

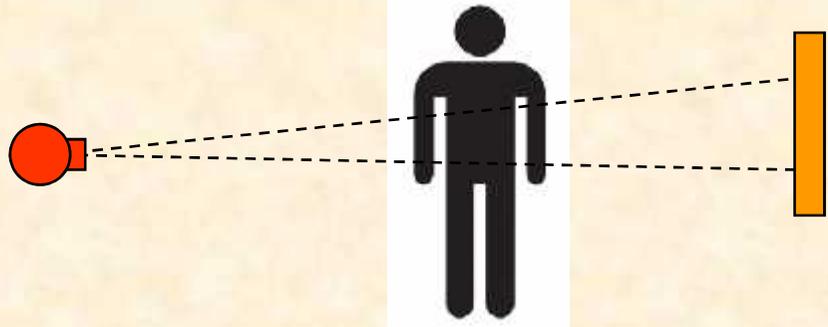


UNIVERSITA' degli STUDI di PERUGIA
Facoltà di MEDICINA e CHIRURGIA

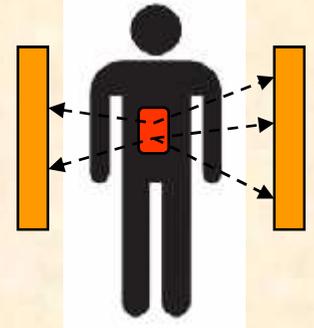
Principi di funzionamento di un Tomografo RM

La sicurezza negli impianti di Risonanza Magnetica

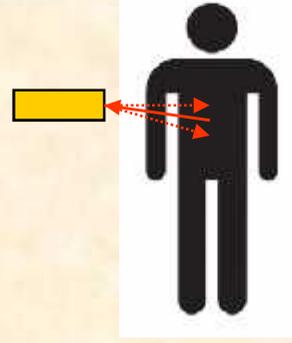
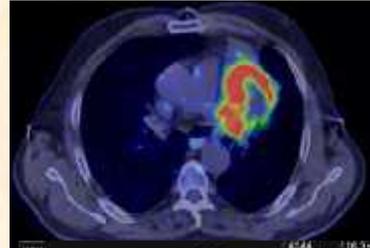
Dott. Gianni Gobbi
S.C. di Fisica Sanitaria
Azienda Ospedaliera di Perugia



