



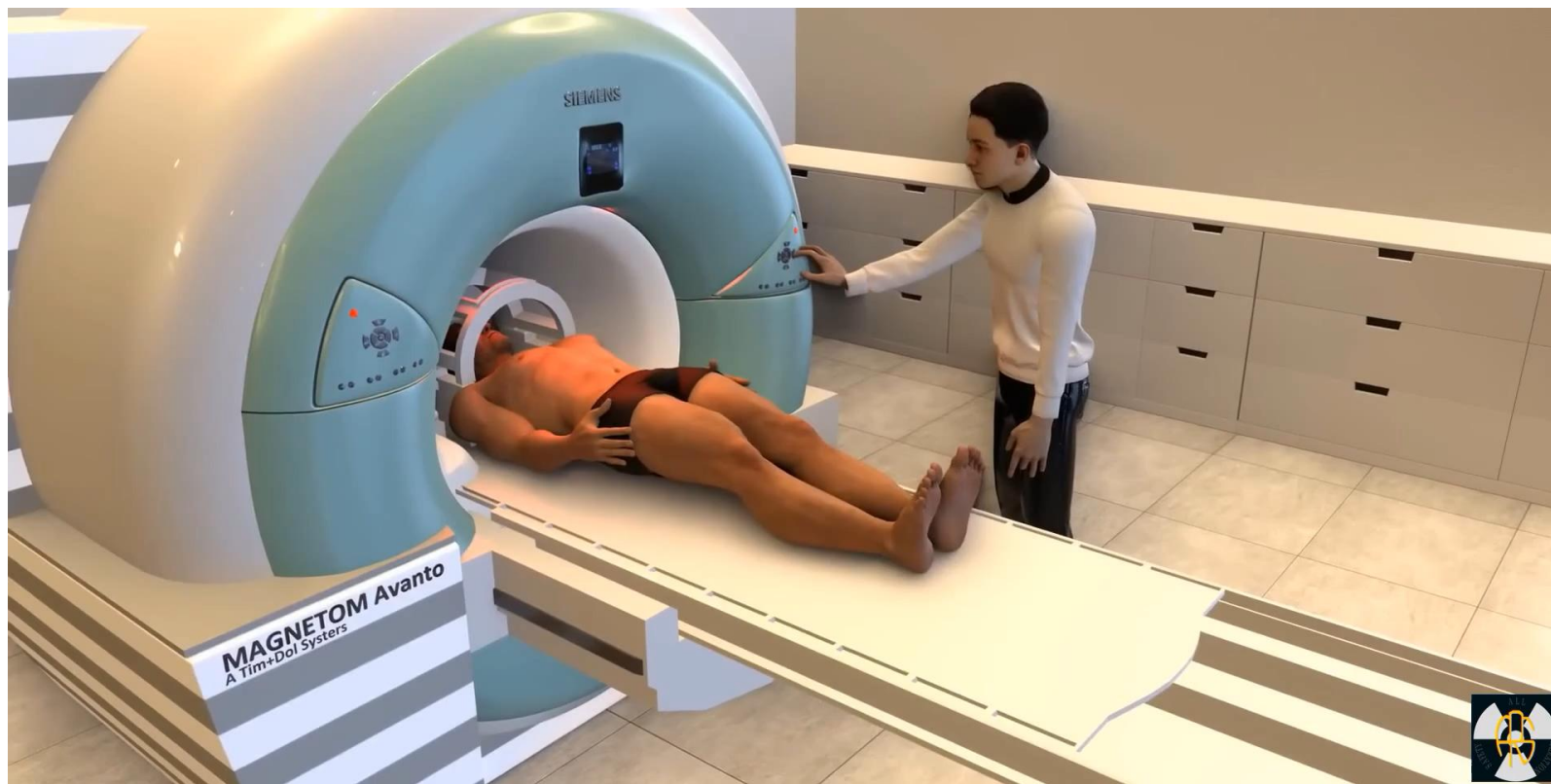
Gestione del Cantiere, Installazione e Verifiche Periodiche di una Risonanza Magnetica

***Le Verifiche Periodiche da effettuare
sulla Risonanza Magnetica
PARTE 2***

Ing. Fabrizio Delia
Libero professionista
Esperto Responsabile di Risonanza Magnetica

Roma, 24 ottobre 2025

Funzionamento RM



CABINA SCHERMATA A COSA SERVE?

I sistemi schermanti sono indispensabili per il funzionamento delle RMN in quanto creano all'interno della sala una zona di quiete elettromagnetica che permette la piena funzionalità dell'apparecchiatura oltre a contenere, all'interno della gabbia, la radiofrequenza emessa dai gradienti preservando quindi il personale dei locali limitrofi.

Servono quindi a ridurre i disturbi esterni nella frequenza di interesse. Tali disturbi sono provocati dagli armadi dei gradienti, o da altri disturbi esterni nella frequenza di interesse (luci, stampanti etc.)

Viene quindi realizzata una gabbia di Faraday mediante materiali conduttivi su tutte le superfici della sala. Tale sala sarà isolata elettricamente rispetto all'esterno e collegata a terra in unico punto.



CABINA SCHERMATA IN RAME



La cabina in rame è costituita da fogli di rame dello spessore di 0,1-0,2 mm supportati da un telaio in legno, i pannelli sono fissati tra loro a mezzo di viti. Nelle superfici di giuntura viene posto un nastro di rame adesivo conduttivo.

CABINA SCHERMATA IN PANNELLI SANDWICH



La cabina in Pannelli sandwich è costituita da pannelli a doppio strato metallico di cui uno strato in rame con interposta una schiuma poliuretanic che garantisce la consistenza del pannello. Le superfici di contatto vengono saldate a stagno



