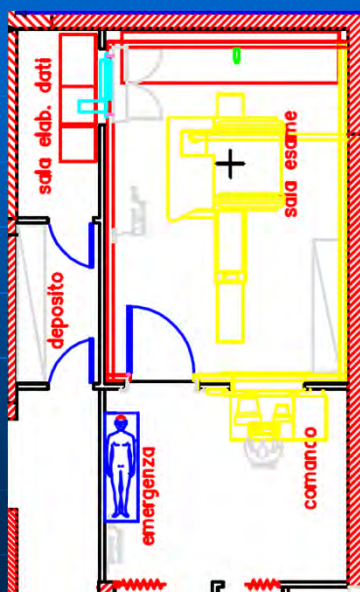


Valutazioni dei rischi ai sensi del D.Lgs.81 connessi con l'impiego di Risonanza Magnetica

*Lorella Mascaro
U.O. Fisica sanitaria
Spedali Civili di Brescia*

AIFM Lombardia, Milano 11/12/13

RISCHI IN SALA MAGNETE



RISCHI RM

- DA C.E.M. (TITOLO VIII- CAPO IV T.U.)
- RUMORE (TITOLO VIII T.U.)
- ALTRI ASPECIFICI (TITOLO X, TITOLO VII....)
- DA EVENTI ECCEZIONALI (QUENCH, INCENDIO, TERREMOTI, ALLAGAMENTI ECC..)

C.E.M.

Titolo VIII- Capo IV

Articolo 206 - Campo di applicazione

1. Il [presente capo](#) determina i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300 GHz), come definiti dall'[articolo 207](#), durante il lavoro. Le disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano derivanti dalla circolazione di correnti indotte e dall'assorbimento di energia, e da correnti di contatto.
2. Il [presente capo](#) non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine e i rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione.

Articolo 207 - Definizioni

1. Agli effetti delle disposizioni del [presente capo](#) si intendono per:
 - a) *campi elettromagnetici*: campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo di frequenza inferiore o pari a 300 GHz;
 - b) *valori limite di esposizione*: limiti all'esposizione a campi elettromagnetici che sono basati direttamente sugli effetti sulla salute accertati e su considerazioni biologiche. Il rispetto di questi limiti garantisce che i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici sono protetti contro tutti gli effetti nocivi a breve termine per la salute conosciuti;
 - c) *valori di azione*: l'entità dei parametri direttamente misurabili, espressi in termini di intensità di campo elettrico (E), intensità di campo magnetico (H), induzione magnetica (B), *corrente indotta attraverso gli arti (I_a)* e densità di potenza (S), che determina l'obbligo di adottare una o più delle misure specificate nel [presente capo](#). Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei pertinenti valori limite di esposizione.

Richiami all'Art. 207:
- [Art. 206, co. 1](#)

**DIRETTIVA
40/2004**

Articolo 208 - Valori limite di esposizione e valori d'azione

1. I valori limite di esposizione sono riportati nell'[ALLEGATO XXXVI, lettera A, tabella 1](#).
2. I valori di azione sono riportati nell'[ALLEGATO XXXVI, lettera B, tabella 2](#).

Come si inserisce la RM nel TU 81/08- titolo VIII

Articolo 306 - Disposizioni finali

1. Le disposizioni contenute nel Decreto del Presidente della Repubblica 19 marzo 1956, n. 302⁽⁹⁾, costituiscono integrazione di quelle contenute nel presente Decreto Legislativo.
2. Le disposizioni di cui agli [articoli 17, comma 1, lettera a\)](#), e [28](#), nonché le altre disposizioni in tema di valutazione dei rischi che ad esse rinviano, ivi comprese le relative disposizioni sanzionatorie, previste dal presente Decreto, diventano efficaci a decorrere dal 1 gennaio 2009⁽⁸⁾; fino a tale data continuano a trovare applicazione le disposizioni previgenti⁽⁸⁾.
3. Le disposizioni di cui al [Titolo VIII, capo IV](#) entrano in vigore alla data fissata dal primo comma dell'articolo 13, paragrafo 1, della Direttiva 2004/40/CE⁽⁹⁾, e successive modificazioni⁽⁹⁾ ⁽¹⁰⁾; le disposizioni di cui al [capo V del medesimo Titolo VIII](#) entrano in vigore il 26 aprile 2010. In caso di attrezzature di lavoro messe a disposizione dei lavoratori anteriormente al 6 luglio 2007 e che non permettono il rispetto dei valori limite di esposizione tenuto conto del progresso tecnico e delle misure organizzative messe in atto, l'obbligo del rispetto dei valori limite di esposizione di cui all'[articolo 201](#) entra in vigore il 6 luglio 2010. Per il settore agricolo e forestale l'obbligo del rispetto dei valori limite di esposizione di cui all'[articolo 201](#), ferme restando le condizioni di cui al precedente periodo, entra in vigore il 6 luglio 2014. Per il settore della navigazione aerea e marittima, l'obbligo del rispetto dei valori limite di esposizione al rumore di cui all'[articolo 189](#) entra in vigore il 15 febbraio 2011.

Art. 13: recepimento

CRONOLOGIA 2004/40

DIRETTIVA 2004/40/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO
del 29 aprile 2004

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

Recepimento:
30/4/2008

Recepimento:
30/4/2012

Direttiva 2008/46/CE del parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2008 che modifica la direttiva
2000/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi
derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16,
paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)

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)

Recepimento:
31/10/2013

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) (ventesima direttiva particolare ai sensi
dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE

Articolo 16

Recepimento

1. Gli Stati membri mettono in vigore le disposizioni legi-
slative, regolamentari e amministrative necessarie per confor-
marsi alla presente direttiva entro il 1° luglio 2016.

In sintesi, si hanno disposizioni e valori di riferimento di una direttiva che ancora non e' stata recepita e con modifiche sostanziali rispetto alla precedente...

Nel frattempo in vigore

- ESPOSIZIONE A C.M. STATICI
D.M. 2/8/91 art.7 (Allegato 1: Standard di sicurezza)
- ESPOSIZIONE A C.E.M. normata solo per i pazienti---

Documenti di riferimento

- Nuova direttiva 35/2013
- MONOGRAFIE ICNIRP

(15) Le grandezze fisiche, i VLE e i LA di cui alla presente direttiva sono basati sulle raccomandazioni della Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP) e dovrebbero essere considerati in conformità dei concetti sviluppati dall'ICNIRP, salvo che la presente direttiva non disponga diversamente.

