



XXXV Congresso Nazionale di Radioprotezione

17 • 19 ottobre 2012
Sala S. Apollonia

Castello 4309
Fondamenta S. Apollonia
Venezia



Azienda
ULSS 12
Veneziana



VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE DOVUTA AI GRADIENTI DI CAMPO IN RISONANZA MAGNETICA E AL MOVIMENTO NEL CAMPO MAGNETICO STATICO NON OMOGENEO MEDIANTE IL METODO DEL PICCO PONDERATO

Contessa GM¹,
Andreuccetti D², Falsaperla R¹, Lodato R³, Pinto R³,
Zoppetti N² e Rossi P¹

¹INAIL, Via di Fontana Candida 1, 00040 Monte Porzio Catone (Roma)

²IFAC-CNR (Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara"), via Madonna del Piano
10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

³ENEA, Centro di Ricerche Casaccia, via Anguillarese 301, 00123 Roma

e-mail: g.contessa@inail.it

The Physical Agents Directive

DIRETTIVA 2012/11/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO

del 19 aprile 2012

che modifica la direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (18ª direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)

Articolo 1

All'articolo 13, paragrafo 1, della direttiva 2004/40/CE la data «30 aprile 2012» è sostituita da quella de «31 ottobre 2013».

EMF Directive: Implementation problems?



MRI environment identified problems

	Frequency	Exposure limit value (ELV)	Estimated maximum occupational exposure in MRI
Static magnetic field	0 Hz	None	3 T (clinical) 9.4 T (research)
	<1 Hz (typical) (due to movement)	Current density 40 mA ^m -2 head and trunk	200 – 400 mA ^m -2 (CNS) ¹ ELV exceeded 0.5 - 1 m from magnet if moving at 1 ms ⁻¹
Switched gradients	1 kHz (typical)	Current density 10 mA ^m -2 head and trunk	<u>> 200 mA^m-2 (CNS)²</u> ELV exceeded ≈ 1 m from end of gradient coils
RF	10s – 100s MHz	SAR 0.4 W kg ⁻¹ whole body 10 W kg ⁻¹ head and trunk 20 W kg ⁻¹ limbs All SAR values averaged over 6 mins, localised SAR averaged over 10g of tissue	Not expected to exceed ELV because of spatial and temporal averaging.

Crozier et al
2007

	Frequency	Exposure limit	Action value for magnetic flux density	Estimated maximum occupational exposure in the UK
Static magnetic field	0 Hz	None	0.2 T	3 T (clinical) 7 T (research)
	<1 Hz (typical) (generated by movement of subject)	Current density 40 mA ^m -2 to head and trunk	0.2 T	Possibly up to several hundred mA ^m -2
Switched gradients	500 Hz (typical)	Current density 10 mA ^m -2 to head and trunk	50 μT	<u>2,000 μT (to head)</u>
RF field	10-400 MHz	SAR 0.4 Wkg ⁻¹ whole body average, averaged over six minutes. SAR 20 Wkg ⁻¹ to the limbs, averaged over six minutes.	0.2 μT	<0.4 Wkg ⁻¹ whole body average in most conceivable situations. Local SAR may approach limit in some instances.

