



XXIV CONGRESSO NAZIONALE AIRM
RISCHIO RADIOLOGICO
E SORVEGLIANZA MEDICA
IN OSPEDALE

Fino al Patrocinio di







Ministero della Salute



FIRENZE - 28-29-30 MAGGIO 2015
ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE
Aula Magna Edificio "Francesco Redi" - Via Venezia 5

Evento ECM 129368 - Crediti: 18

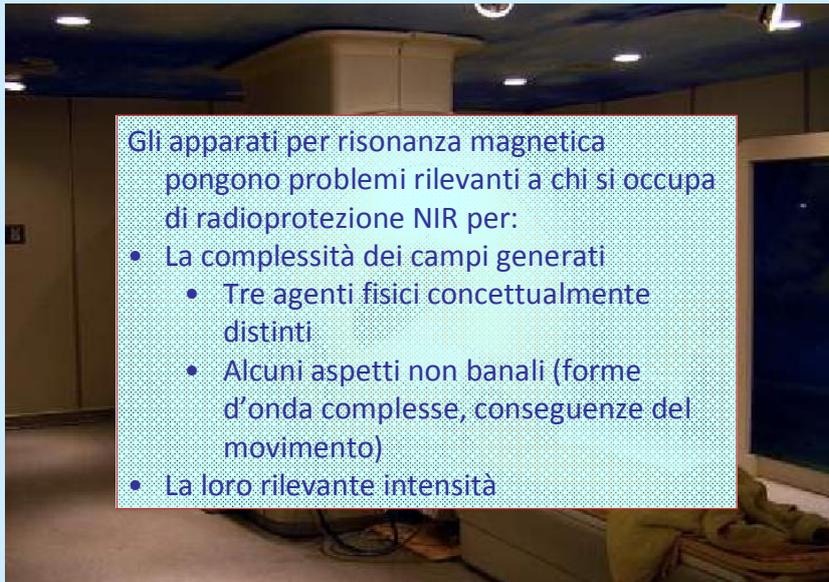
Impieghi delle NIR Risonanza magnetica

Problematiche di sicurezza e livelli di esposizione degli operatori

*Daniele Andreuccetti¹, Gian Marco
Contessa², Rossella Lodato³,
Rosanna Pinto⁴*

1. IFAC-CNR, Firenze
2. ENEA, Casaccia (Roma)
3. INAIL, Monte Porzio Catone (Roma)
4. ENEA UT-BIORAD, Casaccia (Roma)

Il problema



Gli apparati per risonanza magnetica pongono problemi rilevanti a chi si occupa di radioprotezione NIR per:

- La complessità dei campi generati
 - Tre agenti fisici concettualmente distinti
 - Alcuni aspetti non banali (forme d'onda complesse, conseguenze del movimento)
- La loro rilevante intensità

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 2/22

L'evoluzione della normativa

- LG ICNIRP 1994 Campo statico
- LG ICNIRP 1998 Campi BF e AF

- Raccomandazione 1999/519 (Popolazione)
- Direttiva 2004/40 (Lavoratori) [30 aprile 2008]

- Keevil et al. 2006
- Crozier et al. 2007
- Capstick et al. 2008



Oh mio Dio non si possono più fare le risonanze!?!?!?

- Direttiva 2008/46: recepimento della 2004/40 rimandato al 30 aprile 2012

- Direttiva 2012/11: recepimento della 2004/40 rimandato al 31 ottobre 2013

- Direttiva 2013/35 [da recepire entro il 1° luglio 2016]

