

Numero	Data	Rev.	Pagina
SPEMC-SBINS-00063	24/04/2020	0	1 di 23

Document type

SPECIFICA TECNICA (SPE)

Titolo / Title

Specifica tecnica per solenoide e quadrupolo della LEBT

Autori (CNAO se non diversamente indicato) / Authors (CNAO if non differently indicated)

Cristiana Priano

Referente / Contact person

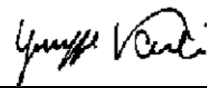
Luciano Falbo

Parole chiave / Keywords

LEBT, linea di trasferimento, quadrupolo, solenoide

Riassunto / Abstract

Questo documento, insieme ai disegni allegati, fornisce le specifiche tecniche dei magneti delle linee di trasporto a bassa energia (LEBT) del CNAO. Sono definiti i materiali da impiegare, le procedure tecniche per la costruzione, le principali tolleranze dimensionali, i test di costruzione intermedi e finali e le procedure di imballaggio e spedizione. Questi rappresentano l'obiettivo che CNAO deve raggiungere e che il fornitore deve seguire. Naturalmente il documento non copre tutte le competenze necessarie alla realizzazione, quindi ogni specifica mancante o ogni modifica a quanto specificato sarà oggetto di discussione in collaborazione con il fornitore e dovrà essere in ogni caso approvato da CNAO.

<i>Emesso / Compiled</i>	<i>Verificato / Controlled</i>	<i>Verificato / Controlled</i>	<i>Approvato / Approved</i>
Cristiana Priano 	Luciano Falbo 		G. Venchi 
24/04/2020	27/04/2020		16/07/2020

Informazioni strettamente riservate di proprietà della Fondazione CNAO – Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui sono state fornite – Tutti i diritti riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, immagazzinata o trasmessa in nessuna forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico, registrato, fotocopiato o in qualsiasi altro modo senza il permesso della Fondazione CNAO.

Confidential information property of CNAO Foundation – Not to be used for any purpose other than that for which is supplied – All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the CNAO Foundation.

LISTA DI DISTRIBUZIONE / DISTRIBUTION LIST

#	Data / Date	Nome / Name	Ditta / Society

ELENCO DELLE VARIAZIONI / HISTORY OF CHANGES

Ver.	Data / Date	Pag.	Descrizione / Description

INDICE

1	GENERALITA'	4
1.1	INTRODUZIONE	4
1.2	SCOPO DELLA COMMESSA E CONDIZIONI GENERALI	5
1.3	APPROVAZIONI.....	6
1.4	DOCUMENTI APPLICABILI	6
1.5	REVISIONE DEL PROGETTO.....	6
1.6	ISPEZIONI E TEST PRESSO L'IMPIANTO DEL FORNITORE	6
1.7	TEST D'ACCETTAZIONE PRESSO CNAO	7
1.8	QUANTITA' E OBIETTIVI	7
1.9	LISTA DEI PARAMETRI DEI MAGNETI	7
2	MAGNETI E SUPPORTI.....	10
2.1	GENERALE	10
2.2	ASSEMBLAGGIO DEL GIOGO	10
2.3	BOBINE	13
2.4	ASSEMBLAGGIO DEL MAGNETE.....	18
2.5	SUPPORTO DEI MAGNETI.....	19
2.6	TRASPORTO E PRECAUZIONI DA ADOTTARE.....	20
2.7	MISURE MAGNETICHE.....	20
3	APPENDICI	22
3.1	CONNESSIONI ELETTRICHE STANDARD.....	22
3.2	TUBI E RACCORDI IDRAULICI	22
4	DESIGN DI BASE E DISEGNI	24
4.1	GENERALE	24
4.2	ELENCO DEI DISEGNI.....	24
4.3	COLORI DEI MAGNETI	24

1 GENERALITA'

1.1 INTRODUZIONE

Un sincrotrone, capace di accelerare sia ioni leggeri che protoni, è lo strumento fondamentale del CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica), il centro italiano dedicato alla terapia dei tumori con adroni, a Pavia, in Italia.

La macchina consiste di due sorgenti di ioni, un acceleratore lineare (linac) per protoni e ioni carbonio, che accelera le particelle fino all'energia di 7 MeV/u. Una linea di iniezione (LEBT e MEBT) le trasporta fino all'anello del sincrotrone dove vengono iniettate, accelerate ed estratte con un'energia compresa tra 60 e 250 MeV per protoni e 120 e 400 MeV/u per gli ioni carbonio. Una linea di estrazione (HEBT) guida il fascio fino alle sale di trattamento, dove sono collocati i pazienti.

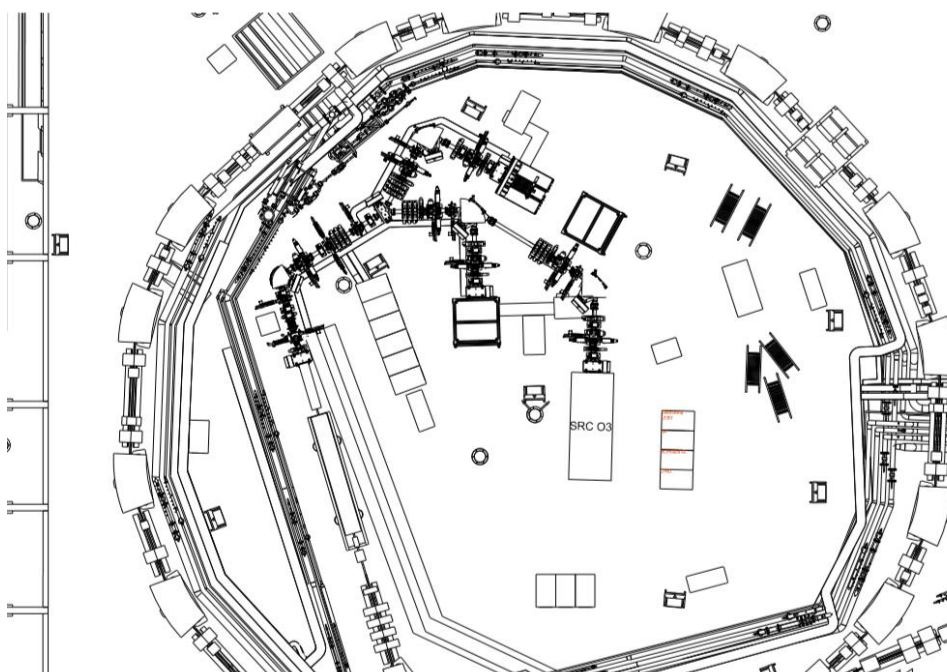


Figure 1 Layout della LEBT

Questo contratto è principalmente per l'ingegnerizzazione, il disegno, la costruzione, i test e la spedizione dei quadrupoli e del solenoide della LEBT. Anche le misure magnetiche faranno parte del contratto.

Questo documento fornisce, inoltre, la lista dei parametri d'ingegnerizzazione ed i disegni "as built". Non è richiesto al fornitore di svolgere questa parte progettuale del lavoro. Qualsiasi omissione in questo documento non deve sollevare il fornitore dall'obbligo di costruire magneti completi e "chiavi in mano". Il lavoro dovrà essere eseguito in modo soddisfacente in accordo con queste specifiche.