Keevil et al
2006

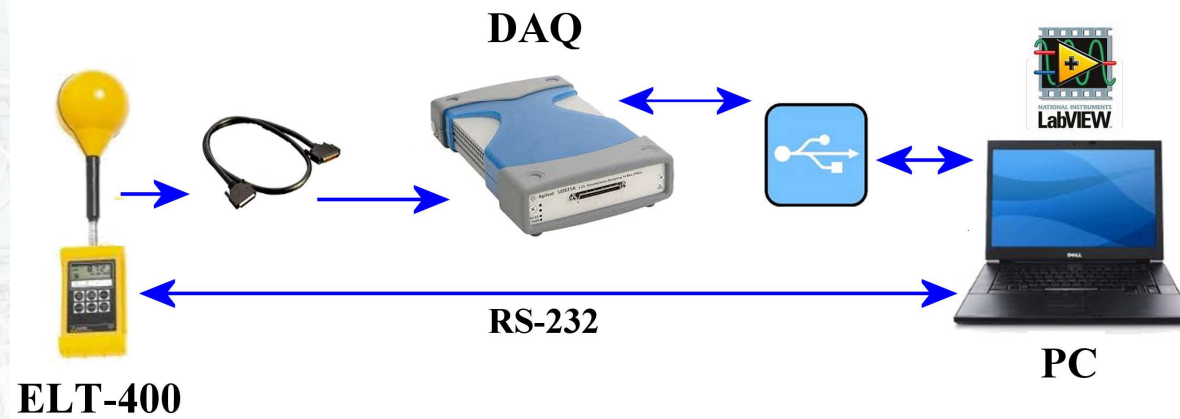
Sessioni di misura

Struttura e scanner	Codice	Sequenza RM	Punto	Note
Ospedale San Giovanni Calibita Fatebenefratelli - Roma Scanner a corpo intero Philips Achieva Nova 1.5 T Esami clinici di routine	H1S1	EPI Axial	TP	Serie di 21 fette di 0.5 mm
	H1S2	EPI Axial	TP	
	H1S3	EPI Coronal	TP	Singola fetta di 0.5 mm
	H1S4	EPI Sagittal	TP	
Fondazione Santa Lucia - Roma Scanner per la testa Siemens Magnetom Allegra 3 T Ricerca sul cervello	H2S1	DTI 6 directions	TP	
	H2S2	DTI 6 directions	OP	
	H2S3	Double Echo DPT2	OP	
Ospedale pediatrico Bambino Gesù - Palidoro (Roma) Scanner a corpo intero Philips Achieva 1.5 T Esami cardiaci su bambini	H3S1	Cardiac Black Blood	OP	
	H3S2	EFF	OP	
	H3S3	Q-flow	OP	
	H3S4	Cardiac Short Axis	OP	

Strumentazione

Background	EFA 3 Magnetic field probe	5 Hz - 30 kHz
Movimento nel campo magnetostatico	Three-axis Hall Magnetometer THM-1176	0.1 - 20 T
Campi di gradiente	ELT 400 Agilent U2531A	1 Hz - 400 kHz

Campi di gradiente



Campi di gradiente



ELT 400

Alla distanza 40 cm dal bore
(tipica posizione di un
operatore che si prende cura
del paziente) e all'altezza di
1 m dal terreno (Punto OP)

Agilent U2531A



Scanner: Philips Achieva Nova 1.5 T

(Fatebenefratelli Hospital of Rome)

Sequence: EPI

00:05:29

Survey_MST

Ref_HC_8 REF

BW MIN Geo1

RF

G_z

G_y

G_x

TE

Initial geometry contrast motion dyn/ang postproc offc/ang conflicts

Acquisition mode Cartesian

Fast Imaging mode EPI

shot mode single-shot

Echoes 1

partial echo no

shifted echo no

TE user defined

(ms) 50

Flip angle (deg) 90

TR user defined

(ms) 3000

Halfscan no

Water-fat shift **minimum** (maxi...)

Shim default

Fat suppression no

Water suppression no

MTC no

Diffusion mode no

SAR mode high

B1 mode default

PNS mode **high** (low)

Gradient mode **maximum** (defa...)