CABINA SCHERMATA IN PANNELLI SANDWICH



Cabina in Pannelli sandwich con foglio interno in alluminio



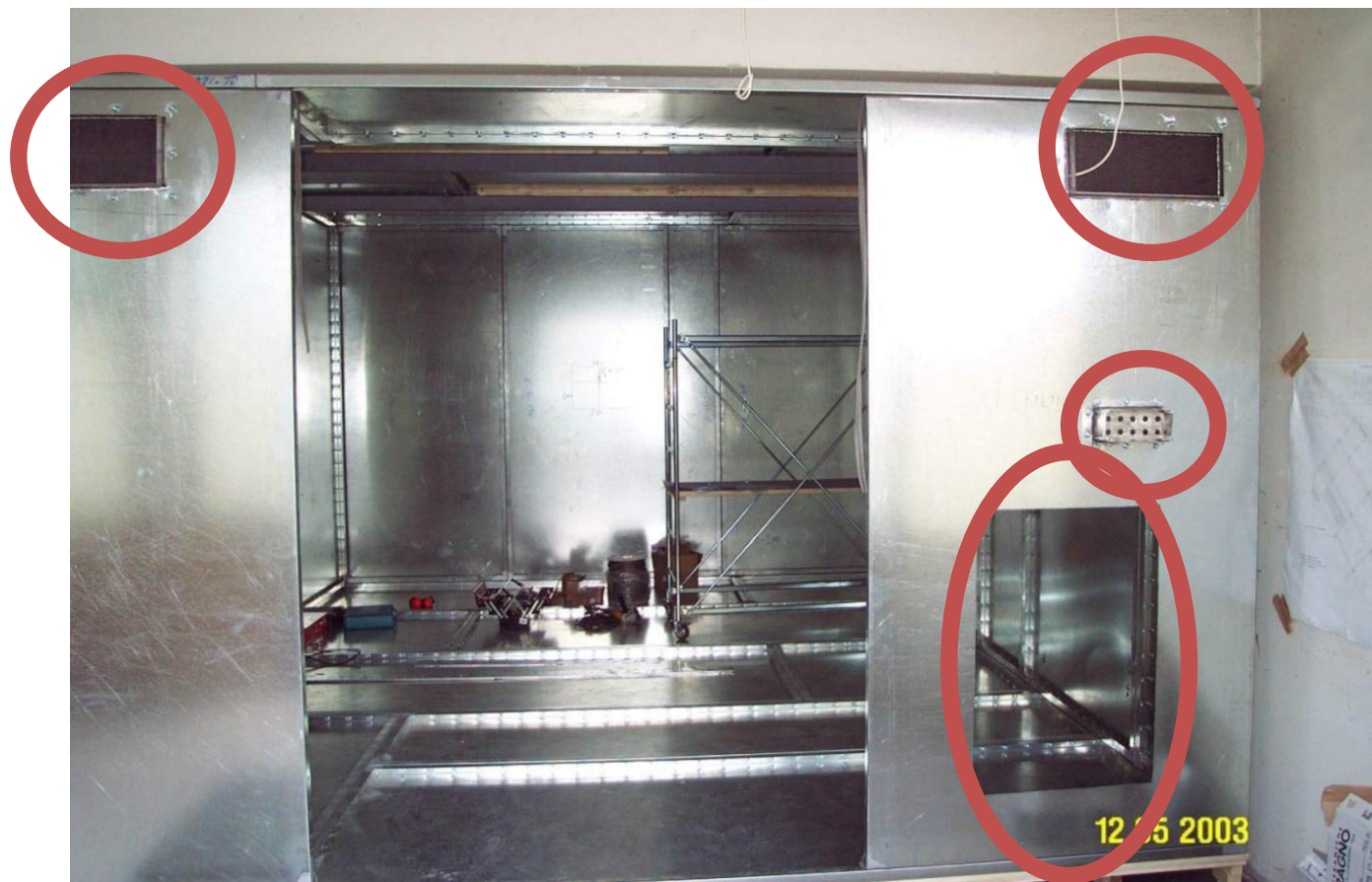
CABINA SCHERMATA IN PANNELLI DI ACCIAIO



La cabina in acciaio e' costituita da pannelli in acciaio dello spessore di 15-30/10 sagomati autoportanti serrati tra loro a mezzo di viti e dadi. Nelle superfici di giuntura viene posta una guarnizione metallica conduttiva.



CABINA SCHERMATA IN PANNELLI DI ACCIAIO



Particolare cabina in pannelli di acciaio con predisposizioni per montaggio «filter panel» del magnete, filtri a nido d'ape per condotte dell'aria e scatola filtri elettrici.

CABINA SCHERMATA IN PANNELLI DI ACCIAIO MICROFORATI



Le camere schermate in pannelli di acciaio microforato, vengono utilizzate per le RM a basso campo (generalmente fino a 0,4T) e presentano un attenuazione RF di circa 70/80 dB nel range di frequenza da 1 a 20 MHz

Camere schermate in pannelli di acciaio forato, realizzate a mezzo di pannelli metallici forati e uniti mediante viti e dadi o appositi sistemi di fissaggio. Non necessitano di visiva e di impianto di climatizzazione, in quanto presentano una discreta trasparenza e permettono la diffusione dell'aria all'interno della gabbia.

NOTA: devono essere garantiti comunque i 6÷8vol/h



Componenti speciali:

- **Porta**
- **Visiva**
- **Filtri Aria**
- **Guide d'onda (gas medicali, iniettore)**
- **Filtri elettrici**
- **Tubazione quench**

GABBIA DI FARADAY – FOROMETRIA - PORTE CABINA SCHERMATA

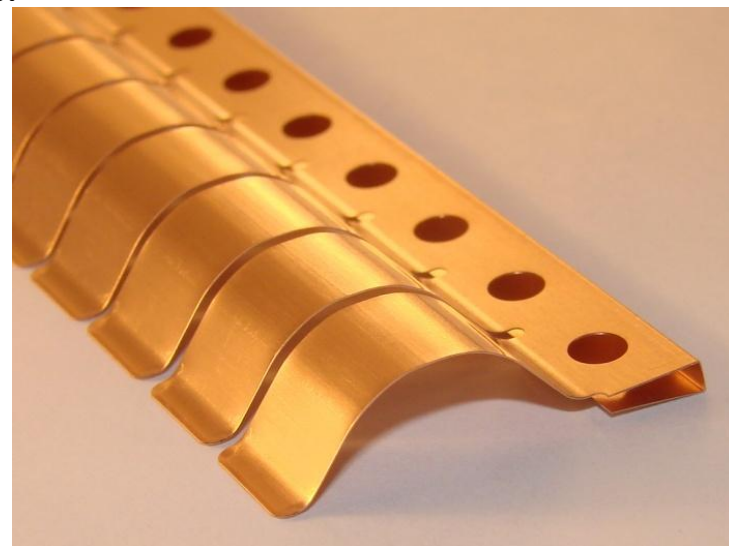
La porta è senza dubbio l'elemento più critico e più SOGGETTO AD USURA di una camera schermata, generalmente le porte sono del tipo ad anta, ma possono essere anche del tipo scorrevole.

Per garantire la continuità elettrica tra telaio ed anta vengono utilizzati dei contatti striscianti in rame/berillio «finger» che a seconda delle tipologie di porta possono essere montati sull'anta o sul telaio.

Per una corretta manutenzione della porta è importante che i «finger» possano essere sostituiti facilmente in quanto sono soggetti ad usura e vanno quindi sostituiti periodicamente.

Le porte sono di 2 tipi, manuale e automatica.