1.2 SCOPO DELLA COMMESSA E CONDIZIONI GENERALI

1.2.1 LAVORO INCLUSO NELLA COMMESSA

- 1.2.1.1 Il fornitore dovrà fornire tutta la manodopera necessaria, i materiali, gli strumenti, le apparecchiature, l'imballaggio e le strutture per la fabbricazione, l'assemblaggio, i test, le garanzie di qualità e la spedizione dei magneti secondo i disegni forniti in questa specifica. E' obbligatorio che il lavoro di progettazione e disegno deve essere svolto utilizzando un CAD. CNAO utilizza il software INVENTOR del pacchetto AUTODESK. Tutti i file forniti da CNAO saranno in formato INVENTOR. La compatibilità dei suddetti file verso il proprio sistema è unicamente responsabilità del fornitore. E' richiesto inoltre che tutti i file devono essere forniti dal fornitore su CD, in formato INVENTOR, oppure .DWG o .DXF, e devono essere compatibili con il sistema di CNAO.
- 1.2.1.2 Ogni modifica ai disegni dei magneti deve essere approvata da CNAO. Il fornitore sarà unico responsabile della produzione dei magneti in oggetto e delle loro performance, in accordo al paragrafo 1.9.
- 1.2.1.3 Il fornitore dovrà fornire tutta la manodopera, i materiali, gli strumenti, i dispositivi e gli impianti necessari per la fabbricazione, l'assemblaggio, i test, la garanzia della qualità, l'imballaggio e la spedizione dei magneti in questione. Dovrà inoltre fornire tutte le attrezzature, i materiali, gli attrezzi, gli strumenti, le strutture e la manodopera necessari per fabbricare e testare i magneti e dimostrare che le specifiche siano soddisfatte.
- 1.2.1.4 Il fornitore deve preparare tutti i disegni delle attrezzature e degli impianti, speciali per questo contratto, e presentare una copia cartacea dei disegni "as built" e dei file in formato INVENTOR a CNAO per riferimenti futuri.
- 1.2.1.5 Il fornitore dovrà preparare e presentare una serie completa di documenti a CNAO alla conclusione del presente contratto, includendo una serie completa di disegni "as built" e disegni dettagliati di tutti i componenti associati al presente contratto, sia su supporto cartaceo che su disco conformemente al punto 1.2.1.1. I disegni, che devono essere approvati da CNAO, devono essere preparati in modo che una terza parte possa utilizzarli per produrre gli stessi componenti in futuro senza alcuna difficoltà. Inoltre, se appropriati, anche le copie dei pertinenti rapporti di garanzia della qualità, i manuali di funzionamento e di manutenzione devono far parte del risultato finale.
- 1.2.1.6 Il fornitore deve preparare una procedura completa di garanzia della qualità specificatamente progettata per questo contratto. Un manuale generale pubblicato da alcune organizzazioni commerciali o agenzie governative non è accettabile.
- 1.2.1.7 Tutti i documenti, compresi i disegni, devono essere preparati in lingua inglese, devono seguire le norme ISO e devono essere forniti anche come file.
- 1.2.1.8 Il fornitore nominerà uno specialista senior che fungerà da capo progetto e sarà responsabile nei confronti di CNAO per tutti gli aspetti del presente contratto durante il periodo contrattuale. In particolare, deve fornire regolarmente un calendario dettagliato aggiornato relativo all'approvvigionamento del materiale, alla fabbricazione e alla prova del magnete.

1.2.2 LAVORO NON INCLUSO NELLA COMMESSA

- 1.2.2.1 Definizione dei parametri d'ingegnerizzazione dei magneti.
- 1.2.2.2 Disegni costruttivi dei magneti (design di base del magnete).

1.3 APPROVAZIONI

- 1.3.1 Materiali equivalenti a quelli indicati possono essere utilizzati esclusivamente in seguito al ricevimento di approvazione scritta da parte di CNAO.
- 1.3.2 Prima di iniziare la costruzione, il fornitore deve presentare per approvazione a CNAO il progetto di tutti i principali strumenti ed attrezzature che verranno impiegati. Questo processo di approvazione non deve, tuttavia, sollevare il fornitore dalla responsabilità di svolgere i suoi compiti in modo soddisfacente sulla base delle specifiche fornite in questo documento.
- 1.3.3 CNAO fornirà un'approvazione specifica, in particolare, dell'assemblaggio dei magneti, dopo la verifica della completa compatibilità dei magneti in oggetto con le attrezzature ed i dispositivi esistenti.

1.4 DOCUMENTI APPLICABILI

- 1.4.1 I disegni forniti con questo documento devono essere considerati come parte integrante di queste specifiche. Questi disegni illustrano in dettaglio il progetto dei magneti e le tolleranze di costruzione.
- 1.4.2 Qualsiasi conflitto che il fornitore dovesse notare tra le richieste contenute nei documenti forniti da CNAO dovrà essere riferito alle persone di riferimento di CNAO per chiarificazione prima di procedere con qualsiasi lavoro.

1.5 REVISIONE DEL PROGETTO

- 1.5.1 Dopo l'aggiudicazione del contratto, il fornitore dovrebbe completare e consegnare a CNAO un Preliminary Design Report (una copia cartacea e formato elettronico) entro un mese o meno. Questo PDR descriverà l'ingegnerizzazione e la progettazione di quelle parti che il fornitore desidera cambiare rispetto alla progettazione di base di CNAO. I documenti presentati devono essere sufficientemente dettagliati da consentire a CNAO di riesaminare e valutare il merito delle modifiche proposte. L'offerta è richiesta sulla base del progetto di base di CNAO; pertanto CNAO si riserva il diritto di rifiutare una o tutte le variazioni proposte senza l'obbligo di fornire alcuna giustificazione. Il fornitore non avrà il diritto di variare la sua quotazione a causa di questo rifiuto. Una riunione preliminare di revisione del progetto sarà programmata due settimane dopo il ricevimento del PDR. Dopo una revisione soddisfacente, CNAO autorizzerà il fornitore a procedere con la progettazione dei dettagli e ad acquistare alcuni articoli con lunghi tempi di consegna.
- 1.5.2 In seguito all'assegnazione della commessa, il fornitore dovrà provvedere rapidamente a completare tutti i possibili dettagli ingegneristici: progettazione e realizzazione dei disegni dettagliati degli strumenti e delle apparecchiature. CNAO revisionerà a sua discrezione tutti o parte dei documenti, per assicurare che la qualità dei disegni sia commisurata a queste specifiche. CNAO autorizzerà il fornitore, in seguito a revisione soddisfacente, a procedere con l'acquisto e/o la produzione di tutti o parte dei componenti di questa commessa.
- 1.5.3 Un incontro preliminare di revisione dovrà aver luogo presso la sede del fornitore. La revisione ed il processo di approvazione non potranno sollevare il fornitore dalla sua completa responsabilità di produrre i magneti in oggetto secondo le richieste dettagliate in questo documento.

1.6 ISPEZIONI E TEST PRESSO L'IMPIANTO DEL FORNITORE

- 1.6.1 Rappresentanti di CNAO potranno fare visita alle strutture del fornitore e dei suoi collaboratori in qualsiasi ragionevole momento per controllare i progressi della commessa.

1.6.2 Il fornitore dovrà informare CNAO di test o ispezioni che verranno eseguiti sulla base delle disposizioni contenute in questo documento con due settimane di anticipo. CNAO potrà assistere ad alcune o a tutte queste procedure, a sua discrezione.

1.7 TEST D'ACCETTAZIONE PRESSO CNAO

I test di accettazione finali dovranno aver luogo presso il CNAO. CNAO si riserva il diritto di rifiutare qualsiasi magnete che dovesse mostrare difetti, scoperti in qualsiasi momento.

1.8 QUANTITA' E OBIETTIVI

1.8.1 QUANTITA'

- Quadrupoli LEBT 7
- Solenoide LEBT 2

1.8.2 OBIETTIVI

Le seguenti scadenze e i traguardi intermedi principali sono gli obiettivi di CNAO nella progettazione, costruzione, ispezione e consegna dei magneti; devono essere considerati parte integrante della presente specifica.

Tempo(mesi) Scadenze

T	Data di assegnazione della commessa.
T+1	Ricezione da parte di CNAO del Preliminary design report.
T+1.5	Revisione preliminare del progetto. Inizio acquisto degli articoli con lunghi tempi di consegna, se autorizzati. Inizio della costruzione delle attrezzature, se autorizzato.
T+2.5	Progettazione completa e dettagliata delle attrezzature. Costruzione dei magneti. Misure magnetiche.
T+9	Test di accettazione presso l'impianto del fornitore.
T+10	Consegna a CNAO dei magneti

1.8.3 REPORT DELLO STATO DI AVANZAMENTO LAVORI

Un rapporto dello stato di avanzamento lavori dovrà essere consegnato a CNAO mensilmente, entro e non oltre il quindicesimo giorno del mese. INFN-CNAO userà questi documenti per tracciare lo stato della commessa.