SoftTone mode no

SameScan ScanAlign Cancel Proceed

Total scan duration 04:12.0

Rel. signal level (%) 100

Act. TR/TE (ms) 3000 / 50

Dyn. scan time 00:03.0

ACQ matrix M x P 64 x 63

ACQ voxel MPS (mm) 3.75 / 3.81 / 5.00

REC voxel MPS (mm) 3.00 / 3.00 / 5.00

Scan percentage (%) 98.4

Packages 1

Min. slice gap (mm) 0

EPI factor 63

Act. WFS (pix) / BW (Hz) 5.929 / 36.6

BW in EPI freq. dir. (Hz) 3325.5

Min. WFS (pix) / Max... 5.915 / 36.7

Min. TR/TE (ms) 1365 / 15

SAR / whole body < 4% / 0.1 W/kg

Whole body / level < 0.1 W/kg / normal

B1 rms [uT] 0.9

PNS / level 77% / normal

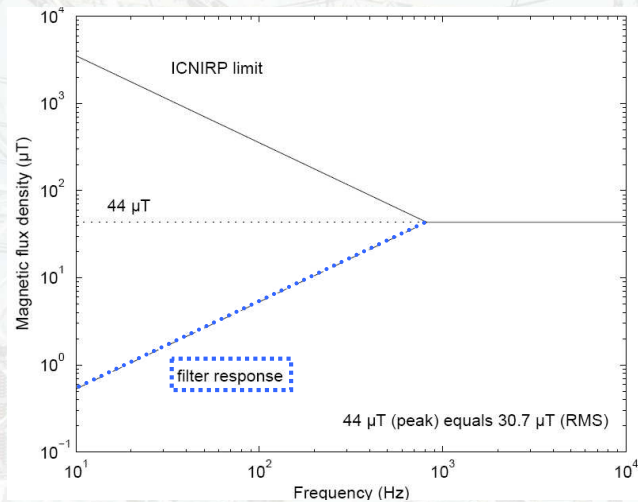
ICNIRP 1998 Reference levels (Occ. Exp.)

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	1.63×10^5	2×10^5	—
1–8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	—
8–25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	—
0.025–0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	—
0.82–65 kHz	610	24.4	30.7	—
0.065–1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	—
1–10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$	—
10–400 MHz	61	0.16	0.2	10
400–2,000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2–300 GHz	137	0.36	0.45	50

ICNIRP 2010 Reference levels (Occ. Exp.)

Frequency range	E-field strength (E kV m ⁻¹)	Magnetic field strength (H m ⁻¹)	Magnetic flux density
1 Hz–8 Hz	20	$1.3 \times 10^5/f^2$	$0.2/f$
8 Hz–25 Hz	20	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^{-2}/f$
25 Hz–300 Hz	$5 \times 10^2/f$	8×10^2	1×10^{-3}
300 Hz–3 kHz	$5 \times 10^2/f$	$2.4 \times 10^5/f$	$0.3/f$
3 kHz–10 MHz	1.7×10^{-1}	80	1×10^{-4}

Metodo del picco ponderato



$$WP_x(t) = \sum_i \frac{B_x(f_i)}{B_L(f_i)\sqrt{2}} \cos(2\pi f_i t + \theta_i + \phi_i)$$

