



## Verso nuovi acceleratori di particelle trasportabili

Lorenzo Giuntini,  
INFN – Sezione di Firenze e Università di Firenze

**Perché acceleratori di ioni per i beni culturali?**

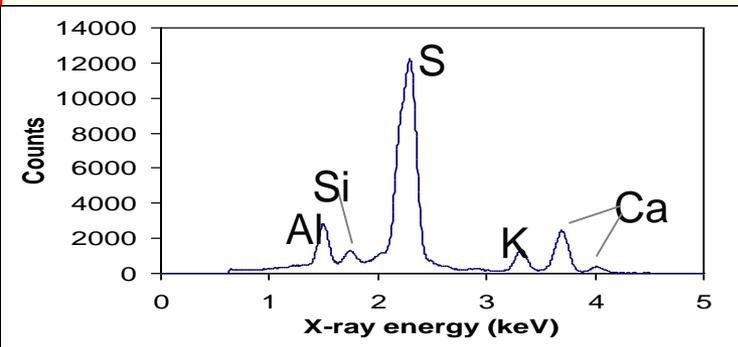


# **Tecniche di analisi con fasci di ioni (IBA): un approccio consolidato e sempre più diffuso per lo studio, la diagnostica e la conservazione dei Beni Culturali**

- Ampio insieme di tecniche per la caratterizzazione totale della composizione (praticamente tutti gli elementi)**
- Analisi qualitative e quantitative**
- Imaging composizionale 2D e 3D**
- I risultati delle IBA e delle tecniche più diffuse per i Beni Culturali (XRF, Raman, VIS/OPT/NIR, ...) si completano e si integrano**
- Si possono fare in aria (no vuoto)**

# Le analisi con fasci di ioni - IBA

## Analisi spettrale

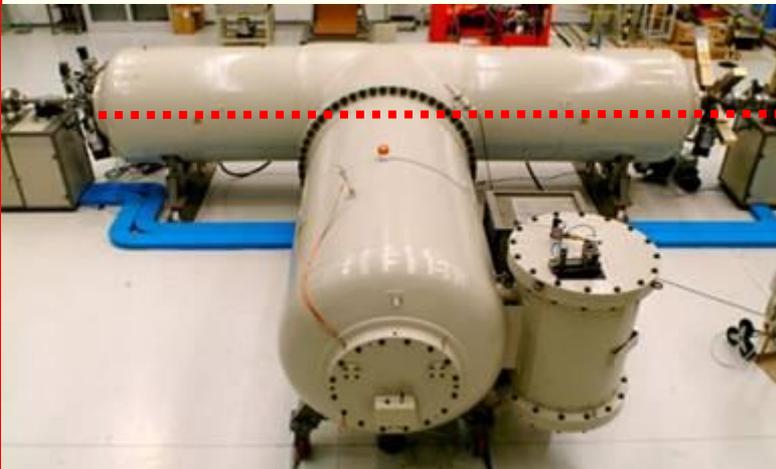


## Rivelatori di radiazione

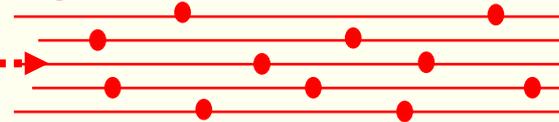


Emissione di radiazione caratteristica (raggi X, raggi  $\gamma$ , particelle, luce visibile, ...)

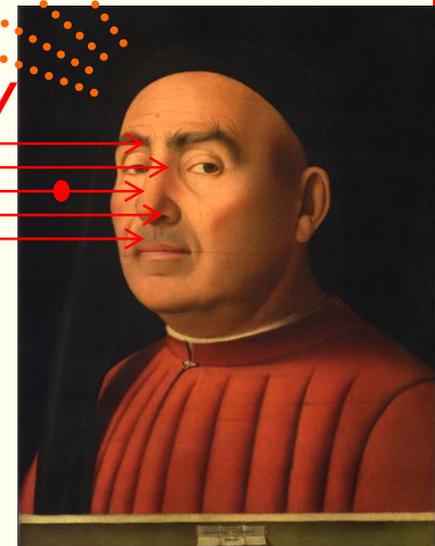
## Acceleratore di particelle



Fascio esterno di ioni (H o He) con energia dell'ordine dei MeV



Oggetto da analizzare



# Fascio esterno al set-up di Firenze



# le tecniche IBA sono di grande interesse per il patrimonio culturale

perché:

- Consentono una caratterizzazione rapida, ampia e approfondita di praticamente qualunque oggetto
- Sono non distruttive
- Sono non invasive
- Non danneggiano l'oggetto analizzato



**Nel corso degli anni, molti studi di altissimo livello sono stati condotti nel mondo grazie alle IBA: studi di pigmenti su ceramiche e statue dipinte...**



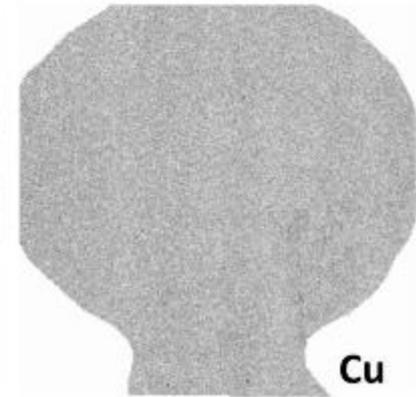
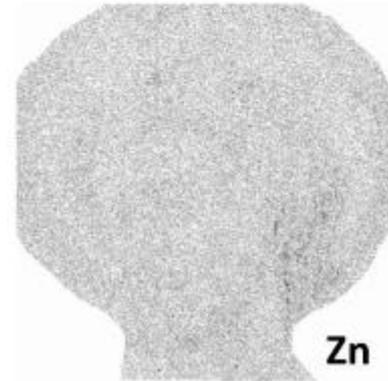
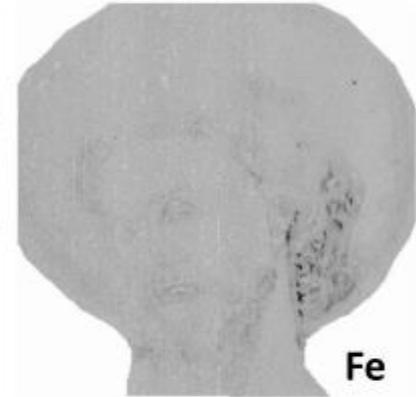
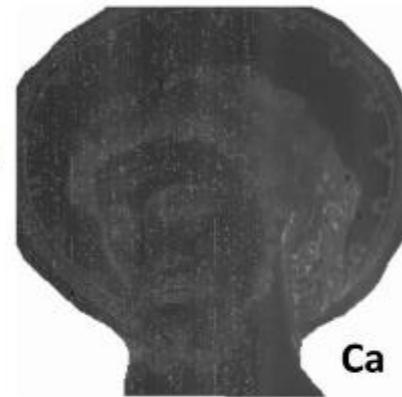
**AGLAE - Paris  
Pigmenti di una statua egizia,**



