”, quali elettrodotti, ripetitori radio-TV etc. Queste le principali sorgenti investigate, citate con terminologia corrente:

#### *Sorgenti “indoor”*

- Magnetoterapia
- Radarterapia
- Marconiterapia
- Elettrobisturi
- Magnetostimolatore
- Culle termiche
- Stazioni di cogenerazione/impianti tecnici

#### *Sorgenti “outdoor”*

- Elettrodotti
- Stazioni radio-base
- Ripetitori FM e TV

Il suddetto elenco di sorgenti non è ovviamente esaustivo, ma – dall'esperienza maturata nel corso del progetto – costituisce una base sufficientemente rappresentativa di quanto si trova normalmente in strutture ospedaliere di varie dimensioni, e dunque consente di sviluppare un approccio metodologico alla valutazione dell'esposizione in ambito ospedaliero, sia ai fini dell'applicazione del D.Lgs. 81/2008 relativamente alla sicurezza in ambito lavorativo, sia in senso più ampio per la salvaguardia della salute della popolazione (pazienti, visitatori, personale non “professionalmente” esposto).

Non sono state prese in considerazione le unità diagnostiche di risonanza magnetica, in quanto stralciate dal decreto legislativo suddetto.

#### **3.1 - Magnetoterapia**

Le apparecchiature per magnetoterapia sono sorgenti di campo (quasi esclusivamente magnetico) che possono interessare sia i non addetti (visitatori, parenti, pazienti in attesa di trattamento, personale di servizio) sia gli operatori addetti al trattamento. Non si considerano qui i pazienti, per i quali l'esposizione è parte integrante della terapia e per l'impiego terapeutico di tali apparecchiature deve essere previsto uno specifico controllo di qualità. Sono state prese in

considerazione macchine per magnetoterapia presenti presso i Presidi Ospedalieri di Gardone Val Trompia e di Montichiari (SCB) e di Lonato (AOD).

La grandezza di interesse è l'induzione magnetica  $B$ . Le misure sono state effettuate nelle posizioni della testa e del torace dell'operatore. I valori misurati, tenendo conto anche dei contributi armonici, non superano i valori stabiliti dal D.Lgs. 81/2008 per i lavoratori. Nelle zone accessibili al pubblico sono stati rilevati campi (solo alla frequenza di 50 Hz) di intensità (Tabella 1) notevolmente inferiori ai limiti per la popolazione (limite di esposizione 100  $\mu\text{T}$ , valore di attenzione, 10  $\mu\text{T}$ , obiettivo di qualità 3  $\mu\text{T}$ ).

Tabella 1- Magnetoterapia, misure nel presidio di Lonato

Punto di misura	Induzione magnetica $B$ [ $\mu\text{T}$ ]	NOTE
1	30.8@50Hz	<b>Magnetoterapia</b> (COSMOGAMMA mod.R980, N.I. 34063) – Misura al <b>torace operatore</b> (Figura 1)
	13.4@50Hz	<b>Magnetoterapia</b> (COSMOGAMMA mod.R980, N.I. 34063) – Misura alla <b>testa operatore</b> (Figura 1)
2	42.1@100Hz	<b>Magnetoterapia</b> (PLURIMA mod. Magnetotherapy, N.I. 18613) – Misura al <b>torace operatore</b> (Figura 2)
	17.5@100Hz	<b>Magnetoterapia</b> (PLURIMA mod. Magnetotherapy, N.I. 18613) – Misura alla <b>testa operatore</b> (Figura 2)
3	0.0393@50Hz	Misura in terapia 1 (centro stanza) – Misure a 1.70 m da terra, con entrambe le <b>magnetoterapie</b> funzionanti in Modalità 1 (Figura 3)
4	0.0173@50Hz	Misura in terapia 1 (vicino al lavandino) – Misure a 1.70 m da terra, con entrambe le <b>magnetoterapie</b> funzionanti in Modalità 1 (Figura 3)



(a)



(b)

Figura 1: Magnetoterapia COSMOGAMMA mod.R980, N.I. 34063 (P.O. Lonato).  
(a) misura all'altezza del torace; (b) misura all'altezza della testa



Figura 2: Magnetoterapia PLURIMA N.I. 18613 (P.O. Lonato). Misure all'altezza della testa



Figura 3: Misure all'altezza della testa nella stanza "Terapia 1" (P.O. Lonato)

La localizzazione della stanza "Terapia 1" di Lonato è indicata sulla planimetria allegata alla relazione ELab Scientific di aprile 2009.

Analoghe misure sono state effettuate su apparati per magnetoterapia nei presidi di Gardone Val Trompia e Montichiari.

La Figura 4 mostra l'applicatore grande del sistema ELBA Magnetosan 2 in uso nel reparto di Riabilitazione Funzionale del presidio ospedaliero di Gardone Val Trompia. L'apparecchiatura in questione è dotata di due induttori, uno grande (diametro esterno 60 cm, figura citata) ed uno piccolo (diametro esterno 40 cm, Figura 5).



Figura 4: Apparato ELBA Magnetosan 2 (P.O. Gardone VT), applicatore grande

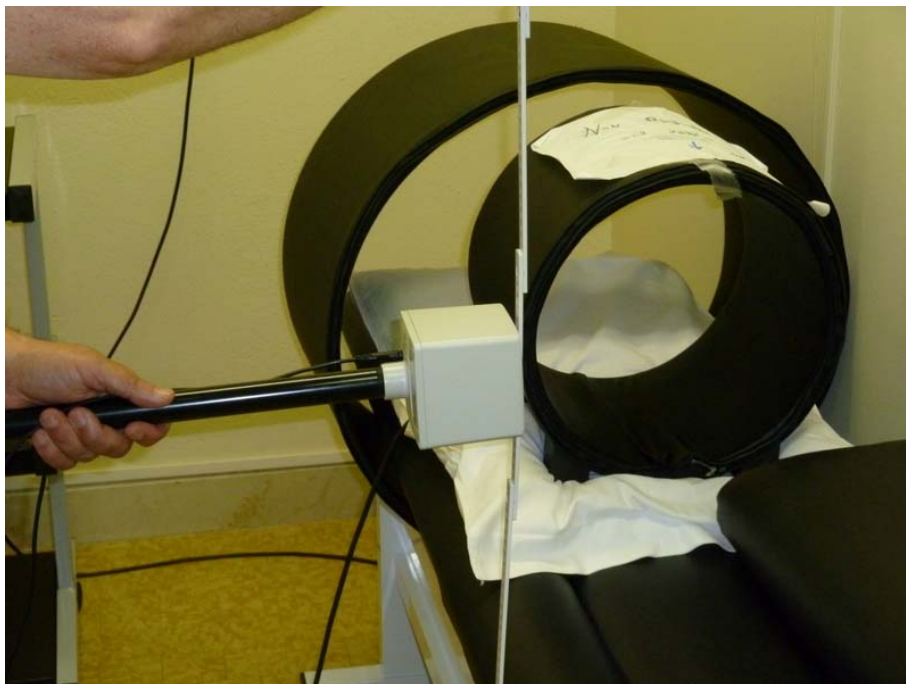


Figura 5: Apparato ELBA Magnetosan 2 (P.O. Gardone VT), applicatore piccolo

La Figura 5 mostra la posizione laterale al lettino in corrispondenza della quale sono state eseguite misure alle seguenti tre quote: 90 cm (ventre), 130 cm (torace), 170 cm (testa). L'apparecchio Magnetosan 2 è stato impostato successivamente su tre diversi programmi: n.17 (50 Hz, 80 Gauss); n. 25 (30 Hz, 100 Gauss); 35 (50 Hz, 100 Gauss). Nelle stesse condizioni (stessi programmi, stesse quote) sono state eseguite misure di fronte alla consolle di controllo (vedi Figura 6).

La Tabella 2 mostra i risultati delle suddette misure alla frequenza corrispondente al massimo (50 Hz per i programmi 17 e 35, 30 Hz per il programma 25).



Figura 6: Misure presso la consolle di comando (P.O. Gardone VT)

Tabella 2 - Campo magnetico prodotto dall'apparato Magnetosan 2 (P.O. Gardone VT)

Posizione verticale	Localizzazione	Programma	B ( $\mu$ T)
90 cm	Laterale al lettino	17	24.6
130 cm	Laterale al lettino	17	10.6
170 cm	Laterale al lettino	17	5.6
90 cm	Consolle	17	15.9
130 cm	Consolle	17	10.4
170 cm	Consolle	17	5.3
90 cm	Laterale al lettino	25	15.6
130 cm	Laterale al lettino	25	9.6
170 cm	Laterale al lettino	25	5.5
90 cm	Consolle	25	14.8
130 cm	Consolle	25	7.2
170 cm	Consolle	25	3.1
90 cm	Laterale al lettino	35	22.7
130 cm	Laterale al lettino	35	12.1
170 cm	Laterale al lettino	35	5.8
90 cm	Consolle	35	13.3
130 cm	Consolle	35	10.6
170 cm	Consolle	35	4.0

Le figure Figura 7, Figura 8 e Figura 9 mostrano rispettivamente lo spettro di frequenze emesse nei programmi 17, 25 e 35.

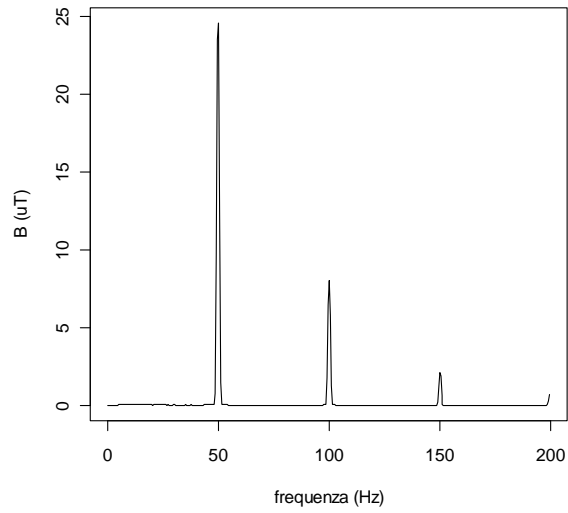


Figura 7: spettro del programma 17

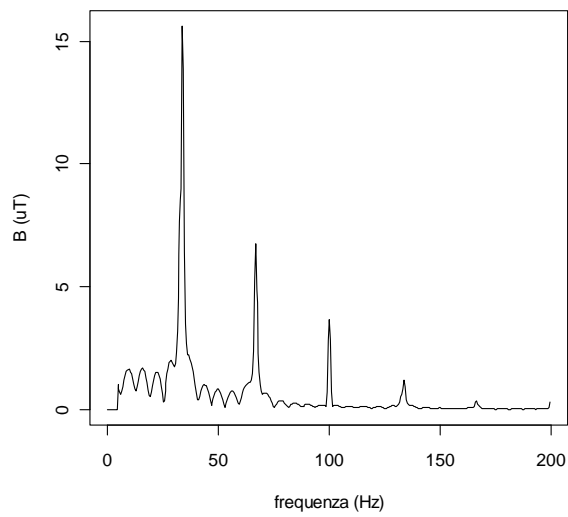


Figura 8: spettro del programma 25

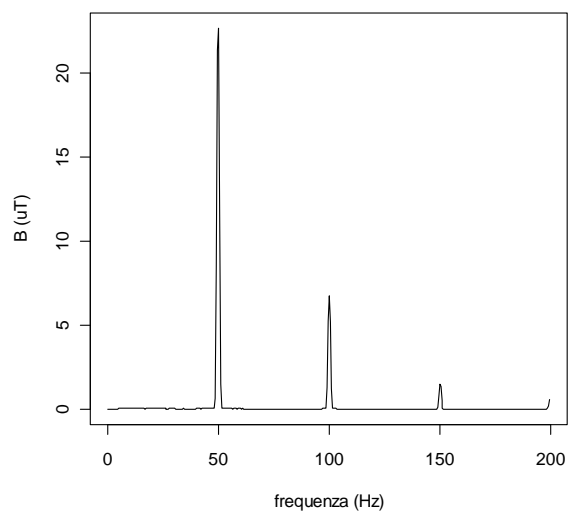


Figura 9: spettro del programma 35

Nel caso del programma 35 (frequenza 50 Hz, campo 100 Gauss) sono state eseguite due misure nelle stanze adiacenti, ad una altezza di 140 cm, come da Figura 10.





Figura 10: Stanze “coordinamento” (a sinistra), “palestra” (a destra) (P.O. Gardone VT)

Il valore massimo (corrispondente alla frequenza di 50 Hz) misurato nella situazione di Figura 10 (sinistra) è risultato  $0.8 \mu\text{T}$ , e corrisponde ad una distanza di 270 cm dall’asse dell’induttore (compresa la parete divisoria). Il valore massimo (corrispondente alla frequenza di 50 Hz) misurato nella situazione di Figura 10 (destra) è risultato  $2.8 \mu\text{T}$ , e corrisponde ad una distanza di 145 cm dall’asse dell’induttore.

Sono stati misurati anche i campi dispersi dall’applicatore grande, come da setup di misura mostrato in Figura 11. Le misure si riferiscono al programma 35 (frequenza del massimo 50 Hz, campo 100 Gauss). La Figura 12 mostra i

risultati delle misure lungo l'asse di simmetria dell'induttore. Lo spettro di frequenze emesse, misurato a 50 cm lungo l'asse, è mostrato in Figura 13.