Jokela K (2007) *Health Physics* 92(6):531-540

ASSESSMENT OF COMPLEX EMF EXPOSURE SITUATIONS
INCLUDING INHOMOGENEOUS FIELD DISTRIBUTION

ICNIRP Statement

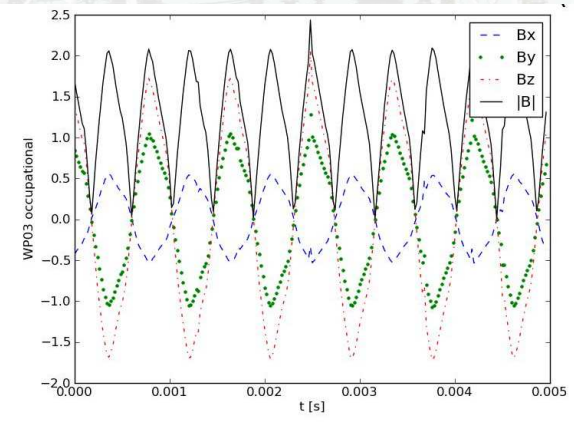
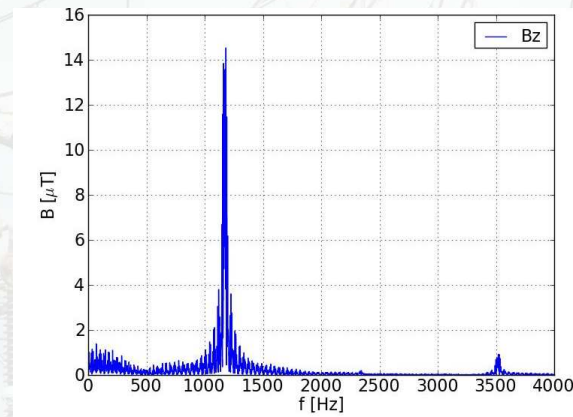
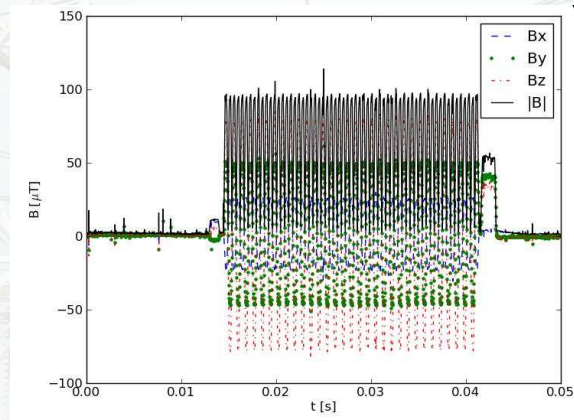
GUIDANCE ON DETERMINING COMPLIANCE OF EXPOSURE
TO PULSED AND COMPLEX NON-SINUSOIDAL WAVEFORMS
BELOW 100 KHZ WITH ICNIRP GUIDELINES

2003 Health Physics Society

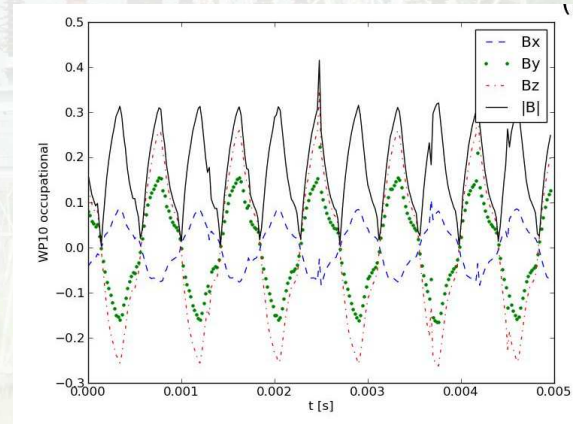
Campi di gradiente - risultati

codice	B [μ T]	WP-1998 occupazionale	WP-1998 popolazione	WP-2010 occupazionale	WP-2010 popolazione
H1S1	114	2.44	12.0	0.415	1.57
H1S2	110	2.41	11.9	0.409	1.55
H1S3	65.3	1.13	5.56	0.210	0.786
H1S4	102	1.26	6.23	0.234	0.902
H2S1	2.50	0.318	1.58	0.046	0.179
H2S2	3.31	0.039	0.194	0.006	0.025
H2S3	1.10	0.017	0.085	0.003	0.013
H3S1	64.0	0.91	4.50	0.143	0.570
H3S2	110	1.58	7.85	0.212	0.860
H3S3	118	1.56	7.72	0.235	0.916
H3S4	113	1.45	7.26	0.191	0.789

Campi di gradiente - H1S1 (FBF)

