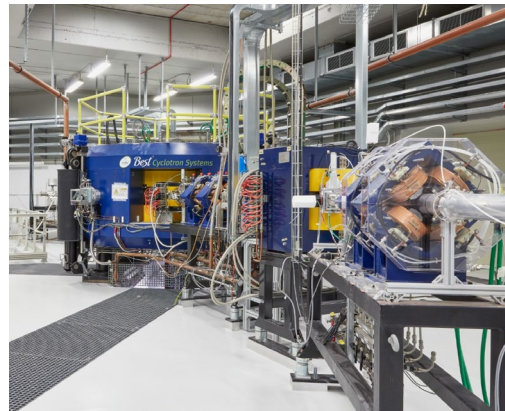




INFN



Il Ciclotrone SPES

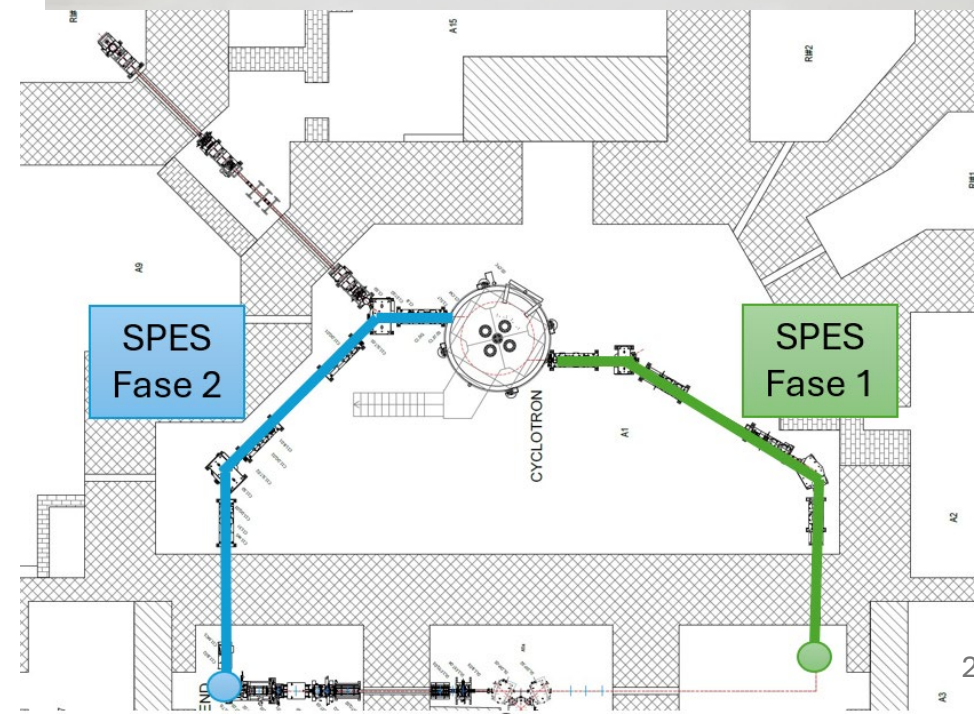
M. Maggiore, P. Antonini, L. Pranovi
A. Ruzzon, A. Abbondanza

2024: la ripartenza del Ciclotrone SPES

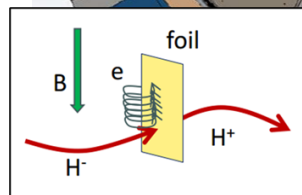
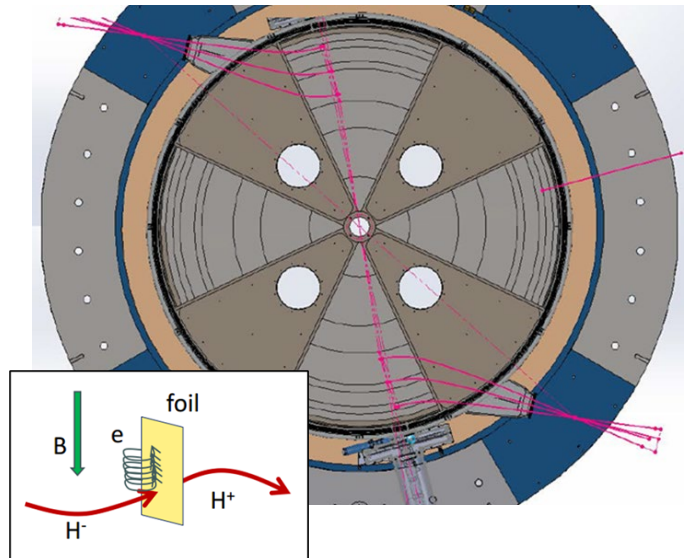
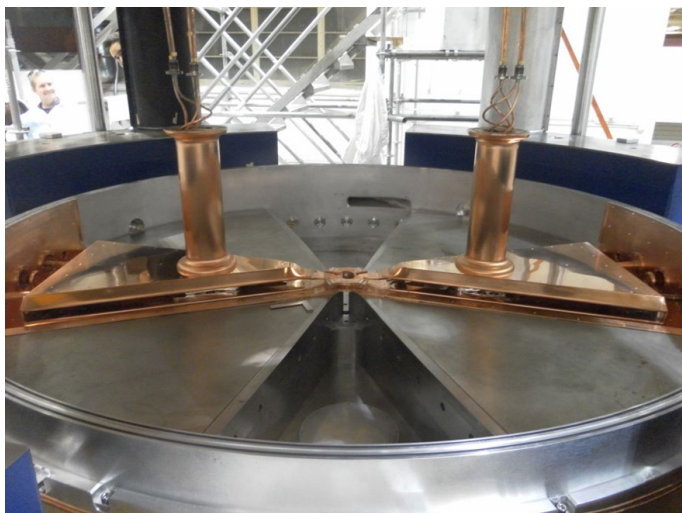
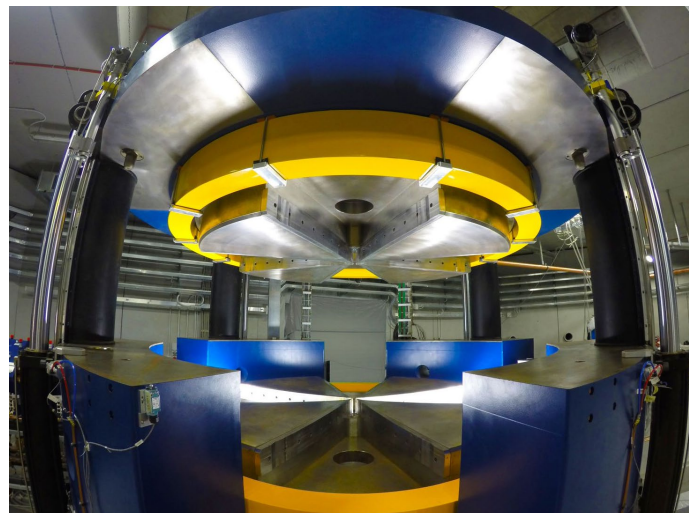
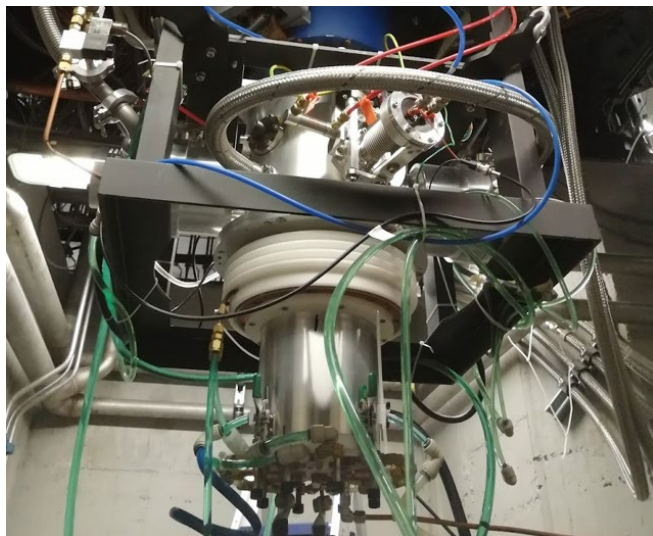