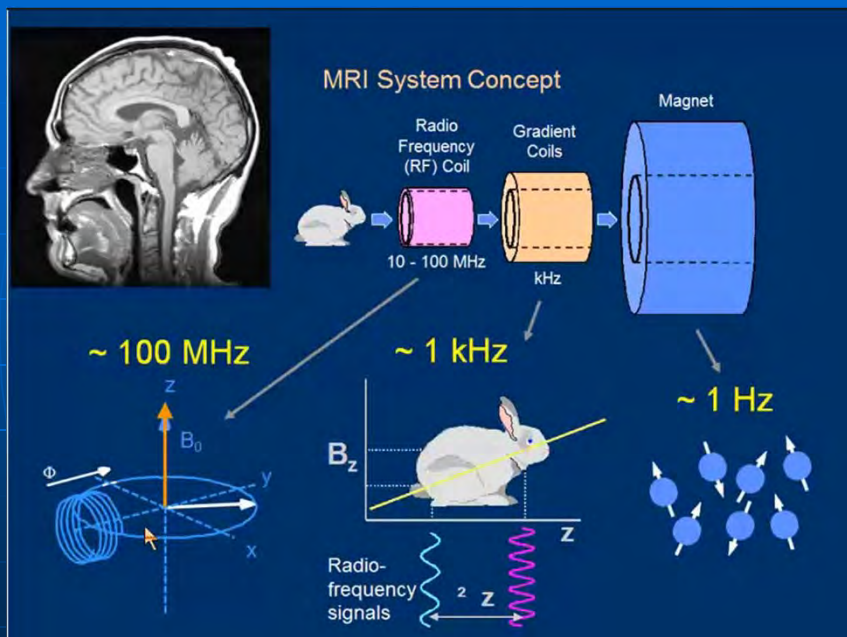
Modifiche tecniche degli allegati

1. Alla Commissione è conferito il potere di adottare atti delegati conformemente all'articolo 12 riguardo alle modifiche degli allegati o quelle di natura puramente tecnica, al fine di:

- a) tener conto dell'adozione di regolamenti e direttive in materia di armonizzazione tecnica e standardizzazione riguardanti la progettazione, la costruzione, la fabbricazione o la realizzazione di attrezzature e/o luoghi di lavoro;
- b) tener conto del progresso tecnico, dell'evoluzione delle norme o specifiche più pertinenti e delle nuove conoscenze scientifiche relative ai campi elettromagnetici;
- c) adeguare i LA qualora esistano nuovi dati scientifici e purché i datori di lavoro continuino a essere vincolati dai VLE esistenti menzionati negli allegati II e III.

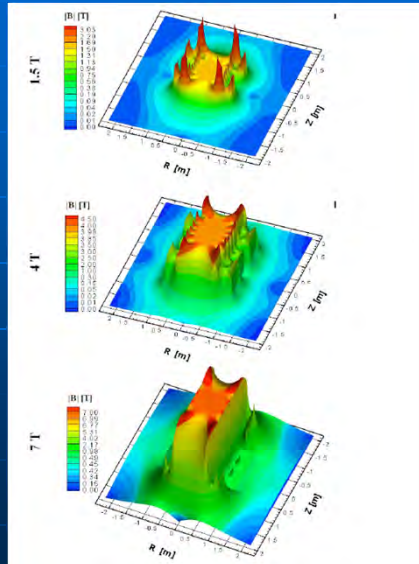
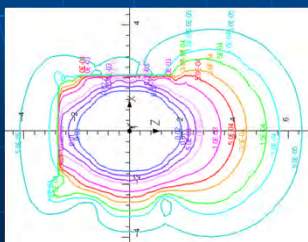
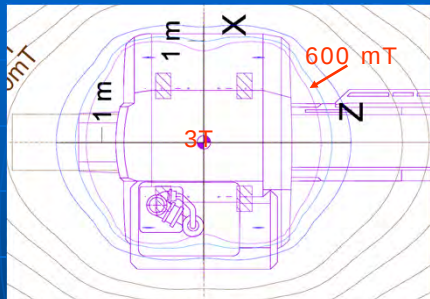
2. Alla Commissione è conferito il potere di adottare atti delegati conformemente all'articolo 12, al fine di inserire nell'allegato II gli orientamenti dell'ICNIRP per limitare l'esposizione ai campi elettrici indotti dal movimento del corpo umano in un campo magnetico statico e da campi magnetici che variano nel tempo al di sotto di 1 Hz, non appena essi siano disponibili.

3. Qualora, in caso di modifiche di cui ai paragrafi 1 e 2, imperativi motivi d'urgenza lo richiedano, la procedura di cui all'articolo 13 si applica agli atti delegati adottati ai sensi del presente articolo.



Blaine A. Chronik, Ph.D. , ISMRM 2009

C.M. STATICO



C.M. STATICO: potenziali cause di rischi sanitari per lavoratori

EFFETTI NON TERMICI DIRETTI E INDIRETTI:

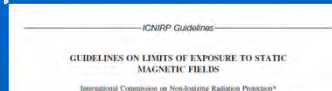
- Effetti biologici/sanitari
- Effetti meccanici (esterni, interni)
- Effetti su protesi attive (es.pace makers)

C.E.M.

Effetto biologico: modificazione fisiologica rilevabile in un sistema biologico

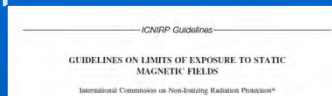
Effetto sanitario: effetto biologico che supera la capacità di compensazione dell'organismo, dunque genera una qualche condizione di detrimento della salute

C.M. STATICO: possibili rischi (ICNIRP 2009)



- Alterazione del ritmo cardiaco non sotto gli **8T** (*Campi elettrici e correnti indotte su elettroliti in movimento a livello del nodo senoatriale del cuore*)
- Vertigini, Nausea, gusto metallico, fosfeni magnetici sopra **2-3T** (*Correnti elettriche indotte da C.M. variabili nel tempo o movimenti rotaz. in c.m. uniformi e roto/traslazionali in c.m. non uniformi* -)
- Riduzione del flusso sanguigno non sotto **10T** e che si stima **essere significativa** (~10%) per valori **sopra 15T** (*Traslazione magneto-meccanica di materiali dia e para magnetici in gradienti di c.m. statico ~ al prodotto $B \cdot dB/dx$*)
- Leggera alterazione della pressione sistolica **sotto 8T** riportata in qualche studio (entro il range di variabilità fisiologico)

