



## Il Progetto EuPRAXIA@SPARC\_LAB ai Laboratori Nazionali di Frascati



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
Laboratori Nazionali di Frascati

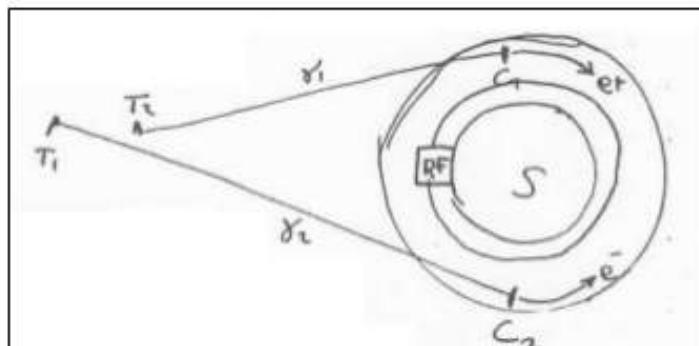
P. Campana – Universita' Tor Vergata – 16.05.2018

# Frascati: a 64 year-long history devoted to Accelerator Science

- 1951 Birth of INFN
- 1954 Construction of Laboratori Nazionali di Frascati**
- 1959 Construction of Synchrotron
- 1961 Construction of AdA (first e+e- collider, conceived by B. Touschek)
- 1963 Start construction of ADONE ((e+e- 3 GeV collider)
- 1969 ADONE starting operations
- 1974 J/Psi discovery (soon after SLAC and BNL)
- 1993 ADONE shutdown – DAFNE construction (e+e-, 1 GeV meson factory)
- 1999 DAFNE starting operations
- 2005 SPARC facility project (FEL+gamma source+plasma acceleration)
- 2009 First beam in SPARC



Da un'idea di B. Touschek nasce il primo collisore materia-antimateria elettrone/positrone, il capostipite dell'odierno LHC ...



Frascati Laboratory is the largest and the oldest of INFN infrastructures  
Personnel ~330 staff (1/3 scientists) + PhD & postdocs + 500 users (30% foreign)

Its main mission: accelerators for High Energy Physics (and not only) + fundamental physics. Main competences in electron/positron machines

Capabilities in designing, building and operate relatively large complex.  
Accelerator Division (~110 people) Technical Division (~30 people)  
Research Division (~150 people)

Current main activities in accelerator technologies:

- Operation 24/24 of **DAFNE** collider (up to 2019)
- Construction of Linac of **ELI-NP** facility (20 MeV Compton  $\gamma$  source in Romania)
- R&D on plasma acceleration, 0.2 PW laser, FEL, THz sources (**SPARC\_LAB**)

Several other international collaborations:

- CERN, ESRF Grenoble, KEK (Japan)

**Beam Test Facility** also available (DAFNE Linac can be used parasitically)  
Soft-X, UV, and infrared lines available around DAFNE ring (**DAFNE\_Light**)

The Research Division is engaged in experiments at DAFNE complex:

- KLOE2 (CPT and hadron physics, up to 30.3.18)
- Siddharta2 (physics of strangeness),
- PADME (search for dark matter)

and at international labs, in particle, nuclear and astro-physics

**CERN**: LHC (ALICE, ATLAS, CMS, LHCb), NA62; FNAL, Jefferson Lab, China, etc ...



A large spectrum of technological R&D activities:

- Laboratory for space ranging characterization, New Materials Lab, X-rays, Neutron Lab, Cultural heritage, Radioprotection, etc...

+ 400 m<sup>2</sup> clean rooms + mechanical/electronics workshops

+ irradiation facilities + computing (LHC Tier2 + KLOE data centre)

A long standing tradition in the construction of large detectors

Strong engagements in GEM and micro-pattern detectors and in crystal calorimetry

# DAFNE

*Colliding beams have:*

*low  $E$*

*high currents*

*long damping time*

$$E_{CM} = 1020 \text{ MeV}$$

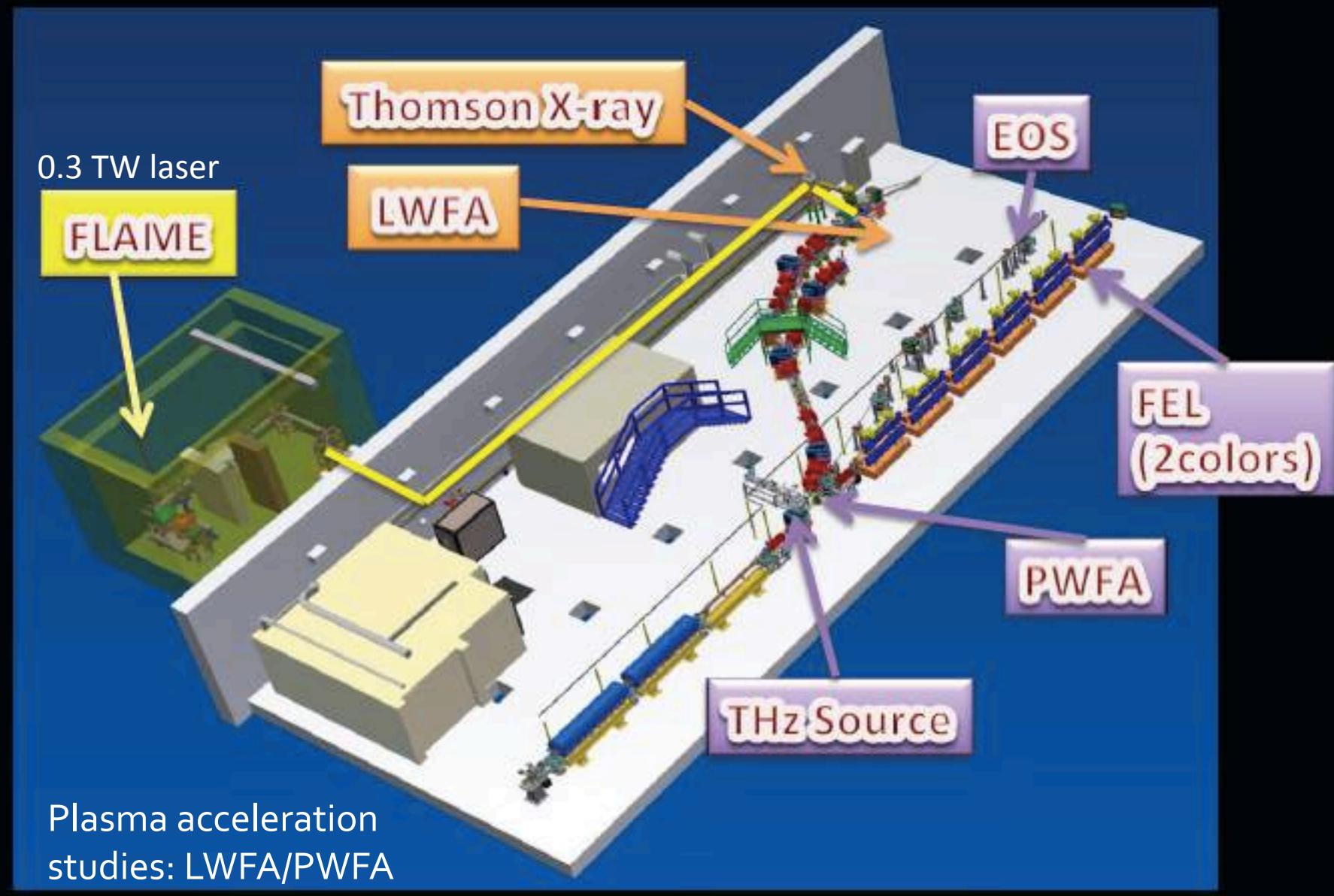
$$L_{max} = 2.3 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$
$$1.5 \text{ A} + 1.0 \text{ A}$$

*Crab-Waist collision scheme  
implemented for the first  
time with a large detector  
including a strong  
solenoidal field*

*x*  
*y*  
*z*

**Luminosity achieved at DAFNE is 2 order of magnitude higher  
than the best measured in colliders working at the same  $E$**

# SPARC\_LAB facility

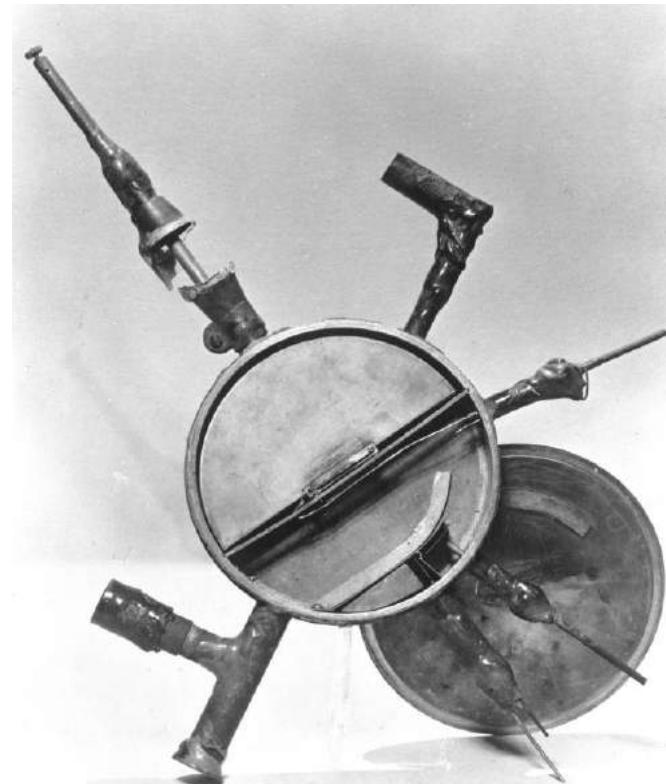


I Laboratori Nazionali di Frascati situano la loro attivita' principale nella Fisica Fondamentale delle Particelle e nello sviluppo delle Tecnologie di Accelerazione, anche per le applicazioni interdisciplinari, con un'eccellenza nel campo dell'accelerazione di elettroni e positroni

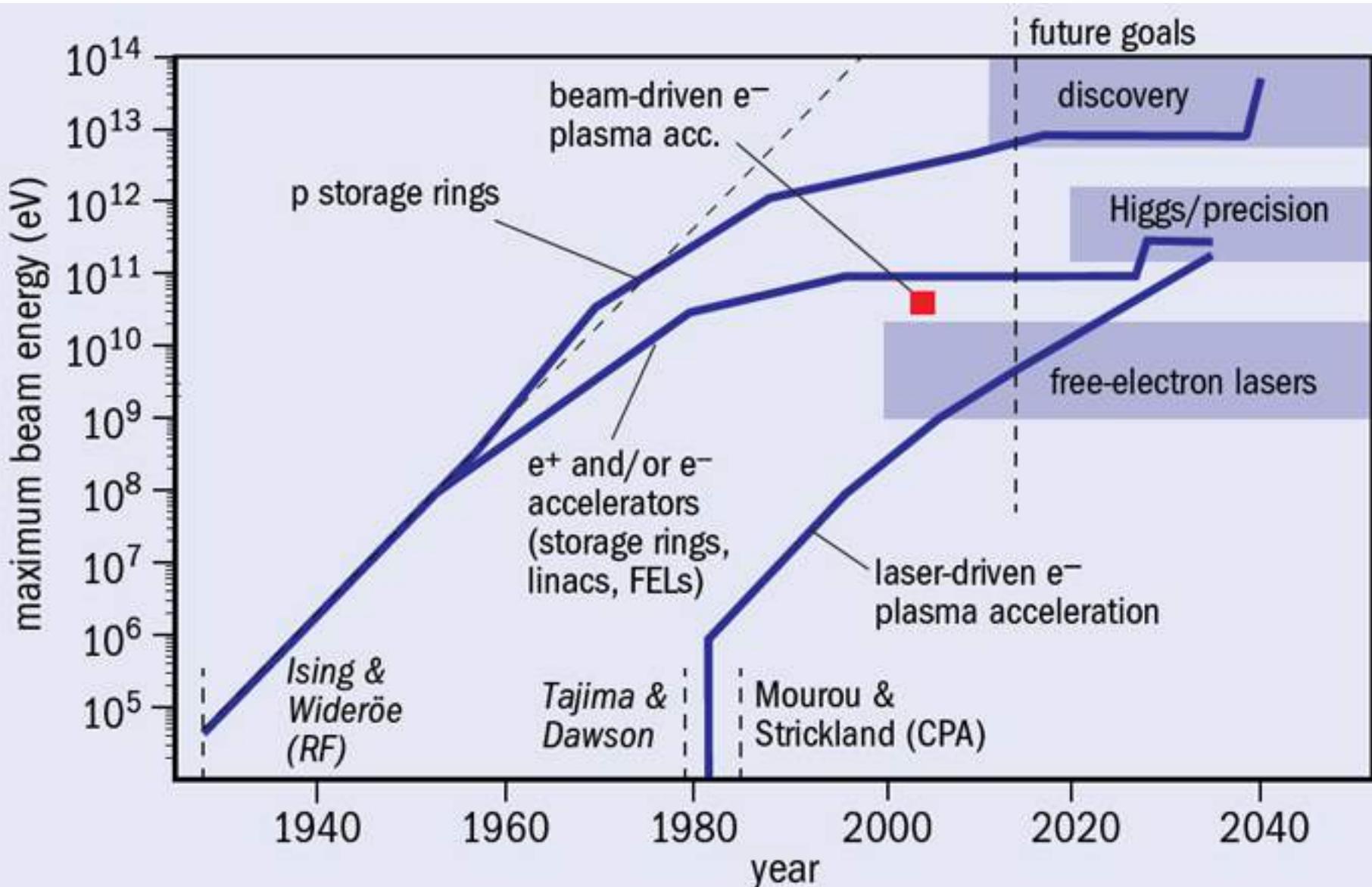
La sfida e' nel costruire acceleratori piu' compatti, piu' intensi, piu' semplici, piu' economici e che possano soddisfare un ampio ventaglio di iniziative e di applicazioni

LHC rappresenta oggi la frontiera dello sviluppo negli acceleratori, ma gia' oggi sappiamo che per studiare ulteriormente la materia nei suoi aspetti fondamentali, saranno necessari "microscopi" piu' potenti, basati su nuovi paradigmi tecnologici, dato che con molta difficolta' e costi elevati se ne potranno costruire di piu' grandi

***Accelerare di piu' in minore spazio !***



## La spirale dell' energia



Quale futuro nel campo degli acceleratori di elettroni (la tecnologia di interesse per i LNF) ?

LEP (1989-2000) e' stato l'ultimo grande acceleratore circolare di elettroni/positroni 27 km di circonferenza, 200 GeV nel centro di massa, oggi ospita l' LHC

I prossimi collisori elettroni/positroni saranno lineari, in modo da evitare l'alto flusso di radiazione derivante dalla curvatura delle traiettorie

Due grandi progetti in programma:

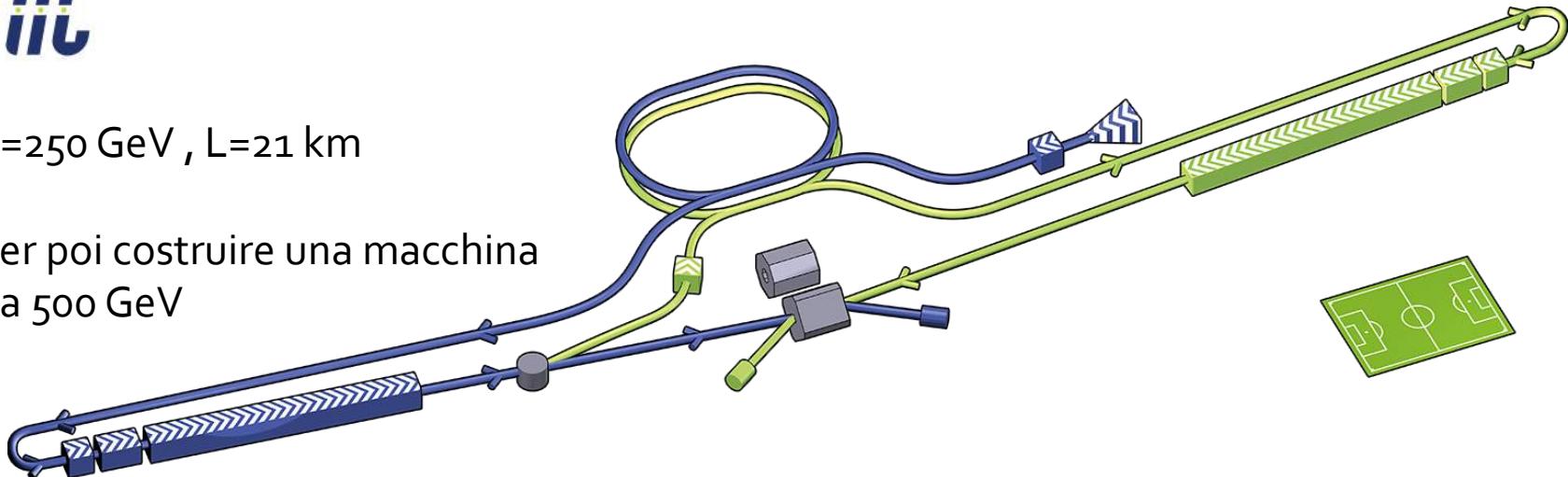
- International Linear Collider (in Giappone), con una prima fase a 250 GeV e poi una successiva a 500 GeV
- CERN Linear Collider (CLIC) con una prima fase a 380 GeV





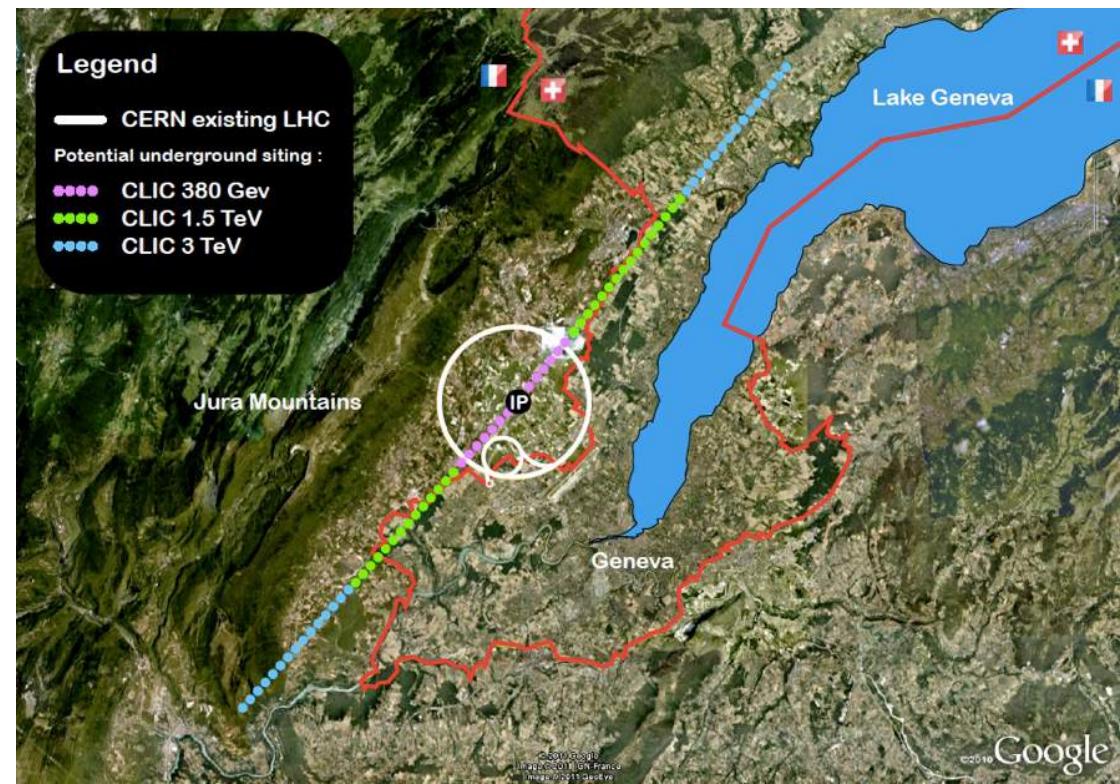
E=250 GeV , L=21 km

Per poi costruire una macchina  
da 500 GeV



E=380 GeV , L=11 km

Per poi costruire una macchina  
da 50 km e E=3000 GeV



Entrambe le macchine sono pensate con tecnologie acceleranti “convenzionali” ossia basate su campi elettrici a Radiofrequenza

ILC si basa su una tecnologia “fredda” (radiofrequenza in ambiente criogenico) che puo’ accelerare sino a gradienti di 35 MeV/m  
La stessa tecnologia usata in XFEL ad Amburgo (DESY)

CLIC si basa su una nuova tecnologia in “banda X” (campi RF a 12 GHz) che in Laboratorio raggiunge gradienti da 100 MeV/m e forse piu’

Da anni si pensa di usare l’effetto dei campi elettrici in celle al plasma (gas ionizzato) per accelerare le particelle con gradienti di 1-10 GeV/m

Entrambe le macchine sono pensate con tecnologie acceleranti “convenzionali” ossia basate su campi elettrici a Radiofrequenza

ILC si basa su una tecnologia “fredda” (radiofrequenza in ambiente criogenico) che puo' accelerare sino a gradienti di 35 MeV/m

La stessa tecnologia usata in XFEL ad Amburgo (DESY)

CLIC si basa su una nuova tecnologia in “banda X” (campi RF a 12 GHz) che in Laboratorio raggiunge campi da 100 MeV/m e forse piu'

Da anni si pensa di usare l'effetto dei campi elettrici in celle al plasma (gas ionizzato) per accelerare le particelle con gradienti di 1-10 GeV/m

I Laboratori Nazionali di Frascati intendono porsi come centro di eccellenza europeo per lo studio di queste **DUE** tecnologie e quindi propongono la costruzione di una facility (Free Electron Laser) per utenti che sia operata attraverso:

- un LINAC per elettroni in banda X
- una cella di plasma che garantisca la qualita' di fascio adeguata

Entrambe le realizzazioni costituirebbero obiettivi mai raggiunti

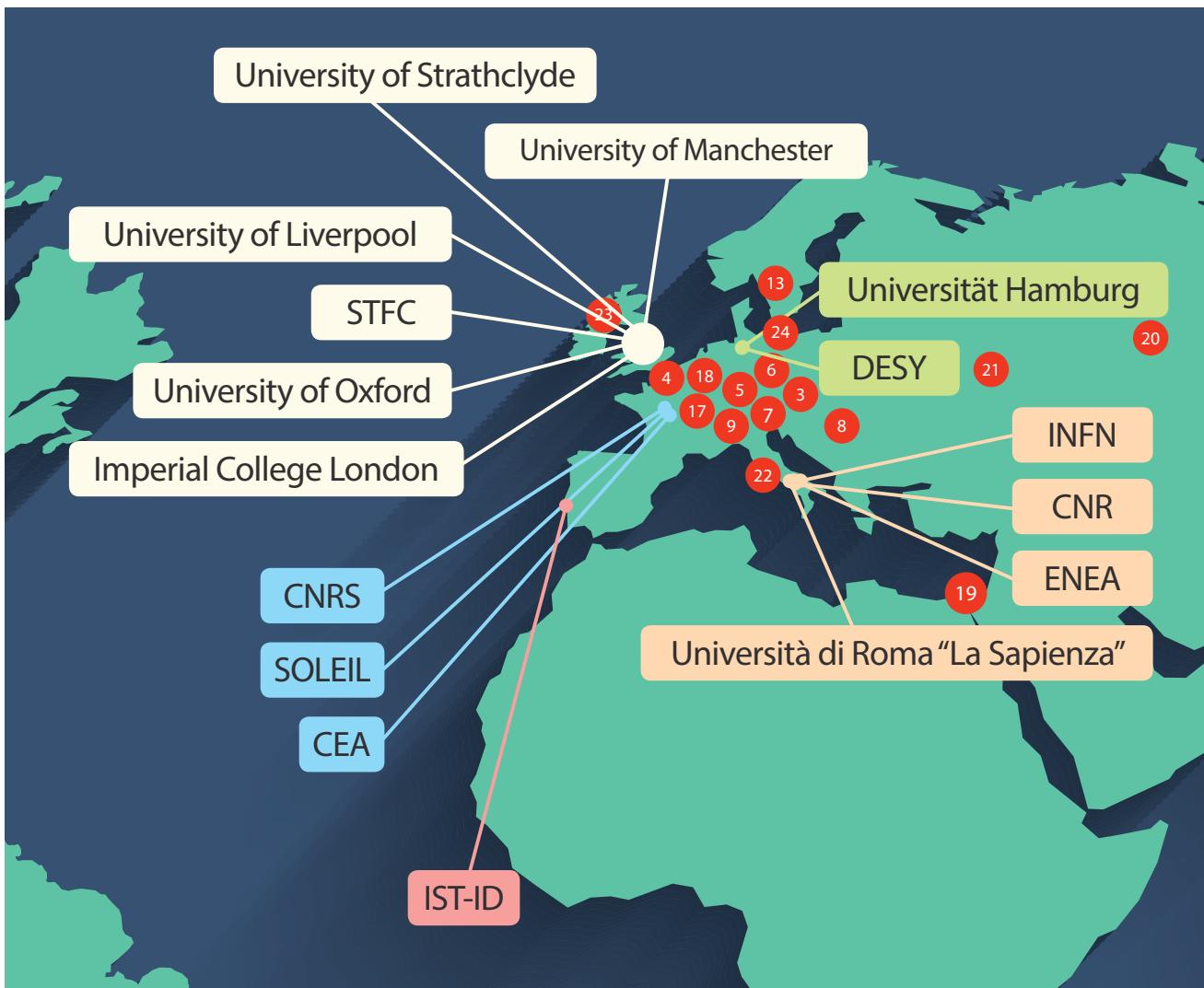
Thanks to the many years work of SPARC\_LAB community and to the experience gained in the construction of DAFNE, ELI-NP and STAR, the Laboratory is participating with relevant responsibilities to the H2020 Design Study **EuPRAXIA** (lead by DESY) willing to build an European facility hosting *the first Free Electron Laser (FEL) driven by a plasma-based accelerator*

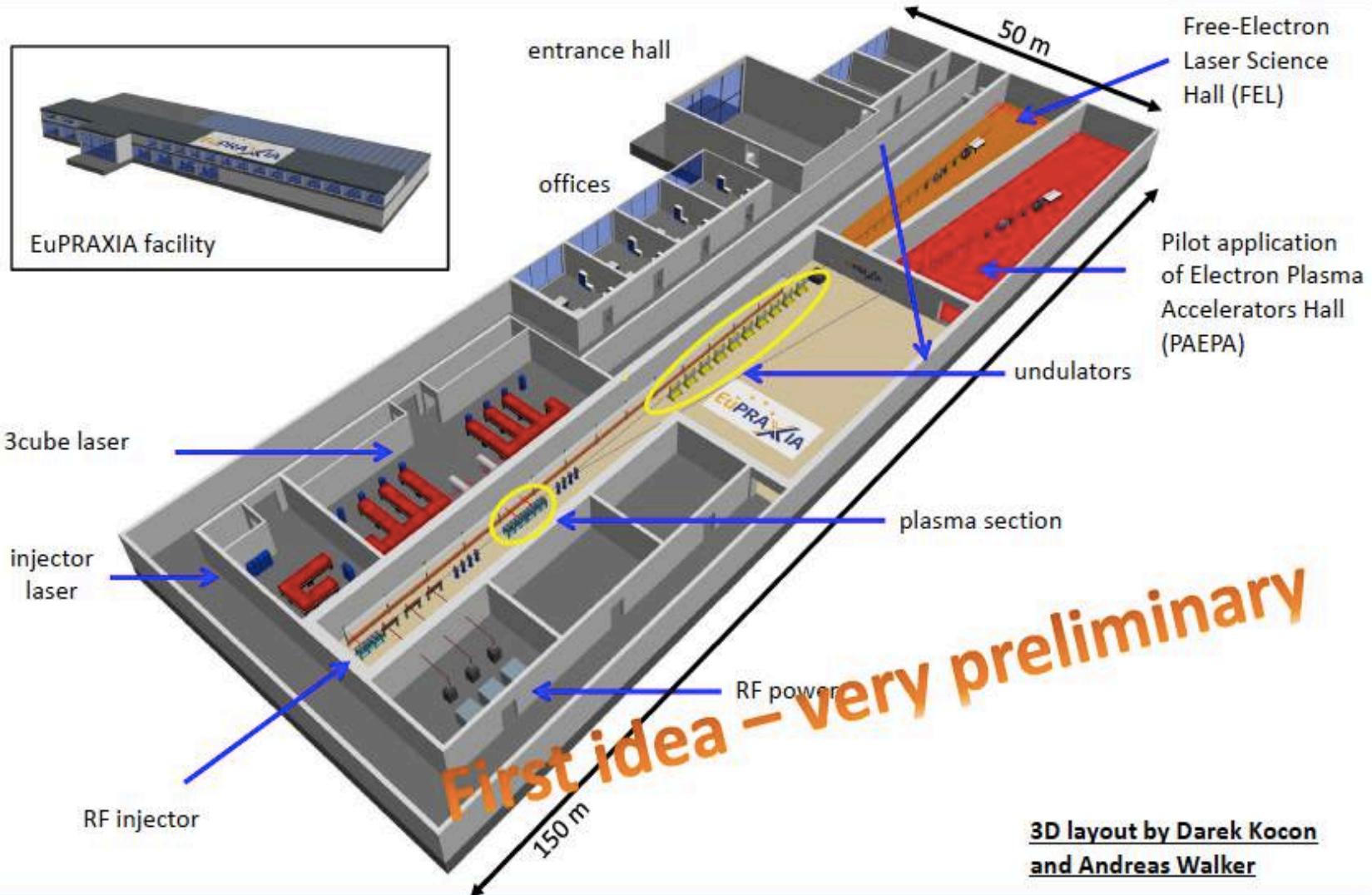
R&D on plasma acceleration is at the top of interest in other big laboratories: SLAC (Facet), Berkeley (Bella), DESY (Sinbad), CERN (Awake), etc...  
The plan is to apply for being included in ESFRI road-map (in 2019) to start a preparatory phase (2020-22) when the site will be decided

Frascati Laboratory intends to profit of this opportunity to be attractive as a possible site, preparing an infrastructure that can host EuPRAXIA



## EuPRAXIA – un grande Consorzio con diverse competenze







Five Labs have shown interest to host the facility: DESY, Frascati, CILEX (Saclay), RAL (UK), ELI Beamlines (Prague)

Our goal is to design a project that:

- will allow SPARC\_LAB to continue the R&D during the site construction;
- is of excellence at European scale and compatible with the requirements of EuPRAXIA site;
- will be scientifically valid even if the final site will not be at LNF and/or plasma acceleration is not able to operate a FEL (*win-win option*)

Since summer 2016 we have worked hard to design and locate the facility, and to perform the *start-to-end* simulations of a plasma operated FEL.

A Conceptual Design Report has been prepared.

The name chosen for the project is **EuPRAXIA@SPARC\_LAB**

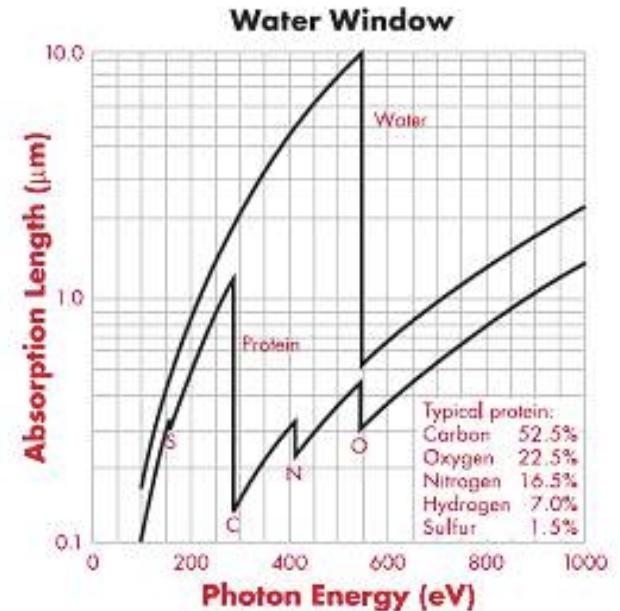
Collaborating groups are LNF, Lab. del Sud, Milano e Trieste (INFN), Univ. Roma Sapienza, Tor Vergata e Milano, Univ. Sassari, ENEA, CNR, **CERN** and **ELETTRA**

## Technological highlights of the project

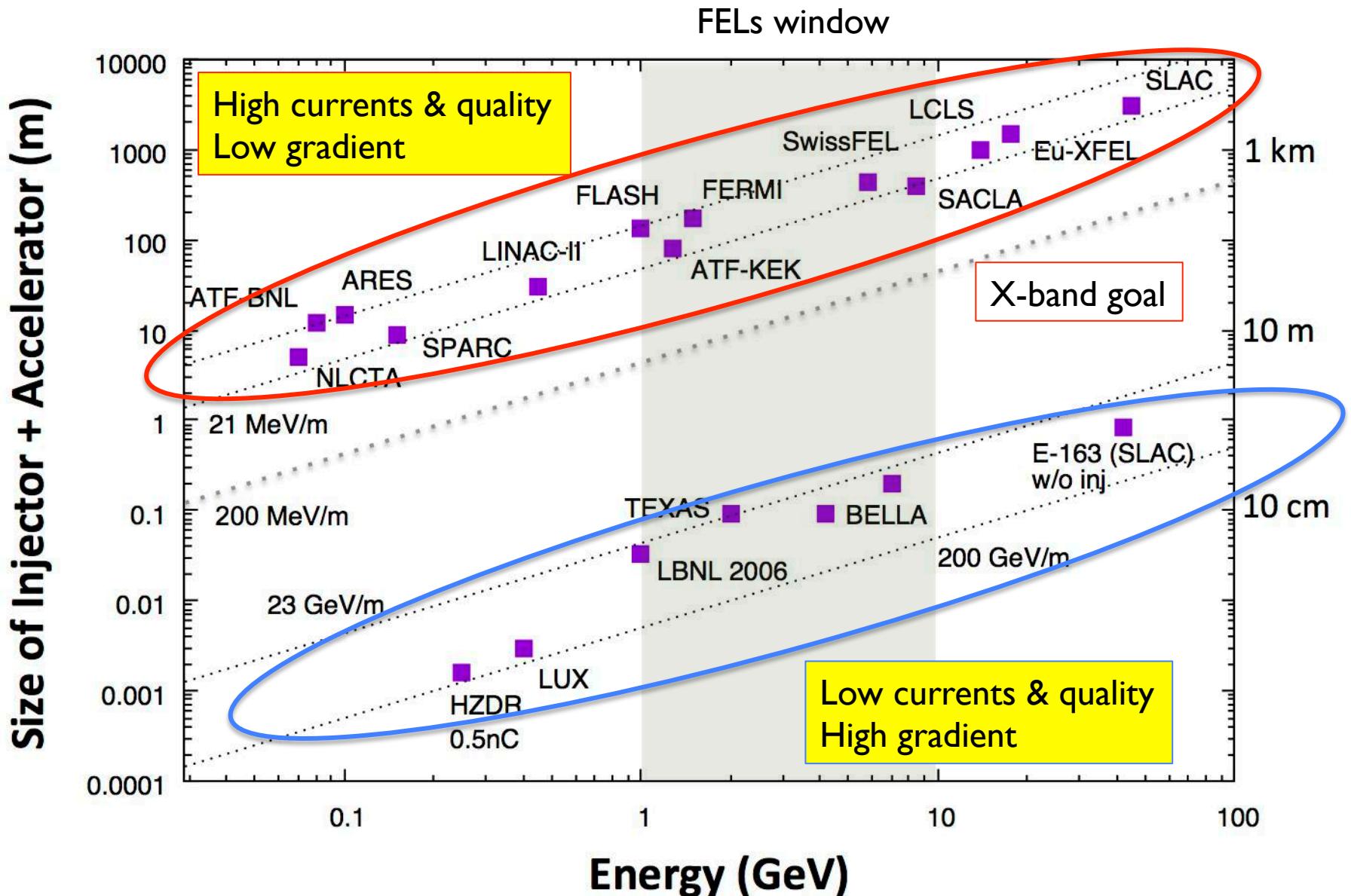
- a 12 GHz X-band state-of-the-art Linac, able to inject high quality beam into a plasma cell (and capable to run alone a FEL);
- plasma cells operating in PWFA or in LWFA mode to accelerate up to 1-2 GeV;
- an undulator *lasing* at 3 nm (UV photons of 420 eV), well centered at the “*water window*”, of extreme interest for biological samples

The study of X-band structures with accelerating gradients in excess of 100 MeV/m is a top class R&D at many world Labs (CERN, SLAC, ELETTRA, KEK, ...) to build future machines more compact and of higher energies (ILC, CLIC)

LNF recently agreed a cooperation with CERN to move a X box klystron ( $\sim 1$  ME value) to LNF for a common activity on module tests

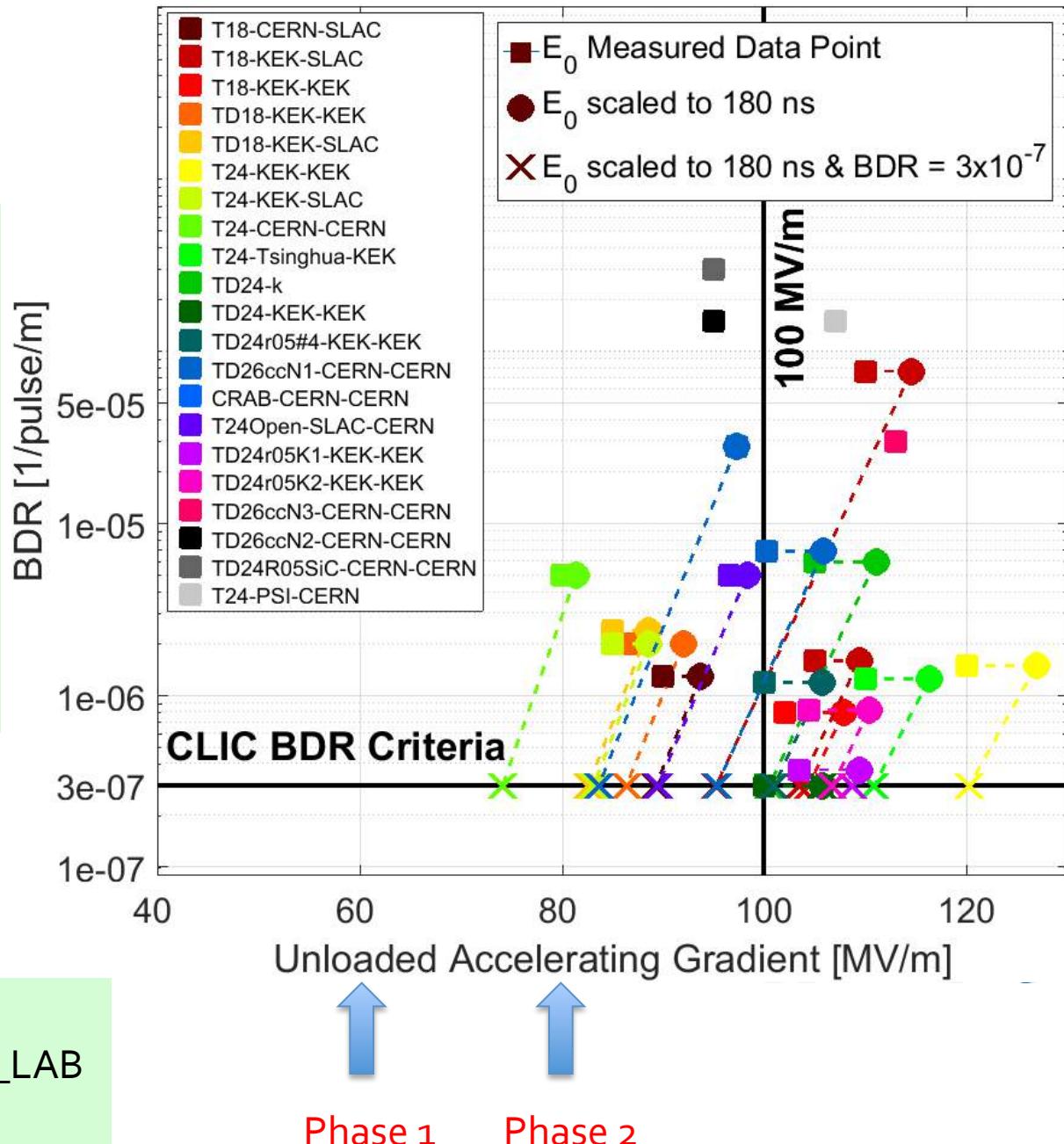


There is a strong interest on this R&D: EuPRAXIA is seen by CERN as the *0.5% of Compact Linear Collider* (pre-industrialization stage)



**X-band**  
state-of-the-art of  
tests on module  
elements

A limit on the acceptable breakdown rate has been set at  $< 3 \cdot 10^{-7}$  per pulse

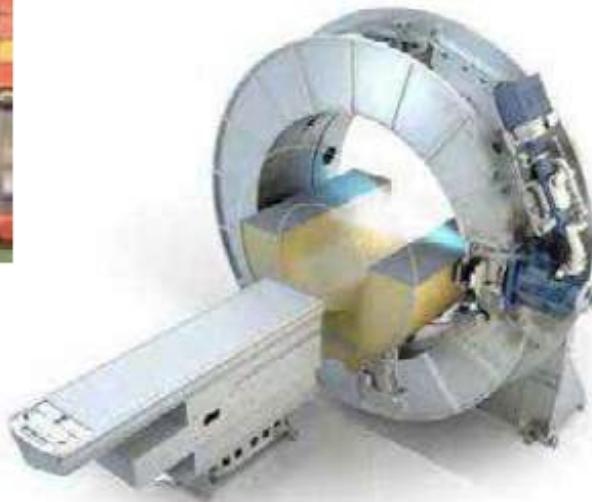


# Foreseen gradients for the EuPRAXIA@SPARC\_LAB X band modules

## Shorter Accelerators for the Society

Future accelerators with high gradient (X-band, 100-200 MeV/m) or with ultra-high gradient (Plasma acceleration, > 1 GeV/m) will be very relevant:

- For future high energy physics colliders
- For medical applications (for imaging, therapy, surgery, ...)
- For portable cargo screening systems
- For industrial applications (3D printing, sterilization, welding, ...)
- For Academic Research & Teaching (e.g. small accelerators in Universities)



## Targets of the EuPRAXIA@SPARC\_LAB project

A FEL operated by a X-band Linac + a plasma cell (*two first-ever*)

- The objective of the EuPRAXIA Design Study
- The first Laboratory equipped with a X-band LINAC

This facility is a prototype full working of future (larger) infrastructures

We are not looking to build the best FEL in the world !

Our target is to pave the road for the next generation of compact electron accelerators (needed in HEP and in Applied Physics)

The choice of the X-band is challenging choice, but it is aligned with on-going R&D in major world labs

Very recently, a Horizon2020 call was won by a project (*Compact Light*, lead by ELETTRA) in which the proposal was based on X-band technology.

LNF is part of the project, together with CERN and other large laboratories

## Bando della Regione Lazio per la costituzione di INFRASTRUTTURE APERTE

L' INFN attraverso i LNF e la Sezione di Roma1 ha partecipato a questo bando con la proposta LATINO che e' risultata tra i vincitori

### *A Laboratory in Advanced Technologies for INnOvation*

Aperto a gruppi di ricerca, istituzioni e ditte che intendono usufruire di grandi infrastrutture a costi contenuti di utilizzo nei campi:

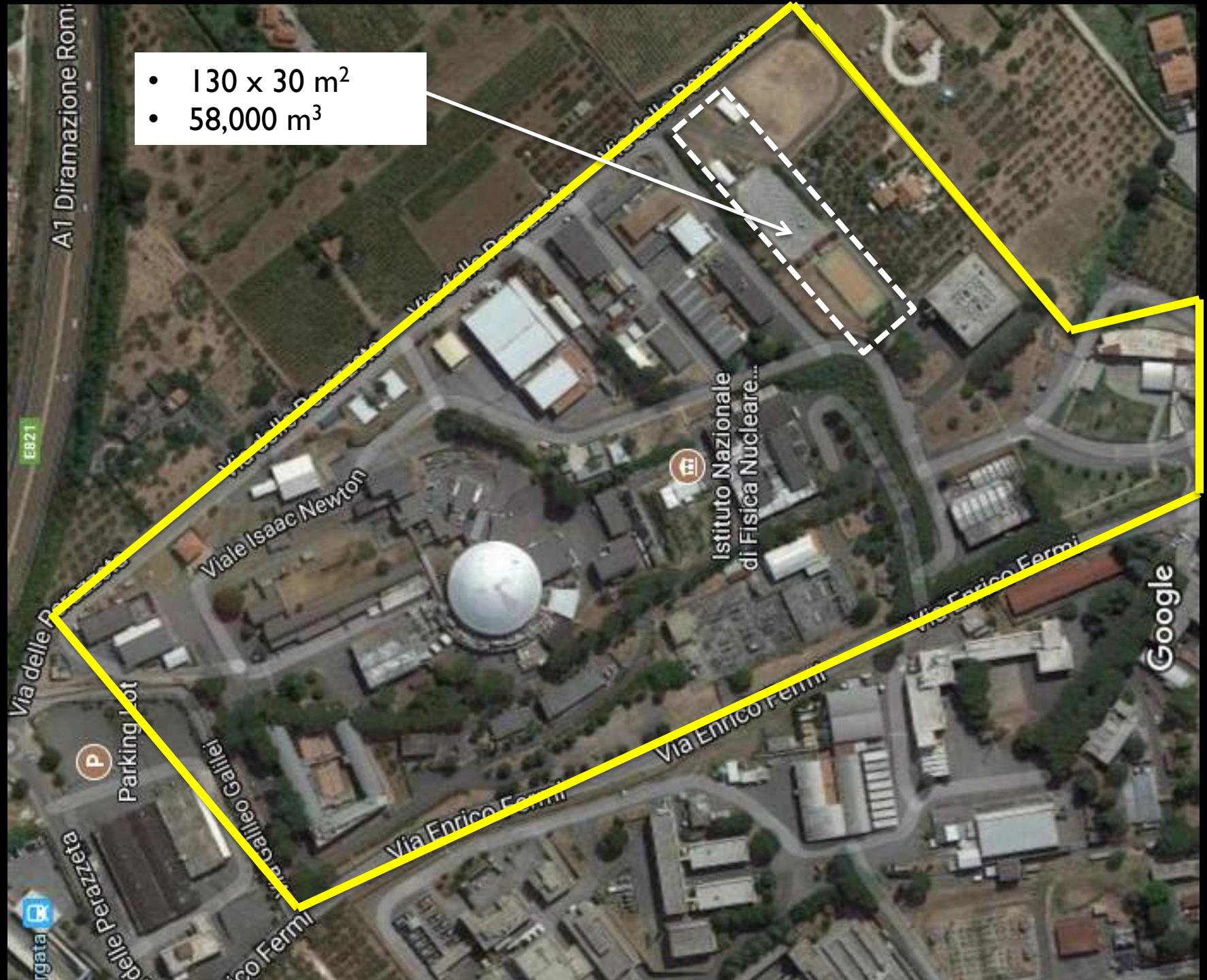
- delle tecnologie a RF a bassa ed alta potenza;
- delle misure magnetiche;
- della progettazione meccanica avanzata;
- **delle tecnologie per cavita' acceleranti ad alto gradiente**

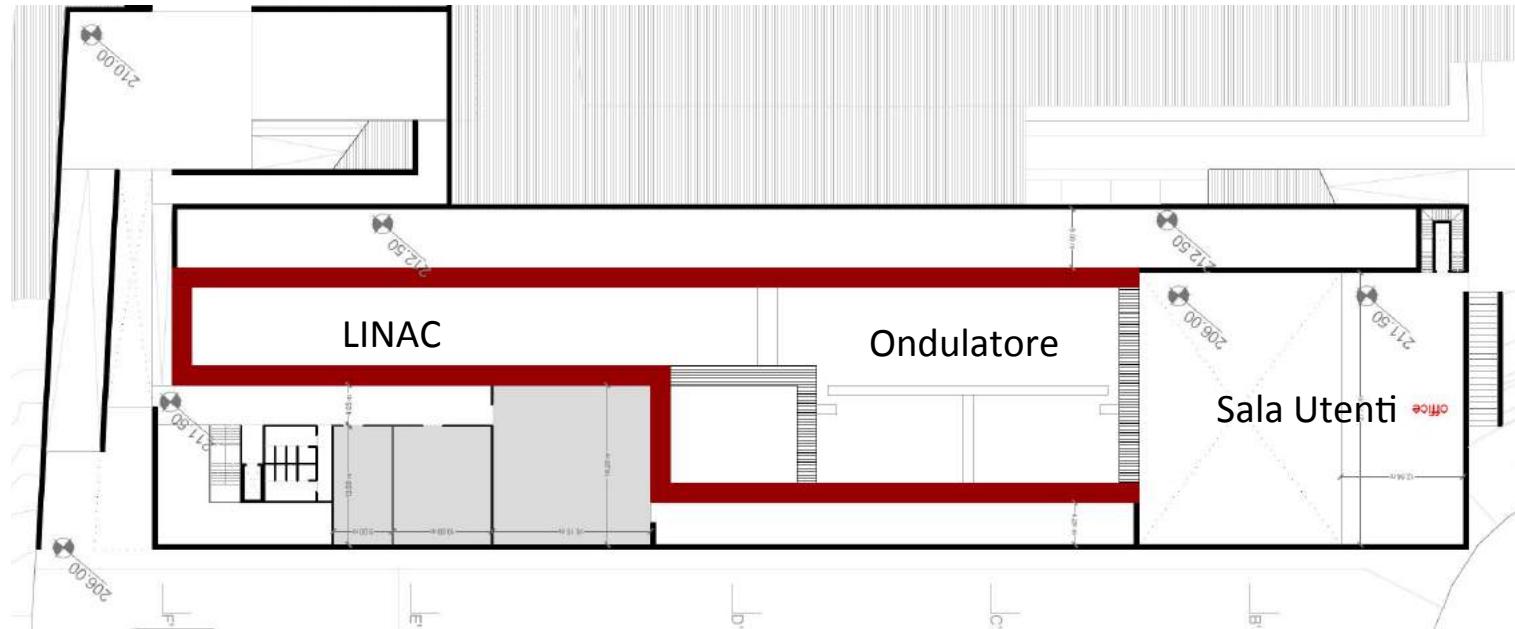
Un'infrastruttura da circa 3 ME, 2/3 dei quali coperti da contributi della regione Lazio

Oltre 20 ditte hanno inviato una lettera di interesse ad utilizzare LATINO  
A breve dovremmo far partire il meeting di avvio del progetto (3 anni)