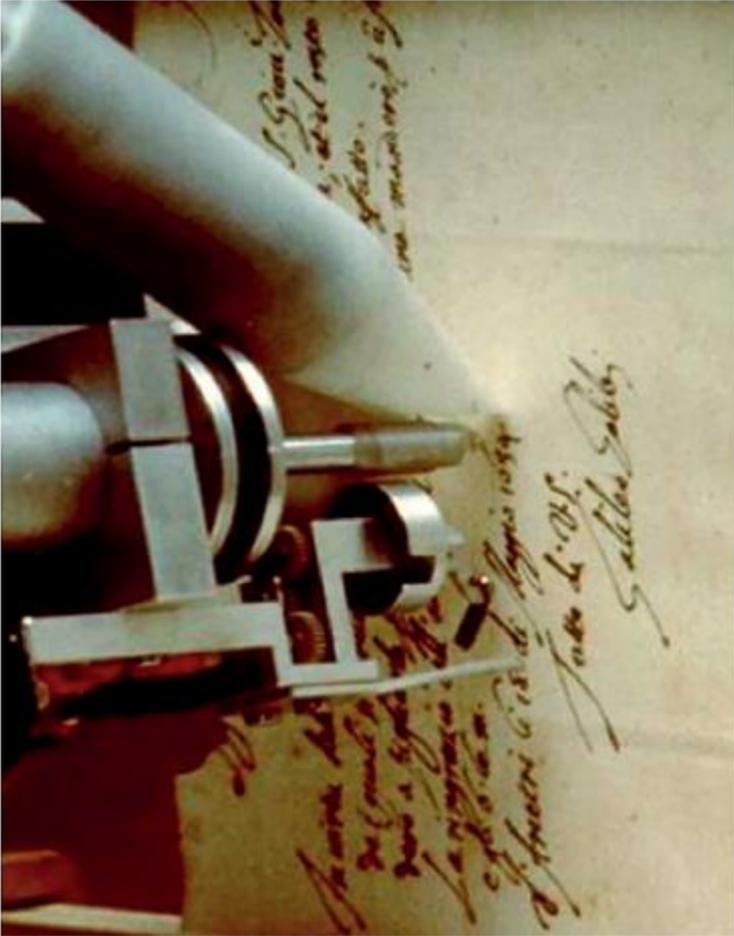
**Firenze, Ritratto di fanciullo,  
Luca Della Robbia,**

# ...sui vetri istoriati medievali, per guidare il restauro e ricostruire le immagini perdute...

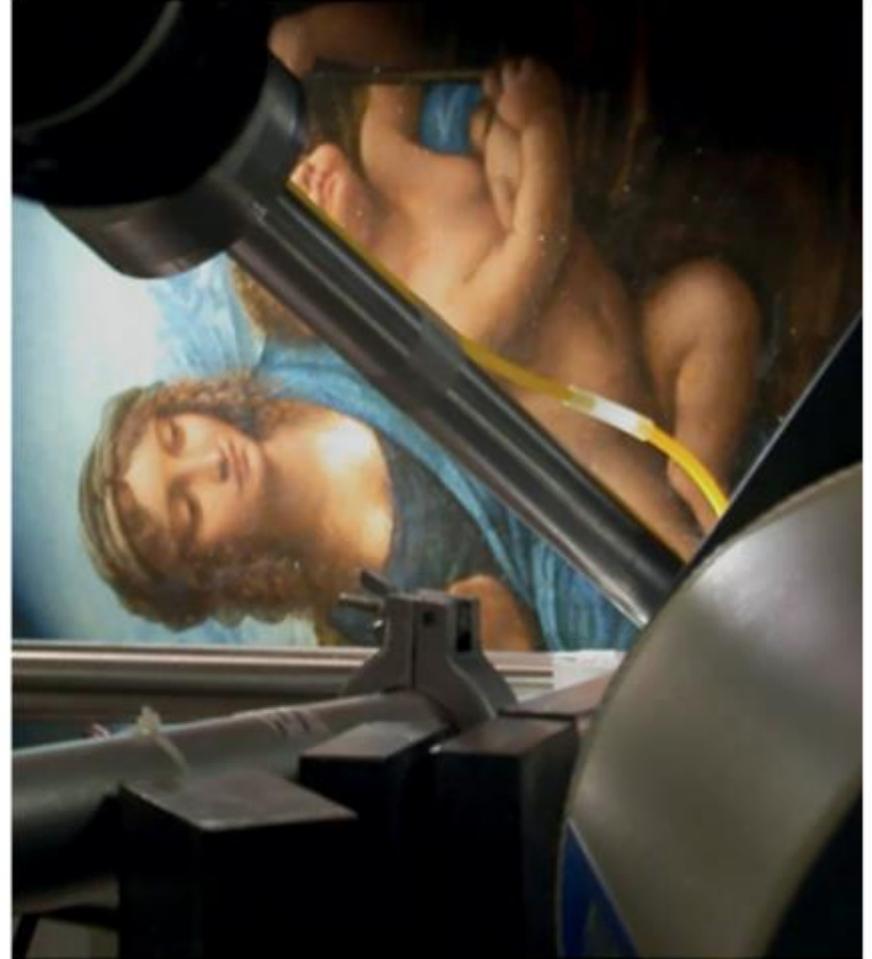
- Long run (overnight) with mechanical scanning
- 2.5 MeV protons with PIXE (particle-induced X-ray emission)
- Particle backscattering and gamma rays also collected
- These data are "low" resolution
- Plan to run He<sup>+</sup> too
- New spectrometry
- New software
- New hardware
- New beamline