C.M. STATICO: possibili rischi (ICNIRP 2009)



- Vertigini da movimento : sopra 1T/s per $t > 1\text{s}$
- Funzioni di coordinamento occhio-mano osservate a 0.3T/s
- Sbandamenti in condizione di stazionarietà sopra $1\text{T}^2/\text{m}$ (differenza di suscettività mg tra otoliti e liquido circostante)
- Transitoria diminuzione della capacità di concentrazione (1 studio)

C.M. STATICO: possibili rischi (ICNIRP 2009)

- No alterazioni di: temperatura corporea, memoria a breve termine, funzionale, linguaggio, tempo di reazione motorio-uditiva sotto 8T
- Alterazione del tracciato ECG sotto gli 8T senza alterazioni della funzione cardiaca (dovuto ai potenziali di flusso indotti)

C.M. STATICO: possibili rischi (ICNIRP 2009)

.... In conclusione, le informazioni attuali non indicano alcun rischio grave per la salute a seguito di un'esposizione acuta di individui fermi a c.m. statici fino a 8T. Si deve però notare che tali esposizioni possono condurre ad effetti sensoriali potenzialmente spiacevoli, come vertigini, diminuzioni temporanee della prestazione di alcune funzioni comportamentali durante il movimento della testa o del corpo.

C.M. STATICO: EFFETTI A LUNGO TERMINE

Pochi studi epidemiologici e prevalentemente a campi bassi (decine mT) su lavoratori alluminio e cloroalcali, con molti confondenti e conclusioni contrastanti (vedi conclusioni ICNIRP).

Anche la direttiva ne prende atto e non tratta effetti a lungo termine riservandosi aggiornamenti alla luce di evidenze scientifiche

Non e' possibile quindi con gli attuali impianti ed in visione dell'avanzamento tecnologico costruire un sistema di protezione che stia al di sotto delle soglie per effetti biologici.

Direttiva 35/2013

(20) Un sistema comprendente VLE e LA, ove applicabile, dovrebbe essere considerato come uno strumento volto a facilitare il raggiungimento di un alto livello di protezione contro gli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza che possono derivare dall'esposizione ai campi elettromagnetici. Tuttavia, un siffatto sistema può entrare in conflitto con specifiche condizioni in talune attività, quali l'uso della tecnica della risonanza magnetica nel settore medico. È pertanto necessario tenere conto di tali condizioni particolari.

SISTEMA PROTEZIONISTICO DIRETTIVA 35/2013

«valori limite di esposizione (VLE)», valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare gli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e l'elettrostimolazione dei tessuti;

«VLE relativi agli effetti sanitari», VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a effetti nocivi per la salute, quali il riscaldamento termico o la stimolazione del tessuto nervoso o muscolare;

«VLE relativi agli effetti sensoriali», VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi temporanei delle percezioni sensoriali e a modifiche minori delle funzioni cerebrali;

«livelli di azione (LA)», livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE o, eventualmente, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate nella presente direttiva.

Nell'allegato II si usa la seguente terminologia in materia di livelli di azione:

i) per i campi elettrici, per «LA inferiori» e «LA superiori» s'intendono i livelli connessi a misure specifiche di protezione o prevenzione stabilite nella presente direttiva, nonché

ii) per i campi magnetici, per «LA inferiori» s'intendono i livelli connessi ai VLE relativi agli effetti sensoriali e per «LA superiori» i livelli connessi ai VLE relativi agli effetti sanitari.



Non statici!!

SISTEMA PROTEZIONISTICO DIRETTIVA 35/2013

VLE per un'induzione magnetica esterna da 0 a 1 Hz

Il VLE relativo agli effetti sensoriali è il VLE applicabile in condizioni di lavoro normali (tabella A1) ed è correlato alle vertigini e ad altri effetti fisiologici connessi a disturbi dell'organo dell'equilibrio umano e risultanti principalmente dal movimento in un campo magnetico statico.

Il VLE relativo agli effetti sanitari in condizioni di lavoro controllate (tabella A1) è applicabile su base temporanea durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla prassi o dal processo, purché siano state adottate misure di prevenzione quali il controllo dei movimenti e l'informazione dei lavoratori.

Tabella A1

VLE per un'induzione magnetica esterna (B_0) compresa tra 0 e 1 Hz

	VLE relativi agli effetti sensoriali
Condizioni di lavoro normali	2 T
Esposizione localizzata degli arti	8 T
	VLE relativi agli effetti sanitari
Condizioni di lavoro controllate	8 T

Cosa succede se si superano i limiti 'sensoriali?'

- Il superamento deve essere temporaneo
- Non si devono superare VLE sanitari
- Si prendano misure di protezione in relazione al controllo dei movimenti e alla sensazioni di vertigini e nausea
- Siano stati informati i lavoratori di questa eventualità

C.M. STATICO: LIMITI DI LEGGE

D.M. 2/8/91 ALL.1

Parte esp.	c.m.	Durata max
Corpo	200 mT	1 ora/d
Corpo	2 T	15 min/d
Arti	2 T	1 ora/d
Arti	4 T	15 min/d

ICNIRP 2009

...'NON SI METTONO LIMITI TEMPORALI ALL'ESPOSIZIONE POICHE' QUALUNQUE EFFETTO DIMOSTRATO SOTTO QUESTI VALORI (2 ÷ 8 T) E' VEROSIMILMENTE ACUTO'....