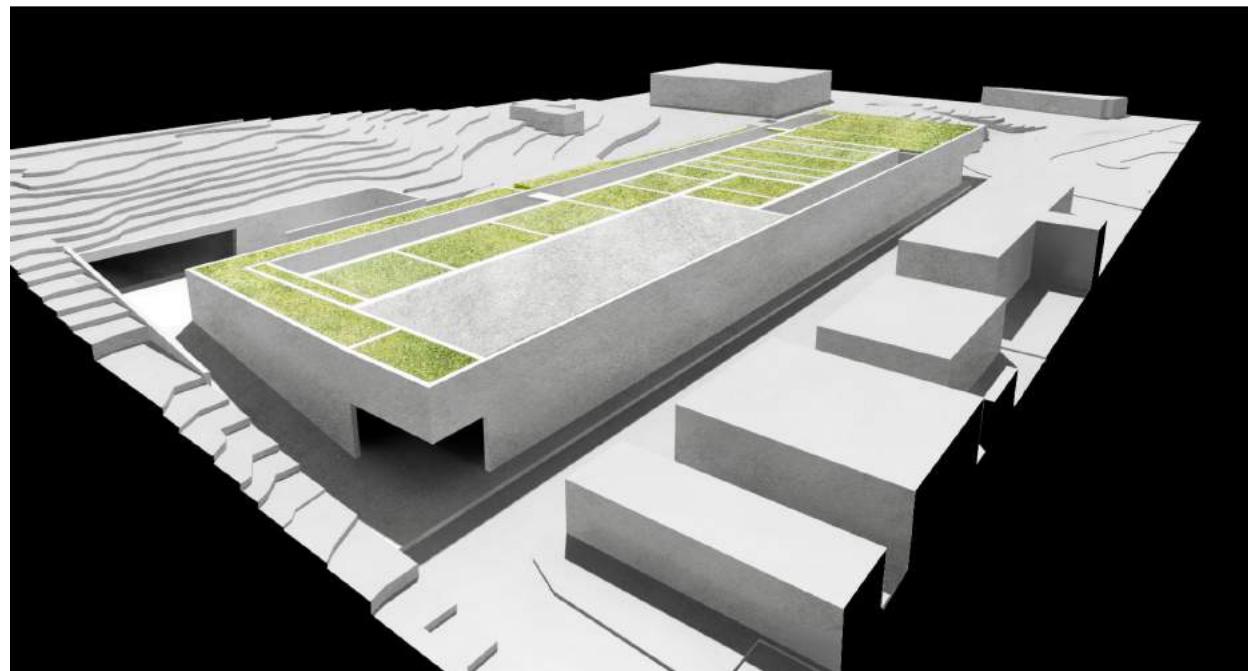
A1 Diramazione Roma

- $130 \times 30 \text{ m}^2$
- $58,000 \text{ m}^3$



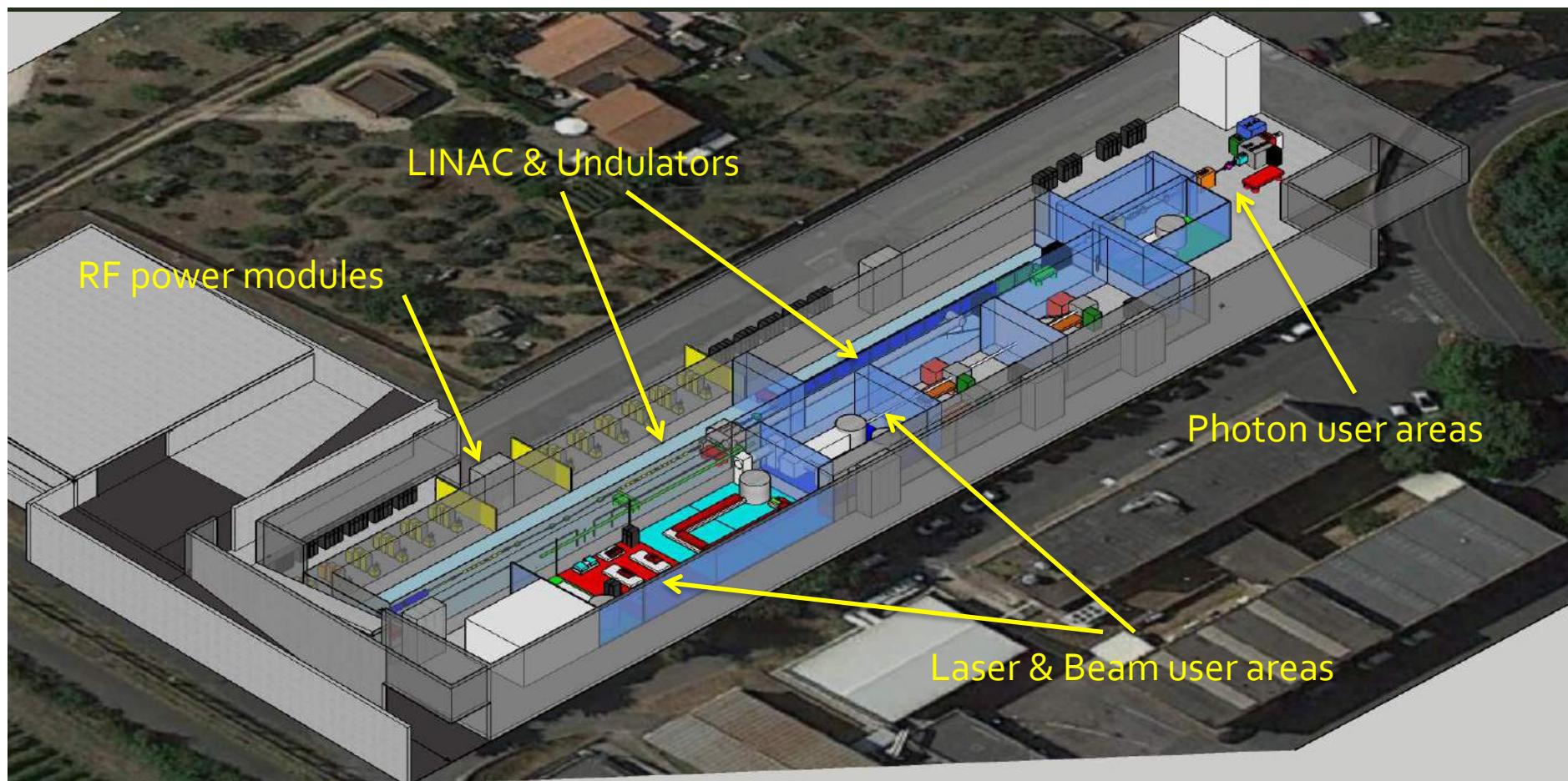


In collaborazione con il  
Dipartimento di  
Architettura della  
Universita' di Sassari









## A preliminary evaluation of project costs

### Buildings

design, construction and technical infrastructure. Quite accurate evaluation based on a quantity survey and on similar projects

~ 24 ME

### Phase 1

X-band Linac at 0.9 GeV, plasma cell, undulator, diagnostics, reuse parts of SPARC\_LAB. Based on SPARC\_LAB, ELI-NP and CLIC experience

~ 26 ME

### Phase 2

Upgraded Linac to 1.3 GeV, new injector, upgraded laser (0.5 PW), FEL user station

~ 18 ME

---

**TOTAL** (only hardware, no VAT)

~ 68 ME

In 2018, start of the tender for the executive design of the infrastructure.

Part of funds already available from INFN.

External resources from EU, Regional Government, Science Ministry, and international collaborations are needed to complete the full program

ESFRI endorsement would guarantee a high level of political/economic support

## A preliminary evaluation of project timeline

Next relevant milestones:

- an international review of the project
- a TDR showing its practical feasibility (early 2020)
- the conclusion of the H2020 Design Study (end of 2019)
- the submission to ESFRI road map (mid 2019)
- ESFRI approval (late 2020)



A tentative schedule:

2018 – launch of the bid for the building project

2020 – launch of the bid for the building construction

2021 – start of the construction (duration expected 2 years)

2023 – start of installation (duration expected 1 year + 1 year for commissioning)

2025 – beam for users

An international collaboration is needed to build EuPRAXIA@SPARC\_LAB, spreading over many different competences:

- Advanced photo-injectors
- X-band Linac technology
- RF power optimization
- Beam dynamics and diagnostics
- Plasma simulation & parallel computing support
- Wakefield optimization in capillaries
- Beam (PWFA) and laser (LWFA) driven accelerations
- High power laser operation
- R&D of high quality undulators
- Photon user beam lines
- Beam and photon diagnostics and control systems
- Services (Electronics, Electro-mechanics, Fluids, Mechanics, Safety and R. Prot.)

A detailed Conceptual Design Report has been prepared and is available at this site  
<http://www.lnf.infn.it/sis/preprint/pdf/getfile.php?filename=INFN-18-03-LNF.pdf>

Collaborating groups are welcome in preparation of this R&D phase which will bring to the Technical Design Report (approximately 2 years from now)

La creazione di un Centro di Eccellenza Europeo nell'ambito delle Tecnologie Innovative di Accelerazione – quale EuPRAXIA – portera' ad importanti ricadute nel territorio

- **I benefici tecnologici** - La partecipazione di industrie medio-piccole (PMI) allo sviluppo di queste tecnologie e alla costruzione dell'infrastruttura, degli impianti e della componentistica, con positivo impatto sul portafoglio e sull'occupazione (impatto da quantificare)
- **La formazione di capitale umano** – studenti & post doc, personale tecnico
- **Benefici al pubblico** - la divulgazione ed altri effetti indotti (ad es. turismo scientifico, un piu' alto accesso STEM)
- **Il valore della conoscenza ("non use benefits")** – anch'esso ha un valore economico quantificabile

Analisi economiche quantitative (Florio et al.)  
portano a stimare questi effetti (su base multi-decennale) **LHC 120% CNAO 300%**

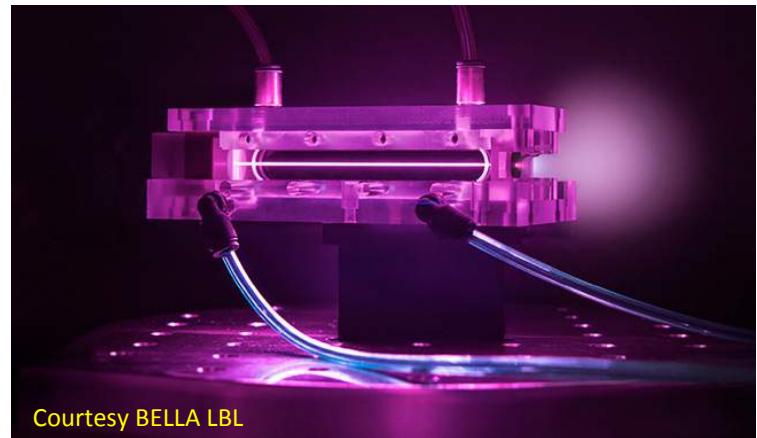
Ci aspettiamo che la comunita' dell'Universita' piu' vicina a questa infrastruttura vorra' essere parte decisiva nella nascita, nella costruzione e nell'uso di EuPRAXIA@SPARC\_LAB

## Conclusioni

- C'e' un'opportunita molto consistente di proporre Frascati come sito per una facility europea nelle tecnologie avanzate di accelerazione
- Un progetto per un'infrastruttura che soddisfa le richieste del Design Study EuPRAXIA e' stato avviato e ha prodotto un CDR. E' dotato di un Linac in banda X e di una cella di plasma che puo' accelerare elettroni anche a 5 GeV. Il progetto si basa sulla grande esperienza fatta con DAFNE, SPARC e ELI-NP
- E' un progetto basato sul "core business" del Laboratorio e dell'INFN (acceleratori compatti per la Fisica delle Particelle e per la Fisica Applicata) economicamente sostenibile e operabile dai LNF, immerso in una collaborazione internazionale
- Una parte dei fondi sono gia' disponibili dall'INFN, mentre altre risorse dovranno essere reperiti attraverso la Comunita' Europea, Fondi Regionali e/o del MIUR, e da accordi internazionali
- L'attuale gruppo che ha preparato il CDR per EuPRAXIA@SPARC\_LAB ha tutte le competenze per rendere il progetto una realta' e nuovi collaboratori sono altamente benvenuti !



1961  
1<sup>st</sup> Storage Ring (AdA)



Courtesy BELLA LBL

202X  
EuPRAXIA@SPARC\_LAB