- LG ICNIRP 2009 Campo statico
- LG ICNIRP 2010 Campi BF

- LG ICNIRP 2014 movimenti nel campo magnetostatico

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 3/22

- **Progetto di ricerca ISPESL B/02/DIL/07** Utilizzo di tecniche di dosimetria numerica per la valutazione dell'esposizione a campi elettromagnetici degli operatori sanitari operanti su apparati di risonanza magnetica (inclusa la pratica interventistica), nel quadro delle disposizioni della direttiva 2004/40/CE (2008-2010).
- **Progetto di ricerca INAIL F/01/DIL/09** Utilizzo di tecniche di calcolo numerico finalizzate alla valutazione dell'esposizione occupazionale in Risonanza Magnetica (2010-2011).
- **Programma Strategico 2008 Sicurezza e Tecnologie Sanitarie del Ministero della Salute** - Progetto 2 Rischi diretti e indiretti per la salute e la sicurezza di lavoratori e pazienti derivanti dall'utilizzo nelle strutture sanitarie di tecnologie emergenti basate sui campi elettromagnetici (2010-2013).
- **Progetto di Ricerca Finalizzata Bando 2009 del Ministero della salute** Studio ex vivo e in vitro degli effetti dei campi elettromagnetici sulle cellule staminali e valutazione del rischio degli operatori sanitari (2011-2014).

Progetti e istituzioni

- **INAIL** Dipartimento Igiene del Lavoro - Laboratorio Radiazioni Non Ionizzanti (Monte Porzio C., Roma)
- **ISS** Radiazioni Non Ionizzanti (Roma)
- **ISS** Bioingegneria Cardiovascolare (Roma) (per le interazioni con gli oggetti impiantati)
- **IFAC-CNR** Modulo Valutazione dell'esposizione a CEM (Firenze)
- **ENEA** Unità Tecnica di Biologia delle Radiazioni e Salute dell'Uomo (UT BIORAD) (Casaccia, Roma)

IN COLLABORAZIONE CON ALCUNE STRUTTURE SANITARIE

- Ospedale San Giovanni Calibita Fatebenefratelli (Roma)
- Fondazione IRCCS Santa Lucia (Roma)
- Ospedale Pediatrico Bambino Gesù (Palidoro (Roma) e Roma Gianicolo)
- Fondazione Imago7 (Calambrone (Pisa))

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 4/22

Nello specifico: persone e apparati

- ENEA Unità Tecnica di Biologia delle Radiazioni e Salute dell'Uomo: **Rossella Lodato, Vanni Lopresto, Giorgio Lovisolo, Sergio Mancini, Caterina Merla, Rosanna Pinto**
- IFAC-CNR Modulo Valutazione dell'esposizione a CEM: **Daniele Andreuccetti, Nicola Zoppetti**
- INAIL Dipartimento Igiene del Lavoro - Laboratorio Radiazioni Non Ionizzanti: **Vincenzo Brugaletta, Giancarlo Burriesci, Gian Marco Contessa, Rosaria Falsaperla, Paolo Rossi, Floriana Sacco**

- Ospedale San Giovanni Calibita Fatebenefratelli: **Luisa Begnozzi, Angela Coniglio, Stefania Teodoli**
- Fondazione IRCCS Santa Lucia: **Andrea Cherubini, Umberto Sabatini**
- Ospedale Pediatrico Bambino Gesù: **Vittorio Cannatà, Elisabetta Genovese, Marco Carnì, Marco Gargani**

- H1) Ospedale Fatebenefratelli, tomografo a corpo intero **Philips Achieva Nova da 1.5 T** utilizzato per gli esami clinici di routine.
- H2) Fondazione Santa Lucia di Roma, tomografo per la sola testa **Siemens Magnetom Allegra da 3 T** usato principalmente per la ricerca sulla funzionalità del cervello.
- H3) Ospedale Pediatrico Bambino Gesù di Palidoro (Roma), tomografo a corpo intero **Philips Achieva da 1.5 T** usato principalmente per esami di cardiologia pediatrica.
- H4a,b) Ospedale Pediatrico Bambino Gesù di Roma-Gianicolo, tomografi a corpo intero **Philips Achieva da 1.5 T (H4a)** e **Siemens Magnetom Skyra da 3 T (H4b)**.

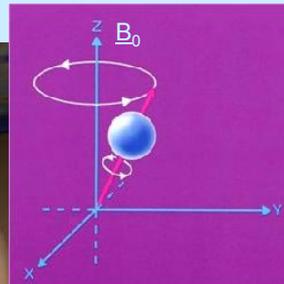
D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 5/22

I campi elettromagnetici non ionizzanti in risonanza magnetica

• Un intenso campo magnetostatico (**CMS**) B_0 sempre acceso, la cui intensità stabilisce la frequenza di risonanza del moto di precessione di una particella con momento magnetico (per l'idrogeno circa 42.6 MHz/T).

