

Magneti e componenti meccanici per Eupraxia



Ruggero Ricci – INFN-LNF

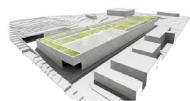
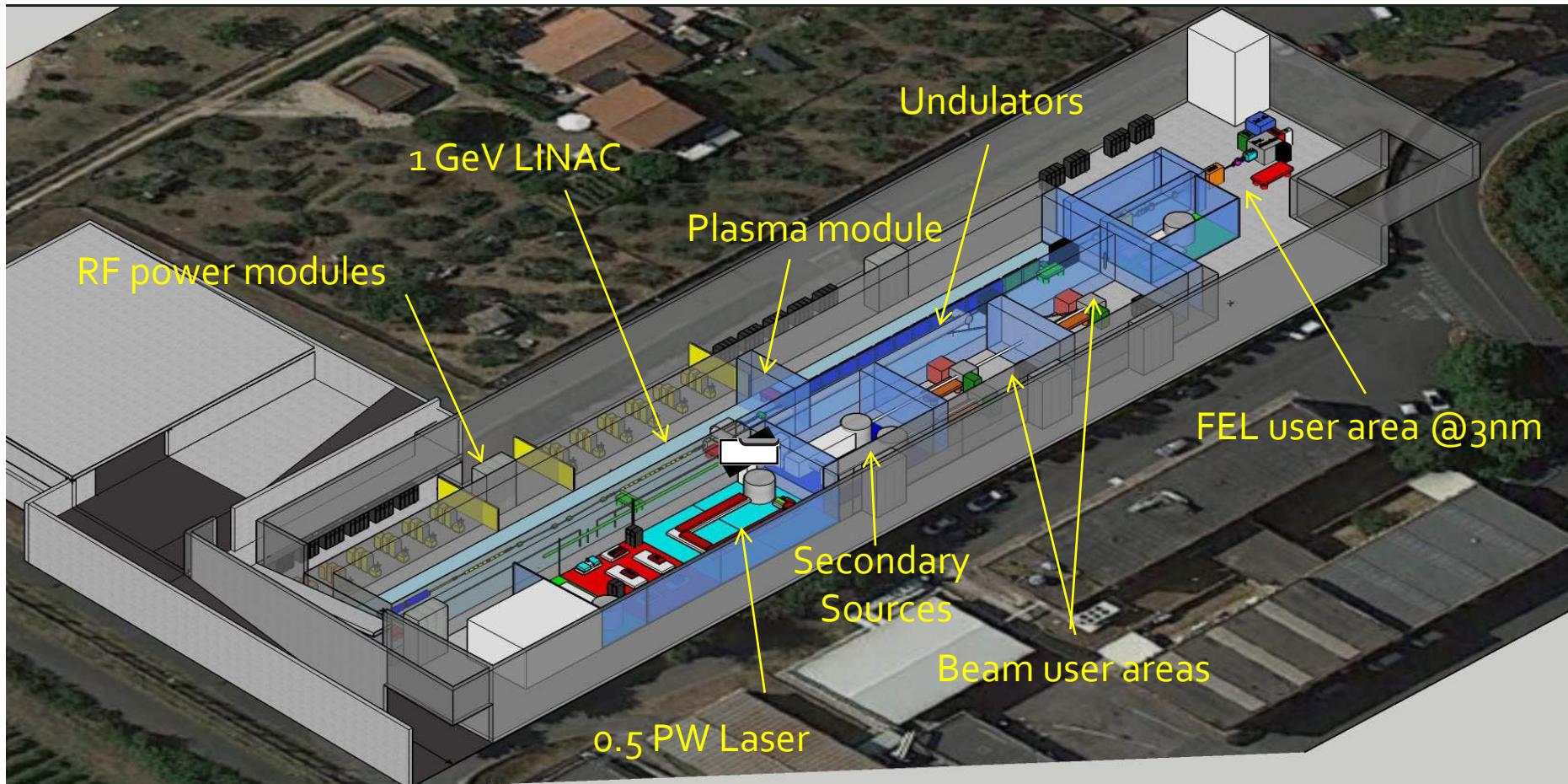
Napoli 9/6/2022

Argomenti

Settori di interesse per prossime commesse dei LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI dell'INFN:

- Magneti convenzionali
- Magneti permanenti
- Sistemi da Vuoto
- Componenti RF, sezioni acceleratrici e guide d'onda
- Componenti per plasma acceleration, Laser
- Servizi per le imprese nell'ambito del progetto Latino.

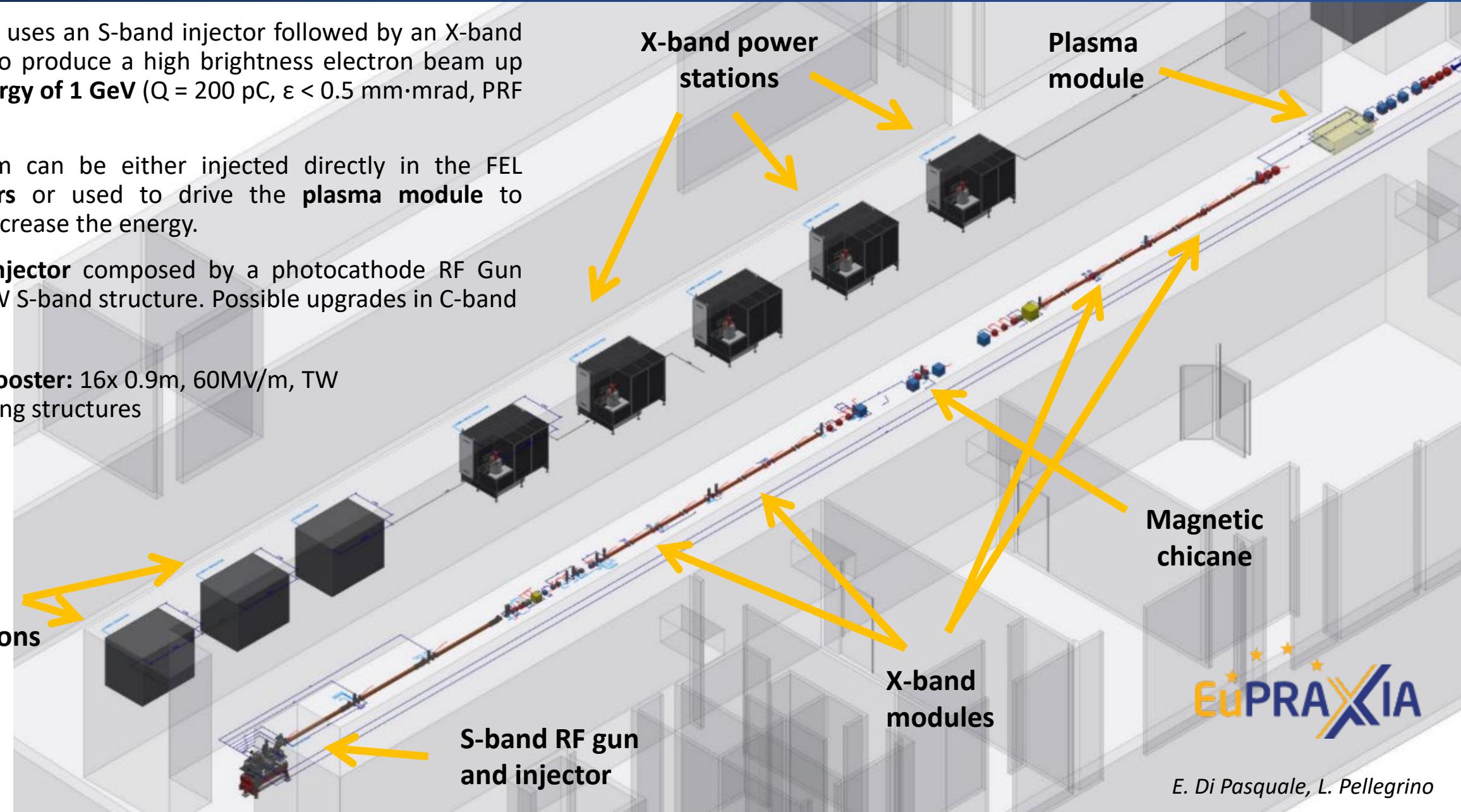
EuPRAXIA@SPARC_LAB



<http://www.lnf.infn.it/sis/preprint/pdf/getfile.php?filename=INFN-18-03-LNF.pdf>

