



ALLEGATO 1

CONVENZIONE REGIONE LAZIO – INFN

ARIA

ADVANCED RADIATION SOURCE FOR INTERACTIONS ANALYSIS

PROGETTO

SOMMARIO

1. Sintesi del progetto	2
2. Il contesto europeo	3
3. Il ruolo dei Laboratori Nazionali di Frascati.....	4
4. Impatto dell'infrastruttura	6
5. Descrizione della linea ARIA	8
6. Organizzazione delle attività	11
7. Funzionamento della linea	12
8. Comunicazione e disseminazione	13
Referenze	14



1. Sintesi del progetto

Il progetto EuPRAXIA@SPARC_LAB, sviluppato presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, rappresenta un'infrastruttura di ricerca d'avanguardia a livello europeo, parte integrante dell'iniziativa EuPRAXIA (European Plasma Research Accelerator with eXcellence in Applications). L'obiettivo è la realizzazione di un acceleratore compatto basato sull'accelerazione al plasma, tecnologia innovativa che promette prestazioni elevate con costi e ingombri significativamente ridotti rispetto agli acceleratori tradizionali.

La facility di Frascati ospiterà una delle due infrastrutture europee previste dal progetto, essendo l'altra posta presso ELI Beamlines ERIC (Praga). Essa sarà dotata di un acceleratore lineare in banda X, un laser ad alta potenza e due linee di luce basate su laser a elettroni liberi (FEL): AQUA, dedicata alla produzione di radiazione soft X, e ARIA, oggetto del presente progetto, finalizzata alla generazione di radiazione VUV (50–200 nm). Quest'ultima arricchirà le capacità sperimentali della facility, offrendo strumenti avanzati per lo studio della materia e applicazioni in fotonica, chimica atmosferica, scienze della vita e nanofabbricazione.

La linea ARIA si distingue per l'elevata flessibilità operativa, la possibilità di controllo della polarizzazione della radiazione e il supporto a tecniche avanzate come la spettroscopia multidimensionale e gli esperimenti pump-probe. L'infrastruttura sarà accessibile alla comunità scientifica internazionale, rappresentando un polo strategico per lo sviluppo di tecnologie abilitanti fondamentali (KET), con importanti ricadute economiche e industriali per il territorio, in particolare nella Regione Lazio, già caratterizzata da un ecosistema di ricerca e innovazione avanzato.

Il progetto ARIA è concepito come una user facility aperta a università, centri di ricerca e mondo produttivo, in particolare alle PMI, capace di promuovere la collaborazione pubblico-privato, il trasferimento tecnologico e l'eccellenza scientifica. Il suo impatto si estenderà dalla crescita delle competenze tecniche alla creazione di opportunità industriali e occupazionali, rafforzando la posizione dell'Italia nel panorama delle grandi infrastrutture europee di ricerca.

La linea ARIA prevede un investimento complessivo di circa 20 milioni di euro, destinati principalmente all'acquisizione di strumentazione scientifica avanzata e alla realizzazione delle infrastrutture per il trasporto e la generazione della radiazione. Le spese sono suddivise in quattro ambiti principali: trasporto degli elettroni, linea di ondulatori, trasporto dei fotoni e stazioni di misura per utenti, ciascuno essenziale per garantire la piena funzionalità della linea.

Il progetto sarà completato entro il 2028, secondo un cronoprogramma dettagliato che include fasi di progettazione, acquisto, installazione e collaudo dei sistemi. Una parte significativa delle forniture potrebbe essere affidata a imprese del territorio laziale, generando ricadute positive sul tessuto industriale e rafforzando l'ecosistema scientifico-produttivo regionale.

ARIA sarà un'infrastruttura *user-oriented*, accessibile tramite un sistema competitivo e trasparente, in linea con i principi della Carta Europea per l'Accesso alle Infrastrutture di Ricerca. Condividerà sinergie tecniche e progettuali con la linea AQUA, già in sviluppo presso EuPRAXIA@SPARC_LAB, permettendo l'ottimizzazione di tempi, risorse e competenze.



2. Il contesto europeo

EuPRAXIA (EUropean Plasma Research Accelerator with eXcellence in Applications) è il primo progetto dedicato a costruire una nuova infrastruttura di ricerca europea dedicata allo sviluppo di acceleratori di particelle compatti basati sui concetti innovativi dell'accelerazione al plasma, con l'obiettivo di rivoluzionare il panorama degli acceleratori scientifici e industriali.

Il progetto mira alla realizzazione di un acceleratore innovativo che, grazie all'impiego di onde di plasma generate da impulsi laser o fasci di elettroni, possa offrire prestazioni comparabili agli attuali acceleratori lineari a radiofrequenza (RF), ma con un ingombro ridotto e costi inferiori. Questa tecnologia porta ad ottenere guadagni di energia elevati in una configurazione compatta, riducendo significativamente le dimensioni e i costi degli acceleratori, mantenendone alte le prestazioni.