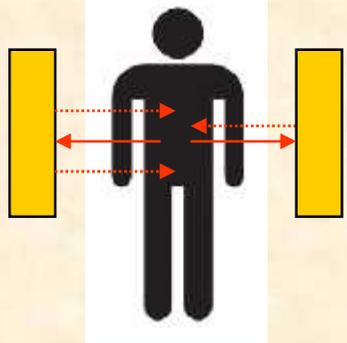
RX



MN



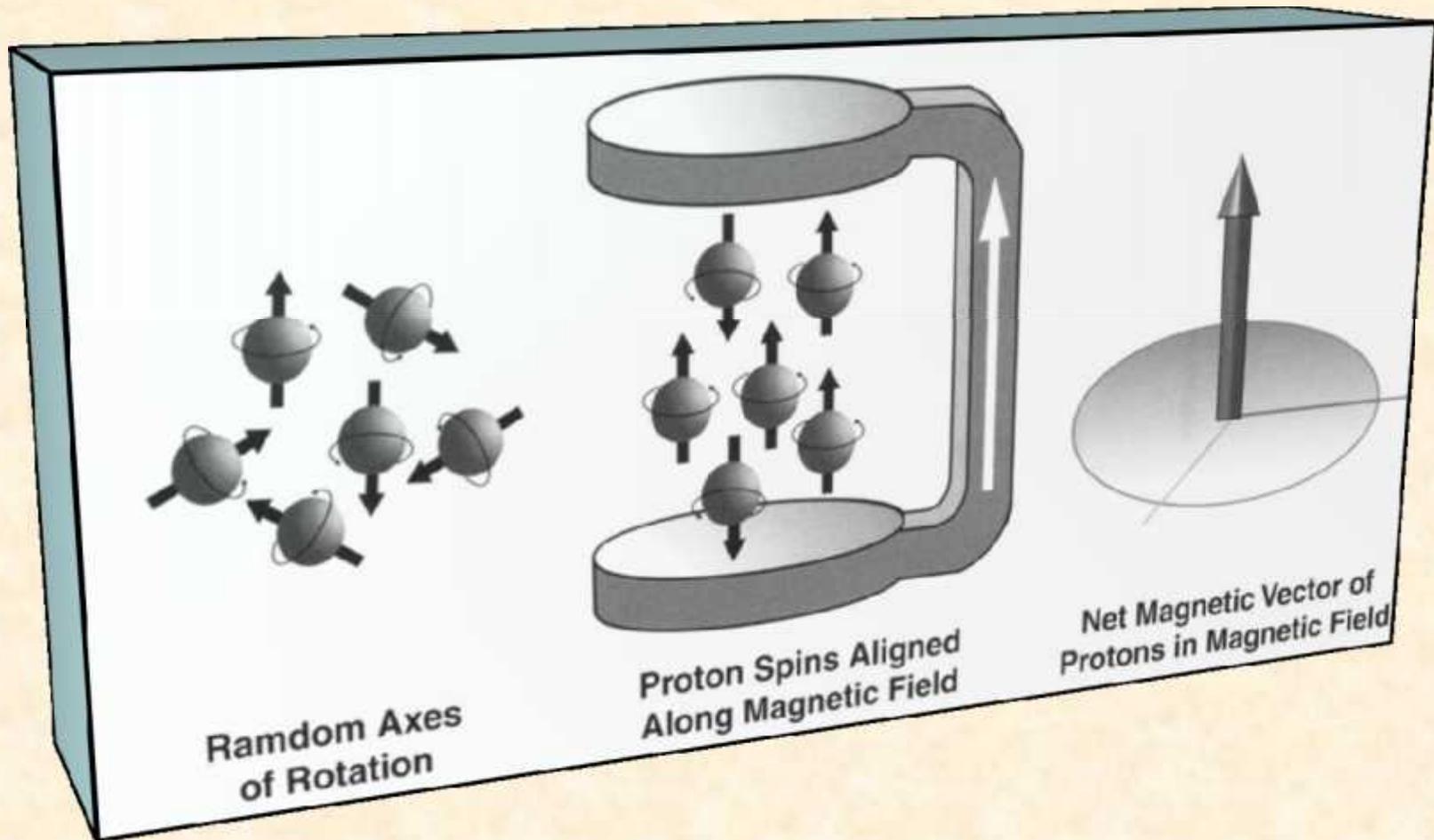
US

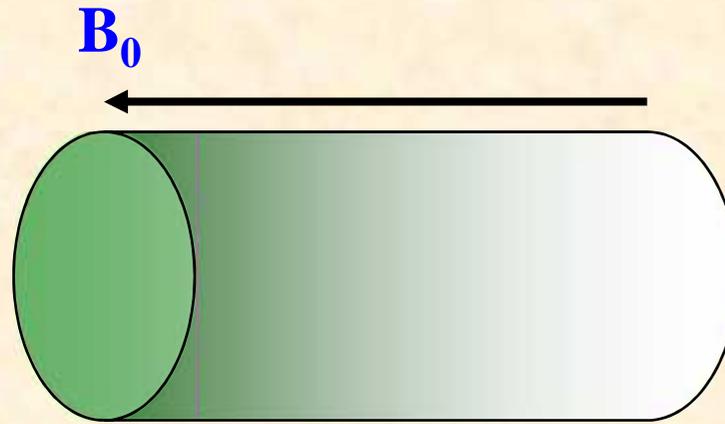
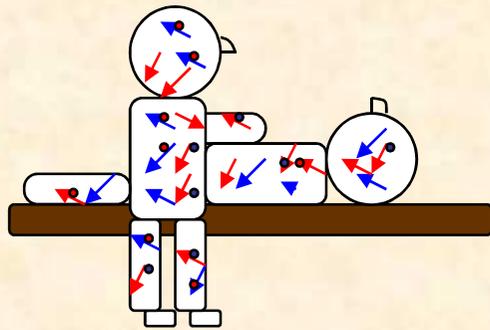


RM

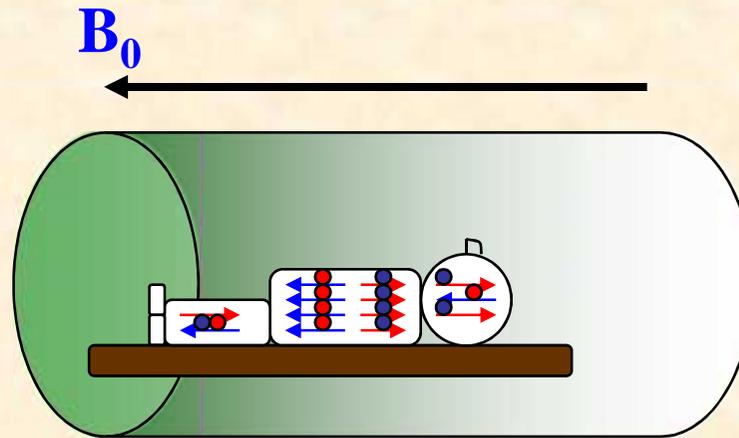
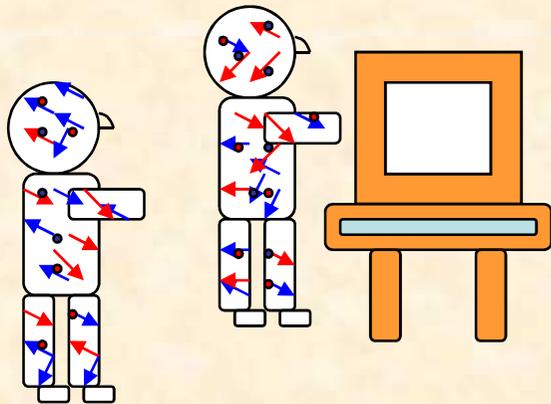


PRINCIPIO FISICO





Fuori dal campo magnetico, gli *SPIN* sono orientati in modo casuale



Dentro il campo magnetico, gli *SPIN* sono orientati in senso parallelo e antiparallelo al campo magnetico.

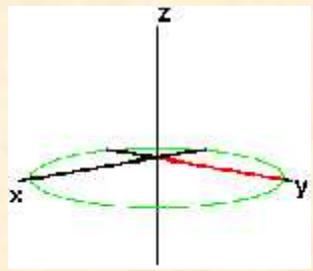
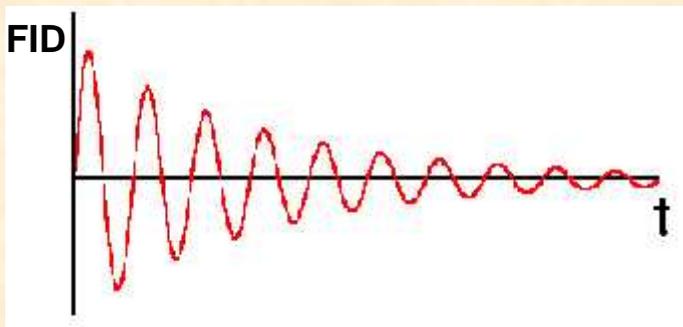
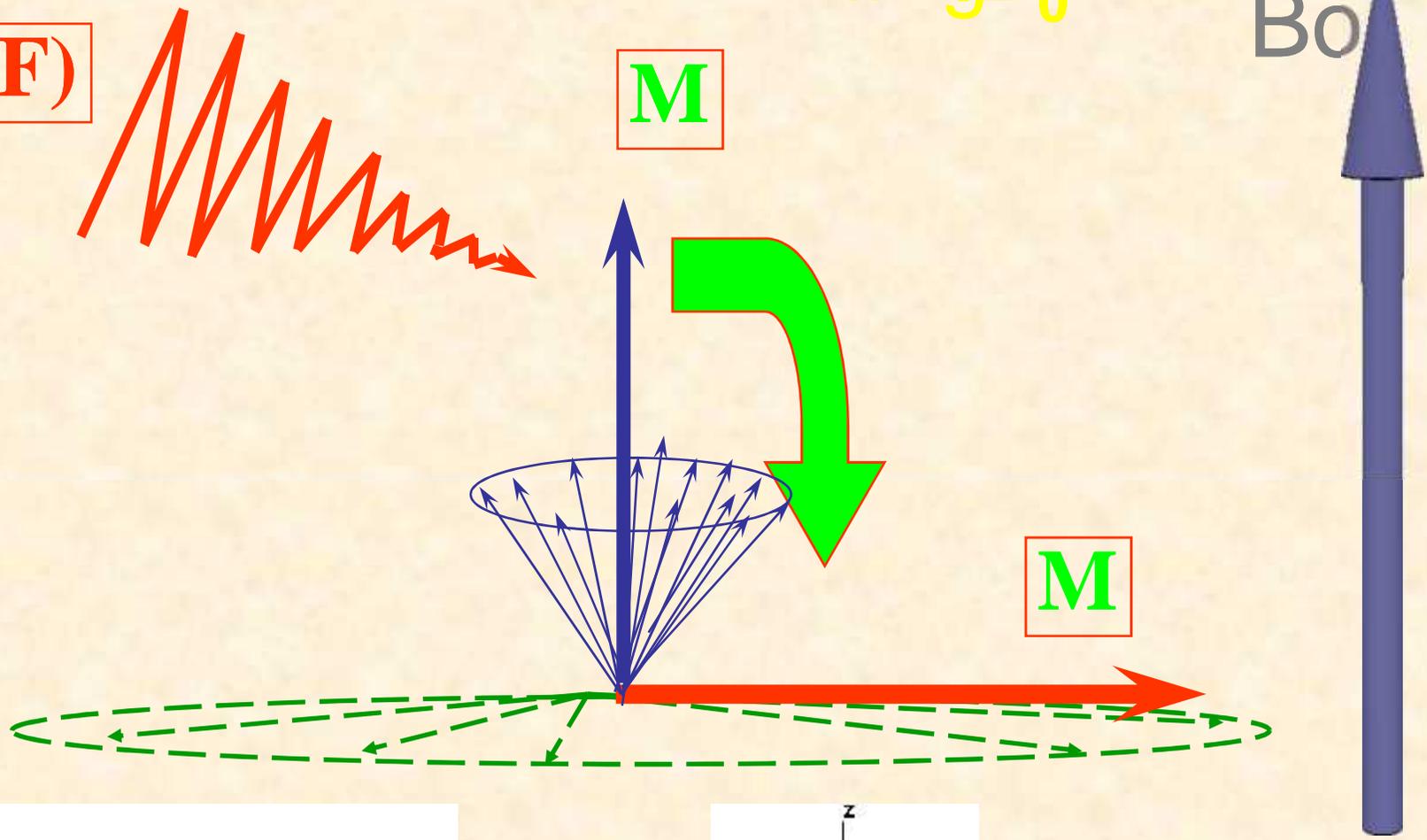
(RF)