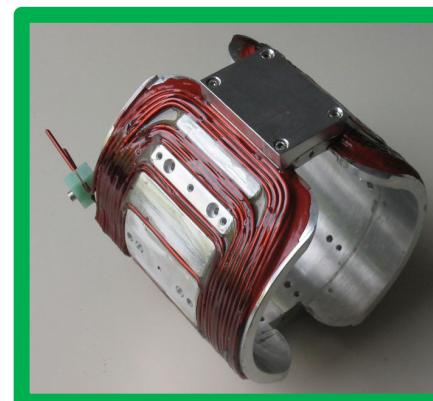
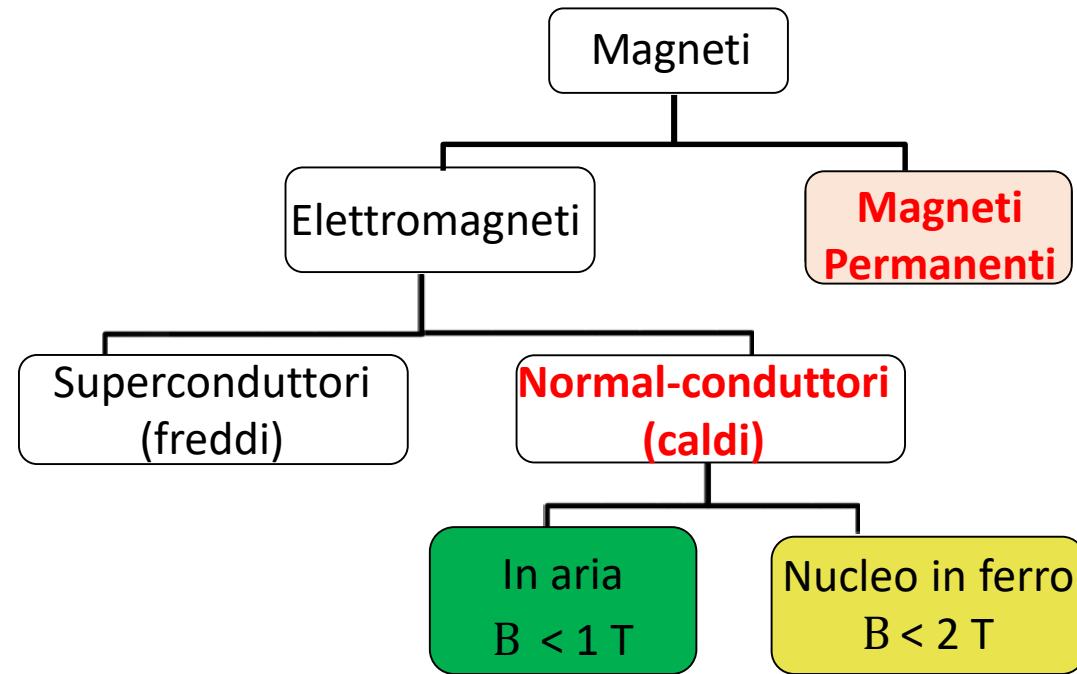
Overview of the EuPRAXIA LINAC

- » The Linac uses an S-band injector followed by an X-band booster to produce a high brightness electron beam up to an **energy of 1 GeV** ($Q = 200 \text{ pC}$, $\epsilon < 0.5 \text{ mm}\cdot\text{mrad}$, PRF = 100Hz).
- » The beam can be either injected directly in the FEL **undulators** or used to drive the **plasma module** to further increase the energy.
- » **S-band injector** composed by a photocathode RF Gun and 3x TW S-band structure. Possible upgrades in C-band
- » **X-band booster**: 16x 0.9m, 60MV/m, TW accelerating structures



Magneti per acceleratori di particelle

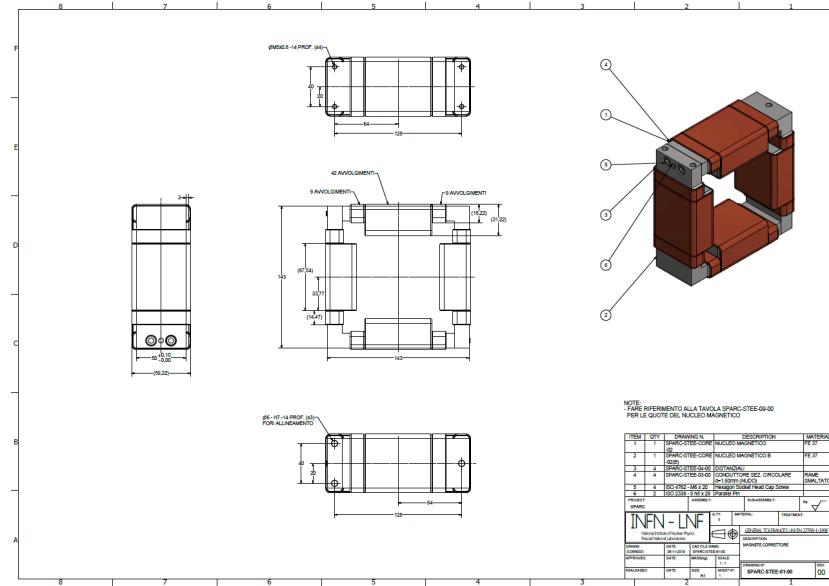
- Varie tipologie a seconda dei campi magnetici che possono sviluppare.
- Nuclei di ferro possono essere in ferro pieno o laminati.
- Elettromagneti, possono essere distinti anche con magneti di «piccola taglia» (campi dell'ordine di decine di Gauss) e magneti di «grossa taglia» (campi oltre 1kG)
- Con magneti di piccola taglia anche aziende non esperte del settore (in grado di fare sole lavorazioni meccaniche) possono facilmente realizzarli.
- E' fondamentale rispettare le tolleranze meccaniche e saper fabbricare bobine sia con conduttori di rame smaltato che con conduttori cavi (forniti nudi, da isolare) per canale di raffreddamento.



Courtesy of Alessandro Vannozzi

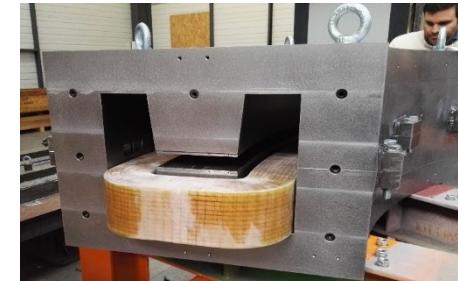
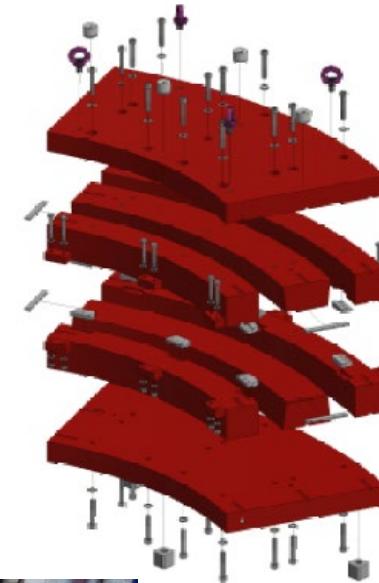
Magneti Normal conduttori di Piccola Taglia

- Magneti sia in aria che in ferro.
 - Conduttori rame smaltato di sezioni di pochi mmq → facilmente lavorabili
 - Peso di pochi kg
 - Tolleranze meccaniche richieste nell'ordine di $\pm 50\mu\text{m}$
 - Esperienza positiva con magnete «correttore» (campo verticale e orizzontale)
 - Campo massimo ≈ 30 G
 - Prodotto da una ditta specializzata in meccanica di precisione (TSC)
 - Gara con capitolato tecnico e disegni meccanici di dettaglio
 - Caratterizzazione elettrica e misure magnetiche effettuate presso laboratorio misure magnetiche dei LNF