Figura 11: Setup di misura (P.O. Gardone VT)

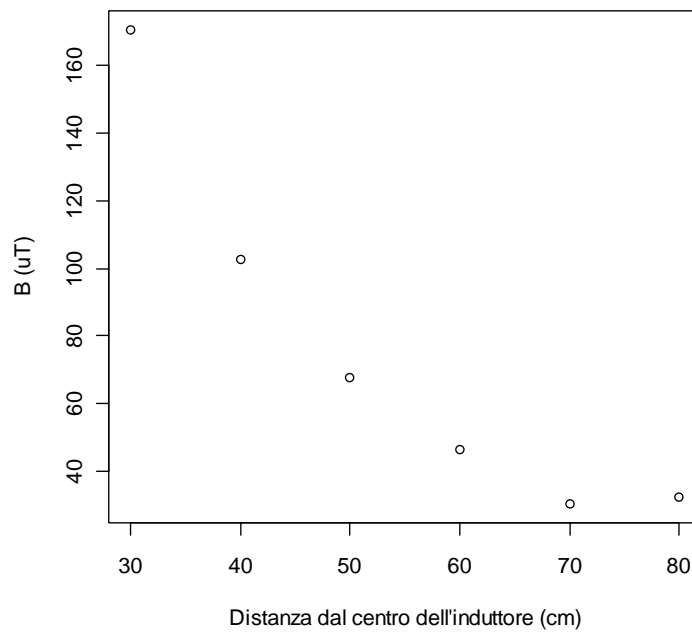


Figura 12: Campo magnetico lungo l'asse dell'applicatore grande

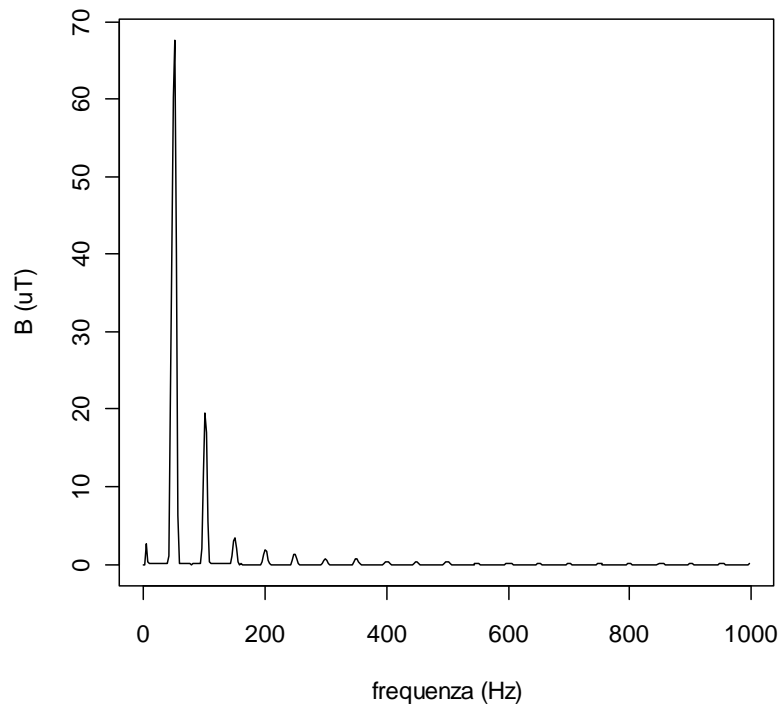


Figura 13: Spettro del campo magnetico

La Tabella 3 mostra i risultati delle misure alla frequenza corrispondente al massimo (50 Hz per il programma 35), in posizioni analoghe a quelle stabilite per l'induttore piccolo.

Tabella 3 - Campo magnetico disperso dall'applicatore grande

Posizione verticale	Localizzazione	Programma	B ( $\mu\text{T}$ )
90 cm	Laterale al lettino	35	32.9
130 cm	Laterale al lettino	35	17.2
170 cm	Laterale al lettino	35	6.7
90 cm	Consolle	35	4.2
130 cm	Consolle	35	3.0
170 cm	Consolle	35	2.3

Sono state eseguite due misure nelle stanze adiacenti, ad una altezza di 140 cm.

Il valore massimo (corrispondente alla frequenza di 50 Hz) misurato nella stanza a sinistra di quella contenente l'apparecchiatura è risultato  $2.8 \mu\text{T}$ , e corrisponde ad una distanza di 140 cm dall'asse dell'induttore. Il valore massimo (corrispondente alla frequenza di 50 Hz) misurato nella stanza a destra è risultato  $0.4 \mu\text{T}$ , e corrisponde ad una distanza di 340 cm dall'asse dell'induttore.

Analoghe misure sono state eseguite nel presidio di Montichiari sugli apparati per magnetoterapia ASA, configurata per trattamenti di tipo "fratture" (v. Figura 14) e sulla VBS Professional (v. Figura 15).

I risultati delle misure, eseguite con EHP 50, sono riportati in **Tabella 4**.



Figura 14: Apparato per magnetoterapia nel presidio di Montichiari

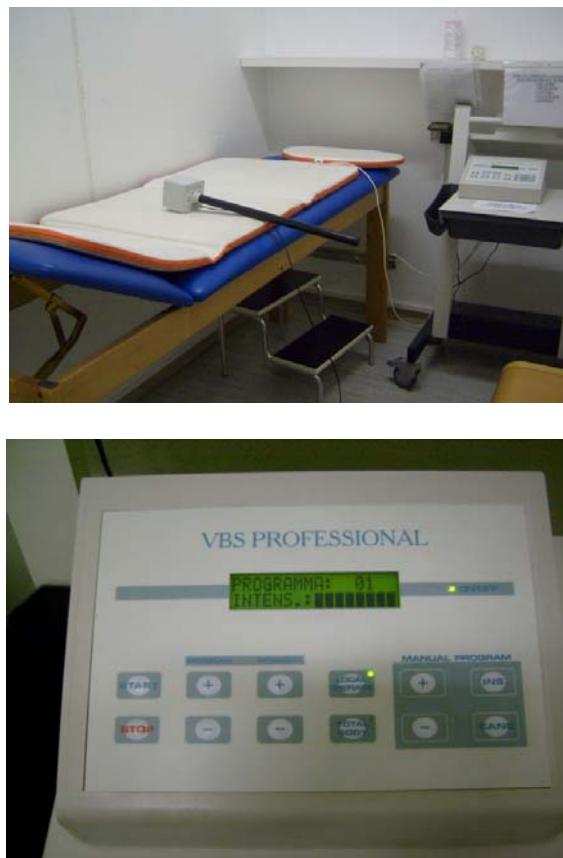


Figura 15: Apparato per magnetoterapia "total body" nel presidio di Montichiari

Tabella 4 – Campo magnetico prodotto da magnetoterapie a Montichiari

Apparato	Posizione	B ( $\mu$ T)
ASA (Box. 9)	Centro lettino (v. foto)	23.0
	Altezza 1m, 50 cm da centro letto	9.8
	Al centro dell'applicatore	94.7
	Consolle (altezza 1 m)	1.4
	Corridoio	1.7
VPS Professional (total body) 225 Hz	Centro lettino (v. foto)	3.0
	Posizione piedi paziente	1.8
	Posizione testa paziente	1.7
	Consolle (altezza 1 m)	0.05
VPS Professional (loc. therapy) 225 Hz	Centro applicatore	1.7
	Consolle	0.02

### 3.2 - Radarterapia

Sono stati valutati i livelli di esposizione elettromagnetica causati da apparati per radarterapia presso i presidi ospedalieri di Lonato (AOD) e di Montichiari (SCB). Nel presidio di Lonato, le apparecchiature per radarterapia presenti nel reparto sono nella stanza denominata terapia 9. La stanza terapia 9 è divisa mediante un sistema di pareti mobili in 5 ambienti, e le apparecchiature per radarterapia si trovano negli ambienti 2 e 3.

Il punto di misura N.5 riguarda l'apparecchiatura per radarterapia (N.I. 45623) indicata con (a). L'apparato è stato impostato nella condizione normale di funzionamento (potenza erogata 250W) e la frequenza di lavoro, misurata con lo spettro analizzatore portatile FSH6 collegato all'antenna biconica Seibersdorf, è 2.46GHz.

I livelli di campo elettrico sono stati misurati con lo strumento a banda larga EMR300 (media su 6min.) nei punti più significativi attorno all'apparecchiatura. Per considerare gli effetti della distribuzione spaziale del campo sono state eseguite delle misurazioni a lungo l'asse A e lungo l'asse B a intervalli di 50cm (Figura 18); oltre 100 cm il campo è ben inferiore al valore di azione riferito a 2.45GHz (137V/m). I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 5 e mostrano che solo a 50 cm lungo l'asse B i valori si approssimano mediamente al valore di azione, superandolo di poco solo nel valore massimo. Ad apparecchiatura in funzione, può dunque essere opportuno prescrivere il non stazionamento dell'operatore in prossimità.

Oltre alla valutazione del campo elettrico emesso nelle immediate vicinanze dell'apparato si sono verificati i livelli anche nei luoghi frequentati con maggiore continuità sia dagli operatori che dai pazienti, ovvero nei punti di misura N.1 (sala di attesa), nel punto 2 e nel punto 3 (saletta operatori).

Tabella 5 - Misure su macchine per radarterapia nel presidio di Lonato

Punto di misura	Campo elettrico E [V/m]			NOTE
	AVG	Max.	AVGMax.	
1	0.12	1.8	–	Misura ambiente corridoio – Misura a 1.70m da terra, media su 6min. (Figura 20)
2	0.1	0.7	–	Misure in sala di attesa a 1.70m da terra EMR300, media su 6min. (Figura 21)
	0.57	0.92	0.58	con app. <b>radarterapia</b> (a) acceso, media su 6min.
	0.55	0.89	0.55	con app. <b>radarterapia</b> (b) acceso, media su 6min.
3	2.79	4.37	3.57	con app. <b>radarterapia</b> (a) attivo
	4.21	6.16	4.22	con app. <b>radarterapia</b> (b) attivo
4	1.76	2.24	1.77	con app. <b>radarterapia</b> (a) attivo
	2.39	3.18	2.79	Con app. <b>radarterapia</b> (b) attivo
5	27.0	31.0	29.5	<b>Radarterapia</b> (a) Testa operatore
	27.8	31.1	29.0	Torace
	28.0	45.0	29.4	A 5cm dalla parete dello chassis
	20.0	36.0	27.0	50cm lungo l'asse A
	23.0	27.3	23.2	100cm lungo l'asse A
	105.0	141.0	109.0	50cm lungo l'asse B
	34.2	48.6	37.0	100cm lungo l'asse B
6	29.3	45.4	29.6	<b>Radarterapia</b> (b) Testa operatore
	30.1	37.2	33.4	Torace
	56.0	71.5	56.6	A 5cm dalla parete dello chassis
	49.0	65.9	54.2	50cm lungo l'asse A
	35.0	50.0	41.2	100cm lungo l'asse A
	105.7	109.0	103.0	50cm lungo l'asse B
	89.5	94.5	90.0	100cm lungo l'asse B

Il punto di misura N.6 riguarda l'apparecchiatura per radarterapia (N.I. 52588) indicata con (b), vedi Figura 17. L'apparato è stato impostato nella condizione normale di funzionamento (potenza erogata 250W).

In modo analogo a come operato per il punto di misura N.5, è stata valuta la frequenza operativa dell'apparecchiatura e i livelli di campo elettrico nei punti più significativi attorno all'apparato. La frequenza risultata essere ancora di 2.46GHz, mentre i risultati delle misurazioni effettuate sono riportati in Tabella 5.



Figura 16: Macchina per radarterapia (P.O. Lonato) (a)



Figura 17: Macchina per radarterapia (P.O. Lonato) (b)

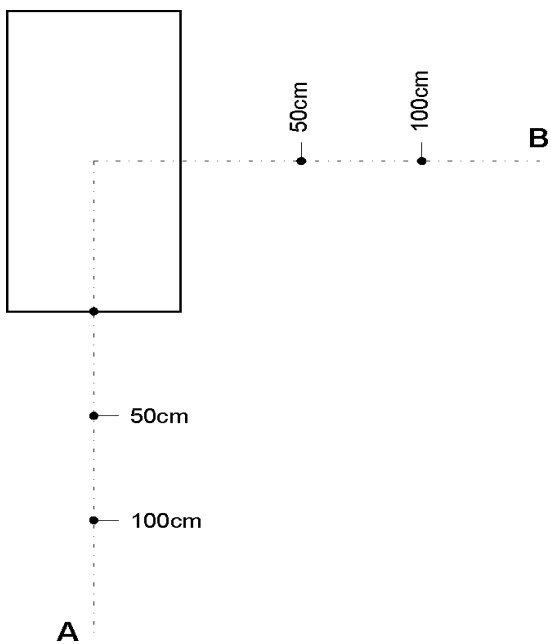


Figura 18: Schema di riferimento per le misure lungo gli assi di misura principali (A e B) degli applicatori

La **Tabella 6** riassume i risultati delle misure di campo elettromagnetico emesso dalle apparecchiature per radarterapia presenti nelle sale 1 e 2 dell’Ospedale di Montichiari. Nella sala radarterapia 1 è stata effettuata una misura

del fondo di campo elettrico per la durata di superiore a 6 minuti, ottenendo questi valori: Massimo 0.14 V/m, Media su 6 minuti: 0.05 V/m; Massimo delle medie di 6 minuti: 0.08 V/m.

