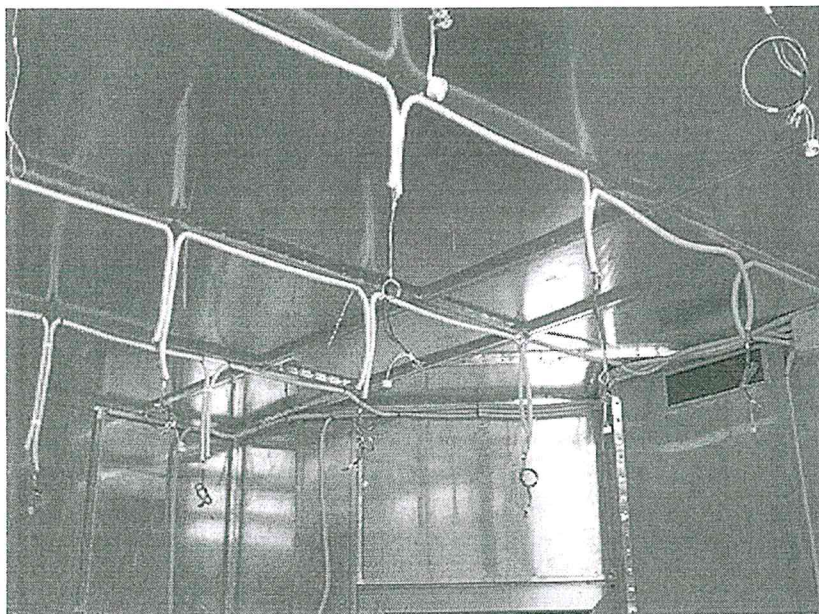


GABBIA DI FARADAY

Generalita'

Il funzionamento di un tomografo a risonanza magnetico-nucleare, infatti, è basato sul caratteristico fenomeno per cui i protoni immersi in un intenso campo magnetico emettono onde elettromagnetiche a frequenze stabilite, al venir meno di opportune emissioni radio.

Questa caratteristica, sfruttata per la ricostruzione tridimensionale degli organi interni



del corpo umano, determina la necessità di isolare tali apparecchiature dalle onde radio, ovvero dalle onde elettromagnetiche provenienti dall'esterno della Sala Esami, caratterizzate da una frequenza compresa tra 1 e 100 MHz. A tal scopo viene realizzata una gabbia di

Faraday; tale dispositivo non è altro che una superficie chiusa in materiale elettroconduttivo, che racchiude l'intero volume della Sala Esami RMN.

In particolare, in questo documento si procederà con la descrizione di un sistema di schermature, di cui la principale componente è una gabbia di Faraday modello ALU-MED specificamente progettata e fornita in opera dalla "Ignazio Alì s.p.a." ed una schermatura magnetostatica mod. SIL-MOD.

Fra le tipologie più utilizzate nel settore medico sono quelle in alluminio e in acciaio ferromagnetico. Queste costituiscono l'evoluzione più recente delle gabbie di Faraday ad uso medico, perché uniscono i vantaggi nel montaggio rapido dei pannelli autoportanti imbullonati ad alto spessore in alluminio, o acciaio (alto rispetto alle vecchie gabbie in legno e rame) ai vantaggi nell'attenuazione alle frequenze più

basse (prevalenza di campo magnetico). Le gabbie di Faraday in alluminio, o acciaio, inoltre, non prevedono l'uso di legname di supporto, perché sono autoportanti.

Con l'eliminazione del legname di supporto, si riducono in modo sostanziale i materiali non ignifughi, migliorando la sicurezza in caso di incendio, (i laminati di finitura delle pareti sono sempre di classe 1 di resistenza all'incendio, ma difficilmente lo sono i profili di sostegno della struttura generale della gabbia), al contrario delle gabbie di Faraday in acciaio, o in alluminio, che sono di classe 0 di resistenza al fuoco.

Per quanto riguarda, poi, le gabbie di Faraday realizzate mediante pannelli edili in rame e poliuretano ad alta densità, fornite da taluni costruttori, le nuove gabbie metalliche imbullonate in acciaio, o alluminio, non hanno bisogno delle relative onerose saldobrasature in stagno-piombo nelle giunzioni, peraltro ormai bandite dalle recenti direttive (Rohs-2002/95/EC), che inibiscono l'utilizzo del piombo e di altri metalli nocivi, in componenti e/o procedure di fabbricazione.