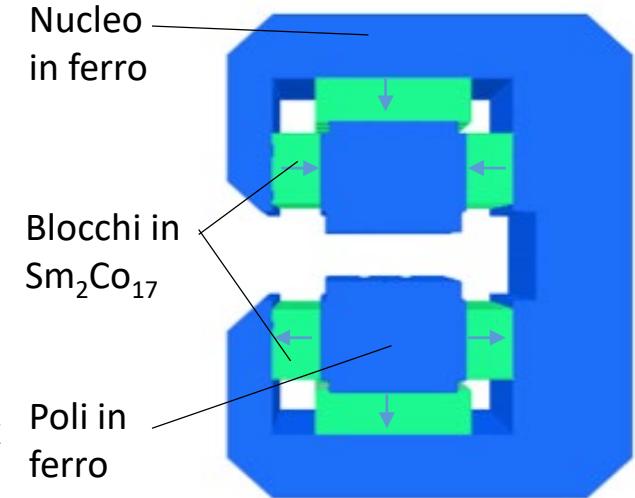
Magneti Normal conduttori di Grande Taglia

- Magneti con nucleo in ferro (pieno o lamierini)
- Capacità nelle lavorazioni conduttori nudi di sezioni di diversi mmq con impregnazione sottovuoto o prepreg.
- Peso fino a qualche tonnellata
- Tolleranze meccaniche richieste nell'ordine di $\pm 50\mu\text{m}$
- Campi che possono arrivare a 2T nel ferro
- Poche aziende leader nel settore a livello globale
- Possibilità da parte INFN di fornire disegni di dettaglio e caratterizzazione presso le proprie facility.

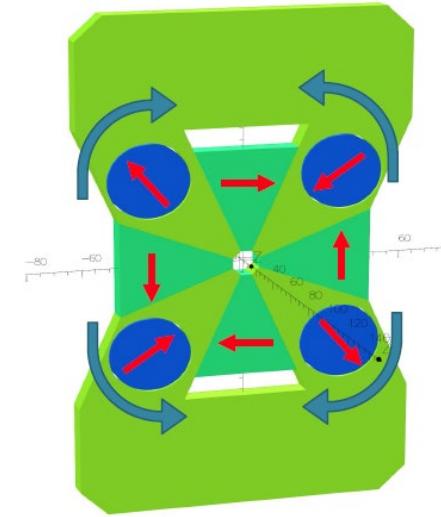
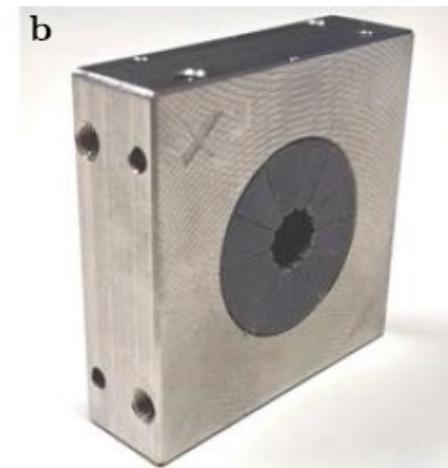
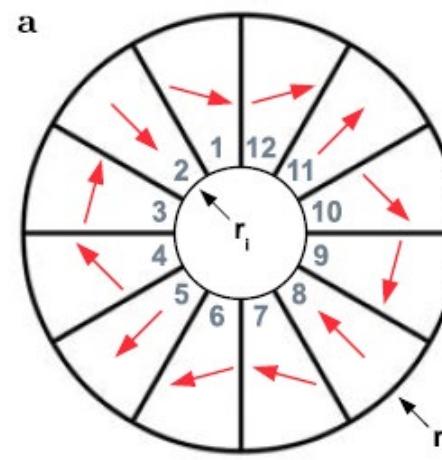
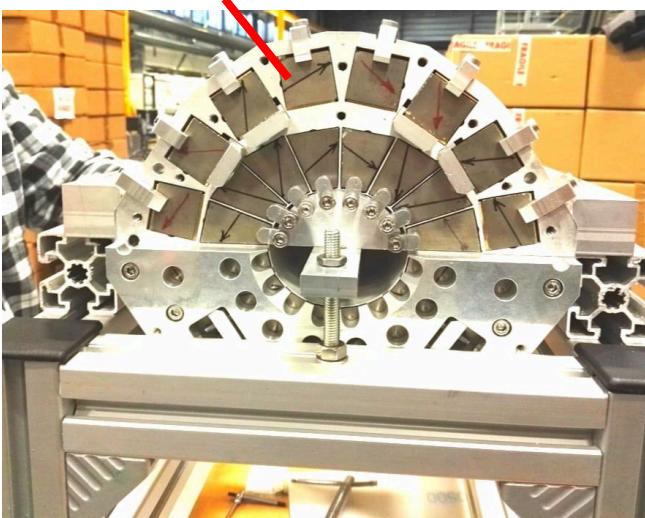


Magneti Permanentni

- Grande interesse da parte della comunità scientifica per ridurre consumi energetici e collocazioni in parti della macchina in cui non è possibile utilizzare elettromagneti.
- Composti da blocchetti di materiale magnetizzato, involucro per alloggiarli in grado di sopportare gli sforzi tra i magneti e a volte anche nucleo in ferro per richiusura campo magnetico
- Blocchetti magnetizzati realizzati con polveri sinterizzate di terre rare (SmCO o NdFeB)
- Grande interesse magneti permanenti a campo variabile: cambiando la disposizione dei blocchetti, si varia il campo magnetico.
- Per applicazioni in LNF abbiamo interesse a produrre magneti con dimensioni dell'ordine di $20 \times 20 \times 2$ cm



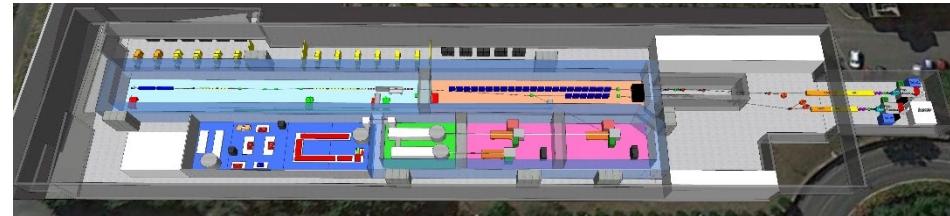
Blocchi in $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$



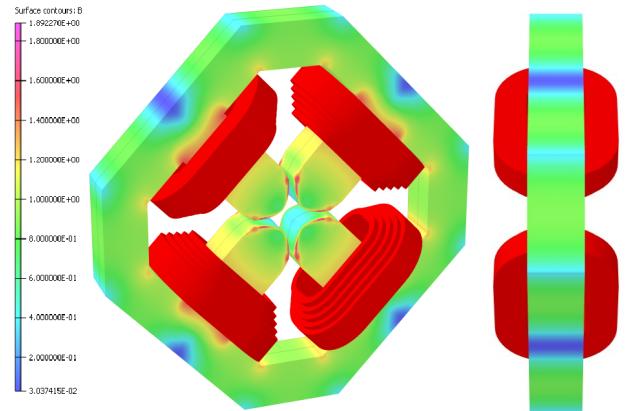
Possibili commesse



MAGNETI



- Circa 80 nuovi magneti
 - 60 media-alta potenza (1kW – decine di kW)
 - 20 piccola taglia (<500 W)
 - 20 quadrupoli permanenti a campo variabile
- Siamo ancora in una fase di design preliminare, specifiche ancora da definire
- Opportunità data la quantità di magneti e le taglie in gioco