Tabella 6 – Misure presso il reparto di Terapia Fisica del presidio ospedaliero di Montichiari

<b>Punto di misura</b>	<b>E (V/m) Valore istantaneo</b>	<b>NOTE</b>
<b>2</b>	19	<b>Radarterapia, sala 1</b> Potenza 120W pulsato medio asse A distanza 30cm
	11	Potenza 120W pulsato medio asse A distanza 60cm
	13	Potenza 120W pulsato medio asse A distanza 90cm
	45	Potenza 120W pulsato medio asse B distanza 30cm
	30	Potenza 120W pulsato medio asse B distanza 60cm
	14	Potenza 120W pulsato medio asse B distanza 90cm
	65	Potenza 120W pulsato medio asse B distanza -30cm
	30	Potenza 120W pulsato medio asse B distanza -60cm
	16	Potenza 120W pulsato medio sulla consolle di comando
	8	Potenza 120W pulsato medio inguine operatore
	8-10	Potenza 120W pulsato medio corridoio davanti alla porta
	3	Potenza 120W pulsato medio corridoio di accesso davanti alla logopedia
<b>3</b>	5	Potenza 120W pulsato medio scrivania logopedista
	26	<b>Radarterapia, sala 2</b> Potenza 120W asse A distanza 30cm
	15	Potenza 120W asse A distanza 60cm
	20	Potenza 120W asse A distanza 90cm
	70	Potenza 120W asse B distanza 30cm
	30	Potenza 120W asse B distanza 60cm
	17	Potenza 120W asse B distanza 90cm
	50	Potenza 120W asse B distanza -30cm
	50	Potenza 120W asse B distanza -60cm
	10	Consolle
10	Inguine operatore	
20	Occhio operatore	
<b>4</b>	6	<b>Scrivania logopedista:</b> apparecchi radarterapia 1 e 2 accesi contemporaneamente



La Figura 19 mostra l'apparecchiatura per radarterapia nella sala 2.



Figura 19: Misure intorno all'apparato per radarterapia Radiotherm 906 (P.O. Montichiari)



Figura 20: Misura con EMR-300 nel corridoio del Reparto di Terapia Fisica (P.O. Montichiari)



Figura 21: Misura con EMR-300 nella sala di attesa del Reparto di Terapia Fisica (P.O. Montichiari)

### 3.3 Marconiterapia

Le apparecchiature per marconiterapia rientrano nella categoria generale dei sistemi per diatermia elettromagnetica, nei quali le potenze in gioco sono tali da non poter escludere livelli di emissione tali da causare il superamento dei limiti di esposizione previsti dal D.Lgs. 81-2008.

Nel presidio di Lonato gli apparati per marconiterapia sono localizzati nelle sale denominate *terapia 7* e *terapia 8*, dedicate ai trattamenti fisioterapici. Sono stati scelti due punti di misura (a,b) in corrispondenza delle due stanze suddette.

L'apparato per marconiterapia nella sala terapia 7 (punto di misura a) è il modello THERMOSAN PLUS prodotto dalla ditta Sanitas (N.I. 24496). L'apparato monta l'applicatore a condensatore DIPLODE. L'apparecchiatura è stata configurata nella modalità di funzionamento tipica con l'applicatore appoggiato su una sacca di soluzione fisiologica che simula la presenza del paziente (Figura 22).



Figura 22: Apparato per marconiterapia con applicatore "diplode" (P.O. Lonato)

La frequenza di funzionamento dell'apparato è stata misurata con l'analizzatore di spettro portatile FSH6 Rohde&Schwarz a cui è stato collegato lo sniffer HP 11941A (9 kHz – 30MHz). Nelle condizioni di funzionamento tipiche il contenuto armonico dell'emissione dell'apparato cade nell'intervallo di frequenze 26.7-27.3MHz.

Come testimoniano altri casi riportati in letteratura<sup>3,4</sup> i valori dei campi elettrici dispersi nell'ambiente dall'apparato quando questo monta l'applicatore DIPLode sono molto più elevati rispetto al caso di applicatore MONODE. I risultati delle misurazioni effettuate con lo strumento a banda larga EMR300 sono riportati in Tabella 7. Il valore di azione per il campo elettrico per l'intervallo di frequenze di interesse è di 61V/m (vedi D.Lgs. 81/2008 in Appendice); tale valore è ampiamente superato nelle zone occupate temporaneamente dall'operatore: si hanno picchi anche di 400V/m in corrispondenza del torace (vedi Tabella 7). Per evitare l'esposizione dell'operatore a campi che, con valori superiori a quelli di azione, possano determinare superamento dei limiti da esposizione sono possibili due soluzioni. Si può disporre la procedura di trattamento in modo che l'operatore non stazioni in questa zona di campi elevati quando la macchina è in funzione. Oppure, un'altra soluzione è quella di verificare che, anche se sono superati i valori di azione, non lo sono i limiti di esposizione (SAR di 10W/kg, per il personale esposto, nell'intervallo di frequenze considerato), il che richiede di valutare la potenza depositata nell'organismo esposto. E' questo, tuttavia, un compito di notevole difficoltà e impegno. Si tratta, infatti, di modellare in maniera sufficientemente realistica la sorgente dei campi e, quel che è più pesante, implementare un modello del corpo esposto con un dettaglio anatomico sufficiente a produrre risultati significativi.

Visti i livelli di campo elettrico così elevati si è anche valutato, con lo strumento EMR300, il contributo del campo emesso dall'apparato nella stanza terapia 1. I valori rilevati (valore di picco 0.21V/m e valor medio calcolato su 6min. 0.12V/m) sono ben al di sotto dei limiti esposizione per la popolazione. Pertanto, per i pazienti che sono presenti nel reparto ma che non sono sottoposti a marconiterapia l'esposizione al campo elettrico emesso dall'apparecchiatura Sanitas mod. THERMOSAN PLUS, ad una distanza di 3 m ed oltre dall'applicatore, risulta ampiamente entro i limiti stabiliti dalla normativa.

Tabella 7 - Apparati per marconiterapia nel presidio di Lonato

Punto di misura	Campo elettrico			Induzione magnetica B [uT]	NOTE
	AVG	Max.	AVGMax.		
a	–	200	–	–	<b>Marconiterapia</b> sala terapia 7: A 50cm dall'applicatore DIPLode
	–	300	–	–	Zona di stazionamento temporaneo dell'operatore ( <b>testa</b> )
	–	400	–	–	Zona di stazionamento temporaneo dell'operatore ( <b>torace</b> )
	–	40	–	–	Alla console di comando
	–	20	–	–	Sul retro dello chassis a 5cm dalla parete
b	–	7	–	–	<b>Marconiterapia</b> sala terapia 8: A 10cm dal bordo dell'applicatore MONODE
	–	3	–	–	Alla console di comando
	–	1-1.5	–	–	Lungo il cavo di alimentazione
	–	Trascurabile	–	–	A 3m di distanza dall'applicatore
	89.5	94.5	90.0	–	100cm lungo l'asse B (Figura 18)

L'apparato per marconiterapia nella sala terapia 8 (punto di misura b) è il modello CURAPLUS 670 prodotto dalla ditta Enraf- Nonius (N.I. 34062) con l'applicatore magnetico MONODE.

L'apparecchiatura è stata configurata nella modalità di funzionamento tipica con l'applicatore appoggiato su una sacca di soluzione fisiologica che simula la presenza del paziente (Figura 23). La frequenza di funzionamento dell'apparato è di 27.033MHz, misurata con l'analizzatore di spettro portatile FSH6 Rohde&Schwarz (Figura 24).

<sup>3</sup>M.G. Bini, A. Ignesti, L. Millanta, N. Rubino, R. Vanni, "A comparative analysis of the various potentially polluting RF sources," *Alta Frequenza*, N.2, Vol. XLIX, 1980.

<sup>4</sup>M.A. Stuchly, M.H. Repacholi, D.W. Lecuyer and R.D. Mann, "Electromagnetic fields around short-wave diathermy," *Microwave Power Symposium*, Toronto, 10-12 June 1981.

Da precedenti esperienze su apparecchiature analoghe e/o che utilizzano lo stesso principio di funzionamento quando è impiegato un applicatore come il monode i campi emessi dal lato operatore risultano trascurabili se confrontati con quelli che investono il paziente, per il quale però si applica il principio "rischio/beneficio", la cui valutazione spetta al medico che prescrive la terapia. In Tabella 7 si riportano i risultati delle misurazioni effettuate con lo strumento EMR300 in alcuni punti significativi. Ricordando che il valore di azione sancito dal D.Lgs. 81/2008 da confrontare con i valori misurati per la frequenza di 27.033MHz è di 61V/m si evince che la sicurezza del personale esposto a campi generati da tale apparecchiatura è da considerare soddisfatta. Analogamente soddisfatta è la protezione dei gruppi della popolazione.



Figura 23: Applicatore magnetico "monode" (P.O. Lonato)

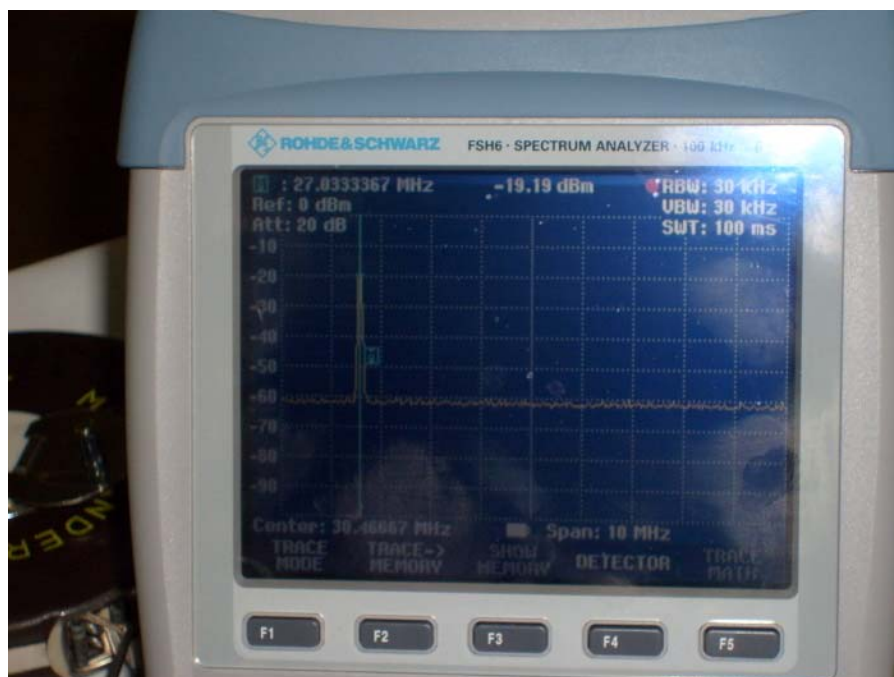


Figura 24: Misura della frequenza operativa mediante analizzatore di spettro (P.O. Lonato)

### 3.4 Elettrobisturi

L'elettrobisturi è uno strumento impiegato in chirurgia, che utilizza intense correnti a radio frequenza (RF) per tagliare o abradere tessuti biologici o per coagulare.

Costruttivamente un elettrobisturi consiste in:

- un generatore di correnti a RF, del quale si può regolare la potenza;
- un elettrodo attivo, detto manipolo, opportunamente sagomato per produrre l'effetto (taglio o coagulo) desiderato;
- una piastra o contro-elettrodo posta a contatto con il paziente che serve per la richiusura della corrente.

Le bande utilizzate dagli elettrobisturi vanno dal centinaio di kHz ad alcuni MHz, anche se le frequenze più utilizzate sono quelle intorno alle centinaia di kHz.

La dispersione di campo elettromagnetico nell'ambiente da parte di un elettrobisturi risulta sostanzialmente localizzata intorno al manipolo e al cavo che collega il manipolo al generatore. Il *campo elettrico* è determinato dalla *differenza di potenziale* fra la punta dell'elettrodo attivo ed il paziente e risulta tanto minore quanto più piccola è la impedenza elettrica fra i due. Per quanto riguarda il *campo magnetico* invece, la corrente abbastanza intensa (dell'ordine dell'ampere) necessaria per ottenere il taglio dei tessuti produce intorno al cavo, che va dal generatore al manipolo, e nelle immediate vicinanze del manipolo (e quindi nella mano di chi usa il bisturi) campi magnetici di intensità abbastanza elevata (dell'ordine di una decina di A/m e più, in prossimità del filo).

Tra le apparecchiature elettromedicali, l'elettrobisturi rientra in quella categoria per cui se superati i *livelli di azione* imposti dal D.Lgs. 81/2008 non è sufficiente imporre all'operatore di mantenersi ad una specifica distanza, ma deve essere valutata l'esposizione e confrontata con il *limite di esposizione* previsto dalla normativa. Infatti la soluzione di allontanare la mano del chirurgo dal manipolo dell'elettrobisturi è ovviamente impraticabile, salvo si adottino tecniche robotizzate.

Sono stati esaminati due elettrobisturi: un Erbe ICC 350 (Figura 25) utilizzato nel presidio ospedaliero di Desenzano del Garda; un Erbe ICC 200 (Figura 26) utilizzato nel reparto di Endoscopia Digestiva degli Spedali Civili di Brescia.

Da un'analisi della documentazione di corredo all'apparecchiatura non si evincono le caratteristiche del segnale che pilota gli elettrodi del bisturi e tanto meno si può stimare l'intensità dei campi elettrici e/o magnetici che possono essere emessi nelle immediate vicinanze degli elettrodi stessi, designati come le sorgenti del campo.