$$\omega = \gamma B_0$$

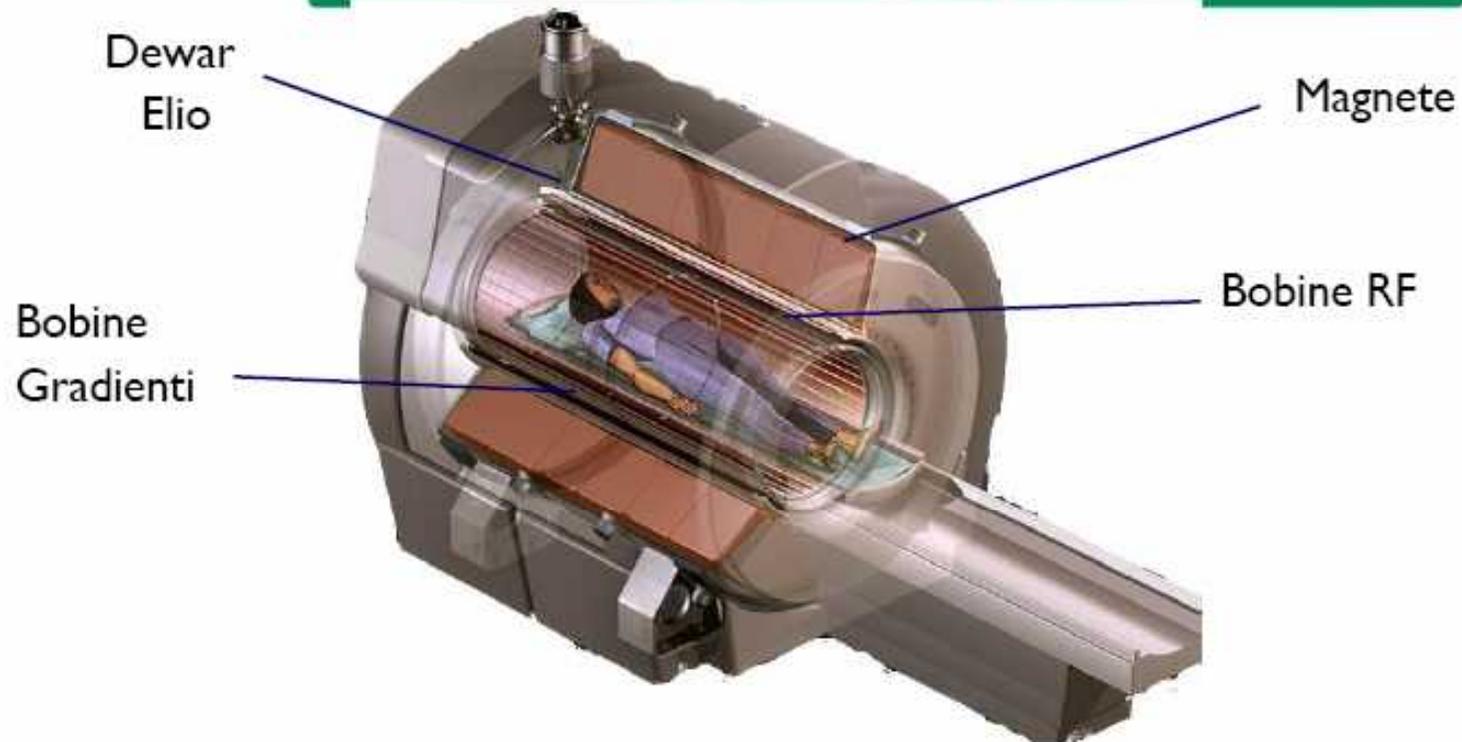
B_0

M

M



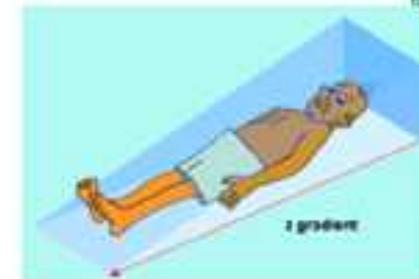
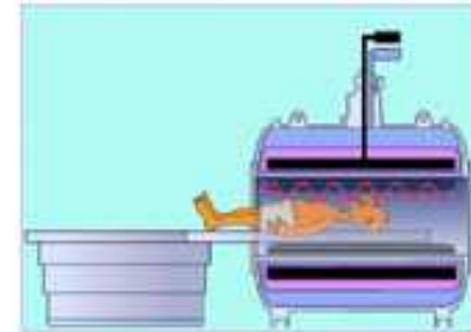
Principio di funzionamento di un tomografo RM



Principio di funzionamento di un tomografo RM

Per funzionare un tomografo a RM necessita di:

- 1) Creare un campo di induzione magnetica intenso e permanente
- 2) Creare dei campi di induzione magnetica statici con elevati gradienti spaziali
- 3) Creare dei campi a RF
- 4) Liquido criogenico per mantenere attiva la superconduttività del magnete (se è presente un magnete superconduttore)



Principio di funzionamento di un tomografo RM

Quali tipologie di campi e.m. sono presenti?

- Campo magnetico statico (B_0)
 - **campo magnetico principale**
 - interessa pazienti e lavoratori

- Campi magnetici lentamente variabili nel tempo ($dB/dt \neq 0$)
 - **gradienti spaziali di campo magnetico**
 - interessano i pazienti

- Campi magnetici variabili a radiofrequenza (RF)
 - **impulsi di eccitazione**
 - interessano i pazienti, raramente i lavoratori

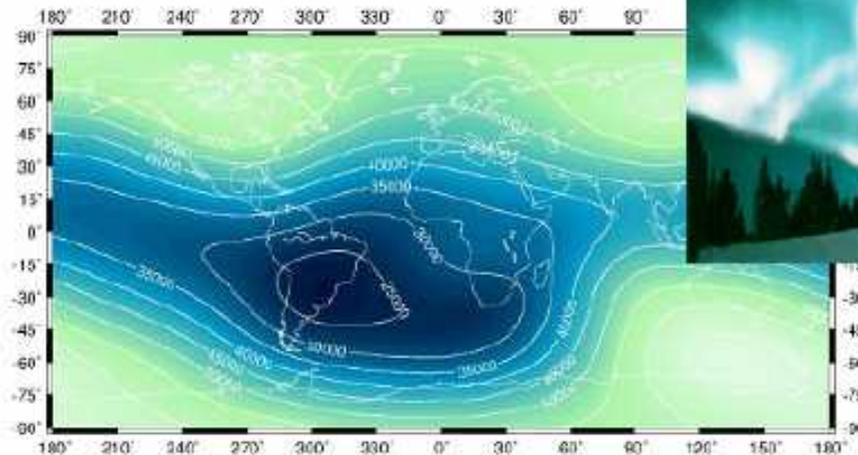
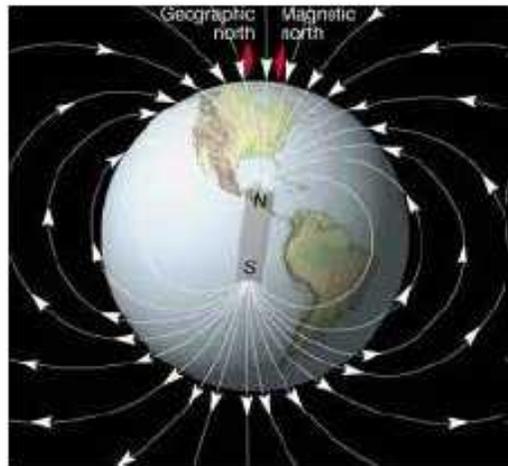


Il campo di induzione magnetica

L'unità di misura del campo di induzione magnetica nel S.I. è il **Tesla [T]**

Un'altra sua unità di misura è il Gauss [G] $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$

Esempio: la Terra è una grossa calamita con valori di campo statico a livello del suolo variabili da luogo a luogo ma comunque dell'ordine di **0,05 mT**



Fonti di rischio

Fonti di rischio connesse alla tecnologia RM:

- Campi magnetici statici
- Campi e.m. a radiofrequenza
- Gradienti di campo magnetico

- Rumore acustico

- Gas criogeni

Rischi da campi magnetici

- Campo magnetico statico: *operatori, pazienti*
- Campo a radiofrequenza: *pazienti*
- Campo magnetico lentamente variabile (impulsi da gradienti): *pazienti*

Fonti di rischio
Campo magnetico statico

Fonti di rischio

Campo magnetico statico (sempre presente)

Effetto proiettile, interferenza con dispositivi medici impiantati, protesi ecc.

... rischio da campo statico

- **Pazienti:** fino a 2Tesla (protocolli clinici sicuri); sopra 2Tesla solo a titolo sperimentale per studio di particolari patologie.
- **Operatori:** a scopo cautelativo deve essere ridotto il tempo di permanenza in vicinanza del magnete per ridurre l'esposizione prolungata al campo disperso.

Mappatura zona ad accesso controllato

Zona ad alto campo

($2T$; < 15 min / g per il corpo)
($2T$; < 1 h / g per gli arti)

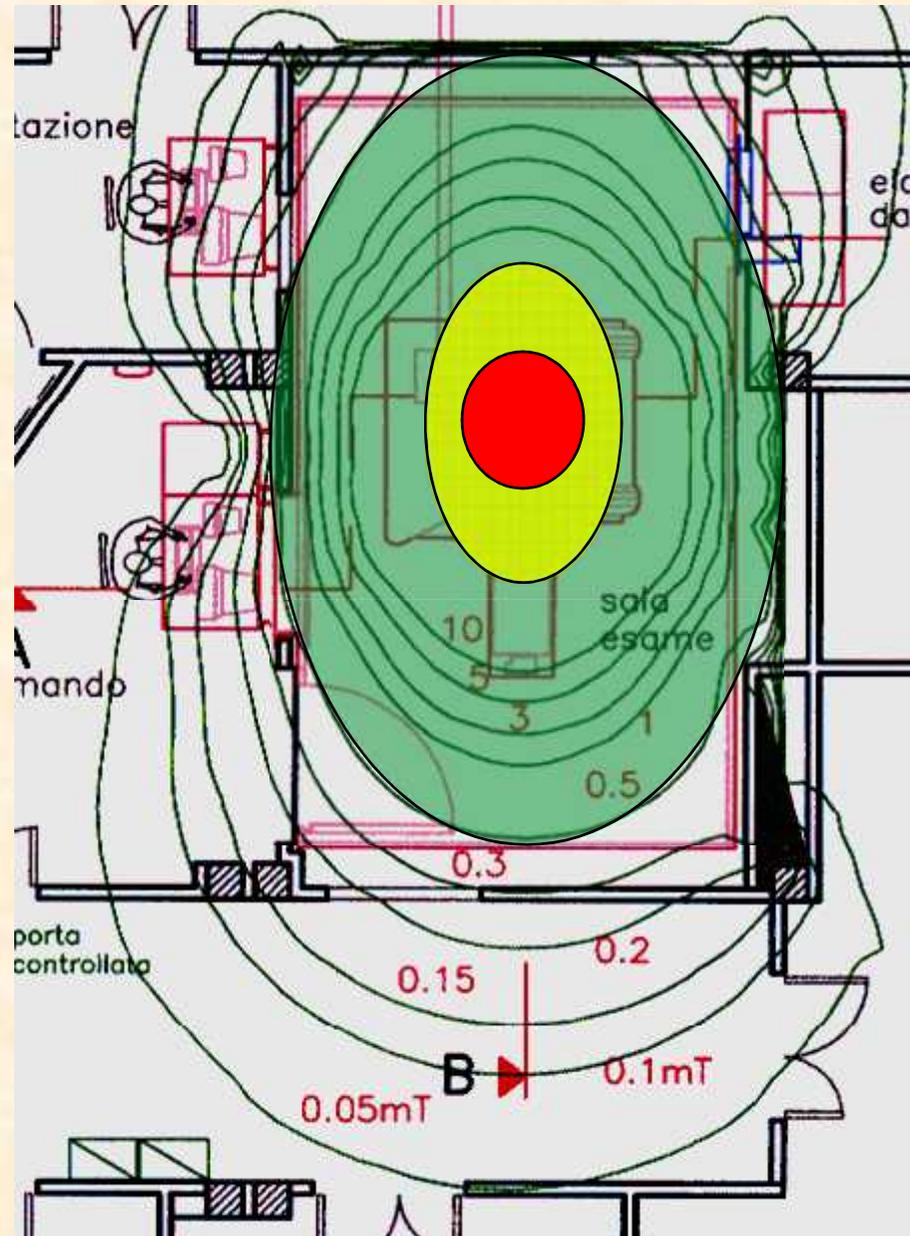
Zona a campo

disperso elevato

($0,2T$; < 1 h / g per il corpo)

Zona di servizio

(> $0,5$ mT ÷ < 200 mT)



Fonti di rischio Campo magnetico statico

1) Effetti meccanici su oggetti ferromagnetici (interni e/o esterni al corpo)

- traslazione in presenza di un gradiente di campo magnetico (effetto proiettile);
- rotazione in presenza di campo anche omogeneo;



Impianti metallici (clips, valvole, protesi ecc.)

possono subire

forze o torsioni di notevole intensità

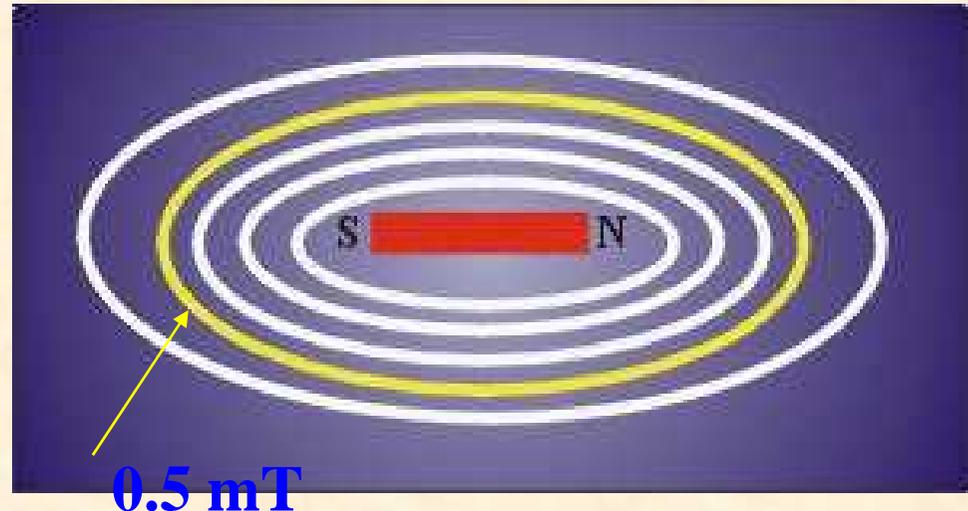
tali da causare **lesioni**

Campo magnetico statico

Campo disperso di induzione magnetica

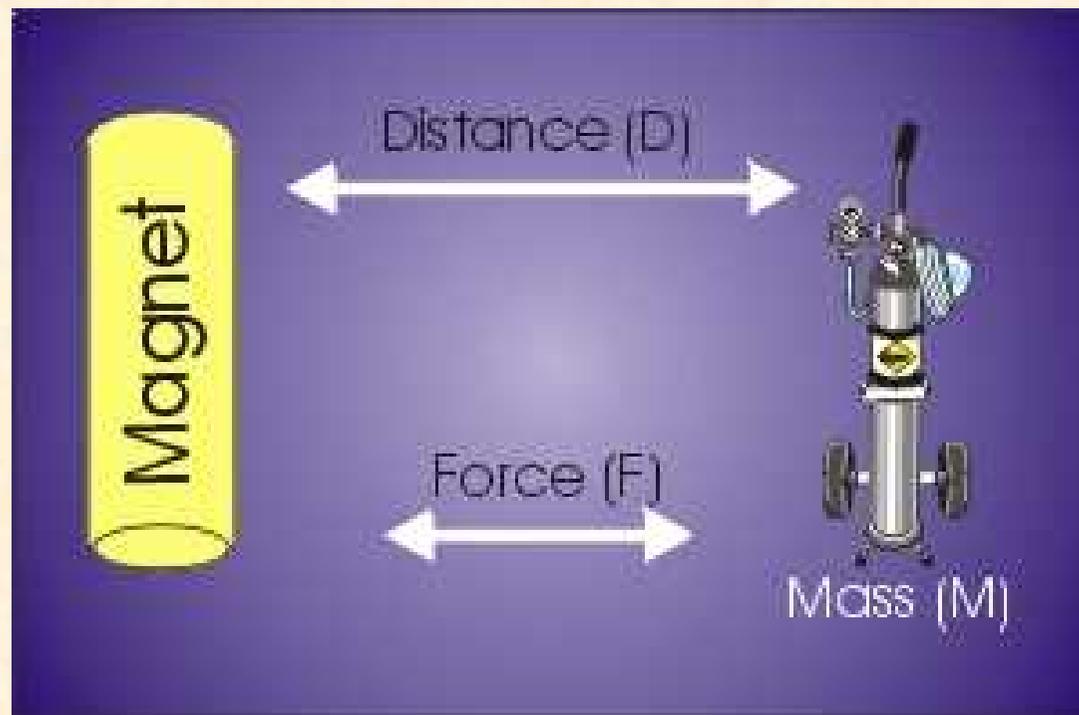
Il campo magnetico statico è generato in maniera più o meno permanente a seconda della tecnologia adottata . Regimi autorizzativi diversi sono necessari a seconda del valore di tale campo. I campi magnetici statici utilizzati ad uso clinico sono nel range di 0.2 T – 2 T .

$B_0 > a 2 T$ utilizzabili a scopo di ricerca scientifica o clinica



Rischio meccanico: effetto proiettile

- Qualunque oggetto metallico ferromagnetico subisce una forza attrattiva verso il magnete con forza che cresce repentinamente a distanza ravvicinata e proporzionalmente alla massa ferromagnetica.

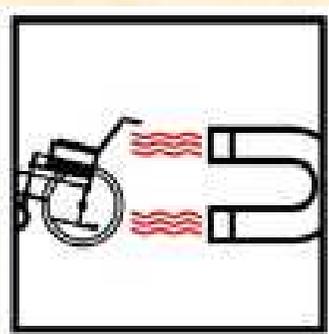


... effetto proiettile

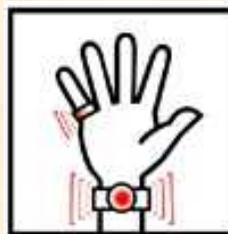
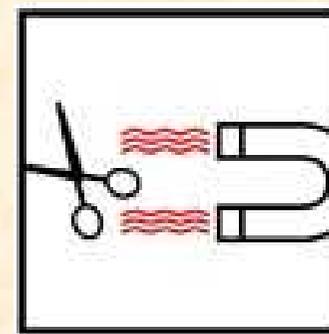
Rischio per:

- *pazienti*
- *operatori*

Probabili danni all'apparecchiatura



Divieto di introdurre oggetti
metallici ferromagnetici nella sala
esame

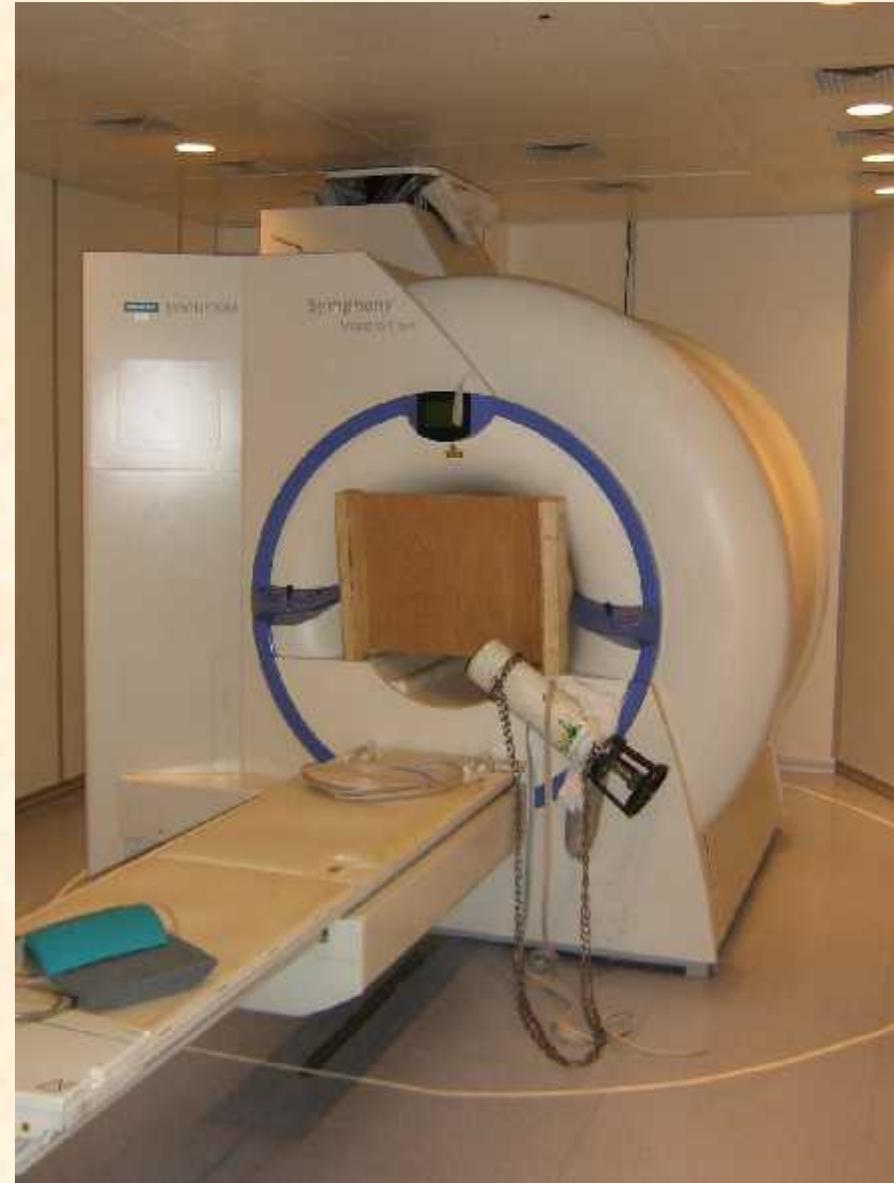


Effetto proiettile degli oggetti metallici

Rischi di attrazione di oggetti metallici verso il magnete che rappresentano veri e propri proiettili. Solo nei casi più gravi di episodi di questo tipo con pericolo per la salute delle persone può essere giustificato lo spegnimento del magnete con relativo quench attivato dall'operatore



(operazione che ha un pesante
risvolto economico)





Fonti di rischio
Campo magnetico statico

2) Interferenza con elettrostimolatori ed apparecchiature elettromedicali

- Pace-maker impiantati e neurostimolatori
- Apparecchiature di rianimazione e monitoraggio
- Apparecchiature con fasci di particelle cariche accelerate (tubo raggi X, intensificatore d'immagini, gamma-camera, monitor ecc.)

Controindicazioni maggiori o assolute

- **pace maker**
 - danno meccanismi interni, cambiamenti e blocco di programma, correnti indotte
- **clips ferromagnetiche vascolari cerebrali**
 - torsione clips
- **pompe sottocutanee per infusione di farmaci**
- **neurostimolatori**



Fonti di rischio Campo magnetico statico

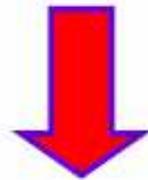
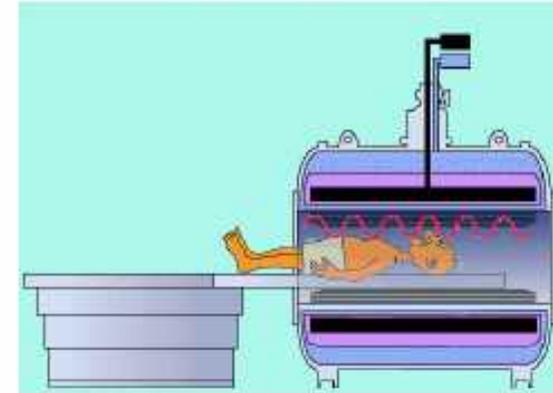
3) Effetti biologici dovuti a:

- Interazione con cariche in movimento
- Orientamento di molecole dotate di dipolo magnetico

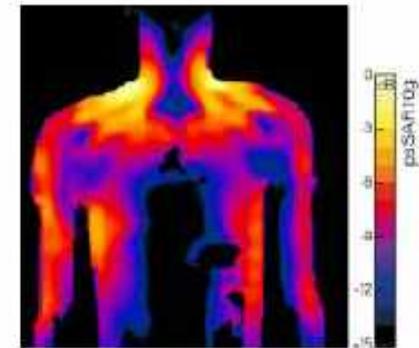
(non rilevanti in presenza di campi magnetici statici inferiori a 2 T)

Aspetti specifici di protezione del paziente: impulsi a radiofrequenza

L'esposizione del paziente ad impulsi a radiofrequenza durante una sequenza di acquisizione RM comporta l'assorbimento di energia da parte del tessuto biologico (assorbimento di calore)



I tessuti biologici del paziente si riscaldano



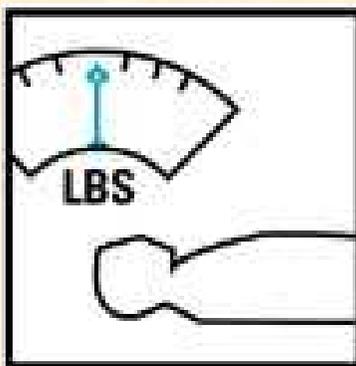
Effetto limitato al volume interno alle bobine utilizzate

... rischio da radiofrequenza

Pazienti: gli impulsi a radiofrequenza vengono assorbiti dai tessuti che si riscaldano (effetto termico)

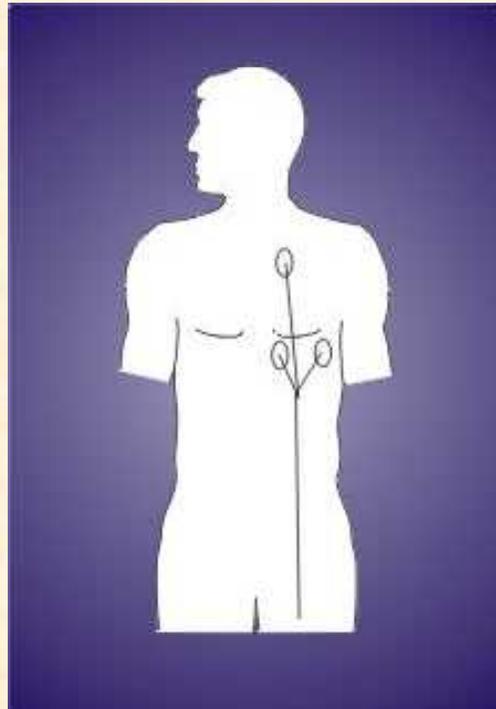


Per dosare la giusta potenza RF da erogare durante l'esame deve essere inserito il peso del paziente (la scansione non parte senza il peso).



... rischio da radiofrequenza

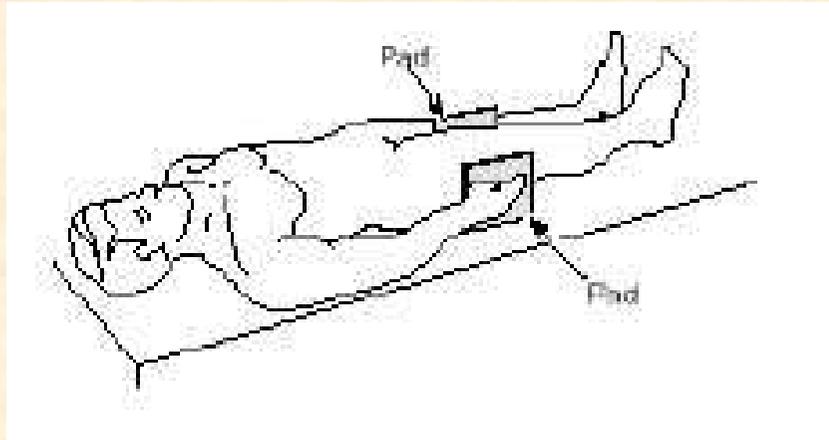
Oggetti metallici possono diventare dei punti caldi per eccessivo assorbimento di radiofrequenza. Elettrodi cutanei con contatti ad alta resistenza possono produrre scottature.



... rischio da campi variabili

Pazienti: gli impulsi di campo dei gradienti inducono delle correnti nei tessuti, che crescono quanto più grandi sono le dimensioni dei circuiti equivalenti che si creano all'interno dell'organismo.

Per ridurre le dimensioni delle spire di corrente indotta si evita il contatto fra gli arti superiori e il tronco, e fra gli arti inferiori.



Attenzione a conduttori a contatto con la cute!!!

Fonti di rischio Liquidi criogenici

Il magnete superconduttore è raffreddato con elio liquido

Caratteristiche chimico-fisiche dell'elio:

- gas inodore, incolore (quindi la sostituzione di esso all'ossigeno è inizialmente impercettibile)
- l'elio liquido ha una temperatura di circa $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$
- più leggero dell'aria (sale in alto)



Pericoli:

- Ustioni
- Asfissia
- Aumento di pressione in caso di rapida evaporazione (*quench*)
(rapporto volume gas/liquido 760:1) difficoltà aprire porta sala magnete

Il *quench* rappresenta una rapida evaporazione con conseguente perdita nell'ambiente dell'elio liquido contenuto nel serbatoio del magnete, a seguito di un accidentale ed eccessivo riscaldamento di zone all'interno della camera dove si trovano le bobine superconduttrici.

Fonti di rischio Liquidi criogenici

Ustioni da freddo dovute all'elio. Possibili cause:

- Perdite nella sala magnete
- Emissioni della valvola di *quench*
- Tubo di scarico del gas di *quench*
- Procedura rabbocco elio

Asfissia, dovuta al gas prodotto dall'evaporazione del liquido criogenico che può ridurre la concentrazione di ossigeno nell'aria respirata

	Concentrazione di ossigeno	Effetto sull'uomo
Atmosfera terrestre	21 %	Nessun effetto
Atmosfera carente di ossigeno	< 18%	Diminuzione, anche non percepita dai soggetti coinvolti, delle facoltà psico-fisiche
	< 12 %	perdita dei sensi
	< 7 %	asfissia rapida

Proprietà dei gas criogeni

- Nocivi per la salute
- Inodori
- Ininfiammabili
- Non tossici
- L'elio è più leggero dell'aria
- Quando evaporano producono vapori freddi che diffondono nell'ambiente
- I vapori di elio si accumulano verso il soffitto
- A temperatura ambiente (20 °C) 1 litro di elio liquido produce approssimativamente 750 litri di elio gassoso

Liquidi e gas criogenici

Pericoli associati ai gas criogenici

- danni da gelo: schizzi sulla pelle causano danni simile a bruciature, gli occhi sono particolarmente vulnerabili;
- soffocamento: una concentrazione di $O_2 < 17 - 18 \%$ non è sufficiente alla respirazione umana;
- condensazione dell'ossigeno: la bassa temperatura del contenitore del criogeno liquido può provocare la condensazione di ossigeno o di aria arricchita di ossigeno, con rischi supplementare di incendio;



- **MONITOR DELL'OSSIGENO**
- **INDUMENTI PROTETTIVI** (guanti, occhiali, scarpe, tute) per gli operai addetti alle operazioni di rabbocco

Liquidi e gas criogenici Evaporazione e quench

- evaporazione in condizioni normali: sino a qualche centinaio di litri di gas criogenico all'ora

↳ **Sistema di ricambio d'aria sempre attivo**

- in caso di quench: si possono sviluppare in pochi minuti da 10^4 a 10^6 litri di gas a pressione atmosferica

↳ **Sistema di ricambio forzato d'aria attivabile manualmente ed automaticamente dal rivelatore di ossigeno**

Prevenzione di incendio

L'elio **non è combustibile**, tuttavia l'aria dell'ambiente condensa sui tubi freddi di collegamento determinando la formazione di ossigeno liquido con pericolose concentrazioni.

Occorre quindi evitare la formazione di scintille all'interno della sala magnete ed è rigorosamente vietato fumare.

Molto importante che gli estintori dei locali Risonanza Magnetica siano in materiale diamagnetico



Rumore Acustico

Sala magnete



- **Vibrazioni e rumore** : l'impianto non deve produrre rumore che presenti un livello di pressione acustica di picco(L_p) superiore ai 140 dB riferita a 20 μ Pa in qualunque area accessibile al paziente (norma CEI EN 60601-2-33)

RACCOMANDAZIONI PER I PAZIENTI (ICNIRP del 2004)

Livello di pressione sonora ponderato A:

- > 80 dB_A vanno rese disponibili per il paziente protezioni acustiche passive
- > 85 dB_A i pazienti devono sempre indossare protezioni acustiche passive

RACCOMANDAZIONI PER GLI OPERATORI (ICNIRP del 2004)

Livello medio di pressione sonora ponderato A su 8 ore:

- > 85 dB_A gli operatori devono sempre indossare protezioni acustiche passive



Rischi per gli operatori dovuti a esposizione ai campi elettromagnetici

Fino all'anno 2004 i limiti ai quali potevano esporsi gli operatori erano riportati nel D. M. 2/8/1991, i limiti sul SAR riportati in precedenza sono estesi anche all'esposizione professionale.

Inoltre gli allegati 1 e 4 dello stesso decreto stabilivano di controllare l'esposizione dei lavoratori anche a campi magnetici statici, in particolare prescrivendo i seguenti limiti sulla durata massima dell'esposizione in funzione dell'intensità del campo B e della parte esposta

parte esposta	B [T]	durata massima dell'esposizione
corpo	2	15 min/giorno
	0.2	1 ora/giorno
arti	4	15 min/giorno
	2	1 ora/giorno

REGOLAMENTO INTERNO

E' necessario istituire un regolamento interno che tratti aspetti di sicurezza rivolti al personale, ai pazienti ed alle attività normalmente effettuate in un servizio di RM che sono riassunti nella tabella seguente

REGOLAMENTO INTERNO

- **Allegato A:** MISURE DI SICUREZZA PER I LAVORATORI
- **Allegato B:** MISURE DI SICUREZZA PER I PAZIENTI
- **Allegato C:** MISURE DI SICUREZZA PER IL PERSONALE DELLE PULIZIE
- **Allegato D:** MISURE DI SICUREZZA PER I VOLONTARI
- **Allegato E:** MISURE DI SICUREZZA PER I VISITATORI
- **Allegato F:** MISURE SPECIFICHE PER LE OPERAZIONI DI RABBOCCO DEI LIQUIDI CRIOGENICI E PER IL PERSONALE ADDETTO A TALE PROCEDURA
- **Allegato G:** QUESTIONARIO PRELIMINARE E ISTRUZIONI
- **Allegato H:** MISURE DI SICUREZZA RELATIVE AI FANTOCCI PER I CONTROLLI DI QUALITA'
- **Allegato I:** MISURE DI SICUREZZA IN EMERGENZA
- **Allegato L:** ESTRATTO PROCEDURE DI EMERGENZA – MAGGIORI RISCHI

Figure professionali responsabili della sicurezza in RM

Esperto responsabile della sicurezza

previsto dagli allegati n.3 e n.6. – punto 4-10 del D.M. 2/8/91 –

è la figura preposta per tutti gli aspetti tecnici legati alle problematiche tecnico-fisico di sicurezza.

Per questa figura è richiesto il diploma di laurea ed un curriculum professionale specifico, in base a quanto esplicitamente disposto dall'art.2 del D.M. 29/11/1985

Medico responsabile per la sicurezza

- previsto dagli allegati n.3 e n.6. – punto 4-10 del D.M. 2/8/91 –

figura strettamente legata a tutto ciò che riguarda le condizioni al contorno per l'effettuazione in sicurezza di un corretto esame diagnostico