**...sugli inchiostri di preziosi manoscritti e sui dipinti dei più grandi maestri...**



**Firenze, manoscritti di Galileo Galilei**



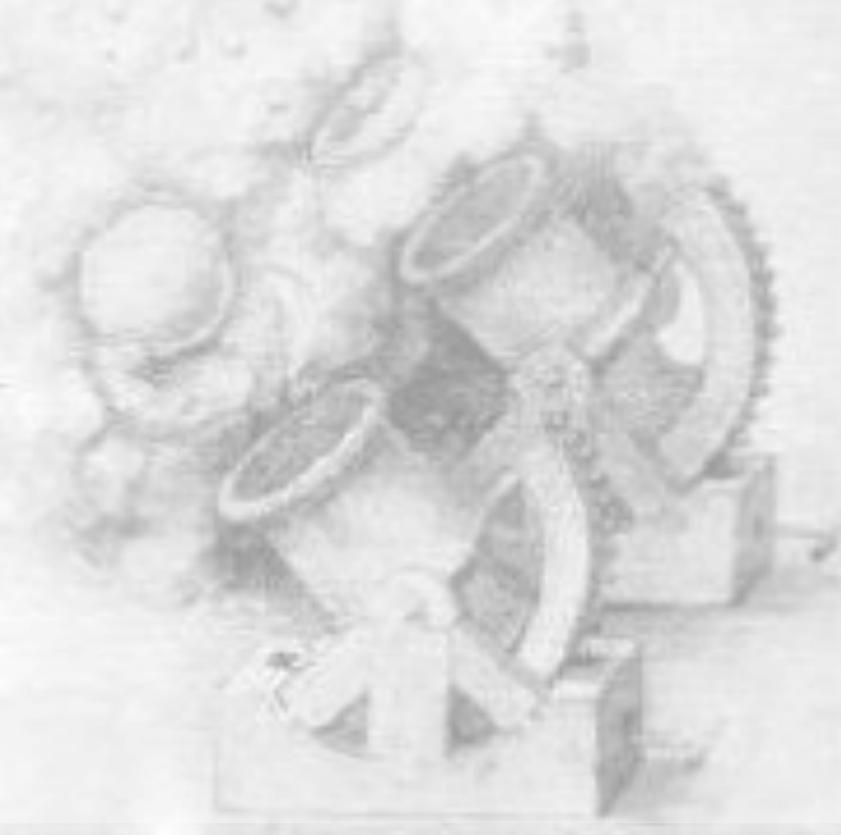
**Firenze, Madonna dei Fusi, Leonardo da Vinci**

Principale limitazione delle tecniche IBA:

**L'opera d'arte deve essere spostata dal museo o dal Laboratorio di restauro al Laboratorio dell'acceleratore**

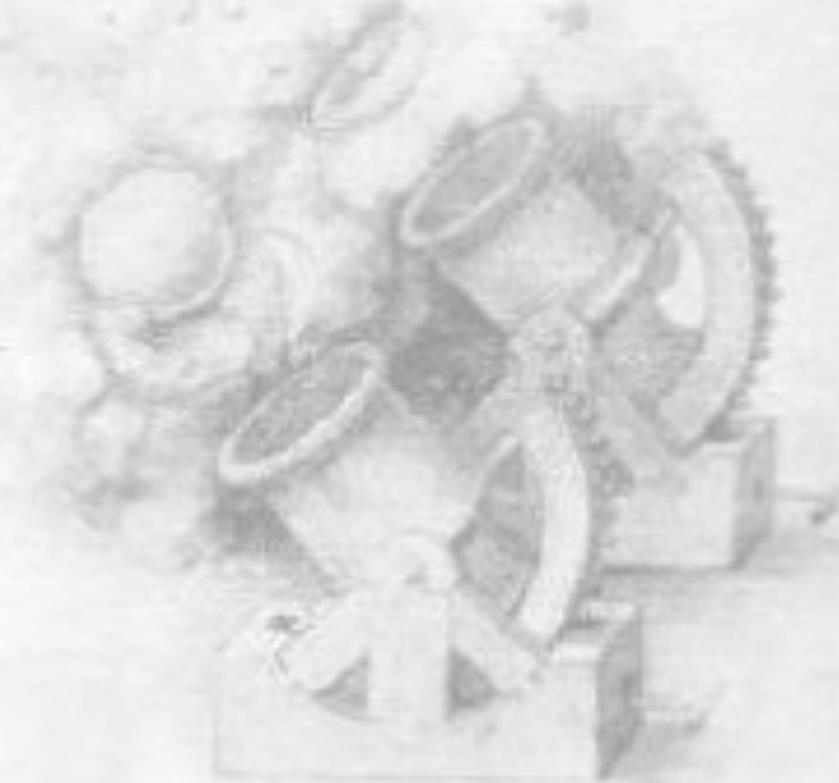
**E muovere l'opera d'arte è:**

- **rischioso**
- **costoso**
- **problematico**
- **talvolta impossibile (affreschi)**