Frutto della collaborazione tra oltre 38 tra istituti e laboratori di ricerca europei, EuPRAXIA prevede la costruzione di due siti: uno per acceleratori beam-driven (in fase di realizzazione presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, in Italia) e uno per acceleratori laser-driven, recentemente scelto per essere realizzato presso ELI-ERIC nella Repubblica Ceca. I due approcci saranno complementari e apriranno la strada a nuove applicazioni in ambiti quali la medicina, la fisica dei materiali, la scienza dei fotoni, e le tecnologie per rivelatori di particelle.

EuPRAXIA mira a diventare la prima infrastruttura al mondo ad aprire l'accesso a utenti per esperimenti basati su acceleratori al plasma, a partire da una prima fase con fasci di altissima qualità ed energia fino a 1 GeV, espandibile in una fase successiva fino a 5 GeV. Secondo la roadmap attuale, EuPRAXIA è destinata a costituirsi come legal entity entro il 2031, con la successiva attività per l'accesso degli utenti. Intanto, sono in fase di sviluppo i dimostratori tecnologici che costituiranno il nucleo dell'infrastruttura.

L'infrastruttura sarà supportata da centri di eccellenza distribuiti in Europa (tra cui Francia, Germania, Portogallo, Regno Unito e Spagna), che contribuiranno allo sviluppo, alla prototipazione e alla costruzione dei moduli necessari. Il progetto rappresenta un investimento strategico per rafforzare la competitività europea nel campo della fisica degli acceleratori, con significative ricadute scientifiche, tecnologiche e industriali, nonché opportunità di formazione per le nuove generazioni di ricercatori e tecnici.

Il progetto è iniziato nel 2015 con un finanziamento nell'ambito del programma Horizon 2020 dell'EU, che ha portato alla pubblicazione di un Design Report alla fine del 2019. In seguito, EuPRAXIA è stato inserito nella Roadmap 2021 del Forum Strategico Europeo per le Infrastrutture di Ricerca (ESFRI). Nel 2022 è stata finanziata dal programma Horizon Europe dell'EU la Preparatory Phase per sviluppare gli aspetti organizzativi, legali, finanziari e tecnologici dell'infrastruttura EuPRAXIA, in collaborazione tra 38 grandi Università e laboratori europei.

L'accelerazione al plasma e le tecnologie innovative sviluppate attraverso EuPRAXIA si collocano tra le aree strategiche supportate dalla Piattaforma delle Tecnologie Strategiche per l'Europa (STEP), che mira a concentrare investimenti e risorse su settori chiave come microelettronica, intelligenza artificiale, energie rinnovabili e biotecnologia, al fine di sostenere la transizione verde e digitale dell'Europa. Il contributo di EuPRAXIA alla ricerca rafforzerà la competitività globale dell'Europa in settori avanzati come la fotonica, le sorgenti di radiazioni per applicazioni mediche e industriali, e la scienza dei materiali.

Grazie alle sue caratteristiche uniche, EuPRAXIA consentirà indagini multidisciplinari, favorendo lo sviluppo in numerosi settori strategici, in particolare nel campo delle Tecnologie Abilitanti Fondamentali (KET), che includono nanotecnologie, fotonica, materiali avanzati, biotecnologia, tecnologie digitali e micro/nanoelettronica. EuPRAXIA sarà in grado di sviluppare in modo trasversale essenzialmente tutte queste aree, facilitando:

- la ricerca nel campo della fotonica, fornendo sorgenti di luce di alta qualità per studiare fenomeni a livello molecolare e atomico;
- l'analisi avanzata dei materiali e tecniche di imaging di alta precisione, fondamentali per le nanotecnologie, la microelettronica e i materiali avanzati;
- lo sviluppo di nuovi materiali e processi di produzione innovativi;
- il miglioramento delle tecniche di imaging medico.

Inoltre, le attività di EuPRAXIA sono perfettamente in linea con la Smart Specialization Strategy (RIS3) della Regione Lazio, offrendo opportunità di ricerca e sviluppo nei settori dell'aerospazio, dell'agrifood e delle scienze della vita.

