

I LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI VERSO IL PROGETTO **EuPRAXIA**

P. Campana – Piano Triennale INFN, Bari 9.11.2019

... ci eravamo lasciati al Piano Triennale di Cagliari (ottobre 2017)
due anni molto intensi, faticosi e (spero) molto fruttuosi ...

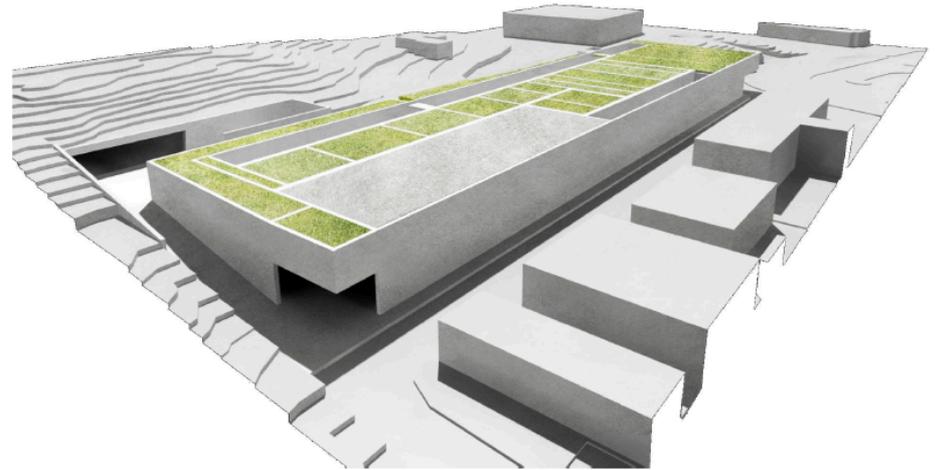
LNf: what next ?

(e magari how and when ...)



P. Campana – Piano Triennale INFN, Cagliari 13.10.2017

Sommario



- I progetti [EuPRAXIA](#) e [EuPRAXIA@SPARC_LAB](#)
- I passi per l'infrastruttura e l'organizzazione di [EuPRAXIA@SPARC_LAB](#)
- L'attività di Review del CDR del Comitato Internazionale
- Le motivazioni scientifiche per un acceleratore al plasma
- Attività su SPARC_LAB e sui progetti collegati
- Gli sviluppi della Collaborazione Europea [EuPRAXIA](#)
- Conclusioni

EuPRAXIA* & EuPRAXIA@SPARC_LAB

EUROPEAN
PLASMA RESEARCH
ACCELERATOR WITH
EXCELLENCE IN
APPLICATIONS



EuPRAXIA e' un Design Study finanziato dal programma della EU H2020, per progettare una facility europea «pilota» che sia in grado, con un acceleratore al plasma, di produrre un fascio di qualita' adeguata ad operare un **Free Electron Laser** sino a 5 GeV.

DESY e' il Laboratorio capofila e al progetto partecipano numerosi Laboratori e Universita' europee (INFN, ENEA, CNR, CEA, CNRS, STFC, ecc ...)

Il Design Study si e' concluso a fine ottobre, con la consegna del CDR (~ 600 pag.) alla EU

EuPRAXIA@SPARC_LAB e' la proposta che prevede che Frascati ospiti la parte di infrastruttura dedicata al «**beam-driven**», ed e' il frutto di una collaborazione tra INFN, CNR, ENEA, U. Sapienza, U. Tor Vergata, U. Milano, con una forte cooperazione con il CERN ed ELETTRA. Nel 2018 e' stato preparato un CDR (~ 250 pag.), che prevede la realizzazione di un nuovo bunker che ospiti la macchina

SPARC_LAB e' la facility dei LNF che si occupa dell' R&D necessario per l'accelerazione al plasma, e che ospita anche altre linee di fascio: laser di potenza, THz & fotoni da Compton

* «buona prassi», derivato da [eu](#) ([eu](#)) «buono» e [πραξις](#) ([praxis](#)) «consuetudine, prassi»

Motivazioni



Perche' una simile infrastruttura per Frascati:

- Dagli anni '60 i LNF sono impegnati nello sviluppo di fisica e tecnologia degli acceleratori con elettroni/positroni (**AdA, ADONE, DAFNE, SPARC_LAB**) e negli esperimenti di Fisica delle Particelle e Nucleare
- Ormai da anni e' molto difficile poter fare esperimenti di livello internazionale «a casa» in questo campo
- Un Laboratorio come Frascati deve avere un programma di ampio respiro e di eccellenza che preservi e sviluppi le competenze, le infrastrutture e produca innovazione
- Lo sviluppo di nuove tecnologie di accelerazione (**banda X e plasma**) coniuga bene gli interessi del Laboratorio nell'ambito della fisica fondamentale e degli acceleratori e si inquadra nello sforzo per arrivare a futuri collider lineari di alta energia
- C'e' un forte competizione mondiale nel settore e un' opportunita' concreta si e' aperta con la collaborazione in EuPRAXIA
- Un eventuale sito europeo costruito a Frascati e' alla portata del Laboratorio e dell'INFN
- C'e' un concreto appoggio dell'INFN, del MIUR e l'impatto sul trasferimento tecnologico puo' essere rilevante (acceleratori compatti, con banda X o plasma)

EuPRAXIA@SPARC_LAB (1)



La facility **EuPRAXIA@SPARC_LAB** sara' costituita da:

- Un nuovo edificio da $\sim 150 \times 30 \text{ m}^2$ che ospitera' la macchina e i servizi tecnici
- Un LINAC tecnologicamente avanzato in banda X, sviluppato insieme al CERN, sulla base della tecnologia per CLIC, che permette di accelerare e- sino a 1.2 GeV
- Una sezione a plasma dove un bunch di elettroni (**driver**) e' accelerato sino a 5 GeV, usando un secondo bunch (**witness**) (*beam-driven plasma acceleration*, PWFA)
- Un onduttore compatto nel quale il fascio da 1.2 GeV «lasera» e produce fotoni da $\sim 3 \text{ nm}$ (nella «finestra dell'acqua») con un flusso di $\sim 10^{11}$ fotoni/impulso
- Alcune linee di fascio di fotoni e di particelle per utenti
- Un laser da 0.5 PW che puo' produrre fasci di particelle nelle sale sperimentali
- Linee THz e Compton (previsti in una seconda fase del progetto)

Nel CDR e' presente una prima valutazione dei costi, basata sull'esperienza di SPARC_LAB, e anche sul possibile riutilizzo (almeno inizialmente) di componenti esistenti:

- **24 ME**, per l'edificio e i servizi tecnici;
- **44 ME**, per iniettore, LINAC, cella al plasma, FEL, Laser e linee utenti

Aggiungendo l'R&D, le tasse e la contingenza (10%), si arriva ad un costo di **100 ME** (personale escluso)

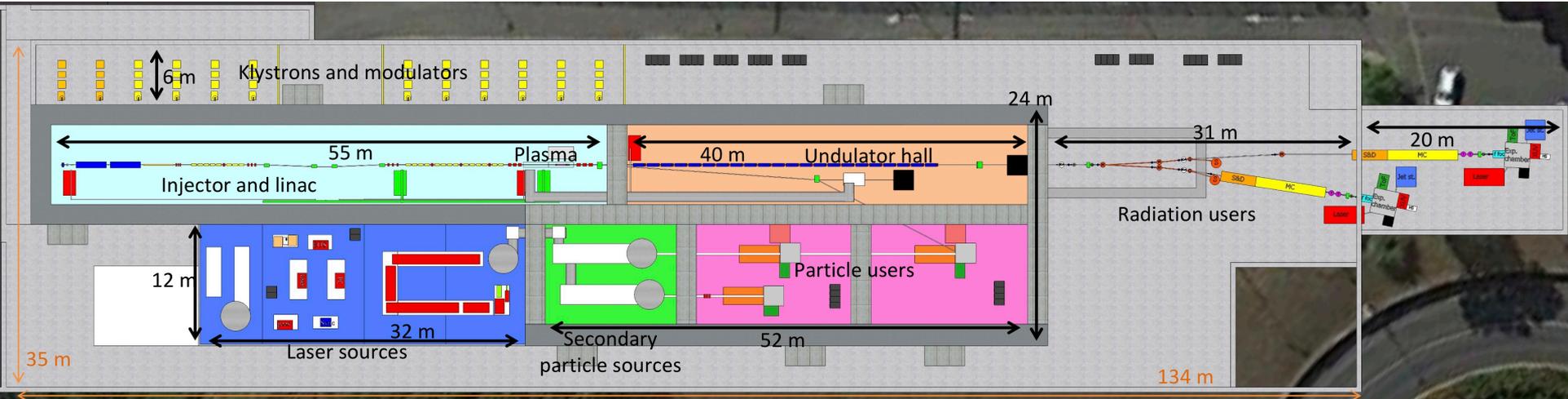
EuPRAXIA@SPARC_LAB (2)



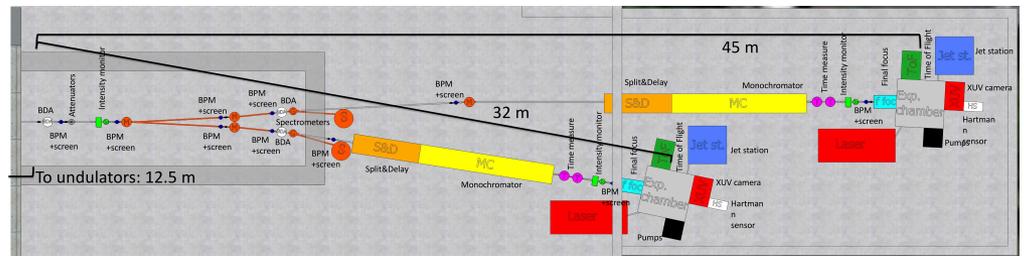
Eventi accaduti dalla pubblicazione del CDR (maggio 2018):

- **Gara per la progettazione** definitiva e esecutiva pubblicata a luglio 2018 e assegnata a Maggio 2019 (296 gg !). Contratto inviato alla ditta la settimana scorsa (+150 gg)
- **4,000 m²** di nuovo terreno acquisito, per agevolare la costruzione del bunker
- Un **Comitato di Review Internazionale** (esperti da CERN, STFC, PSI and DESY) ha analizzato il CDR e ha prodotto un corposo rapporto, che da' luce verde verso il TDR. Il comitato continuerà a seguire il progetto con regolarità
- E' stato costituito un **Project Office** per coordinare:
 - le interazioni con la ditta di progettazione per giungere al progetto finale
 - curare la preparazione del TDR nei prossimi 3 anni
 - assegnare le responsabilità nei vari Gruppi di Lavoro
 - gestire in maniera professionale la schedule, il WBS, le risorse, ecc ...
- L' INFN ha applicato al *"Fondo per il finanziamento degli investimenti e lo sviluppo infrastrutturale"* (legge 145/18 c. 95) per un importo di 109 ME («INFN2030») per il periodo 2019-2033.
In attesa della conclusione del processo decisionale