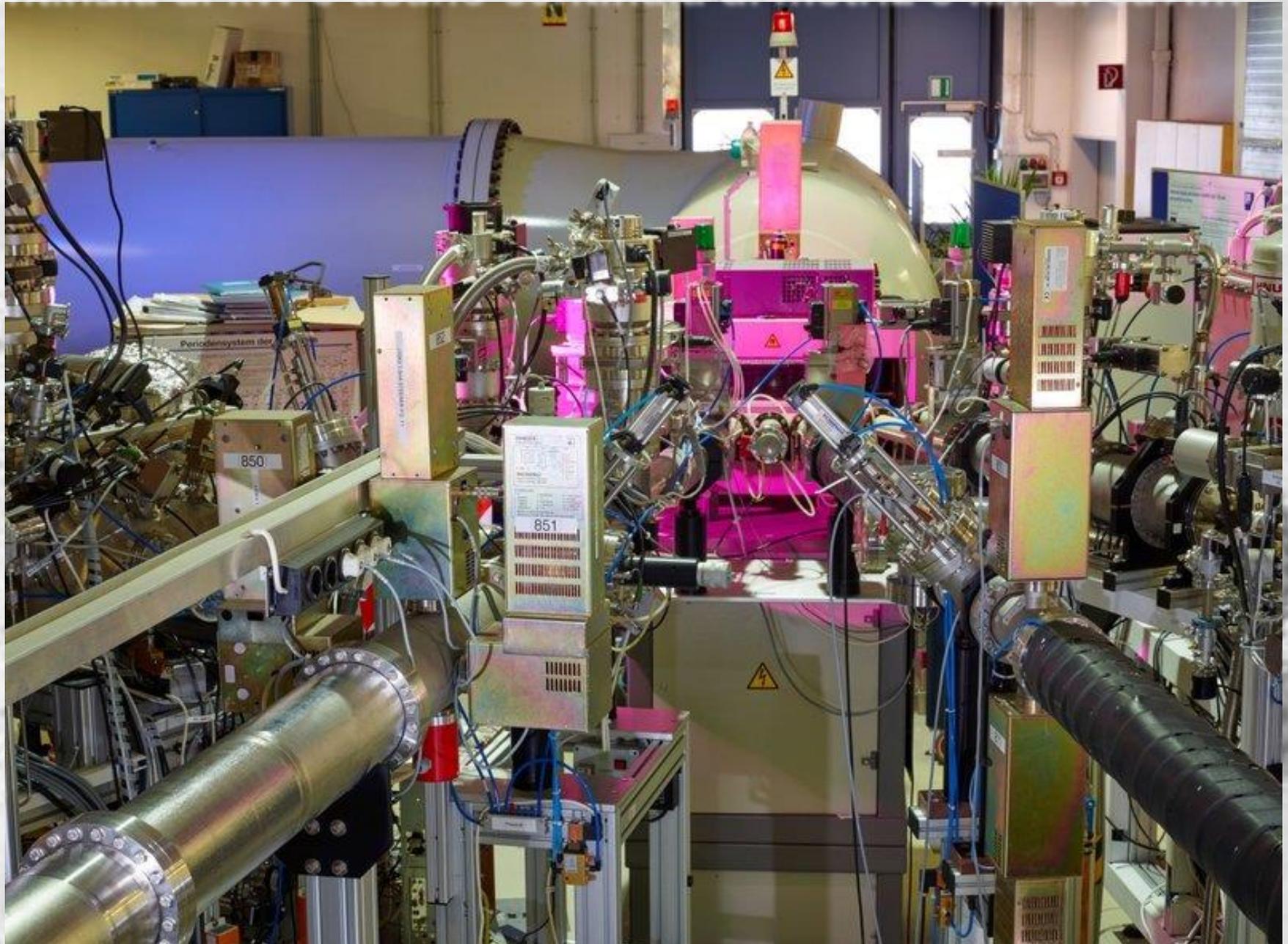


Se è meglio non spostare l'opera d'arte, si può pensare di spostare un normale sistema per misure IBA?

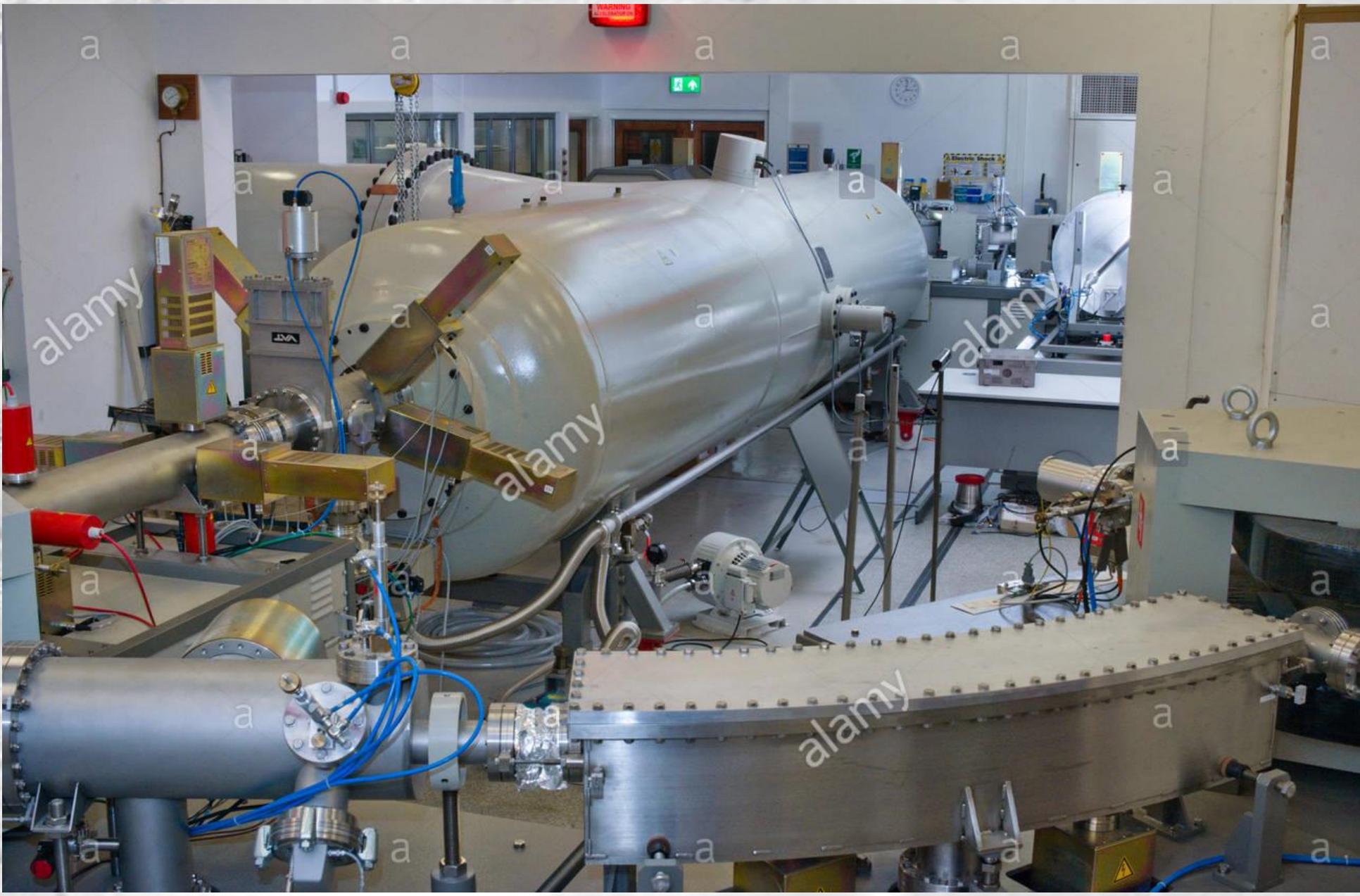
Maometto e la montagna.....



