

Italo Giudicianni - Alessandro Pezzella



Università degli Studi di Napoli "Federico II"

POLO TECNOLOGICO

la Risonanza Magnetica Nucleare

prevenzione e sicurezza



Centro Interdipartimentale di Metodologie Chimico-Fisiche



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"

POLO TECNOLOGICO

Centro Interdipartimentale di Metodologie Chimico-Fisiche

Italo Giudicianni, Alessandro Pezzella

Ia RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE
prevenzione e sicurezza

Alle mie nipotine Giuppy, Carlotta e Claudia Camilla

INDICE

Evoluzione ed osservazioni	pag. 5
Rischi derivanti dai gas criogenici	6
Primo soccorso	7
Tabelle e segnaletica	11

Sicurezza in Risonanza Magnetica Nucleare

Evoluzione ed osservazioni

Negli anni passati l'Università "Federico II" ha formato, con appositi corsi, un congruo numero di tecnici ed amministrativi con l'obiettivo di ridurre il rischio di incidenti ed infortuni e di proteggere le persone e l'ambiente, attraverso la conoscenza dei potenziali rischi connessi al luogo di lavoro. Questo paragrafo ha lo scopo di dare solo delle indicazioni di massima, senza pretendere di esaurire l'ampio e complesso argomento, sui rischi connessi alla frequentazione di laboratori in cui sono installati spettrometri di risonanza magnetica nucleare.

La normativa che consente l'uso degli spettrometri di RMN appare in Italia a metà degli anni ottanta e riguarda prevalentemente i tomografi per diagnostica medica (D.M. 29/11/85). Le apparecchiature vengono incluse nell'elenco dei presidi medici e sono assoggettate ad autorizzazione per quanto riguarda il commercio, l'installazione e l'uso, da parte del ministero della Sanità che richiede le seguenti indicazioni:

- a) tipologia dell'apparecchiatura
- b) descrizione del sito di installazione
- c) descrizione dei sistemi di schermatura sia del campo magnetico che della radiofrequenza
- d) descrizione della pianta planimetrica dei locali destinati alla apparecchiatura, alla strumentazione di controllo, alla preparazione del paziente, nonché alla descrizione dei limiti delle diverse aree di accesso controllato
- e) elenco di esperti in tecnologia della risonanza magnetica nucleare corredato, per ciascuno, di documentazione che dimostri specifica competenza (curricula, pubblicazioni, etc.)

Nel 1991 il nuovo decreto (D.M. 2/8/91) è più circostanziato per quanto riguarda gli standard di sicurezza riferiti al paziente ed all'operatore e fissa i criteri che prevedono dettagliate prescrizioni protezionistiche, tabelle, fac-simili di domande per eventuali controindicazioni e responsabilità per le varie professionalità coinvolte, nonché requisiti tecnici, idoneità edilizia e controllo di sicurezza per le apparecchiature di gruppo A e B come sotto riportato:

- a) disponibilità delle altre strumentazioni diagnostiche richieste
- b) prestazioni tecniche minime dell'impianto
- c) idoneità edilizia delle installazioni fisse
- d) zone ad accesso controllato e zone di rispetto
- e) segnaletica



- f) sito di installazione dell'apparecchiatura
- g) locale del magnete
- h) altri locali del sito
- i) locali ed aree adiacenti il sito RMN
- j) dispositivi di sicurezza
- k) idoneità di approntamento delle installazioni mobili
- l) controlli di sicurezza, elenco degli esperti e dei responsabili della sicurezza

L'evoluzione e la diffusa utilizzazione di questa metodica chimico fisica ha portato con il D.M. 3/8/93 ad un riaggiustamento del precedente decreto del 1991 secondo i seguenti criteri:

- a) per le apparecchiature di gruppo A (art. 3, con campi statici < 2 T) è richiesta una autorizzazione regionale
- b) per quelle settoriali, cosiddette dedicate (art. 2, con campo statico $< 0,5$ T) non è richiesta alcuna autorizzazione
- c) specifiche indicazioni e limiti di esposizione per i campi elettromagnetici a radiofrequenza e per i campi magnetici variabili – norme delle indicazioni riportate agli allegati 1 e 4 del D.M. 2/8/91 – riportati negli allegati A e B del decreto.
L'ultimo aggiornamento, in ordine di tempo, della normativa è quello relativo al DPR 542 dell'8/8/94 che disciplina il regime di autorizzazione per le apparecchiature soggette ad autorizzazione Regionale (fino a 2 T), o Ministeriale (oltre 2 T)
 - la definizione delle apparecchiature settoriali non soggette ad autorizzazione
 - la collocazione organizzativo-funzionale delle apparecchiature (adeguamento alla programmazione ed integrazione con strutture specialistiche radiodiagnostiche)
 - la determinazione degli standard di sicurezza (allegati 1 e 4 del D.M. 2/8/91)
 - la definizione degli organi di vigilanza e dei procedimenti di controllo (organi territoriali delle USL, Ministero della Sanità, ISS, ISPELS)
 - la abrogazione di norme (parti del D.M. 29/11/85, D.M. 2/8/91 e D.M. 3/8/93) |

Rischi derivanti dall'uso dei gas criogenici

L'uso dei gas azoto ed elio liquidi può costituire, se non vengono adottati opportuni provvedimenti, un rischio che può essere così valutato:

Proprietà dei gas criogenici

- a) nocivi per la salute
- b) inodori
- c) ininfiammabili
- d) non tossici
- e) l'elio è più leggero dell'aria

- f) entrambi, evaporando, diffondono vapori freddi nell'ambiente
- g) i vapori di azoto vanno rapidamente verso il pavimento
- h) i vapori di elio si accumulano invece verso il soffitto
- i) a temperatura ambiente un litro di He liquido produce circa 750 litri di elio gas
- j) a temperatura ambiente un litro di N₂ liquido produce circa 700 litri di azoto gas

Danni associati ai gas criogenici

- a) *danni da gelo* (schizzi sulla pelle provocano ustioni; gli occhi sono particolarmente vulnerabili)
- b) *soffocamento* (concentrazione di O₂ nell'aria < 17-18% non è sufficiente alla respirazione umana)
- c) *condensazione* dell'ossigeno, in fase di rabbocco di elio liquido, può rappresentare un serio rischio di incendio.

La perfetta messa in sicurezza dell'impianto deve prevedere il controllo costante della concentrazione di O₂ nell'aria e la disponibilità di adeguate protezioni (guanti, maschera per il viso e per gli occhi, scarpe di sicurezza non magnetiche, in mancanza delle quali è necessario proteggere i piedi con opportune ghette) per coloro che sono addetti al rabbocco dei gas liquidi. Inoltre, porte antipanico che diano direttamente all'esterno sono raccomandate per consentire una veloce evacuazione in caso di quench di magneti.

Considerazioni generali

Poiché i sensi umani non rilevano la ipoossigenazione, un individuo che respira atmosfera contenente percentuali basse di ossigeno, generalmente non si accorge del pericolo. L'insorgere di sintomi come sonnolenza, affaticamento, perdita di coordinazione, errori di valutazione e confusione possono essere mascherati da uno stato di "euforia" che induce un falso senso di sicurezza e di benessere. In generale lo stato di anossia può portare ad una attenuazione di attenzione, ad una deformazione del giudizio ed in tempi veramente brevi a lesioni del cervello. Con una concentrazione di ossigeno del 12%, perdita di conoscenza e decesso sopravvengono senza alcun preavviso o sensazione di allarme.

Primo soccorso

In caso di infortunio per esposizione al freddo dei gas:

- a) lavare le parti colpite con abbondante acqua tiepida
- b) non esporre a calore diretto

Nel caso di sintomi da congelamento, lesioni e danni agli occhi, trasportare subito l'infortunato al pronto soccorso, curando di proteggere le parti colpite con un indumento soffice, asciutto e pulito. Mantenere il paziente al caldo ed in riposo, evitando di somministrare bevande alcoliche.