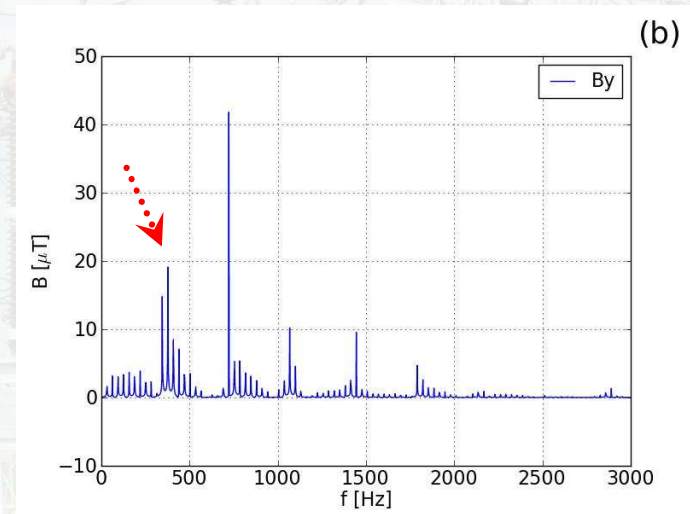
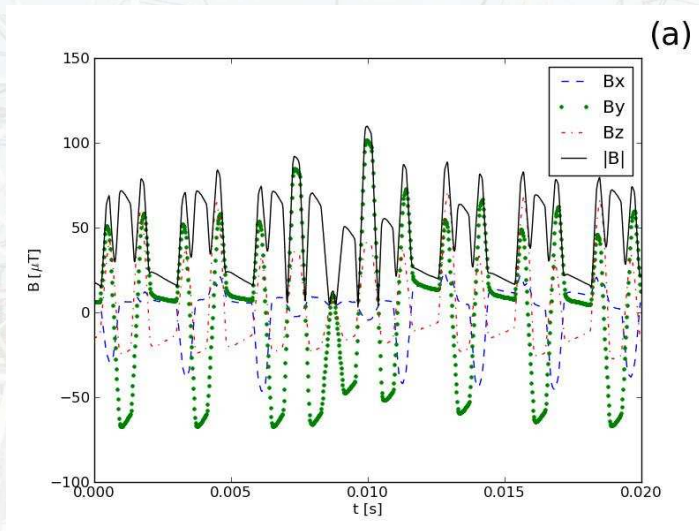


1998



2010

Campi di gradiente - H3S2 (BG)



Movimento nel campo magnetostatico

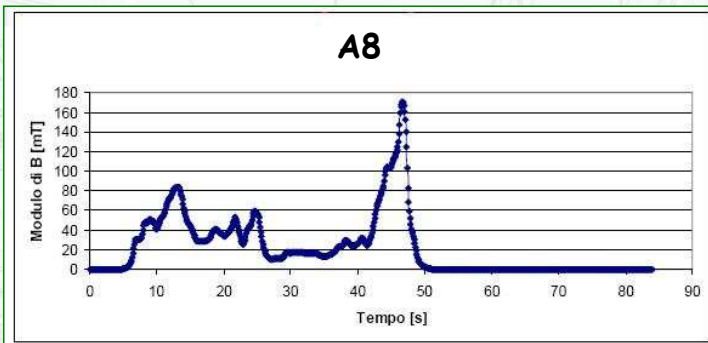


Si è trasformato il problema di un soggetto in moto in un campo statico non omogeneo in quello di un **soggetto immobile in un campo magnetico omogeneo variabile nel tempo.**

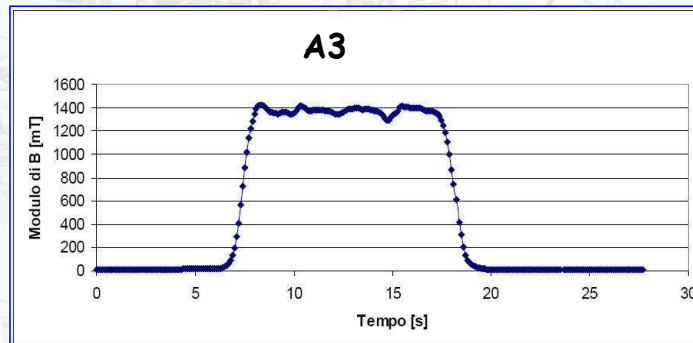
Questo secondo problema è perfettamente analogo a quello affrontato per i campi di gradiente ed è pertanto stato risolto con una identica procedura.

Per attenuare gli effetti della semplificazione insita nell'aver assunto il campo omogeneo sul volume del soggetto esposto, si è ritenuto di adottare un **approccio "worst case"** nella scelta del punto di riferimento: considerato che si è interessati agli effetti delle correnti indotte nel sistema nervoso centrale, il punto di misura è stato collocato sulla testa del soggetto.