Infine, si fornirebbe una gabbia modello ALU MED in alluminio, anziché una modello STEEL MOD in acciaio, in quanto quest'ultima è prevista dalle specifiche Siemens espressamente per i tomografi a risonanza magnetica a basso campo (fino a 0,5 Tesla) per il prevalere della componente magnetica.

Caratteristiche costruttive della gabbia di Faraday

Una camera schermata a Radio Frequenza opera, come si è detto, abbassando l'intensità delle interferenze radio al di sotto di una soglia; tale soglia è definita dalle specifiche di macchina del tomografo RMN. Nel caso in oggetto, l'attenuazione delle onde radio, provenienti dall'esterno della sala esami, avrà un valore di 90-100 dB.

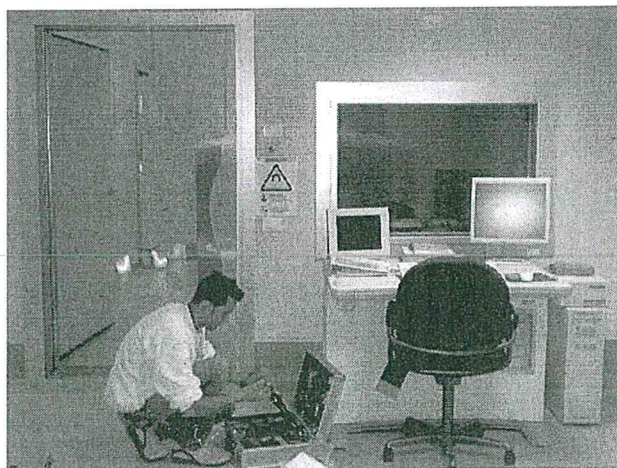
La camera modello ALU-MED da installarsi, è una gabbia di Faraday modulare, realizzata in lamine d'alluminio giuntate meccanicamente.

Tali lamine consentono di unire ottima resistività elettrica ad altrettanto buone caratteristiche meccaniche, per realizzare il più semplice ed efficace pannello

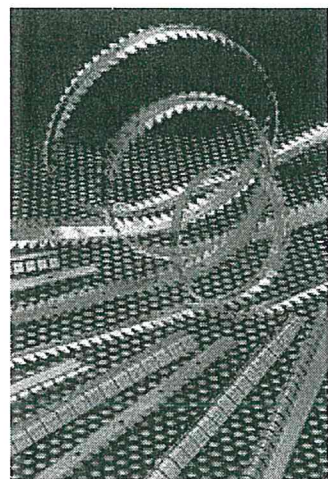
autoportante e la minore suscettibilità ai fenomeni di corrosione, di fessurazione per invecchiamento, di deformazione per assorbimento di umidità e di deterioramento dell'efficacia schermante.

Il notevole spessore dei pannelli (2 mm), assicura una eccellente conducibilità elettrica, anche usando come termine di paragone le usuali lamine di rame elettrolitico, spesse da 4 a 20 volte meno e sistematicamente vincolate a pannelli compositi.

La gabbia di Faraday così realizzata, è



smontabile e riutilizzabile per oltre l'80%, potendosi recuperare, in caso di spostamento o riutilizzo, l'intera struttura metallica, ad eccezione delle guarnizioni schermanti e della bulloneria.



La messa in opera è rapidissima e le operazioni tali, da escludere tutte le possibilità d'incidente connesse all'utilizzo di saldatori e leghe saldanti a base di composti tossici.

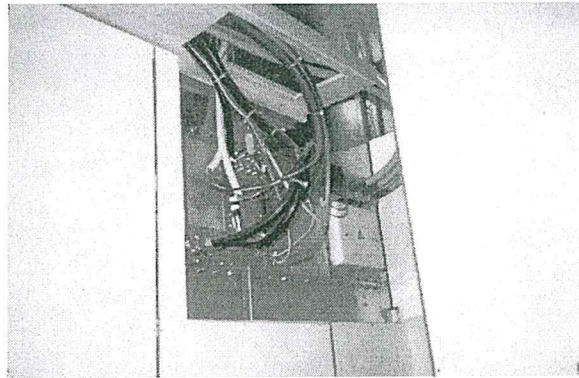
L'efficacia schermante dei giunti meccanici è assicurata da moderne e performanti guarnizioni metalliche (SCF) con il

core in ferrite, la copertura in rame e il successivo trattamento anticorrosione in stagno.

