



L'RFQ di SPES

Antonio Palmieri – Luigi Ferrari

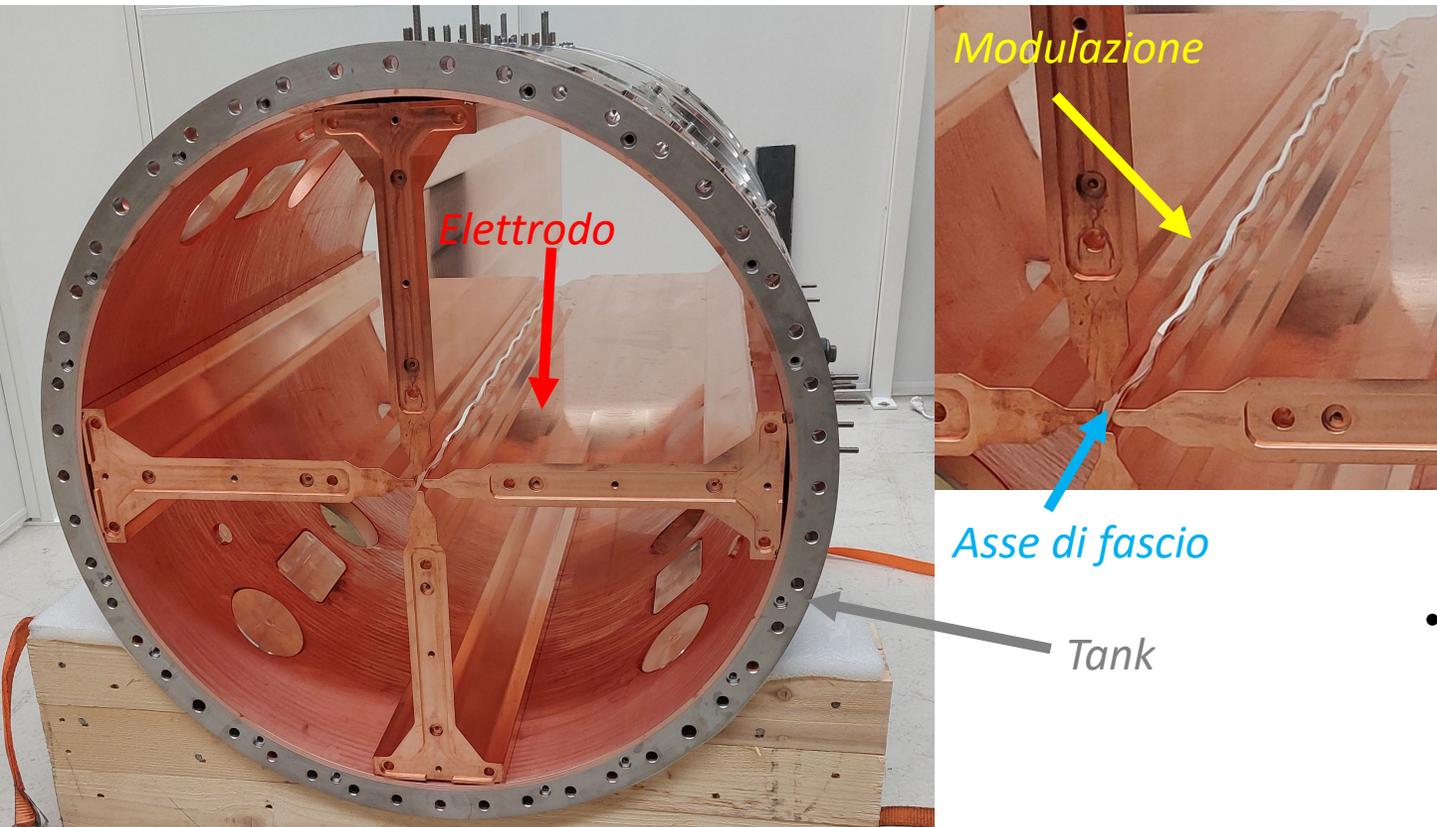
L'RFQ del progetto SPES: che cos'è



- L'RFQ (Radio Frequency Quadrupole) di SPES costituisce il primo stadio di accelerazione dei fasci di ioni che verranno ulteriormente accelerati dal linac ALPI.
- L'RFQ accelera tali fasci da una velocità iniziale pari allo 0.35% della velocità della luce ad una velocità finale pari al 3.6% della velocità della luce
- Allo stesso tempo l'RFQ suddivide il fascio in «pacchetti» e lo mantiene intorno all'asse di fascio, in modo tale che ALPI possa accelerarlo in maniera efficiente.

L'RFQ è installato in Area 2: si nota che è composto da 6 moduli

L'RFQ del progetto SPES: come funziona



Per fare tutto questo, nell'interno dell'RFQ viene instaurato un campo elettromagnetico che oscilla alla frequenza di 80 MHz. Il campo elettrico che oscilla alla frequenza di 80 MHz fra quattro elettrodi (quadrupolo) fa sì che il fascio di ioni resti sempre confinato (focalizzato) intorno all'asse di fascio man mano che procede. Le «ondine» (modulazione degli elettrodi) fanno sì che sia presente anche un campo che accelera gli ioni stessi.

- Allo stesso tempo le correnti che scorrono sulle pareti metalliche dissipano potenza sotto forma di calore. La struttura è progettata in modo tale da ottimizzare tale dissipazione (**cavità risonante**)
- La potenza necessaria ad instaurare tali campi elettromagnetici (circa 120 kW) viene fornita da un amplificatore attraverso delle linee di trasmissione RF schermate ed un'antenna accordata (*coupler*).

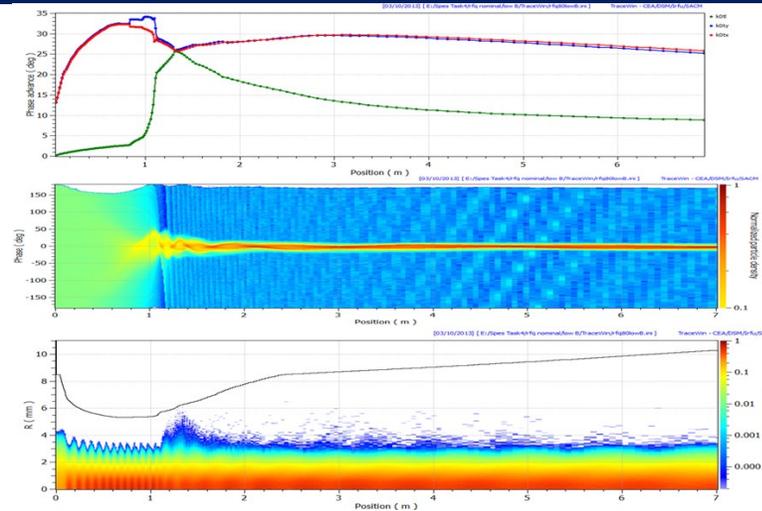
Come è fatto dentro ogni modulo dell'RFQ: i componenti base sono gli elettrodi in rame puro e il tank esterno in acciaio ramato (il rame è un ottimo conduttore di elettricità e quindi minimizza la dissipazione di potenza). Il diametro del tank è di 754 mm, mentre la punta degli elettrodi ha un raggio che varia fra 3.97 mm e 5.68 mm

L'RFQ del progetto SPES: progettazione

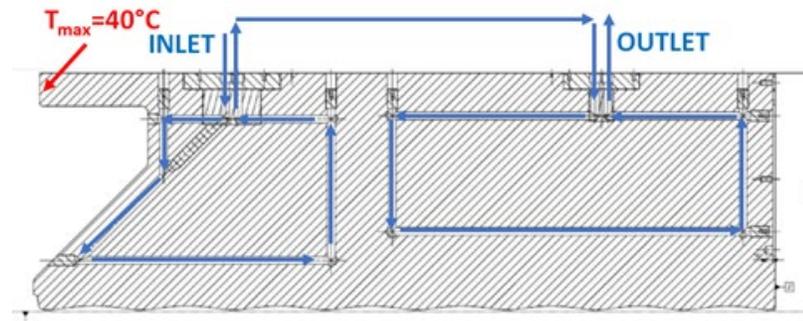


L'RFQ, per funzionare correttamente, ha bisogno (fra l'altro) che:

- La modulazione e la parte finale dell'elettrodo siano correttamente calcolati, in modo tale da trasmettere la massima percentuale di fascio possibile (>90%) con le migliori caratteristiche possibili
- L'interno dell'RFQ sia una cavità che minimizza la dissipazione di potenza
- Che l'RFQ sia sigillato meccanicamente in modo da stare in un vuoto pari a circa un decimo di miliardesimo della pressione atmosferica
- Che il calore venga rimosso senza deformare gli elettrodi durante il funzionamento
- Che la costruzione e l'assemblaggio siano tali da avere precisioni nell'ordine di 0.1 mm
- Che la variazione longitudinale del voltaggio fra gli elettrodi sia non superi il 3% rispetto al valore di progetto
- ...

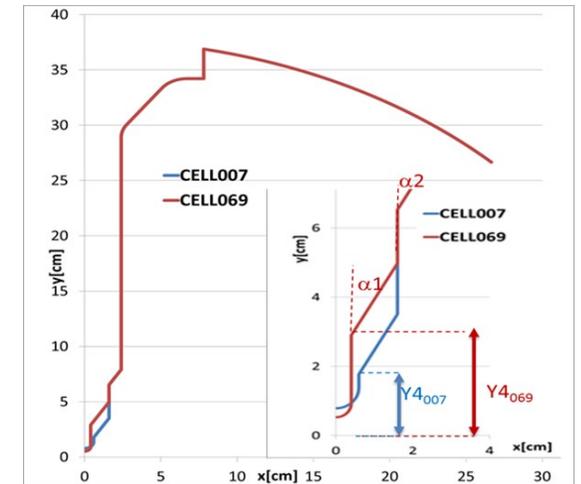


Design di dinamica del fascio

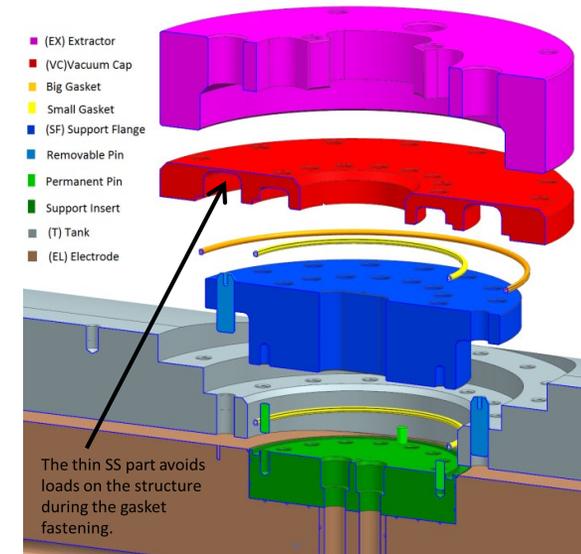


Canali di raffreddamento

Design meccanico

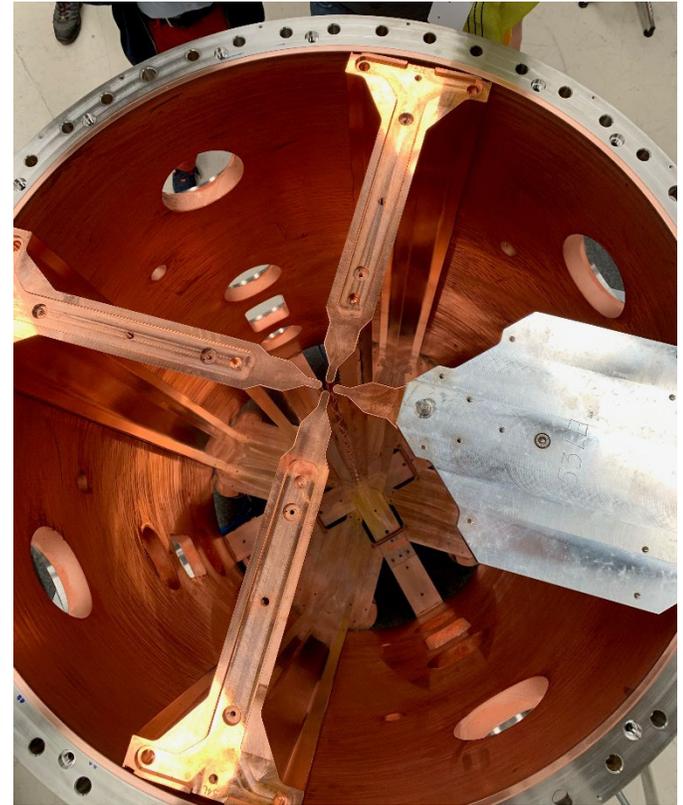
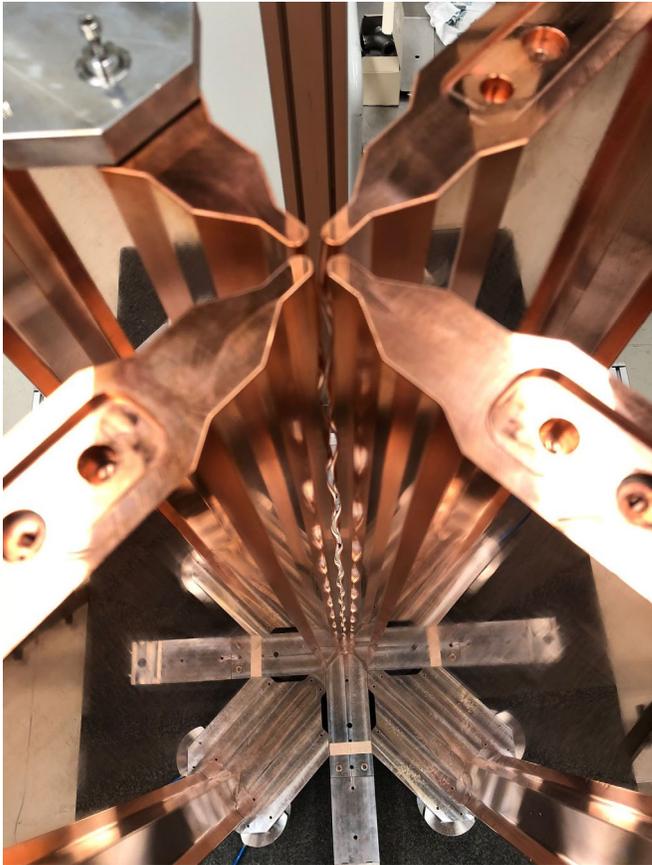


Design RF



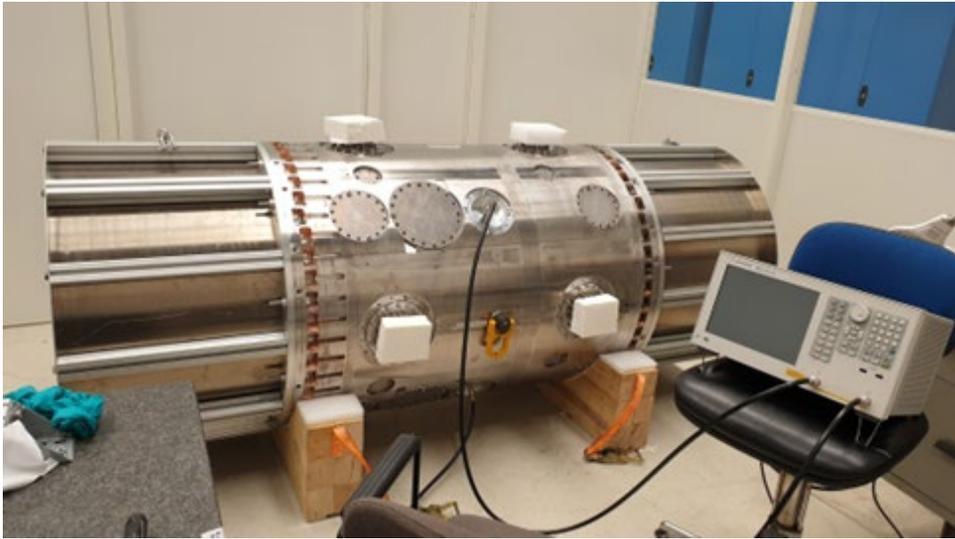
Interfaccia elettrodo-tank

L'RFQ del progetto SPES: assemblaggio e test



Assemblaggio ai Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN di uno dei 6 moduli dell'RFQ

L'RFQ del progetto SPES: assemblaggio e test (2)



Test dei moduli (RF e vuoto) dopo ogni assemblaggio. Le piazzole che connettono elettrodi e tank sono sigillate con guarnizioni energizzate metalliche



Installazione ed allineamento dei moduli sul supporto: man mano che i moduli sono assemblati vengono posti in linea e connessi con guarnizioni metalliche di diametro circa pari a quello del tank in modo da garantire la tenuta da vuoto.

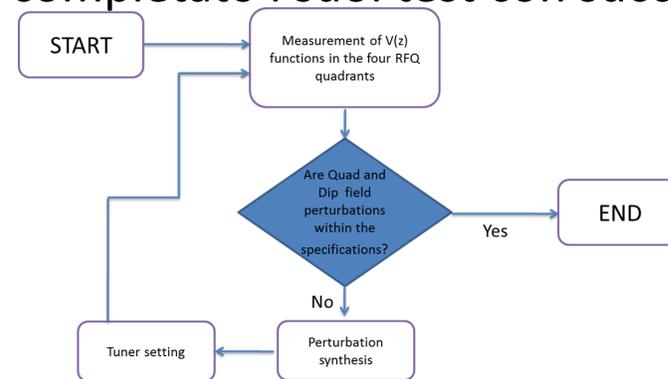
L'RFQ del progetto SPES: situazione attuale



- L'RFQ è installato in linea sul suo supporto nella posizione definitiva
- Le misure RF per l'accordatura mediante i cilindri (tuners) per raggiungere le specifiche di voltaggio iniziano in questi giorni. Le misure preliminari sono incoraggianti
- L'amplificatore ha completato i suoi test con successo a ottobre 2024.



Tuner provvisorio



Algoritmo di misure di accordatura



Tuner definitivo

- Passi successivi: ancillari (raffreddamento, linee RF, sistemi da vuoto), sistema di controllo, coupler, a seguire collaudo senza fascio (condizionamento)

L'RFQ del progetto SPES: le persone



- ***Andrea Pisent (Responsabile, coordinamento)***
- ***Antonio Palmieri (Design RF, misure e collaudi RF)***
- ***Carlo Baltador (Misure e collaudi RF)***
- ***Francesco Grespan (Misure e collaudi RF)***
- ***Michele Comunian (Dinamica del fascio)***
- ***Luca Bellan (Dinamica del fascio)***
- ***Luigi Ferrari (Design meccanico, ingegnerizzazione, test)***
- ***Carlo Roncolato (Vuoto e trattamenti termici)***
- ***Andrea Baldo (Tecnico)***
- ***Paolo Bottin (Tecnico)***
- ***Andrea Colombo (Tecnico)***
- ***Riccardo Panizzolo (Tecnico)***
- ***Marco Scarcioffolo (Tecnico)***
- ***Servizio Amministrazione (supporto e preparazione gare)***
- ***Servizio Officina Meccanica (lavorazione flange interfaccia e spessori fra i tank)***
- ***Servizio Tecnologia delle Superfici e Superconduttività (pulizia a ultrasuoni componenti)***