Movimento nel campo magnetostatico

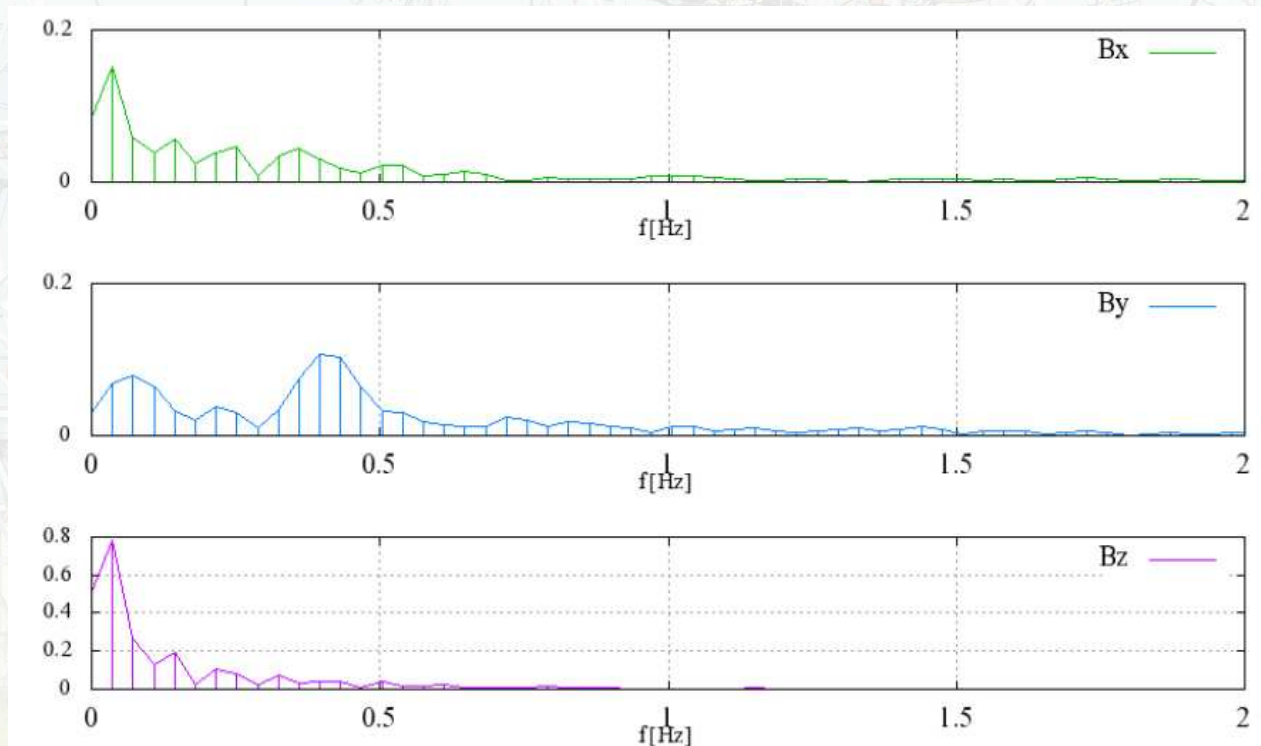


Il tecnico entra nella sala magnete, raggiunge il lettino (dove sarebbe il paziente), esegue vari preparativi sul paziente e chiude su di lui la bobina RF per esami cardiologici, fa sollevare il lettino e lo fa entrare nel bore, controlla il paziente, esce dalla sala magnete chiudendo la porta e rientra nella sala di controllo.