Queste guarnizioni, offerte sugli schermi MRI, eliminano i problemi di fessurazione, caratteristici delle schermature in rame a pannelli autoportanti, giuntate con le consuete leghe stagno-piombo e sottoposte ai cicli di pressione/depressione, caratteristici di tutte le camere con tomografi MRI, per l'effetto combinato delle operazioni di apertura/chiusura delle porte e le oscillazioni di flusso a bassa frequenza dei sistemi di ventilazione e climatizzazione.

L'adozione di materiali vicini nella scala di compatibilità elettrochimica offre, inoltre, un'eccellente resistenza alla corrosione.

Il sistema "ALU-MED", infine, consente di evitare anche le oscillazioni di campo magnetico a bassa frequenza, caratteristiche degli schermi in ferro zincato a basso



spessore, adoperati con tomografi a bassa intensità del campo magnetico.

Le componenti principali

Per un'efficace attenuazione delle onde elettromagnetiche interferenti di frequenza compresa fra 1 e 100 MHz, la gabbia di Faraday da fornire consta di due principali componenti:

- uno schermo metallico tale, da garantire la continuità elettrica su tutta la superficie interna della struttura schermante;
- un adeguato impianto di messa a terra, che disperda i flussi di energia che investono lo schermo, mediante irraggiamento, o accoppiati a cavi elettrici e tubazioni, indispensabili per il collegamento delle apparecchiature ai servizi dell'ambiente esterno.

Inoltre, la gabbia è dotata di una porta schermata, di una finestra di osservazione, pure schermata, di filtri di rete, per l'utilizzo degli impianti complementari, di un pannello filtri per l'ingresso dei cavi di alimentazione elettrica, (alimentazione magneti, luci servizi, luci riserva, prese di servizio, ecc.) e di filtri di segnale (per la connessione tra sonda remota e monitor ossigeno).

Porta e finestra di osservazione

Notevole cura viene usata durante la progettazione e la successiva realizzazione di una camera schermata a radiofrequenza, quando ci si accinge a configurare le aperture e gli attraversamenti. Le aperture che caratterizzano la schermatura sono le seguenti:

- la porta schermata;
- la finestra schermata;
- le guide d'onda per le linee elettriche di alimentazione dei circuiti di potenza e di illuminazione ed eventualmente per quelle di segnale;
- le guide d'onda necessarie per assicurare la ventilazione dei locali schermati.

La schermatura mod. ALU-MED, da installarsi nella Sala Esami RMN, è equipaggiata con la più recente e moderna tipologia di porta schermata per ambienti MRI. Essa ha luce di 1,2 x 2,1 m ed è progettata e realizzata in modo da eliminare fessure e discontinuità tali, da pregiudicare le prestazioni, in termini di attenuazione della schermatura.

Si tratta di una porta realizzata in acciaio inossidabile, provvista di un doppio maniglione di sicurezza e di guarnizioni schermanti elastiche in rame-berillio.

L'abbattimento dell'interferenza radio è molto alto sia in campo elettrico, per la bassa resistenza elettrica realizzata, che in campo magnetico per la speciale configurazione geometrica, tale da massimizzare gli effetti dissipativi.

Tale porta è la migliore in commercio, fra quelle senza attuazione pneumatica, o elettromeccanica, (poco commercializzate in Europa). Essa realizza un elevato potere schermante, ha un peso contenuto, (cosa del tutto inconsueta fra le analoghe offerte in Italia) e, soprattutto, è caratterizzata da apertura e chiusura agevoli.

Essa non ha sistemi di chiusura a camme, né tenute perimetrali a labirinto, apribili solo grazie a sforzi consistenti e più soggette all'usura e ai danneggiamenti.

In definitiva, essa è del tutto simile ai normali infissi di una costruzione moderna e consente di avere un reparto più elegante, un traffico del personale più consistente e meno difficoltà nelle operazioni di apertura e chiusura. Le performance, in termini di attenuazione dell'onda radio si aggirano sui 90-100 dB.