- Il Ciclotrone SPES è stato installato e collaudato nel biennio 2015-2017. E' rimasto operativo fino al marzo 2021, quindi tutti i sistemi e sottosistemi sono stati spenti per permettere il completamento delle infrastrutture SPES. A fine 2023 le attività per il riavvio sono riprese.
- **L'obiettivo del 2024 era quello di rimettere in operazione il Ciclotrone SPES per permettere il completamento delle fasi 1 e 2 di SPES.**
- Le attività propedeutiche alle operazioni con il fascio del ciclotrone hanno riguardato essenzialmente:
 - Il ripristino di tutti i sottosistemi: sorgente di ioni, linea di iniezione, sistema accelerante (amplificatori RF), alimentatori e magneti, sistema da vuoto, diagnostiche (faraday cup, wire scanners, BLM, BCM,...)
 - L'aggiornamento del Sistema di Controllo con l'integrazione delle nuove linee e l'interfaccia con i sistemi di sicurezza SPES
 - Il completamento e il collaudo di una nuova linea di trasporto del fascio di protoni per la fase 1 di SPES
 - Il ripristino dell'operatività della linea di trasporto già utilizzata per il collaudo del ciclotrone e necessaria per il completamento della fase 2 di SPES.

Workshop LNL 17 Gennaio 2025



Il Ciclotrone SPES: caratteristiche principali



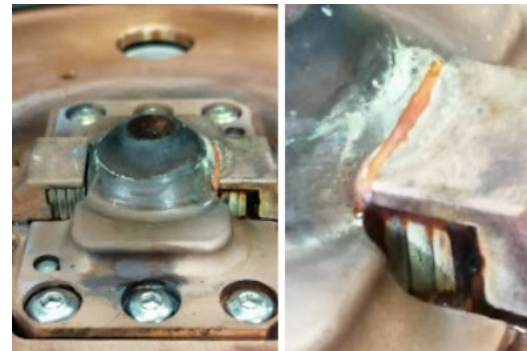
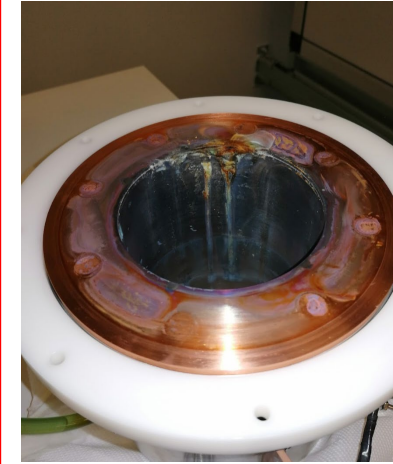
Main Parameters

Accelerator Type	Cyclotron AVF 4 sectors
Particle	Protons (H^- accelerated)
Energy	Variable within 35-70 MeV
Max Current Accelerated	750 μA (52 kW max beam power) 500 μA @ 70 MeV beam tested 950 μA @ 1 MeV beam tested
Available Beams	2 at the same energy
Max Magnetic Field	1.6 Tesla, resistive magnet, 25kW DC power supply
RF frequency	2 cavities, 70kV peak voltage, 2 RF ampl. , $f_{RF} = 56$ MHz, 4 th harm. mode, 55 kW power each
Vacuum	4 cryo-pumps $\rightarrow P = 2 \times 10^{-8}$ Torr
Ion Source	External Multicusp H^- $I = 8$ mA, Axial Injection
Dimensions	$\Phi = 4.5$ m, $h = 2$ m
Weight	150 tons

La sorgente di ioni: *Houston* abbiamo un problema!



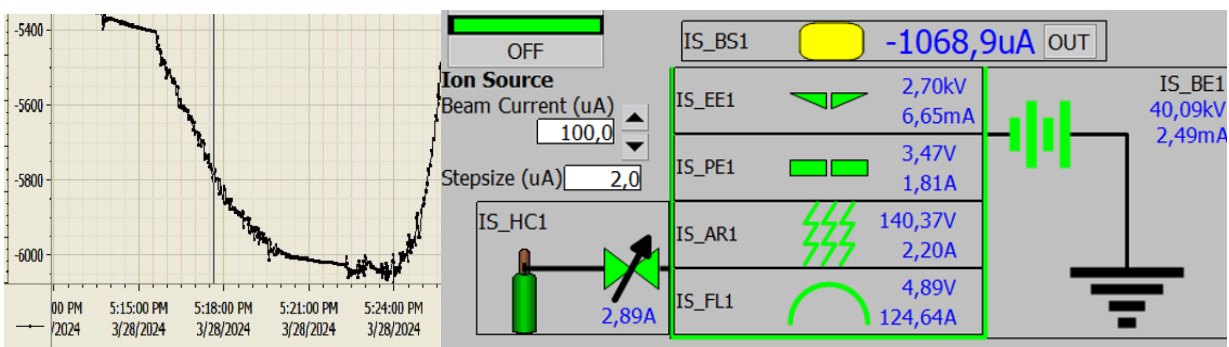
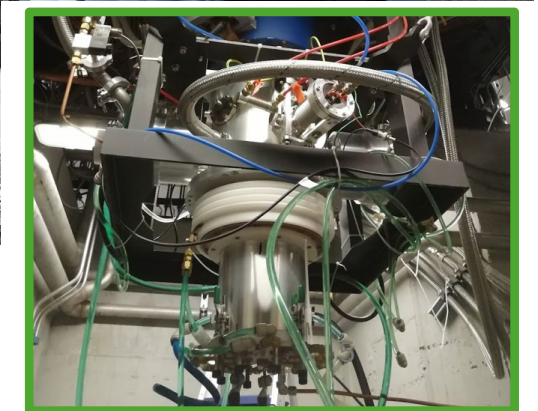
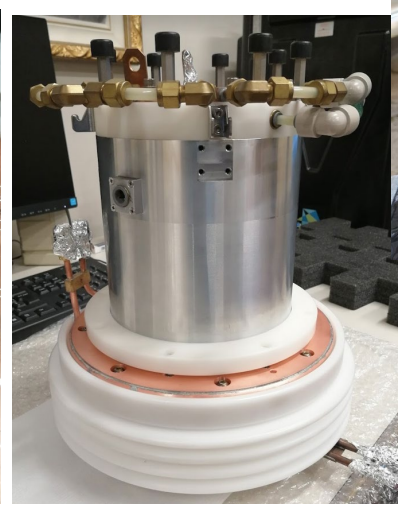
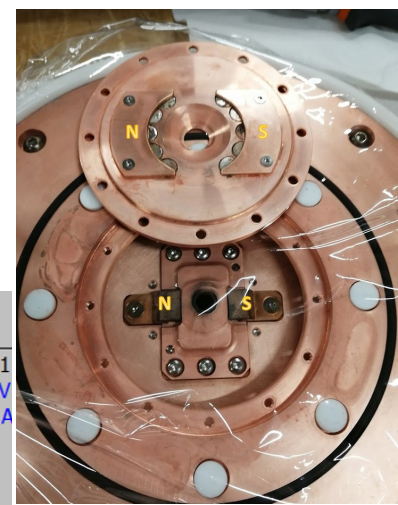
- **Una mattina di novembre 2023 durante un'operazione di manutenzione della sorgente...**
- Dopo il completo smontaggio della sorgente ci siamo resi conto che la funzionalità della sorgente **era del tutto compromessa.**
- Abbiamo deciso pertanto di intervenire e ripristinare completamente l'apparato:
 - Nuova progettazione della camera del plasma da parte dell'ufficio tecnico
 - Realizzazione ex-novo della camera del plasma in officina meccanica
 - Pulizia completa degli elettrodi e isolatori da parte del laboratorio di trattamento delle superfici
 - Acquisto nuovi magneti e altri componenti





Il ripristino della sorgente di ioni

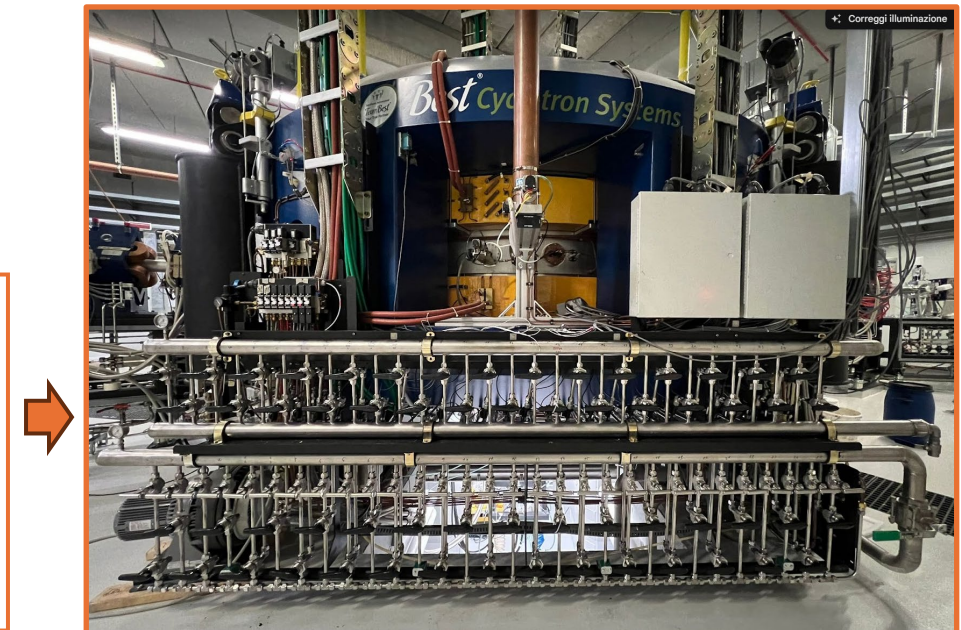
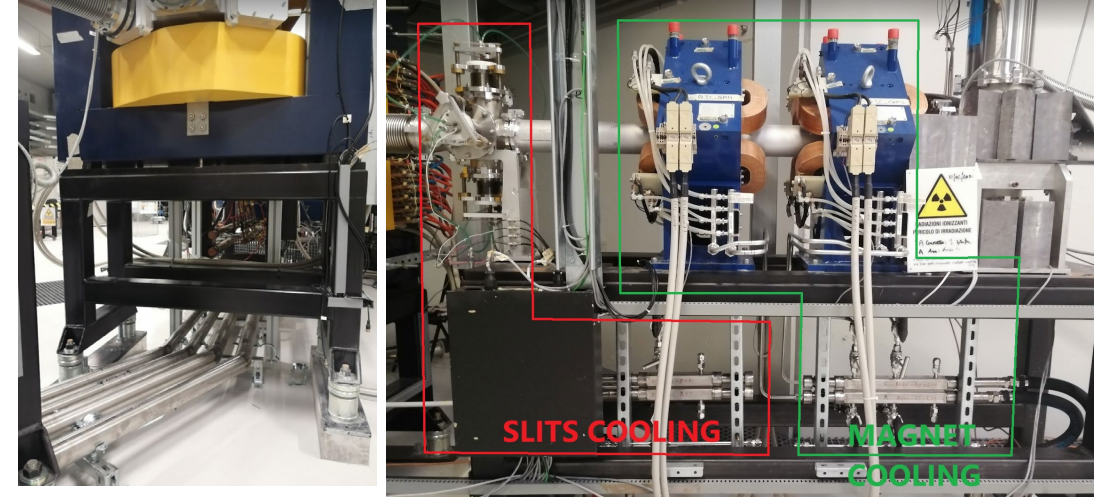
- Nei mesi gennaio-febbraio-marzo 2024, la sorgente è stata:
 - Disassemblata completamente
 - La nuova camera di plasma progettata e ricostruita apportando significative migliorie tecniche
 - Riasssemblata con nuovi componenti (magneti permanenti) e testata a banco
 - Assemblata definitivamente in linea
- **A fine marzo con la collaborazione anche della Best Theratronics, la nuova sorgente è stata collaudata con successo, estraendo un fascio di H⁻ all'energia di 40 keV con un'intensità di corrente di 6 mA.**



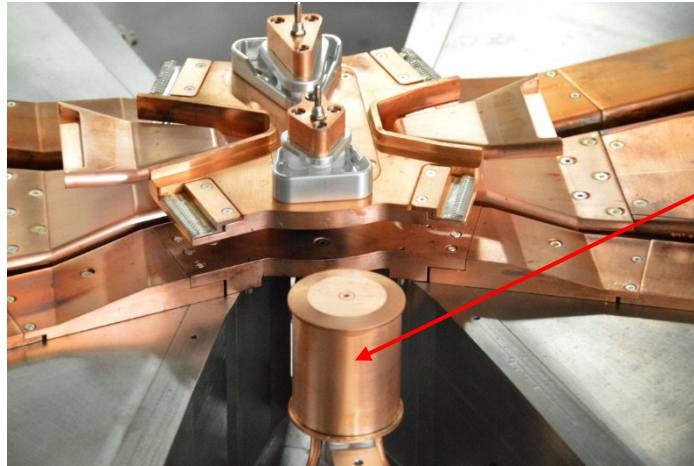
Nuovo sistema di raffreddamento del ciclotrone e dei relativi sottosistemi



- Al fine di migliorare gli impianti a servizio del ciclotrone e dei suoi sottosistemi, l'intero sistema di raffreddamento del ciclotrone e dei suoi sottosistemi è stato completamente rifatto.
- 5 impianti indipendenti, inclusivi di skid e circuiti di distribuzione dell'acqua di raffreddamento sono stati progettati e installati sotto la supervisione della divisione tecnica e in collaborazione col servizio ciclotrone.
- Tutti i collettori locali di distribuzione dell'acqua verso le utenze (magneti, slitte, faraday cup), sono stati riprogettati dal servizio ciclotrone e sostituiti con collettori in acciaio con l'adozione di valvole e raccordi a doppia ferrula tipo Hi-Lok.
- Un complesso lavoro di progettazione, costruzione e installazione è stato eseguito dal personale del servizio ciclotrone per la sostituzione del collettore principale di distribuzione dell'acqua verso i sottosistemi del ciclotrone, completamente rifatto in acciaio e utilizzando, anche in questo caso, valvole e componentistica a doppia ferrula tipo Hi-Lok.



Fascio accelerato ad 1 MeV!



ISIS

ENG
RAMP

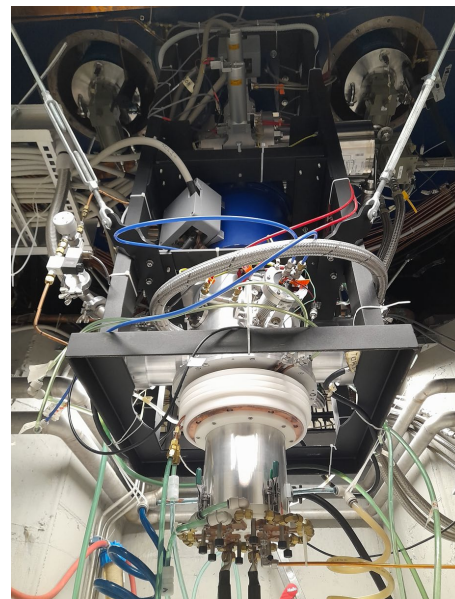
CY_PP1
-3,0uA
OUT IN

Injection System
ON
OFF

Ion Source
Beam Current (uA) 100,0
Stepsize (uA) 2,0
IS_HC1 2,89A

IS_IF1-	7,07kV 6,0uA	7,05kV
IS_IF1+	7,07kV 4,8uA	7,05kV
IS_IQ2	5,1V 41,0A	41,0A
IS_IQ1	2,3V 18,5A	18,5A
IS_SO2	10,6V 176,0A	176,0A
IS_YS2	0,1V 0,3A	0,3A
IS_XS2	0,3V 0,0A	0,0A
IL_GV1	CLS	OPN
IS_GV1	CLS	OPN
IS_SO1	14,3V 232,0A	232,0A
IS_YS1	1,6V 1,2A	1,2A
IS_XS1	1,0V 0,7A	0,7A
IS_BS1	IN	
IS_EE1	2,70kV 6,78mA	
IS_PE1	3,47V 1,79A	
IS_AR1	140,30V 2,20A	
IS_FL1	4,91V 124,60A	
IS_BE1	40,09kV 2,57mA	

Beamstop
IF Trip
5000uA
AISR
On/Off



Workshop LNL 17 Gennaio 2025

Pronti per estrarre il fascio dal ciclotrone...

- Tutti pronti per estrarre il fascio dal ciclotrone...
- Ma è Venerdì 17 (Maggio) .. di sera e fuori piove !
- Una scarica nell'amplificatore RF #1 compromette il funzionamento del sistema RF !!



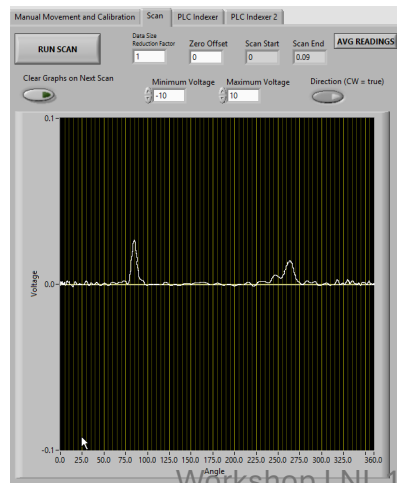
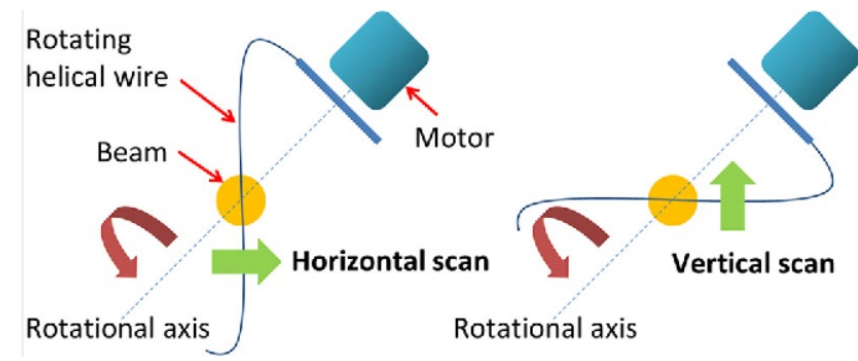
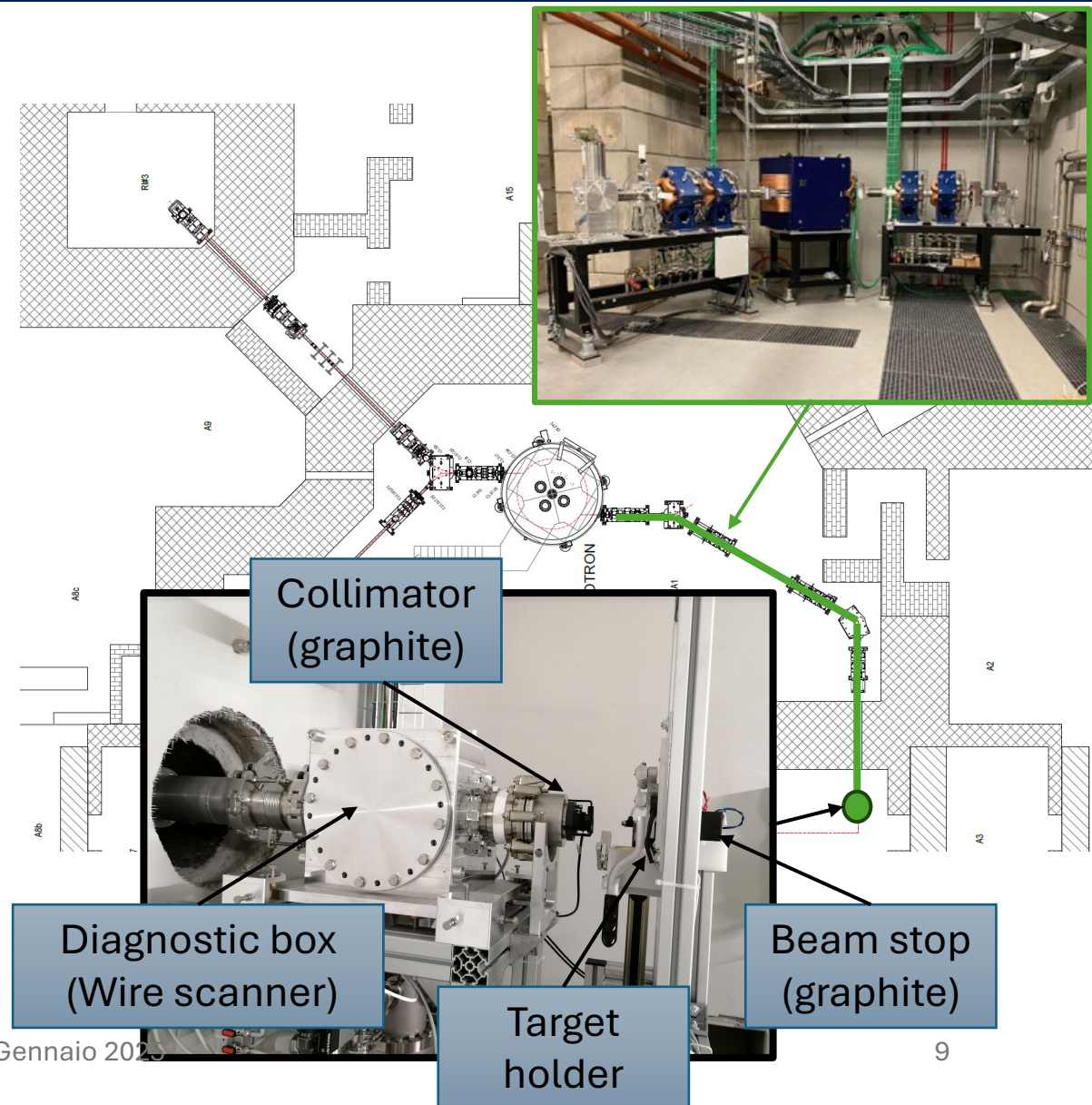
• Grazie al supporto del servizio RF della divisione Acc. in pochi giorni il danno al triodo dell'ultimo stadio di amplificazione è stato riparato e il sistema RF ripristinato

• Il 24 Maggio un fascio di 35 MeV e 3.5 μ A è estratto con successo dal ciclotrone dopo 6 anni !!



Collaudo della linea utilizzata per la fase1 SPES

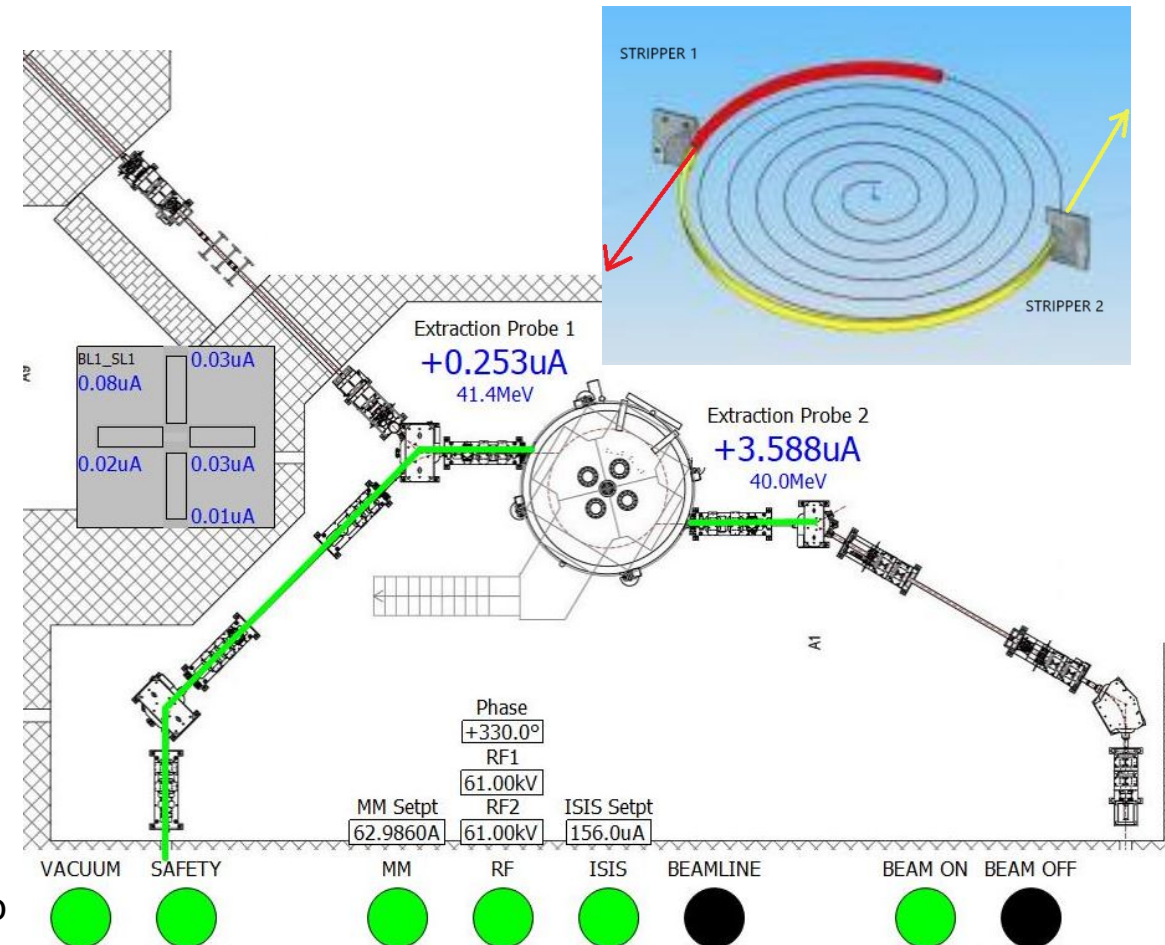
- La linea ISOL2 è stata utilizzata per il completamento della fase 1 di SPES che prevedeva l'irraggiamento di target di materiale vario (Al, Zn, V, Ni) per studi di sezione d'urto di radioisotopi d'interesse nell'ambito medicale.
- Sono stati estratti e trasportati fino al target, fasci di protoni di energia 35, 50 e 70 MeV e corrente 100-500 nA.
- Un sistema di profilatori del fascio (wire scanner) e di slitte mobili, ci hanno permesso di controllare la forma e la posizione del fascio per ottimizzare il trasporto fino al punto di consegna al fine di minimizzare le perdite di protoni.



Test d'irraggiamento del target ISOL (fase 2)



- La fase 2 del progetto SPES mirava a fornire fasci di protoni fino a 250 nA di corrente media ed energia di 40 MeV al prototipo del bersaglio ISOL per bassa potenza.
- La linea di trasporto ISOL1 è stata quindi ripristinata e resa operativa dopo 6 anni.
- Un disallineamento dell'ultima parte della linea di trasporto rispetto al bersaglio ISOL è stato corretto riposizionando il secondo magnete di commutazione e riassemblando quindi l'ultima sezione.
- Per trasportare il fascio in modo più efficiente, si è deciso di far funzionare il ciclotrone in modalità di doppia estrazione: la macchina è stata ottimizzata per accelerare $3.75 \mu\text{A}$ ed estrarli dalla porta EXIT2 e fermare i protoni nella prima faraday cup.
- Per estrarre il fascio di protoni per la linea ISOL1, è stata utilizzata la seconda sonda di estrazione, 'spillando' in maniera controllata centinaia di nA di corrente dal fascio accelerato.
- Questo metodo consente di ridurre drasticamente lo spread energetico dell'energia del fascio estratto e di conseguenza di azzerare le perdite del fascio lungo la linea di trasporto.





Diagnostics test

- During the irradiation phases 1 and 2 , new diagnostic devices have been tested preliminary.
- A set of beam loss monitors (BLM) allowing to detect neutrons flux generated by protons losses along the beamline were tested during the commissioning of ISOL2 beamline. This was done in collaboration with people of Safety Team.
- The integration of controls of BLM in the HMI of cyclotron control system is ongoing.
- A new beam current monitor (BCM) supplied by Bergoz company for LNS facility, was tested during the run of phase 2.
- The BCM is current transformer with a better sensibility for low current operation (1 μ A-10 μ A)
- The wire scanners provided by Best Theratronics have been also tested and used for ISOL2 beamline commissioning.

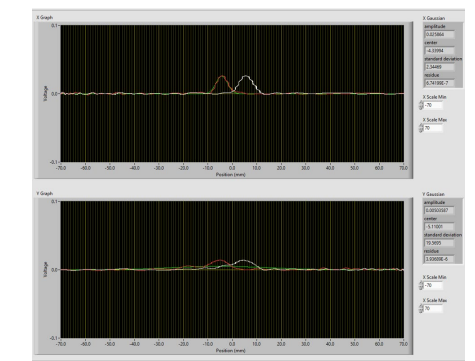
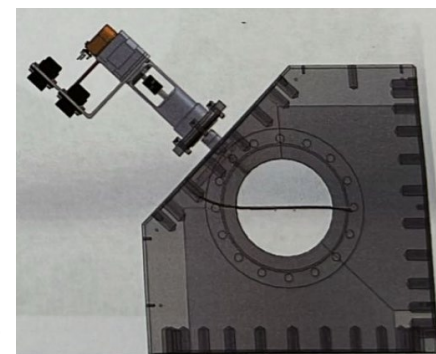
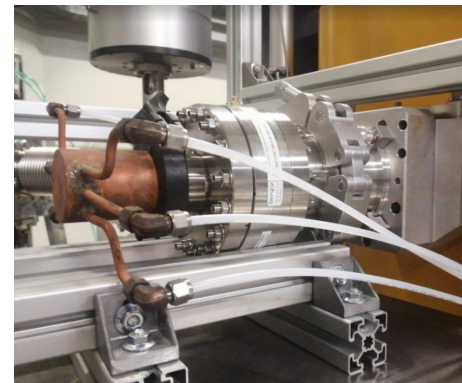
Libera BLM system

Libera BLM system

IDEA: compact platform with 4 channels, ns time resolution and 60dB dynamic range plus a scintillator-based beam loss detector.

Platform advantages:

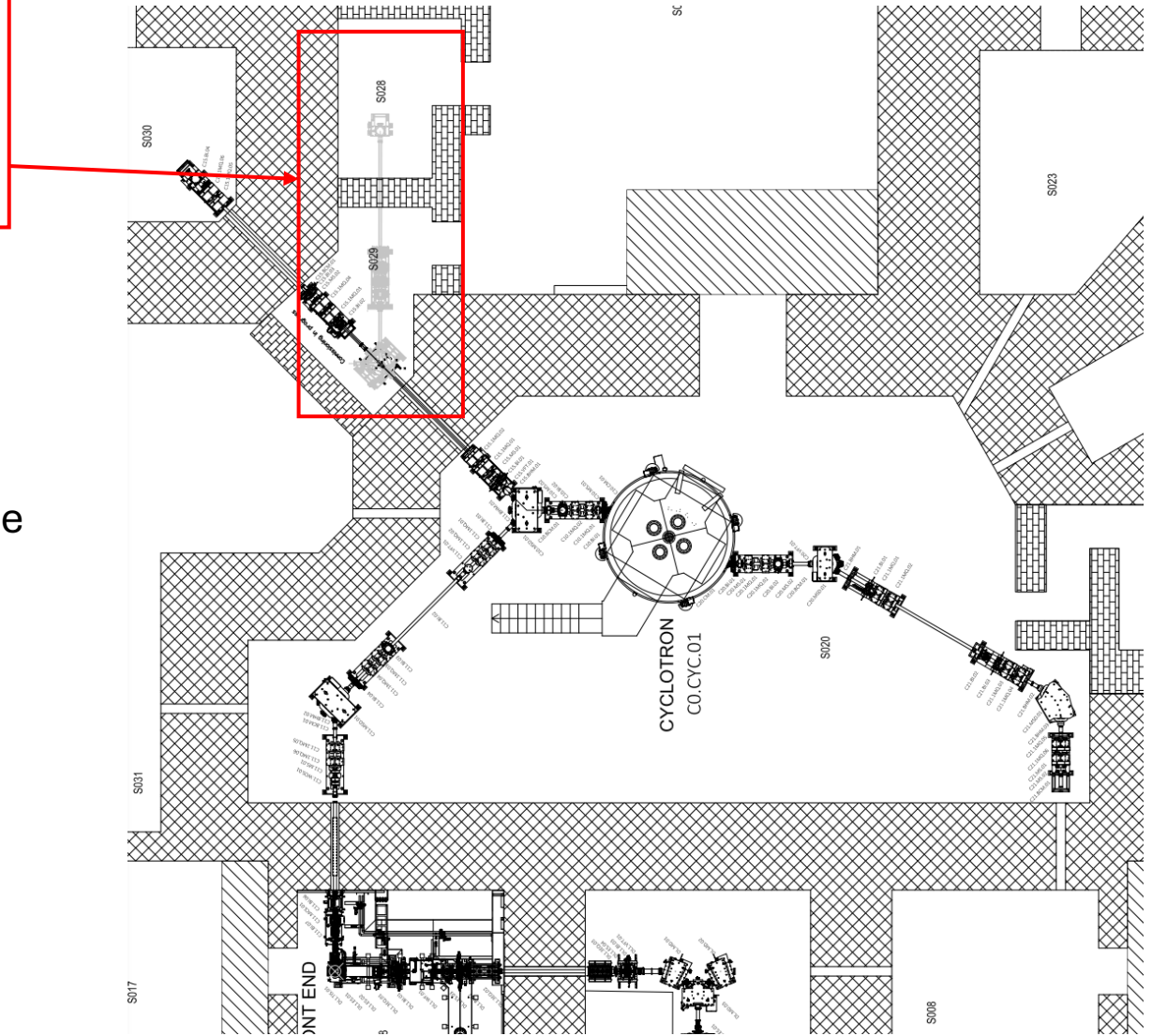
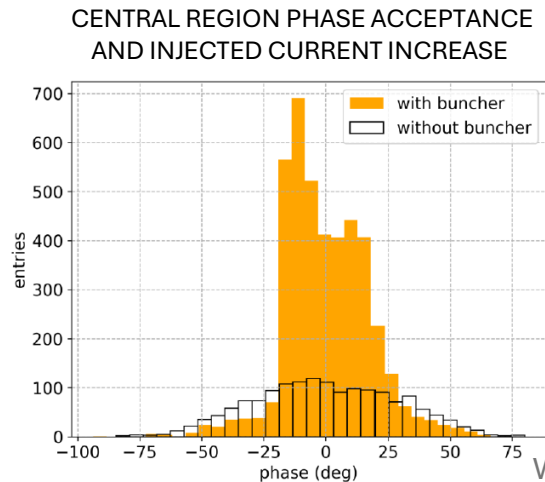
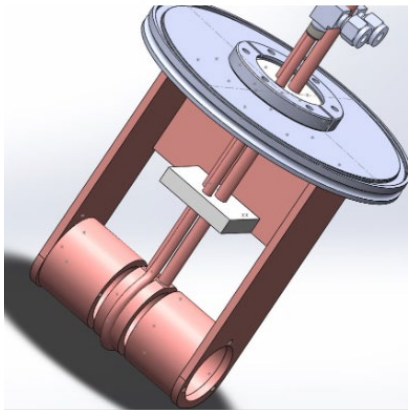
- Based on SoC, simple
- Low power \rightarrow PoE and passive
- Low cost