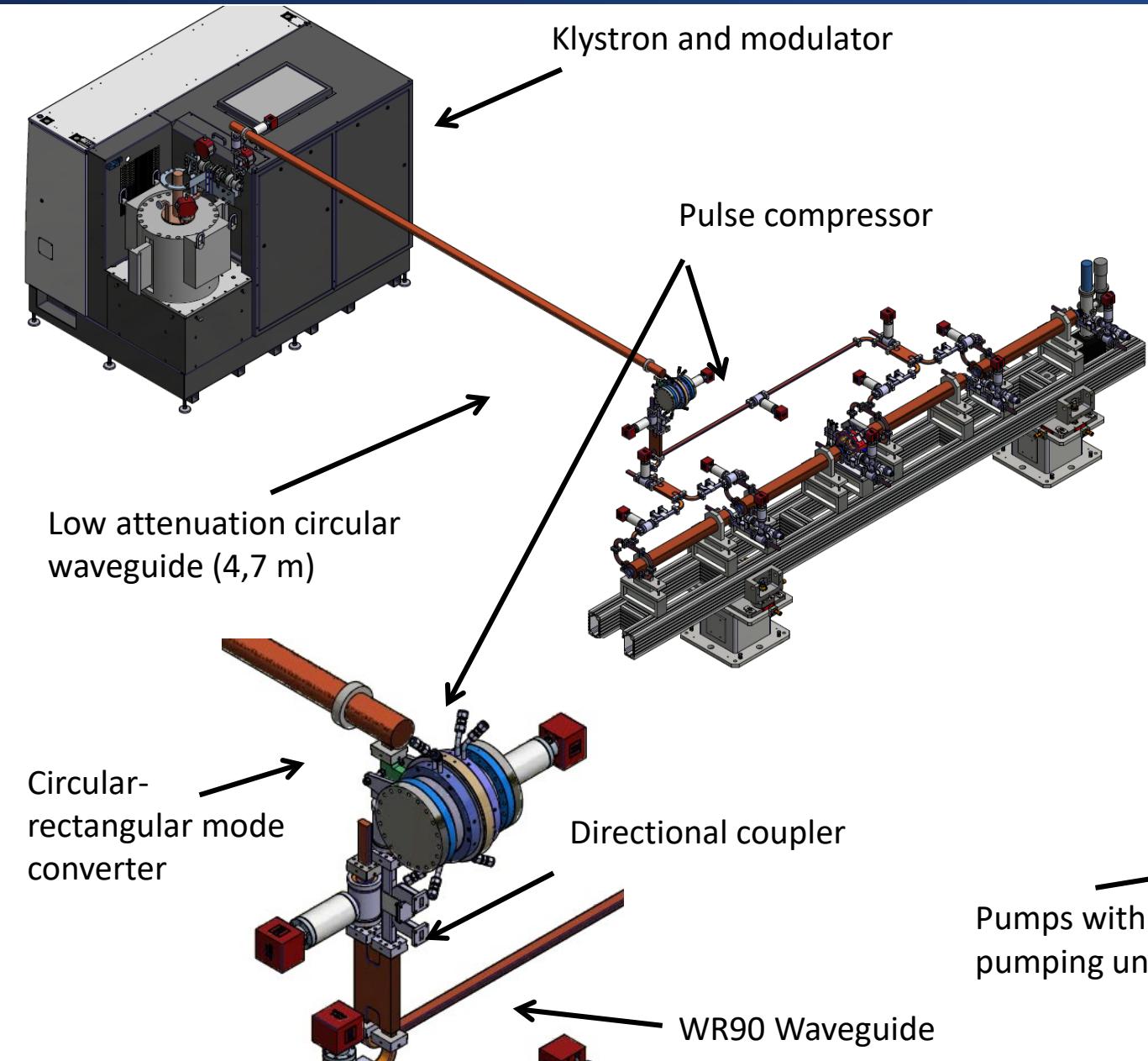
DAFNE

- Possibile richiesta fornitura bobine raffreddate ad acqua per sostituzione di vecchie bobine

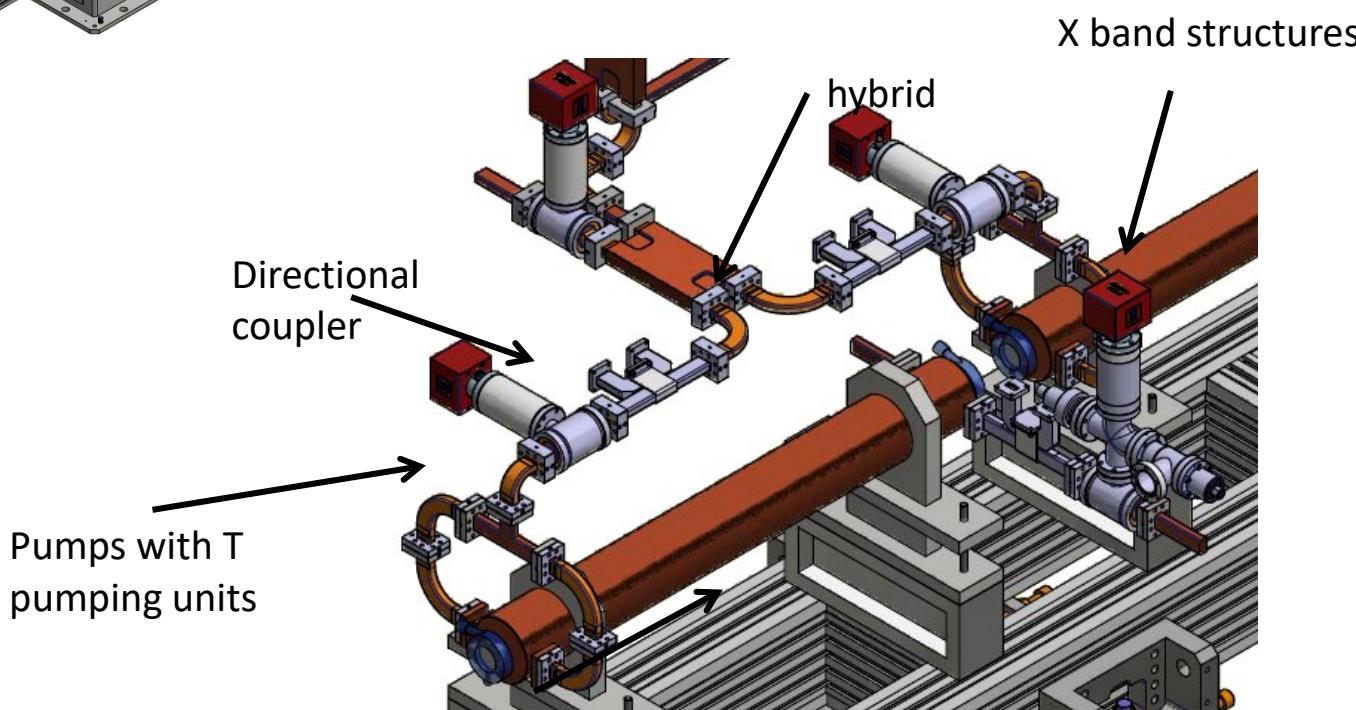
SPARC

- E' una test facility: continua evoluzione layout di macchina → richiesti sia elettromagneti e magneti permanenti