**Una sfida impossibile: tonnellate di strumenti che assorbono centinaia di kW e usano centinaia di metri<sup>2</sup> e km di cavi...**



**Una sfida impossibile: tonnellate di strumenti che assorbono centinaia di kW e usano centinaia di metri<sup>2</sup> e km di cavi...**



**Riuscire a vincere questa sfida impossibile è  
l'idea alla base di MACHINA,  
il progetto congiunto INFN-CHNet e CERN**

***Progetto MACHINA: sviluppo del primo sistema  
portatile per analisi IBA***

**Sede di lavoro: Opificio delle Pietre Dure, Firenze**

**MACHINA potrà essere portato ovunque siano  
richieste misure IBA *in-situ*. L'Opificio ha manifestato  
grande interesse per questo sviluppo**

# La sfida

**Mantenere performance comparabili a quelle di acceleratori in laboratori fissi**

**Riducendo all'estremo:**

- **Consumo energetico**
- **Peso**
- **Dimensioni**
- **Emissione di radiazione**

**Sviluppando nuovi sistemi di:**

- **Alimentazione**
- **Controllo**
- **Acquisizione**
- **Radioprotezione**
- **Raffreddamento-termostatazione**



**Dopo circa un anno e mezzo (da Maggio 2016) di studio preliminare e di lavoro per creare il progetto, a gennaio 2018 MACHINA è partito ufficialmente.**

**A che punto siamo dopo 8 mesi dall'inizio della disponibilità dei fondi?**

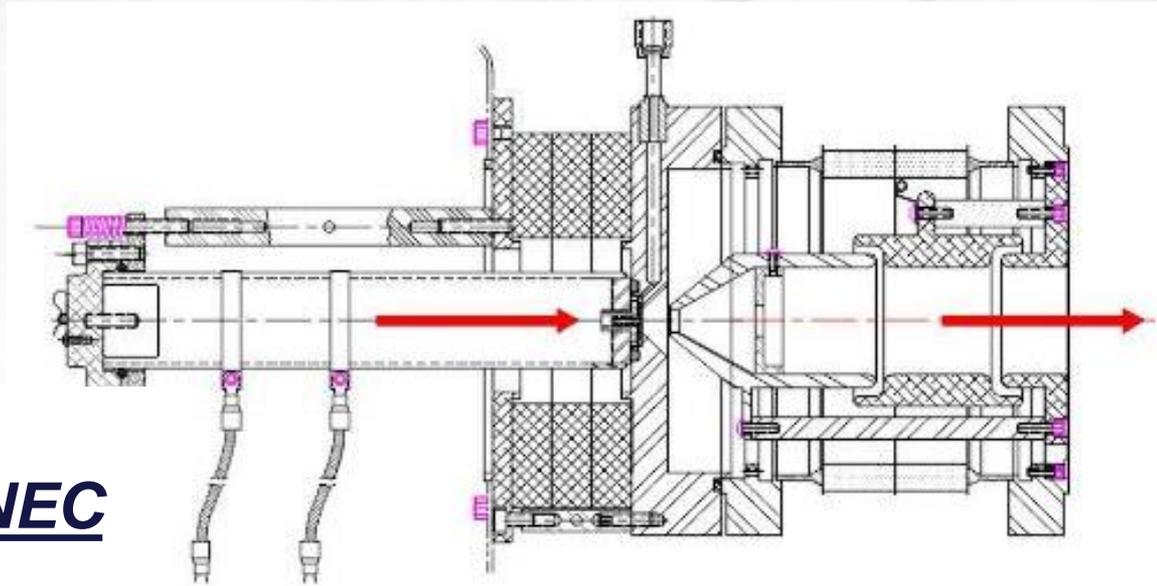


# La sorgente

Scelta: sorgente RF

Soluzione ideale per:

- Ottimo accordo tra caratteristiche della sorgente e dell'acceleratore
- Raffreddamento ad aria
- Magneti permanenti
- Basso peso
- Piccolo ingombro
- Bassa Potenza

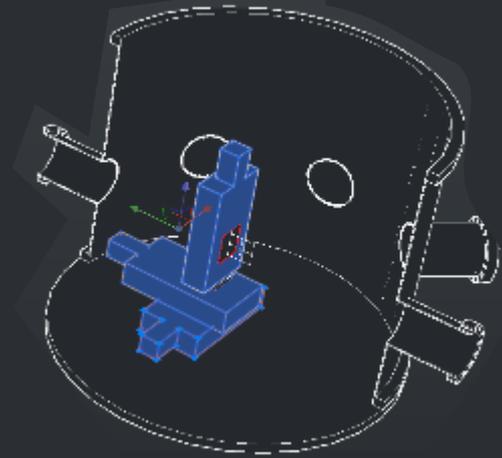


- Collaborazione con NEC
- In spedizione  
(attesa il 12/10)
- Inizio Test: fine Ottobre

**Camera per il test**



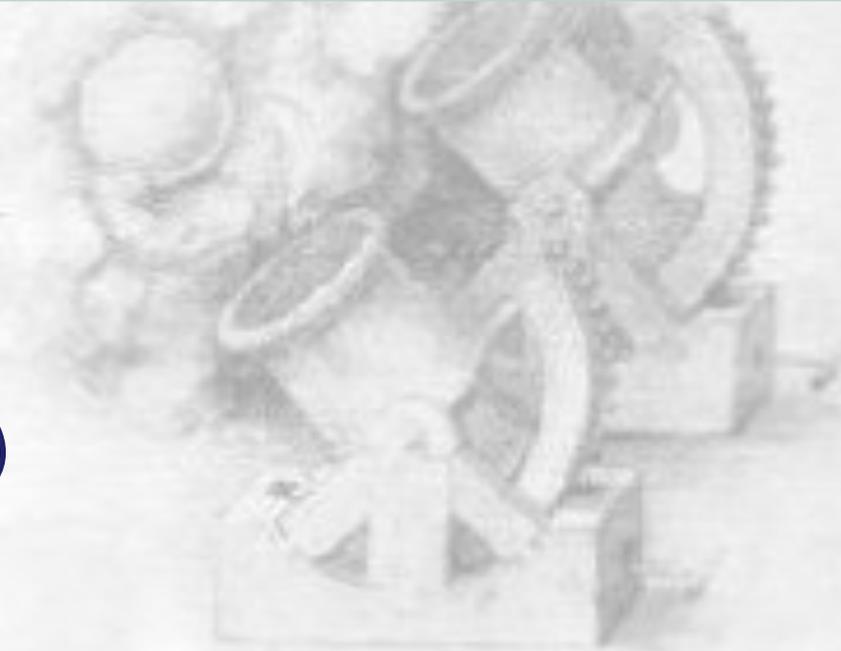
**della sorgente**



- **Profilo di intensità**
- **Divergenza**
- **Dimensioni**
- **Emittanza**

▪ **In spedizione** (attesa il 18/10)