La finestra schermata è realizzata con un telaio in pressopiegato d'acciaio inossidabile, su cui sono stese e

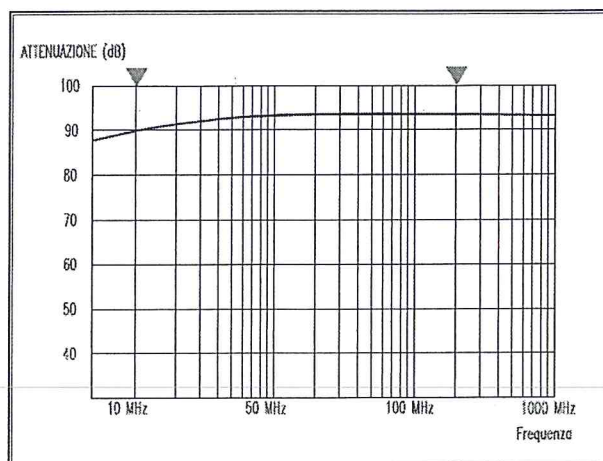


Diagramma semi logaritmico dell'attenuazione di un sistema schermante o di un filtro a radio frequenza. Le frequenze radio, sono appunto quelle delle onde elettromagnetiche fra 1 e 400 MHz.

saldobrasate due reti schermanti anch'esse in acciaio inossidabile, foro 0,8 mm, filo 1 mm. La finezza della rete, insieme alla colorazione nera, permettono di realizzare un'eccellente resa visiva e minimizzano i fenomeni di distorsione, caratteristici dei sistemi realizzati con reti conduttive eccessivamente larghe, allineate e non correttamente distanziate.

Il telaio in acciaio inossidabile è fissato ai pannelli della schermatura a radio frequenza con un giunto meccanico lineare a sovrapposizione, dotato di guarnizione schermante in SCF e bulloneria in acciaio INOX.

Sia dentro che fuori dello schermo, la finestra è dotata di un vetro, fissato perfettamente a filo sulle pareti, o sui rivestimenti delle stesse con opportuni coprifilo. Le dimensioni totali della finestra sono di 900 x 1500 mm.

Impianto di messa a terra

All'interno della camera schermata è installato un collettore di terra, al quale sono collegate tutte le apparecchiature elettriche ed elettroniche. L'impianto di messa a terra è completato con una corda in rame, collegata al pannello filtri della stanza schermata e al collettore di messa a terra generale. Il collegamento dello schermo con

l'impianto di messa a terra permette di convogliare, tramite conduttori di adeguata sezione, i flussi di energia verso l'impianto di messa a terra dell'intero reparto.

Particolare attenzione viene usata per realizzare gli accorgimenti, che garantiscono la continuità elettrica nelle zone, in cui sono montate la porta d'ingresso e la finestra di osservazione; tali accorgimenti sono indispensabili, infatti, per non compromettere l'integrità della schermatura a radio frequenza e la sua efficacia nel tempo.

Utenze schermate

Il passaggio dei cavi di alimentazione all'interno dello schermo avviene attraverso opportuni filtri elettrici, collaudati in conformità alle Normative MIL - STD - 220 A.

Tali filtri elettrici, installati all'esterno della camera schermata, su un apposito pannello di penetrazione, sono caratterizzati da una perdita di inserzione pari a circa 90-100 db da 1 a 100 MHz.

La ventilazione del volume interno alla camera schermata è assicurata mediante opportune guide d'onda. Tali guide sono giuntate meccanicamente alle pareti dello schermo mediante bulloneria in acciaio inossidabile e speciali guarnizioni in maglia metallica nichelata, per garantire la perfetta conducibilità elettrica; esse hanno le dimensioni di 200 x 600 mm, per determinare, in regime di 10 ricambi/ora, una bassa rumorosità dell'aria nelle canalizzazioni dell'impianto di condizionamento e non recare, così, disturbo al paziente sottoposto ad esame radiologico.