X-band module layout

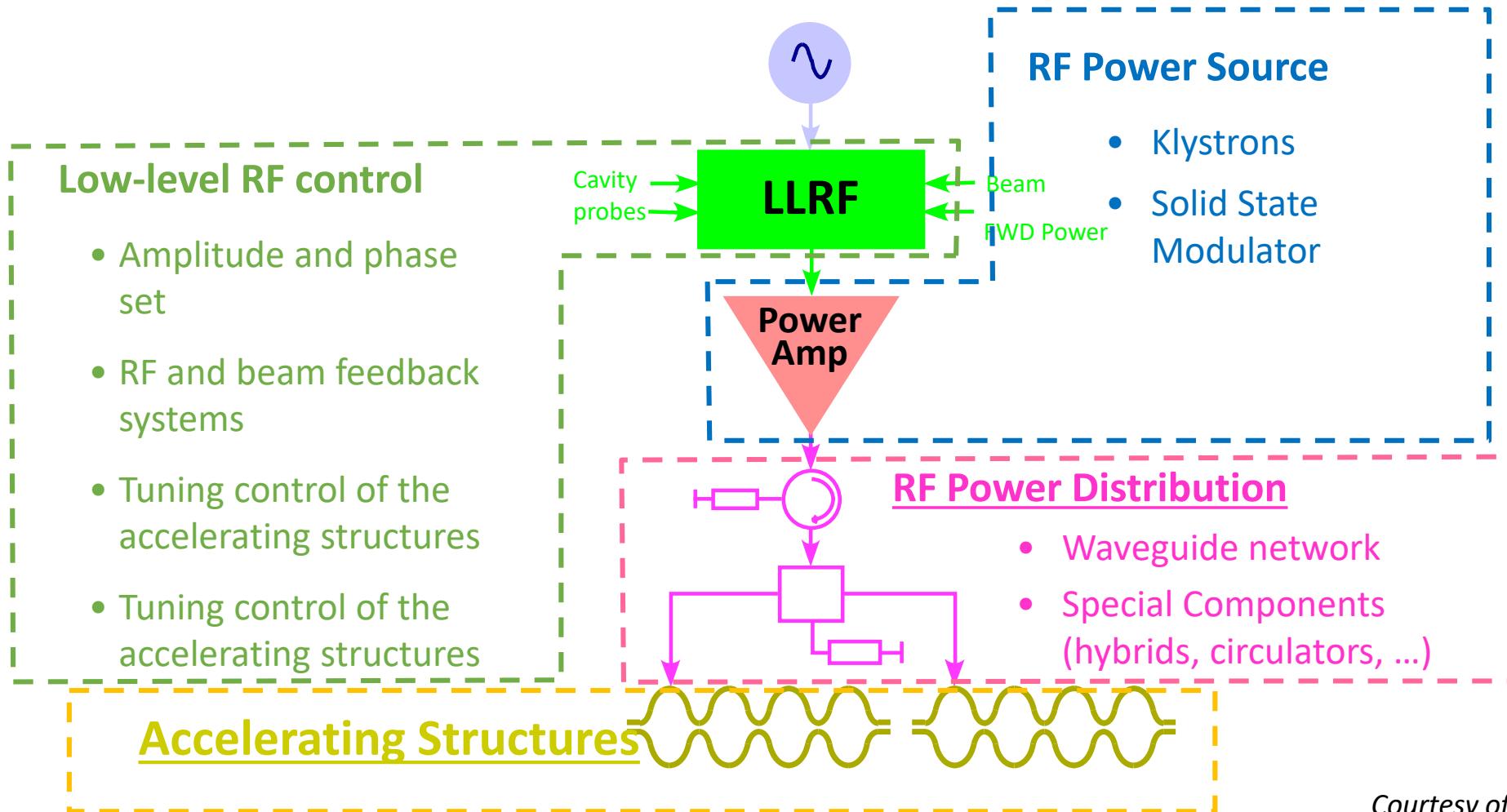


⇒ Baseline Layout:
⇒ one klystron,
⇒ pulse compressor (BOC-type),
⇒ 4 TW structures (0.9 m, 60 MV/m, 100 Hz) or 2
TW structure depending on the klystron
⇒ X-band Waveguide components and RF devices.
Some of them are not commercial components



RF System Description

The RF systems in particle accelerators are the hardware complexes dedicated to the generation of the electromagnetic fields to accelerate particle charged beams.



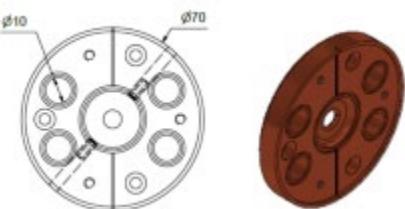
Courtesy of Fabio Cardelli

X-band Structure

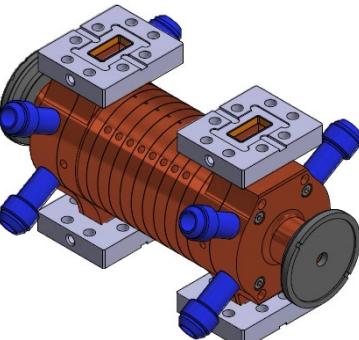
- » The EM design of the structure is completed: 0.9 m long structures with 3.5 mm average iris radius design to work with an average acceleration gradient of 60 MV/m.
- » Synergies with other projects like the **I.FAST European project**: XLS/Compact-light structure realization coordinated by G. D'Auria.
- » Thermo-mechanical simulations of the structure have been completed.
- » The **mechanical drawing** of the final X band structure is under constant review and is related to the result of the **prototyping activity**: brazing test, cell to cell alignment, etc.
- » Three main steps of prototyping:
 - 1. Full scale mechanical prototype:** to test the brazing process of the full structure and the cell-to-cell alignment we are able to achieve (*currently ongoing*)
 - 2. Few cells-rf prototype for high power test:** 10 cell prototype with input/output coupler to be tested at low and high power (*currently ongoing*)
 - 3. Final full scale structure prototype.**

Parameter	Value
Frequency [GHz]	11.994
Average acc. gradient [MV/m]	60
Structures per module	4
Iris radius a (linear tapering) [mm]	3.8-3.2 $\langle a \rangle = 3.5$
Tapering angle [deg]	0.04
Structure length L_s [m]	0.9
No. of cells	108
Shunt impedance R [$M\Omega/m$]	94-107
Average dissipated power [kW]	1
Filling time [ns]	126
Effective shunt Imp. R_s [$M\Omega/m$]	350
Peak Mod. Poynting Vector [$W/\mu\text{m}^2$]	3.5
RF pulse [μs]	1.5
Rep. Rate [Hz]	100

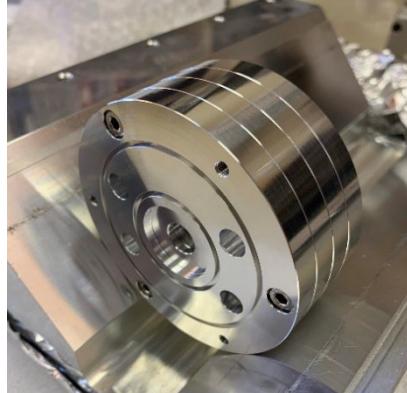
Single cell design



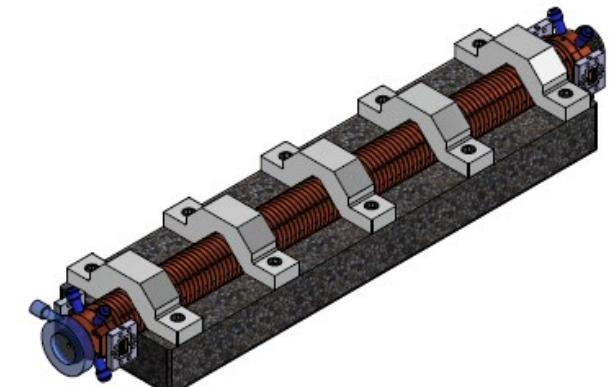
10 cells prototype



Cell to cell alignment tests



Copper cells for brazing tests

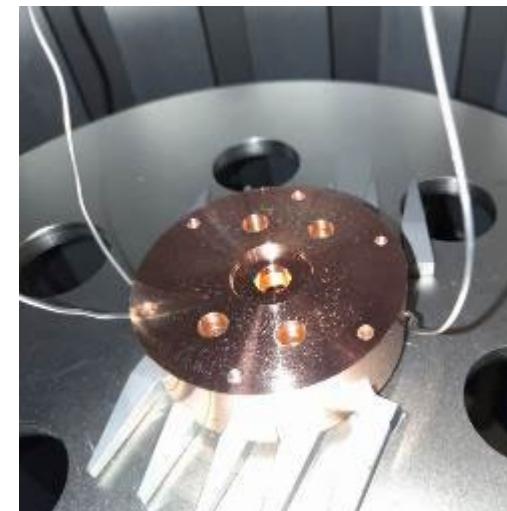


D. Alesini

X-band Structure Prototyping Activities

- » New vacuum furnace model (TAV TUVH 40-130) commissioned at INFN-LNF in the framework of the LATINO Project, that allows for in-house brazing of components.

Parameter	Unit	Value
Height	mm	1300
Diameter	mm	400
Max Temperature	°C	1200
Uniformity (@>700°C)	°C	±5



In the framework of the LATINO project it is accessible to external users, including national and international laboratories and companies.

Courtesy of D. Alesini, A. Liedl, V. Lollo and R. Di Raddo

X-band Components Procurement

» For the EuPRAXIA@SPARC_LAB Project different X-band (11.994 GHz) RF devices and waveguide components have to be procured. Many of these are not commercial components.