C.M. STATICO: EFFETTI MECCANICI

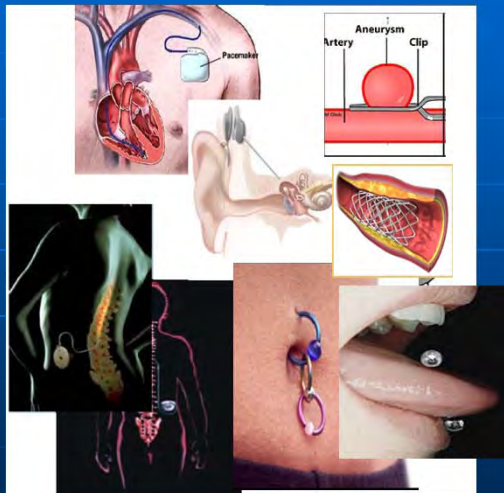
Il c.m. produce una forza di attrazione e/o torsione su materiali ferromagnetici che e' proporzionale alla geometria, massa e proprieta' magnetiche del materiale ed al prodotto intensita' per gradiente del campo. (effetto proiettile)



A 1.5T puo' raggiungere velocita' di 60 km/h

C.M. STATICO: EFFETTI MECCANICI

La stessa forza di attrazione o torsione può essere esercitata su impianti interni al lavoratore, quali protesi passive (protesi ortopediche, stents, clips chirurgiche e per aneurismi, contraccettivi impiantati, involucri di dispositivi elettronici) o attive (pace makers, defibrillatori, pompe insuliniche, impianti cocleari), od oggetti esterni come piercings.



C.M. STATICO: interferenza con protesi attive

- Movimenti nel c.m. statico possono generare correnti in dispositivi attivi impiantati ed interferire con il funzionamento del dispositivo stesso



DIRETTIVA 35/2013 LIVELLI DI AZIONE

Tabella B4

LA per induzione magnetica di campi magnetici statici

Rischi	LA(B ₀)
Interferenza con dispositivi impiantati attivi, ad esempio stimolatori cardiaci	0,5 mT 0.5mT
Rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti ad alta intensità (> 100 mT)	3 mT 3 mT

Un sistema in grado di garantire un elevato livello di protezione dagli effetti nocivi per la salute e dai rischi per la sicurezza che possono derivare dall'esposizione ai campi elettromagnetici dovrebbe tenere debito conto degli specifici gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari ed evitare i problemi d'interferenza ovvero effetti sul

funzionamento di dispositivi medici quali protesi metalliche, stimolatori cardiaci e defibrillatori, impianti cocleari e di altro tipo o dispositivi medici portati sul corpo. I problemi di interferenza, in particolare per quanto riguarda gli stimolatori cardiaci, possono verificarsi a livelli inferiori rispetto ai LA e dovrebbero pertanto essere oggetto di adeguate precauzioni e misure protettive,

LAVORATORI SPECIALI

- Gravidanza
- Portatori PM e protesi attive o passive

Essi, ai sensi dell'All.1 D.M. 2/8/91 'non possono essere adibiti' ad attività nella zona ad accesso controllato (> 0.5mT)

LAVORATRICI RM

L'unico studio epidemiologico esteso riguarda quasi 2000 lavoratrici RM con esposizioni a c.m. statici fino a 1T

- Leggero Aumento aborti ma non significativo rispetto ad altri lavori
- Non aumento parti prematuri o nascite sottopeso rispetto ad altri lavori
- Aumento aborti rispetto a casalinghe
- Leggero aumento parti prematuri o nascite sottopeso rispetto a casalinghe

(Kanal et. al (1993) Survey of reproductive health among female MR workers. Radiology 187:395-399)



Health and Safety
Executive

An investigation into occupational exposure to electromagnetic fields for personnel working with and around magnetic resonance imaging equipment

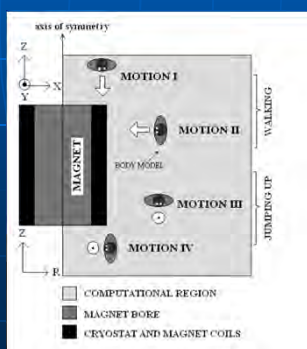
Annex

Stuart Crozier B.Eng (Hons), MSc (Med Phys), PhD, D. Eng, FInstP (UK)

School of Information Technology and Electrical Engineering
The University of Queensland
St Lucia, Brisbane
Qld 4072
Australia

IPOTESI DI CALCOLO

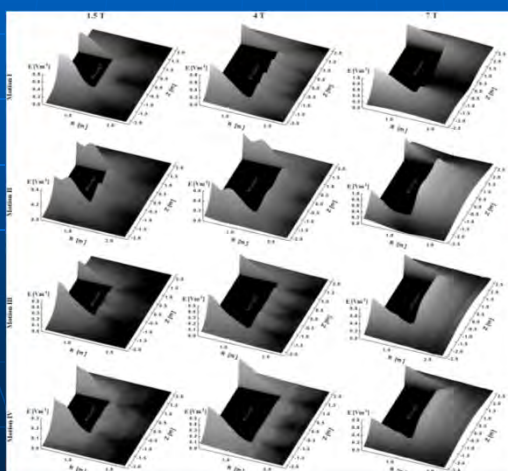
- Simulazione di movimenti e calcolo del picco di corrente o CE indotto per diversi path con velocità di 1m/s
- Fantoccio M/F, Tomografi simulati: 1.5, 4 e 7 T
- Posizione minima corpi: 1 cm dal criostato



Identificazione delle regioni con picco massimo e ricalcolo secondo le indicazioni ICNIRP del CE e correnti indotte all'interno dei tessuti (griglia di calcolo più elevata)

RISULTATI

- Il picco sia di corrente indotta che di CE e' massimo in prossimità dell'imboccatura del magnete. Non ci sono differenze m/f



LIMITI EFFETTI SANITARI

Table 3
Peak E99 and J99 in Norman and Naomi for different motions around the three magnets

FIELD	BODY MODEL	MOTION I		MOTION II		MOTION III		MOTION IV	
		E99	J99	E99	J99	E99	J99	E99	J99
1.5 T	NORMAN	0.821	0.165	0.332	0.081	0.450	0.103	0.306	0.083
	NAOMI	0.748	0.161	0.418	0.089	0.433	0.085	0.310	0.075
4 T	NORMAN	0.755	0.149	0.508	0.125	0.482	0.109	0.471	0.136
	NAOMI	0.731	0.166	0.518	0.123	0.493	0.094	0.477	0.110
7 T	NORMAN	0.956	0.189	0.722	0.168	0.766	0.181	0.568	0.164
	NAOMI	1.099	0.242	0.704	0.187	0.605	0.159	0.508	0.133

Non si superano i limiti (VLE su tutto il corpo) della direttiva per effetti sanitari

Tabella A2
VLE relativi agli effetti sanitari per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 10 MHz

Gamma di frequenza	VLE relativi agli effetti sanitari
1 Hz ≤ f < 3 kHz	1,1 Vm ⁻¹ (picco)
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	3,8 × 10 ⁻⁴ f Vm ⁻¹ (picco)

Nota A2-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Nota A2-2: i VLE relativi agli effetti sanitari per il campo elettrico interno sono valori di picco spaziali per l'intero corpo del soggetto esposto.