La struttura prende forma



Electron and und.	parameters	Radiation	parametes
Energy	0.8-1.2 GeV	Wavelength	2-4 nm
Energy spread	0.1%	Bandwidth	0.3-0.9 %
Emittance	0.5 mm mrad	Dimension	0.15-0.2 mm
Peak current	2-3 kA	Divergence	30-50 μ rad
Und. Period	15 mm	Photon per pulse	$0.8-2.6 \cdot 10^{12}$
K	1-1.45	Duration	5-50 fs rms



La sfida tecnologica

La principale difficoltà è nell'ottenere un fascio accelerato con ottime qualità:

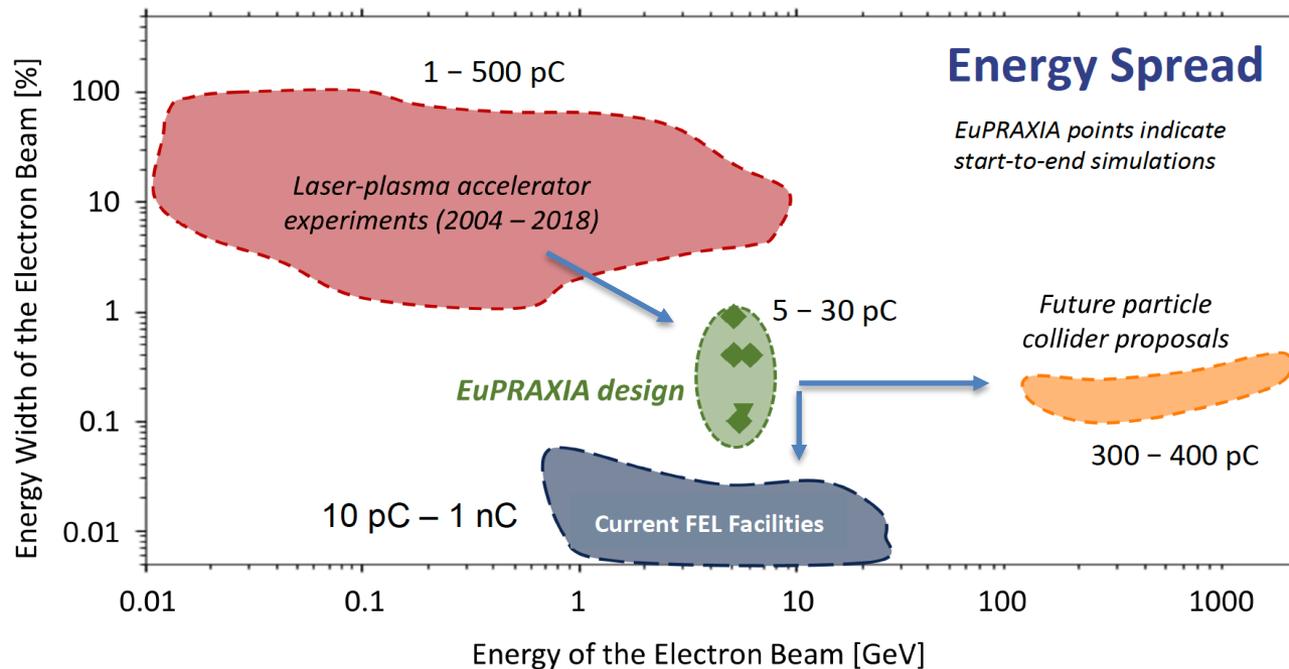
Energy spread 0.1 %, emittanza 1 mm mrad, sufficiente carica (> 30 pC)

Gli attuali apparati leader nel campo FACET (SLAC, beam driven) e BELLA (Berkeley, laser driven) non sono ancora giunti a questi risultati.

Il CERN ha optato per uno sviluppo sull'accelerazione al plasma con protoni.



EuPRAXIA Design: High Quality Single Bunch



Gli istituti che collaborano a EuPRAXIA@SPARC_LAB

- Laboratori Nazionali di Frascati
- Sapienza, INFN e Univ. [fisica di macchina, RF, timing]
- Tor Vergata, INFN e Univ. [diagnostica e user beam lines]
- Milano, INFN e Univ. [simulazione e ondulatori]
- Laboratori Nazionali del Sud [fasci di test con laser]
- Dip. Architettura di Alghero, Univ. Sassari [ing. civile]

- ENEA, Frascati [ondulatori]
- CNR, INO-Pisa [Laser]
- ELETTRA, Trieste [FEL, controlli ?]
- CERN [tecnologia banda-X]