▪ **Test: Fine Ottobre**



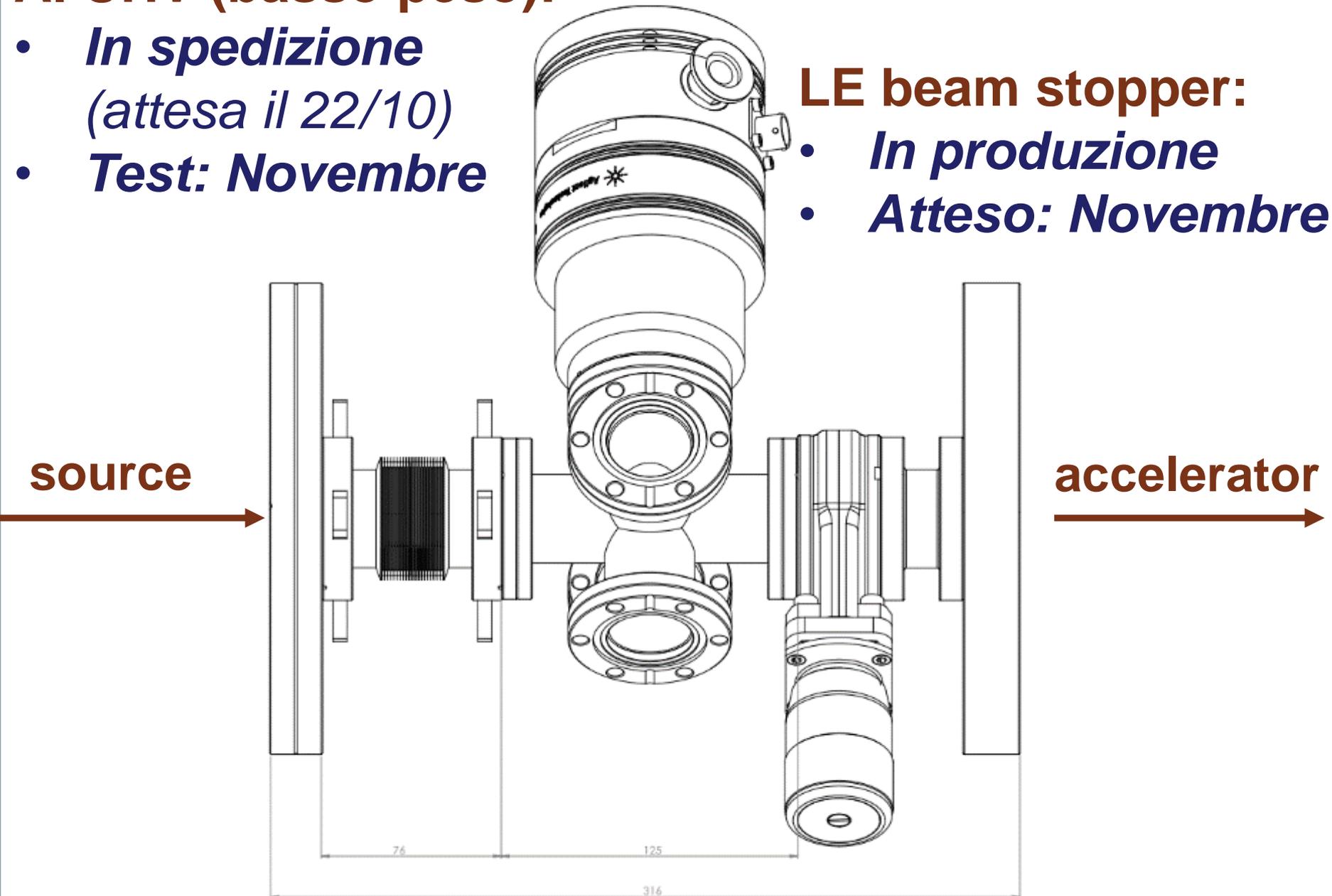
## Linea di bassa energia

### Al UHV (basso peso):

- *In spedizione (attesa il 22/10)*
- *Test: Novembre*

### LE beam stopper:

- *In produzione*
- *Atteso: Novembre*

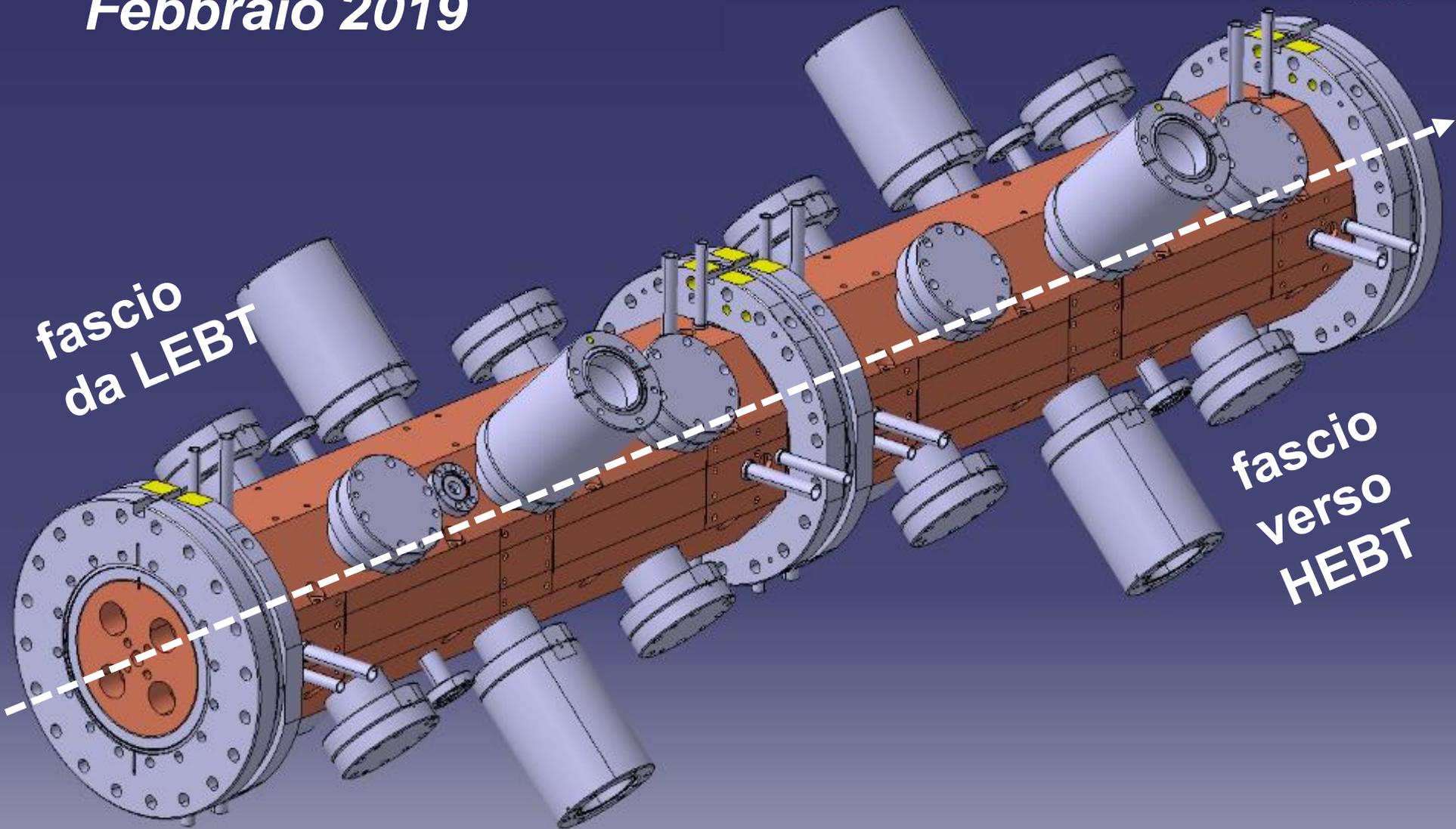


## L'acceleratore RFQ

- *In produzione*
- *Inizio Test:  
Febbraio 2019*

## Dummy RFQ

- *In spedizione*
- *Test: Novembre 2018*



# *L'RFQ per i beni culturali: funziona!*

**Il dimostratore utilizza un fascio di protoni, prodotto da un acceleratore lineare, per analisi stratigrafiche e per rilevare gli elementi chimici che compongono il campione (analisi non distruttive).**

In collaborazione con il laboratorio LABEC-INFN di Firenze è stata realizzata una linea per l'analisi PIXE (ParticleInduced X-rayEmission) sull'acceleratore di protoni con fascio impulsato del Laboratorio APAM di ENEA Frascati.