1.9 LISTA DEI PARAMETRI DEI MAGNETI

LISTA DEI PARAMETRI PER I QUADRUPOLI LEBT

Gradiente di Campo Massimo	T/m	2.5
Raggio di gola	mm	60
Lunghezza Magnetica (alla massima energia) mm		124
Good Field Region	mm	±42 (hor.) ±44 (vert.)
	$\Delta GL/GL$	$\leq \pm 2 \times 10^{-3}$
Avvolgimenti per polo		16
Corrente Massima	A	245

Dimensioni del conduttore	mmxmm	6x6
Diametro del foro di raffreddamento	mm	4
Resistenza	mΩ	22.36
Induttanza	mH	0.8
Tensione	V	5.72
Potenza	W	1398.52
Numero di circuiti di raffreddamento		1
Innalzamento della temperatura	°C	12
Portata Totale	L/min	1.52
Caduta di Pressione	bars	6

LISTA DEI PARAMETRI PER I SOLENOIDI LEBT

Corrente Massima	A	250
Campo magnetico alla $I_{\max}$	T	0.566
Lunghezza magnetica alla $I_{\max}$	mm	310

Caratteristiche Geometriche:

Spira Media	mm	984.58
Diametro Interno	mm	110
Diametro Esterno	mm	540
Altezza assiale	mm	300

Composizione:

Avvolgimento con conduttore forato

Dimensioni del conduttore	mmxmm	9x9
Diametro del foro di raffreddamento	mm	6
Arrotondamento spigolo	mm	1

Avvolgimento con pancakes

Numero di singoli pancake	28
Numero di avvolgimenti per pancakes	20

Isolamento:

Conduttore: 1 strato di fibra di vetro	mm	0.25
Pancake: 1 strato di fibra di vetro	mm	0.20
Massa: 2 strati di fibra di vetro	mm	0.25

Caratteristiche elettriche:

Resistenza a 20°	mOhm	183.27
Tensione	V	44.35

Corrente Nominale	A	236
Potenza Dissipata	W	10466
Caratteristiche del raffreddamento:		
Numero di circuiti di raffreddamento		14
Temperatura dell'acqua in ingresso	°C	25
Aumento della temperature dell'acqua	°C	4
Portata totale dell'acqua	L/min	36.5
Caduta di pressione corrispondente	KPa	303
Masse:		
Conduttore forato	Kg	256
Resina epossidica	Kg	15.5
Massa Totale Bobina	Kg	271.5

2 MAGNETI E SUPPORTI

2.1 GENERALE

- 2.1.1 CNAO fornisce un elenco di parametri tecnici e disegni di specifica per l'assemblaggio dei magneti. I disegni delle specifiche, in forma molto semplificata, mostrano il design di base dei magneti e delle parti associate. È responsabilità del fornitore soddisfare tutte le tolleranze dimensionali indicate, salvo ove diversamente specificato da CNAO.
- 2.1.2 E' obbligatorio che tutte le parti siano ispezionate prima di procedere alle operazioni di assemblaggio e che risultino conformi alle specifiche ed ai disegni. Il fornitore deve informare INFN-CNAO di ogni non-conformità delle parti e del metodo che intende adottare per ripararle. INFN-CNAO si riserva il diritto di non accettare le parti riparate o di rifiutare il metodo di riparazione proposto se ritiene che non sia compatibile con le funzionalità e l'affidabilità del componente. Il tempo necessario a rettificare o rifare le parti rigettate non dovrà costituire causa di ritardo nella consegna.
- 2.1.3 I terminali elettrici ed i collettori di raffreddamento sono parte dell'assemblaggio dei magneti e, pertanto, dovranno essere fornite coperture di sicurezza per la protezione del personale da rischi elettrici. Tubi e raccordi dovranno essere fatti secondo gli standard CNAO, che saranno forniti nelle appendici di queste specifiche.
- 2.1.4 Dovranno essere applicate vernici protettive a tutte le superfici esterne; per le facce dei poli dovranno essere utilizzate vernici protettive facilmente rimovibili. I rivestimenti esterni dovranno consistere in una mano di primer antiruggine finito con due mani di vernice epossidica o poliuretano del colore concordato con CNAO.
- 2.1.5 Ciascun magnete deve essere fornito di appropriato dado e bullone di messa a terra saldati al magnete stesso. Le dimensioni dovranno essere conformi a quelle specificate in appendice 3.2. CNAO fornirà il cavo di messa a terra.
- 2.1.6 I componenti di supporto, come mostrato nei disegni, sono parte di questa commessa. CNAO ha richieste specifiche sui supporti per questioni legate alle procedure di allineamento iniziali ed alla manutenzione futura dei magneti. Pertanto, non è permessa alcuna deviazione dal progetto.
- 2.1.7 I magneti realizzati per la presente commessa devono risultare conformi a quanto richiesto ai paragrafi 8.8, 8.9, 9.7, 11.1 della norma CEI EN 60601-1:2007. Al termine della costruzione, assieme alla documentazione di qualità, dovrà essere allegata una dichiarazione esplicita di conformità alla norma sopra indicata ed il relativo verbale di effettuazione delle prove.

2.2 ASSEMBLAGGIO DEL GIOGO

2.2.1 MATERIALI PER LE LAMINAZIONI

- 2.2.1.1. Il materiale per le laminazioni dovrà non solo possedere caratteristiche adatte per operazioni di tranciatura, ma anche proprietà magnetiche superiori, quali elevata saturazione dell'induzione magnetica, bassa ed uniforme coercitività, effetti di invecchiamento molto bassi, ecc.... L'acciaio dovrà avere un contenuto di carbonio estremamente basso, una quantità minima di impurezze ed un'elevata granulometria. Il processo di fabbricazione dovrà essere effettuato in modo da fornire un prodotto non suscettibile di invecchiamento, con una bassa coercitività, ed essenzialmente, privo di caratteristiche magnetiche non-direzionali. Le lastre di materiale dovranno

avere una piattezza eccellente con protuberanze minime e superfici levigate per ottenere il massimo fattore di impaccamento.

2.2.1.2. Materiale del giogo

Il materiale di laminazione per il magnete quadrupolo deve essere in lamiera di acciaio al silicio di grado elettrico non orientato e ricotto. Le proprietà magnetiche ed elettriche devono essere equivalenti o migliori del grado EBG STABOCOR 1200-100A. Lo spessore della laminazione deve essere di 1,0 mm o più sottile. Il materiale per il giogo del solenoide è acciaio XC10.

2.2.1.3. La composizione chimica (% wt) del materiale delle lamine dovrà essere come segue:

Carbonio 0.003 max

La composizione (%wt) degli altri elementi chimici è specificata dal fornitore nella sua offerta. CNAO suggerisce i seguenti massimi contenuti per ogni tipo di elemento:

Manganese 0.200 max

Fosforo 0.005 max

Zolfo 0.005 max

Silicio 0.005 max

2.2.1.4. La permeabilità magnetica richiesta dovrà essere uguale (o migliore) ai valori qui sotto definiti:

H = 45 A/m $B \geq 0.2$ T

H = 125 A/m $B \geq 0.9$ T

H = 2450 A/m $B \geq 1.5$ T

H = 13900 A/m $B \geq 1.8$ T

2.2.1.5. In linea di principio, la fornitura d'acciaio dovrebbe essere interamente stabile nel tempo sia in riferimento alla coercitività che alla permeabilità. Siccome ci si aspetta che la temperatura d'operazione del magnete non superi i 25°C, la stabilità delle proprietà del magnete si riferisce a molti anni di operazione a questa temperatura.

2.2.1.6. Al fine di mantenere le caratteristiche magnetiche costanti, non sono permessi processi meccanici sull'acciaio successivi al prelievo di un campione per le misure magnetiche, eccezion fatta per la tranciatura. I fogli di acciaio, nella loro condizione finale, devono essere adatti alla tranciatura di precisione e all'assemblaggio in pile con un elevato fattore di impaccamento. Le specifiche dettagliate e le procedure di accettazione dovranno essere stabilite dal fornitore e dovranno essere approvate dal produttore di acciaio, dall'azienda che di occuperà della foratura e da CNAO.

2.2.1.7. La durezza del materiale influenza l'accuratezza dimensionale delle laminazioni. Pertanto, si raccomanda che il produttore di acciaio certifichi l'intervallo di durezza del materiale laminato tra 20 e 40 sulla scala Rockwell B.

2.2.1.8. I fogli dovranno essere piatti e privi di stress interni al fine di evitare perturbazioni locali nell'impaccamento e movimenti del profilo del gap dopo la foratura. Sebbene i criteri di accettazione ed i test siano responsabilità del fornitore, si suggeriscono i seguenti metodi, basati sull'esperienza INFN-CNAO:

- quando un foglio di dimensioni 500 x 1000 mm² è disteso su un tavolo di marmo, la distanza da ogni punto della superficie superiore al tavolo di marmo deve essere inferiore a 2.5 mm;

- quando un foglio è liberamente sospeso, la sagitta nella direzione della laminazione, misurata su una lunghezza di 1000 mm, deve essere inferiore a 10 mm.

2.2.1.9. Lo spessore medio dei fogli di acciaio contenuti in ciascun pallet consegnato (assunto ~ 2 ton) deve essere mantenuto entro un intervallo di ± 0.03 mm del valore nominale (come determinato dal peso). Lo spessore di ciascun foglio di acciaio, preso individualmente, deve essere mantenuto entro ± 0.09 mm del valore nominale, misurato in ciascun punto del foglio.

- 2.2.1.10. L'oscillazione dello spessore nella direzione trasversa a quella di rotolamento deve essere mantenuta entro $\pm 0.05\text{mm}$ all'interno della regione limitata da due strisce laterali di 10mm di larghezza.
- 2.2.1.11. La superficie dei fogli deve essere liscia. Imperfezioni, punte e piccole buchette, che dovranno essere isolate, non devono eccedere le variazioni di spessore permesse. La ruvidità superficiale dovrà rientrare nell'intervallo 0.3 - 2 μm Ra (ISO/R4689).
- 2.2.1.12. E' richiesta la placcatura del materiale; essa deve essere del tipo in grado di fornire una resistività all'interfaccia migliore di 20 $\Omega\cdot\text{cm}^2$. I test dovranno essere svolti secondo l'ultima revisione o versione di ASTM Standard Test Method A-717-81.
- 2.2.1.13. La laminazione dovrebbe essere prodotta mediante un processo di tranciatura in una o due fasi con uno strumento combinato punzone e matrice, secondo l'esperienza dell'azienda responsabile della tranciatura al fine di ottenere le tolleranze richieste. La procedura da seguire nel processo di tranciatura deve essere sottomessa ed approvata dal fornitore in concomitanza con INFN-CNAO. Il materiale e lo spessore degli strumenti di punzonatura devono essere commensurati alla quantità delle laminazioni richieste. Un'eccessiva affilatura, dovuta ad una qualità del materiale inferiore alle richieste e a trattamenti termici, è fermamente proibita. I supporti di punzone e matrice devono essere fatti di materiale appropriato e di spessore sufficiente da evitare distorsioni durante le operazioni di tranciatura.
- 2.2.1.14. Le zone più critiche dello stampo di tranciatura devono essere progettate e costruite in modo tale che eventuali modifiche di questo contorno non costituiscano né un aggravio economico né un ritardo nella consegna a CNAO.
- 2.2.1.15. La variazione dimensionale tra le lamine dovrà essere inferiore a 10 μm . Sbavature sul polo e nelle sue vicinanze dovranno essere inferiori a 30 μm ; se saranno necessarie operazioni di rimozione delle sbavature, il fornitore dovrà operare con cautela per non ripiegare le sbavature e non rimuovere la placcatura superficiale.
- 2.2.1.16. È richiesto un marker di riferimento in modo tale da garantire che le lamine siano state orientate correttamente durante la procedura d'impaccamento.
- 2.2.1.17. È necessario che quattro campioni di ciascun tipo di lamina siano sottoposti ad ispezioni dimensionali complete mediante una macchina di misura a coordinate (DEA) e che i relativi rapporti siano sottoposti a INFN-CNAO per l'approvazione prima dell'effettiva produzione. Durante la produzione, una laminazione campione deve essere tirata ad intervalli che devono essere determinati dal produttore per l'ispezione e per determinare se è necessaria l'affilatura dell'utensile. Altre due laminazioni devono essere sottoposte alle stesse procedure di ispezione dopo ogni affilatura. Il produttore deve informare CNAO di qualsiasi deviazione delle dimensioni di laminazione dal set originale dopo le procedure di affilatura. Nessuna messa in produzione è consentita prima dell'approvazione scritta di CNAO. CNAO si riserva il diritto di prelevare laminazioni campioni in qualsiasi momento per l'ispezione e, se uno dei campioni non soddisfa le tolleranze dimensionali, tutte le laminazioni perforate dall'ultima accettazione della laminazione del campione verranno rifiutate.
- 2.2.1.18. Si richiede che ciascun giogo del magnete sia assemblato con una combinazione di lamine provenienti da tutti i lotti di fogli di acciaio consegnati dal produttore di acciaio. Sono richiesti dei marker adeguati per ciascun lotto in modo tale che sia visivamente identificabile il mixing applicato ai fogli d'acciaio. INFN-CNAO si riserva il diritto di approvare lo schema di mixing proposto dal fornitore.
- 2.2.1.19. L'incollaggio delle laminazioni è obbligatorio per migliorare la rigidità torsionale del magnete. L'adesivo per l'incollaggio delle laminazioni deve essere EBG Stabolit 70 o equivalente, che deve essere approvato dal CNAO. La resistenza al taglio deve essere migliore di 100 kg/cm^2 . Il fabbricante deve ottenere un rapporto certificato relativo ai risultati delle prove dei suoi campioni incollati.

- 2.2.1.20. Durante l'impaccamento delle lamine, CNAO richiede che ogni 25-30mm di spessore le lamine vengano impilate "fronte-retro", in modo da minimizzare gli errori sistematici di punzonatura del profilo del polo rispetto al piano mediano.
- 2.2.1.21. Il giogo deve essere impilato con una pressione di 15-20 kg/cm² su un dispositivo rigido con superfici di riferimento ben lavorate. Le procedure di impilamento e il design del dispositivo devono essere concordanti con CNAO.
- 2.2.1.22. Il fattore di impaccamento, definito come il peso totale delle lamine nella pila diviso per il peso di un pezzo di acciaio solido di volume pari a quello della pila, deve essere

$$> 0.96 \pm 0.01$$

La tolleranza specificata è la massima variazione accettata del fattore di impaccamento da magnete a magnete, durante tutto il corso della produzione.

- 2.2.1.23. L'assemblaggio del giogo deve essere dimensionalmente stabile nel tempo. La pressione di accatastamento e la qualità della saldatura devono essere tali che la normale movimentazione ed il trasporto dei magneti non ne alterino le tolleranze meccaniche.
- 2.2.1.24. Ciascuna parte del giogo del magnete dovrà essere identificata da un numero seriale inciso in posizione adeguata. I risultati di tutti i test dimensionali sull'assemblaggio del giogo devono riferirsi a questo numero.

2.2.2 TEST DI ACCETTAZIONE PRESSO IL FORNITORE

- 2.2.2.1. L'assemblaggio del giogo dovrà essere verificato ed i risultati rilevanti andranno registrati sui rapporti di Qualità relativi all'assemblaggio del magnete.
- 2.2.2.2. L'assemblaggio del magnete non potrà cominciare prima dell'accettazione, da parte di CNAO, dell'assemblaggio del giogo.

2.3 BOBINE

2.3.1 MATERIALI

- 2.3.1.1. I conduttori forati dovranno essere di rame ad elevata conducibilità e privi di ossigeno (OFHC), di rame disossidato dal basso contenuto di fosforo (DLP) o di rame borodisossidato 1170 (BDCU). La conducibilità del materiale dovrà essere almeno il 99% dell'International Annealed Copper Standard (IACS), questo valore dovrà essere verificato sul cavo che verrà utilizzato dal fornitore. Il materiale dovrà soddisfare le specifiche ASTM B-188-88 o la versione successiva, se disponibile.
- 2.3.1.2. Il fornitore dovrà ottenere una copia della relazione relativa ai test di infragilimento da idrogeno dal suo fornitore di conduttori, ed inoltrare la stessa a CNAO per riferimenti futuri. Il campione non dovrà mostrare né degassaggio né rotture intergranulari, caratteristici dell'infragilimento da idrogeno.
- 2.3.1.3. La dimensione del conduttore dovrà rispettare i parametri forniti. La lunghezza del conduttore dovrà essere tale da evitare, o ridurre all'essenziale, la presenza di giunti interni per una singola bobina.
- 2.3.1.4. Terminali Elettrici delle bobine
Entrambi i terminali elettrici dovranno essere fatti di rame puro (Oxygen Free). I blocchi dei terminali esterni dovranno essere brasati con una lega in argento al conduttore per produrre una bassa resistenza elettrica ed un giunto dall'elevata tenuta meccanica. Le superfici conduttrici dei terminali elettrici esterni dovranno essere argentate e la placcatura dovrà essere continua e con buona adesione. Non dovrà sfogliarsi o rompersi quando verrà applicata la pressione di giunzione di 300 kg/cm².

Il terminale interno dovrà essere brasato come indicato nel paragrafo 2.3.3.4 di questa specifica.

2.3.1.5. Thermal Switch

Per proteggere le bobine da innalzamenti accidentali della temperatura dell'acqua durante il funzionamento, dovranno essere forniti due thermal switch in parallelo per ciascun circuito di raffreddamento. Dovranno essere collocati alle estremità calde di ciascun circuito elettrico ed idraulico e dovranno attivarsi ad una temperatura di 60 +/- 3 °C. La piastra base del thermal switch dovrà essere fatta di rame e dovrà essere saldata ad argento al conduttore. Si richiede che i thermal switch si interfaccino con un sistema informatico in modo tale che i guasti possano essere localizzati e corretti senza ritardi ingiustificati. INFN-CNAO richiede che vengano utilizzati sensori Thermik, codice prodotto LK1.060.03.0600/0600, o equivalenti. La tecnica d'installazione è mostrata in appositi disegni.

2.3.2 CAMPIONI

2.3.2.1. Generalità

Alcuni campioni, che testimonino l'adeguatezza delle procedure e delle tecniche di fabbricazione, dovranno essere sottoposti ad un laboratorio analisi affidabile per valutazione prima della fabbricazione. Il fornitore dovrà sottomettere a CNAO una copia della relazione certificata dei test per revisione ed approvazione. Al fornitore non è consentito procedere con la fabbricazione senza approvazione scritta del rapporto dei test sui campioni da parte di CNAO.

2.3.2.2. Giunti saldati

Per ciascun lavoratore che verrà impiegato nelle operazioni di saldatura inerenti a questo contratto sono richiesti tre campioni di giunti saldati. Quest'ultimi saranno sezionati ed esaminati per verificare il completo riempimento, la presenza di cavità, fuoriuscite o eccesso di materiale che potrebbe ostruire il flusso dell'acqua. I giunti campione verranno, altresì, sottoposti a test di trazione: i giunti brasati dovranno sviluppare, in tensione, almeno l'80% della forza che produrrebbe del rame vergine avente la stessa sezione minima netta.

2.3.2.3. Forza di adesione con resina epossidica

Il fornitore dovrà fornire due campioni della sezione degli avvolgimenti. I campioni dovranno dimostrare che le procedure di pulitura ed impregnazione, così come verranno utilizzate in fase produttiva, sono in grado di sviluppare una forza di legame minima al taglio di 60 kg/cm². I campioni saranno testati tagliando una sezione di 20 mm di lunghezza da uno spessore di tre avvolgimenti nella porzione centrale del campione di avvolgimento: gli strati di vetroresina andranno rimossi dalle superfici esterne con metodo appropriato. La resistenza al taglio della resina dovrà essere stimata dividendo la forza di compressione, necessaria per separare il conduttore centrale dagli altri due, per l'area totale incollata. Il campione impregnato dovrà avere una lunghezza di 250 mm o superiore.

2.3.3 FABBRICAZIONE DELLE BOBINE

2.3.3.1. Ambiente

le bobine dovranno essere fabbricate in un'area pulita priva di particelle metalliche, polveri e resti di precedenti lavorazioni, fumi chimici o di saldatura. I conduttori, i materiali isolanti, le bobine già isolate, ma non ancora impregnate, dovranno essere stoccate in un'area pulita ed asciutta.

- 2.3.3.2. Pulizia e movimentazione
Le superfici esterne di tutti i conduttori dovranno essere meticolosamente sgrassate prima di procedere all'isolamento. Il personale che maneggerà le superfici di rame pulite ed i materiali isolanti dovrà indossare guanti puliti.
- 2.3.3.3. Sabbiatura
la sabbiatura è opzionale. L'impregnazione pre-produzione dei campioni dovrà essere svolta secondo la procedura prevista per la produzione.
- 2.3.3.4. Brasatura
Tutte le giunzioni dei conduttori devono essere posizionate sul lato esterno della bobina. Devono essere brasati senza fuoriuscite di alcun tipo. La lega di saldatura deve essere di AWS-ASTM BCUP-5 o equivalente. Esistono vari metodi per il processo di brasatura; CNAO preferisce la resistenza elettrica o il metodo di riscaldamento a induzione per un migliore controllo della temperatura. Il condotto del refrigerante deve essere schermato con gas inerte durante il ciclo di saldatura. Due termocoppie devono essere fissate al conduttore, una su ciascun lato del giunto a circa 30 mm di distanza da esso, la temperatura di brasatura, come indicato dallo strumento termocoppia, deve essere mantenuta al livello appropriato in proporzione alla lega di saldatura. Le termocoppie devono essere calibrate in periodi concordati. Tutto il materiale di saldatura in eccesso esterno deve essere rimosso mediante limatura o rettifica a filo con le aree adiacenti senza saldatura. Tutti i trucioli metallici, i trucioli, lo sporco e altri materiali estranei devono essere rimossi prima del processo di isolamento. Il fornitore deve prestare attenzione a non ostruire il percorso del refrigerante a causa di una lega di saldatura eccessiva.
- 2.3.3.5. Prove di tenuta dopo la giunzione
Al completamento di ciascuna giunzione, il giunto brasato deve essere sottoposto a prova di tenuta; questa prova deve essere effettuata utilizzando un rilevatore di perdite con spettrometro di massa sensibile all'elio. Come controllo sostitutivo, un rivelatore sensibile alogeno può essere utilizzato utilizzando un composto alogeno a una pressione di 10 kg / cm² nel foro del conduttore mentre vengono sondati i giunti. Tutti i giunti, che mostrano l'eventuale presenza di perdite in entrambe le opzioni di prova, devono essere sostituiti con un nuovo giunto. CNAO non accetta giunzioni riparate.
- 2.3.3.6. Accumuli d'angolo
si anticipa che, durante la piegatura, il rame si deformerà ed assumerà una forma trapezoidale. Si anticipa anche che ci potrebbe essere un accumulo sul lato interno dovuto alla sovrapposizione dell'isolamento di terra. In nessun caso l'accumulo totale, dovuto a una o a entrambe le cause, dovrà impedire al fornitore di fabbricare bobine dimensionalmente soddisfacenti. Se necessario, il materiale deformato potrà essere rimosso (riduzione massima della sezione all'angolo = 1% di quella del conduttore originale) sia mediante riempimento o rettifica; le bobine così trattate dovranno essere pulite dai trucioli di metallo ed altro materiale sporco o estraneo alla bobina prima del processo di isolamento..
- 2.3.3.7. Isolamento elettrico
le dimensioni e le caratteristiche degli isolanti considerate per i calcoli magnetici sono riportate di seguito.
- 2.3.3.7.1 Isolamento interspira
La resistenza dell'isolamento interspira deve essere realizzata mediante una porzione di nastro di vetro a trama media (Amino Silan od equivalente) per metà sovrapposto.
- 2.3.3.7.2 Isolamento verso massa

La resistenza dell'isolamento verso massa deve essere realizzata mediante due porzioni di nastro di vetro a trama media (Amino Silan od equivalente) per metà sovrapposto.

2.3.3.7.3 Riempitivi

Tutti gli spazi vuoti all'interno delle bobine dovranno essere riempiti con materiali in fibra di vetro intrecciata o laminati di fibra di vetro quali, per esempio, NEMA G-10 o equivalente. Il fornitore dovrebbe evitare aree ricche di resina all'interno del blocco della bobina per evitare rotture interne o delaminazioni.

2.3.3.8. Resine, impregnazione ed indurimento

2.3.3.8.1 The Le bobine verranno esposte a radiazione per lungo tempo. Il sistema di isolamento delle bobine deve essere non solo adatto a garantire le proprietà elettriche e meccaniche, ma anche a sopportare dosi minime di radiazione di 10^7 Gy senza esserne danneggiato. La resistenza alla flessione misurata sui campioni irraggiati, dopo essere stati esposti ad una dose integrata di 10^7 Gy, non deve essere inferiore al 50% del valore misurato sui campioni non irraggiati. Le fibre di vetro consigliate sono note per essere fortemente radioresistenti. Il tipo di composto a base di resine, e le procedure di impregnazione e d'indurimento che verranno impiegate per le bobine sono riportate nell'offerta. Il fornitore dovrà dimostrare la resistenza alle radiazioni di tale composto sulla base dei risultati di adeguati test di back-up ovvero di dati riportati in affidabili testi di letteratura. La temperatura massima di operazione delle bobine può raggiungere i 63 °C, pertanto è essenziale che il sistema di isolamento mantenga le sue proprietà meccaniche ed elettriche oltre questa temperatura e che resista a ripetuti cicli termici senza fallire.

2.3.3.8.2 Le bobine dovranno essere impregnate sotto vuoto in una singola operazione. CNAO richiede che la colata di resina avvenga in uno stampo chiuso adatto.

2.3.3.8.3 Lo spessore della resina non rinforzata sulla superficie di una bobina finita non deve superare i 0.5 mm. Il fornitore può utilizzare se necessario una nastratura di sacrificio..

2.3.3.8.4 Particolare attenzione va riposta all'isolamento in prossimità dell'alimentazione delle bobine: si richiede, infatti, al fornitore di mostrare, prima della produzione, che il suo progetto eviterà un accumulo eccessivo di resina in quel punto e garantirà, allo stesso tempo, la resistenza meccanica richiesta. Si suggerisce di utilizzare il nastro TedlarTM lungo le parti diritte e le teste della bobina come agente di distacco.

2.3.3.8.5 Le bobine finite non dovranno presentare punti vuoti, fessure, crepe, punti asciutti (dry spots) o altri difetti. Le bobine con difetti interni saranno respinte, non è permessa alcuna riparazione. I difetti esterni possono essere invece riparati, previa autorizzazione da parte di CNAO, per ciascun singolo caso. L'autorizzazione include anche l'approvazione della procedura e dei materiali da impiegarsi.

2.3.3.8.6 Le superfici esterne dovranno essere pulite, se necessario, per migliorarne l'aspetto. Non è permessa la verniciatura di nessuna parte delle superfici, se non diversamente indicato in queste specifiche.

2.3.4 TEST D'ACCETTAZIONE PRESSO LA SEDE DEL FORNITORE

2.3.4.1. Ispezione visiva

tutte le bobine devono essere ispezionate visivamente e dovranno risultare prive di crepe, punti vuoti, delaminazioni, punti asciutti ed altri imperfezioni o difetti. L'isolamento non dovrà mostrare zone ricche di resina superiori al 1 mm. Le bobine

che non dovessero soddisfare uno qualsiasi dei requisiti di cui sopra verranno rifiutate.

2.3.4.2. Dimensioni

tutte le dimensioni delle bobine dovranno essere misurate ed eventualmente corrette per rientrare nelle tolleranze specificate.

2.3.4.3. Resistenza elettrica

la resistenza elettrica di ogni bobina dovrà essere misurata usando un ponte capace di misurare resistenze DC con una precisione dello 0.1%. I dati dei test dovranno essere raccolti sul data sheet relativo alla bobina. I valori dovranno essere corretti a 20° C e dovranno cadere in un intervallo pari a $\pm 2\%$ del valore medio delle bobine.

2.3.4.4. Isolamento interspira

su tutte le bobine dovrà essere testata la capacità di sostenere una determinata tensione interspira. Le bobine dovranno essere trattate come il secondario di un trasformatore: un voltaggio di 2.5kV dovrà essere indotto attorno ai terminali delle bobine per un periodo di un minuto e la corrispondente corrente primaria dovrà essere registrata. Ogni indicazione di cortocircuito tra gli avvolgimenti implicherà il rifiuto della bobina. Il fornitore può proporre a CNAO un metodo di test alternativo per l'approvazione delle bobine.

2.3.4.5. Isolamento verso massa

2.3.4.5.1 L'isolamento verso massa della bobina dovrà essere testato immergendo la bobina in acqua a temperatura ambiente con i terminali che affiorano sopra il livello dell'acqua (procedura da preferire), o avvolgendo saldamente l'intera bobina con un foglio di alluminio. Applicare una tensione DC di 2.5kV tra uno dei terminali della bobina ed il bagno d'acqua o il foglio d'alluminio per un minuto e riportare, sul data sheet della bobina, la corrente di fuga. Si richiede un valore della resistenza d'isolamento di 100 M Ω o superiore.

2.3.4.5.2 Applicare una tensione AC di 3.5kV rms a 50 Hz tra la bobina ed il bagno di acqua o il foglio di alluminio per un minuto, e registrare la corrente di fuga sul data sheet della bobina.

2.3.4.5.3 Ripetere le misure come al punto 2.3.4.5.1 e riportare le correnti di fuga nel data sheet della bobina.

2.3.4.5.4 Tutte le bobine che mostreranno evidenza di rottura o cambiamenti significativi nella resistenza di isolamento durante questi test verranno rifiutate.

2.3.4.6. Test di assenza perdite

Tutte le bobine finite, inclusi i raccordi, dovranno essere testate per verificare possibili perdite di acqua ad una pressione minima di 3 MPa per un'ora. Qualsiasi evidenza di perdita dalla bobina o dai suoi connettori ne comporterà il rifiuto.

2.3.4.7. Test di portata

La portata d'acqua dovrà essere misurata e registrata applicando una pressione differenziale nominale tra le porte d'entrata e d'uscita della bobina di 0.7 MPa. La variazione del flusso, rispetto alla caduta di pressione, non dovrà essere superiore al 20% del valore riportato nella lista dei parametri. Il misuratore di pressione utilizzato per i test dovrà avere una gamma di misura pari a circa il doppio della pressione misurata e dovrà essere stato calibrato di recente, con un'accuratezza totale migliore del 5% del suo fondo scala. E' possibile applicare la pressione ad una sola estremità, misurando il flusso all'altra estremità mediante un recipiente graduato ed un cronografo per almeno un minuto. In questo caso la pressione differenziale nominale all'ingresso dovrà essere 0.7 MPa, trascurando la caduta di pressione all'uscita.

2.3.5 DOCUMENTAZIONE

2.3.5.1 QA

I dati relativi alla qualità di ciascuna bobina dovranno far parte del documento di qualità del magnete di cui fa parte.

2.3.5.2 Identificazione delle bobine

Ciascuna bobina dovrà essere identificata da un numero seriale composto dal numero del disegno più un numero seriale a tre cifre. Il numero dovrà essere stampato in una zona facilmente visibile.

2.4 ASSEMBLAGGIO DEL MAGNETE

2.4.1 L'assemblaggio del magnete dovrà includere il giogo, le bobine, i supporti, i collettori, i terminali, le bus-bar, l'hardware e tutte le altre parti necessarie per fare del magnete un'entità a sé stante chiavi in mano.

2.4.2 Come spaziatori tra la superficie di acciaio e la bobina dovranno essere utilizzati dei fogli di resina epossidica rinforzati con fibre di vetro dello spessore di 1-2 mm. Un foglio di gomma di spessore 1-2 mm dovrà, inoltre, essere posto tra le bobine per compensare le irregolarità superficiali e per permettere l'espansione termica.

2.4.3 I terminali elettrici dovranno essere parte del magnete: essi dovranno essere dimensionati in modo da accettare i dadi standard scelti da INFN-CNAO ed elencati in appendice. Tutte le superfici conduttrici di contatto dovranno essere rivestite in argento come indicato nel paragrafo 2.3.1.4 di questa specifica.

2.4.4 CNAO ha adottato dei tubi isolanti rinforzati e dei raccordi in acciaio come standard nominale durante l'intero progetto. Il fornitore è tenuto a fornire tubi e raccordi tra bobine e collettori secondo gli standard CNAO, inclusi nelle appendici di queste specifiche. CNAO dovrà provvedere all'assemblaggio della tuberia dai raccordi del magnete alla rete idrica.

2.4.5 Tutte le parti elettriche esposte al personale dovranno essere convenientemente protette mediante contenitori adeguati. I collettori dell'acqua dovranno essere opportunamente supportati ed isolati mediante staffe di materiale isolante. La morsettiera per i dispositivi di interlock e la loro posizione dovranno essere quelle specificate sui relativi disegni.

2.4.6 Una targa identificativa sarà richiesta per ciascun magnete, il design e la locazione della stessa saranno discussi con il fornitore a tempo debito. Le seguenti informazioni dovranno apparire sulla targa:

- 1 Magnet Name
- 2 Serial No.
- 3 Nominal Field (in Tesla) or gradient (in Tesla/m)

- 4 Nominal Voltage (in Volts)
- 5 Nominal Current (in Ampere)
- 6 Magnet Resistance (in ohm)
- 7 Magnet Inductance (in Henry)
- 8 Magnet Weight
- 9 Date manufactured (day-month-year)
- 10 Drawing Number

2.4.7 TEST D'ACCETTAZIONE PRESSO LA SEDE DEL FORNITORE

- 2.4.7.1. Il sistema idraulico del magnete completamente assemblato, inclusi raccordi, tubi, ecc., dovrà sostenere un test idrostatico ad una pressione di 3MPa per un minimo di 15 minuti. Non sono accettabili perdite di alcun genere.
- 2.4.7.2. Il magnete dovrà essere sottoposto a test di alta tensione tra le bobine ed il giogo. Una tensione DC di 2.5 kV dovrà essere applicata tra il terminale della bobina ed il giogo di acciaio per un minuto o più. La resistenza dovrà essere superiore a 100 MΩ.
- 2.4.7.3. Misure di resistenza elettrica ai terminali del magnete.
- 2.4.7.4. Dovrà essere testato il corretto funzionamento del sistema di interlock.
- 2.4.7.5. Per ciascun circuito idraulico si dovrà misurare il flusso d'acqua corrispondente ad una caduta di pressione di 0.7 MPa. Dovrà rientrare entro il 2% del valore riportato nella lista dei parametri. Tali valori dovranno essere registrati sui documenti di Qualità per riferimenti futuri. Appena terminati questi test, l'acqua rimasta nel circuito di raffreddamento dovrà essere completamente evacuata mediante aria compressa per evitare danni da congelamento..
- 2.4.7.6. Le misure magnetiche dovranno essere eseguite come descritto nel paragrafo 2.7.

2.4.8 DOCUMENTAZIONE

I documenti di Qualità dovranno essere consegnati insieme al magnete a cui si riferiscono. Il formato di tali documenti verrà stabilito dopo consultazione con CNAO.

2.5 SUPPORTO DEI MAGNETI

- 2.5.1 La progettazione del sistema di supporto regolabile per i magneti è fornito da CNAO. Devono essere previsti dei golfari per movimentare e posizionare correttamente questi magneti. Il progetto fornito soddisfa i requisiti speciali relativi alle procedure di allineamento e tiene conto delle future manutenzioni di questi dispositivi una volta installati nell'acceleratore. Al fornitore non è concesso alterare il progetto del disegno della struttura portante senza approvazione scritta da parte di CNAO.
- 2.5.2 I materiali per il sistema di supporto sono principalmente in alluminio AL 6082, anodizzato nero. È richiesto il rivestimento protettivo contro la corrosione per acciaio a basso tenore di carbonio; deve consistere in una mano di primer antiruggine e finire con due mani di vernice epossidica o poliuretana. Il colore deve essere quello del giogo del magnete.
- 2.5.3 Tra le gambe di ritorno del magnete e gli spaziatori removibili sono richieste delle spine di riferimento, così come tra gli spaziatori removibili e la base regolabile. Lo spaziatore removibile verrà rimosso dall'insieme del magnete durante l'installazione o la rimozione della camera da vuoto. INFN-CNAO richiede che, dopo una tale operazione, il correttore già allineato ritorni nella posizione precedente con una precisione di ± 0.02 mm mediante delle appropriate spine di riferimento. È obbligatorio che il tassello indurito venga inserito in un

foro di alluminio per evitare un'usura eccessiva. Le spine dovranno essere attaccate ai supporti per evitare che siano mal-posizionate.

- 2.5.4 Tutte le singole parti devono essere identificate con il loro magnete associato e propriamente contrassegnate in posizioni facilmente visibili.

2.6 TRASPORTO E PRECAUZIONI DA ADOTTARE

- 2.6.1 È responsabilità del fornitore consegnare tutti i magneti e le attrezzature ben protetti e senza danni alla sede del CNAO.
- 2.6.2 Tutti i condotti di raffreddamento dovranno essere adeguatamente chiusi ed asciugati in modo da evitare danni da congelamento.
- 2.6.3 Le parti che sporgono dal magnete, specialmente le estremità delle bobine e le connessioni elettriche, dovranno essere protette mediante coperture rigide.
- 2.6.4 L'intero magnete dovrà essere ricoperto con pellicola protettiva di plastica.
- 2.6.5 Al fine di evitare deformazioni o danni permanenti, il trasporto dovrà avvenire in strutture rigide e chiuse (containers). I magneti e le attrezzature potranno essere trasportati nello stesso container.

2.7 MISURE MAGNETICHE

Per la curva di eccitazione, la mappatura 2D e la lunghezza magnetica, si consiglia vivamente di utilizzare una sonda di hall montata su un micro coordinometro controllato. Per l'omogeneità di campo integrata si consiglia un metodo a bobina rotante. Il fornitore deve concordare con CNAO per un metodo alternativo.

Il fornitore deve fornire un rapporto contenente le analisi delle misure magnetiche e i dati grezzi con informazioni dettagliate sull'impostazione sperimentale per consentire l'analisi dei dati. Dati e report devono essere forniti in formato elettronico (Excel per dati e Word per report, non solo Pdf).

Il fornitore deve indicare nell'offerta il metodo che verrà utilizzato per le misurazioni e la configurazione della strumentazione.

Il fornitore è tenuto a misurare le seguenti quantità.

2.7.1 Quadrupoli:

- Misura delle armoniche e misura dell'asse magnetico rispetto all'asse meccanico a 10 correnti ($I = 15, 40, 65, 90, 115, 140, 165, 190, 215, 245$ A) con un raggio di riferimento di 47 m
- Lunghezza magnetica utilizzando le stesse correnti.
- Curva di eccitazione alle stesse correnti.

2.7.2 Solenoide:

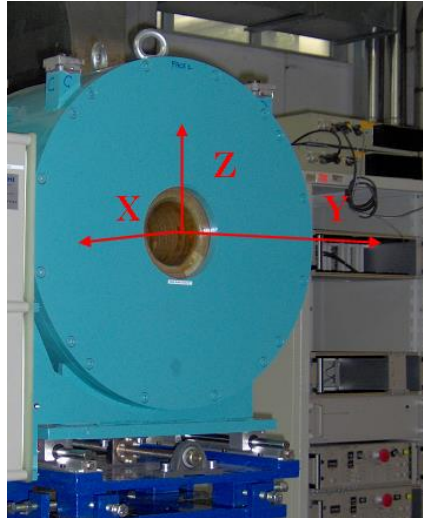


Figure 2 Assi di riferimento per le misurazioni del solenoide

- Curva di eccitazione

Il campo magnetico viene misurato nel centro meccanico del magnete (0; 0; 0) facendo rampare l'alimentatore da 0 A a I_{max} (250 A) con passo $\Delta I = 10A$.

Il comportamento del campo deve essere lineare (entro $2 \cdot 10^{-3}$ in media) sull'intero intervallo di corrente. L'errore relativo (relativo al campo massimo)

$$(B_{Meas} - B_{Fit}) / B_{Meas_250\ A}$$

deve essere minore di $2 \cdot 10^{-3}$ per ogni settaggio di corrente.

- Profilo di campo e campo integrato

Misurare il campo magnetico lungo l'asse meccanico a diverse correnti di eccitazione. L'intervallo di misurazione è:

$Y = [-400; +400]$ mm (step: 10 mm), con i seguenti valori correnti: $I = 5, 20, 60, 100, 140, 180, 220, 250A$. Un adattamento lineare dei dati del solenoide ricostruisce il campo integrato con un errore medio di circa $2 \cdot 10^{-3}$.

- Mappa 2D della good filed region

La mappa 2D viene acquisita a diverse coordinate y (cioè lungo l'asse meccanico del solenoide)

$\tilde{Y} = [-320; +320]$ mm, passo: 40 mm.

Per ogni valore $\tilde{Y}$ la coordinata $(X_C; Z_C)_{\tilde{Y}}$ del centro magnetico viene valutata adattando i dati con l'espressione:

$$B_Y(x; z)_{\tilde{Y}} = B_{0\tilde{Y}} + a_{x\tilde{Y}} \cdot (x - X_C)^2 + a_{z\tilde{Y}} \cdot (z - Z_C)^2.$$

Il centro magnetico è quindi il minimo (o massimo) del paraboloide per ciascuna data coordinata y .

La mesh selezionata è:

$x = [-20; +20]$ mm - step $x = 4$ mm

$z = [-20; +20]$ mm - step $z = 4$ mm

Le coordinate centrali da sole non sono una descrizione esaustiva del comportamento del magnete. Il campo del solenoide (per quanto riguarda la componente longitudinale) è molto "piatto" all'interno del magnete quindi considereremo una "barra di errore" definita come il raggio r_ϵ della circonferenza (centrata in $(X_C; Z_C)_{\tilde{Y}}$) i cui punti $(x; z)$ soddisfano:

$$B_Y(x, z) = B_Y(X_C; Z_C) \cdot (1 \pm \epsilon);$$

$$x^2 + z^2 = r_\epsilon^2;$$

dove ϵ è un parametro di uniformità pari a $5 \cdot 10^{-4}$.

Pertanto, invece di cercare l'asse del magnete, che è il fit migliore attraverso i punti $(X_C; Z_C)$, considereremo invece l'ellissoide definito dai punti $(X_C; Z_C)$ e le loro barre di errore radiali nelle diverse coordinate y .

Le linee "Xmin" e "Xmax" ["Zmin" e "Zmax"] sono definite come:

$$\begin{aligned} X_{\min} &= X_C - r_\varepsilon & [Z_{\min} &= Z_C - r_\varepsilon] \\ X_{\max} &= X_C + r_\varepsilon & [Z_{\max} &= Z_C + r_\varepsilon] \end{aligned}$$

Un fit pesato sui dati (metodo dei minimi quadrati) fornisce la seguente espressione per l'asse dei magneti, da cui è possibile dedurre l'inclinazione e lo spostamento da applicare per l'allineamento.

$$\begin{aligned} X_C(y) &= A_X y + B_X \text{ [mm]} \\ Z_C(y) &= A_Z y + B_Z \text{ [mm]} \end{aligned}$$

3 APPENDICI

3.1 CONNESSIONI ELETTRICHE STANDARD

3.1.1 Una serie di terminali elettrici deve far parte del gruppo del magnete, il terminale deve essere dimensionato in modo tale da accettare i capicorda come specificato di seguito.

TIPO DI MAGNETE	# di capicorda per terminale(mm²)	sezione dei cavi
Quadrupolo	1	185
Solenoid	1	120

3.1.2 La struttura magnetica deve essere messa a terra almeno in un punto per mezzo di un cavo di terra adatto (verde-giallo) avente la seguente sezione trasversale:

Sezione del conduttore di potenza	Sezione del conduttore di terra
(mm ²)	(mm ²)
$S \leq 16$	$S_{\text{ground}} = S$
$16 < S < 35$	16
$S > 35$	$S_{\text{ground}} = S/2$

3.2 TUBI E RACCORDI IDRAULICI

3.2.1 TUBI

Tubi speciali, se utilizzati, sono necessari per tutti i collegamenti idraulici flessibili.

Caratteristiche dei tubi:

Resistenza elettrica: 50×10^{-6} Ohm/m minimum dry. (la manichetta deve essere pressata con

1,5 MPa di acqua distillata per una settimana prima della prova).

Mezzo operativo: acqua deionizzata; con resistività minima di $3.3 \times 10^6 \text{ Ohm} \times \text{cm}$.

Pressione massima di esercizio: 1MPa.

Pressione massima consentita: 3 MPa.

Temperatura massima di esercizio: 80 °C.

Dosi cumulative di radiazioni: $5 \times 10^5 \text{ Gy}$.

Diametro interno tubo flessibile: 10 mm or 20 mm.

Flessibilità: raggio di curvatura di 90 mm min. per 10 mm I.D..

Colore del rivestimento: blu (o colori alternativi con approvazione CNAO).

Materiale Richiesto: Gomma EPDM rinforzata con poliestere.

3.2.2 RACCORDI

Le bobine termineranno con raccordi in acciaio inossidabile AISI 316.

La piegatura dei terminali delle bobine deve essere eseguita in modo tale da evitare che dell'acqua goccioli verso la bobina in caso di fuoriuscita accidentale dai collegamenti.

I terminali delle bobine devono essere saldati ai raccordi evitando qualsiasi riduzione della sezione o indebolimento della bobina o del raccordo stesso. I raccordi avranno quindi un alloggiamento per adattarsi al terminale della bobina arrotondato con il gioco necessario per la brasatura.

I raccordi devono essere:

maschio JIC sv.74° 9/16 - 18 per la connessione al tubo di 10mm ID

maschio JIC sv.74° 11/16 - 12 per la connessione al tubo di 20mm ID

Norma applicabile SAE J514

Qualsiasi connessione flessibile nel magnete deve impiegare raccordi femmina rotanti su entrambe le estremità del tubo, con la stessa filettatura di cui sopra. I raccordi devono essere serrati sul tubo mediante un manicotto premuto a macchina.

Solo in casi particolari di mancanza di spazio, sarà tollerata una connessione realizzata da attacchi a scatto e a vite. Devono essere adottate solo clip in acciaio inossidabile.

Prodotto consigliato: NORMACLAMP S, acciaio inossidabile - produttore: Norma Group - Rasmussen GMBH (Germania)

3.2.3 ASSEMBLAGGIO DEI TUBI

La pressione massima nominale deve essere di 3 MPa.

I campioni di assemblaggio dei tubi (con i relativi raccordi) devono essere sottoposti a prova di pressione a 1,5 MPa per 1 ora.

3.2.4 COLLETTORI

Tutti i collettori, se presenti, devono essere di dimensioni adeguate e realizzati in acciaio inossidabile AISI 316, come qualsiasi altro particolare montato su di essi. Il gruppo collettore deve essere saldato TIG con riempimento di argon. Dopo la saldatura, il gruppo deve essere sciacquato internamente in acqua demineralizzata e tutte le connessioni saldate devono essere spazzolate esternamente solo da una spazzola in acciaio inossidabile.

Ciascun collettore deve essere dotato di una valvola principale, una valvola di sfiato dello spurgo, una valvola di scarico e una connessione per un manometro.

Tutte le valvole e i raccordi devono essere in acciaio inossidabile AISI 316.

Tutte le valvole devono essere montate sul collettore mediante un manicotto filettato saldato su di esso e la sigillatura del filo deve essere eseguita con un'adeguata pasta indurente, compatibile con l'acqua demineralizzata.

Non è ammesso alcun imballaggio di canapa.

4 DESIGN DI BASE E DISEGNI

4.1 GENERALE

I disegni (file AUTODESK INVENTOR ed eventualmente copie cartacee) inclusi in questa sezione sono il progetto di base dei magneti del CNAO e devono essere utilizzati come base per tutti i lavori di progettazione dei dettagli. I file vengono forniti agli offerenti per preparare le loro offerte. CNAO ha assegnato alcune dimensioni e tolleranze ai dettagli più importanti. Il fornitore è tenuto a compensare tutte le altre dimensioni e tolleranze necessarie ai fini della produzione. Si prevede inoltre che il fornitore realizzi tutti gli altri disegni di dettaglio necessari per la produzione dei magneti. I disegni prodotti dal fornitore devono avere una qualità tale che una terza parte sarà in grado di produrre l'oggetto in questione senza alcuna difficoltà. I disegni e le specifiche devono essere preparati in lingua inglese e avere unità metriche. I file AUTODESK devono essere conformi a 1.2.1.1 della presente specifica.

4.2 ELENCO DEI DISEGNI

DRWMC-DDLEB-00363	SOLENOIDE (LEBT SOLENOID ASSEMBLY)
DRWMC-DDLEB-00364	SOLENOIDE (LEBT FRAME YOKE)
DRWMC-DDLEB-00365	QUADRUPOLO (LEBT LAMINATION)
DRWMC-DDLEB-00366	QUADRUPOLO (LEBT COIL)

4.3 COLORI DEI MAGNETI

Quadrupolo	RAL 6019 (verde chiaro)
Solenoid	RAL 5251 (blu)