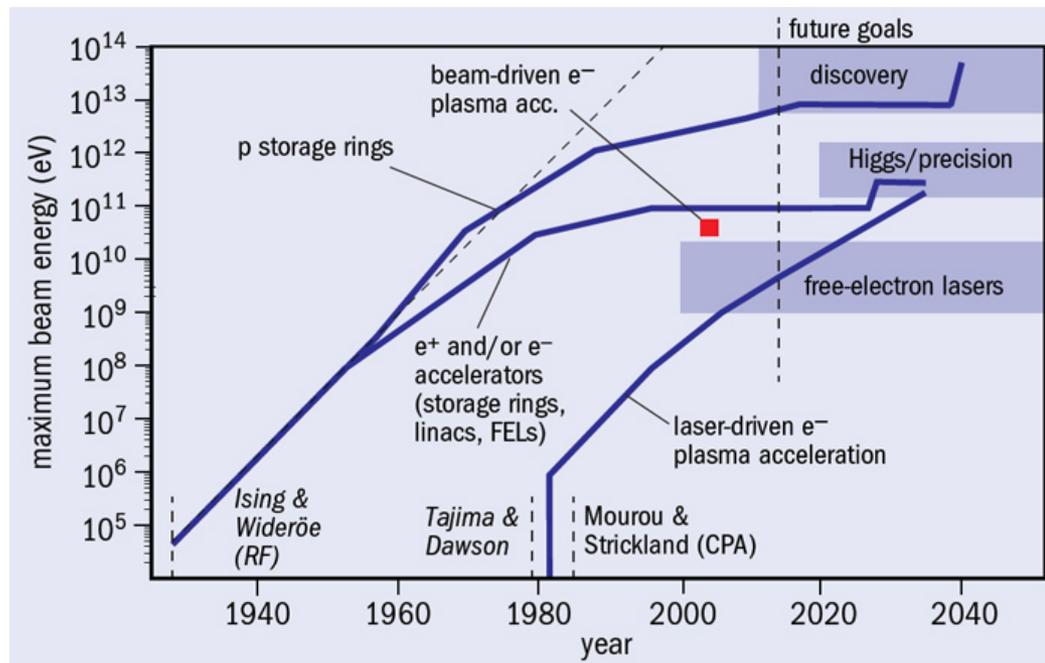
Prossimi passi:

- definire, attraverso un MoU, il livello di collaborazione delle istituzioni non-INFN verso la preparazione del TDR, con l'impegno nei Gruppi di Lavoro
- iniziare i contatti con la ditta per la progettazione per definire bene quello che ci serve ed eventuali modifiche al nostro progetto preliminare
- aggiornare costi e schedule del progetto e identificare R&D critici



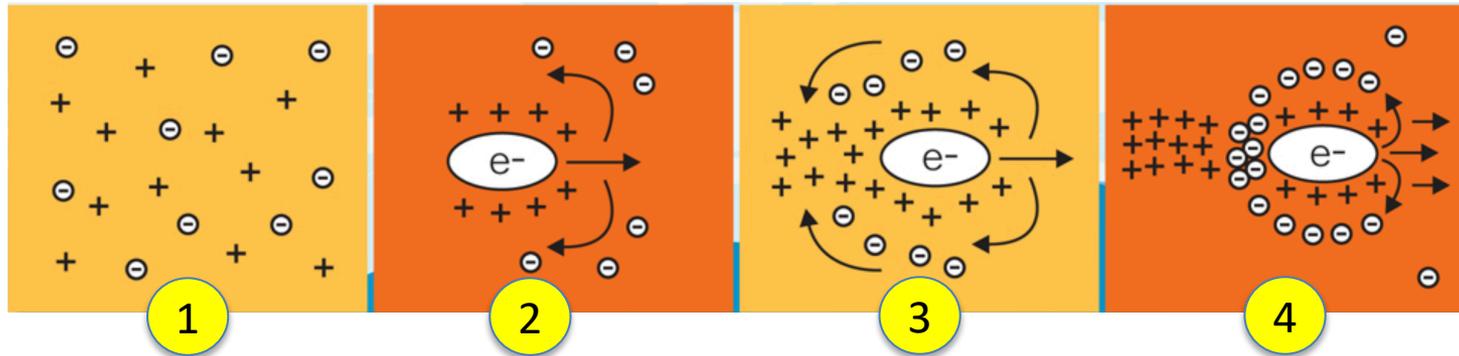
Perche' nuove tecnologie acceleranti

Nel **1979**, **Tajima and Dawson** proponevano l'uso degli alti campi nei plasmi per accelerare le particelle e nel **1985**, **Strickland and Mourou** (premi Nobel nel 2018) scoprivano il meccanismo della **Chirped Pulse Amplification**, che permette di costruire laser molto potenti e con impulsi rapidissimi (< 100 fs)



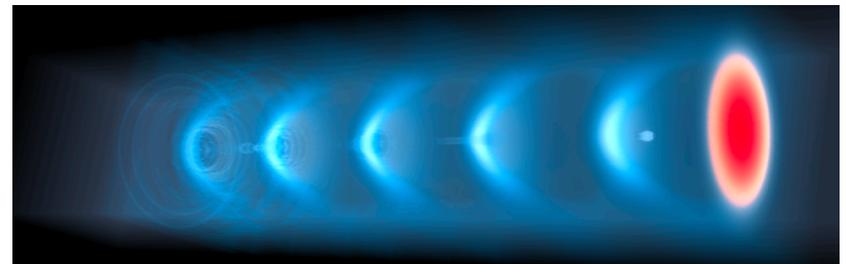
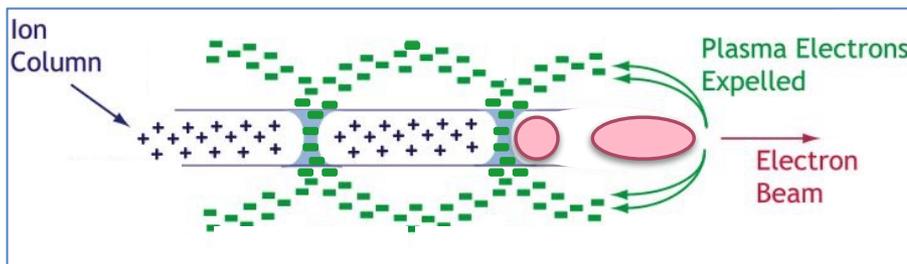
L'uso combinato del plasma con fasci e/o laser permette di raggiungere alti valori di campo accelerante: da qualche **GV/m** fino a **40 GV/m**, fattori **da 10 a 400 volte** rispetto alle tecnologie convenzionali. Inoltre molte applicazioni industriali o mediche non necessitano di stringenti richieste sulla qualità dei fasci: un potenziale enorme nel trasferimento tecnologico.