Il dimostratore si compone di: un acceleratore di protoni di bassa e media energia; rivelatore a semiconduttore di tipo Solid Drift Detector (SDD) per raggi X di bassa energia; un software di gestione dei segnali rilevati; target certificati per la calibrazione dei segnali; una movimentazione da remoto del campione; un rivelatore/dosimetro per misura della dose irradiata.

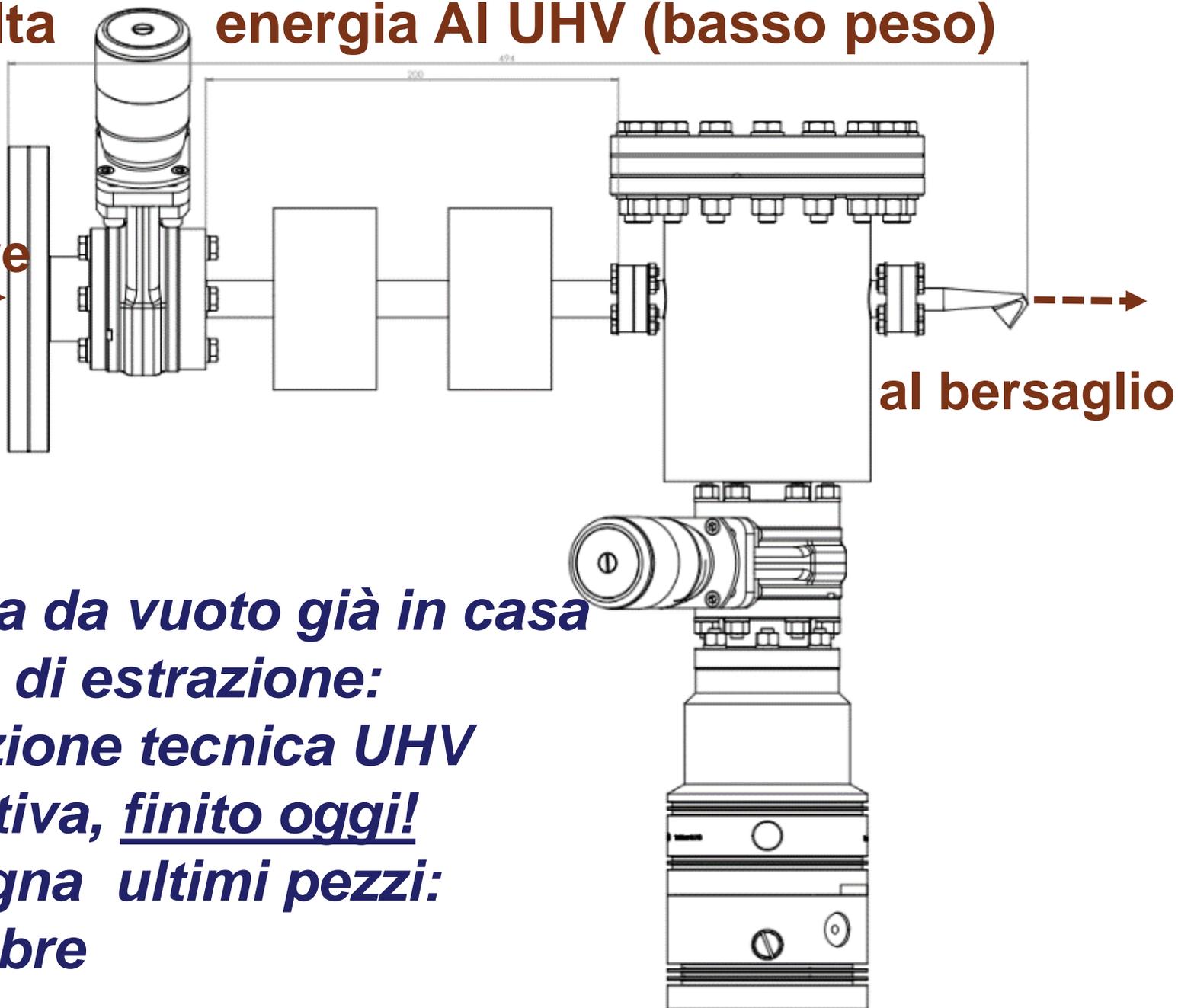
Rivelando l'energia dei raggi X emessi dal campione durante l'esposizione al fascio di protoni si ottengono, in maniera del tutto non distruttiva, gli elementi chimici che lo compongono (analisi qualitativa e quantitativa). E' applicabile su dipinti su tela e manufatti in ceramica, legno, carta, pietre preziose o semipreziose trasportabili presso l'acceleratore.