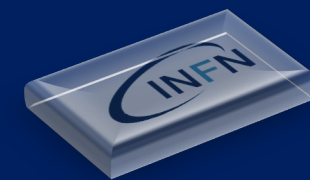


Future upgrades

- The LARAMED low power (100 nA) beamline should be supplied and installed by Best Theratronics during the 2025. The quadrupole magnets and the switching magnet have been already delivered to LNL.
- A chopper system is under development to be installed along the injection line aiming the fine control of the injection current into the cyclotron and then the extracted one.
- An RF buncher device is under study in order to increase the injected current and to optimize the cyclotron performances in terms of maximum extracted current.

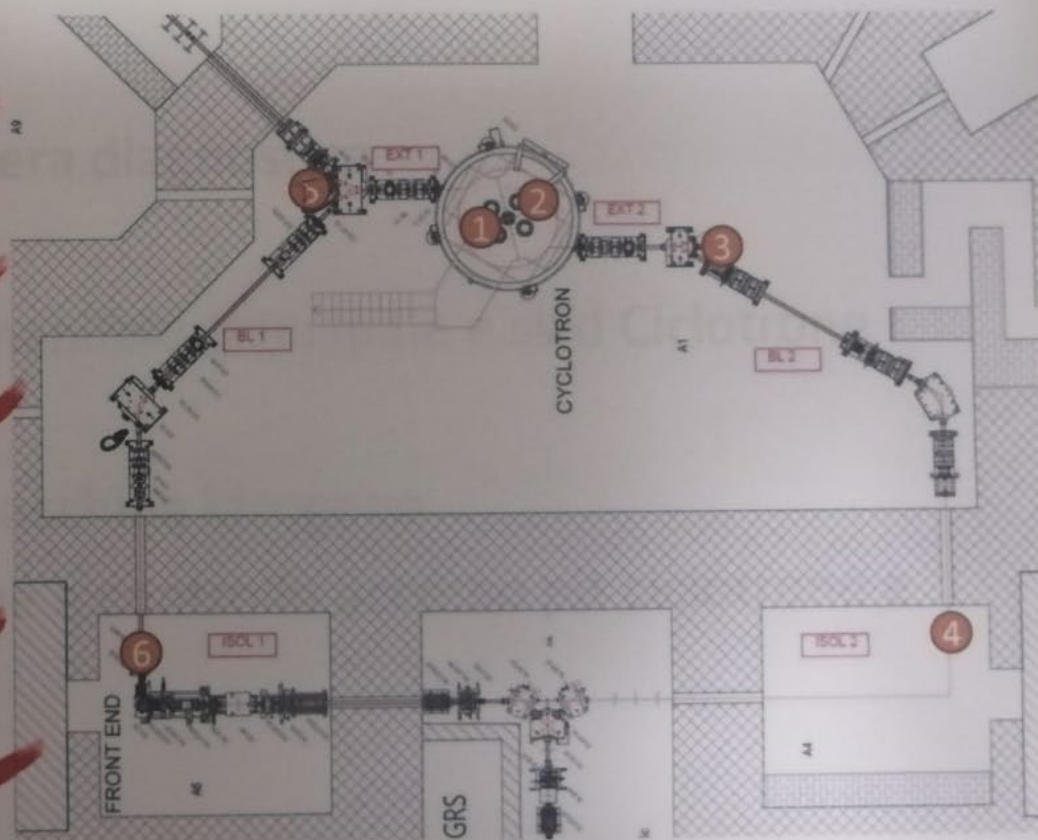


Mission accomplished !



Obiettivi ciclotrone

1. Commissioning sorgente ioni su BS di IL → Marzo ✓
2. Accelerazione 1 MeV → Aprile ✓
3. Estrazione 70 MeV 1 μ A su EXT2 in FC → Aprile ✓
4. Trasporto e commissioning BL2 su ISOL2 FC 35-50-70 MeV 5 μ A → Giugno ✓
 - a. Commissioning target station SPES_XS (x100 nA)
5. Estrazione 40 MeV 1 μ A su EXT1 in FC ✓
6. Trasporto e commissioning BL1 su ISOL1 FC 40 MeV x100 nA ✓



prima versione: 27/02/2024; aggiornamento: 18/06/2024