Il meccanismo di accelerazione nel plasma



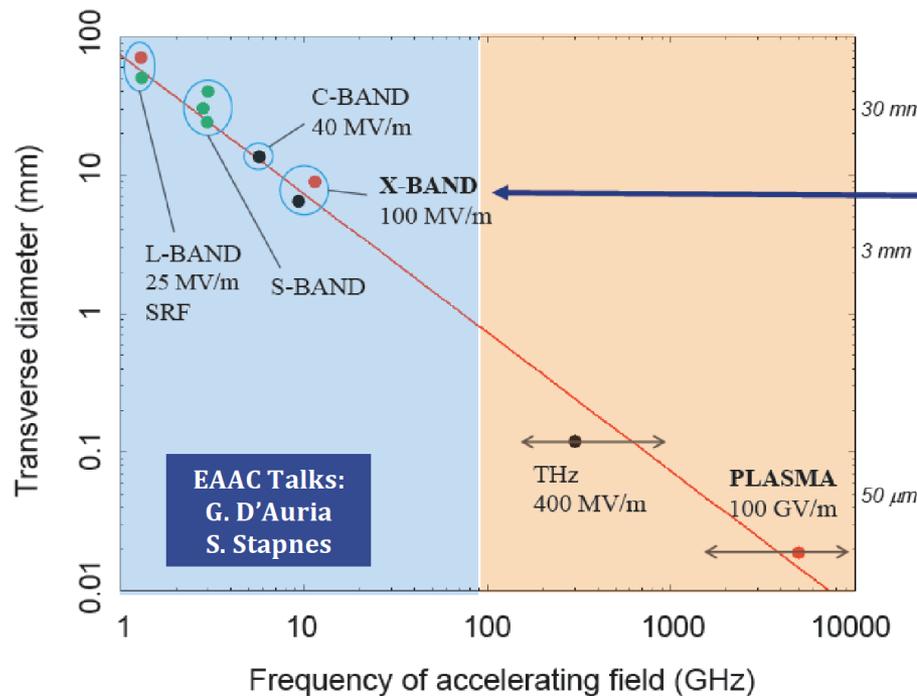
1. Viene generato un plasma tramite una scarica nel gas (H₂, vapori di Li, ecc...)
2. Un bunch di elettroni entra nel plasma e le cariche negative vengono allontanate, mentre gli ioni positivi sono attratti. Un'onda di cariche positive si crea lungo la traiettoria (formazione di una colonna di ioni)
3. Elettroni liberi sono attratti dietro il bunch
4. Gli elettroni liberi generano un campo accelerante per il bunch successivo (wakefield)

Grazie alle moderne tecnologie, il bunch iniziale puo' essere sostituito anche da un impulso brevissimo, ma di alta intensita', di un laser: quindi due possibili opzioni (beam driven - PWFA, o laser driven, LWFA)



Il LINAC in banda X

La parte in banda X di EuPRAXIA@SPARC_LAB rappresenta uno sviluppo tecnologico di grande importanza, sia nell'ambito HEP che per le potenzialita' applicative. Solo CERN, KEK e SLAC hanno stazioni di test in banda X, e il LINAC attualmente di piu' alta energia operante raggiunge i 350 MeV (SLAC, NLCTA)



CERN

X Band RF Beam Driver
(Minimal Footprint at PWF A Site)

Risultati da SPARC_LAB

Una buona performance in termini di operazione (gen/giu 2019) grazie ad una migliore organizzazione del lavoro e all'utilizzo di tecnici in turno