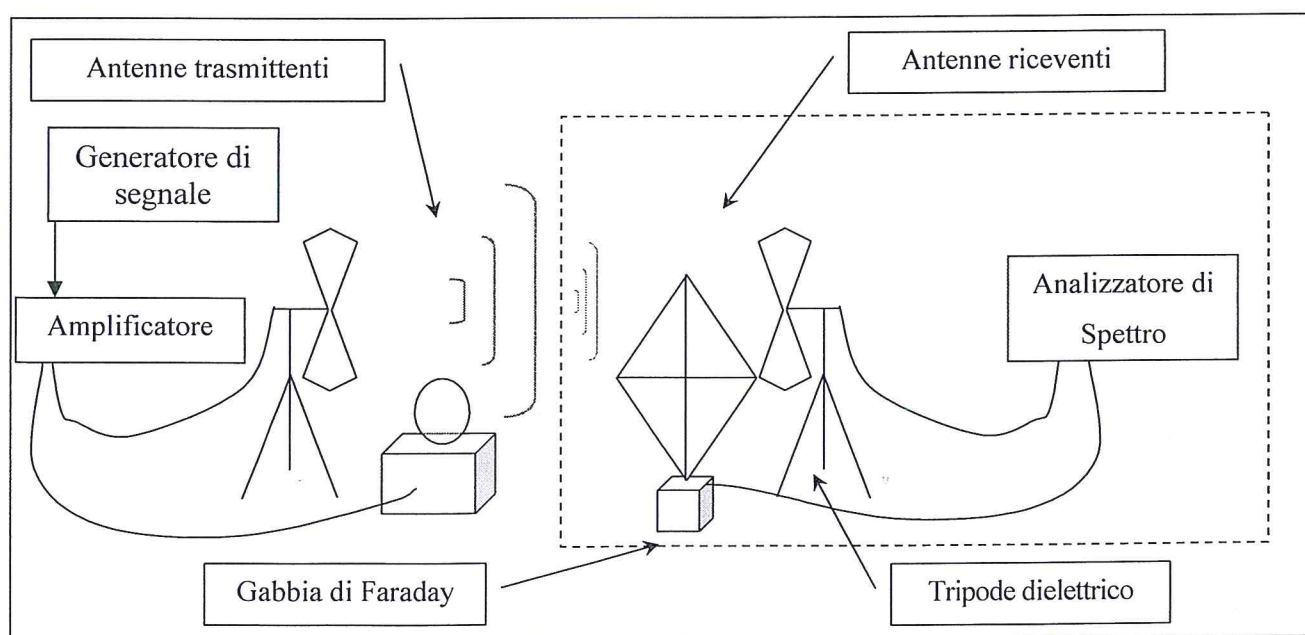
Il collaudo della camera

Il collaudo della camera schermata viene realizzato da tecnici qualificati della "Ignazio Ali s.p.a.". Il sistema di prova consta solitamente di un generatore di segnale, un analizzatore di spettro, una antenna trasmittente ed una antenna ricevente. La verifica di efficienza della schermatura viene effettuata in corrispondenza dei seguenti punti:

- porta schermata;
- pannello di penetrazione;
- finestra schermata.

Le modalità di collaudo sono ispirate alla norma di riferimento MIL STD 285: "Method of Attenuation measurements for enclosures, electromagnetic shielding for electronic test purposes" o alla IEEE 299 "Standard method for measuring the effectiveness of electromagnetic shielding enclosures".

Le apparecchiature utilizzate sono in programma di taratura secondo UNI EN 45001 e hanno caratteristiche tali da verificare che l'attenuazione della camera sia migliore, o uguale a quella prevista nelle specifiche delle case costruttrici delle apparecchiature



medicali confinate. Qui di seguito è riportato lo schema a blocchi del sistema di misura dell'attenuazione RF.

Impianto di evacuazione gas He

La tubazione destinata alla evacuazione del gas elio, utilizzato per il raffreddamento degli avvolgimenti dell'elettromagnete del tomografo SIEMENS MAGNETOM ESSENZA 1,5 Tesla verrà realizzata con tubi di acciaio Inox AISI 316. Appena al di fuori della sala esami, sulla tubazione, viene interposto un giunto isolatore in teflon adeguatamente flangiato, in modo da tenere elettricamente isolata l'intera gabbia di Faraday dal resto della struttura.

La tubazione, uscita dalla Sala Esami, sale per tutta la fiancata della costruzione che ospita il reparto RMN fin sul terrazzo, per finire con un terminale speciale a fungo, provvisto di deflettore di flusso e rete antiuccello, realizzato su specifica Siemens.

Tutti gli elementi sono collegati tra di loro mediante saldatura ad arco eseguita a regola d'arte, senza soluzioni di continuità.