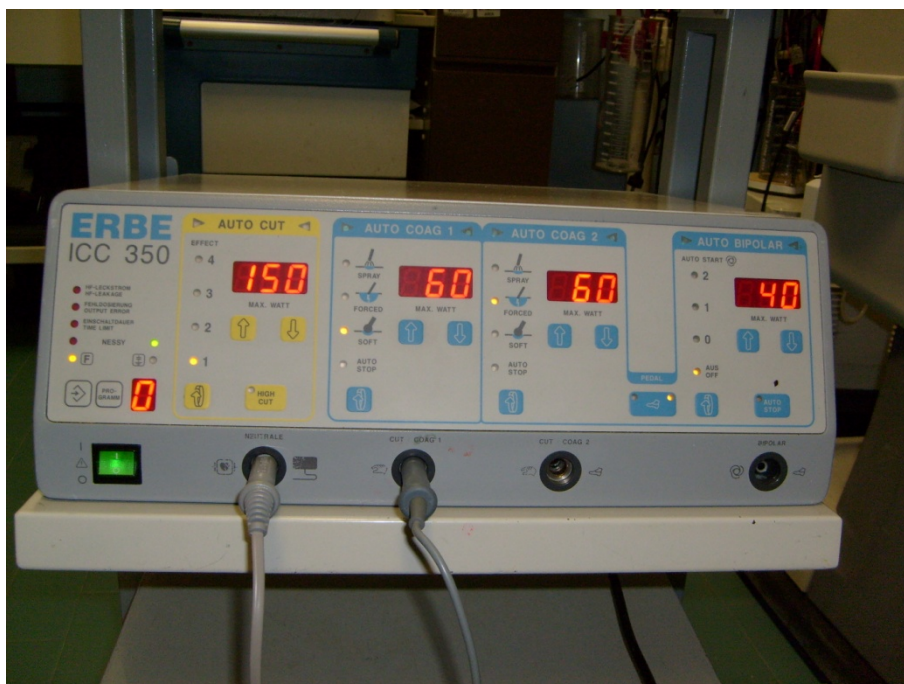


Figura 25: Elettrobisturi ICC 350 della ditta ERBE USA Inc. (P.O. Desenzano)

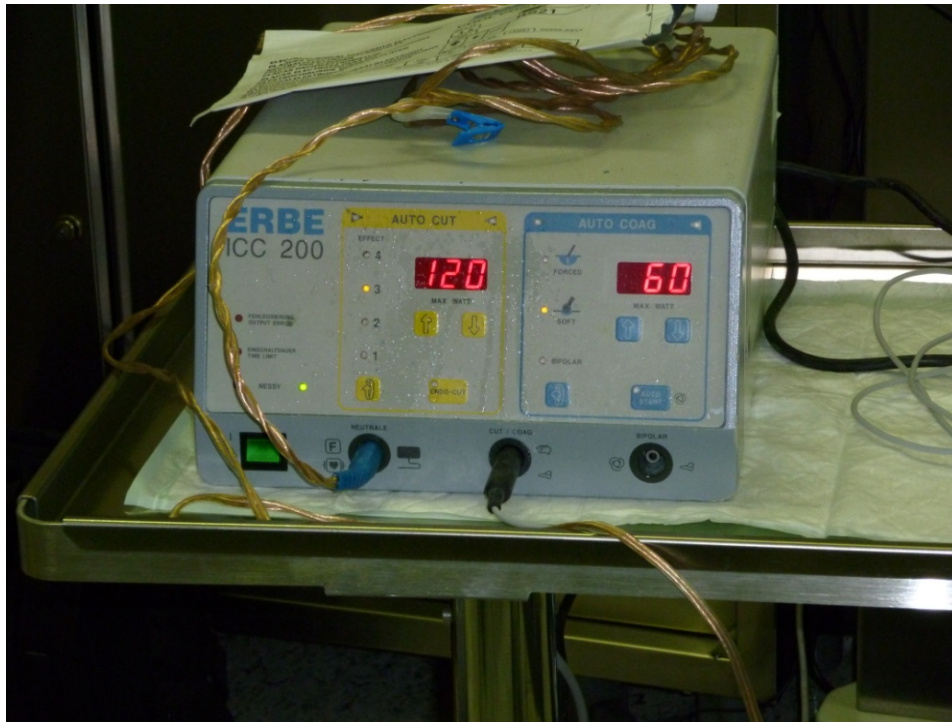


Figura 26: Generatore RF dell'elettrobisturi ERBE ICC 200 (P.O. Spedali Civili Brescia)

Da un'indagine bibliografica si evince che l'elettrobisturi presenta due modalità operative alle quali corrispondono funzionamenti diversi:

- Modalità cutting, ove il segnale che pilota gli elettrodi è un segnale ad onda continua;
- Modalità coagulation, ove il segnale che pilota gli elettrodi è un'onda modulata ad impulsi;

Le misure sono state eseguite sia con strumentazione a banda stretta per conoscere il contenuto spettrale della scarica elettrica tra gli elettrodi, sia con la strumentazione a larga banda per avere un'indicazione dei livelli di campo al quale l'operatore può essere esposto. Si riassumono qui solo i principali risultati; per una estesa discussione si rimanda ad uno specifico report pubblicato da IFAC-CNR<sup>5</sup>, nel quale sono anche riportate le procedure di misura e di calcolo messe a punto per la valutazione del dispositivo.

La

Tabella 8 mostra un sommario delle misure del campo elettrico, in zone bersaglio selezionate, prodotte dall'elettrobisturi Erbe 350 in modalità "cut" (Effect 1) con potenza nominale di 200 W. Le misure sono state eseguite con lo strumento a larga banda EMR-300. Il confronto dei livelli di campo misurati con il valore di azione (610V/m, pertinente per queste frequenze) è da considerare non esaustivo in quanto la situazione in cui è stata effettuata la misura – presenza della mano dell'operatore, strumentazione da verificare adeguata alla tipologia del segnale – non garantisce la correttezza del confronto con un limite che dista dal valore misurato per meno di 6dB.

La Figura 27 mostra il setup di misura messo a punto per lo studio dell'elettrobisturi di cui alla Figura 26. Lo scopo era la valutazione dell'intensità del campo magnetico in corrispondenza del manipolo e lungo il filo dello stesso, che in condizioni operative corre in prossimità del braccio dell'operatore. La procedura di misura è descritta in dettaglio nel report citato.

<sup>5</sup> M.Bini, P.Feroldi, A.Ignesti, R.Olmi, S.Priori e C. Riminesi, "Valutazione dei campi magnetici emessi da elettrobisturi", IFAC-CNR, Giugno 2011.

Tabella 8 - Misure di campo elettrico prodotto da Erbe 350 (P.O. Desenzano)

Punto di misura	Campo elettrico		
	E [V/m]		
	AVRG	MAX AVRG	MAX
Sensore attaccato alla <b>mano</b>	50.0	101	298.0
All'altezza dell'inguine	24.0	31.64	106.5
Vicino all'occhio dell'operatore	5.5	6.0	21.0
A 50 cm dall'elettrobisturi in direzione perpendicolare alla lama	2.3	3.6	12.0
A 75 cm dall'elettrobisturi in direzione perpendicolare alla lama	2.8	3.2	6.4
A 100 cm dall'elettrobisturi in direzione perpendicolare alla lama	1.3	1.6	3.0
A 50 cm dall'elettrobisturi in direzione parallela alla lama	7.6	10.7	16.6
A 75 cm dall'elettrobisturi in direzione parallela alla lama	3.3	3.6	8.5
A 100 cm dall'elettrobisturi in direzione parallela alla lama	0.7	0.7	4.7

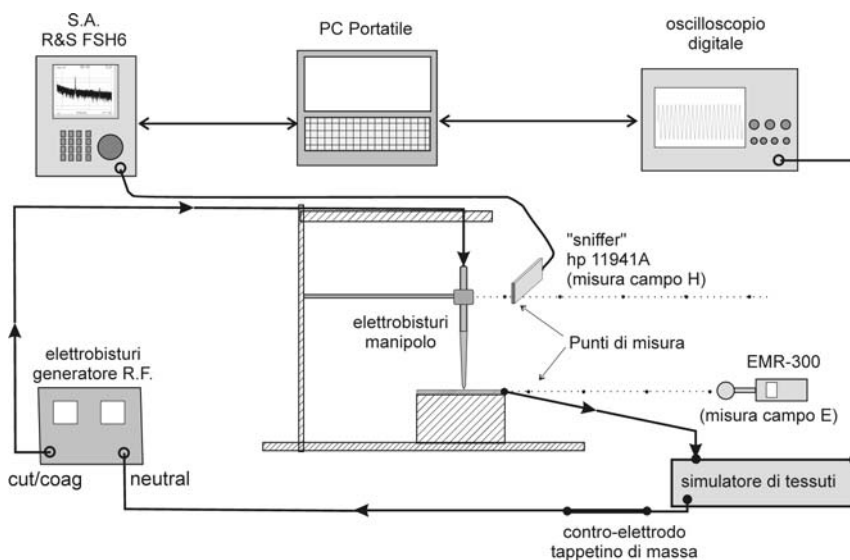


Figura 27: Schema della postazione di misura (P.O. Spedali Civili Brescia)

Le misure di campo magnetico emesso, come da Figura 27, sono state eseguite sull'elettrobisturi Erbe 200, in modalità di funzionamento "cut" e "coag", con la punta del bisturi chiusa su varie impedenze resistive che simulano il tessuto biologico in diverse condizioni operative.

Per le misure del campo  $H$  è stata utilizzata la sonda hp 11941. La sonda copre la gamma di frequenze 9 kHz – 30 MHz e poiché, come risulta dalla letteratura, gli elettrobisturi operano nell'intervallo che va da alcune centinaia di kHz a 5 MHz la banda coperta dalla sonda è più che sufficiente per le misure di nostro interesse. L'uscita della sonda è collegata all'ingresso dello Spettro Analizzatore (SA) R&S FSH6 che visualizza lo spettro del segnale e ne misura l'intensità. Le misure sono state effettuate in due modi diversi che differiscono fra loro per come viene posizionata la sonda e per come si valuta la distanza del punto di misura. In un primo caso (Figura 29a) la sonda viene spostata lungo una retta orizzontale, perpendicolare al manipolo, sospeso verticalmente; per misurare la distanza si utilizza un righello graduato fissato al supporto che regge cavo e manipolo. Le misure sono state effettuate in 6 punti diversi, a partire da 1 cm, intervallati di 1 cm l'uno dall'altro. Nel secondo caso (Figura 29b), la sonda viene appoggiata al cilindretto di plastica su cui è fissato il cavo; la distanza di questo punto di misura è di 1.2 cm e risulta dalla somma del diametro del cilindretto più lo spessore della guaina del cavo. Le distanze di tutti e 20 i punti di misura sono riportate nella quinta colonna della Tabella 9.

Tabella 9 - Misure di campo magnetico emesso da Erbe 200 (P.O. Spedali Civili Brescia)

imped. Carico ( $\Omega$ )	modalità coag/cut	freq. (kHz)	dist. filo (cm)	Vrms FSH6 (dBuV)	Hm (A/m) rms	Vpp (V)	Ic (A) rms	I <sup>2</sup> Rc (watt)	Hc (A/m) rms	R (Hm/Hc)
50	coag	403.3	1.0	83.18	10.16	28.0	0.990	49.00	15.76	0.65
50	coag	403.3	2.0	78.37	5.84	28.0	0.990	49.00	7.88	0.74
50	coag	403.3	3.0	75.12	4.02	28.0	0.990	49.00	5.25	0.77
50	coag	403.3	4.0	72.28	2.90	28.0	0.990	49.00	3.94	0.74
50	coag	403.3	5.0	69.68	2.15	28.0	0.990	49.00	3.15	0.68
50	coag	403.3	6.0	67.94	1.76	28.0	0.990	49.00	2.63	0.67
50	coag	402.3	1.2	84.54	11.89	28.0	0.990	49.00	13.13	0.91
100	coag	397.0	1.2	81.80	8.67	20.4	0.721	52.02	9.57	0.91
200	coag	383.0	1.2	76.40	4.66	11.0	0.389	30.25	5.16	0.90
299	coag	363.6	1.2	73.41	3.30	7.2	0.255	19.38	3.38	0.98
398	coag	349.0	1.2	71.05	2.52	5.5	0.195	15.16	2.59	0.97
501	coag	342.3	1.2	68.69	1.92	4.7	0.166	13.83	2.20	0.87
998	coag	338.3	1.2	62.11	0.90	2.3	0.081	6.60	1.08	0.83
50	cut	403.0	1.2	86.31	14.57	38.4	1.358	92.16	18.01	0.81
100	cut	397.0	1.2	83.64	10.72	30.0	1.061	112.50	14.07	0.76
200	cut	383.6	1.2	81.76	8.63	21.2	0.750	112.36	9.94	0.87
299	cut	365.7	1.2	80.36	7.35	17.2	0.608	110.57	8.07	0.91
398	cut	351.6	1.2	79.43	6.60	15.2	0.537	114.94	7.13	0.93
501	cut	345.0	1.2	78.07	5.64	13.6	0.481	115.83	6.38	0.88
998	cut	340.3	1.2	75.62	4.26	9.2	0.325	105.59	4.31	0.99

La Figura 28 mostra l'andamento del campo magnetico con la distanza dal manipolo, calcolato in base ai dati misurati (asterischi) e mediante il modello descritto nel report citato.