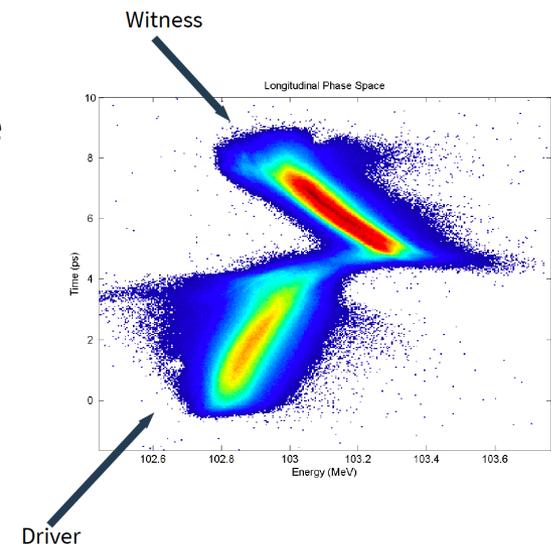
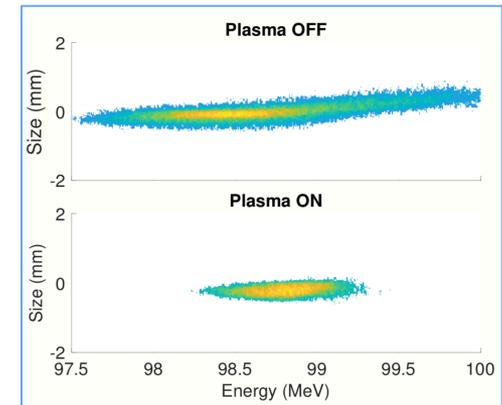
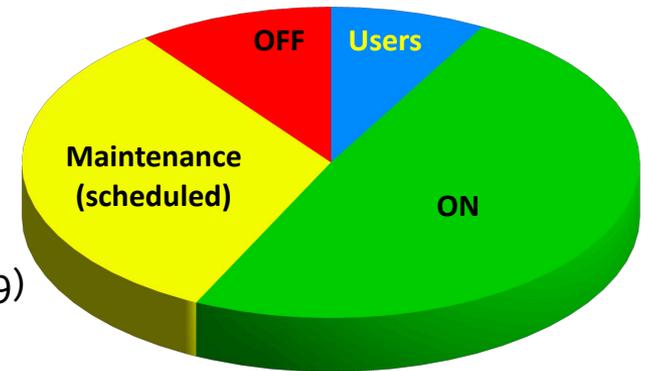
Creazione di un laboratorio dedicato agli studi sulle celle di plasma, e lavoro sul loro funzionamento come elementi ottici (idea di *Panofsky & Baker, 1950*)
Studio delle tecniche di de-chirping per diminuire lo spread in energia dovuto all'accoppiamento con i campi acceleranti

Varie simulazioni per ottimizzare la configurazione della cella di plasma per raggiungere i 5 GeV

Primi test con fascio con la tecnica a «comb» su un piccolo capillare

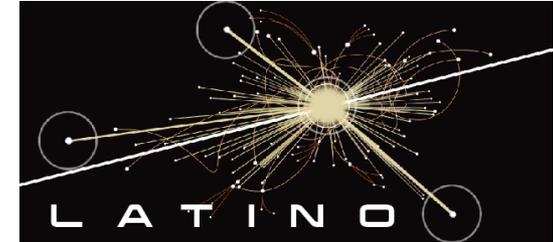
- carica: 200 pC/20 pC – durata impulso 200 fs/20 fs
- ~ 100 MV/m campo accelerante, energy spread 0.17%

Ulteriori test necessari per ottimizzare la configurazione (densita' plasma, forma impulso, dimensione cella, ecc ...)



Progetti «satelliti»

LATINO (Laboratory in Advanced Technologies for Innovation)
Bando regione Lazio vinto nel 2018 & accordo con il **CERN** per un R&D comune sulla banda X
Un laboratorio in costruzione con un modulatore in arrivo a gennaio. Un investimento (complessivo) di ~ **5 ME**
[Regione Lazio: 2.5 ME, INFN: 1.5 ME, CERN: 1 ME]



SABINA (Source for Advanced Imaging for Novel Applications)
Bando della Regione Lazio vinto nel 2019 ~ **6 ME** (75% RL, 25% INFN) per preparare SPARC_LAB alla sfida di EuPRAXIA:

- manutenzione straordinaria dell'infrastruttura tecnica
- un nuovo foto-iniettore e un nuovo laser per l'iniettore
- un undulatore per il THz avanzato (a polarizzazione ellittica)

Goal: uno SPARC_LAB piu' affidabile per un R&D piu' efficiente

C'e' un forte interesse della Regione Lazio ad appoggiare le iniziative nell'ambito di EuPRAXIA per lo sviluppo di tecnologie innovative
In preparazione una valutazione dell'impatto di una infrastruttura di ricerca nei LNF sugli aspetti economici tangibili e intangibili, esercizio gia' fatto in altri casi con metodi econometrici (per LHC e CNAO)



Il progetto europeo EuPRAXIA

A fine ottobre **EuPRAXIA** ha completato il CDR e ha definito la configurazione dell'infrastruttura distribuita. La Collaborazione, basata su un modello stile-HEP, conta 16 gruppi di ricerca e 41 istituti associati

Uno **sforzo rilevante e coordinato** delle piu' importanti istituzioni europee attive sugli acceleratori, sui laser e nello studio del plasma (*tre comunita' molto differenti!*)

Si sta costituendo un nuovo Consorzio EuPRAXIA, basato su un Memorandum of Understanding tra gli istituti, e ci aspetta che nuovi membri si associno (ad es. il CERN)
Costo totale del progetto ~ 320 ME (incluso R&D e costo del personale)

Scenario	Invest
Beam-driven plasma accelerator facility	
Full EuPRAXIA proposal	119 M€
Plasma accelerator facility with FEL	68 M€
Laser-driven plasma accelerator facility	
Full EuPRAXIA proposal	204 M€
Plasma accelerator facility with FEL	110 M€
Minimal laser plasma accelerator with FEL	75 M€

Schema che fa un uso ottimale delle risorse esistenti nei vari paesi.