1.1V/m

Tabella A3
VLE relativi agli effetti sensoriali per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 400 Hz

Gamma di frequenza	VLE relativi agli effetti sensoriali
1 Hz ≤ f < 10 Hz	0,7/f Vm ⁻¹ (picco)
10 Hz ≤ f < 25 Hz	0,07/f Vm ⁻¹ (picco)
25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz	0,0028 f Vm ⁻¹ (picco)

Nota A3-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Nota A3-2: i VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno sono valori di picco spaziali nella testa del soggetto esposto.

0.7/f V/m

0.07!

Si possono superare i limiti effetti sensoriali (testa). Notare che a 7T si è molto vicini al limite per effetti sanitari nel percorso 1 (camminare lungo l'asse del magnete)

Table 9
Worst-case selected electric field induced in Naomi in [mV/m]

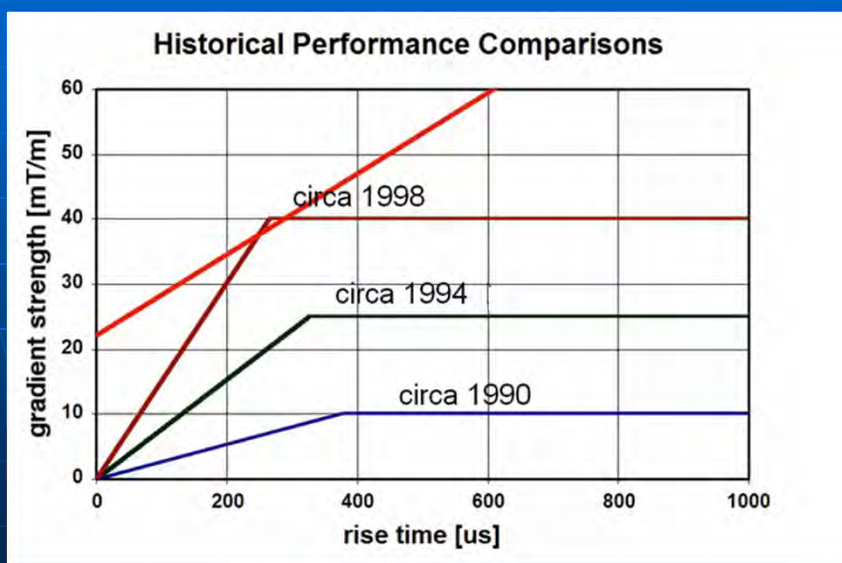
	TISSUE	1.5 T		4 T		7 T	
		Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max
I	CSF	59.46	254.79	86.09	773.26	106.27	1074.17
	White M	92.56	569.70	129.60	830.79	154.09	1064.92
	Grey M	88.77	517.77	126.81	733.66	153.58	974.06
	Spine	75.75	421.49	114.72	615.00	151.27	879.02
	Retina	33.11	97.74	48.73	147.65	57.85	263.19
II	Heart	50.53	155.01	76.66	233.03	110.30	336.97
	CSF	26.43	293.37	46.47	243.24	66.79	344.27
	White M	35.43	250.29	69.84	507.54	26.55	790.42
	Grey M	32.64	193.72	63.04	564.33	89.92	667.02
	Spine	87.20	331.74	93.08	290.35	103.02	320.11
III	Retina	18.94	52.84	45.26	137.26	56.97	213.48
	Heart	54.28	165.51	65.34	201.89	87.21	259.83
	CSF	50.16	397.92	65.61	535.63	94.47	586.78
	White M	68.05	393.97	89.89	518.25	121.68	643.97
	Grey M	71.09	391.80	92.67	553.19	121.24	690.93
IV	Spine	60.46	246.67	99.22	387.95	162.34	618.17
	Retina	19.56	55.47	29.57	86.89	74.43	169.47
	Heart	47.34	175.82	79.95	286.54	134.36	475.43
	CSF	53.70	216.53	48.58	305.92	62.10	439.39
	White M	72.48	262.74	66.83	370.71	80.19	441.33
V	Grey M	71.46	302.96	61.98	352.20	75.29	461.23
	Spine	24.57	30.55	104.93	275.73	143.03	383.89
	Retina	36.81	72.08	46.29	121.41	65.65	207.12

C.M. VARIABILI NEL TEMPO

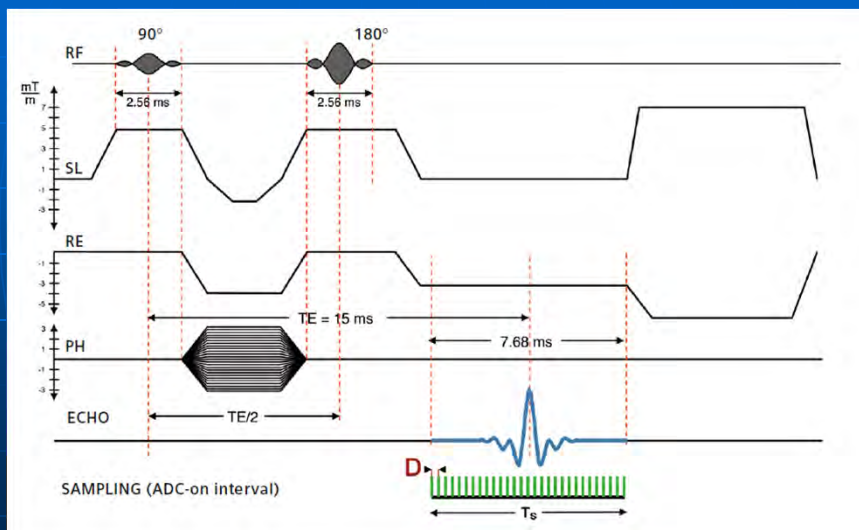


I C.M. VARIABILI
GENERATI DALLE BOBINE
DI GRADIENTE SONO
UNA FONTE DI RISCHIO
SOLO SE I LAVORATORI
STAZIONANO IN SALA
MAGNETE DURANTE
L'ESECUZIONE
DELL'ESAME