In caso di asfissia:

- a) l'infortunato deve essere trasportato in un ambiente ad atmosfera normale
- b) il personale che interviene in soccorso in un ambiente con scarsità di O_2 deve munirsi di autospiratore od, in mancanza di mezzi, agire velocemente in apnea
- c) nel caso di arresto respiratorio è indispensabile praticare la respirazione artificiale e chiamare subito un medico.

Quench e boil-off

- a) il *quench* è provocato dal riscaldamento della bobina superconduttrice immersa in elio liquido all'interno del magnete
- b) i normali superconduttori hanno una fisiologica perdita di gas che si accumula nell'ambiente (boil-off)
- c) durante il quench si possono sviluppare repentinamente migliaia di litri di gas a pressione atmosferica
- d) un quench si verifica quando l'elio liquido non ricopre sufficientemente la bobina o quando essa stessa, per malfunzionamento, produce calore dovuto all'effetto Jaule.

Sia il quench che il boil-off richiedono un adeguato monitoraggio della concentrazione di O_2 nell'aria nonché il ricambio normale di 10 ricambi/ora e di 20 ricambi/ora in condizione di aspirazione forzata nel locale dello spettrometro. E' di obbligo quindi il condizionamento ed un sistema di evacuazione dei criogeni

Vibrazioni e rumore

Il rumore prodotto dalle apparecchiature non deve superare la soglia di pressione acustica di picco (Lp) superiore a 140 dB riferita a 20 μ Pa in qualunque area accessibile.

Norme di sicurezza per le persone che hanno accesso ai siti di spettrometri NMR

- a. Il campo magnetico statico può interagire con bersagli paramagnetici, ferromagnetici e diamagnetici.
- b. Il campo magnetico variabile con il cuore e con il cervello ed, in generale, con tutti i tessuti conduttori,
- c. mentre le onde elettromagnetiche interagiscono con le molecole polari (acqua dei tessuti). Per tali motivi l'accesso ai locali degli spettrometri è interdetto a:
 - donne in stato di gravidanza
 - portatori di pacemaker
 - portatori di neurostimolatori
 - portatori di protesi metalliche in materiale ferromagnetico
 - portatori di qualsiasi altro dispositivo endocorporeo ad attivazione magnetica od elettrica.

E' obbligatorio depositare negli appositi armadietti, prima di accedere ai locali dei magneti:

l'orologio, schede telefoniche e carte magnetiche di qualsiasi genere (che verrebbero diversamente disattivate), chiavi, monete, spille, fibbie, in materiale ferromagnetico.

Rischi da onde a Rf

Un cabinet di un moderno spettrometro è immune da emissioni/interferenze esterne. Le frequenze degli spettrometri di ricerca, a differenza di quelli medicali, possono essere molto elevate (in quelli commerciali, fino a 900 MHz) ma di potenza relativamente modesta. Il cabinet, che è sede anche dell'amplificatore, con la sua struttura di acciaio inox e con le chiusure protette da guarnizioni a rete, non consente fuoriuscita di radiazioni. I cavi interni sono completamente schermati e raggiungono l'esterno attraverso opportune vie sul pannello posteriore.

Tabella 1: Volumi per la messa a freddo iniziale e per rabbocchi di mantenimento di elio in litri

Magnete/diametro MHz/mm	Rifornimento iniziale lt	Rabbocco lt
200/54	200	150
200/54 LH235	300	300
200/54 LH365	300	300
200/89	300	200
300/54	200	150
300/54 LH235	300	300
300/54 LH365	300	300
300/89	300	200
400/54,400/89	300	300
400/54 LH365	300	300
400/89	300	300
500/51	400	300
500/89	1000	600
600/51	1000	600
750/51	2000	1200
800/63	3000	1000



Tabella 2: Volumi per la messa a freddo iniziale e di mantenimento di azoto in litri

Magnete/diametro MHz/mm	Rifornimento iniziale lt
200/54	130
200/54 LH235	325
200/54 LH365	325
200/89	325
300/54	130
300/54 LH235	325
300/54 LH365	325
300/89	325
400/54,400/89	325
400/54 LH365	325
400/89	325
500/51	325
500/89	700
600/51	700
750/51	1500
800/63	2000

Tabella 3: Intensità di campo in prossimità di spettrometri

Magnete	Tesla	Distanza assiale dalla linea centrale del magnete in metri			Distanza radiale dalla linea centrale del magnete in metri		
		5-gauss	10-gauss	25-gauss	5-gauss	10-gauss	25-gauss
200/54	4.69	1.75	1.45	1.05	1.50	1.20	0.90
200/89	4.69	2.65	2.05	1.49	2.00	1.60	1.15
300/54	7.04	2.20	1.75	1.26	1.70	1.30	0.97
300/89	7.04	2.75	2.20	1.63	2.20	1.75	1.26
400/54	9.39	2.80	2.24	1.65	2.20	1.76	1.29
400/89	9.39	3.80	3.00	2.21	3.05	2.40	1.74
500/51	11.74	3.50	2.70	2.00	2.75	2.20	1.60
500/51 AS	11.74	1.85	1.4	1.30	0.90		
500/89	11.74	4.50	3.55	2.60	3.55	2.80	2.10
600/51	14.09	4.00	3.17	2.34	3.17	2.52	1.86

Segnalazioni di pericolo



Segnalazioni di divieto

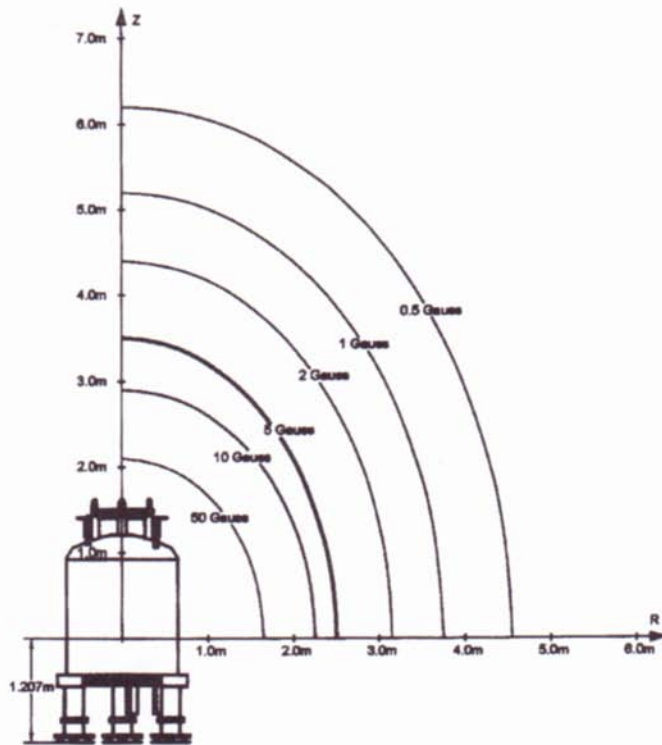


Segnalazioni di obbligo durante il rabbocco di criogeni

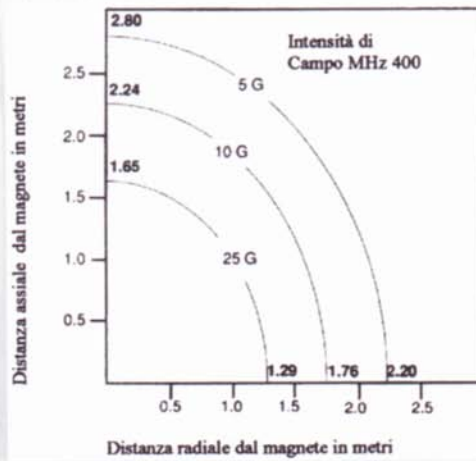
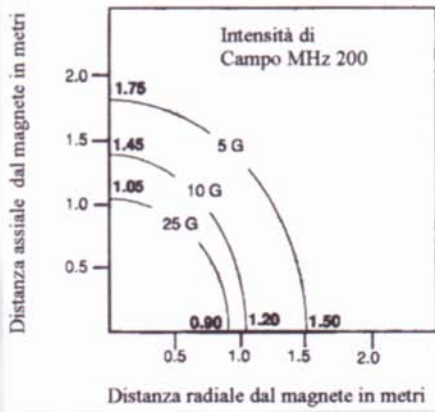


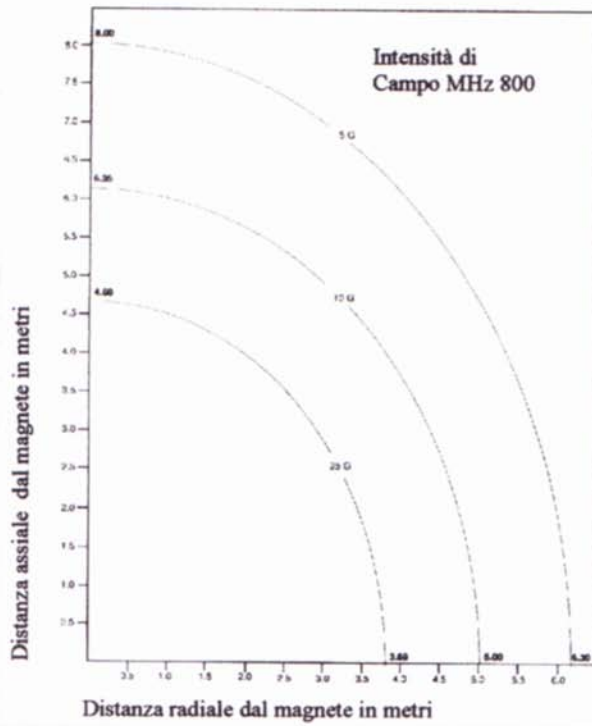
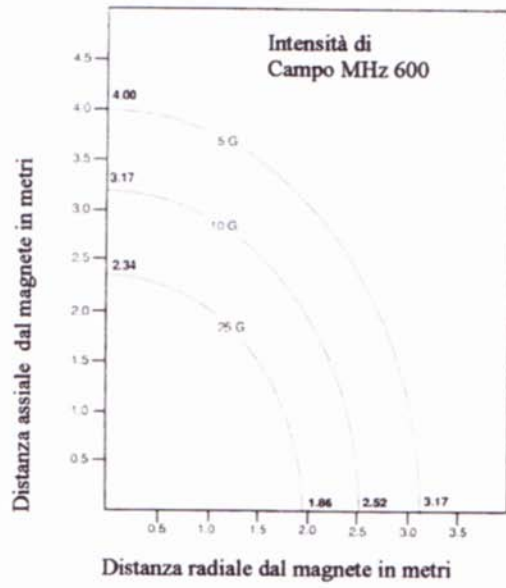


Linee isomagnetiche in prossimità di uno spettrometro NMR



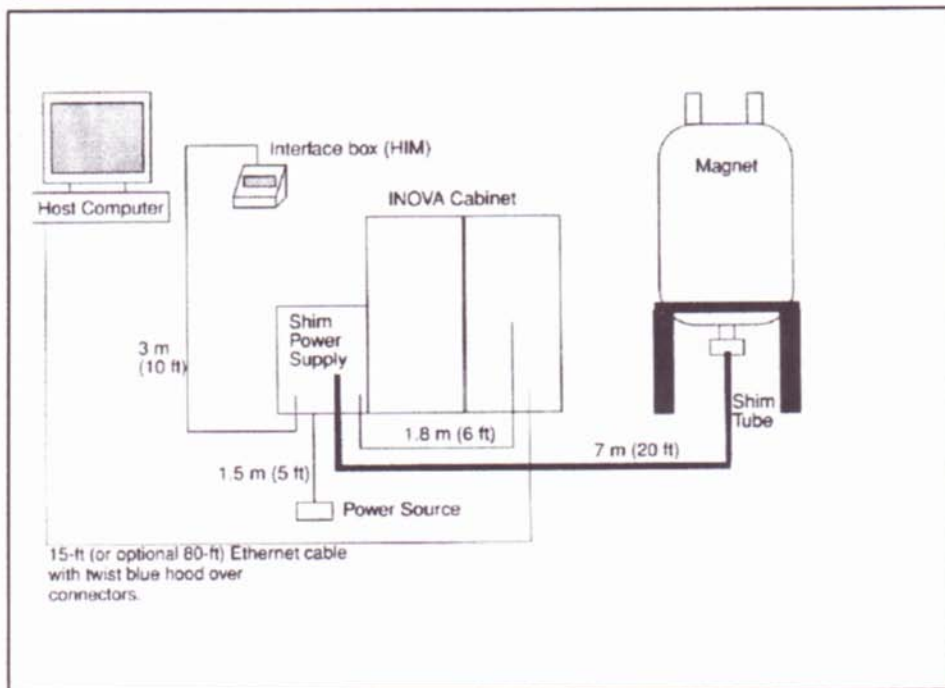
Linee isomagnetiche: Valori di campo magnetico in prossimità di spettrometri di varia potenza (200-400 MHz)







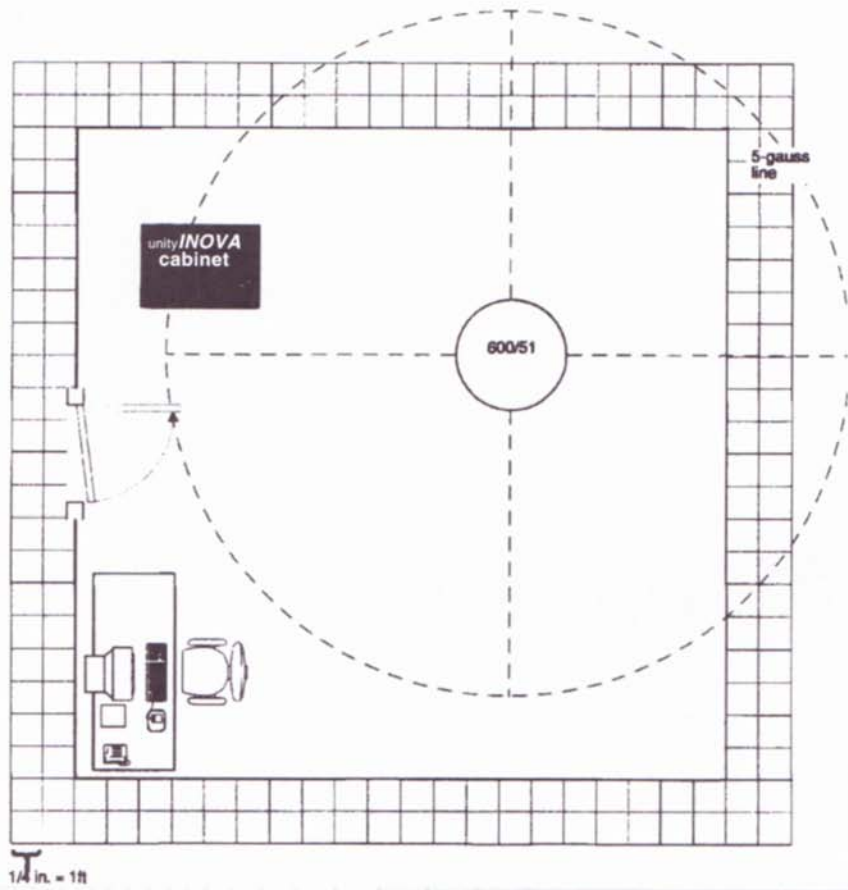
Schematizzazione sintetica di un sistema computerizzato di uno spettrometro



Schematizzazione sintetica di uno spettrometro con cryoprobe



Spazio minimo per uno spettrometro INOVA da 600 MHz



1/4 in. = 1 ft



Due spettrometri commerciali ad alto campo dell'ultima generazione



Spaccato di uno spettrometro 270 MHz