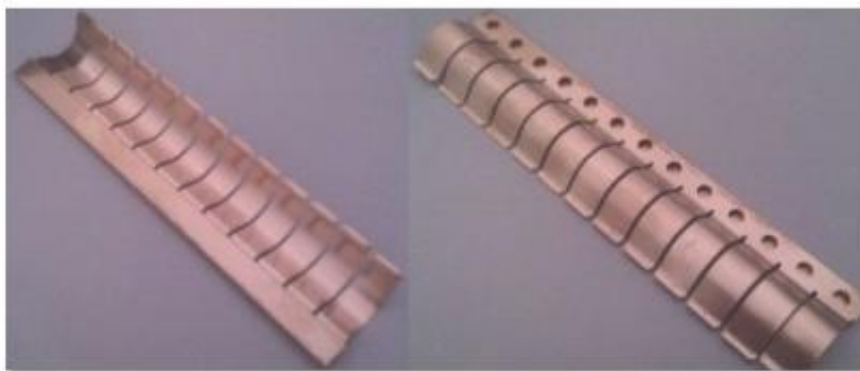
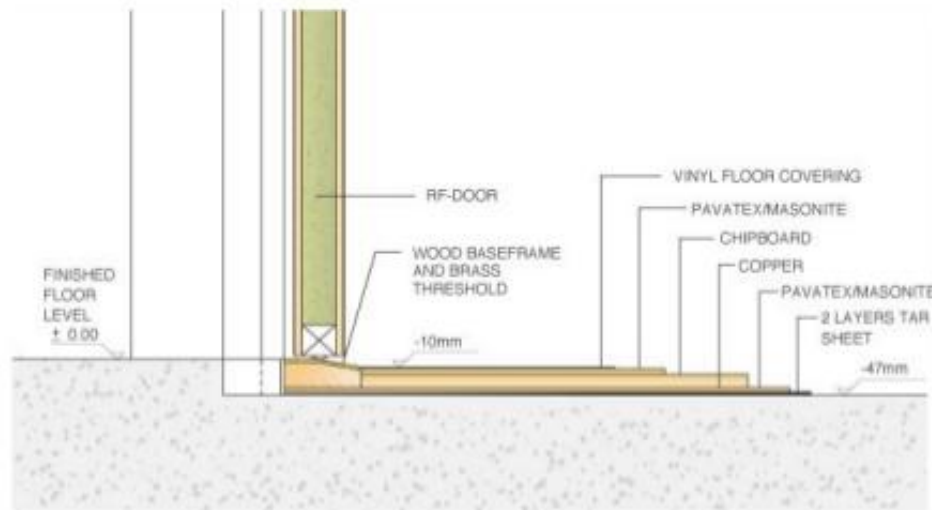
- Manuale: ad apertura a pressione o con maniglia
- Automatica: ad apertura con prossimità (mano o maniglia tramite sistema a pressione).



Sistemi di schermatura



Porta



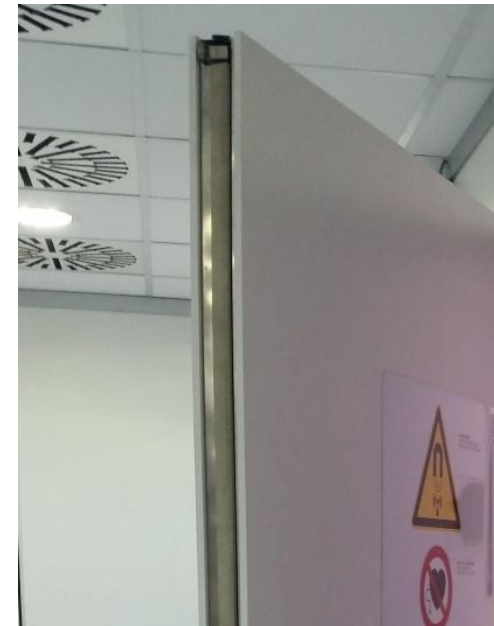
Fingers

Immagini tratte dal sito IMEDCO



GABBIA DI FARADAY – TIPOLOGIE DI PORTE

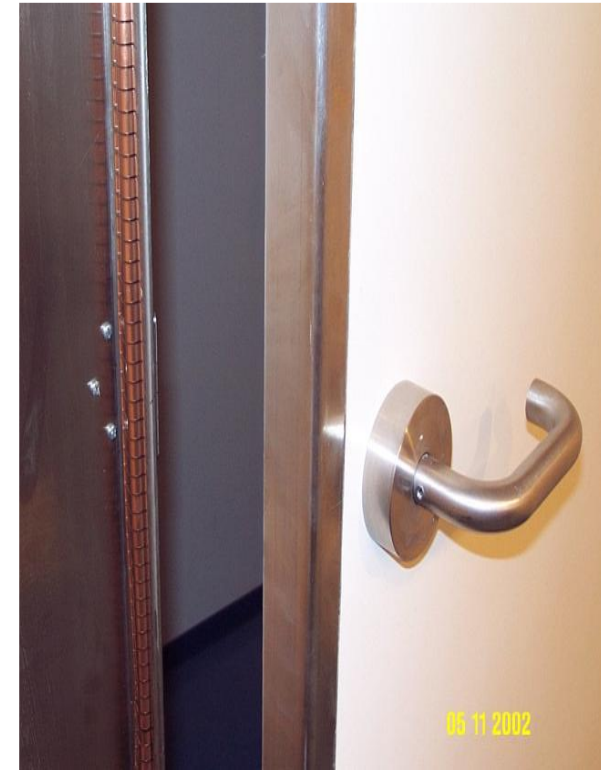
PORTE AUTOMATICHE





GABBIA DI FARADAY – TIPOLOGIE DI PORTE

PORTE MANUALI





GABBIA DI FARADAY – FOROMETRIE

VISIVA CABINA SCHERMATA



Le visive sono generalmente realizzate mediante una doppia maglia di rame incrociata e brunita, supportata su di un telaio e racchiusa tra due vetri. La visiva viene fissata alla camera schermata per garantire la continuità elettrica.



GUIDE D'ONDA CABINA SCHERMATA



Le guide d'onda sono utilizzate principalmente per il passaggio dei gas medicali e per il passaggio dei comandi dell'iniettore. Le dimensioni delle guide d'onda, per impedire il passaggio di radiofrequenza, devono avere un rapporto minimo tra diametro e lunghezza (secondo la formula $L/D > 3$ per $\lambda \gg D$).

E' importante verificare che attraverso le guide d'onda non vengano inseriti materiali conduttori come cavi in rame o tubazioni metalliche altrimenti si avrebbe una trasmissione di segnale all'interno della cabina schermata con conseguente perdita dell'efficienza di schermaggio.

Nota: valori di λ per varie frequenze

F (MHz)	λ (m)		F (MHz)	λ (m)
10 MHz	30m		63 MHz	4,7m
16 MHz	19m		100 MHz	3m
42 MHz	7m		127 MHz	2,3m



GABBIA DI FARADAY – FOROMETRIE PENETRAZIONI PER GAS MEDICALI



Penetrazioni per attraversamento tubazioni gas medicali.

Per il passaggio attraverso la penetrazione a guida d'onda viene utilizzato un tratto di tubazione in plastica (rilsan) per evitare il passaggio della tubazione in rame attraverso la guida d'onda che provocherebbe un effetto antenna con decremento dell'efficienza di schermaggio.