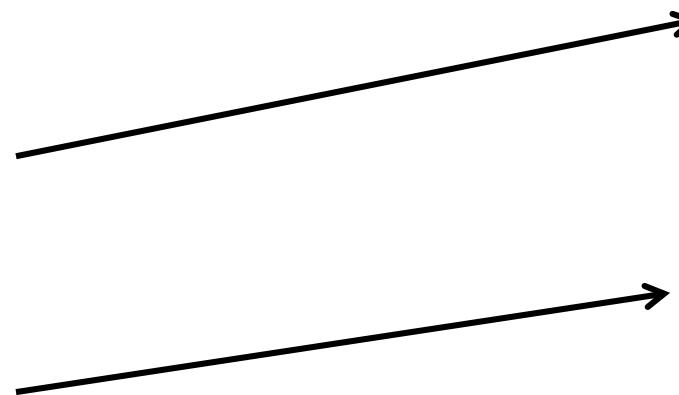


» We can provide RF design, brazing and RF testing (low power and high power) of these components but we need mechanical design and realization.

» From the collaboration with CERN, we obtain access to the repository of some of the components purchased and tested at the X-boxes.

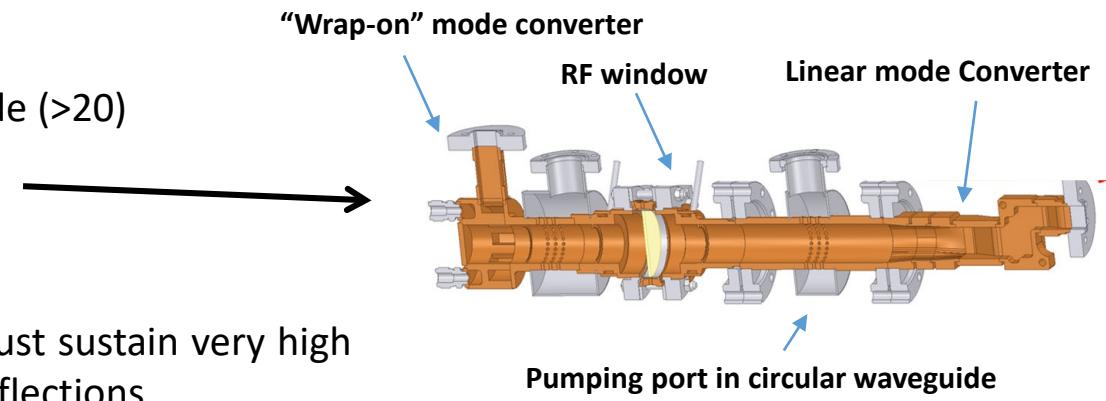
» WG Components and RF device in X-band (Eupraxia needs):

- » Waveguide WR90 straight and bends (several)
- » T-pumping units (> 30)
- » Directional couplers (> 20)
- » RF Loads (realized with Additive manufacturing) (>35)



The most critical and not available at the moment are:

- » Mode converters from rectangular TE10 mode to Circular TE01 mode (>20)
- » RF windows (for Circular waveguide)
- » Circular waveguides pumping ports



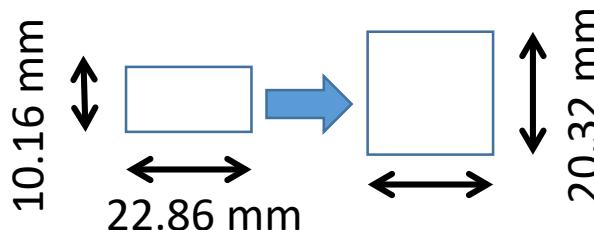
» All of these should work in Extremely high vacuum ($< 10^{-10}$ mbar) and must sustain very high RF peak and average power (see previous slide on RF sources) without reflections.

X-band WAVEGUIDE

X-band WR90 waveguide have strong attenuation (0.1 dB per meter). Careful **calculation of the total rf losses** is important (10-15% power attenuation).

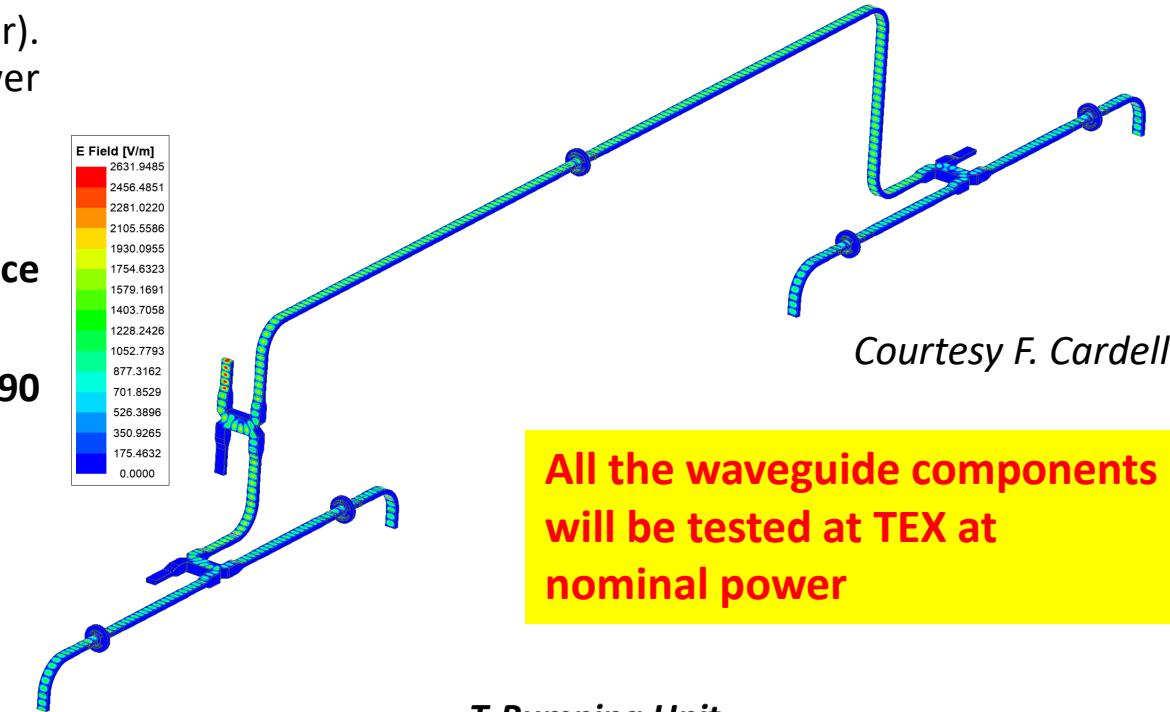
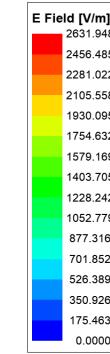
» In order to **mitigate and reduce losses**:

- » Redesign and standardize some components in order to **reduce the total number of flanges** in the module network.
- » We are considering also the possibility to **use double high WR90 waveguides**.

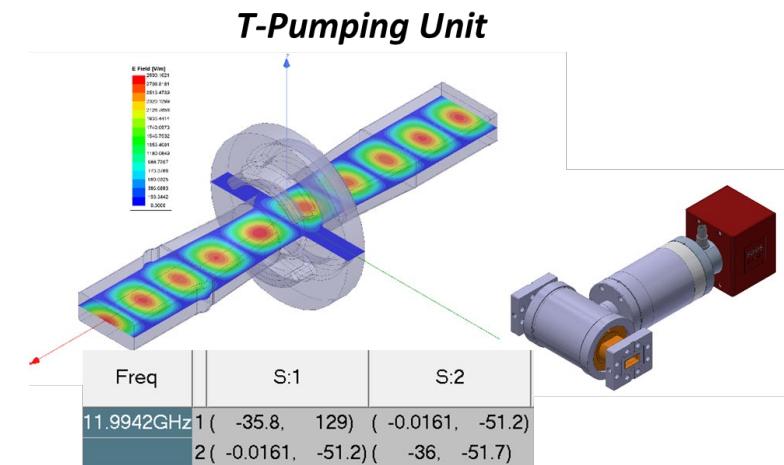


Vacuum conductance

WAVEGUIDE	C * L [cm l/s]
WR90	≈57
Double high	≈166



All the waveguide components will be tested at TEX at nominal power



Tipologie di lavorazioni per componenti RF e UHV

Sezioni acceleratrici in banda X costituite da celle in rame:

Precisione di alcuni μm

Rugosità interne < 50 nm

Strutture da circa 1 m (100 celle)

Brasate a 1000 °C in forno da vuoto

Critico l'allineamento tra le celle: alcune 10 μm con controllo delle deformazioni di brasatura

Ne serviranno 15-20 nel prossimo futuro.