Applicazione a ESFRI 2020 (5 maggio)

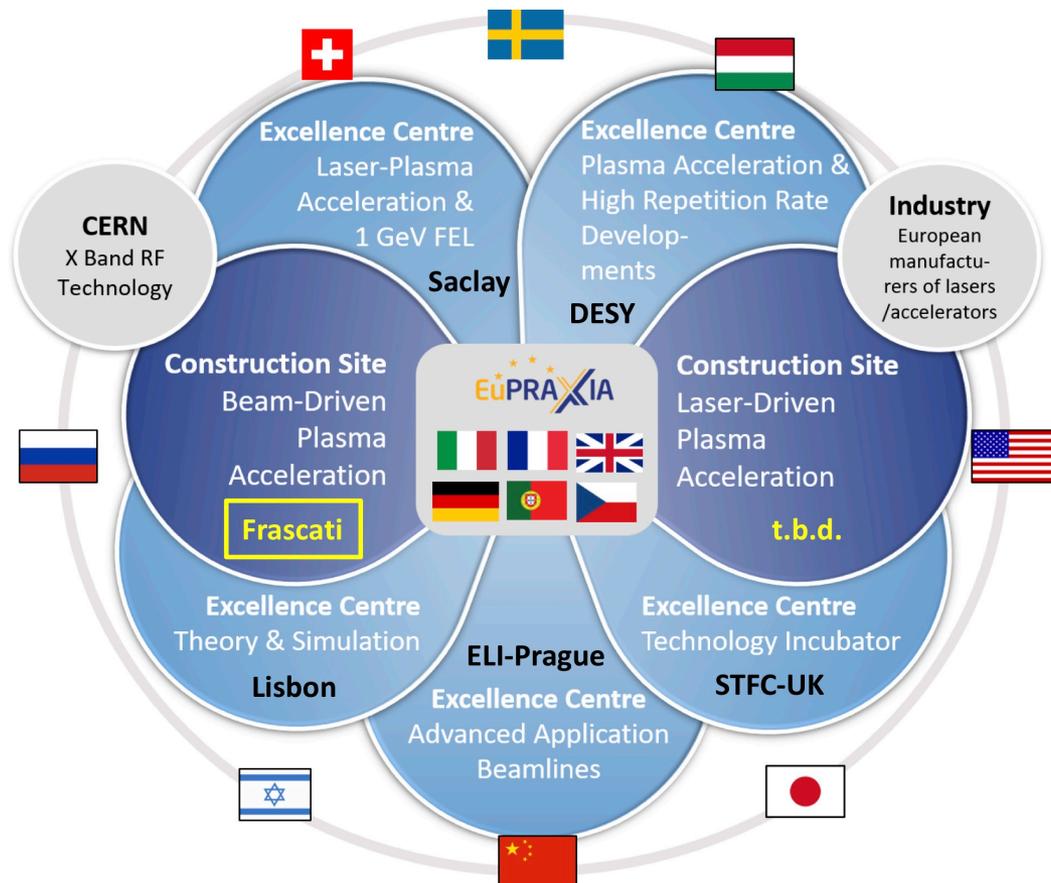
Consenso unanime che l'Italia sia il *lead country* (con il sostegno da MIUR, Regione Lazio e MISE)

D, P, F, UK, CZ altri paesi sostenitori

L'infrastruttura europea

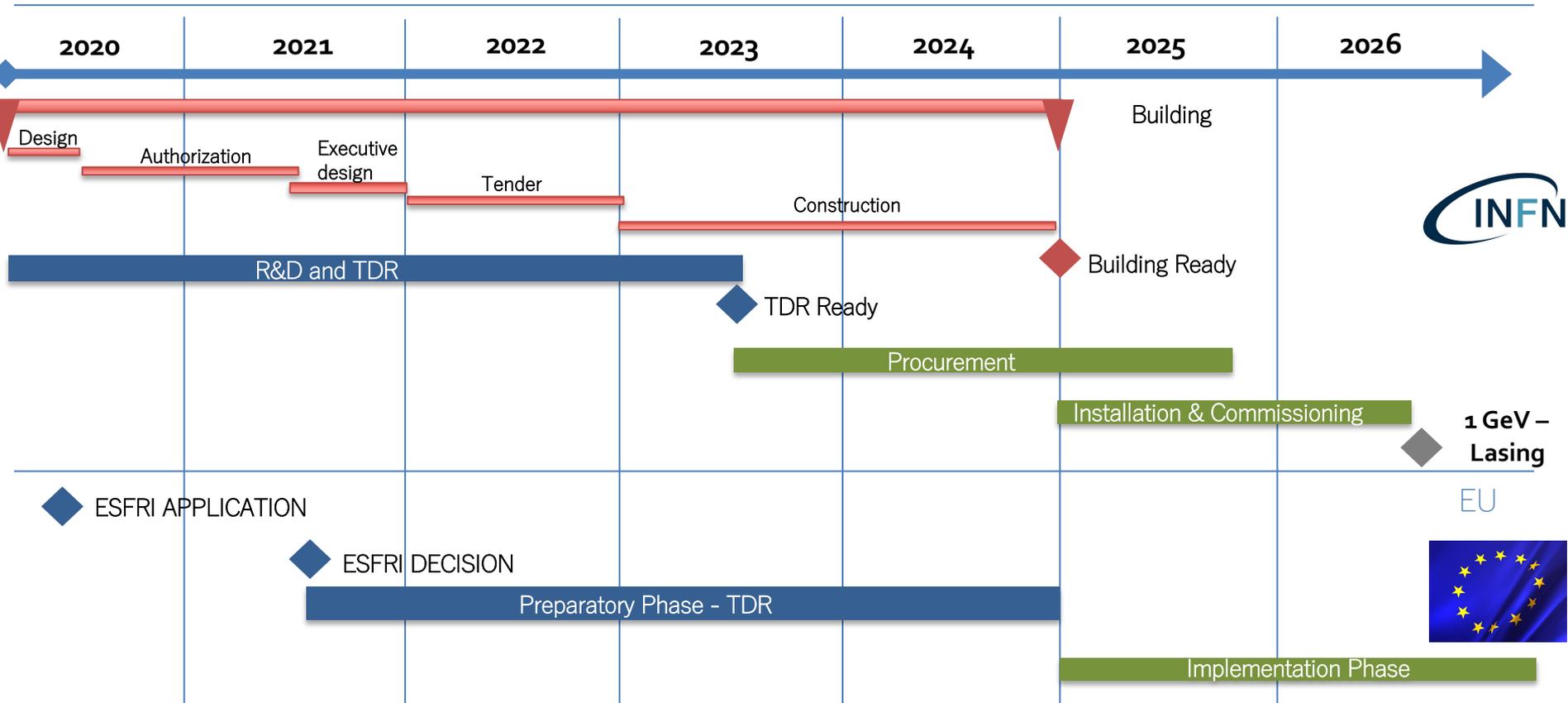
Il progetto si configura come una facility distribuita, basata su:

- **2 nuovi siti per utenti:** a tecnologia beam-driven (LNF) e a tecnologia laser-driven (tbd*)
- **4 centri di eccellenza** dedicati a vari tipi di R&D sui laser: **DESY, STFC, Saclay, ELI-Praga**
- **1 centro di eccellenza** per il calcolo e la simulazione dei plasmi: **Lisbona**
- una serie di istituti e industrie che collaborano con i vari siti/centri



** In linea di principio
Il sito LNF potrebbe ospitare
anche la componente
di accelerazione al plasma,
con ovvi risparmi globali*

Strategic Planning - Roadmap



Antonio Falone

29/10/2019

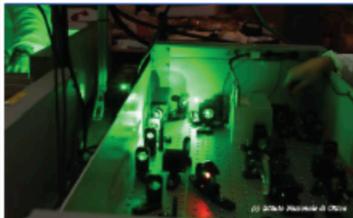
Il piano temporale di EuPRAXIA@SPARC_LAB segue da vicino e si integra con quello di EuPRAXIA, in modo da usufruire al massimo della collaborazione internazionale

L'impatto tecnico/scientifico a lungo termine



1. Reduced facility footprint

- ❑ compact beamline components (undulators, magnets, etc.)
- ❑ compact diagnostics
- ❑ development of simplified, ultracompact prototype systems



2. High power laser technology

- ❑ high repetition rate
- ❑ high average power
- ❑ increased efficiency
- ❑ reduced footprint / cost
- ❑ robustness



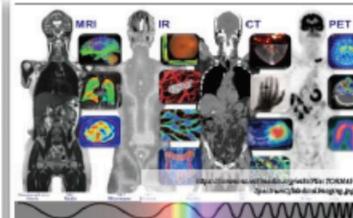
3. Accelerator technology

- ❑ staging towards high energies
- ❑ advanced diagnostics
- ❑ hybrid plasma acceleration & other novel injection concepts
- ❑ beam control & quality
- ❑ ultrashort beams



4. Plasma-based FEL

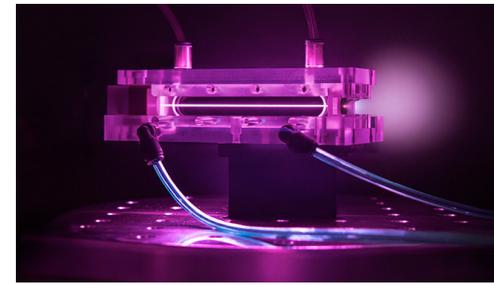
- ❑ higher photon flux
- ❑ lower wavelength
- ❑ advanced undulator technologies
- ❑ ultrashort beams
- ❑ seeded FEL



5. Method improvement for applications

- ❑ medical imaging
- ❑ high-energy physics detectors
- ❑ material analysis (cargo scanning, structural analysis)
- ❑ positron generation and acceleration (plasma collider studies)

Conclusioni



Il Laboratorio ha scelto il progetto che dovrebbe permettere di mantenere le competenze, produrre innovazione e realizzare un'infrastruttura di riferimento europea nel campo delle tecnologie avanzate di accelerazione, nella linea delle attività istituzionali dell'INFN e di Frascati

L'evoluzione di **EuPRAXIA** è tale che c'è una concreta possibilità che l'INFN possa guidare il progetto a livello europeo, essendo di fatto l'unico sito di costruzione oggi definito. Necessario preparare la call di ESFRI con tutti i supporti interni ed esterni

Nel frattempo il Laboratorio e il team di **EuPRAXIA@SPARC_LAB** stanno adottando una strategia di lavoro che permetta di:

- effettuare l'R&D e preparare il TDR che possa avviare la costruzione della macchina
- una volta finalizzato il progetto esecutivo, passare alla costruzione del sito

La preparazione di tutti gli elementi necessari ad un progetto di tali dimensioni e la collaborazione con gli altri Laboratori europei (con o senza l'approvazione di ESFRI) sono elementi **indispensabili** per il successo dell'iniziativa