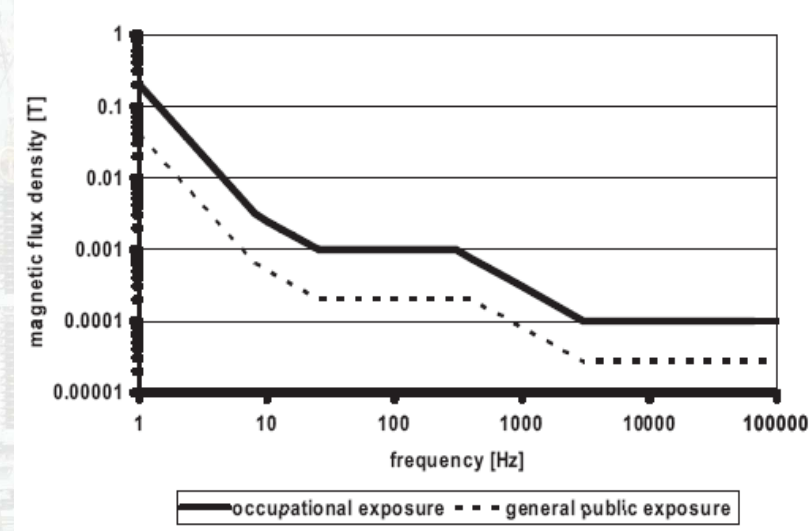
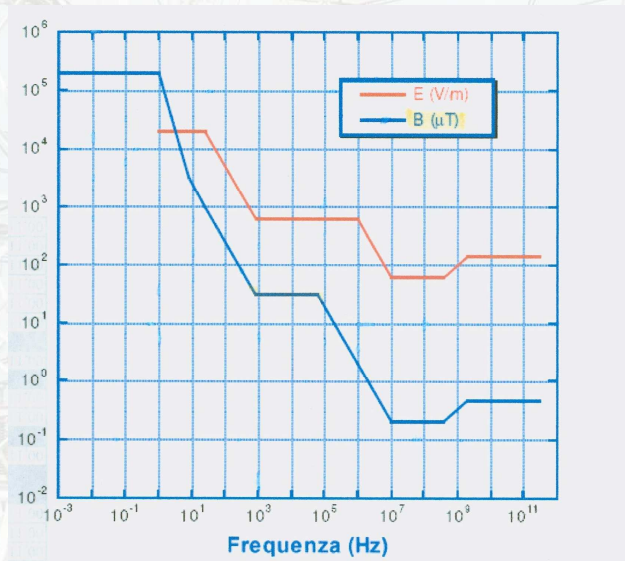


L'anestesista entra nella sala magnete, si sposta dietro al gantry passando sulla sinistra del gantry stesso, compie vari movimenti presso l'imboccatura posteriore del bore (indietreggia, si china varie volte, inserisce per 3 s la testa all'interno del bore), quindi esce dalla sala magnete.

Movimento nel campo magnetostatico - A3



ICNIRP Reference levels



1998

2010

Movimento nel campo magnetostatico - risultati

Codice	Durata [s]	B [mT]	WP-1998 occupazionale	WP-1998 popolazione	WP-2010 occupazionale "esteso"	WP-2010 popolazione "esteso"
A1	24.3	61.0	0.230	1.16	0.104	0.518
A2	58.3	116	0.448	2.26	0.151	0.747
A3	27.7	1430	6.130	30.9	1.67	8.24
A4	68.2	59.4	0.247	1.24	0.058	0.286
A5	43.7	49.4	0.179	0.904	0.046	0.228
A6	52.9	36.3	0.139	0.703	0.065	0.324
A7	52.4	56.6	0.266	1.340	0.065	0.325
A8	83.9	171	0.684	3.45	0.083	0.410

A1 - A3: movimenti degli anestesisti coinvolti con pazienti pediatrici sedati

A4 - A8: movimenti tipici del personale tecnico durante la preparazione dei pazienti

RINGRAZIAMENTI

INAIL

P. Rossi e R. Falsaperla

F. Sacco, G. Burriesci, V. Brugaletta, F. Campanella, M. Mattozzi

CNR - IFAC

D. Andreuccetti, N. Zoppetti

ENEA

R. Lodato, R. Pinto, S. Mancini

Ospedale San Giovanni Calibita Fatebenefratelli

L. Begnozzi, A.a Coniglio, S. Teodoli

Fondazione Santa Lucia

A. Cherubini, U. Sabatini

Ospedale Pediatrico Bambino Gesù

V. Cannatà, E. Genovese, M. Carnì, M. Gargani