Guida d'onda rettangolare in banda X: Si realizzano a partire da profilati specifici (WR90) di rame OFHC brasati con flange in acciaio da UHV che assicurano tenuta da vuoto e contatto RF.

Componenti in guida d'onda sono realizzati su nostro disegno in produzione limitata.

Componentistica da ultra vuoto:

Camere UHV in acciaio, soffietti, elementi di diagnostica,
movimentazioni sotto vuoto

Strutture di supporto e regolazione micrometrica e di allineamento (10 μm).

Girder in granito

TEX facility – TEst stand for X-band at Frascati



REGIONE
LAZIO
fesr
FONDO EUROPEO DI
Sviluppo Regionale
2014-2020
POR
PROGRAMMA OPERATIVO
REGIONE LAZIO



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Laboratori Nazionali di Frascati

- » The *TEst-stand for X-band (TEX)* is a facility conceived for R&D on high gradient X-band accelerating structures and waveguide components in view of Eupraxia@SPARC_LAB project.

Test facility for:

- Accelerating structures
- R&D for RF components,
- LLRF systems, Beam Diagnostics
- Vacuum and Control System.

Co-funded by INFN and Lazio regional government in the framework of the **LATINO** project (*Laboratory in Advanced Technologies for INnOvation*) to enhance collaboration with SME and increase the technology transfer between research centers and the surrounding economic framework.

It will be also **accessible to external users, including national and international laboratories and companies.**

Concrete Bunker and Modulator Cage with the RF Source
50 MW peak power, 1.5 us
RF pulses at 50 Hz rep. rate.



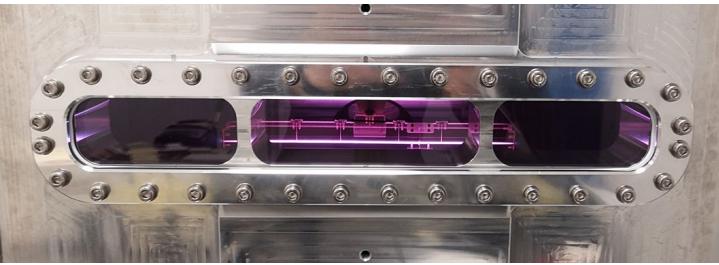
Building 7 at LNF



Control room and Rack room

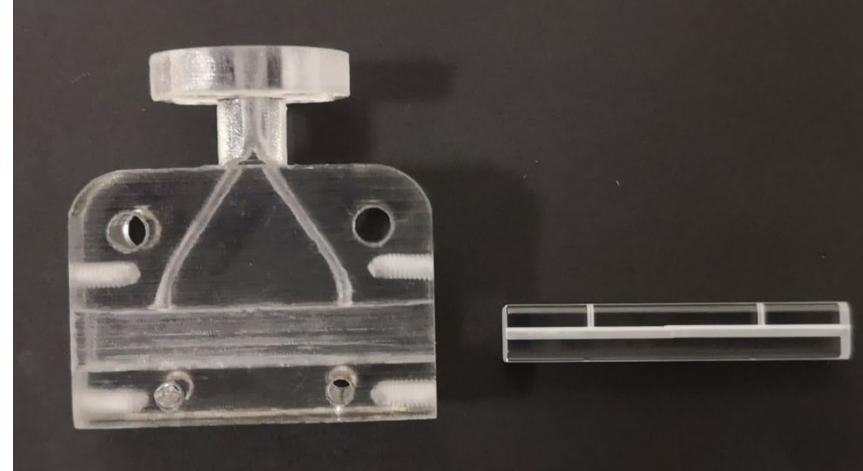
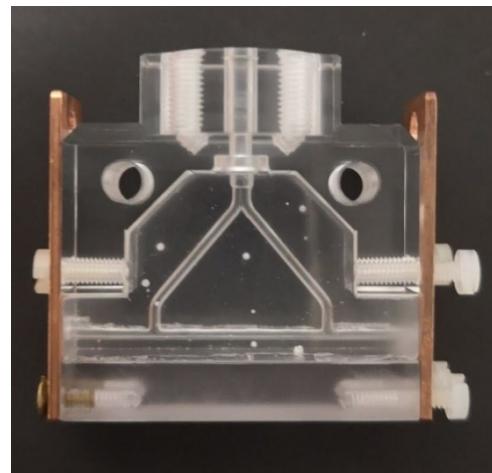


= Additive Manufacturing

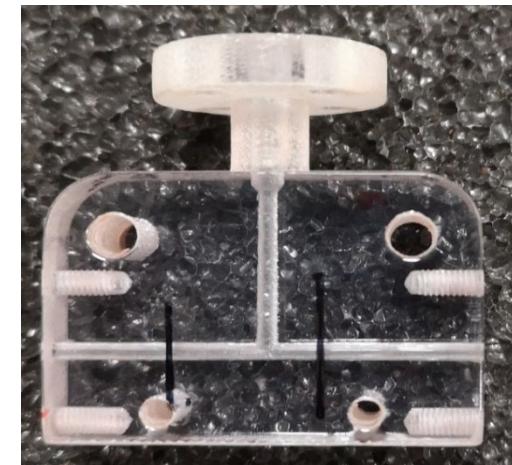


1. Hybrid capillary_sapphire:

- Holder: 3D-printed plastic (Mechanical engineering LNF)
- Core: Sapphire mechanical machining, external company



2. 3D-printed plastic capillary (Mechanical engineering LNF)

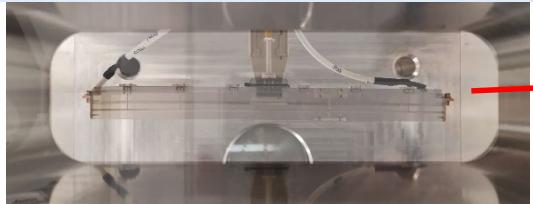


3. Hybrid capillary_like-Glass/ceramic materials:

- Holder: Plastic, mechanical machining, external company
- Core: 3D-printed glass, external company

1. Camere da vuoto per test di plasma devices

**Plasma source
for particle acceleration**



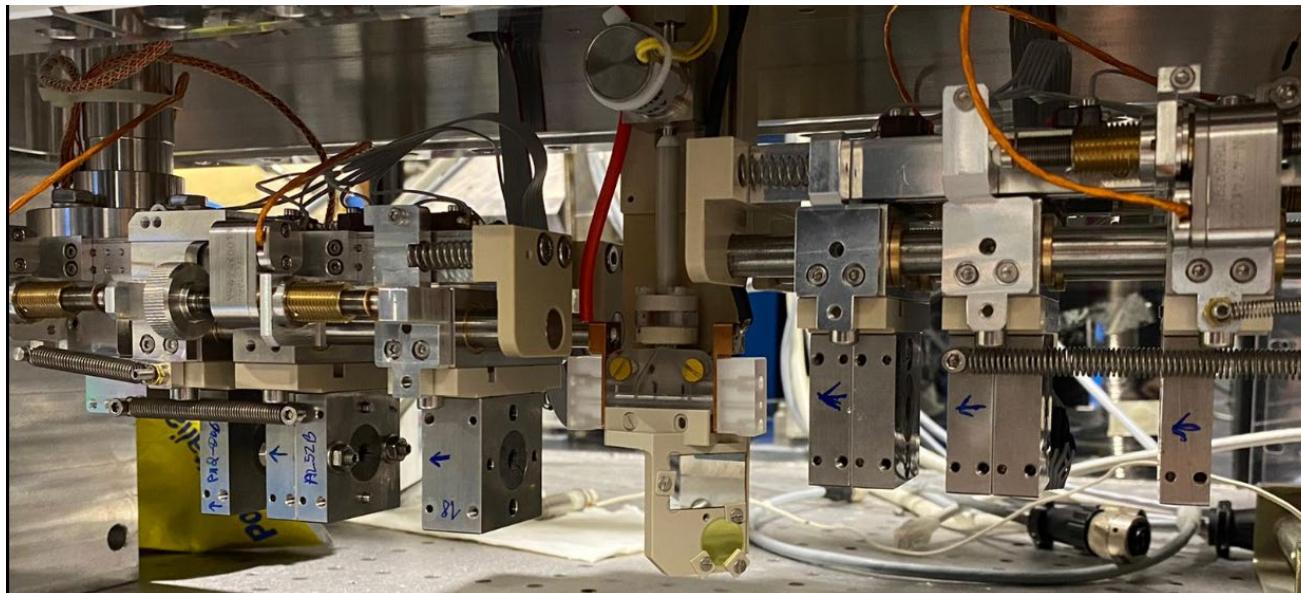
2. Laser

Per gli esperimenti futuri sulle sorgenti di plasma ci sarà bisogno di laser compatti (table-top) per produrre i plasmi per accelerazione:

Energy: mJ-scale (10-50 mJ)

Pulsewidth: 50-200 fs

Repetition rate: 1-10 KHz



3. Attuatori da vuoto

Le nostre esigenze ci spingono sempre più a realizzare attuatori custom, quasi mai ci siamo affidati a prodotti a catalogo. Anche qui servirebbe collaborare con l'impresa nella fase progettuale oltre che in quella realizzativa.