• Un campo elettromagnetico di eccitazione a radiofrequenza (**CRF**), che ruota sul piano perpendicolare a B_0 , con frequenza pari a quella di precessione.

• Un campo magnetico "di gradiente" (**CMG**), variabile nello spazio in modo tale da variare l'intensità locale di B_0 e quindi codificare spazialmente il segnale. Il campo di gradiente viene acceso e spento secondo complesse sequenze temporali dipendenti dal tipo di analisi che si vuole effettuare.



D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 6/22

Quadro normativo di riferimento

RACCOMANDAZIONE 1999/519/CE DEL CONSIGLIO del 12 luglio 1999 *relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz*

DIRETTIVA 2013/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 26 giugno 2013 *sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)*

ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

Campo magnetico statico

Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields. Health Physics , 2009.

Guidelines for Limiting Exposure to Electric Fields Induced by Movement of the Human Body in a Static Magnetic Field and by Time-Varying Magnetic Fields below 1 Hz. Health Physics, 2014

Campi magnetici pulsati a frequenze intermedie

Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz). Health Physics , 2010

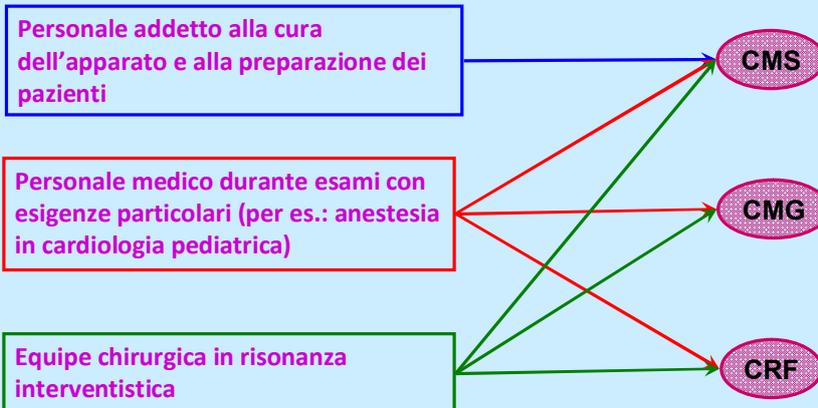
CEM pulsato a radiofrequenza

Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics , 1998

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 7/22

Chi è esposto a cosa?

- Il campo magnetostatico (CMS) non viene mai disattivato
- Il campo di gradiente (CMG) e il campo a radiofrequenza (CRF) vengono attivati solo durante una scansione



D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 8/22

Misura del campo a radiofrequenza

- 70 cm dal piano frontale
- 60 cm dall'asse del lettino
- 125 cm dal pavimento

Il segnale prodotto dalle bobine RF di uno scanner a 1.5T è un campo EM pulsato a 63,86 MHz → **campo vicino**



Analizzatore di spettro
Narda, SRM 3000
Bandwidth [100 kHz-3 GHz]



E-field Antenna
Bandwidth [100 kHz-300 MHz]

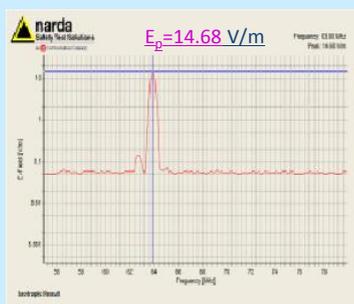


H-field Antenna
Bandwidth [100 kHz-300 MHz]

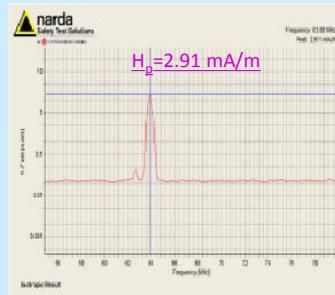
D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 9/22

Misura del campo a radiofrequenza

L'analizzatore di spettro è impostato in modalità max-hold e si rilevano le tre componenti spaziali della componente elettrica e magnetica del campo



Risultati: un esempio



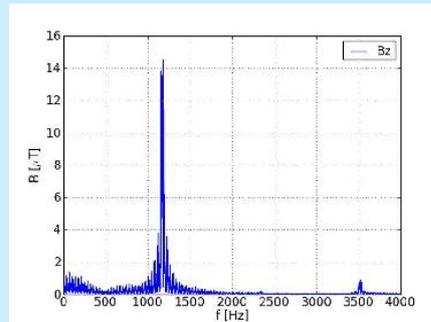
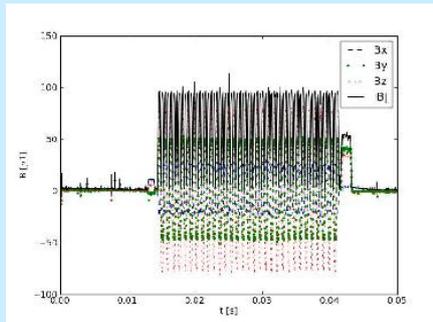
ICNIRP 98
Reference
Levels

Frequenza 10-400 MHz	Campo elettrico (rms)	Campo magnetico (rms)
Lavoratori	61 V/m	160 mA/m
Popolazione	28 V/m	73 mA/m

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 10/22

Campi magnetici di gradiente

- Forme d'onda complesse, estremamente variabili in funzione della "sequenza" di RM utilizzata
- Componenti spettrali fino a qualche kHz

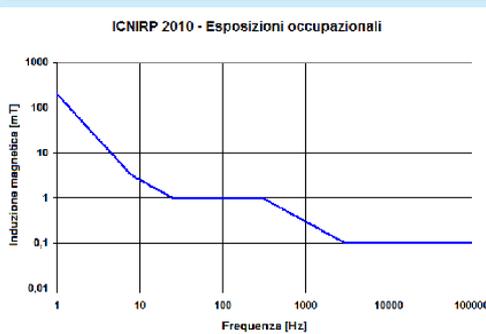


Tomografo H1, sequenza DWmin EPI Axial

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 11/22

Il metodo del picco ponderato

- I valori limite normativi cambiano con la frequenza



➤ Per le forme d'onda complesse l'ICNIRP e la Direttiva 2013/35 raccomandano il **metodo del picco ponderato** per la valutazione della conformità mediante un indice che:

- "pesa" il contenuto spettrale dei segnali misurati in funzione dei livelli di riferimento normativi, tenendo conto sia delle ampiezze sia delle fasi
- se minore di 1 assicura la conformità alla normativa e viceversa

$$WP_x(t) = \sum_i \frac{B_x(f_i)}{B_L(f_i)\sqrt{2}} \cos[2\pi f_i t + \theta(f_i) + \varphi(f_i)]$$

$$\text{Indice WP} = \text{Max} \sqrt{WP_x^2(t) + WP_y^2(t) + WP_z^2(t)}$$

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 12/22

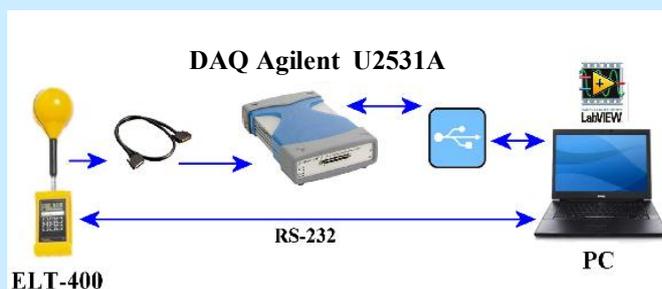
Il metodo del picco ponderato applicato alla misura dei campi di gradiente



Alcuni strumenti (p.es. Narda ELT-400, PMM EHP-50E) forniscono direttamente l'indice di picco ponderato riferito ad alcune normative pre-impostate. L'utilizzo di una catena strumentale *ad-hoc* permette però maggiori flessibilità e versatilità, specie per indagini con finalità di approfondimento e ricerca.

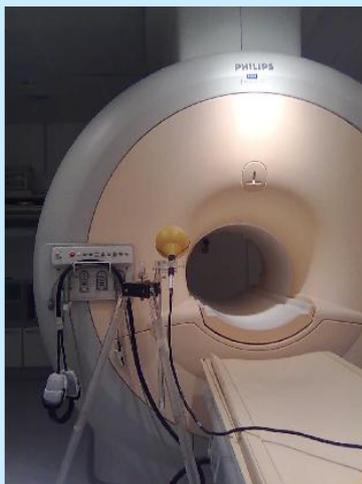
Impostazioni tipiche

- Frequenza di campionamento **50 kS/s/ch**
- Tempo di acquisizione **10-20 secondi**



D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 13/22

Misura dei campi di gradiente (CMG)



L'esposizione ai CMG è stata valutata nelle posizioni all'interno della sala magnete in cui è possibile che un operatore debba stazionare durante le procedure mediche, oppure in punti di test particolarmente significativi perché in grado di documentare la massima esposizione possibile al di fuori del *bore*.

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 14/22

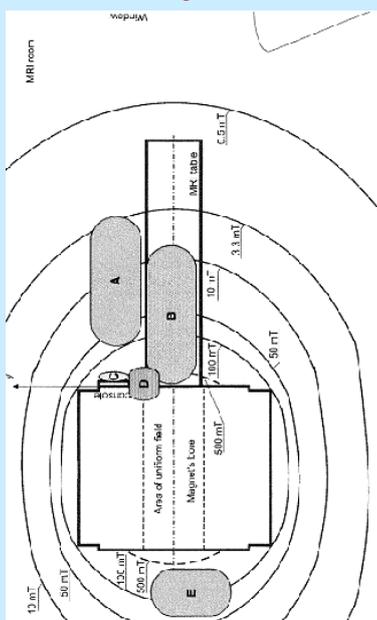
Misura dei CMG: alcuni risultati

- H1) Ospedale Fatebenefratelli, tomografo a corpo intero Philips Achieva Nova da 1.5 T utilizzato per gli esami clinici di routine.
- H2) Fondazione Santa Lucia di Roma, tomografo per la sola testa Siemens Magnetom Allegra da 3 T usato principalmente per la ricerca sulla funzionalità del cervello.
- H3) Ospedale Pediatrico Bambino Gesù di Palidoro (Roma), tomografo a corpo intero Philips Achieva da 1.5 T usato principalmente per esami di cardiologia pediatrica.
- H4a,b) Ospedale Pediatrico Bambino Gesù di Roma-Gianicolo, tomografi a corpo intero Philips Achieva da 1.5 T (H4a) e Siemens Magnetom Skyra da 3 T (H4b).

Tomografo RM e sua impostazione	Coordinate del punto di misura [cm] (*)	Indice WP-2010 Lavoratori	Indice WP-1998 Lavoratori	Indice WP-1998 Popolazione	
H1	DWmin EPI Axial	[20, 0, 100 ⁽¹⁾]	0.41	2.4	12
	DWmin EPI Coronal	[20, 0, 100 ⁽¹⁾]	0.21	1.1	5.6
	DWmin EPI Sagittal	[20, 0, 100 ⁽¹⁾]	0.23	1.3	6.2
H2	DTI 6 directions	[25, 0, 25 ⁽²⁾]	0.046	0.32	1.6
	E-PP	[45, 70, 110 ⁽³⁾]	0.21	1.6	7.9
H3	Q-flow	[45, 70, 110 ⁽³⁾]	0.24	1.6	7.7
	Cardiac Short Axis	[45, 70, 110 ⁽³⁾]	0.19	1.5	7.3
H4a	EPI 200 μ s	[50, 67, 70 ⁽⁴⁾]	0.11		
		[50, 67, 120 ⁽⁴⁾]	0.14		
H4b	EPI 270 μ s	[50, 67, 120 ⁽⁴⁾]	0.14		
		[50, 67, 170 ⁽⁴⁾]	0.11		

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 15/22

Esposizione al campo magnetostatico



- Scanner aperti a basso campo: < 0,5 T
- Scanner a corpo intero di impiego comune 1,5 T → 3 T
- Ricerca: 3 T → 4 T, 7 T, ...

Table 2. Limits of exposure^a to static magnetic fields.

Exposure characteristics	Magnetic flux density
Occupational ^b	
Exposure of head and of trunk	2 T
Exposure of limbs ^c	8 T
General public ^d	
Exposure of any part of the body	400 mT

^a ICNIRP recommends that these limits should be viewed operationally as spatial peak exposure limits.

^b For specific work applications, exposure up to 8 T can be justified, if the environment is controlled and appropriate work practices are implemented to control movement-induced effects.

^c Not enough information is available on which to base exposure limits beyond 8 T.

^d Because of potential indirect adverse effects, ICNIRP recognizes that practical policies need to be implemented to prevent inadvertent harmful exposure of persons with implanted electronic medical devices and implants containing ferromagnetic material, and dangers from flying objects, which can lead to much lower restriction levels such as 0.5 mT.

- Zona ad accesso controllato: $B_0 > 0.5$ mT
- Zona di rispetto (o ad accesso limitato): B_0 compreso tra 0.1 e 0.5 mT

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 16/22

Il movimento in un campo statico provoca l'induzione di tensioni e correnti nei tessuti dell'organismo esposto

ICNIRP 2014

The objective of this guideline is to prevent peripheral nerve stimulation and to minimize the possibility of transient sensory effects as a consequence of electric fields induced in the human body by movements in static magnetic

Table 1. Exposure restrictions for controlling movement in a static magnetic field and exposure to a time-varying magnetic field below 1 Hz. Above 1 Hz the basic restrictions and the reference levels are presented in the ICNIRP (2010) guidelines. For uncontrolled exposure the reference levels for a magnetic flux density may be converted to dB/dt by using (eqn 5).

Frequency f (Hz)	Basic restrictions				Reference levels	
	ΔB (T) ^a	$B_{\text{peak to peak}}$ (T)	Internal electric field strength [Vm^{-1} ($_{\text{peak}}$)]		dB/dt [Ts^{-1} ($_{\text{peak}}$)]	
Critical effect	Vertigo due to movement in static B field	Vertigo due to time-varying B field	PNS effects due to movement in static B field and due to time-varying B field	Phosphenes due to movement in static B field and due to time-varying B field	PNS effects due to movement in static B field and due to time-varying B field	Phosphenes due to movement in static B field and due to time-varying B field
Exposure condition ^b	Uncontrolled	Uncontrolled	Controlled	Uncontrolled	Controlled	Uncontrolled
0	2					
0-1		2				
0-0.66			1.1	1.1	2.7	2.7
0.66-1 ^c			1.1	0.7/f	2.7	1.8/f

^aThe maximum change of magnetic flux density ΔB is determined over any 3 s period.

^bFor controlled exposure conditions, a ΔB of 2 T may be exceeded.

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 17/22

Misura dell'induzione magnetica percepita

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.

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.

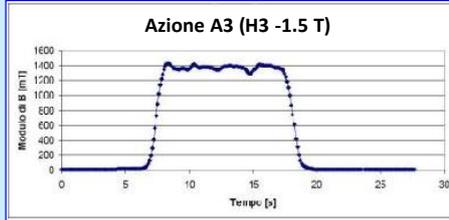


Magnetometro triassiale ad effetto Hall Narda-Metrolab THM1176

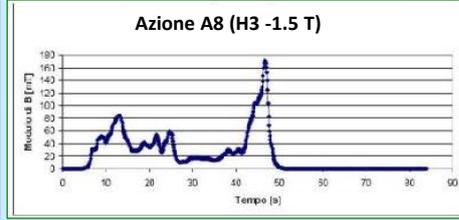


D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 18/22

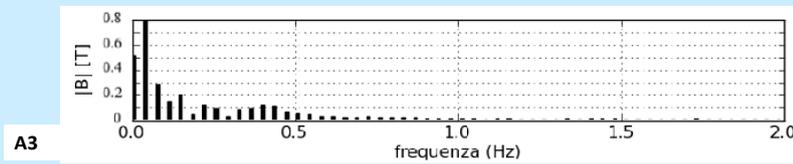
Induzione magnetica percepita: esempi, spettro



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.