Monitor ossigeno

Un'apparecchiatura che effettui il monitoraggio continuo della percentuale d'ossigeno in un ambiente è indicata in quelle situazioni, in cui il gas utilizzato non è di per sé pericoloso, ma potrebbe divenirlo, se sostituisse l'ossigeno.

Esempi di quanto detto si verificano negli stoccaggi di CO₂, N₂, Freon, solventi non esplosivi, come pure in ambienti come quello in cui si installa un tomografo RMN con solenoidi super-conduttivi, per la possibilità di fughe del gas criogeno (He).

Nella tabella sottostante sono riportati gli effetti sull'uomo dell'esposizione all'aria in ambienti carenti di ossigeno.

Il Monitor SURECO visualizza costantemente su un display digitale la percentuale di ossigeno presente nell'ambiente e, in caso di calo della stessa, dispone di due uscite relè libere da tensione per un allarme sonoro e luminoso, che si attiva al 19% di ossigeno e determinano l'avvio del lavaggio della sala esami RMN a 20 volumi per ora. Le caratteristiche del suddetto monitor, il cui sensore elettrochimico remoto,

della durata di 12-14 mesi, sarà installato in stretta prossimità del magnete mediante doppia linea filtrata RF, sono illustrate sul manuale di macchina, fornito dal costruttore e fornito in copia al

Percentuale di O ₂ in aria	Effetti sull'uomo
21%	normali condizioni di vita
18%	limiti di sicurezza
16%	mal di testa e nausea in pochi minuti
12%	stordimento generale
10%	perdita di coscienza
8 %	decesso in pochi istanti

collaudo della gabbia di Faraday, e del relativo certificato di taratura.

Il pavimento della Sala Esami

La pavimentazione della sala esami RM viene realizzata in teli, o piastrelle di 60 x 60 cm in vinile elettroconduttivo, previa fresatura dei giunti e saldatura a caldo del cordolo nelle giunzioni; essa, inoltre, è giuntata ad un battiscopa alto circa 10 cm in lega d'alluminio.

La pavimentazione è incollata su uno stato di legno mediodenso autoestinguente di classe 1, facente parte del sistema di protezione meccanica dei giunti dei pannelli schermanti del pavimento.

Il rivestimento delle pareti

Le pareti della sala esami RM sono rivestite con pannelli ignifughi in truciolare nobilitato, oppure in medio denso e laminato plastico di colore chiaro, che costituiscono lo strato a vista del rivestimento.

Questo tipo di finitura delle pareti viene adottato, per agevolare successive rimozioni del rivestimento, in vista di modifiche, riparazioni, nuovi impianti, o adeguamenti a

norma, senza intaccare l'integrità e la funzionalità dello schermo, con costi contenuti e in tempi brevi.

I pannelli di rivestimento sono ancorati alla schermatura mediante listelli in legno e supporti di alluminio; tra le giunzioni dei pannelli sono interposti profili in alluminio ad omega con coprifilo in gomma, o in legno lucido dello spessore di 5 mm.

Il controsoffitto

Il controsoffitto, contenente gli impianti necessari al funzionamento del sistema RM, costituito da doghe, o quadrotti in alluminio smaltato, o anodizzato, sorretti da un'orditura metallica. Su indicazione del Committente, possono essere montati anche controsoffitti a quadrotti in cartongesso, o fibra minerale. Il controsoffitto nasconde le canalizzazioni in alluminio, o in PVC, per la diffusione dell'aria condizionata e alloggia agli anemostati in materiale termoplastico con i quali si può regolare la velocità e la direzione del flusso ventilante. Sempre al di sopra del controsoffitto, si alloggiano le guaine ignifughe dei conduttori elettrici per l'alimentazione dei punti luce.

La sospensione del controsoffitto è realizzata mediante pendini sostenuti da elementi ancoranti opportunamente alloggiati, con possibilità di regolazione in altezza, attraverso appropriate mollette. La quota di montaggio del controsoffitto è usualmente di 2,70 m dal livello del pavimento.

Il campo magnetico

Il campo magnetico generato da un tomografo a risonanza magnetico-nucleare è disolito estremamente intenso e tale, quindi, da influire su dispositivi quali pace-maker, pompe d'insulina et cetera, determinandone il malfunzionamento, oppure agisce esercitando forze, o momenti torcenti, che orientano, o accelerano oggetti ferromagnetici come chiodi ossei, clips intracraniche aut similia, con conseguenze che possono essere estremamente gravi.