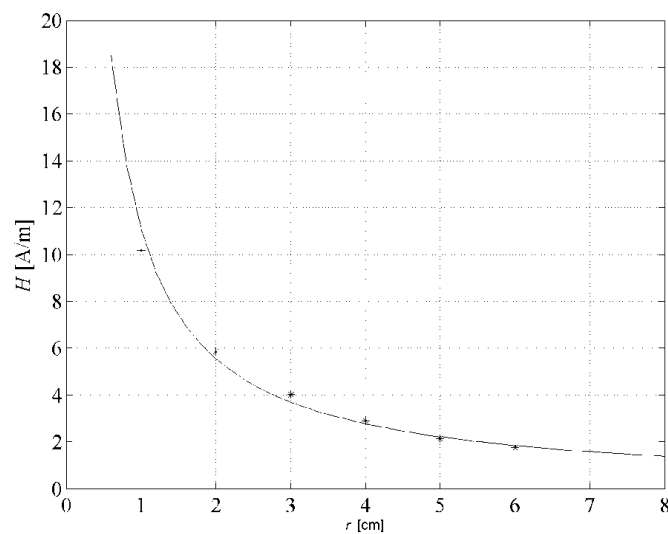


Figura 28: Campo magnetico in funzione della distanza dal manipolo



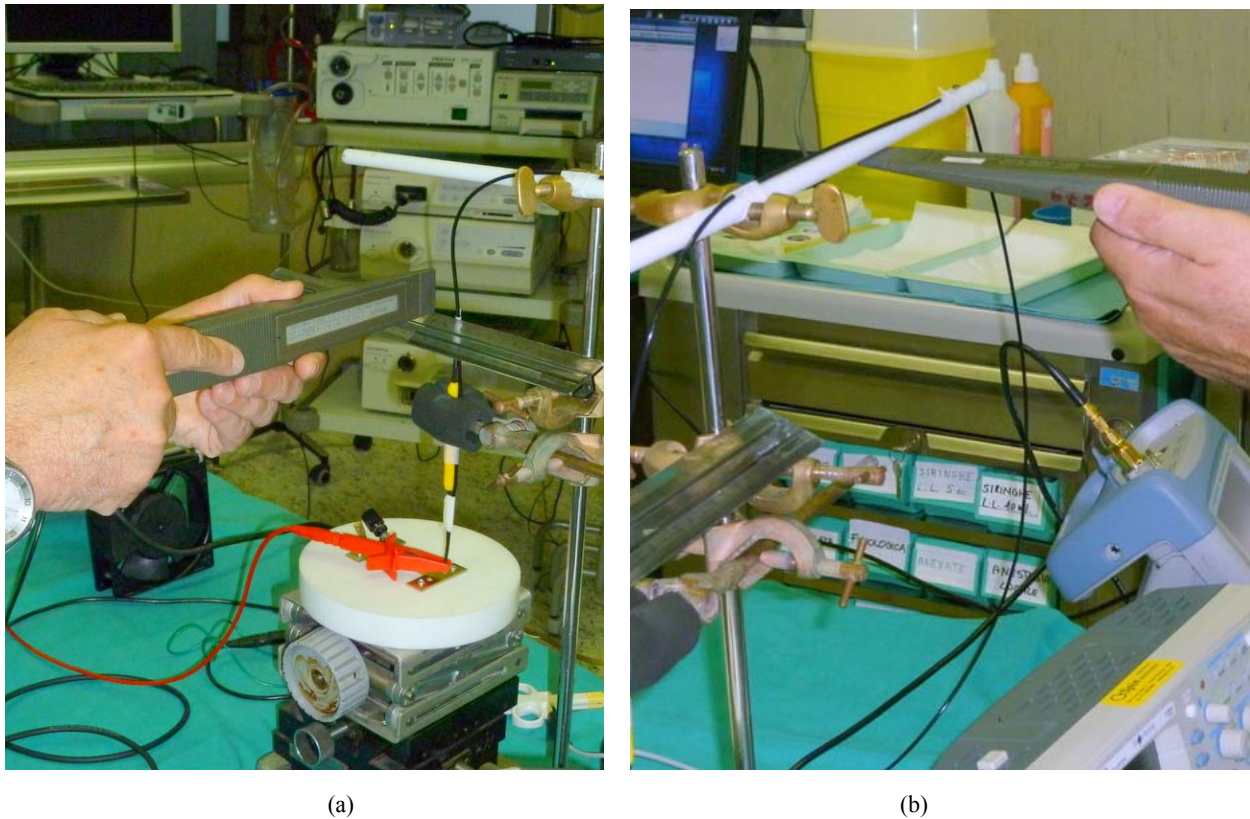


Figura 29: Misure del campo magnetico: (a) in punti equidistanti fra loro 1 cm lungo la linea perpendicolare al manipolo; (b) ad 1.2 cm di distanza dal cavo (P.O. Spedali Civili Brescia)

In Italia esistono norme per l'esposizione ai CEM diverse a seconda che si tratti di popolazione civile o di esposizioni professionali. Nel caso dell'elettrobisturi l'esposizione è da considerare di tipo professionale e i limiti di esposizione sono quelli contenuti nel D.Lgs. 81/2008, ed in particolare nell'allegato XXXVI 'Campi Elettromagnetici'.

Per quanto riguarda il campo magnetico nella banda di frequenza 0.1 – 10MHz, che comprende la frequenza di lavoro degli elettrobisturi, il valore di azione in A/m è specificato in funzione della frequenza dalla relazione  $1.6/f$ , con  $f$  in MHz. Alla frequenza di 400kHz, il valore di azione è pertanto di 4 A/m.

I risultati hanno mostrato che il campo magnetico a cui è sottoposto l'operatore supera il valore di azione previsto dal D.Lgs. 81/2008 a distanze che non vanno oltre 4–5 cm dal manipolo o dal cavo, il che comporta un'esposizione circoscritta a volumi molto limitati. Inoltre il funzionamento dell'elettrobisturi è intermittente, con cicli di utilizzo ridotti rispetto ai 6 minuti su cui effettuare la media secondo quanto disposto dal D.Lgs. 81/2008. Ambedue queste particolarità richiedono un approfondimento sulle modalità di applicazione della norma.

Per l'applicazione delle suddette norme, infatti, vanno fatte le seguenti puntualizzazioni.

Anche se non è detto esplicitamente, si ritiene che i valori di azione specificati nella Tabella 2 del suddetto allegato XXXVI, siano riferiti ad esposizioni total body.

Nel caso dell'elettrobisturi, però la zona in cui possono aversi valore di campo elevati è ristretta a distanze di alcuni centimetri in prossimità del cavo e del manipolo e può interessare pertanto volumi molto limitati del corpo ed in particolare della mano dell'operatore.

Nel caso di campo non costante nel tempo ed in particolare intermittente, il quadrato del campo  $H$  va mediato su 6 minuti ed è la radice quadrata di tale media che va confrontata con il valore d'azione.

Pertanto, anche se il campo magnetico misurato supera sicuramente i valori di azione in prossimità del manipolo e del cavo che porta la RF dal generatore al manipolo e dal manipolo a terra attraverso il tappetino a contatto con il paziente, le puntualizzazioni precedenti circa la modalità e i tempi di esposizione dovrebbero portare a ridurre i valori effettivi da confrontare con i valori di azione, dato che nel caso dell'elettrobisturi si ha un'esposizione al campo magnetico con distribuzione spaziale estremamente concentrata e per tempi normalmente brevi rispetto all'intervallo di 6 minuti sul quale è richiesto di fare la media.

### 3.5 Magnetostimolatore

Si tratta di un apparecchio che produce intensi e rapidi impulsi di campo magnetico per stimolare i tessuti neuromuscolari mediante induzione di correnti elettriche in maniera non invasiva. Dal punto di vista elettromagnetico, che è quello che qui ci interessa, il magnetostimolatore è costituito da un generatore di impulsi di corrente e un applicatore, schematizzabile con una bobina circolare, nel quale il generatore immette l'impulso di corrente che darà luogo al campo magnetico impulsivo nello spazio circostante. Il magnetostimolatore Magstim 2002, utilizzato nel reparto di Neurofisiopatologia degli Spedali Civili di Brescia, ha una bobina di circa 10cm di diametro. L'unica regolazione disponibile sul generatore è quella della "Potenza" e il corrispondente indicatore fornisce una lettura (misurata in percentuale del massimo) proporzionale alla corrente nella bobina e quindi al campo magnetico nello spazio circostante.

Le misure sono state effettuate con uno strumento (Narda-STS, ELH-400), nel modo indicato in Figura 30 che permette (1) di registrare l'andamento temporale delle tre componenti  $B_x(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_z(t)$  del vettore campo magnetico e (2) di leggere sul display le seguenti quantità relative all'impulso: (a) il valore di picco  $B_p$ ; (b) il valore quadratico medio  $B_{rms}$  (tempo di media 1 sec.); (c) l'indice Weighted Peak per i lavoratori (WP03w).

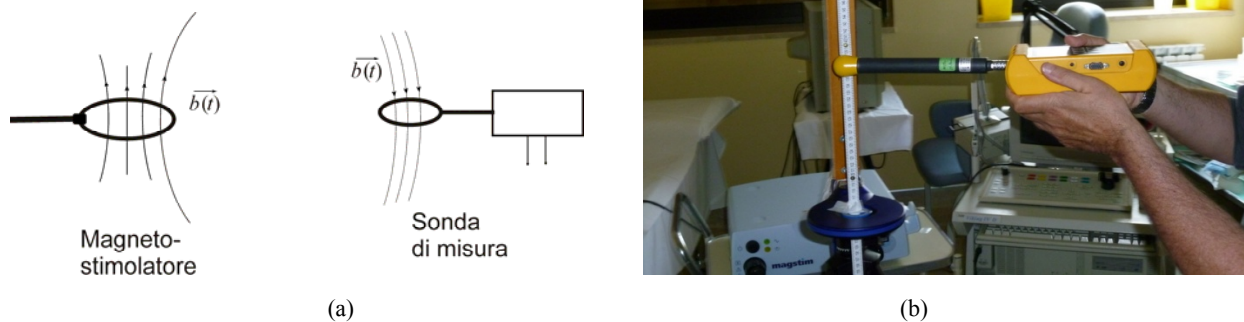


Figura 30: (a) rappresentazione schematica della misura dell'induzione magnetica generata dal magnetostimolatore; (b) caso particolare della misura lungo l'asse  $z$  (P.O. Spedali Civili Brescia)

Si è misurato il picco  $B_p$  lungo due rette fra loro ortogonali, una verticale (asse  $z$ ) passante per il foro presente nel centro della spira-applicatore e una orizzontale (asse  $r$ ) che incrocia  $z$  3 cm sopra la spira. Le misure sono state effettuate in ambedue le direzioni su una distanza di + 1m e - 1m, in punti intervallati di 10 cm. Le misure mostrano una notevole simmetria sia rispetto all'asse  $z$  che rispetto all'asse  $r$ , simmetria che non risente neanche del manico dell'applicatore dato che, ad una uguale distanza  $r$  dall'asse,  $B$  assume gli stessi valori sia che si sia dalla parte del manico o dalla parte opposta.

Abbiamo interpolato i punti lungo  $z$  con l'equazione (1) che esprime il campo di una spira circolare di raggio  $a$ , percorsa dalla corrente  $I$ . Questi due parametri sono stati calcolati per best fitting, ottenendo  $a=5.25$  cm ed  $I=92.12$  kA. Si noti che la corrente  $i(t)$  ha la stessa forma dell'impulso  $B(t)$  ed  $I$  rappresenta il picco di  $i(t)$ .

$$B(z) = \mu_0 \frac{a^2 I}{2\sqrt{(a^2 + z^2)^3}} \quad (1)$$

Nella Figura 31a i cerchietti rappresentano i valori misurati e la linea continua la curva (1). Come si vede il fitting è eccellente ( $R^2 = 0.9988$ ), il che conforta l'ipotesi che il campo prodotto dal Magstim è assimilabile a quello di una semplice spira circolare di raggio  $a$ .

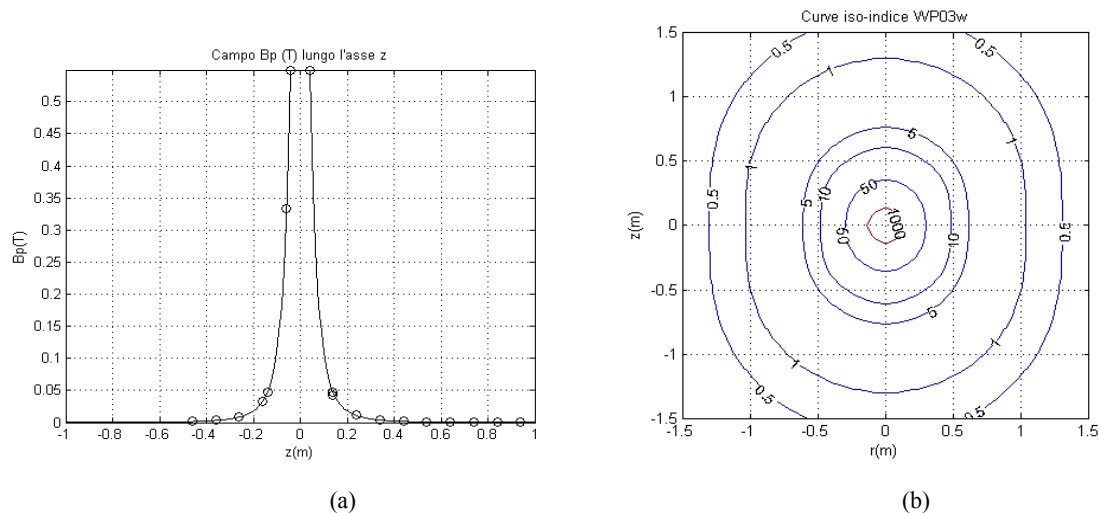


Figura 31: (a) Campo magnetico lungo l'asse z; (b) Curve iso-livello dell'indice WP03w su un piano  $x,r$ .

In uno dei punti, oltre al valore di picco si è acquisita la forma temporale dell'impulso di ciascuna componente del vettore  $B$ , per cinque impostazioni della potenza. Si è così potuto verificare che indipendentemente dalla potenza la forma è sempre la stessa, ovvero che l'impulso  $B(t)$  (e, ovviamente, le sue tre componenti  $B_x, B_y, B_z$ ) sono esprimibili come:

$$B(t) = B_p \cdot g(t) \quad (2)$$

dove  $B_p$  è il valore di picco dell'impulso e  $g(t)$  è un fattore di forma (uguale da impulso ad impulso) che vale 1 nell'istante in cui l'impulso raggiunge il picco. Questa proprietà garantisce che il valore quadratico medio e l'indice sono quantità proporzionali a  $B_p$ . Per verifica, è stato misurato e calcolato in un punto sia il valore quadratico medio  $Brms$  sia l'indice ICNIRP Weighted Pulse (WP03w), ottenendo uno scarto inferiore all'1% tra il valore calcolato dell'indice WP03w e quello misurato dall'ELT-400. Quindi una volta noto  $B_p$  si può ricavare WP03w che è ad esso proporzionale.

Grazie alle formule per la spira circolare<sup>6,7</sup> si può calcolare il valore di  $B_p$  (e quindi dell'indice WP03w) in ogni punto dello spazio intorno al Magstim. Se pensiamo la spira giacente su un piano orizzontale  $\pi$  e tracciamo l'asse  $z$  come una retta verticale per il centro della spira, il campo  $B$  ha simmetria di rotazione intorno all'asse  $z$  e di riflessione rispetto al piano  $\pi$ . Della stesse simmetrie gode l'indice WP03w.

La Figura 31b mostra le curve iso-livello dell'indice WP03w su un piano  $r,z$  (tracce delle superfici ad uguale indice con un piano verticale passante per l'asse  $z$ ). Si vede chiaramente che la zona in cui l'indice supera il valore di 1 (zona vietata, secondo la norma) si estende oltre 1 metro. Per distanze dell'ordine di 50 cm l'indice supera 10, ovvero il 1000 % del limite ICNIRP per le forme pulsate in questa gamma di frequenze. E' vero che si tratta di impulsi brevi ripetuti con intermittenze lente, però la permanenza in prossimità di questo apparecchio andrebbe gestita con cautela in attesa che ulteriori ricerche escludano possibili effetti dannosi.

### 3.6 Altre apparecchiature (elettromedicali e non)

Dall'analisi delle planimetrie, e nel corso dei sopralluoghi, si incontrano altre apparecchiature classificate come "elettromedicali". Ad esempio, nelle Unità Operative di Riabilitazione e Recupero Funzionale si trovano elettrostimolatori, apparati per terapia ad ultrasuoni e i macchinari kinetec. Tali apparecchiature risultano documentalmente conformi ai requisiti prescritti dal D.Lgs. 81/2008 che tutela l'esposizione dei lavoratori esposti ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

Gli apparati per ultrasuoni terapia e i macchinari kinetec rientrano nella categoria di apparecchiature che non basano il loro principio di funzionamento sulla emissione intenzionale di campi elettrici, magnetici e elettromagnetici oppure sull'induzione di correnti, pertanto risultano *a priori* conformi con i requisiti prescritti dal D.Lgs. 81/2008. Nel caso degli elettrostimolatori il principio di funzionamento si basa sull'induzione, mediante opportuni elettrodi, di impulsi di corrente della durata di 30-300 $\mu$ sec e di ampiezza anche di 100mA al fine di stimolare la contrazione dei muscoli del paziente. Lo strumento, se correttamente impiegato, non prevede che l'induzione di corrente interessi

<sup>6</sup> Bini et al. "Campo magnetico generato da magnetostimolatore Magstim mod. 200<sup>2</sup>", Report IFAC-CNR, 2011

<sup>7</sup> Feroldi et al. "Valutazione, prevenzione e protezione dal rischio elettromagnetico in ambiente ospedaliero", Atti del Convegno dBA 2010, pp. 573-586.

l'operatore pertanto anche in questo caso possiamo considerare che tali apparecchiature soddisfino *a priori* i requisiti prescritti dal D.Lgs. 81/2008.

Considerazioni analoghe portano alla “esclusione” dalla lista delle apparecchiature potenzialmente a rischio, e di conseguenza oggetto di approfondimento strumentale, di dispositivi di altra natura (personal computer, lampade, ed altri dispositivi elettrici/elettronici).

### 3.6 Culle termiche e incubatrici

Tali apparecchiature elettromedicali sono ad uso nei reparti di Neonatologia. L'esposizione interessa sia gli operatori, sia chi assiste i piccoli pazienti, ma data la “delicata” funzione che sono chiamati ad assolvere è stata dedicata una significativa attenzione anche all'esposizione dei pazienti<sup>8</sup>.

In prossimità delle culle termiche aperte (Figura 32a) sono stati misurati valori di induzione magnetica fino ad un massimo di  $7\mu\text{T}$  in punti localizzati in corrispondenza dell'apparato di alimentazione, ad una distanza di circa 3cm. Tale apparato opera conversione in bassa tensione per alimentare in sicurezza il sistema di riscaldamento della culla termica.



Figura 32: Reparto di Neonatologia (P.O. Manerbio): (a) Culla termica; (b) Incubatrice

Analoga distribuzione dei valori di induzione magnetica si sono riscontrati in corrispondenza delle incubatrici (Figura 32b). In questo caso sono state effettuate misurazioni su due incubatrici in condizioni operative diverse, la prima in condizioni stabili di temperatura e umidità (modalità di funzionamento di “mantenimento”) mentre la seconda incubatrice era stata appena accesa e doveva raggiungere le condizioni di equilibrio. Nel primo caso, in corrispondenza del sistema di alimentazione, sono stati misurati valori massimi di induzione magnetica pari a  $13\mu\text{T}$ , nel secondo caso invece si sono misurati valori fino a  $27\mu\text{T}$ .

Gli operatori stazionano attorno all'incubatrice e alle culle termiche di norma per 5' per 6/8 volte al giorno, e non specificatamente in prossimità del sistema di alimentazione.

I valori di induzione magnetica misurati sono comunque inferiori ai limiti di azione ( $500\mu\text{T}$  a 50Hz) sanciti dal D.Lgs. 81/2008. Sono rispettati anche i limiti di esposizione per la popolazione ( $100\mu\text{T}$ ) definiti dal DPCM 8 Luglio 2003, ma non i valori di attenzione ( $10\mu\text{T}$ ) e gli obiettivi di qualità ( $3\mu\text{T}$ ).

### 3.7 Stazioni di cogenerazione/impianti tecnici

I presidi ospedalieri sono in genere dotati di sottostazioni di trasformazione da media a bassa tensione, e – in alcuni casi – di altri tipi di impianti tecnici.

Le misure di campo E ed H a 50 Hz oggetto di questo paragrafo si riferiscono agli impianti di trasformazione e di cogenerazione dell'ospedale di Desenzano. La Figura 33 mostra una vista d'insieme dell'edificio in cui sono alloggiati i trasformatori e i quadri BT (piano terra) e l'impianto di cogenerazione (primo piano). Al piano terra ci sono due locali: in uno, che chiameremo “locale trasformatori” ci sono i trasformatori che portano la tensione da 15 kV a 400V; nell'altro, che chiameremo “locale quadri BT” sono alloggiati i quadri di controllo e misura per mezzo degli

<sup>8</sup>C. Riminesi, D. Andreuccetti, R. Fossi, M. Pezzati, “ELF Magnetic Field Exposure in a Neonatal Intensive Care Unit,” *Bioelectromagnetics*, **25**, 7, pp. 481-491, October 2004.

strumenti EMDEX II (campo magnetico) ed EHP50 (campi elettrico e magnetico). La Figura 34 mostra un esempio di misura mediante EHP50 di fronte ad un trasformatore MT-BT.



Figura 33: Locale trasformatori e dell'impianto di cogenerazione (P.O. Desenzano)



Figura 34: Misure presso trasformatore trifase 15kV/400V (P.O. Desenzano)

La Tabella 10 mostra i risultati delle misure in prossimità dei trasformatori MT-BT.

Tabella 10 - Misure presso i trasformatori trifase

Punto di misura	Intensità di $B$
a contatto della rete	40 $\mu\text{T}$
a 30 cm dalla rete	15 $\mu\text{T}$
a 50 cm dalla rete	10 $\mu\text{T}$
a 100 cm dalla rete	5 $\mu\text{T}$

Le misure eseguite in vari punti della stanza sono consistenti con l'atteso decadimento rapido del campo magnetico con la distanza dalla sorgente:

- In alto (bus bar) 1 – 3  $\mu\text{T}$
- In basso (si ha il max.) 5  $\mu\text{T}$
- a 10 cm dagli armadi 0.8 - 1.5  $\mu\text{T}$
- al centro della stanza 1  $\mu\text{T}$

Il campo elettrico risulta dell'ordine di 1 V/m quasi ovunque, con un valore di circa 4.7 V/m in prossimità di uno dei trasformatori.

Le figure da Figura 35 a Figura 38 mostrano gli spettri dei campi magnetico ed elettrico, e i valori alla frequenza di rete (50 Hz). Osserviamo che le armoniche superiori alla fondamentale hanno ampiezze almeno un ordine di grandezza inferiori alla suddetta.

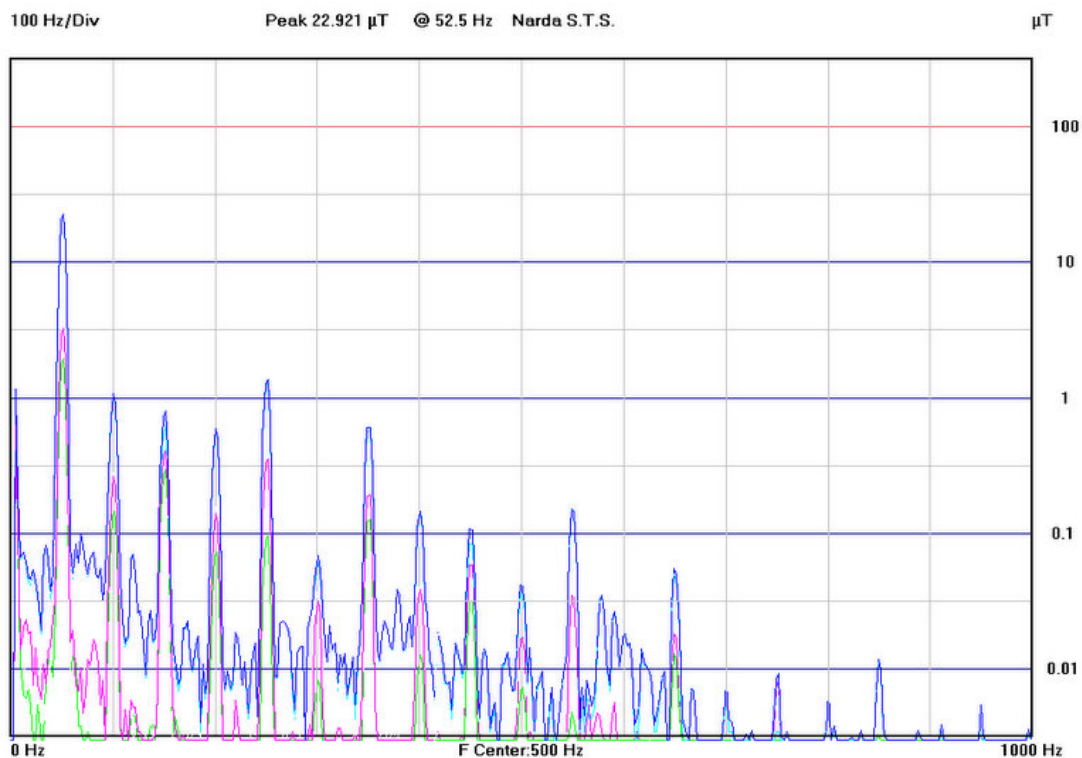


Figura 35: Campo magnetico di fronte ad uno dei trasformatori BT-MT

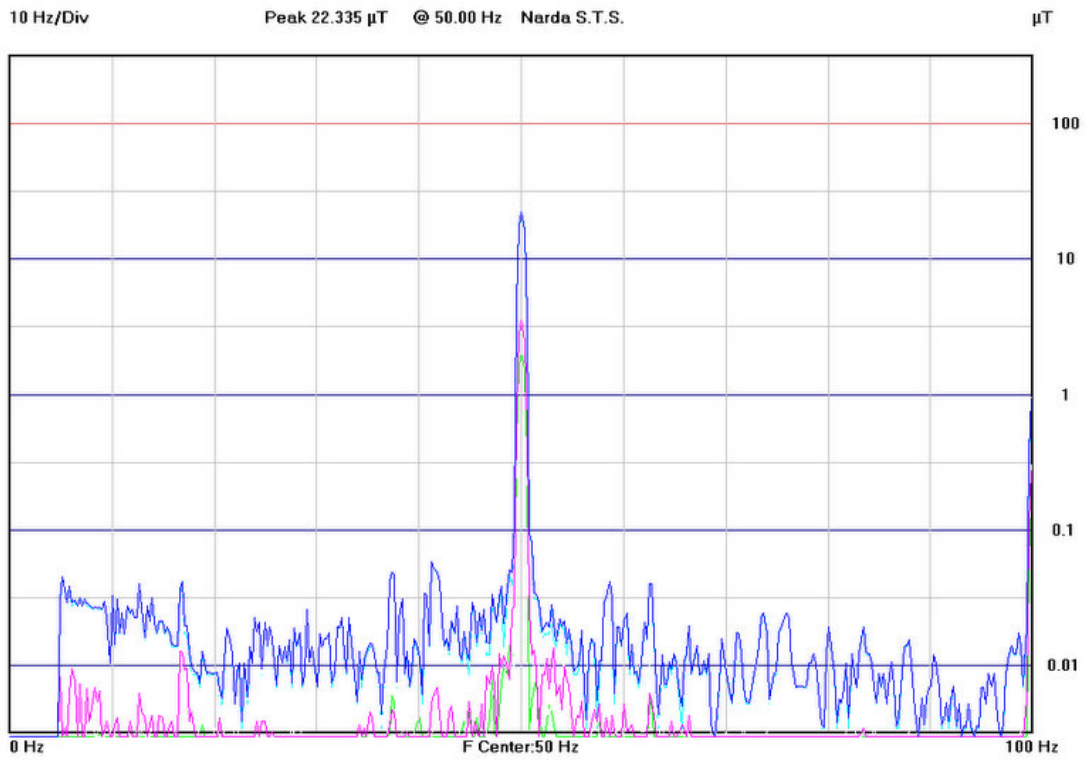


Figura 36: Campo magnetico di fronte ad uno dei trasformatori BT-MT

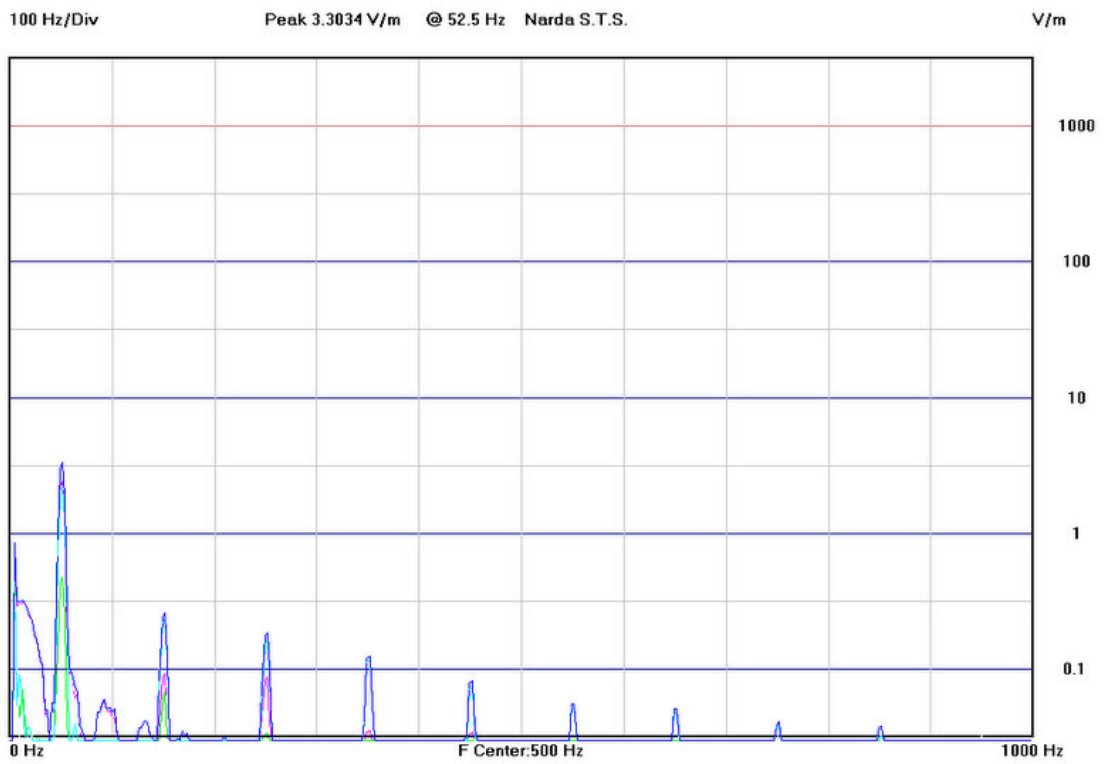


Figura 37: Campo elettrico di fronte ad uno dei trasformatori BT-MT

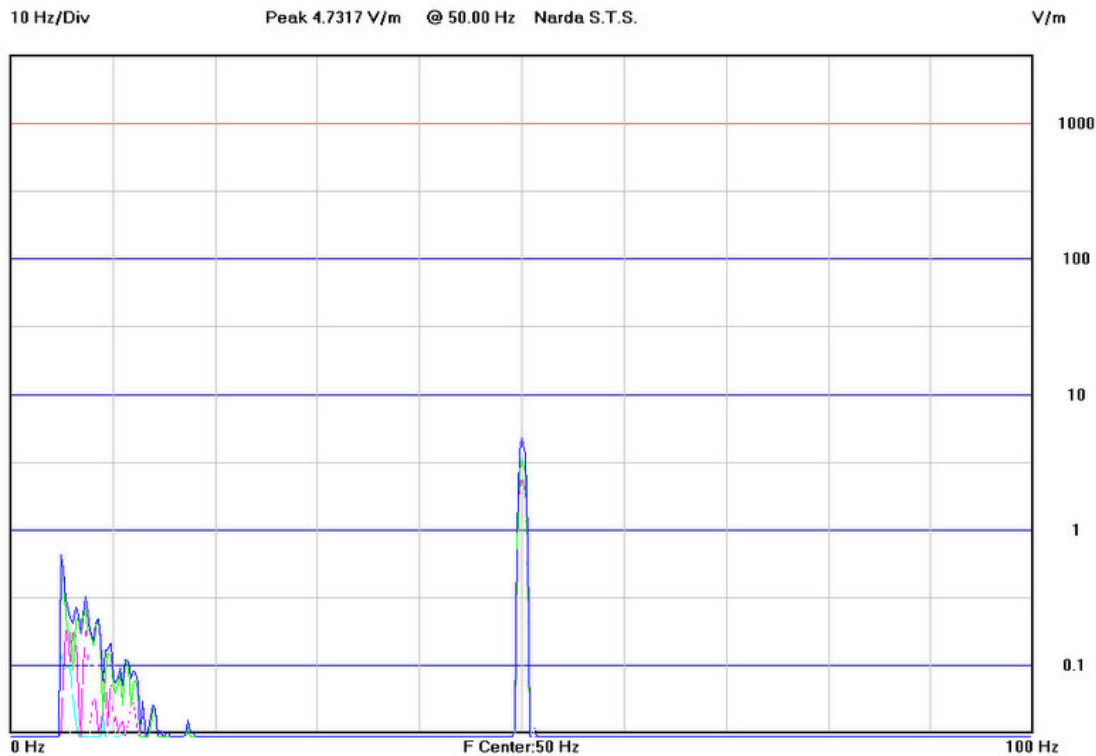


Figura 38: Campo elettrico di fronte ad uno dei trasformatori BT-MT

I livelli più elevati si riscontrano in prossimità dei quadri BT, a diretto contatto con gli interruttori (valori dell'ordine di 400  $\mu$ T).

Nella centrale di cogenerazione si osservano livelli "spot" elevati (fino a 130  $\mu$ T in prossimità dei cavi elettrici, oltre 400  $\mu$ T sui motori), ma il campo magnetico medio si mantiene intorno a 1  $\mu$ T al centro della stanza.

### 3.9 Sorgenti "outdoor"

In alcuni casi, ad esempio in presenza di elettrodotti o di ripetitori radio/TV nelle immediate vicinanze delle strutture ospedaliere, è opportuno eseguire misure ambientali, in quanto per il D.Lgs.81/2008 il datore di lavoro ha l'obbligo di assicurare il non superamento dei limiti di esposizione per i lavoratori, indipendentemente dalla natura della sorgente di emissione.

Riportiamo una sintesi dei risultati delle misure di campo elettromagnetico ambientale eseguite nei Presidi Ospedalieri di Desenzano, Gavardo e Salò. Il dettaglio delle misure è riportato nelle relazioni ELab Scientific di Aprile e Giugno 2009.

**Campi a radio frequenza.** I campi EM riscontrati, sono dovuti essenzialmente alle trasmissioni dei ripetitori radio FM e TV che servono l'area di Desenzano.

I valori rilevati a Desenzano sono inferiori – e spesso molto inferiori – a 1 V/m. Un valore di 1.8V/m, è stato trovato a 10 cm dall'Access Point (AP) della rete WiFi nel reparto di cardiologia, ma si tratta di uno spot estremamente localizzato: basta spostarsi al centro del corridoio, cioè a 150 cm di distanza dall'AP, per trovare nuovamente valori molto inferiori a 1 V/m (in particolare, 0.12 V/m, che è il fondo ambientale tipico, cfr. Tabella 11).

Ricordiamo che per i campi RF le norme vigenti per la popolazione prevedono, i seguenti valori efficaci:

Limiti di esposizione: 20 V/m

Valori di attenzione: 6 V/m

Quindi, le norme appaiono rispettate ovunque anche per la popolazione.

La Figura 39 mostra un esempio di misura ambientale mediante misuratore a larga banda W&G EMR-300, presso la struttura di Desenzano. In questo caso, lo strumento era posizionato nel mezzo al corridoio del reparto di medicina maschile, di fronte alle stanze 525 e 528. La fotografia è da considerarsi rappresentativa, per quanto riguarda l'assetto di misura, anche di tutte le altre misurazioni eseguite con questo strumento. Ogni volta veniva letto il valore medio di  $E$ , con il tempo su cui effettuare la media impostato su 6 minuti.





Figura 39: Misura di campo elettrico a larga banda (P.O. Desenzano)

La Figura 40 mostra il set-up della strumentazione per misure a banda stretta. In primo piano si vede lo Spettro Analizzatore (SA) R&S ESPI7 e all'esterno, sul terrazzino al di là della porta-finestra, l'antenna biconica compatta Seibersdorf PCD 8250. Il sistema di misura così assemblato copre la gamma di frequenze da 80 MHz a 2.5 GHz e può essere esteso in basso con l'antenna a loop R&S HFH 2-Z2, che copre la gamma 9 kHz–30 MHz. L'estensione in alto non è necessaria, dato che solitamente non esistono sorgenti di interesse ambientale a frequenze superiori a 2.5 GHz.



Figura 40: Setup per misure RF a banda stretta (P.O. Desenzano)

Tabella 11 - Misure di campo RF con W&amp;G EMR -300

Punto di misura	E medio (V/m)
Terrazzino (in prossimità dell'antenna Seibersdorf)	0.61
di fronte alle porte delle stanze 525 e 528; nel mezzera del corridoio.	0.19
di fronte al deposito pulito:	0.24
Sala d'attesa, atrio comune:	0.15
Sala d'attesa medicina femminile, scala emergenza:	0.27
medicina femminile adiacente stanza medico di guardia:	0.17
antistante ingresso Day Hospital Oncologico:	0.10
Terrazzino in fondo al corridoio medicina femminile	0.38
Reparto di Otorinolaringoiatria in prossimità della finestra (fondo corridoio)	0.30
Reparto di Otorinolaringoiatria sala di attesa	0.35
Corridoio atri comune	0.09
Reparto Pneumologia (fondo corridoio)	0.09
Reparto Oculistica fondo corridoio	0.28
Reparto cardiologia	
atrio antistante le sale di degenza	0.12
atrio antistante il reparto di terapia intensiva	0.15
A 10 cm dall'Access Point Extreme	1.8
Nel centro del corridoio a 150 cm dall'Access Point	0.12
Parcheggio zona ecologica	0.29
Parcheggio dipendenti	0.13

A parte i valori relativamente più elevati misurati a ridosso dell'Access Point del Reparto di Cardiologia il valore un po' più intenso è quello misurato sul terrazzino, all'esterno delle mura dell'edificio (0.61 V/m). La sorgente è stata identificata nei trasmettitori con cui vengono forniti i servizi radio FM e televisivi. All'interno dell'ospedale il campo assume valori intorno ad alcuni decimi di V/m, con variazioni da punto a punto da attribuire al fatto che i segnali dei trasmettitori broadcasting (FM e TV), esterni all'ospedale, sono schermati e diffusi dalle varie strutture materiali (muri, mobili metallici, ecc.).

Relativamente ai campi della rete WiFi, che abbiamo avuto modo di misurati nel Reparto di Cardiologia, il valore più intenso è rilevato in prossimità dell'Access Point (AP). Allontanandosi a 1.5 m dall'AP il campo si riduce ai valori tipici (frazioni di V/m) trovati all'interno dell'ospedale. Questo mostra la natura "a spot" del campo prodotto dalle sorgenti di campo EM, specie quando si ha a che fare con sorgenti di dimensioni confrontabili o più piccole della lunghezza, come nel caso dell'access point delle reti wireless.

Nel Presidio Ospedaliero di Gavardo il campo EM è principalmente dovuto alle stazioni radio FM e TV di Selva Piana. Misure dettagliate hanno evidenziato che, anche in punti dove la SRB (Stazione Radio Base) per telefonia cellulare è in vista e siamo pertanto pressoché nel massimo locale di radiazione della sua antenna, il suo contributo non supera il 12% del totale. La Tabella 13 confronta i valori di campo misurati con la strumentazione a larga banda con quelli calcolati a partire dalle misure eseguite con lo spettro-analizzatore.

L'intensità del campo non varia sostanzialmente fra l'esterno e l'interno dell'edificio ospedaliero e i valori rimangono inferiori, e tipicamente molto inferiori, a 0.9 V/m (si veda la Tabella 12).

Per quel che riguarda il Presidio Ospedaliero di Salò, nelle cui vicinanze non si vede nessun ripetitore broadcasting, i campi EM non superano mai 0.4 V/m, con medie (su 6 min.) inferiori a 0.2 V/m (Tabella 14). Ricordando che le norme per la popolazione vigenti in Italia prevedono in questa gamma di frequenza 20 V/m (limiti di esposizione) e 6 V/m (valori di attenzione e obiettivo di qualità) si può dire che le norme appaiono ovunque rispettate.