Referente : [monia.vadrucci@enea.it](mailto:monia.vadrucci@enea.it)



# Linea alta energia Al UHV (basso peso)

dall'  
acceleratore



al bersaglio

- ***Sistema da vuoto già in casa***
- ***Nasino di estrazione:  
lavorazione tecnica UHV  
innovativa, finito oggi!***
- ***Consegna ultimi pezzi:  
Novembre***

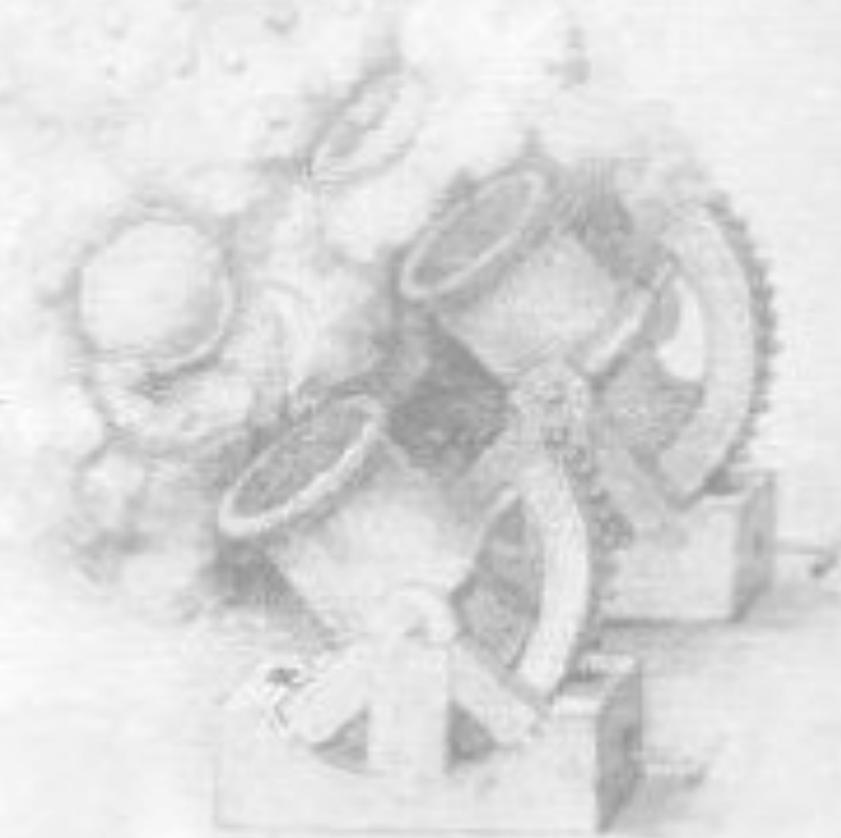
# MACHINA – le caratteristiche

1. **Piccolo, modulare, leggero e trasportabile:**
  - 2 x 0.5 m<sup>2</sup> Sorg., LEBT, RFQ, HEBT, DET (150 kg)
  - 2 m<sup>2</sup> cooling+RF-power (50 + 200kg)
2. **Bassa potenza (qualche kW)**
3. **Semplice, robusto, no manutenzione, affidabile**
4. **Trasporto fascio senza elementi da regolare**
5. **Senza emissione di radiazione parassita**
6. **Sistema intrinsecamente sicuro: fascio fuori caratteristiche non accelerato**
7. **Analisi PIXE e PIGE (solo 10 keV energy spread)**

# Punto Misura

---

- **PIXE: 4 rivelatori 50 mm<sup>2</sup> SDD**
- **Già in casa**
- **Test: iniziati**



# Punto Misura

- PIGE: scelti i rivelatori
- $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$
- Peso: 0.5-3 kg; Lunghezza: 15-20 cm
- Acquisto: Novembre



digiDART-LF Portable MCA

digiBASE PMT Base

digiBASE-E PMT Base

296 PMT Base

# Conclusioni

- **Nel 2017 è stato approvato e finanziato il progetto MACHINA per lo sviluppo del primo acceleratore portatile al mondo**
- **MACHINA è sviluppato in primo luogo per applicazioni sui BBCC**
- **La linea di MACHINA (sorgente, LEBT, RFQ, HEBT, Detect) sarà pronta per inizio del 2019**
- **Alimentazione, controllo, acquisizione, radioprotezione e raffreddamento sono in fase di commissioning**
- **Test PIXE: iniziati / Rivelatori PIGE in arrivo**
- **Primi test su BBCC: fine del 2019**
- **Iniziato lo studio di ADVANCED MACHINA, più leggero e con fascio di dimensioni scalabili dal millimetro alla decina di micron**

*Grazie  
per la  
vostra  
attenzione*