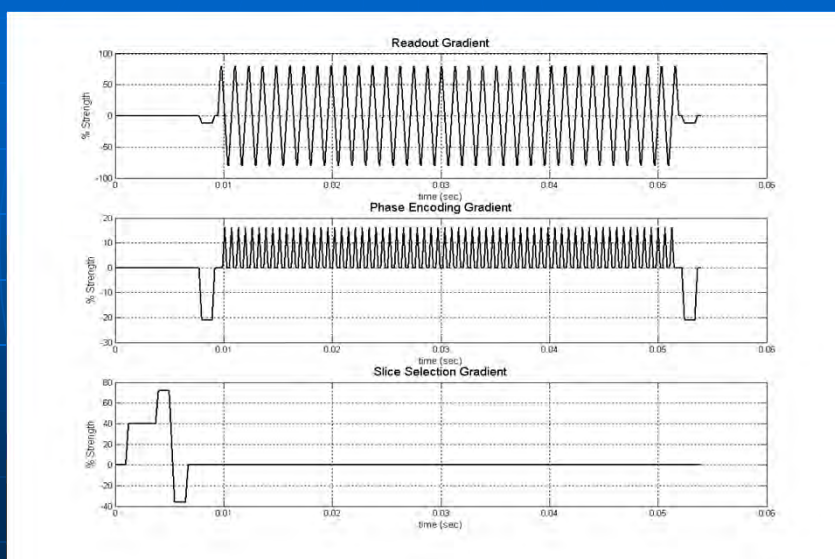
GRADIENTI DI C.M.



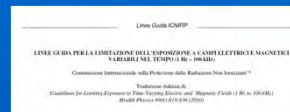
SEQUENZA SE



SEQUENZA EPI

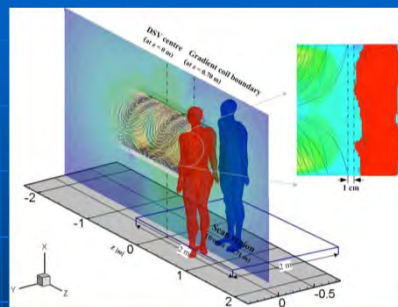
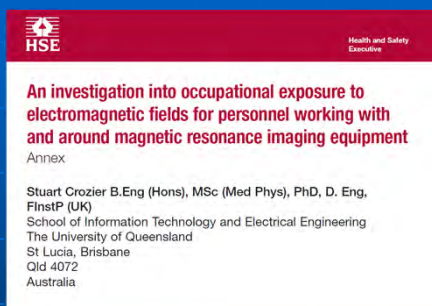


EFFETTI BIOLOGICI (ICNIRP 2010)



- Fosfeni sopra 0.1 mT/s, attorno ai 20Hz- (interazioni CE sopra 100mV/m con cellule elettricamente eccitabili della retina)
- Elettrostimolazione SNP per CE interni sopra 4-6V/m e SNC sopra 10V/m
- Perdita coordinamento mano/occhio per CE inferiori a 100Hz sopra 100 mV/m, non di altre capacità neurocomportamentali

VALUTAZIONI

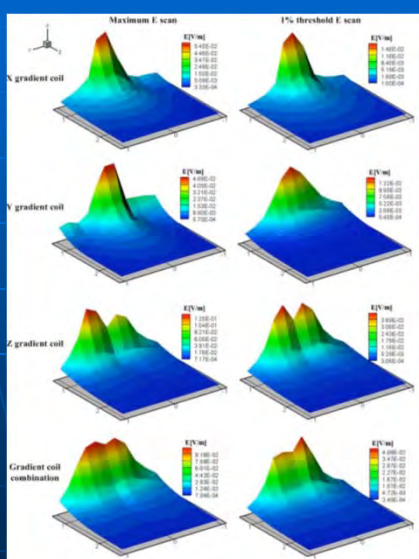


- Valutazioni con simulazioni di CE e correnti indotte in fantocci antropomorfi (m e f) che stazionano fermi di fronte all'imboccatura del magnete

IPOTESI

- Simulazione bobine di gradiente lunghe 1.4m longitudinali(z) e trasversali (x,y)
- Correnti pulsate di gradiente alla frequenza di 1kHz e rise time 100 μ s
- Approssimazione quasi statica
- Distanze calcolate dalla fine bobine di gradiente (non dalla fine tomografo)
- Posizione fantoccio antropomorfo: 1 cm fine bobina
- Calcolo dei fattori di scala per diverse intensita' e rise time dei gradienti

RISULTATI



- Il CE indotto e' massimo all'imboccatura del magnete
- Gradiente 'z' induce valori piu' elevati di C.E.
- Ovviamente il C.E. e' piu' elevato quando i 3 gradienti funzionano contemporaneamente
- I valori sono mediamente 1 ordine di grandezza piu' bassi gia' ad 1 m dal valore massimo.