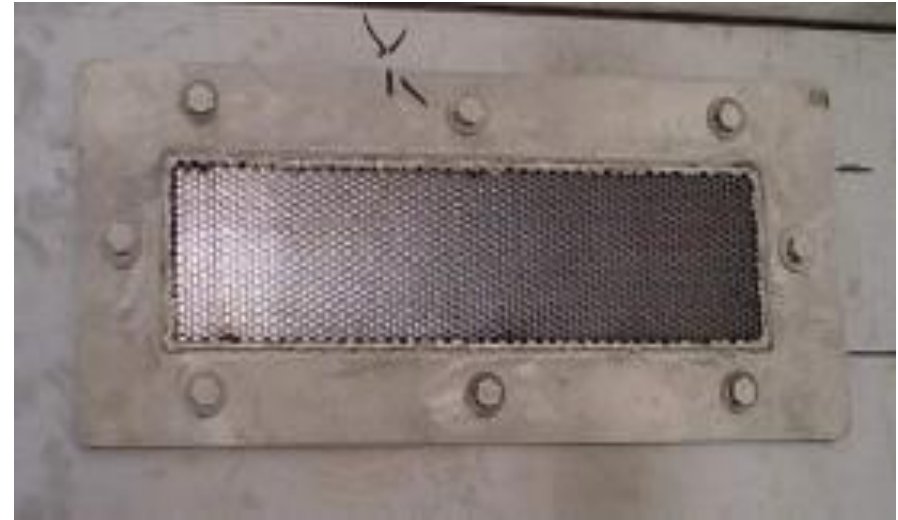


GABBIA DI FARADAY – FOROMETRIE PENETRAZIONI TUBAZIONE QUENCH





GABBIA DI FARADAY – FOROMETRIE FILTRO A NIDO D’APE (Honeycomb) PER PASSAGGIO ARIA



Penetrazione per passaggio canalizzazioni aria - Filtri a nido d’ape – AIR VENT - Per il passaggio dell’aria vengono utilizzati filtri con celle a nido d’ape che sfruttano lo stesso principio della guida d’onda. Permettono quindi il passaggio dell’aria con una perdita di carico trascurabile bloccando la radiofrequenza; **DEBBONO essere realizzati di varie dimensioni a seconda della portata dell’aria.**



GABBIA DI FARADAY – FOROMETRIE

PANNELLO FILTRI RF e FEM



Pannello filtri RF:

Per garantire le prestazioni di schermaggio dagli armadi dei gradienti

Pannello filtri f.e.m.:

illuminazione, pulsanti di sgancio, telecamera etc.
Per garantire le prestazioni di schermaggio del sistema la gabbia deve essere totalmente isolata elettricamente ed essere collegata a terra in un solo punto, in prossimità del pannello filtri elettrici.



Misura di efficienza di schermaggio





Misura di efficienza di schermaggio

- La misura viene realizzata secondo la norma **IEEE STD299 (2006)** Institute of Electrical and Electronic Engineers.
- Viene misurata l'attenuazione in dB di un segnale RF all'interno della camera schermata nel range di frequenza richiesto dal costruttore dell'apparecchiatura.
- La misura valuta la differenza di ampiezza del segnale prodotto da un sistema di trasmissione RF e rilevato da un sistema di ricezione, nelle condizioni di presenza e assenza di schermaggio RF.
- I punti dove è necessario effettuare la misura sono: **porta, visiva, pannello filtri etc.**
- All'installazione della RMN viene eseguito il primo controllo dell'efficienza di schermaggio che costituisce un documento indispensabile per il collaudo della camera schermata.
- **Con periodicità al più annuale deve essere effettuata la verifica della efficienza di schermaggio o se vengono effettuati interventi importanti sulla camera schermata: Sostituzione porta, visiva, montaggio di penetrazioni aggiuntive, ecc.**

Norma IEEE Std 299-2006 - DEFINIZIONI:

- **DR (DINAMIC Range):**

Il *DR* è numericamente uguale alla differenza tra la massima e minima ampiezza di segnale, dove entrambi i termini sono espressi in decibel. E' importante garantire che le apparecchiature abbiano un adeguato *DR*. Ciò è possibile andando ad eccitare il sistema di ricezione con l'associato sistema di trasmissione, e dimostrando che il comportamento è lineare per tutti i livelli di segnale trasmesso e ricevuto che sono utilizzati durante il test.

- **SE (Shielding Effectiveness):**

L'efficienza dello schermo (*SE*) è il rapporto tra il segnale ricevuto dal trasmettitore senza lo schermo, rispetto al segnale ricevuto in presenza dello schermo. L'efficienza viene valutata sulla base della misura che riporta le performance più basse in termini di attenuazione.

PROCEDURA – LOOP (9kHz – 25MHz)

5.6.2 Equipment and setup

Signal sources, measuring equipment, and arrangement shall be in accordance with the following subclauses and Figure 1. All equipment shall have written proof of current calibration in accordance with 4.3.

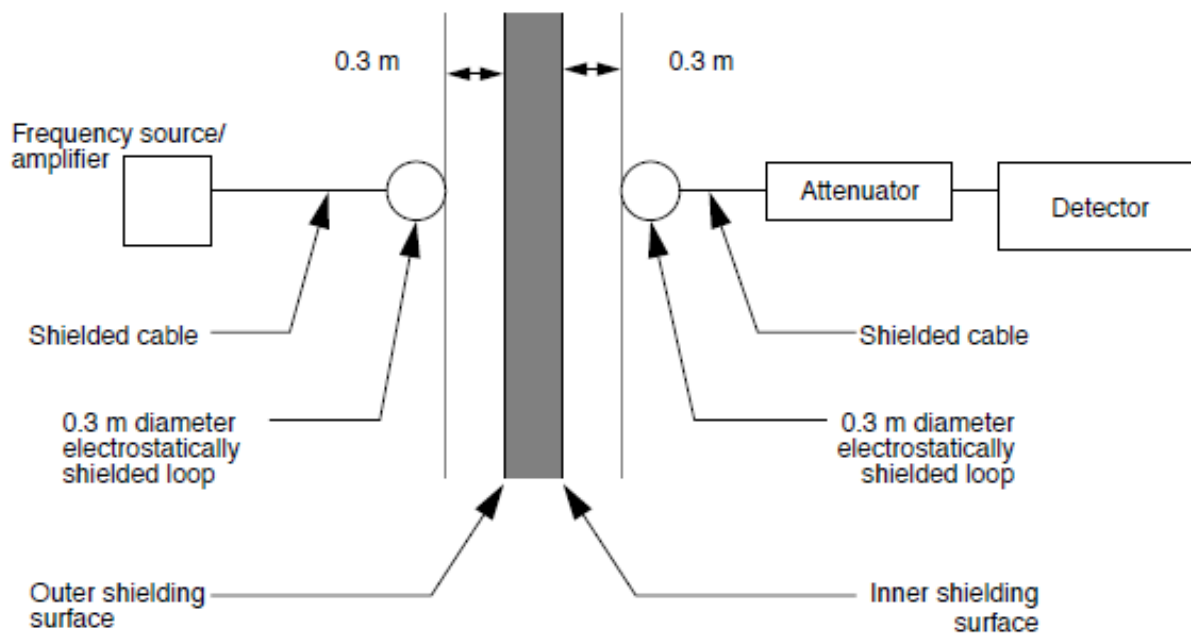
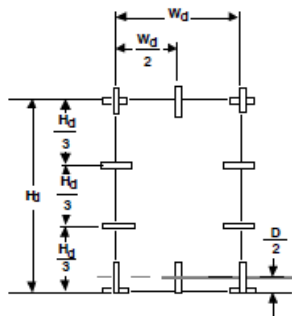