Il tecnico entra nella sala magnete, raggiunge il lettino, 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.



D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 19/22

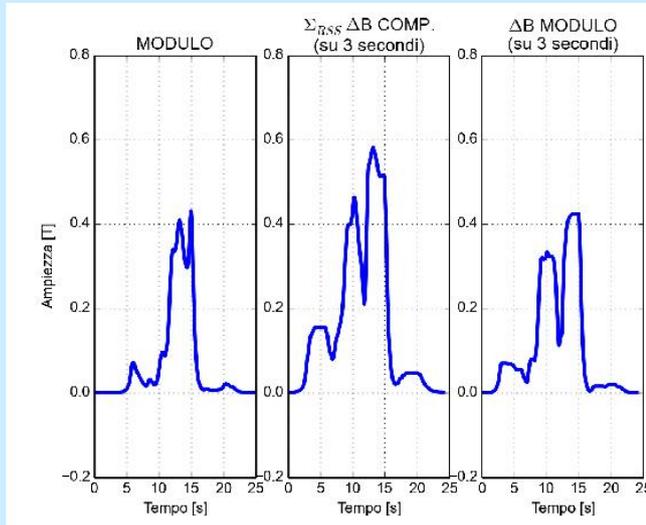
Tomografo	Azione	Durata [s]	Max B [mT]	Max Δ B [mT]	IWP-98-Occ	IWP-98-Pop
H3 (1.5 T)	A1	24	61	56	0.23	1.16
	A2	58	116	109	0.45	2.26
	A3	28	1430	1414	6.13	30.9
	A4	68	59	46	0.25	1.24
	A5	44	49	44	0.18	0.90
	A6	53	36	23	0.14	0.70
	A7	52	57	38	0.27	1.34
	A8	84	171	167	0.68	3.45
H4b (3 T)	RA01	70	454	361	1.69	8.51
	RA02	49	372	339	1.49	7.50
	RA03	57	421	352	1.66	8.33
	RA04	31	89	76	0.43	2.19
	RA06	28	64	62	0.25	1.26
	RA07	66	54	39	0.21	1.06
	RA08	61	38	36	0.15	0.78
	RA09	53	243	221	0.89	4.46
	RA10	47	315	257	1.14	5.72
	RA11	40	336	276	1.22	6.17
	RA12	27	431	424	1.96	9.87

*A1 – A3: movimenti degli anestesisti coinvolti con pazienti pediatrici sedati
A4 – A8: movimenti tipici del personale tecnico durante la preparazione dei pazienti*

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 20/22

Problema interpretativo della LG ICNIRP 2014

Valutazione dell'indice di conformità secondo i limiti fissati in ICNIRP 2014....



Azione RA12
(H4b - 3 T)

Il volontario entra nella sala magnete provenendo dalla sala console; la porta è già aperta; passa sulla sinistra del gantry (lasciandoselo alla sua destra), va dietro al gantry, si avvicina all'imboccatura del bore, si volta ed esce compiendo il percorso inverso.

D.Andreuccetti – Risonanza magnetica: problematiche di sicurezza e livelli di esposizione – AIRM Firenze 2015 – 21/22



XXIV CONGRESSO NAZIONALE AIRM
RISCHIO RADIOLOGICO
E SORVEGLIANZA MEDICA
IN OSPEDALE



FIRENZE - 28-29-30 MAGGIO 2015
ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE
Aula Magna Edificio "Francesco Redi" - Via Venezia 5

Evento ECM 129368 - Crediti: 18

Impieghi delle NIR
Risonanza magnetica

Problematiche di sicurezza e livelli di esposizione degli operatori

E' tutto, grazie per l'attenzione