Tabella 12 - Sommario misure ambientali (P.O. Gavardo)

Punto di misura	Campo elettrico		
	E [V/m]		
	AVRG	MAX AVRG	MAX
N.1 – outdoor	0.27	0.28	0.46
N.2 – outdoor	0.37	0.37	0.41
N.3 – indoor CHIRURGIA (5° Piano)			
a) Corridoio	0.18	0.19	0.31
b) Sala di attesa davanti alla finestra	0.73	0.73	0.90
N.4 – indoor BLOCCO OPERATORIO (4° Piano)			
Davanti alla porta d'ingresso	0.06	0.06	0.14
N.5 – indoor NEONATOLOGIA (3° Piano)			
Davanti alla porta d'ingresso	0.07	0.10	0.19
Corridoio	0.16	0.23	0.54
N.6 – indoor CURE PALLIATIVE (2° Piano)			
Sala di attesa davanti alla finestra	0.6	0.63	0.74

Tabella 13 - Confronto tra il campo elettrico calcolato dalla misura CHPW e quello misurato con strumentazione a larga banda (P.O. Gavardo)

Punto di misura	Misura CHPW con analizzatore di spettro				Misura a banda larga
	$f$ centrale	Ampiezza del canale	P	E	$E_{AVRG}$
	[MHz]	[MHz]	[dBm]	[V/m]	[V/m]
N.3.b – indoor 5° Piano, davanti alla finestra della sala di attesa del Rep. CHIRURGIA					
Banda FM Pol. H	97.5	25	-42.9	0.31	
Banda FM Pol. V	97.5	25	-35.6	0.71	
Banda TV Pol. H	650	500	-38.2	0.11	
Banda TV Pol. V	650	500	-50.8	0.03	
Banda Cell.1 Pol. H	940	60	-54.9	0.03	
Banda Cell.1 Pol. V	940	60	-45.9	0.07	
Banda Cell.2 Pol. H	2147	65	-52.1	0.13	
Banda Cell.2 Pol. V	2147	65	-47.4	0.23	
Valore equivalente nella banda 100kHz-3GHz				<b>0.83</b>	<b>0.73</b>

Tabella 14 - Sommario misure ambientali (P.O. Salò)

Punto di misura	Campo elettrico			Induzione magnetica
	E [V/m]			
	AVRG	MAX	AVRG	MAX
Imbarcadero (outdoor)	0.15	0.16	0.4	Non misurabile
Percorrendo i corridoi dell'Ospedale (indoor)	0.14	0.22	0.35	0.05 – 0.01
Negli ambienti della comunità protetta (indoor)	0.17	0.19	0.25	–
Sala di attesa piano terra (indoor)	0.09	0.1	0.19	–

**Campo magnetico a 50 Hz.** Il valore di fondo (da 1μT a meno di 0.1μT) è dovuto all'elettrodotto che passa in prossimità dell'ospedale di Desenzano, dal lato del parcheggio (zona ecologica). Sotto l'elettrodotto, il valore più elevato è circa 1 μT, diminuendo all'allontanarsi dai conduttori fino a valori di alcuni decimi di μT.

All'interno dell'ospedale il campo ambientale più elevato è nel reparto di pediatria, sala delle riunioni del personale (punto più vicino all'elettrodotto) e vale 0.1 μT.

Vi sono poi spot in prossimità di cavi e quadri elettrici da alcuni μT fino a 54 μT (v. Tabella 15), ma si tratta di volumi molto ristretti.

All'interno della cabina di trasformazione e nei locali dell'impianto di cogenerazione si hanno valori ambientali dell'ordine del μT, con punte in prossimità dei trasformatori o dei motori di decine e centinaia di μT. Trattandosi di campi di prossimità, i livelli calano rapidamente in poche decine di cm.

Tabella 15 - Campo magnetico all'interno dell'ospedale (P.O. Desenzano)

Locale	Valori rilevati
Piano V: Reparto Medicina (sez. Maschile e Femminile) ; Day-Hospital ed Endoscopia	Valori uniformi entro 0.01-0.02 μT, solo in corrispondenza del ripetitore 4, probabilmente in prossimità della calata di alimentazione (avvicinandosi al contro soffitto) sono stati rilevati 0.22- 0.23 μT
Piano IV	Valori di fondo fra 0.01μT e 0.03μT; in prossimità del frigorifero, nell'ambulatorio di pneumologia max. 4.5μT; in prossimità di quadro elettrico 12-13μT reparto di oculistica
Piano Terra Atrio antistante il reparto di Pediatria e il Lab. di Analisi	A circa 10cm dal Quadro Allarmi Intercettazione dei Gas Medicali (ossigeno, etc.), 0.2 – 0.4 μT Quadro elettrico, in basso in corrispondenza del trasformatore che alimenta il Quadro Allarmi Intercettazione dei Gas Medicali max. = 54 μT; in corrispondenza degli interruttori 1-1.5 μT. Misure effettuate mantenendosi ad una distanza di 5cm dal vetro dello sportello del quadro (sportello chiuso).
Piano terra Reparto Pediatria	Stanza riunioni del personale (punto più vicino all'elettrodotto) 0.1 μT; Panoramica nel reparto: B diminuisce lungo il corridoio, allontanandosi dal lato più vicino all'elettrodotto; a metà del corridoio, tra il lato più vicino all'elettrodotto e la sala di attesa, B = 0.05 μT; in corrispondenza della sala di attesa, B = 0.02 – 0.04 μT

La **Tabella 16** mostra i livelli di campo magnetico misurati sotto l'elettrodotto ENEL (132 kV, doppia terna) nel presidio ospedaliero di Desenzano: le misure sono state eseguite in vicinanza del traliccio N.34.4 (785, 117), ad un'altezza di 1.5 m da terra.

Le misure sono state eseguite con lo strumento EMDEX II.

Tabella 16 - Misure di campo magnetico con EMDEX II sotto l'elettrodotto (P.O. Desenzano)

N. identificativo del punto di misura	Ubicazione del punto di misura (dati da GPS)			B [ $\mu$ T]	Data, ora	Note descrittive
	Altezza sul livello del mare	Nord	Est			
1	143	45.47310	010.52113	0.57	28/04/2009, 18:15	Sotto la fune di guardia
2	153	45.47307	010.52157	0.84	28/04/2009, 18:17	Sotto la fune di guardia
3	151	45.47307	010.52154	0.57	28/04/2009, 18:20	Defilato rispetto alla fune di guardia (circa 15° rispetto alla perpendicolare a terra dalla f.g.)
4	152-153	45.47261	010.52161	0.12	28/04/2009, 18:25	Defilato rispetto alla fune di guardia (circa 30° rispetto alla perpendicolare a terra dalla f.g.)
5	167-168	45.47313	010.52010	0.71	28/04/2009, 18:35	Sotto la fune di guardia
6	165	45.47315	010.52070	0.85	28/04/2009, 18:40	Misure a terra
7	151	45.47323	010.51882	0.81	29/04/2009, 09:35	Sotto la fune di guardia
8	150	45.47326	010.51872	1.04	29/04/2009, 09:37	Sotto la fune di guardia

Per i campi a 50 Hz le norme prescrivono i seguenti livelli, espressi in valore efficace:

Popolazione:

Limiti di esposizione 100  $\mu$ T

Valori di attenzione 10  $\mu$ T

Obiettivo di qualità 3  $\mu$ T

Professionalmente esposti: 500  $\mu$ T

Anche nel caso dei campi magnetici a frequenza di rete, le norme appaiono sostanzialmente rispettate.

## Appendice A – Quadro normativo

In Italia, come nel resto della Comunità Europea, esistono norme per l'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) differenziate per la popolazione e per i lavoratori. Sono state pubblicate dal CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) norme per la valutazione e la misura dei CEM e di recente anche una guida specifica per l'esposizione dei lavoratori.

Inoltre, esistono norme CEI per la compatibilità elettromagnetica delle apparecchiature medicali.

### A1. Norme per i lavoratori

Per i *professionalmente esposti* il riferimento in vigore è il Titolo 8, Capo IV del D.Lgs. 81/2008, che attua la Direttiva 2004/40/CE<sup>9</sup> basate, a sua volta, sulle Linee Guida 1989 della International Commission for Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)<sup>10</sup>. La **Tabella 17** riporta i Valori di Azione (VdA), quantità che non debbono essere superate nelle varie situazioni espositive total body e per onda continua. Osserviamo che i VdA dipendono dalla frequenza, per tener conto del fatto che l'accoppiamento fra CEM e organismo (e quindi l'induzione di correnti e l'assorbimento di energia) varia molto con la frequenza così come variano con la frequenza gli effetti che le correnti o l'energia assorbita provocano nell'organismo. Si noti che per le frequenze più elevate (oltre 10 MHz) i VdA sono espressi anche in termini di densità di potenza S, misurata in W/m<sup>2</sup>, anche se è uso molto comune continuare ad utilizzare il riferimento al campo elettrico E anche per le frequenze oltre i 10 MHz.

Nel caso che il CEM sia una miscela di più frequenze le norme prevedono che l'intensità delle componenti a ciascuna frequenza sia divisa per il VdA a quella frequenza e la somma di tutti questi contributi va a formare un indice che deve risultare minore di 1. Esistono condizioni di esposizione parziale del corpo (es. per il telefono cellulare) o forme d'onda particolari (ad es. impulsi, quali quelli del segnale radar) per le quali i VdA possono essere superati, ma l'argomento è troppo specifico per essere trattato qui e si rimanda ai documenti già citati. Accenniamo al caso delle forme d'onda pulsate e/o non ripetitive, di frequenza inferiore a 100kHz, per le quali ICNIRP ha proposto uno statement nel quale si formula un indice particolare, così detto del Weighted Peak (che noi indicheremo con il simbolo WP03), che pesa con i VdA le varie armoniche costituenti la forma d'onda e tiene opportunamente conto delle loro fasi<sup>11</sup>.

Tabella 17 - Valori di azione (D.Lgs. 81/2008)

f (frequenza)	E (V/m)	B (□T)	S (W/mq)
fino a 1 Hz	..	200 000	..
1-8 Hz	20 000	200 000/f <sup>2</sup>	..
8-25 Hz	20 000	25 000/f	..
0.025 - 0.82 kHz	500/f	25/f	..
0.82 - 2.5 kHz	610	30.7	
2.5 - 65 kHz	610	30.7	..
65 - 100 kHz	610	2 000/f	
0.1 - 1 MHz	610	2/f	..
1-10 MHz	610/f	2/f	..
10 - 110 MHz	61	0.2	10
110 - 400 MHz	61	0.2	10
400 - 2000 MHz	3√f	0.01√f	f/40
2 - 300 GHz	137	0.45	50

<sup>9</sup>Direttiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo e Consiglio del 29 aprile 2004 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300, <http://www.ifac.cnr.it/pcmni/normeit/ec2004.pdf>

<sup>10</sup>International Commission for Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz).", Health Physics 74: 494-522 (1998)

<sup>11</sup>Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines, ICNIRP Statement, Health Physics. March 2003, Volume 84, Number 3, p.383; [www.icnirp.de/documents/pulsed.pdf](http://www.icnirp.de/documents/pulsed.pdf)

## A2. Norme per la popolazione

I limiti per la popolazione sono riportati nei due DPCM 8 luglio 2003 (G.U. n.199, 28/08/2003, per le radio frequenze; G.U. n.200,29/08/2003 per i 50 Hz)<sup>12</sup>.

Tabella 18 Limiti per le radio frequenze e microonde

frequenza	Limiti di esposizione			Valori di azione			Obiettivi di qualità		
	E	B	S	E	B	S	E	B	S
	(V/m)	( $\mu$ T)	(W/m <sup>2</sup> )	(V/m)	( $\mu$ T)	(W/m <sup>2</sup> )	(V/m)	( $\mu$ T)	(W/m <sup>2</sup> )
0.1 - 3MHz	60	0.25	-	6	0.02	-	6	0.02	-
3 - 3000MHz	20	0.063	1	6	0.02	0.1	6	0.02	0.1
3 - 300GHz	40	0.013	4	6	0.02	0.1	6	0.02	0.1

Si distinguono: (1) limiti di esposizione, valori da non superare comunque, (2) valori di attenzione, aree di gioco per infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere; (3) obiettivi di qualità, da tenere presente come obiettivo per una graduale riduzione in zone densamente popolate e nella progettazione di nuovi impianti. Si rimanda ai documenti originali per i dettagli applicativi. La Tabella 18 riporta i limiti per le frequenze sopra 100 kHz (radio frequenze e microonde).

Per quel che riguarda le basse frequenze, cioè le frequenze fino a 100 kHz, il DPCM si occupa solo della frequenza di distribuzione dell'energia elettrica (50 Hz) e, in sostanza, dei campi prodotti dagli elettrodotti. I limiti per 50 Hz sono di 5 kV/m per il campo elettrico; per l'induzione magnetica B si fa la distinzione: limiti di esposizione, 100  $\mu$ T; Valori di attenzione 10  $\mu$ T; obiettivo di qualità 3  $\mu$ T.

## A3. Compatibilità elettromagnetica

Bisogna garantire che i campi elettromagnetici, nel luogo in cui una apparecchiatura elettromedicale è posizionata e si trova ad operare, non superino i livelli per i quali sono state collaudate. La norma CEI 60601-1-2, stabilisce in proposito questi valori:

- 10 V/m, per apparecchiature utilizzate per il sostentamento di funzioni vitali
- 3 V/m, per apparecchiature non utilizzate per il sostentamento di funzioni vitali

Quella citata è una norma generale. Esistono norme CEI per specifiche categorie di elettromedicali (come: elettrocardiografi, elettromiografi, encefalografi, sistemi doppler, ecc.), alle quali ci si può di volta in volta riferire.

12

[http://www.arpa.emr.it/elettrosmog/download/DPCM\\_8luglio2003\\_RF.pdf](http://www.arpa.emr.it/elettrosmog/download/DPCM_8luglio2003_RF.pdf)

[http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/cem/normativa/DPCM\\_8luglio2003\\_bassa.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/cem/normativa/DPCM_8luglio2003_bassa.pdf)