Body Positions Y = 0 [m]	TISSUE	X gradient		Y gradient		Z gradient		X + Y + Z	
		Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max
Z = 0.01 [m]	CSF	1.12	8.89	1.07	8.99	3.36	27.13	4.81	37.47
	Brain	1.59	7.64	0.74	3.16	3.60	16.26	5.36	23.02
	Spine	2.59	13.18	3.61	12.93	8.72	39.89	12.20	55.34
	Retina	0.89	2.98	0.32	0.93	2.42	8.55	3.19	11.59
	Heart	5.94	20.39	5.52	18.26	16.89	67.38	22.65	77.42
	Skin	3.86	166.53	3.44	118.17	8.27	250.10	11.22	358.85
	Fat	5.16	104.43	4.91	76.58	10.31	141.43	13.48	217.48
Z = 0.31 [m]	Muscle	2.99	64.26	2.77	47.53	6.47	99.87	9.00	134.42
	CSF	0.37	2.99	0.35	1.89	0.97	7.50	1.39	9.79
	Brain	0.62	2.89	0.52	2.31	1.07	4.98	1.71	7.38
	Spine	0.65	3.00	0.76	2.47	2.36	10.94	3.10	14.38
	Retina	0.35	1.27	0.35	1.15	0.68	2.17	0.88	3.05
	Heart	1.54	5.35	1.02	3.73	3.63	13.97	5.14	17.92
	Skin	1.09	38.45	0.91	35.00	2.28	58.66	2.96	90.72
Z = 0.61 [m]	Fat	1.41	23.26	1.22	22.81	2.82	44.84	3.50	51.72
	Muscle	0.81	14.23	0.68	14.11	1.74	27.27	2.29	31.66
	CSF	0.15	1.22	0.13	0.76	0.38	2.86	0.55	3.57
	Brain	0.26	1.15	0.22	1.01	0.43	1.75	0.72	3.29
	Spine	0.23	0.98	0.24	0.72	0.90	4.15	1.13	5.23
	Retina	0.15	0.54	0.15	0.50	0.29	1.28	0.40	1.80
	Heart	0.55	1.90	0.30	1.11	1.24	4.69	1.75	5.98
Z = 0.91 [m]	Skin	0.43	12.43	0.35	14.31	0.90	18.20	1.13	30.24
	Fat	0.55	7.58	0.46	9.33	1.11	17.97	1.35	21.45
	Muscle	0.31	4.42	0.25	5.77	0.69	10.91	0.86	13.10
	CSF	0.07	0.56	0.06	0.36	0.19	1.32	0.26	1.61
	Brain	0.12	0.57	0.10	0.45	0.23	0.93	0.36	1.69
	Spine	0.10	0.47	0.10	0.37	0.43	1.91	0.51	2.36
	Retina	0.07	0.24	0.06	0.20	0.16	0.71	0.22	0.98
Z = 1.21 [m]	Heart	0.25	0.84	0.11	0.40	0.54	1.99	0.76	2.53
	Skin	0.21	4.97	0.17	6.96	0.43	6.99	0.53	12.52
	Fat	0.27	3.51	0.22	4.53	0.53	8.46	0.63	10.30
	Muscle	0.15	1.70	0.12	2.80	0.33	5.13	0.40	6.28
	CSF	0.04	0.28	0.03	0.19	0.11	0.27	0.14	0.84
	Brain	0.06	0.30	0.05	0.22	0.13	0.58	0.20	0.93
	Spine	0.05	0.25	0.05	0.21	0.23	1.00	0.27	1.22
	Retina	0.04	0.12	0.02	0.08	0.10	0.40	0.13	0.56
	Heart	0.13	0.45	0.05	0.16	0.28	0.99	0.38	1.26
	Skin	0.12	2.61	0.09	3.80	0.23	3.29	0.28	6.04
	Fat	0.15	1.87	0.13	2.47	0.29	4.48	0.34	5.51
	Muscle	0.08	0.89	0.07	1.53	0.18	2.71	0.21	3.36

Analogous to Tables 2 and 3. Table 4 and 5 list results for the female body model.

VALUTAZIONI

C.E. in mV/m per
gradiente di 1mT/m e
rise time 100µs

→ Circa 0.32 V/m per
gradienti massimi di 40
mT/m e 250µs rise time
(fattore di scala 32)

35/2013

VLE effetti sanitari :

rispettato (1.1 V/m)

VLE effetti sensoriali:

potrebbe essere
superato

(0.07 V/m piu' basso)

CONSIDERAZIONI

Si deve valutare il rischio in
funzione:

Delle sequenze impiegate (poche
usano 3 gradienti
contemporaneamente)

Della posizione dell'operatore e
dalla sua distanza dalle bobine di
gradiente

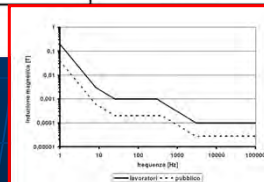
LIVELLI DI AZIONE

Tabella B2

LA per esposizione a campi magnetici compresi tra 1 Hz e 10 MHz

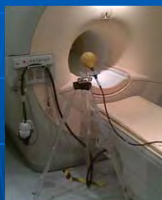
Gamma di frequenza	Induzione magnetica LA (B) inferiori [μ T] (RMS)	Induzione magnetica LA (B) superiori [μ T] (RMS)	Induzione magnetica LA per esposizione arti a campo magnetico localizzato [μ T] (RMS)
$1 \leq f < 8$ Hz	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25$ Hz	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300$ Hz	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Nota B2-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).



MISURE

Campagne di misura con sonde vettoriali e metodo di valutazione come da ICNIRP (2003):



Su sistemi 1.5 e 3 T si rispettano sempre i limiti base dell'ICNIRP 2010. Inoltre anche i livelli di riferimento sono sempre rispettati (=LA inferiori della direttiva che dovrebbero prevenire tutti gli effetti sopracitati) (*Weighted-peak assessment of occupational exposure due to MRI gradient fields and movements in a nonhomogeneous static magnetic field.*, Andreuccetti D et al, Med Phys; 2013 Jan;40(1))

MISURE

Campagne di misura con sonde vettoriali e metodo di valutazione come da ICNIRP (2003):

Tabella 1: risultati delle valutazioni per diverse sorgenti

Sorgente	Condizioni di misura	% ($\pm 10\%$) rispetto a valore di azione ICNIRP1998	% ($\pm 10\%$) rispetto a valore di azione ICNIRP2010	Beff (μT)
RM 3T	Su lettino 50 cm out of bore	75	19	3,8
RM 1T	Su lettino 50 cm out of bore	500	193	68,9
RM 0.25 T	Su lettino 50 cm out of bore, durante acquisizione	37	9	14,1
RM 0.25 T	Su lettino 50 cm out of bore, preview	100	13	44,3
TMS	A 8 cm dal coil, (distanza della mano dell'operatore)	36115	6140	4431,8
TMS	A 128 cm dal coil, distanza della mano dell'operatore	361	64	45,8
Motore industriale	a 2 cm da cavi di alimentazione	662	148	679,4
CND Magscop	zona tronco operatore	401	94	168,7

Frigerio, Carne, Moro – Fondazione Maugeri -PV

Cosa succede se si superano i limiti 'sensoriali?'

- Se LA
 - Non si deve superare il corrispondente VLE altrimenti:
- Se VLE
 - Deve essere temporaneo
 - Non si devono superare VLE sanitari
 - Si aggiornano nel caso la valutazione sui rischi e le misure di prevenzione

RUMORE



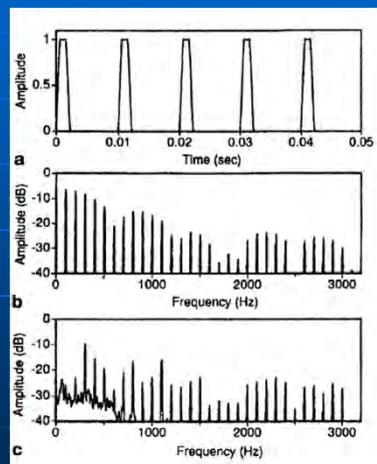
RUMORE ACUSTICO

Le correnti applicate alla bobina di gradiente quando e' accesa interferiscono con il c.m. statico producendo delle forze di Lorentz sul sistema stesso. La continua accensione e spegnimento delle correnti genera uno stato di vibrazione delle bobine che urtando contro le strutture di supporto producono rumore acustico.