Per questo motivo, norme specifiche sul confinamento dei campi magnetici intensi forniscono precise istruzioni a riguardo; in particolare, prescrivono il contenimento della linea dei 5 Gauss di densità di flusso di campo magnetico entro il volume ad accesso controllato di un reparto RMN e consigliano il contenimento di quella da 1 Gauss entro il volume del presidio ospedaliero.

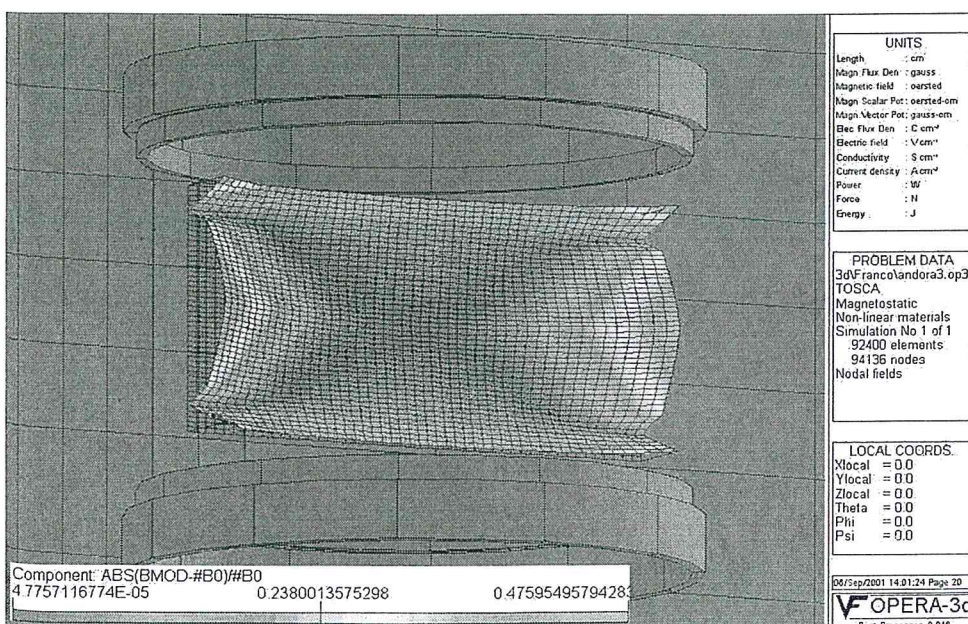
In questa sede si illustra il confinamento realizzato da uno schermo magneto-statico parziale, per contenere il campo magnetico generato dal magnete del tomografo RMN Magnetom Essenza da 1,5 Tesla della Siemens, secondo quanto prescritto dalla normativa vigente (D.M.S. 2/8/1991 num. 51 e successivi aggiornamenti).

Il campo magnetico libero e quello determinato dallo schermo SIL-MOD

Il campo magnetico generato dal tomografo della Siemens è quello riportato nella pianta in figura (dall'interno, verso l'esterno della Sala Esami sono tracciate le linee

da 10, 5, 3 e 1 Gauss).

La conoscenza delle suddette “linee isomagnetiche”, ovvero delle linee lungo cui è costante la densità di flusso di campo



magnetico, relativo al campo indisturbato, ha consentito il dimensionamento dello schermo magnetostatico da fornire.

Nel caso in questione, il campo magnetico è stato limitato lateralmente con le pareti confinati con i locali cucina, inferiormente e superiormente, per limitare i valori di densità di flusso di campo magnetico al di fuori del reparto, come indicato dalla legislazione.

Per limitare il peso del materiale ferromagnetico schermante, la "Ignazio Ali s.p.a." ha scelto di utilizzare un acciaio magnetico ad alta permeabilità, riuscendo, così, a limitare a circa 2 tonnellate il peso dello stesso (incluso il telaio metallico di supporto).

L'interazione dello schermo magnetostatico col campo magnetico generato dalle spire superconduttive del magnete da 1,5 Tesla è stata determinata mediante un solutore elettromagnetico agli elementi finiti della Vector Fields. In questo scritto si riportano la pianta del campo magnetico libero, che è assial-simmetrico, così come risulta dai calcoli di avvanprogetto effettuati.



Ing. Musmarra Paolo