A. Biagioni – R. Pompili



LATINO: a Laboratory in Advanced Technologies for INnOvation

Infrastruttura di ricerca presso LNF rivolta ad utenti esterni
sia per attività di ricerca che commerciale

Cofinanziamento: budget totale del progetto **2.5M€** (1.6 Regione Lazio + 0.9 INFN)



Radio Frequenza

1. Test di strutture acceleranti e componenti RF a 12GHz 50 MW di picco -> TEX
2. Risposta in frequenza di dispositivi fino a 100 GHz a bassa potenza
3. Caratterizzazione di circuiti e segnali di bassa potenza nel dominio del tempo e frequenza fino a 20 GHz

Magnetic Measurements

1. Analisi armoniche di campi magnetici multipolari
2. Mappe di campo puntuali con sonda di Hall
3. Misure di campo magnetico e fiducializzazione
4. Design di elettromagneti e magneti permanenti.

Vacuum and Thermal Treatments

1. Trattamenti termici in ultra alto vuoto
2. Brasature in ultra alto vuoto
3. Misure di degasamento di campioni

Mechanical Integration

1. Ricostruzione CAD di edifici e impianti per gestione degli spazi e analisi d'integrazione
2. Survey dimensionali e ispezione dei componenti meccanici
3. Applicazione di reverse engineering

LATINO: NEW VACUUM FURNACE @ LNF



- ⇒ Co-funded by Regione Lazio in the framework of the LATINO (Laboratory in Advanced Technologies for INnOvation) program with the goal to open research labs to industries and other research center.
- ⇒ The furnace with a vacuum chamber 1.3 m long and a diameter of 400 mm allows to:
 - Brazing in vacuum and in a controlled atmosphere
 - Perform thermal treatment of material under vacuum and controlled atmosphere up to 1200 °C
 - It is currently used for the brazing test of the X band structures of EUPRAXIA

SYSTEM FOR UHV MATERIAL CHARACTERIZATION

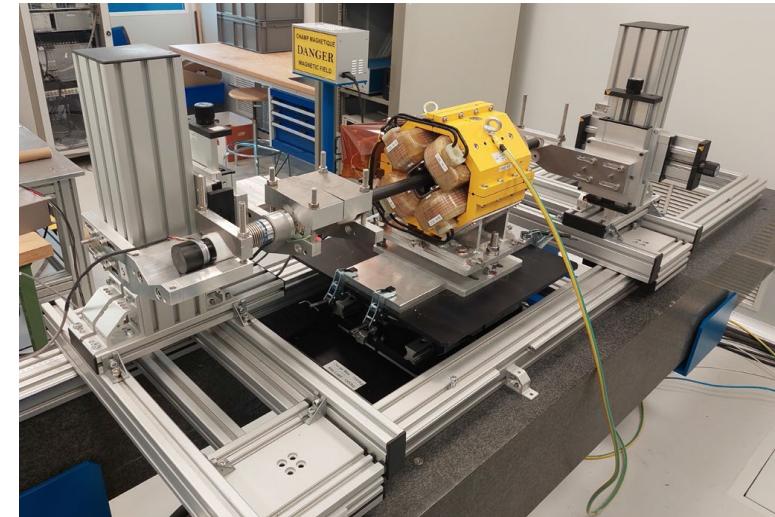


- ⇒ Co-funded by Regione Lazio in the framework of the LATINO (Laboratory in Advanced Technologies for INnOvation) program with the goal to open research labs to industries and other research center.
- ⇒ The system allows to characterize material, pumps and component in term of:
 - Specific outgassing rate properties of new materials
 - Pumping speed
 - new deposition techniques
 - Surface treatments

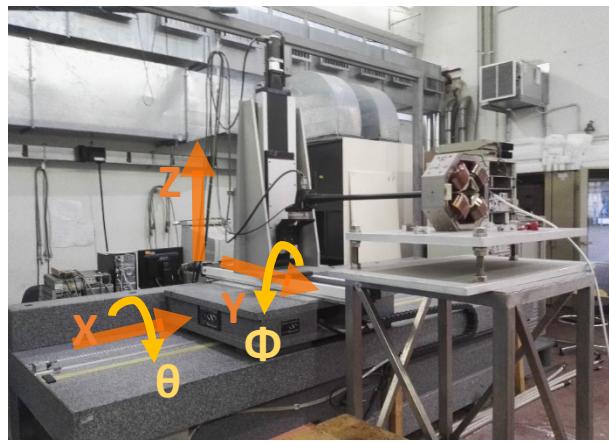
LATINO: Facility di Misure Magnetiche @LNF



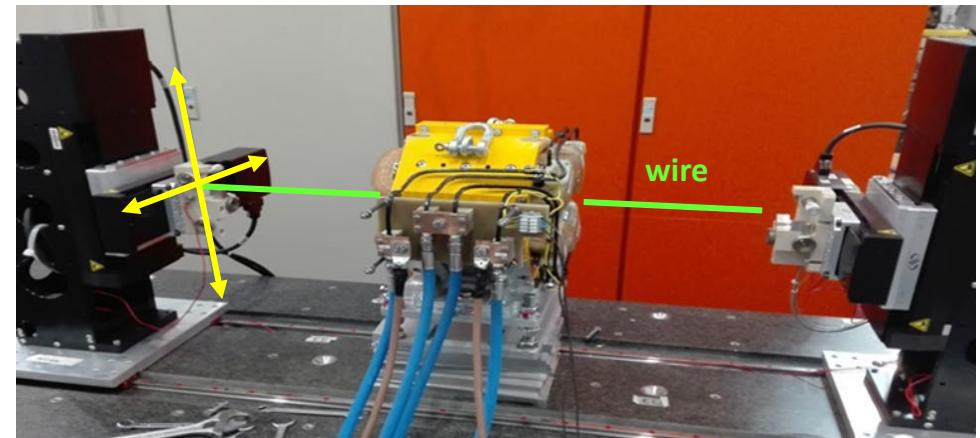
Allineamento di precisione con Laser Tracker



Bobina rotante in arrivo dal CERN



5-axes digital Movement device equipped with Hall Probe



Stretched Wire Measurement Bench

Produzione di componenti su progetto INFN

Anche per consentire l'accesso di nuovi fornitori al mondo dei componenti per gli acceleratori:

- Offriamo la progettazione di componenti (magneti, strutture RF, camere da vuoto) con disegni meccanici costruttivi.
- Le gare d'appalto possono essere impostate nella configurazione capitolato tecnico + disegni meccanici.
- Ditta si occupa della produzione e dei test che la strumentazione in dotazione gli consente di fare
- Test finali di accettazione (es. misure magnetiche, test RF e test di vuoto) effettuati presso le nostre facility!

Contatti di riferimento

- Magneti: Alessandro.Vannozzi@LNF.INFN.IT
- Sistemi da Vuoto, sezioni acceleratrici: David.AlesiniLNF.INFN.IT
- Componenti RF, e guide d'onda: Fabio.cardelli@LNF.INFN.IT
- Componenti per plasma acceleration, Laser: Riccardo.Pompili@LNF.INFN.IT,
Angelo.Biagioni@LNF.INFN.IT
- TEX facility: Stefano.Pioli@LNF.INFN.IT



Grazie per l'attenzione !

ruggero.ricci@LNF.INFN.IT

Resp. servizio Impianti Elettrici – Divisione Tecnica e dei Servizi Generali

Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN