

Attività dei Laboratori Nazionali del Sud su acceleratori



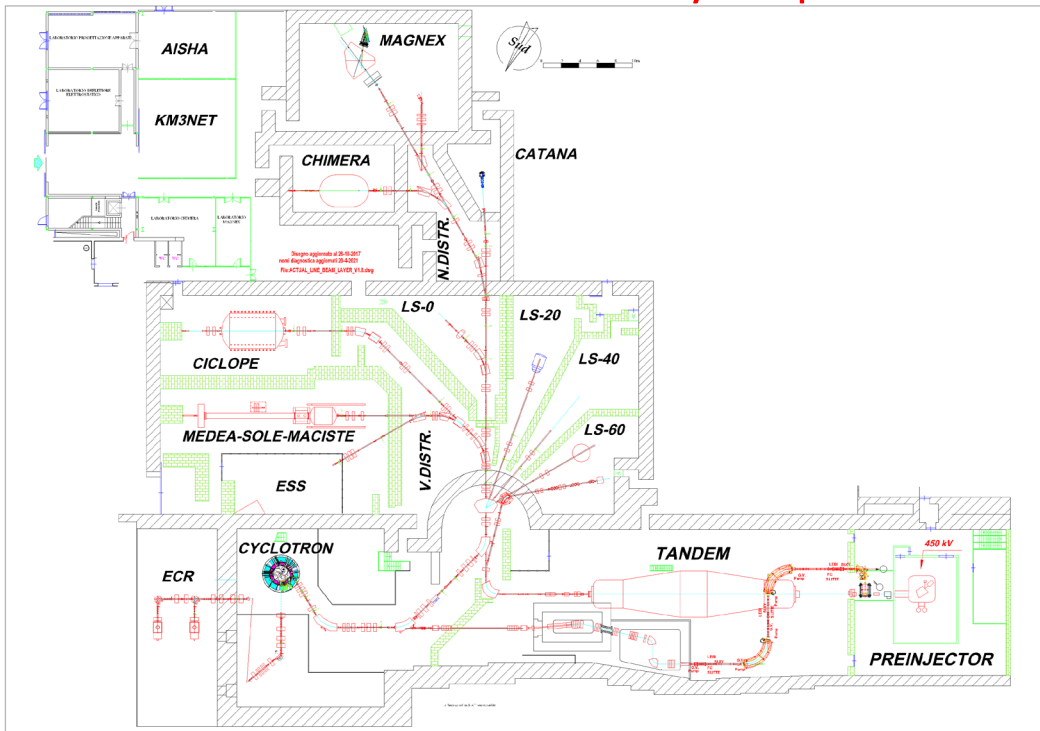
Stato e prospettive

Terza Giornata Acceleratori Frascati
4 - 5 Aprile 2024

Antonio Domenico Russo



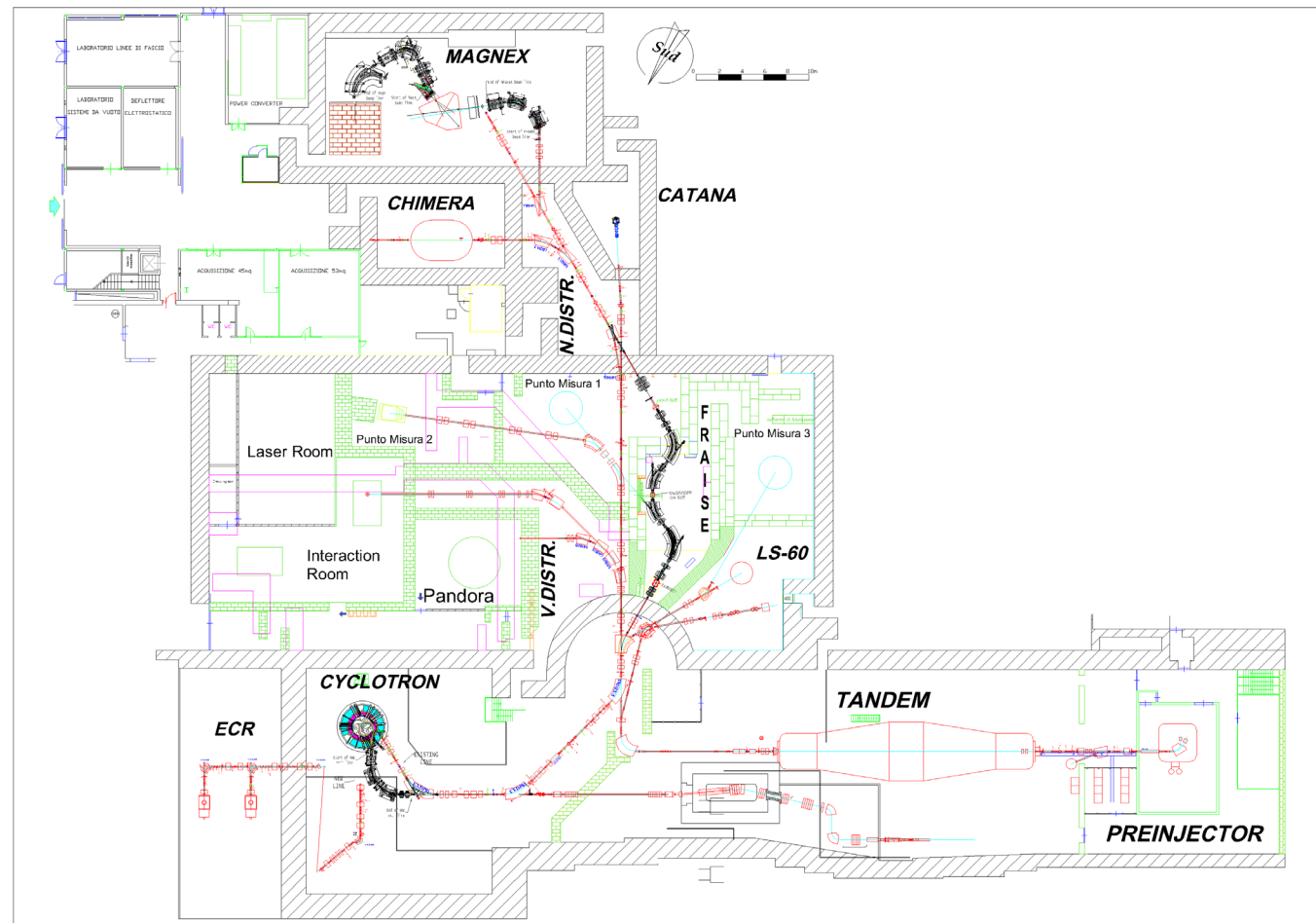
Layout precedente



I Laboratori Nazionali del Sud

Acceleratori, sorgenti, linee di fascio e sale sperimentali

Nuovo layout



Acceleratori ai Laboratori Nazionali del Sud

TANDEM

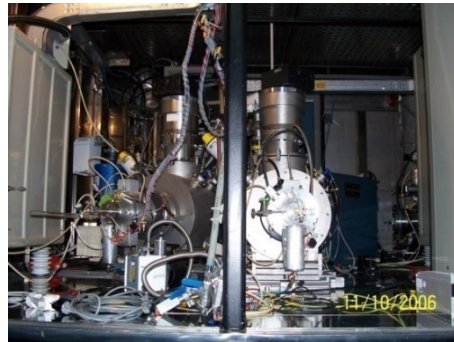


CICLOTRONE SUPERCONDUTTORE



Piattaforma 450 KV

Sorgenti sputtering



**Sorgente ECR
Superconduttiva SERSE**

**Sorgente ECR
Normal conducting CAESAR**



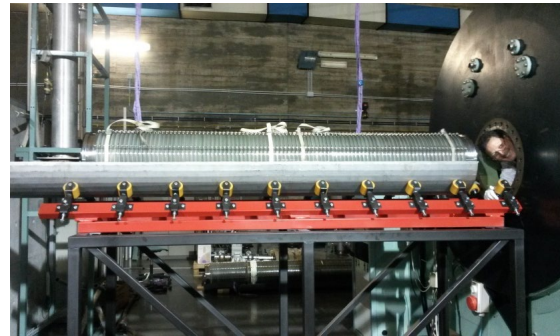
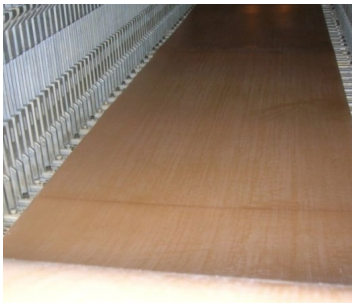
Il Tandem

Tandem HVEC MP da 15 MV operativo dal 1984
Funzionamento sospeso nel 2020 per inizio lavori edili POTLNS

Nel 2014-2015 è stato effettuato un upgrade a causa di:

- infiltrazioni di SF6 nel tubo 1
- obsolescenza del sistema di carica (cinghia non più fornita da HVEC)

Sostituzione del tubo 1 danneggiato
Sostituzione della cinghia con il Pelletron



Terza Giornata Acceleratori - Frascati 4/5 Aprile 2024



- ^1H , ^2H
- ^6Li , ^7Li
- ^9Be , ^{10}Be
- ^{10}B , ^{11}B
- ^{12}C , ^{13}C
- ^{14}N
- ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O
- ^{19}F
- ^{23}Na
- ^{24}Mg , ^{25}Mg
- ^{27}Al
- ^{28}Si , ^{29}Si
- ^{32}S , ^{34}S
- ^{35}Cl , ^{37}Cl
- ^{40}Ca
- ^{58}Ni , ^{60}Ni
- ^{63}Cu , ^{65}Cu
- ^{70}Ge
- ^{79}Br
- ^{93}Nb
- ^{116}Sn , ^{120}Sn
- ^{127}I
- ^{197}Au

Tandem

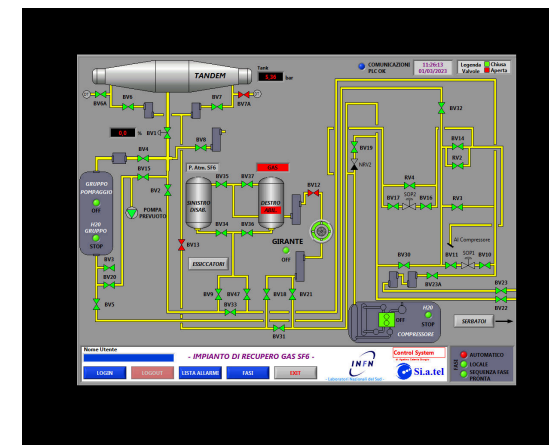
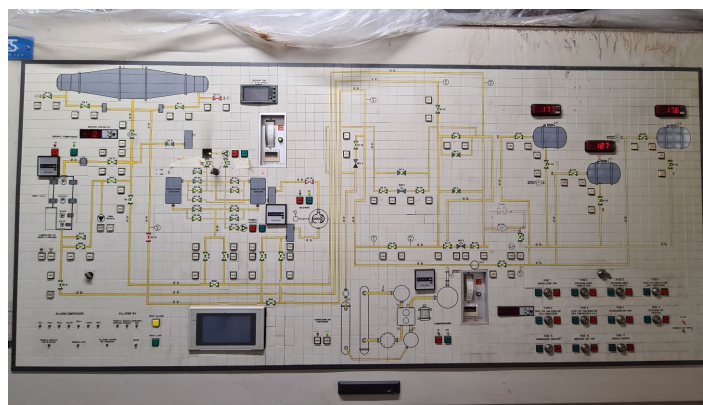
Nuovo sistema di controllo Vuoto Tandem

Progettazione e implementazione del nuovo sistema di controllo del vuoto Tandem con remotizzazione ed automazione dei controlli.

Manutenzione sistema di controllo SF6

E' stato effettuato l'aggiornamento del PLC del sistema di controllo dell'impianto SF6 e re-implementato il sinottico di controllo.

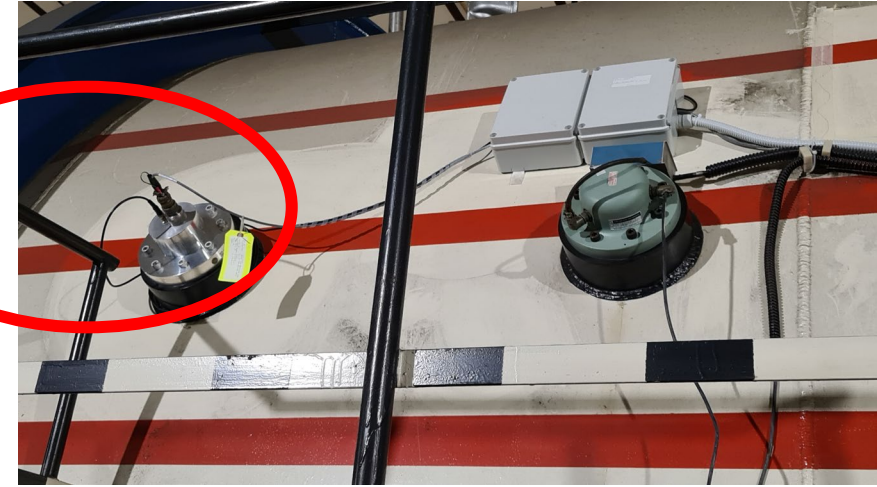
Necessaria una manutenzione periodica del compressore dell'impianto SF6 e del gruppo di pompaggio della tank



Tandem

Nuovo GVM (Generating Voltmeter)

- Trasferimento del gas nei contenitori esterni e messa in aria della tank
- Installazione nuovo GVM per la risoluzione di problemi di stabilità della tensione al terminale target 100ppm. Contestuale passaggio di cavi e canaline verso la console.

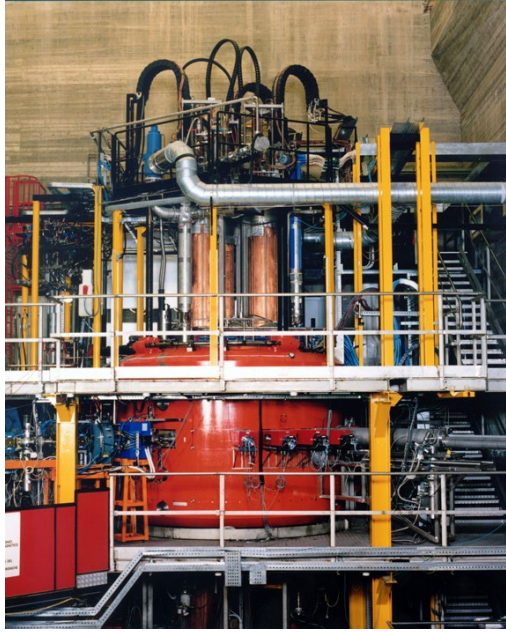


Accesso al Tandem

- Valutazione RSPP aspetti di sicurezza passerella
- Manutenzione Pelletron
- Manutenzione meccanica di pulegge



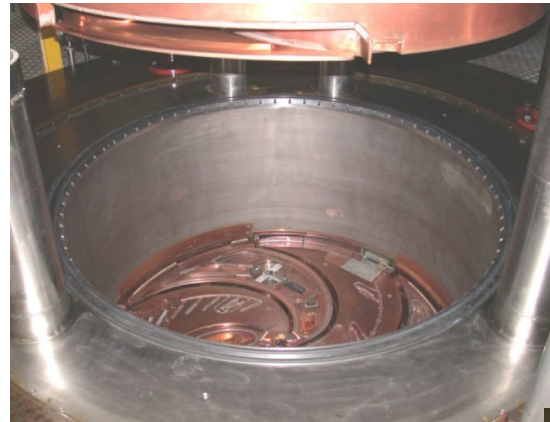
Il Ciclotrone Superconduttore



Operativo dal 1994 al 2020

Fino al 1999 post-acceleratore del Tandem

Dal 2000 stand-alone con sorgenti ECR



Bending limit	K=800
Focusing limit	Kfoc=200
Pole radius	90 cm
Yoke outer radius	190.3 cm
Yoke full height	286 cm
Min-Max field	2.2-4.8 T
Sectors	3
RF range	15-48 MHz

AZ	E (AMeV)
H ₂ ⁺	62,80
H ₃ ⁺	30,35,45
² D ⁺	35,62,80
⁴ He	25,62,80
He-H	10, 21
⁹ Be	45
¹¹ B	55
¹² C	23,62,80
¹³ C	45,55
¹⁴ N	62,80
¹⁶ O	21,25,55,62,80
¹⁸ O	15,55
¹⁹ F	35,40,50
²⁰ Ne	20,40,45,62
²⁴ Mg	50
²⁷ Al	40
³⁶ Ar	16,38
⁴⁰ Ar	15,20,40
⁴⁰ Ca	10,25,40,45
^{42,48} Ca	10,45
⁵⁸ Ni	16,23,25,30,35,40,45
^{62,64} Ni	25,35
^{68,70} Zn	40
⁷⁴ Ge	40
^{78,86} Kr	10
⁸⁴ Kr	10,15,20,25
⁹³ Nb	15,17,23,30,38
¹⁰⁷ Ag	40
¹¹² Sn	15.5,35,43.5
¹¹⁶ Sn	23,30,38
¹²⁴ Sn	15,25,30,35
¹²⁹ Xe	20,21,23,35
¹⁹⁷ Au	10,15,20,21,23
²⁰⁸ Pb	10

Motivazioni upgrade Ciclotrone Superconduttore

Limiti intensità del fascio e affidabilità criostato



Deflettore
elettrostatico

$^{13}\text{C}^{4+}$ @ 45 AMeV $P_{\text{extr}} = 100$ watt
 $I = 1020$ enA = 1.5×10^{12} pps

Setto: **raffreddato direttamente**

Nuovo materiale del setto: **W vs. Ta**

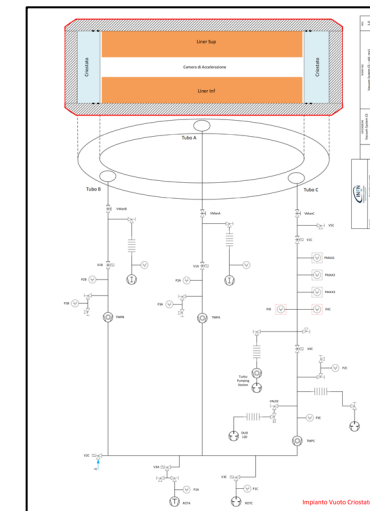
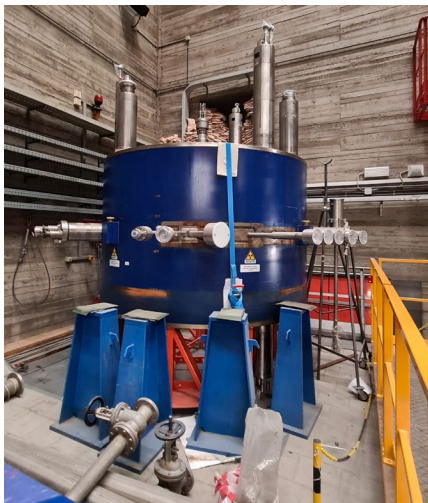
Spessore maggiore: **0.3 vs. 0.15 mm**

⇒ Efficienza di estrazione **63% vs. 50%**



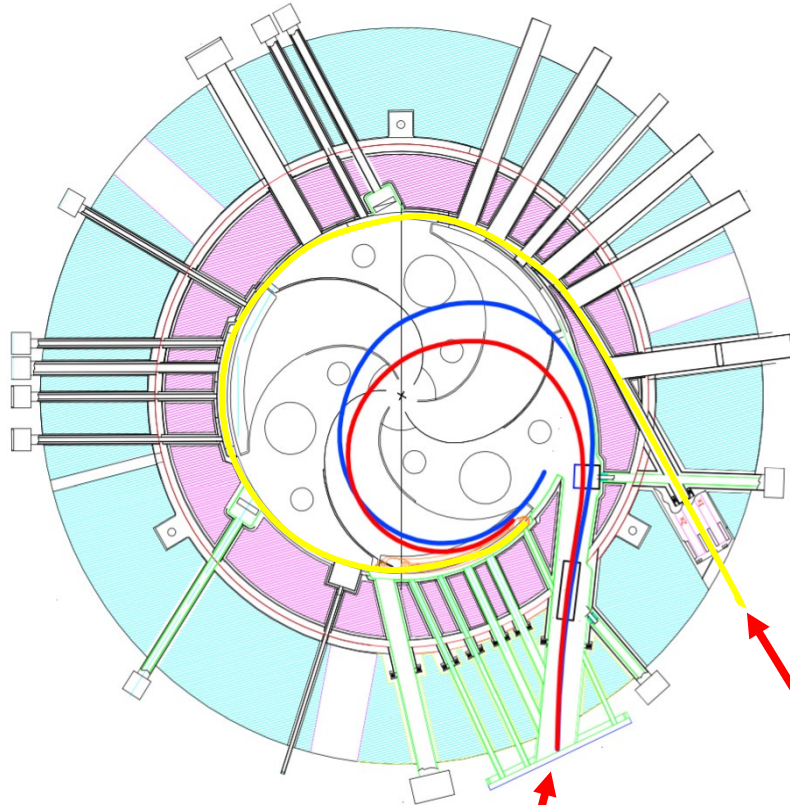
Criostato

- Perdite schermo azoto
- Scarsa tenuta tra camera di accelerazione e camera criostato per probabile fessurazione criostato in una delle saldature



Ciclotrone Superconduttore

Estrazione per stripping: alta efficienza -> aumento dell'intensità di fascio



L'estrazione per stripping è basata sul cambiamento della rigidità magnetica dello ione accelerato, quando lo stato di carica aumenta a seguito dell'attraversamento di un foglio sottile.

Per ioni con $A < 40$ e energia maggiore di 15 MeV/u, il processo di stripping $q=Z$ avviene in percentuale $>99\%$

Ioni estratti per stripping

Ioni estratti per deflessione elettrostatica

Ciclotrone Superconduttore

Intensità stimata dei fasci estratti per stripping

Attuale valore di intensità massima

$^{13}\text{C}^{4+}$ @45 MeV/u

$P_{\text{extr}} = 100 \text{ watt } I = 1 \cdot 10^{12} \text{ pps}$

Ion	Energy MeV/u	Isource μA	Iacc μA	Iextr μA	Iextr pps	Pextr watt
$^{12}\text{C } q=5+$	30	200	30 (4+)	45 (6+)	$4.7 \cdot 10^{13}$	2700
$^{12}\text{C } q=4+$	45	400	60 (4+)	90 (6+)	$9.4 \cdot 10^{13}$	8100
$^{12}\text{C } q=4+$	60	400	60 (4+)	90 (6+)	$9.4 \cdot 10^{13}$	10800
$^{18}\text{O } q=6+$	20	400	60 (6+)	80 (8+)	$6.2 \cdot 10^{13}$	3600
$^{18}\text{O } q=6+$	29	400	60 (6+)	80 (8+)	$6.2 \cdot 10^{13}$	5220
$^{18}\text{O } q=6+$	45	400	60 (6+)	80 (8+)	$6.2 \cdot 10^{13}$	8100
$^{18}\text{O } q=6+$	60	400	60 (6+)	80 (8+)	$6.2 \cdot 10^{13}$	10800
$^{18}\text{O } q=7+$	70	200	30 (7+)	34.3 (8+)	$2.7 \cdot 10^{13}$	5400
$^{20}\text{Ne } q=7+$	28	400	60 (7+)	85.7 (10+)	$5.3 \cdot 10^{13}$	4800
$^{20}\text{Ne } q=7+$	70	400	60 (7+)	85.7 (10+)	$5.3 \cdot 10^{13}$	10280
$^{40}\text{Ar } q=14+$	60	400	60 (14+)	77.1 (18+)	$2.7 \cdot 10^{13}$	10280

Test pre-upgrade

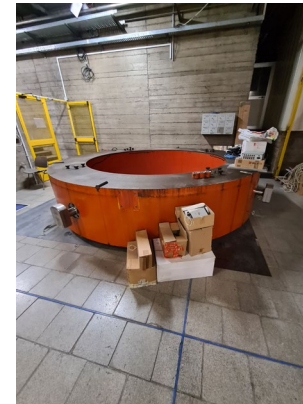
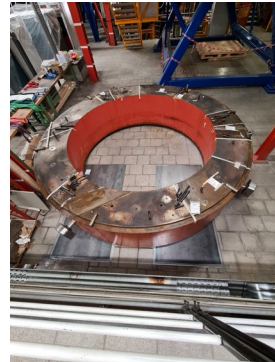
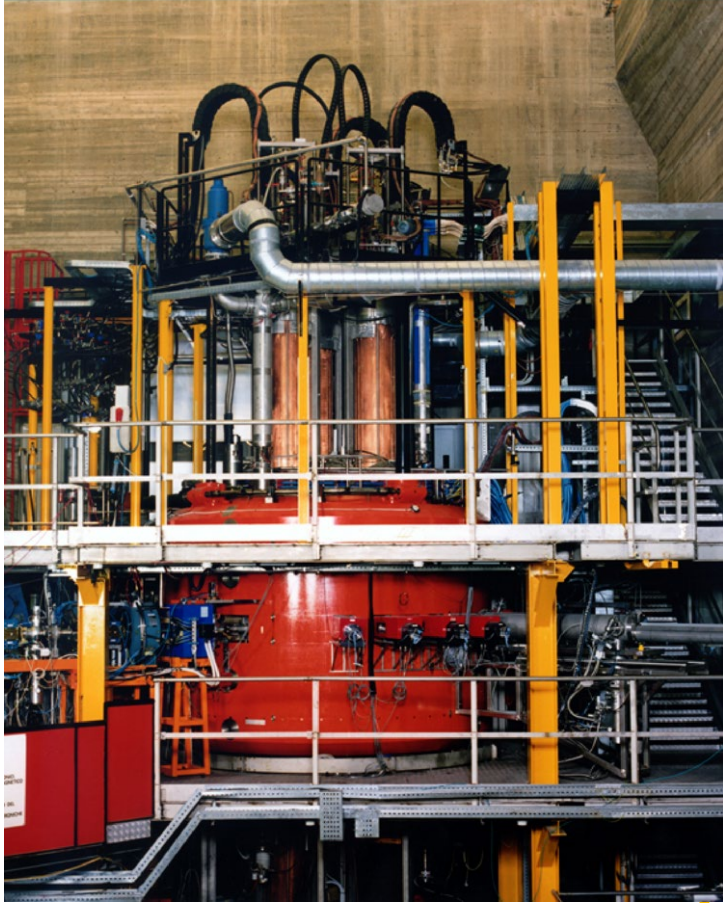
Test pre-upgrade

Test pre-upgrade

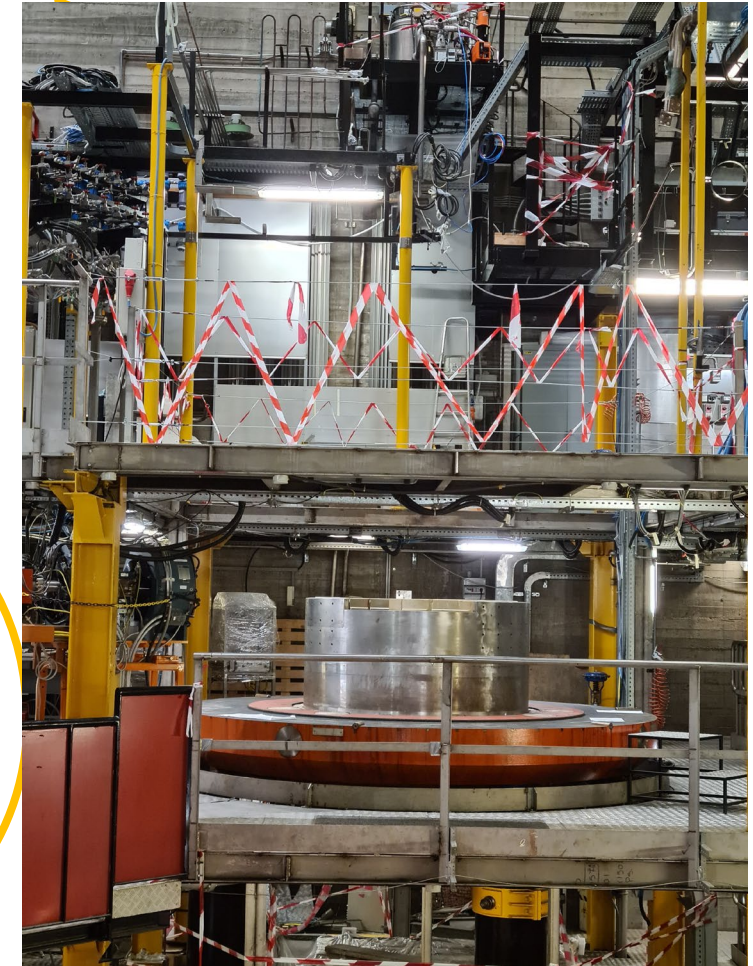
Test pre-upgrade

Ciclotrone Superconduttore

2020



2024

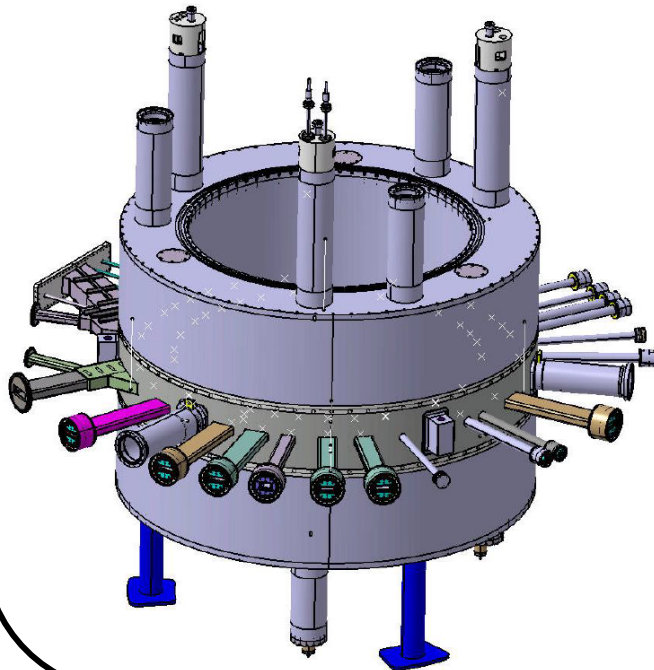


Ciclotrone Superconduttore

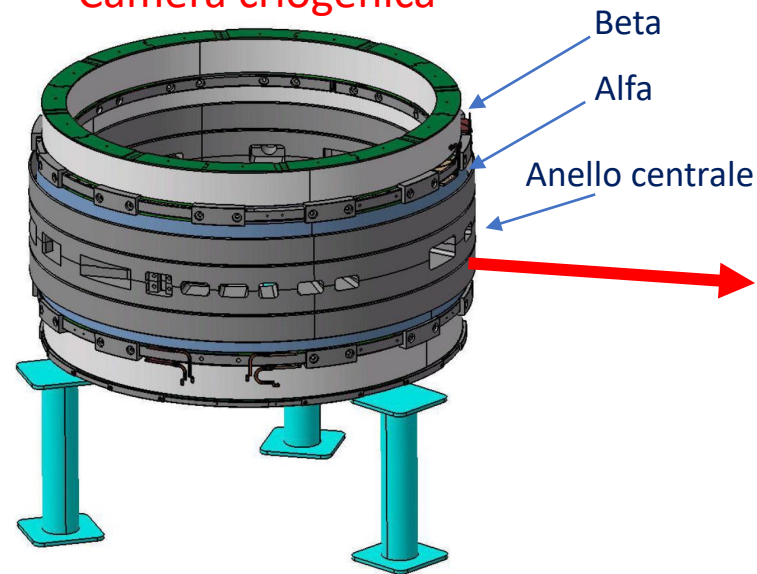
Nuovo magnete superconduttivo

- È stata effettuata la mappatura magnetica a temperatura ambiente delle singole bobine.
- Tali mappature hanno confermato la qualità delle singole bobine ed è stato possibile stimare le posizioni iniziali delle singole bobine rispetto all'anello centrale della camera criogenica da utilizzare in fase di pre-assemblaggio;
- Mappatura magnetica a caldo finale della coppia delle bobine Alfa in esecuzione

Criostato =
camera a vuoto + contenitore He



Camera criogenica



Ciclotrone Superconduttore

Liner

Incremento gap verticale camera di accelerazione da 24 mm a 30 mm

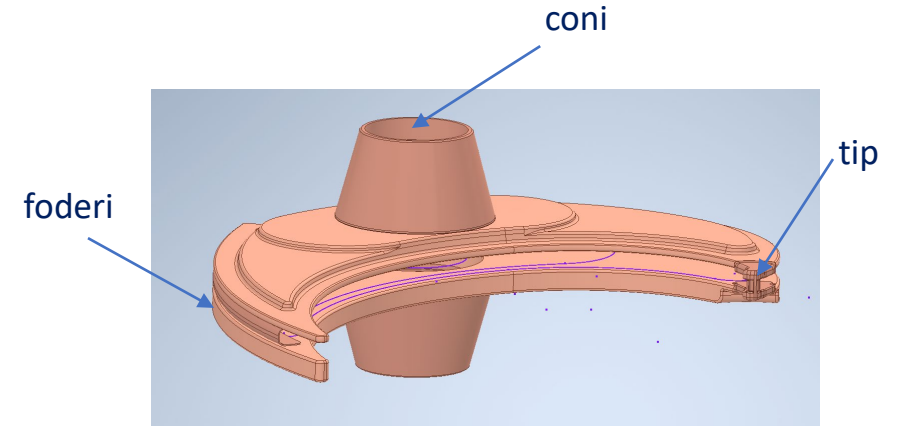
18-01-2024 Procedura di verifica compatibilità meccanica del liner superiore con il ferro del polo superiore -> **esito positivo**

07-02-2024 Procedura di verifica compatibilità meccanica del liner inferiore con il ferro del polo inferiore -> **analisi dimensionale in corso**



Adeguamento struttura Dee

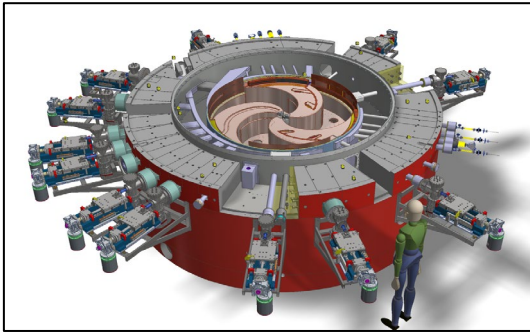
- Approvvigionati in fase di consegna



Ciclotrone Superconduttore

Canali magnetici e Movimentazioni

Implementazione del Sistema di controllo



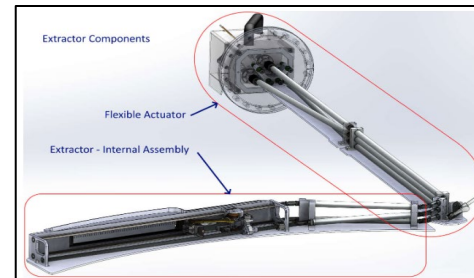
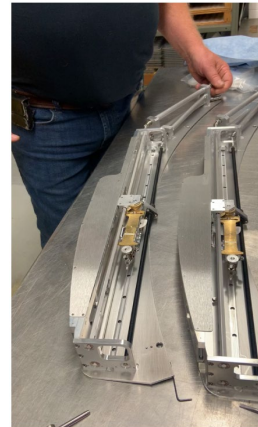
Power converter trim coils

Cablaggio del sistema di interlock e test sul sistema di controllo



Stripper

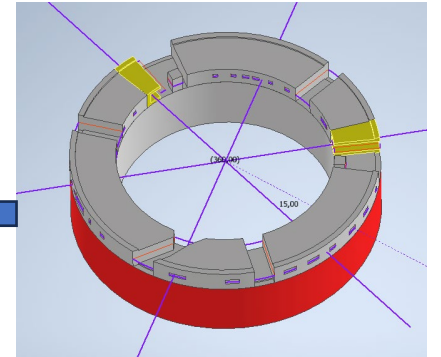
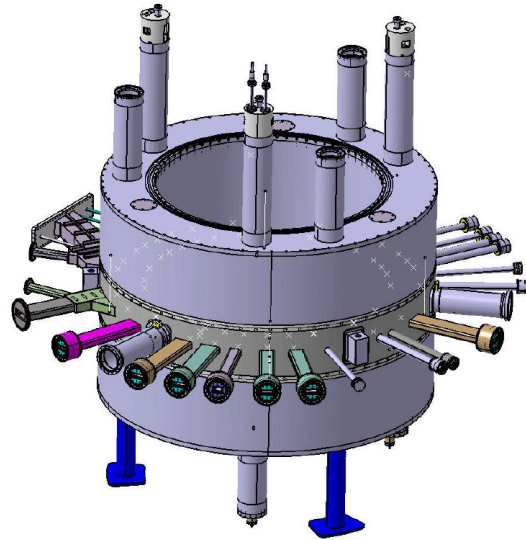
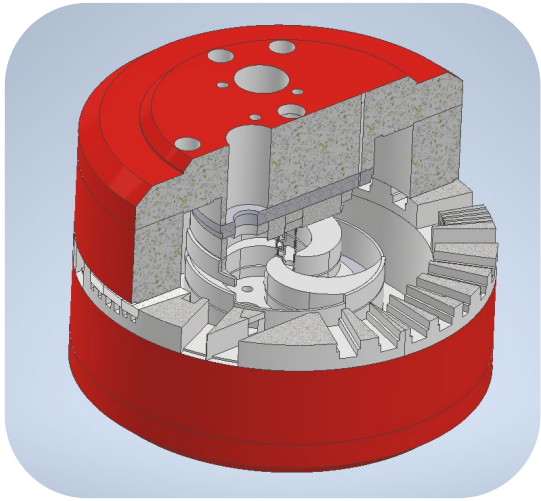
Preparazione ai test di attuazione fuori dalla macchina



Ciclotrone Superconduttore

Anello centrale del giogo

- Caratterizzazione dei nuovi settori dell'anello centrale
- E stesura del piano di installazione dell'anello



Ciclotrone Superconduttore

Mappatore di campo magnetico

E' necessario mappare il campo magnetico del CS (come già effettuato nel 1993-94), dopo la sostituzione del magnete s.c. e dell'anello centrale del giogo.

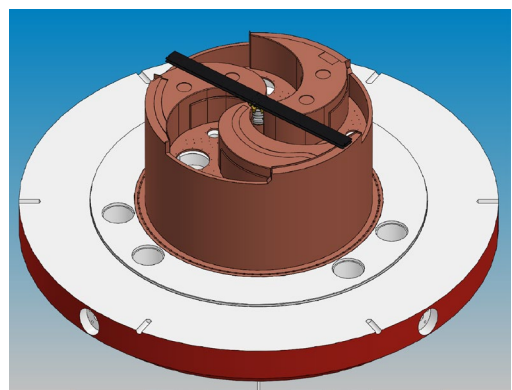
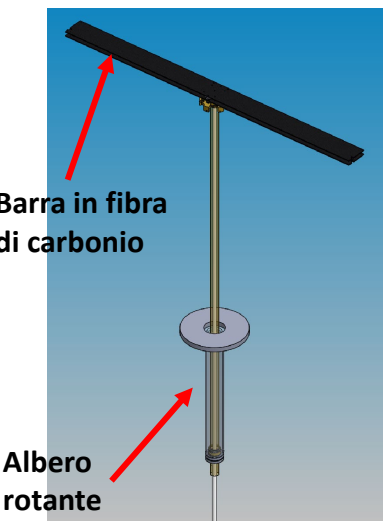
Le mappe magnetiche verranno utilizzate per ottenere differenti set di parametri necessari per l'accelerazione ed estrazione dei fasci ionici.

La mappatura dovrà essere eseguita per definire:

- diversi set di corrente sulle bobine che ricadono all'interno del *diagramma operativo* della macchina;
- la posizione finale delle bobine che minimizza la prima armonica e le forze radiali;
- La configurazione di shimming del giogo della macchina.

} totale alcune decine di mappe

Soluzione in fase di studio



- Accuratezza: 1 G
- Campo massimo: 4,5 T
- Tempo misura singola mappa: meno di un'ora.

Mappatore 93/94



Basato su search coil e NMR

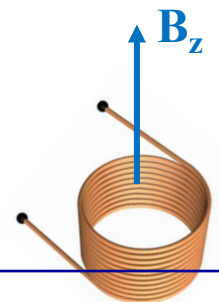
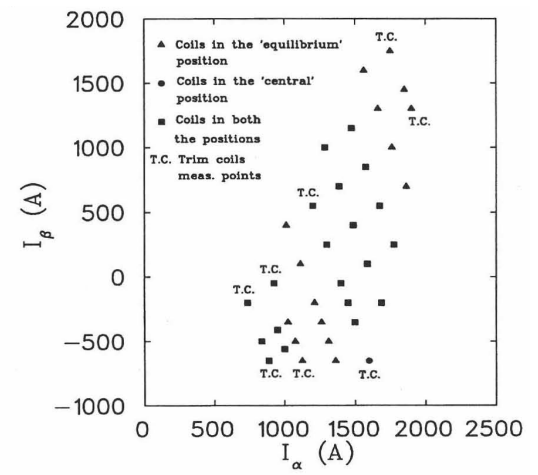
$$B_z^{SC} = \frac{1}{S_{tot} * v} \int_{R_{ini}}^{R_{end}} V(r) dr + B_0$$


Diagramma operativo



Ciclotrone Superconduttore

Criogenia

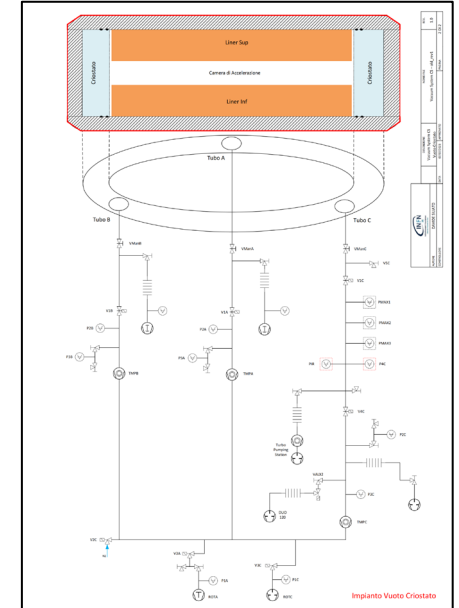
- Manutenzione straordinaria prevista per la primavera 2024 in vista del cooldown del nuovo magnete superconduttivo



Vuoto

In corso analisi e ottimizzazione dei vari sistemi di pompaggio al servizio della Ciclotrone:

- Vuoto camera di accelerazione
- Vuoto liner
- Vuoto criostato



RF

- In corso manutenzione delle cavità
- Realizzazione nuova meccanica buncher e chopper LE
- In corso test amplificatori di potenza 15-50MHz 40kW su dummy load

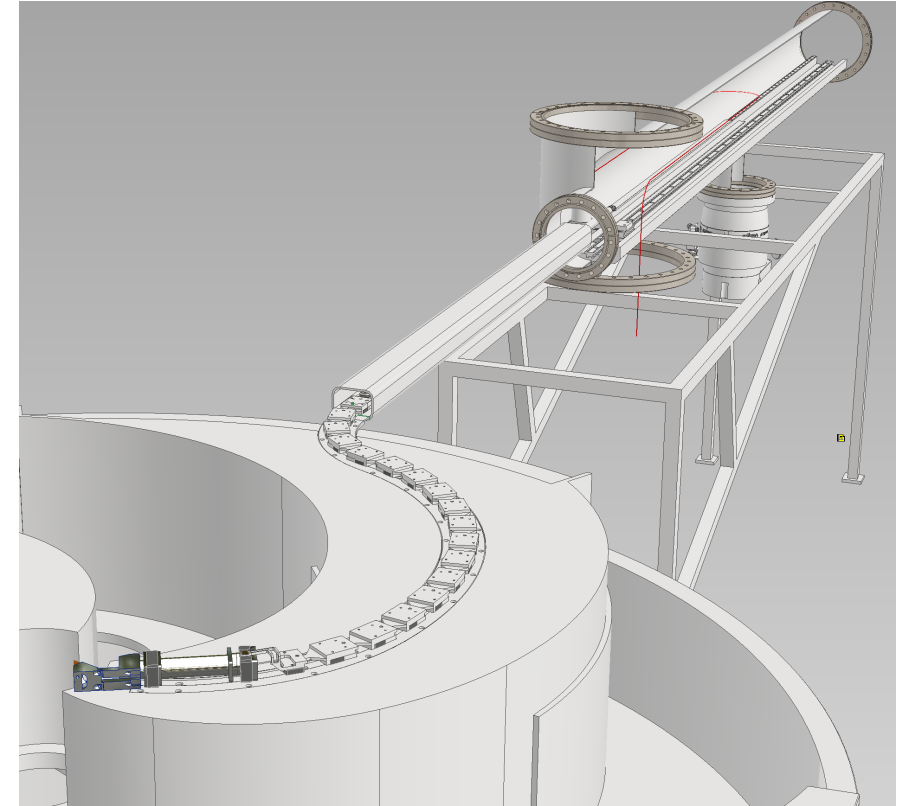
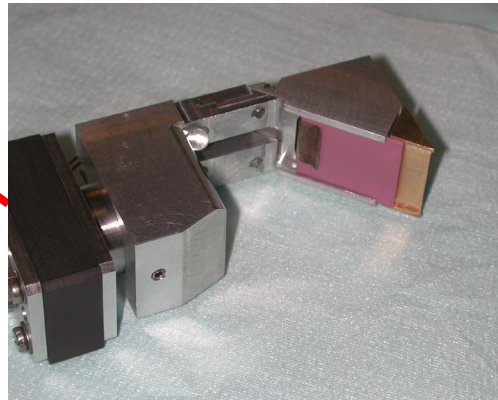
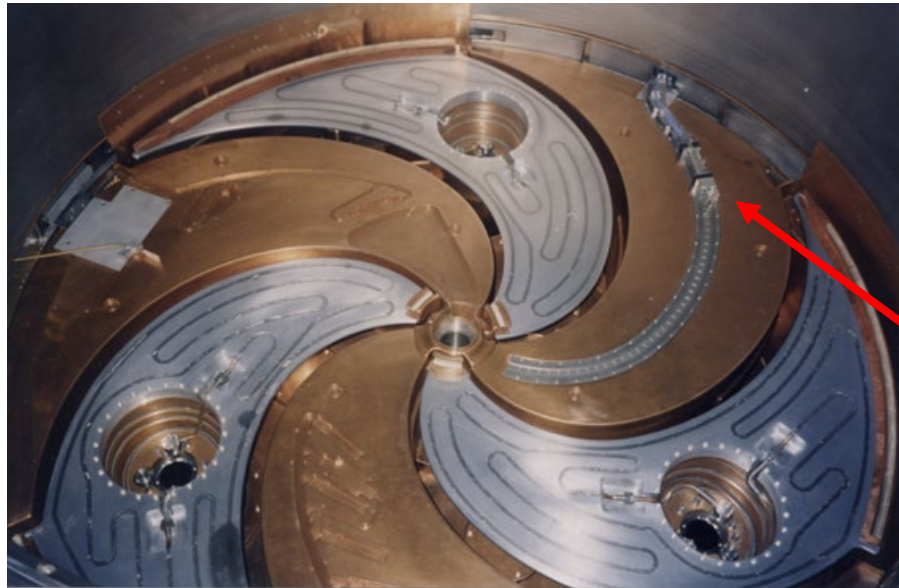


Ciclotrone Superconduttore

Sonda di corrente

Progettazione sonda di corrente ottimizzando il dispositivo esistente

- uno scintillatore in Allumina
- una piastra metallica per misura di corrente
- supporto di una telecamera miniaturizzata con elettronica remota
- guscio idoneo ad ospitare: lo scintillatore, la testa di misura, telecamera e cablaggi.



Sorgenti Tandem

Attività effettuate:

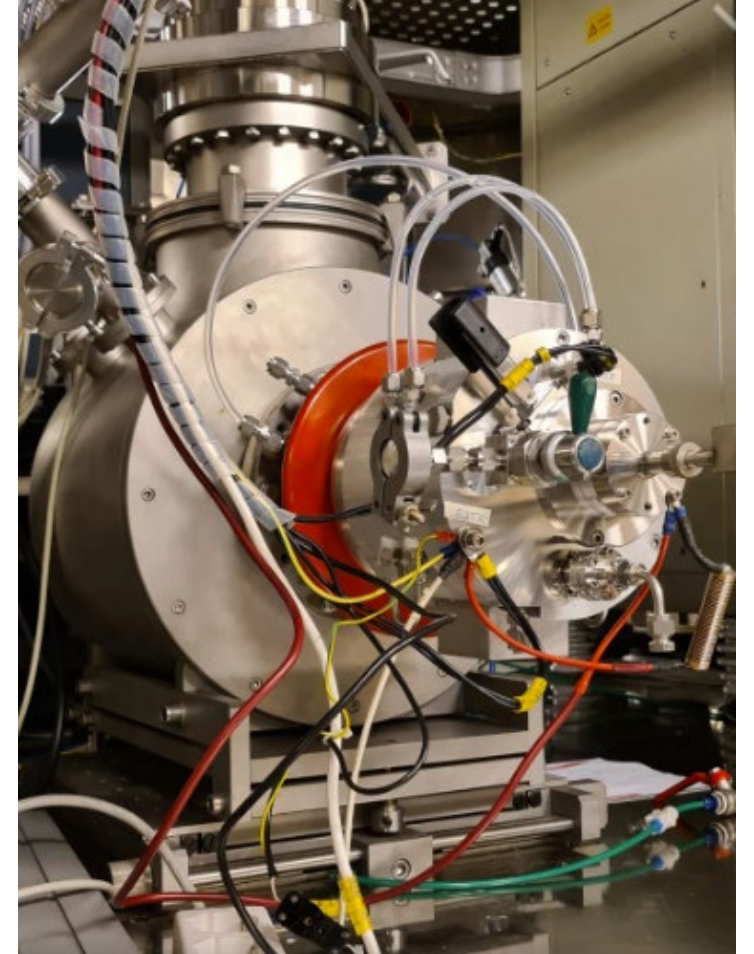
- Revamping of Cooling Water Distribution System
- Revamping of Compressed Air Distribution System
- Vacuum Cleaning and vacuum check
- Revamping of HV feedthrough
- Replacement of Panel PC with high performance and reliability industrial PC
- Aligment
- Stesura protocolli Operativi:
 - Sicurezza e Rischio incendio piattaforma;
 - Gestione Cesio nelle sorgenti sputtering;



Sorgenti Tandem

Attività programmate:

- Platform Access control in ottemperanza alle disposizioni normative;
- Sostituzione del trasformatore di isolamento.
- Training sorgenti Sputtering
 - Oro -> reference beam
 - Alluminio
 - Litio
 - Ossigeno
 - Carbonio da BN+grafite o B4C
 - Magnesio da Mg +H₂ or Mg+NH₃



Sorgenti ECR

Bassa intensità:

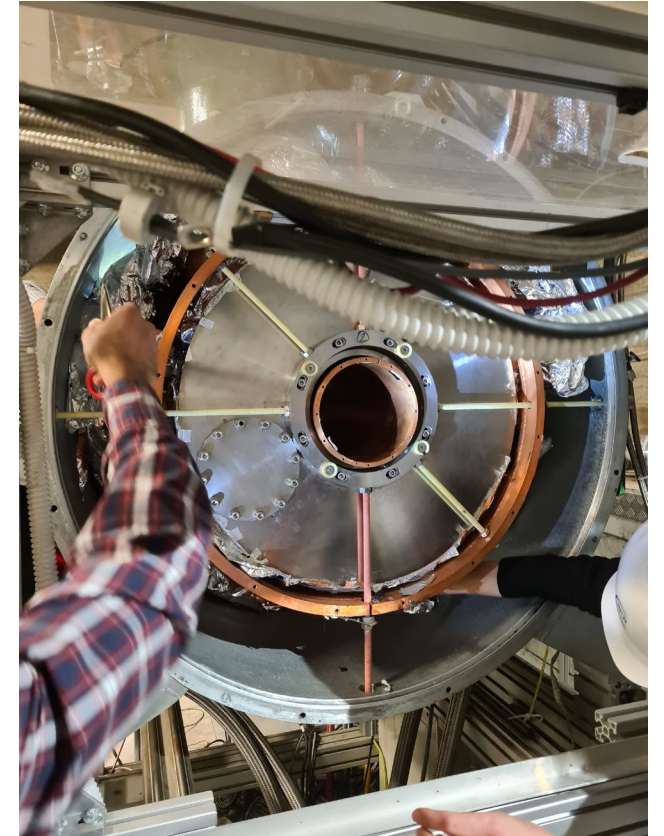
Manutenzione CAESAR: ECR normal conduttiva, specie gassose e metalliche a bassa intensità.

Alta intensità:

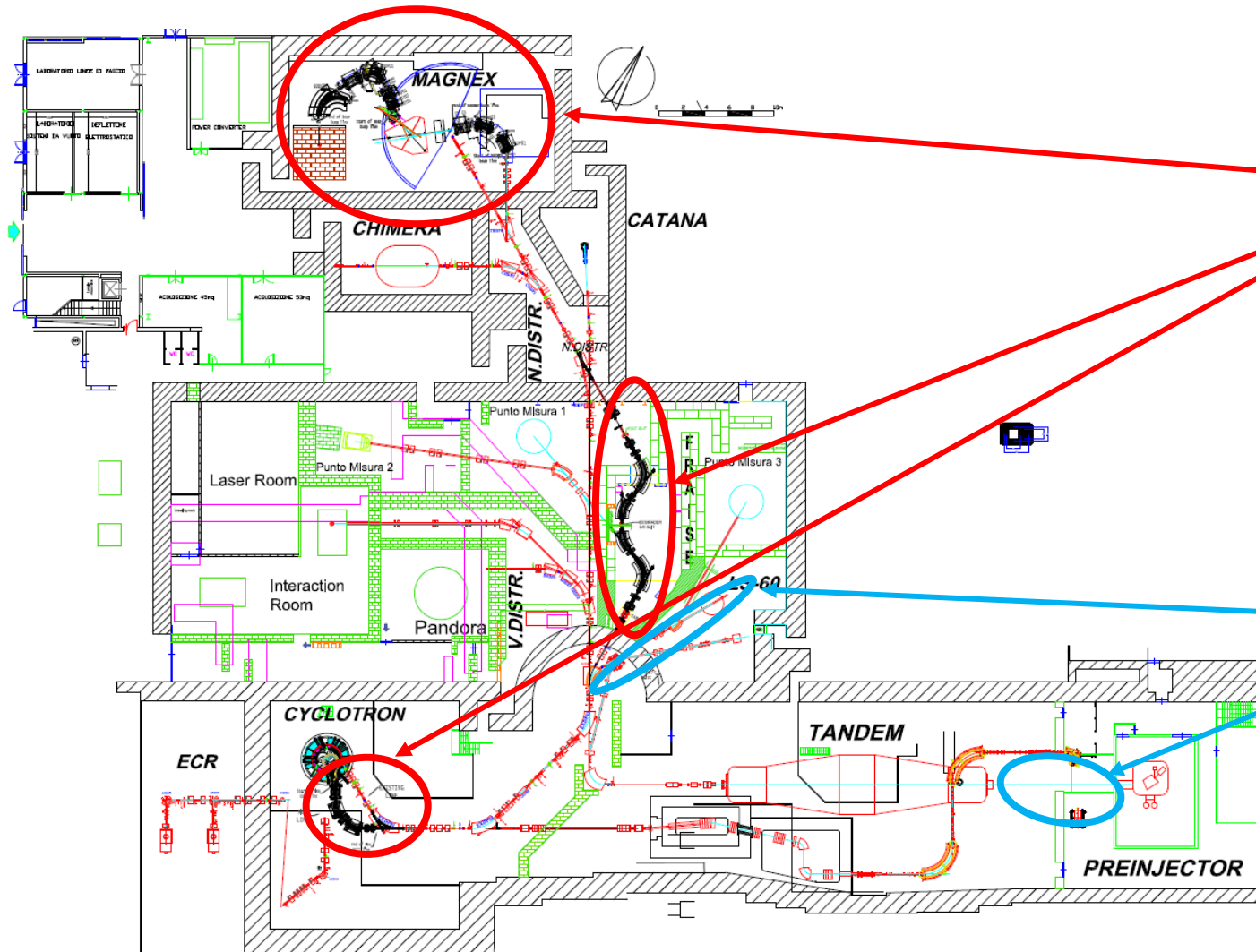
Manutenzione inizio 2024 SERSE: ECR superconduttiva, specie gassose e metalliche ad alta intensità

Primi fasci:

Commissioning a bassa intensità: 18O @ 30, 45 AMeV, H2 @ 62 AMeV



Linee di fascio



CS

- Linea di estrazione Stripping
- Linea FRAISE
- Linee in sala MAGNEX

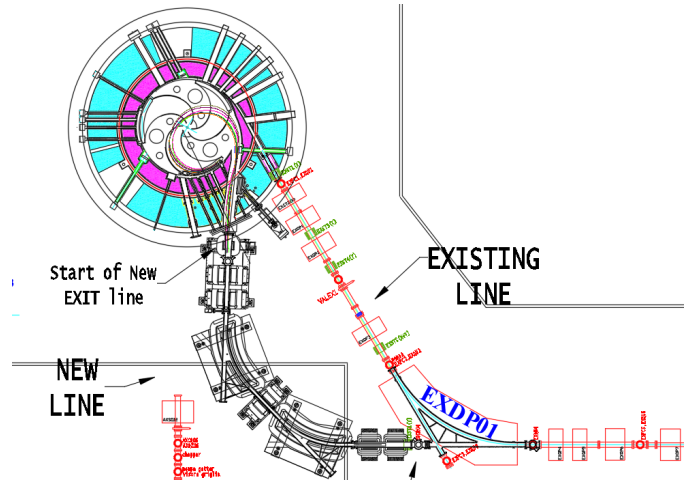
Tandem

- Linea Low Energy Tandem
- Linea 60 gradi

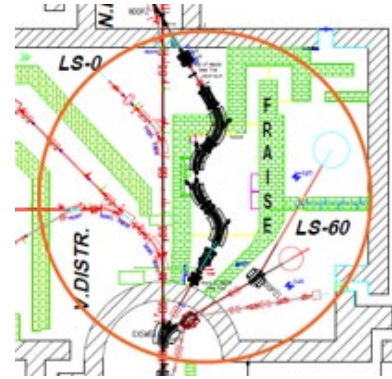
Linee di fascio

Installazione delle linee di trasporto

Linea di estrazione CS-Stripping



Linea FRAISE (Fragment Ion Separator)



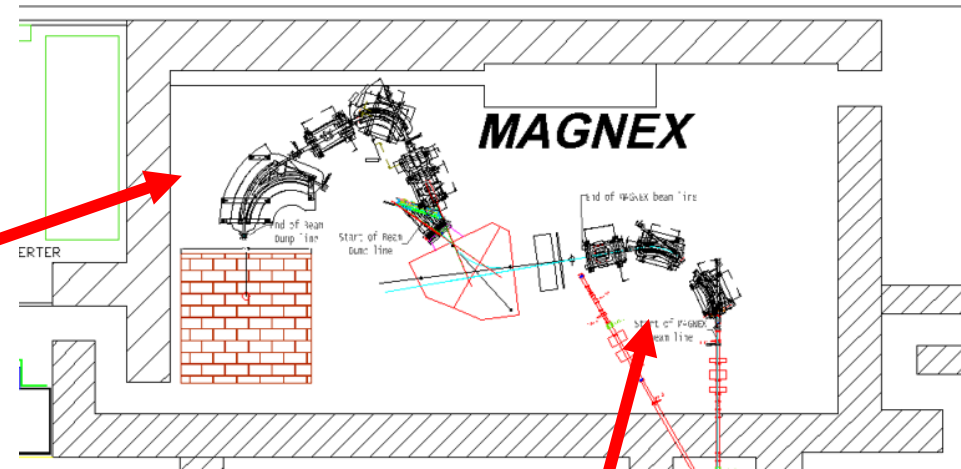
Massima rigidà magnetica = 3.2 Tm
Accettanza in momento = $\pm 1.2\%$
Accettanza angolare = 2.5 msterad,
Potere risolutivo in energia = 2600 @ $\sigma_x = 1$ mm.



