

CAPITOLATO TECNICO DI GARA PER LA FORNITURA DI CAVITA' RISONANTI SECONDO IL MODELLO CERN PATENT N. EP3180966B1

(<https://patents.google.com/patent/US10051721B2/tr>)

1. Premessa, obiettivi ed oggetto dell'affidamento

Nell'ambito degli investimenti pubblici del Piano nazionale per gli investimenti complementari finalizzato ad integrare, con risorse nazionali, gli interventi del Piano nazionale di ripresa e resilienza, è stato finanziato, dall'Agenzia della coesione territoriale, il progetto denominato "Space and Earth Innovation Campus (SEIC)" volto alla realizzazione di un Ecosistema dell'innovazione nel Mezzogiorno per attività di ricerca applicata e sviluppo tecnologico in collaborazione con istituzioni pubbliche e private come le imprese. Obiettivo del progetto SEIC è quello di rafforzare la capacità del territorio di trasferire conoscenze e tecnologie innovative, anche attraverso attività di alta formazione, con il supporto alle filiere industriali e la creazione di start-up e spin-off ad alto contenuto tecnologico. Il SEIC riqualificherà parte del patrimonio immobiliare ora in disuso e vedrà la realizzazione di laboratori per tecnologie avanzate.

Le attività di sviluppo tecnologico di SEIC, che coinvolgeranno in modo interdisciplinare tutte le aree scientifiche del GSSI, si concentreranno nei seguenti ambiti: design di missioni spaziali ad alta complessità e integrazione/sviluppo di payload per missioni scientifiche; caratterizzazione di componenti tecnologici per lo spazio; sviluppo di tecnologie quantistiche per applicazioni spaziali; sviluppo e applicazioni di artificial intelligence, blockchain, e advanced software; bioinformatica e simulazioni numeriche; monitoraggio, simulazione e gestione del territorio e dei grandi disastri; sviluppo piattaforme di concurrent engineering; sviluppo di piattaforme per la virtualizzazione dei processi produttivi e di digital twin; applicazioni di tecnologie per l'economia circolare e per la filiera dell'Idrogeno; tecnologie applicate ai beni culturali; valutazione e gestione dell'impatto sociale e ambientale dei progetti di ricerca e sviluppo.

Nell'ambito delle tecnologie applicate ai beni culturali, è stato finanziato un innovativo acceleratore di protoni di 2 MeV che ad oggi esiste come unico esemplare, in forma prototipale ma completa, in grado di studiare la composizione elementare delle opere d'arte utilizzando le tecniche di analisi con fasci ionici (Ion Beam Analysis, IBA). La caratteristica principale di questo acceleratore di particelle è la sua compattezza che lo rende anche trasportabile, ad esempio nei laboratori di diagnostica, conservazione e restauro e nei musei, essendo le tecniche IBA ampiamente utilizzate per la

conoscenza approfondita dell'opera d'arte prima di un intervento conservativo.

Più specificatamente l'oggetto della fornitura è 1 (una) cavità a radiofrequenza (RFQ)@ 750 MHz in rame [1, 2, 3], che dovrà essere installata nell'apparato MACHINA2 (Movable Accelerator for Cultural Heritage In-situ Non-destructive Analysis: the new generation of accelerators for art), oggetto di separata fornitura. La presente fornitura per cavità risonante, secondo quanto specificato nel presente capitolato tecnico, è vincolata all'utilizzo del brevetto CERN patent n. EP3180966B1, secondo quanto previsto dal progetto di realizzazione dell'apparato MACHINA2. La ditta che si aggiudicherà la fornitura otterrà una licenza dal CERN per poter fabbricare la cavità.

2. Requisiti per partecipare al bando

Per poter partecipare al bando le imprese dovranno dimostrare di:

- avere già prodotto negli ultimi 5 anni cavità RFQ basate su specifiche CERN:
 - raffreddate a liquido;
 - che lavorano a frequenze pari o superiori a 200 MHz;
 - e con potenze di picco almeno pari a 80 kW;
- essere in grado di produrre una dettagliata documentazione del manufatto.

3. Scopo e tempi della fornitura

L'aggiudicatario (di seguito denominato "contraente") dovrà fornire 1 (una) cavità RFQ compatta operante a 750 MHz (di seguito denominato, in tutto o in parte, "fornitura") come definito nella presente specifica tecnica e secondo quanto stabilito dal brevetto CERN patent n. EP3180966B1.

Prodotti inclusi nella fornitura:

- Due (2) moduli RFQ, complessivamente capaci di accelerare un fascio di protoni da 20 keV a 2 MeV,
- La documentazione relativa.

La consegna della fornitura è richiesta in 16 settimane dalla data di ricevimento dell'ordine e con una garanzia di almeno 5 anni.

4. Requisiti tecnici

La fornitura deve comprendere e rispettare i seguenti parametri e condizioni.

Parametri principali:

Requisito	Descrizione	
REQ001	Resonant frequency:	749,48 MHz (nominal)
REQ002	Particle Input Energy:	20 keV
REQ003	Particle Exit Energy:	2 MeV
REQ004	Energy spread (FWHM):	8 keV
REQ005	Average current:	5 nA
REQ006	Peak Current:	200 nA
REQ007	Repetition rate:	200 Hz
REQ008	Pulse duration:	125 μ s
REQ009	Duty cycle:	2.5% max.
REQ010	Vane voltage:	35 kV (nominal)
REQ011	Transmission:	30%
REQ012	Output beam size (Total):	± 0.25 mm
REQ013	Accep. (Total norm.):	0.2π mrad mm
REQ014	RF Peak Power:	80 kW
REQ015	RF Efficiency:	35%
REQ016	RFQ Total Capacitance:	134 pF, o C/L = 125 pF/m
REQ017	RFQ Factor Quality:	Q0 = 6000 (unloaded)
REQ018	RF coupler number:	1
REQ019	Operation Room Temp.:	10-30 °C

Specifiche Meccaniche:

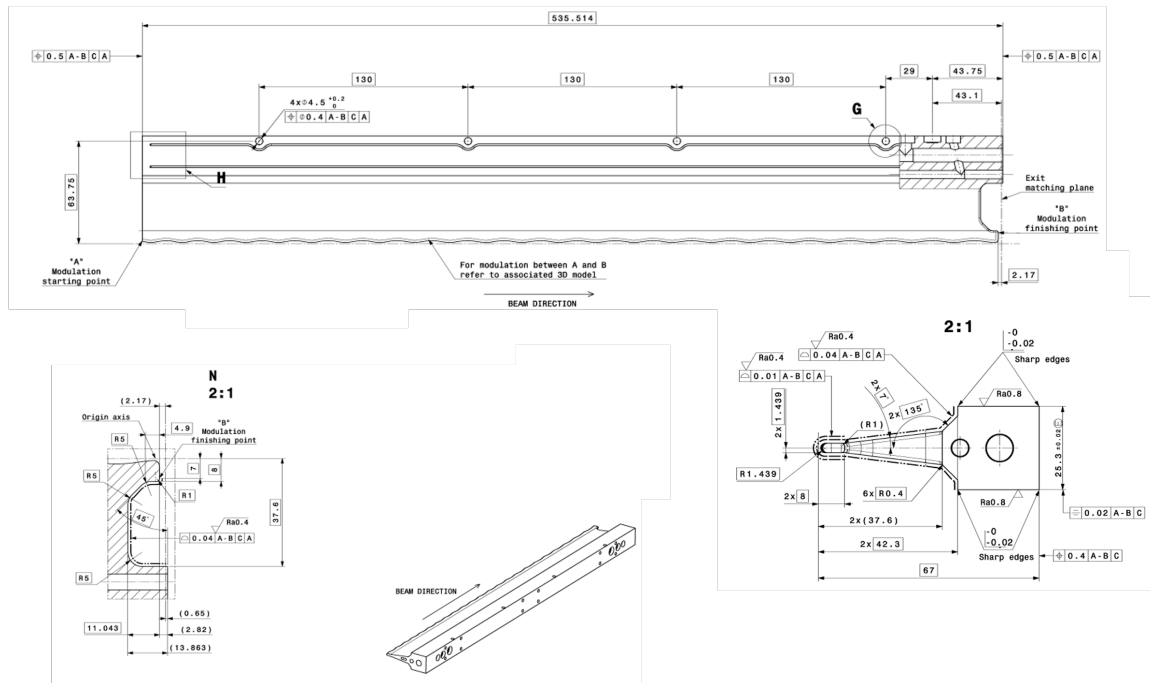
Requisito	Descrizione	
REQ020	Length:	2 x ~50 cm = ~100 cm (1073 mm)
REQ021	Material:	Copper (Cu)
REQ022	Mass:	~100 kg
REQ023	Min. aperture:	0.7 mm
REQ024	Max. modulation:	2.0
REQ025	Beam axis/tip dist. (av.)(Ro):	1.439 mm
REQ026	Vane tip radius (Rho):	1.439 mm
REQ027	Min. modulation rad. (Rhol):	1.709 mm
REQ028	Tuner:	16 tuners to reduce power losses
REQ029	Cooling:	water cooling (vane and cavity) Input t = 22 °C \pm 2 °C
REQ030	Dipole rods:	16, 4 at each module end (to give the maximum spectral margin +/- 12 MHz from the operating mode to next closest higher order modes)

Tolleranze meccaniche:

Disegni della meccanica:

Viale Francesco Crispi, 7 - 67100 L'Aquila, Italia - www.gssi.it Tel. +39 0862 4280262 C.F. 01984560662

MACHINA2-RFQ : Minor vane typical dimensions



5. Modalità realizzative

La procedura di fabbricazione delle cavità RFQ segue le fasi di produzione sviluppate inizialmente al CERN per il Linac4 RFQ (2011) e successivamente migliorate per l'HF-RFQ (2015) e per il PIXE-RFQ [1]. La procedura comprende una serie di lavorazioni meccaniche e trattamenti termici che consentono una perfetta stabilità dei pezzi di rame prima della prima brasatura. Il punto chiave è eseguire una lavorazione finale molto limitata (profondità lavorata solo 150 μm e solo sulla punta del vane e sulle superfici di brasatura) prima di questa prima brasatura. Ciò riduce significativamente lo stress interno e le deformazioni durante il ciclo di brasatura [2, 3, 4, 5]. Le principali fasi di produzione delle cavità RFQ sono riportate in figura 1.

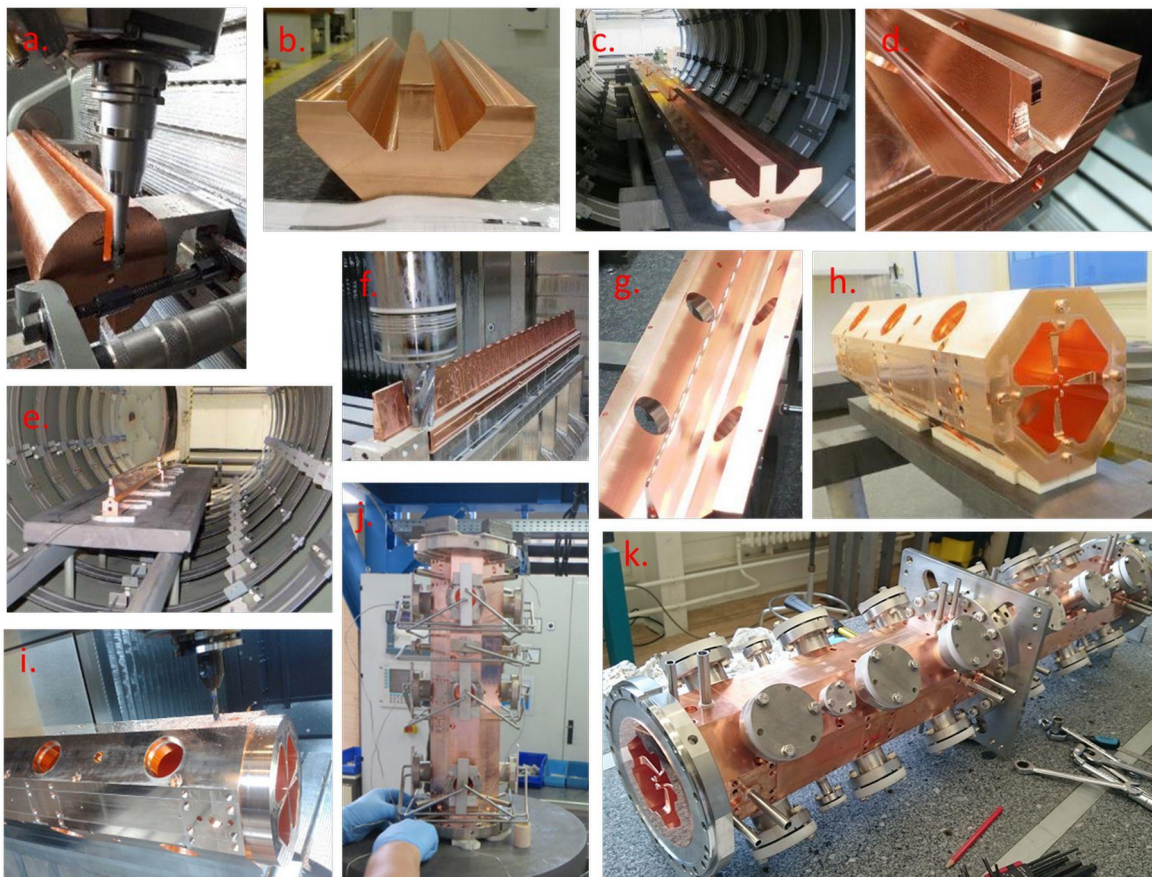


Figura 1: Fasi di produzione del PIXE-RFQ: a.: Lavorazione del materiale grezzo; b.: Lavorazione pre-grossolana; c.: Primo trattamento termico; d.: Lavorazione grezza; e.: Secondo trattamento termico; f.: Pre-finitura; g.: Trattamento termico finale e finitura; h.: Prima brasatura in vuoto; i.: Lavorazione dopo la brasatura; j.: Seconda brasatura in vuoto; k.: Lavorazione finale e assemblaggio del RFQ.

Come per il Linac4, l'HF-RFQ ed il PIXE-RFQ, la forma della cavità è identica lungo la lunghezza di ciascun modulo RFQ, consentendo l'uso di utensili sagomati al posto delle usuali fresature con estremità sferiche. Questa strategia aiuta anche molto a ridurre al minimo lo stress indotto dalla lavorazione.

Come mostrato in figura 2, due flange Conflat© DN 150 sono direttamente brasate sui moduli RFQ per la connessione delle flange di accoppiamento terminali che sostengono le aste dipolari e per l'associazione inter-modulo, le flange DN 40 servono per la connessione dei tuner, delle pompe turbo e dell'accoppiatore RF, mentre le flange DN 16 sono usate per le antenne diagnostiche. Un sistema di tubi in acciaio inossidabile è inoltre brasato sulle cavità per collegare i canali di raffreddamento ad acqua delle cavità e dei vanes.

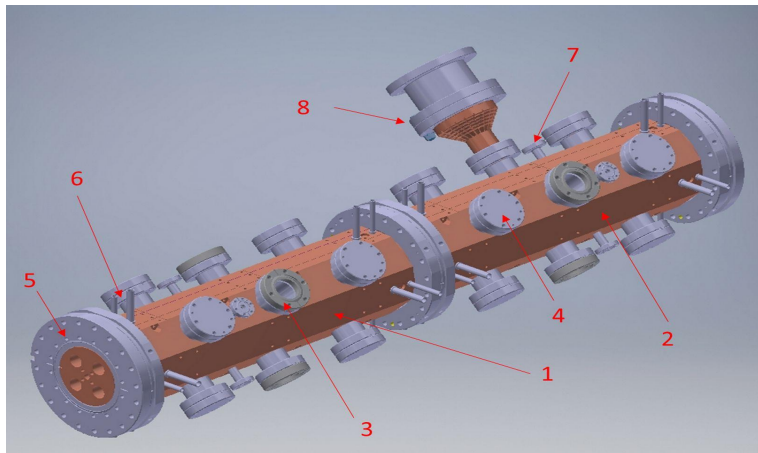


Figura 2: Modello tridimensionale del PIXE-RFQ con accessori. 1 e 2: moduli RFQ di ingresso e uscita (rispettivamente primo e secondo modulo), 3: porte di pompaggio con flangia CF40 (x7), 4: accordatori (x16), 5: flange di accoppiamento (x2), 6: tubi per l'acqua (x32), 7: flangia per le antenne (x8), 8: accoppiatore RF (x1).

6. Tuning RF

Per compensare le imperfezioni di lavorazione, la cavità RFQ verrà sintonizzata dopo l'assemblaggio, utilizzando metodi simili a quelli descritti in [6, 7]. Vengono utilizzati 16 accordatori a inserimento (8 per modulo in disposizione assiale) sia per sintonizzare la cavità alla frequenza di esercizio che per appiattire il campo regolando la loro penetrazione nel volume della cavità. L'obiettivo è sopprimere le componenti dipolari del campo e ottenere un campo quadrupolare puro, la cui tensione è costante lungo il RFQ.

Gli accordatori vengono prima lavorati con una lunghezza in eccesso e temporaneamente montati in modo che la loro penetrazione sia facilmente regolabile. Dalla configurazione iniziale, ciascun accordatore viene spostato singolarmente per determinare il suo effetto sulla distribuzione del campo [6, 7]. Dopo che la penetrazione finale degli accordatori è stata determinata, vengono nuovamente lavorati e fissati permanentemente. In figura 3 il dettaglio del montaggio dell'accordatore ed il setup per la misurazione a pull di perle utilizzato per HR-RFQ (4 moduli).

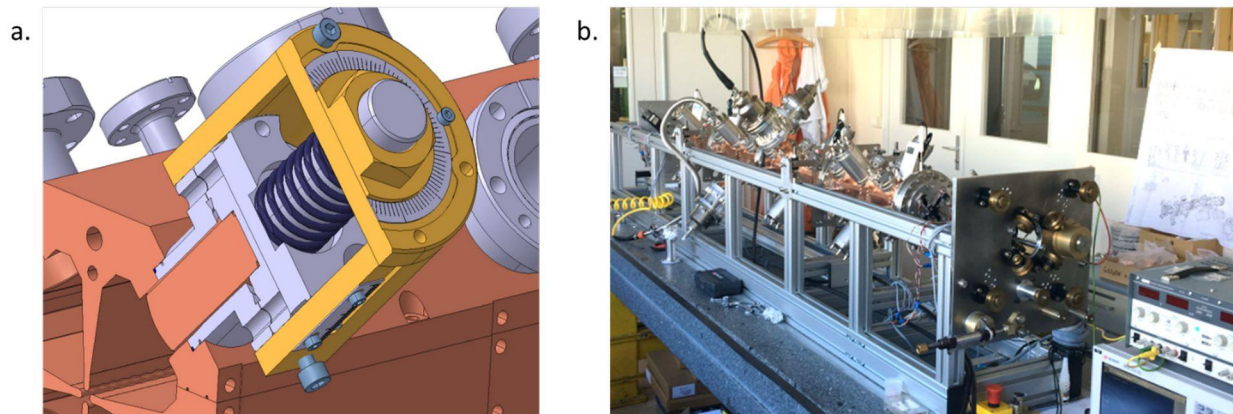


Figura 3: a.: Montaggio regolabile dell'accordatore. B: Setup di misurazione a pull di perle utilizzato per l'HF-RFQ (4 moduli). Lo stesso setup verrà utilizzato per sintonizzare e misurare le cavità RFQ (2 moduli) per MACHINA2.

Bibliografia

- [1] S. Mathot et al.: *"The CERN PIXE-RFQ, a transportable proton accelerator for the machina project"*, Nucl. Instrum. Methods in Physics Research B 459 (2019) 153–1
- [2] A. Lombardi et al.: *"Beam dynamics in a high frequency RFQ"*, IPAC2015, Richmond, VA, USA, p. 2408
- [3] V. Dimov et al., *"Beam commissioning of the 750 MHz proton RFQ for the LIGHT prototype"*, IPAC2018, Vancouver, BC, CA.
- [4] S. Mathot: *"RFQ vacuum brazing at CERN"*, EPAC208, Genoa, It, p. 1494
- [5] S. Mathot et al., *"Mechanical design, brazing and assembly procedure of the LINAC4 RFQ"*, IPAC2010, Kyoto, Jp.
- [6] B. Koubek et al.: *"RF Measurements and Tuning of the 750 MHz RFQ for Medical Applications"*, CERN, 2016.
- [7] B. Koubek, A. Grudiev, M. Timmins: *"RF Measurements and Tuning of the 750 MHz RFQ"*, Phys. Rev. Accel. Beams, 2017.

L'Aquila data e firma digitale

Il Responsabile scientifico del progetto SEIC

Prof. Roberto Aloisio