L'intensita' delle vibrazioni strutturali dipendono dall'intensita' del c.m. statico, dall'intensita' dei gradienti, dalla geometria e dalla struttura del tomografo e anche dalla forma d'onda delle correnti (switching currents)

RUMORE

Le caratteristiche spettrali del rumore dipendono dalla sequenza utilizzata e dall'HW (geometria, materiali, isolanti acustici ecc.) e rispecchiano in parte quelle dei gradienti



RUMORE

I parametri di acquisizione possono aumentare il rumore, come la diminuzione dello spessore di strato, FOV, e per sequenze dove sono impiegate ampiezze di gradienti più elevate o frequenze di switching più elevate producono più rumore. Le sequenze con rumore più elevato sono in genere **sequenze EPI**, molto veloci, o **3D** dove vengono impiegati contemporaneamente più gradienti

VALORI DI ESPOSIZIONE

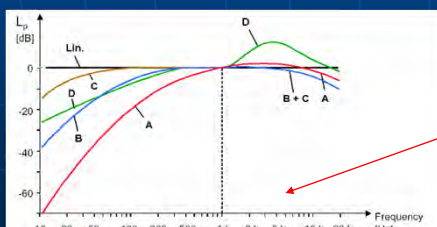
Livello di esposizione giornaliera al rumore

(livello di pressione sonora pesato A riferito a 20 μ Pa mediato su 8h)

V.A. INF.	V.A. SUP.	LIMITE
80dB(A)	85dB(A)	87dB(A)

Pressione acustica di picco (riferito a 20 μ Pa-pesato C)

V.A. INF.	V.A. SUP.	LIMITE
112Pa=135dB(C)	140Pa=137dB(C)	200Pa=140dB(C)



NOTA: L'ORECCHIO
UMANO PERCEPISCE
SUONI NEL RANGE
20-Hz ÷ 20kHz

VALUTAZIONI

Per effettuare una valutazione di esposizione 'giornaliera' e' necessario, oltre alla misura, stabilire quali sono i carichi di lavoro dell'esposizione

$$Lex, d = LAeq, T_e + 10 \log_{10} \frac{T_e}{T_0}$$

dove

$$LAeq, T_e = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \left[\frac{P_A(t)}{P_0} \right]^2 dt \right\}$$

TEMPO
ESPOSIZIONE

TEMPO
LAVORATIVO=8h

RUMORE

VALORI TIPICI RILEVATI ALL'INTERNO DEL MAGNETE:

Sotto 2T

103-113 dB(A) picco (McJury et al. J.Magn.Reson. 2000; 12:37-45)

82 to 93 dB(A) al centro del magnete (Hurwitz et al. Radiology 1989;173:545-548)

114-115 dB(A) picco al centro del magnete (Shellock et al. J Magn Reson Imaging : 1154-7)

Oltre 2T:

123 to 138 dB a 3T (Ravicz et al., J Acoust Soc Am 2000; 108: 1683-1696)

130 dB a 4T (More SR et al., J Magn Reson Imaging 2006;23:388-397)

MISURE IMPIANTO 1.5T sequenza piu' rumorosa

Carichi di lavoro

I carichi di lavoro e i tempi di esposizione al rumore associati alle diverse sequenze, fornite dall'azienda e sono riassunte di seguito :

- 15 pazienti al giorno con mediamente 7 sequenze per esame.
- durata media di una sequenza : 4 min

Tempo di esposizione giornaliero al rumore : 420 min = 7 ore per ogni addetto.

tabella 1

Punto di misura	Sorgente rumore (sequenza)	Tempo di misura	L _{Aeq} dB(A)	L _{Cpeak} dB(C)
1 - console	ambiente (no sequenze)	5 min	53	
1 - console	ep 2D diff orth.	22 s	60.1	91
2-interno sala scansione	ep 2D diff orth.	35 s	86.6	100

V.I azione

TU 81/08:

80 dB(A)

135 dB(C)

CALCOLO DEL TEMPO DI SUPERAMENTO DEL VIA: **1H 35'**

Misure e valutazioni di Manlio del Corona

PROTEZIONISTICA

- Tappi auricolari (attenuazione in funzione della frequenza)
- Cuffie (Passive/attive)



*M.McJury , F.G. Shellock 'Auditory noise associated with MR procedures: a review'
J.Magn.Reson.Imaging 2000; 12:37-45*



QUENCH

RISCHI DA EVENTI ECCEZIONALI: QUENCH

Per garantire la superconduttività gli avvolgimenti del magnete si raffreddano con liquidi criogenici, prevalentemente con ELIO liquido

Nel dewar del magnete sono contenuti 800 litri di elio liquido che garantiscono una T intorno a - 270°C (rapporto elio liquido:gassoso e' 1:800)

Il sistema prevede che l'elio che vaporizza venga riliquefatto attraverso un compressore. C'e' comunque una perdita fisiologica di elio che viene monitorata ed eventualmente integrata durante le manutenzioni

RISCHI DA EVENTI ECCEZIONALI: QUENCH

In condizioni di normale funzionamento del sistema l'elio liquido diventa una fonte di rischio solo durante le operazioni di rabbocco effettuate dal manutentore

In caso di quench ci possono essere vari rischi per i lavoratori coinvolti, tra cui: danni da gelo o aumentato rischio di incendio per condensazione ossigeno, o danni da soffocamento se l'elio gassoso prodotto inonda la sala magnete o gli ambienti circostanti

Il quench puo' essere indotto da altri eventi eccezionali quali terremoto o incendio

PROTEZIONISTICA

Sistemi di canalizzazione del
criogeno all'esterno dell'edificio
Sistemi di monitoraggio ossigeno
in sala magnete con allarmi
Sistemi automatici di aspirazione
forzata dei gas

*Calcola i costi del non rischiare: molti
di noi pensano a cio' che potrebbero
perdere se rischiano, ma cosa
perderemmo se non rischiassimo?*

Chris Widener