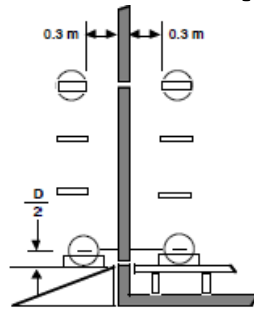
Figure 1 – Schematic diagram of the test configuration for magnetic tests showing dimensions of transmit (TX) and receive (RX) antennas (Coplanar antenna orientations shown)



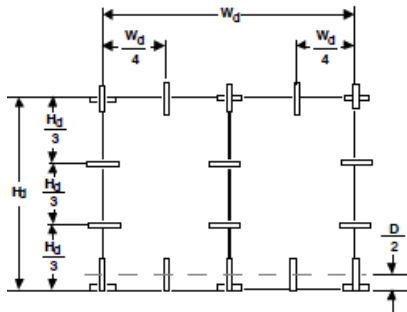
PROCEDURA – LOOP (9kHz – 25MHz)



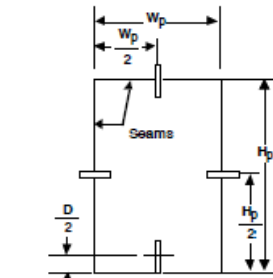
a) Single-panel entry door measurements



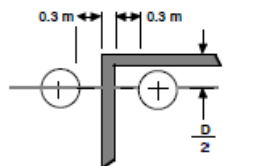
b) Door measurements



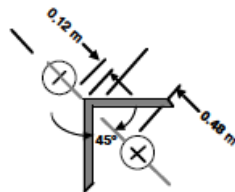
c) Double-panel entry door measurements



d) Panel seam measurements

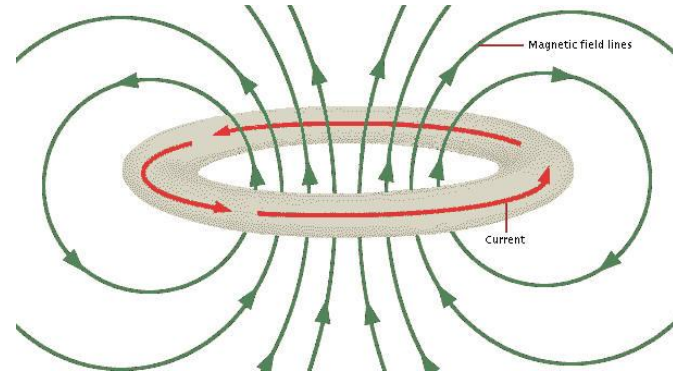


e) Partially accessible corner seam measurements

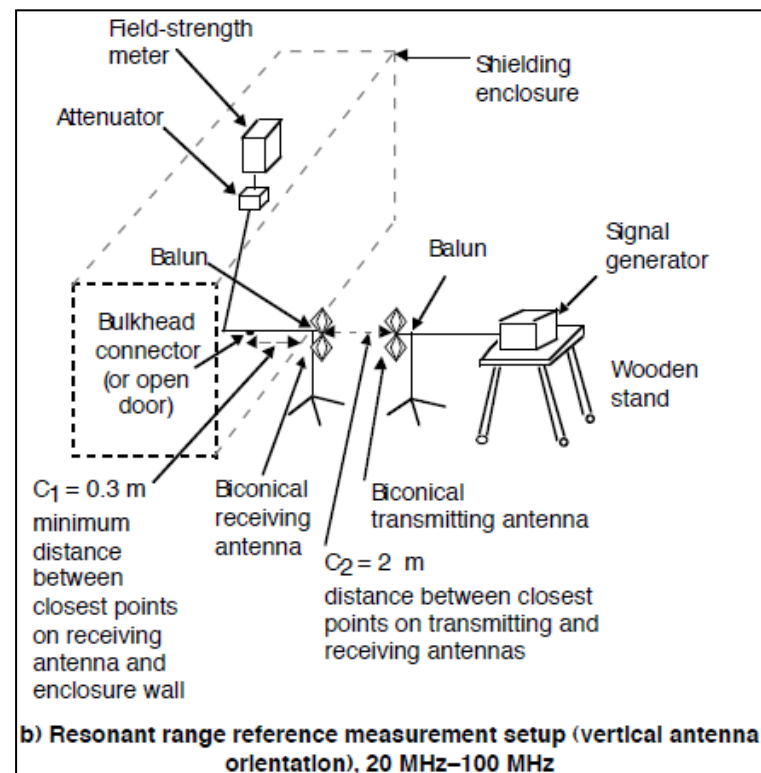
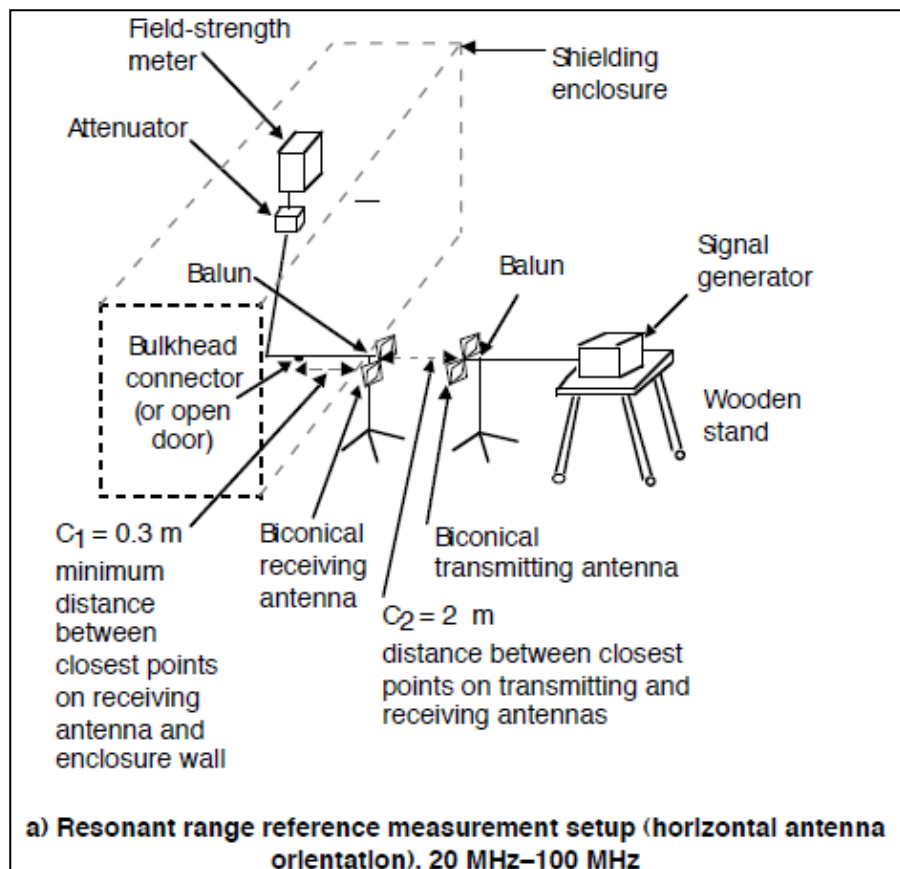


f) Fully accessible corner seam measurements

D = diameter of loop antenna



PROCEDURA – BICONICHE/ROAD (20MHz – 300MHz)





Misura di efficienza di schermaggio

Strumentazione 1.0

Generatori a radiofrequenza



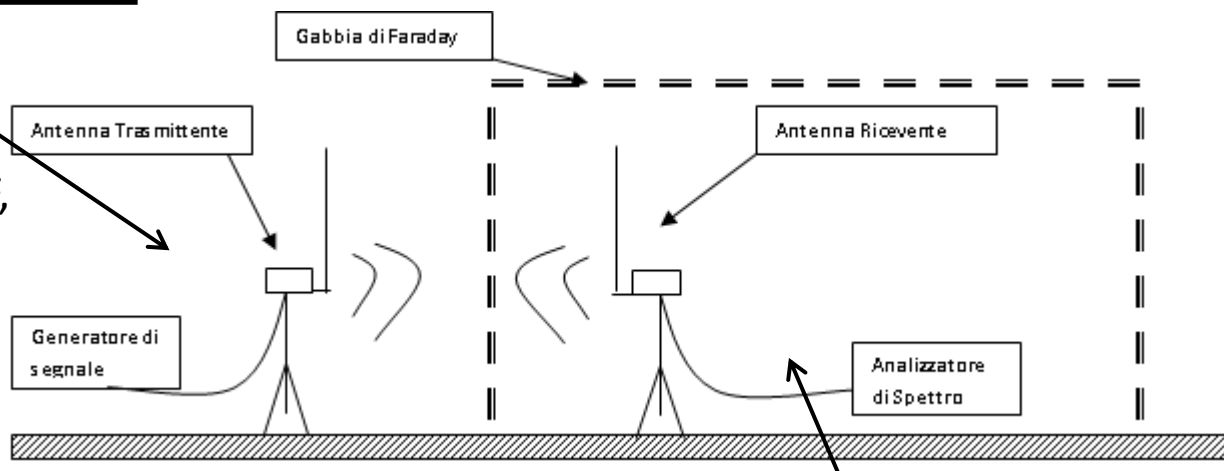
Amplificatori



Analizzatore di spettro



Catena di trasmissione
(Generatore RF, Amplificatore, Antenna TX)



Catena di ricezione (Antenna RX, Analizzatore di spettro)



Misura di efficienza di schermaggio

Strumentazione 2.0



SEMS RICEVITORE:
10 KHz – 300MHz



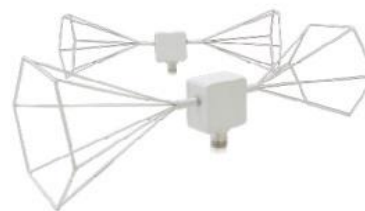
SEMS TRASMETTITORE:
10 KHz – 300MHz



ANTENNE LOOP:
2MHz-128MHz



ANTENNA ROD:
100 KHz – 128MHz



ANTENNE Biconiche:
60MHz-300MHz



Misura di efficienza di schermaggio

Strumentazione 1.0



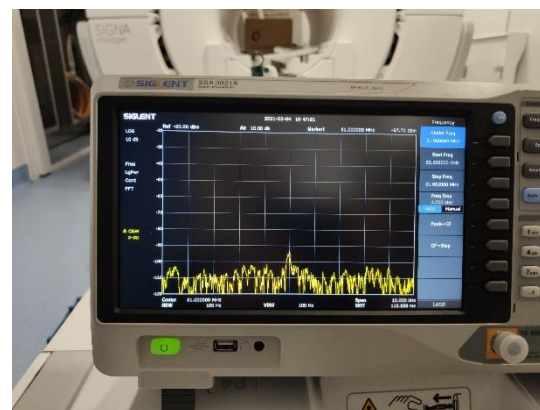
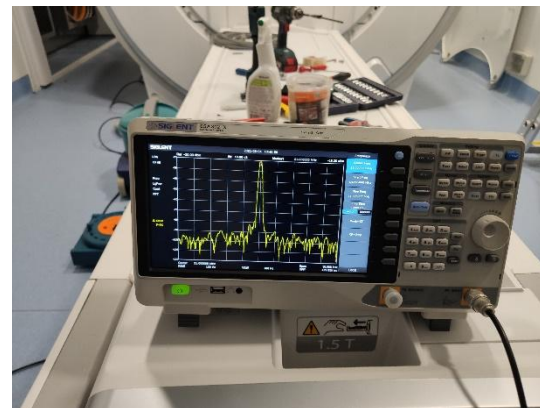
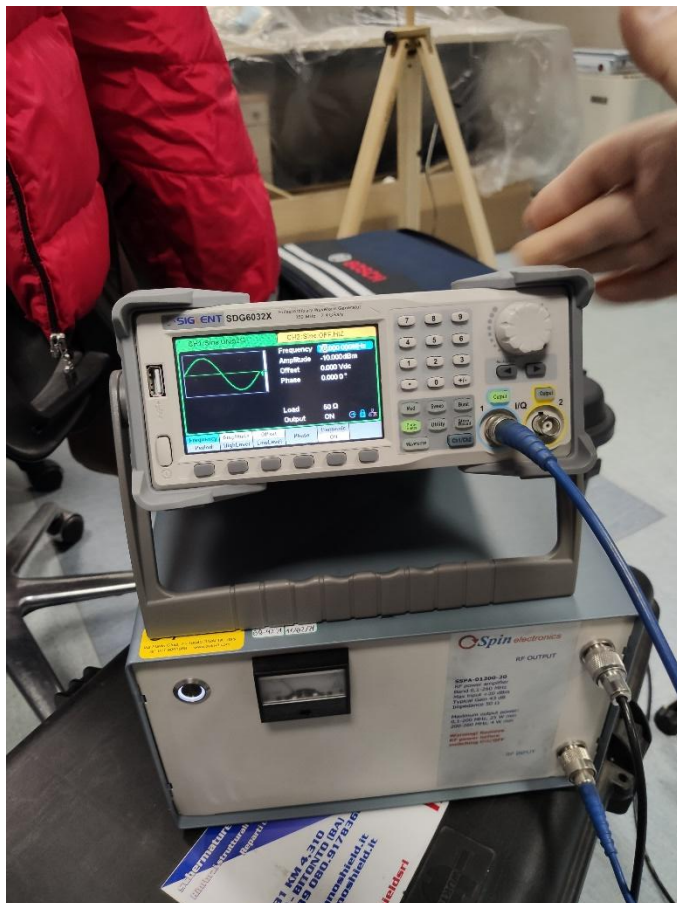
Strumentazione 2.0





Misura di efficienza di schermaggio

Strumentazione 1.0



Misura di efficienza di schermaggio

ESEMPIO DI REPORT DI MISURE 1,0

Cliente Customer VILLA BERETTA		Collaudo per Inspection by	
Località Locality COSTA MASNAGA (LC)		ACCETTAZIONE Acceptance	QUALIFICAZIONE Qualification
Descrizione del prodotto da collaudare Product under test specification		☒	☐
SCHERMATURA RF		Metodo di Collaudo Method of test	
Misura di Attenuazione Attenuation measurement		MIL STD 285 - 1956	
☐ H FIELD ☒ E FIELD ☐ ONDA PIANA ☐ PW Plane wave Plane wave Pulse wave		IEEE STD 299 - 1997	

PUNTO DI MISURA	DISTANZA ANTENNE Antennas separation [m]	LIVELLO DI RIFERIMENTO Reference level [dBm]	LIVELLO MISURATO Measured level [dBm]	ATTENUAZIONE Attenuation [dB]	POLARIZZAZ. ANTENNE Antennas polarization 0 - V - C	FREQUENZA Frequency [MHz]
PORTA	1,5	+2	-33	+101	0	63,9
PORTA	1,5	-2	-88	+96	0	100
FINESTRA	1,5	+2	-105	+107	0	63,9
FINESTRA	1,5	-2	-102	+100	0	100
PANNELLO DI PENETRAZIONE	1,5	+2	-33	+95	0	63,9
PANNELLO DI PENETRAZIONE	1,5	-2	-86	+84	0	100

Note
Remarks

MAGNETE GE SIGNA MR/i 1,5 T

$F_0 = 42,58 \text{ MHz} \times \text{Tesla}$

Ossia:

0,18T $F_0 = 7,66 \text{ MHz}$

0,23T $F_0 = 9,79 \text{ MHz}$

0,4T $F_0 = 17,03 \text{ MHz}$

0,5T $F_0 = 21,29 \text{ MHz}$

1,0T $F_0 = 42,58 \text{ MHz}$

1,5T $F_0 = 63,87 \text{ MHz}$

3,0T $F_0 = 127,74 \text{ MHz}$

7,0T $F_0 = 298,06 \text{ MHz}$

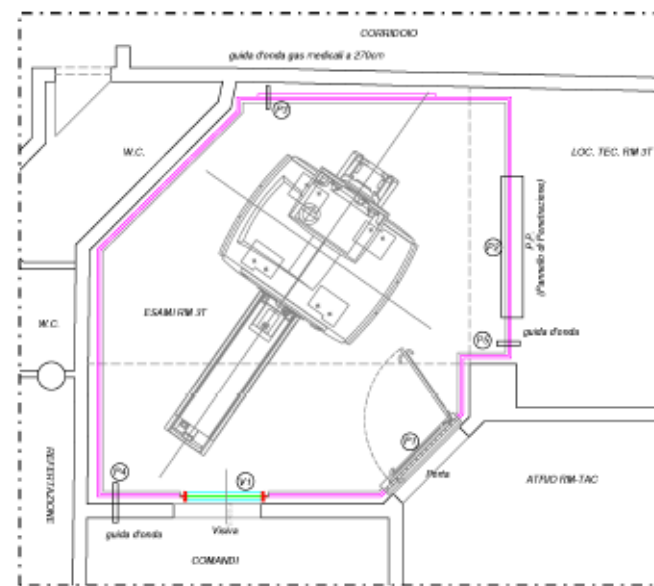
SE= dbm (senza schermo)- dbm (con schermo)

Misura di efficienza di schermaggio

ESEMPIO DI REPORT DI MISURE (CON STRUMENTAZIONE 2.0)

DESCRIZIONE APPARECCHIATURA Gabbia di Faraday "MORVIDUCCI S.r.l." RM GE Signa Pioneer 3T				Metodo di Verifica IEE 299 MIL STD 285		
MISURA DI ATTENUAZIONE						
Polarizzazione ☒ Verticale		☒ H Field*		☒ E Field		
☐ Orizzontale		Fr=60,15MHz				
Frequenza (MHz)	Porta P1 Attenuazione (dB)	Pannello di Penetrazione P2 Attenuazione (dB)	Guida d'onda gas medicali P3 Attenuazione (dB)	Guida d'onda P4 Attenuazione (dB)	Guida d'onda P5 Attenuazione (dB)	Visiva V1 Attenuazione (dB)
10*	>111	98	110	105	96	100
63,87	94	106	118	>122	111	>122
102,2	110	111	130	116	107	115
127,72	109	93	126	120	110	124
255.40	106	99	123	112	101	116
Note: La distanza di misura tra le antenne è stata di: 100 cm						

DESCRIZIONE APPARECCHIATURA Gabbia di Faraday "MORVIDUCCI S.r.l." RM GE Signa Pioneer 3T				Metodo di Verifica IEE 299 MIL STD 285		
MISURA DI ATTENUAZIONE						
Polarizzazione ☐ Verticale		☒ H Field*		☒ E Field		
☒ Drizzontale		Fr=60,15MHz				
Frequenza (MHz)	Porta P1 Attenuazione (dB)	Pannello di Penetrazione P2 Attenuazione (dB)	Guida d'onda gas medicali P3 Attenuazione (dB)	Guida d'onda P4 Attenuazione (dB)	Guida d'onda P5 Attenuazione (dB)	Visiva V1 Attenuazione (dB)
10*	102	95	105	100	93	98
63,87	103	118	102	100	96	100
102,2	98	130	109	106	108	106
127,72	99	126	106	103	96	103
255.40	100	123	102	105	96	103
Note: La distanza di misura tra le antenne è stata di: 100 cm						





Misura di efficienza di schermaggio



**Och sen till slut,
quench:**

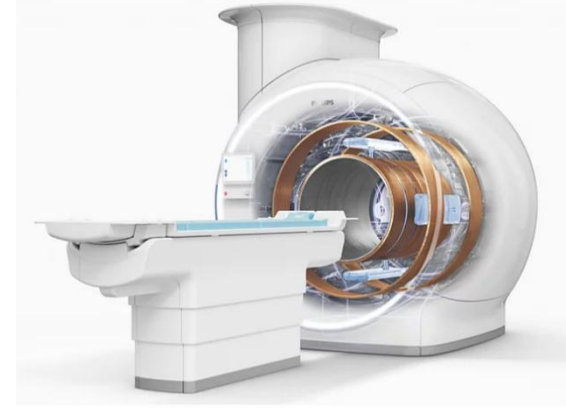
PROBLEMATICA LEGATA ALLA PRESENZA DI ELIO

- Grazie al fenomeno della superconduttività riusciamo a generare dei campi magnetici di grande entità grazie a conduttori che portati ad una temperatura prossima allo 0°K, non presentano alcuna resistenza alla corrente.
- Nel magnete superconduttore sono contenuti mediamente da 1200 a oltre 2000 litri di elio liquido alla temperatura di circa - 270 °C.



Le APPARECCHIATURE RM superconduttive (con grande contenuto di elio) devono avere un **sistema di rilevazione continua della percentuale di ossigeno della SALA RM** con soglia di **pre-allarme** al valore del **19%** e soglia di allarme al **18%** (D.M. 14.01.2021).

- Dal 2019 sono state realizzate RM con "basso" contenuto di elio (non necessitano di sensore O₂, ventilazione emergenza e tubo quench)





Tubo di Quench

L'Elio ha punto di fusione a $-272,22^{\circ}\text{C}$, punto di ebollizione a $-268,93^{\circ}\text{C}$. Perciò, in 3 gradi si passa da fase liquida a fase gassosa.

1 Litro di He liq. $\Rightarrow$ 750 Litri di He gas (1 litro è circa 1 mc)

In caso di superamento dei $-268,93^{\circ}\text{C}$ la pressione che si genera all'interno del serbatoio rompe il disco di rottura, BURST-DISC (realizzato in grafite e tarato generalmente a valori non inferiori a 4bar, dipende dalle ditte) e così si scarica tutto l'He gassoso attraverso il Tubo di Quench.

Effetti dell'ELIO sull'uomo:





IMPIANTO EVACUAZIONE CRIOGENI

- Se a causa di una anomalia di funzionamento il sistema si “surriscalda”, un dispositivo di sicurezza: Burst-disc permette di scaricare tutto l’Elio all’esterno attraverso una dedicata tubazione di espulsione che sfocia in un luogo non accessibile al pubblico
- Il Burst-disc è realizzato in grafite e tarato generalmente a valori non inferiori a 4bar, dipende dalle ditte, è alloggiato subito prima della flangia di raccordo con il tubo esterno alla RM





IMPIANTO EVACUAZIONE CRIOGENI

- La tubazione del quench è realizzata in acciaio o alluminio e viene collegata alla flangia del magnete per convogliare il gas criogeno all'esterno.
- I tratti di tubazione possono essere uniti a mezzo di saldatura o flangiati e fissati con dadi e viti.
- In funzione della lunghezza e delle curve presenti nel tragitto sino all'esterno viene calcolato il diametro minimo per i vari tratti di tubazione in armonia con le specifiche del costruttore del magnete.
- Il terminale di espulsione va portato in una zona sicura distante dal passaggio delle persone e da finestre. Le indicazioni INAIL 2015 riportano le distanze minime, del terminale di uscita, da finestre o camminamenti.
- E' indispensabile coibentare i tratti di tubazione accessibili per evitare contatti accidentali che possono provocare ustioni durante un quench.





DIMENSIONAMENTO "tubazione quench" - VERIFICA

RMN G.E. Signa Pioneer 3 T
CALCOLO TUBO QUENCH

Massima perdita di carico
accettabile: **117,20** kPa

Tratto	Distanza (m)	Diam tubo (mm)	Tipo	Lungh. 22,95	Perdita Unit. (Kpa)	Perdita Tot. (Kpa)
						107,93
1	0 - 3,05	200	Curva 90° Smooth	1	9,62	9,62
2	0 - 3,05	200	dritto	2,05	3,22	6,60
3	3,05 - 6,1	200	dritto	1,71	5,49	9,39
4	3,05 - 6,1	200	Curva 45° Smooth	1	8,42	8,42
5	3,05 - 6,1	200	dritto	0,34	5,49	1,87
EXT Cabina						
6	6,1 - 9,15	200	Curva 45° Smooth	2	11,45	22,90
7	6,1 - 9,15	200	dritto	1,05	8,23	8,64
8	6,1 - 12,2	250	dritto	1,8	2,725	4,91
9	6,1 - 12,2	250	Curva 90° Smooth	1	9,05	9,05
10	12,2 - 18,29	300	dritto	1	1,353	1,35
11	12,2 - 18,29	300	Curva 90° Smooth	1	5,09	5,09
12	12,2 - 18,29	300	dritto	4,25	1,353	5,75
13	18,29 - 24,39	300	dritto	2,75	1,702	4,68
14	18,29 - 24,39	300	Curva 90° Smooth	1	6,3	6,30
15	18,29 - 24,39	300	Curva 45° Smooth	1	3,36	3,36

PHILIPS

N.b. Raggio minimo sulle curve 1.5 volte il diametro del tubo. Le giunture devono essere saldate a regola d'arte a tenuta di gas e acqua e flangiate con guarnizione di separazione

Tabella 1 - Max lunghezza in metri della tubazione del Quench, dall' attacco sulla gabbia al terminale di sfogo, in funzione del n. delle curve e al diametro delle tubazione

N. Totale curve	Diametro tubazione			
	Ø = 150 mm	Ø = 195 mm	Ø = 260 mm	Ø = 390 mm
1	5	23	99	744
2	4	22	96	737
3	4	20	90	717
4	4	19	89	710
5	2	17	82	680
6	2	17	78	672
7	1	14	72	662
8	1	13	67	639
9	0	12	63	597

Angolo della curva da 5° a 90° - Asse raggio di curvatura (all'asse) = 1,5 diametro tubazione

Esempi:

A. Lunghezza percorso 10 m con n. 6 curve, utilizzare tubo diam. 195 mm

B. Lunghezza percorso 10 m con n. 4 curve, utilizzare tubo diam. 195 mm

C. Lunghezza percorso 30 m con n. 6 curve, utilizzare tubo diam. 260 mm

N.b. Tutte le giunture devono essere saldate a regola d'arte e a tenuta di gas e acqua o flangiate con guarnizione di separazione



IMPIANTO EVACUAZIONE CRIOGENI

ESEMPI DI TERMINALE DEL TUBO DEL QUENCH





IMPIANTO EVACUAZIONE CRIOGENI

ESEMPI DI TERMINALE DEL TUBO DEL QUENCH

POSIZIONE DEL TERMINALE DEL TUBO DI QUENCH

Se non possiamo garantire i 4 metri? In questi casi bisogna utilizzare schermi di protezione (superfici di rimbalzo), “casce di espansione”, zone di interdizione, sigillare le finestre etc.



LIMITI DI AZIONE DELL'ESPERTO RESPONSABILE

- L' ESPERTO RESPONSABILE NON DEVE ENTRARE NEL MERITO DEL PROGETTO ESECUTIVO IN QUANTO E' REDATTO DA PROFESSIONISTA ABILITATO.
- L' ESPERTO RESPONSABILE VERIFICA L'ESISTENZA DEL PROGETTO E CHE LO STESSO ESPliciti I CONTENUTI MINIMI (PLANIMETRIE, MATERIALI, DI.CO., CALCOLI)
- L' ESPERTO RESPONSABILE VERIFICA CHE LA FASE DI REALIZZAZIONE NON SIA DIFFORME DAL PROGETTO O RICHIEDE LE MODIFICHE/VERIFICHE
- **CONOSCERE LE SPECIFICHE E COME SI CALCOLA IL TUBO DI QUENCH PERMETTE DI RISOLVERE TANTI PROBLEMI AL CLIENTE MA SOPRATTUTTO PERMETTE DI VALUTARE IL RISCHIO E LE CONDIZIONI DI SICUREZZA DELL'IMPIANTO**



VERIFICA PERIODICA TUBAZIONE DEL QUENCH





GRAZIE PER L'ATTENZIONE

ing. Fabrizio Delia
info@arsradioprotezione.com