Linee di fascio

Installazione delle linee di trasporto

Sala MAGNEX



Linea BEAM DUMP



Linea MAGNEX



Linee di fascio

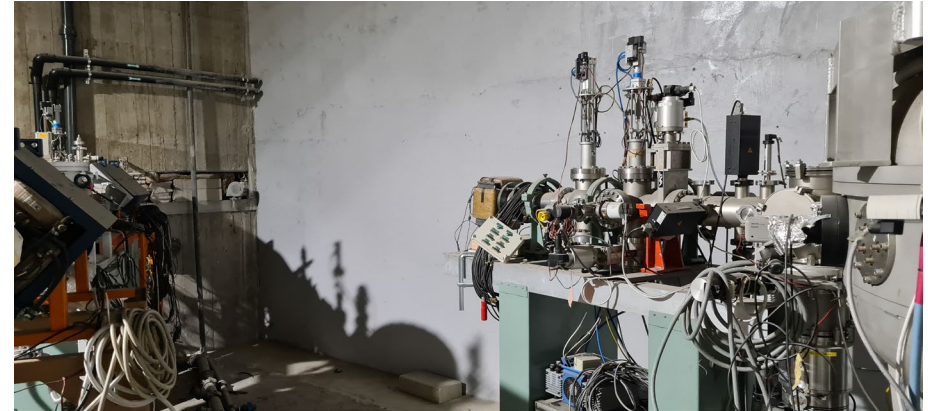
Manutenzione delle linee di trasporto Tandem

Linea Low Energy Tandem



- Installazione dei canali di servizio ultimata
- Installazione linea in fase di completamento

Linea 60 Gradi

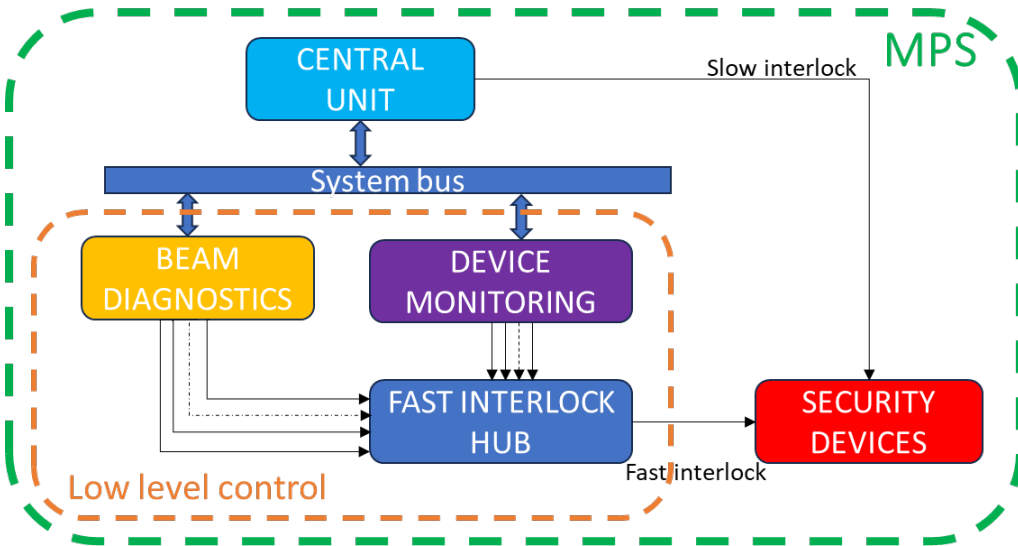


- Ripristino della linea 60° dopo l'installazione del magnete di switching, primo semestre 2024

Sistemi di diagnostica

Machine Protection System

Progettazione di un sistema di Machine Protection System che monitori le perdite di fascio nel canale di estrazione e lungo le linee di fascio regolando l'intensità di fascio grazie all'ausilio CHOPPER monitorando installato sulla linea di iniezione.



Diagnostica di fascio

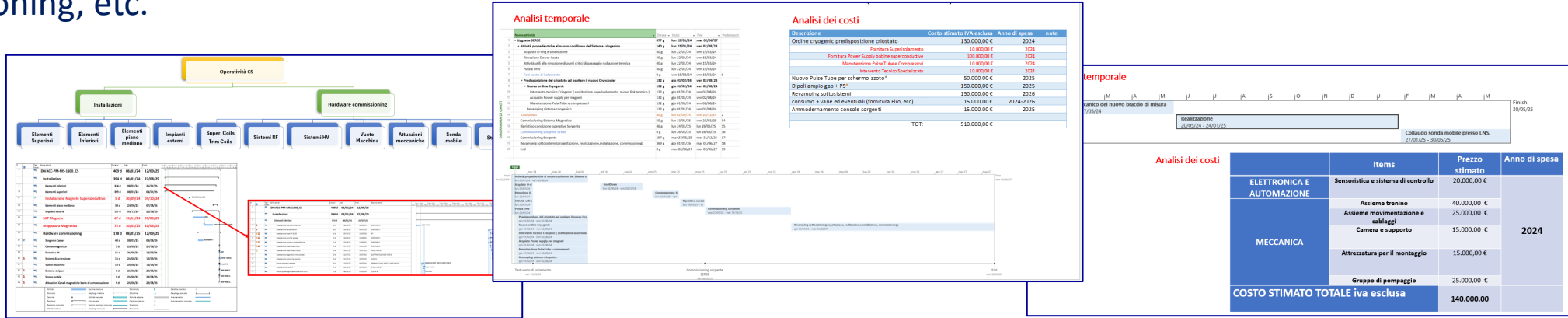
Test a banco dei sistemi di diagnostica non intercettiva Continuous Wave Current Transformer



Altre attività

Gestione

La divisione acceleratori è inoltre impegnata nella stesura dei piani operativi delle diverse attività di installazione, commissioning, etc.



Pulizia Straordinaria

È in corso una pulizia industriale delle aree del laboratorio a seguito degli interventi edili previsti per il POTLNS.



Terza Giornata Acceleratori - Frascati 4/5 Aprile 2024

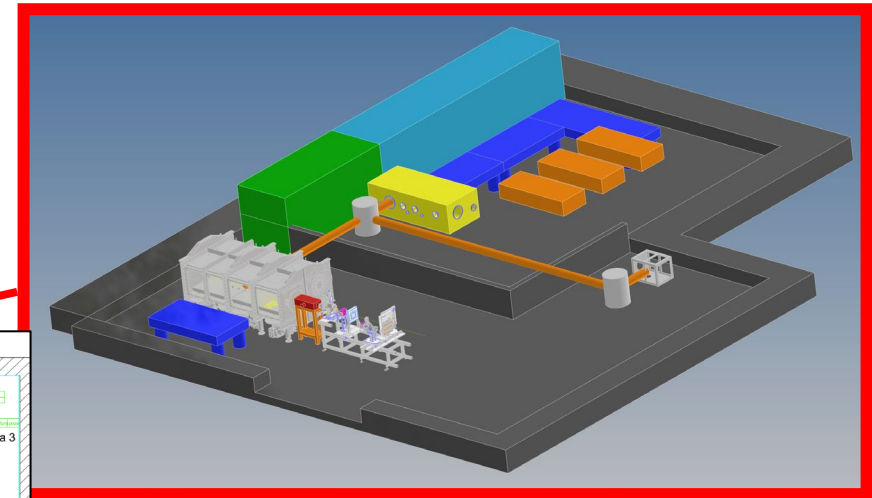
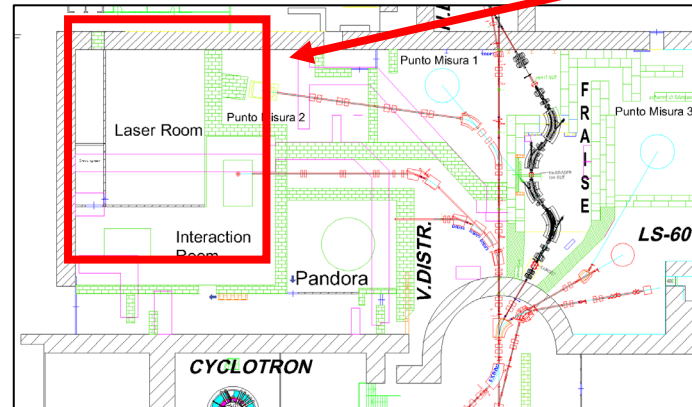
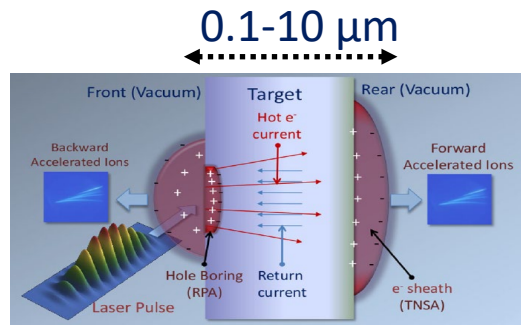
Altre attività su schemi di accelerazione non convenzionale

Laser-driven plasma-based acceleration

100-TW-class laser (fs, 1–10 Hz, $I \geq 10^{19}$ W/cm²):

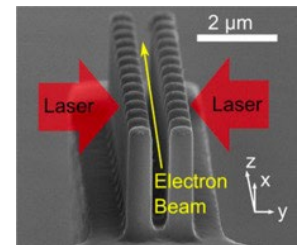
- 1) Electron acceleration by Laser Wake Field Acceleration (LWFA)
- 2) Ion acceleration by Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)

Laser-driven ion acceleration



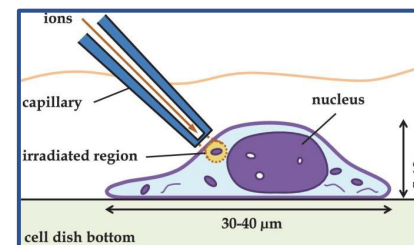
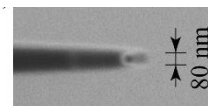
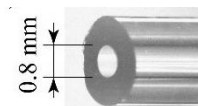
Dielectric Laser Accelerator (DLA) on chip

Microstrutture che utilizzano strutture dielettriche capaci di produrre gradienti nell'ordine dei GV/m.



Micro-glass capillaries for μ -Beam irradiation

Strutture che utilizzano capillari da 80 nm



Grazie per la vostra attenzione