3. Il ruolo dei Laboratori Nazionali di Frascati

All'interno del consorzio europeo che lavora per questo progetto, i Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) dell'INFN rivestono un ruolo centrale: una delle due infrastrutture europee per utenti previste dal progetto è infatti collocata a Frascati (EuPRAXIA@SPARC_LAB), dove viene ospitato anche l'hub della governance della infrastruttura ESFRI. L'INFN è capofila dell'operazione e svolge un ruolo trainante nell'ambito dell'iniziativa europea, contribuendo in modo determinante alla sua realizzazione e al coordinamento scientifico e tecnico. La struttura all'avanguardia che è in corso di realizzazione a LNF combina un acceleratore lineare di elettroni, con uno stadio di accelerazione al plasma e un laser a elettroni liberi (FEL) che genererà fotoni.



Figura 1: Rendering dell'edificio che ospiterà EuPRAXIA@SPARC_LAB, attualmente in fase di realizzazione ai Laboratori Nazionali di Frascati.

Un moderno complesso di circa $130 \times 30 \text{ m}^2$ è in fase di realizzazione, progettato per accogliere il primo acceleratore lineare compatto a radiofrequenza in banda X da 1 GeV mai realizzato, un laser di potenza dell'ordine di mezzo petawatt e la costruzione di una linea FEL compatta, denominata AQUA, che opererà con fotoni di lunghezza d'onda tra 3 e 10 nm. Questo intervallo spettrale è ideale per tecniche di imaging avanzate, in particolare per applicazioni biologiche e chimiche, grazie al suo alto contrasto per i materiali a base d'acqua e per la spettroscopia alla soglia K del carbonio. La combinazione unica di un fascio di elettroni ad alta brillantezza e di un laser di potenza permetterà nuove sinergie tra ricerca di base e applicazioni ad alto impatto sociale, in linea con le strategie europee di specializzazione intelligente (S3) e tecnologie abilitanti (KET).

Ulteriori dettagli sulla progettazione della linea AQUA sono disponibili nel Conceptual Design Report del progetto, approvato nel 2021 per l'inserimento nella roadmap ESFRI, che illustra in modo approfondito gli obiettivi scientifici e le innovazioni tecnologiche previste per l'infrastruttura. Informazioni aggiornate e di carattere tecnico saranno inoltre contenute nel Technical Design Report (TDR) attualmente in fase di finalizzazione.

Il progetto EuPRAXIA@SPARC_LAB ha già ottenuto un importante riconoscimento e supporto istituzionale: è infatti incluso tra le iniziative finanziate dal Decreto del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca n. 1118/2019, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 6 febbraio 2020. Il decreto assegna risorse nell'ambito del fondo per il rilancio degli investimenti pubblici e lo sviluppo del Paese (art. 1, comma 95 della legge 30 dicembre 2018, n. 145), con una dotazione destinata al potenziamento e alla creazione di infrastrutture di ricerca. In particolare, la preparazione dell'infrastruttura EuPRAXIA presso i Laboratori Nazionali di Frascati risulta finanziata con un importo di 108 milioni di euro per il periodo 2019–2031.

Il presente progetto propone di potenziare l'infrastruttura sopra descritta con una linea aggiuntiva di laser a elettroni liberi in grado di fornire fotoni di lunghezza d'onda tra 50 e 200 nm, ossia nell'ultravioletto da vuoto (VUV). L'implementazione di questa seconda linea, indicata con l'acronimo **ARIA (Advanced Radiation source for Interactions Analysis)**, intende ampliare notevolmente le capacità della facility già in corso di realizzazione a LNF.

La luce VUV in questo intervallo è altamente energetica e particolarmente adatta allo studio dei materiali, soprattutto è quando emessa in impulsi brevi. Questa sorgente avrà una vasta gamma di applicazioni, tra cui la fotoionizzazione e la spettroscopia fotoelettronica, che permettono di analizzare la struttura elettronica dei materiali e dei gas. La linea sarà ideale anche per la spettroscopia Raman e gli studi di fluorescenza, utile per studiare eccitazioni molecolari e interazioni con la luce, e per applicazioni in fotonica. La linea ARIA sarà in grado di supportare studi di dinamica molecolare, cruciali per la biologia, consentendo di analizzare le reazioni delle molecole e la loro evoluzione nel tempo sotto l'azione della luce. Inoltre, sarà utile per la ricerca su campioni in fase gassosa e diluita, ad esempio nello studio dell'atmosfera, della chimica dei gas e degli inquinanti. Tali capacità rendono ARIA uno strumento potente per esaminare processi atmosferici e la composizione chimica dell'aria, con implicazioni per la comprensione dei cambiamenti climatici e della qualità dell'aria. Infine, ARIA avrà potenziali applicazioni industriali, in particolare nella lavorazione dei materiali, ad esempio nella nanofabbricazione. La radiazione VUV permetterà di studiare e ottimizzare i processi di fabbricazione a livello molecolare, rendendo possibili miglioramenti nella precisione e nell'efficienza della produzione di materiali avanzati.

Fornendo radiazione VUV ad alta intensità e con frequenze accordabili, ARIA aprirà ulteriori frontiere sia nella ricerca scientifica sia nelle potenziali applicazioni industriali, come la lavorazione di



semiconduttori e la nanofabbricazione. Questa peculiarità posizionerà EuPRAXIA@SPARC_LAB come leader mondiale nella ricerca avanzata e nelle scienze applicate.

La linea ARIA si caratterizza per l'ampio intervallo di energie dei fotoni prodotti, per la capacità di fornire il controllo della polarizzazione, per la flessibilità nelle proprietà degli impulsi, inclusi durata, larghezza di banda e intensità. Queste caratteristiche sono distintive rispetto ad altre tipologie di sorgenti di radiazione e la rendono unica nel panorama internazionale.

Un'infrastruttura con una sorgente di luce avanzata offrirà vantaggi significativi sia a livello scientifico che economico. Mentre la comunità scientifica locale beneficerà di un accesso diretto, l'impatto sarà globale, poiché l'infrastruttura sarà aperta a scienziati di tutto il mondo, fornendo strumenti unici per condurre ricerche all'avanguardia. Questo attirerà ricercatori di primo livello da tutti i migliori laboratori e università, promuovendo la collaborazione e l'innovazione. Un comitato scientifico valuterà le proposte di esperimenti, permettendo di realizzare le idee più promettenti, garantendo così risultati di alta qualità. La presenza di questa infrastruttura favorirà lo scambio di conoscenze con l'Italia in campi strategici e avrà un impatto economico positivo sulla regione, grazie all'afflusso di ricercatori internazionali e all'innovazione scientifica generata. L'aumento dell'offerta, caratteristico delle grandi infrastrutture di ricerca, sarà perseguito con l'implementazione della linea ARIA, rendendo l'infrastruttura ancora più attrattiva.

Ospitare un'infrastruttura di ricerca europea, valorizzata dall'aggiunta della linea ARIA, stimolerà l'economia locale attirando finanziamenti, creando posti di lavoro ad alta tecnologia e incoraggiando lo sviluppo industriale circostante. Esempi di successo di questo modello sono il CERN, lo European XFEL, la European Spallation Source (ESS), l'European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) e il centro di ricerca Elettra Sincrotrone Trieste. A livello regionale possiamo citare come esempio i centri di ricerca già esistenti in area laziale, ovvero CNR, INAF, ENEA C.R. Frascati e Casaccia, e i LNF. La sorgente ARIA estenderebbe l'offerta per i potenziali utenti e favorirà collaborazioni e sinergie tra questi istituti e le Università italiane. L'esperienza passata ha dimostrato come le infrastrutture scientifiche su larga scala possano guidare sia il progresso scientifico che la crescita regionale.

4. Impatto dell'infrastruttura

La linea ARIA nasce come laboratorio aperto alle realtà produttive locali e internazionali, per promuovere il trasferimento dell'innovazione tecnologica. Con un focus specifico sulle Tecnologie Abilitanti Fondamentali (KET), ARIA ambisce a costruire un ponte concreto e dinamico tra il mondo della ricerca e quello dell'industria, alimentando la competitività delle imprese e sviluppando competenze all'avanguardia. Grazie alla sua capacità di produrre ricerca avanzata, ARIA si propone di rafforzare il legame tra le eccellenze scientifiche a livello nazionale e internazionale e le crescenti esigenze di innovazione delle realtà produttive regionali, stimolando quindi accordi con imprese e università.

La linea ARIA trova uno dei suoi principali punti di forza nella sua collocazione regionale: infatti, il Lazio si distingue a livello nazionale per la forte presenza di un'economia prevalentemente orientata al settore terziario. Come evidenziato nei documenti della programmazione FESR in corso, in particolare per quanto riguarda la ricerca e l'innovazione, la Regione presenta alcune caratteristiche distintive: un'elevata spesa in ricerca e sviluppo rispetto alla media nazionale, un numero significativo di addetti in R&S, e una performance positiva nella bilancia tecnologica dei pagamenti, con particolare riferimento al commercio di tecnologie.

Inoltre, il contesto regionale si caratterizza per l'alta concentrazione di strutture pubbliche dedicate alla ricerca e all'alta formazione, un buon livello di produttività e occupazione nei servizi alle imprese, la presenza di tre distretti tecnologici (Bioscienze, Aerospazio, Beni e Attività Culturali), e il ruolo propulsivo delle grandi imprese innovative attive nel territorio.

Questi elementi impongono scelte di sviluppo fondate sulla promozione della competitività del sistema imprenditoriale, da attuare attraverso la creazione di un ecosistema regionale favorevole all'interazione efficace tra ricerca e impresa. In quest'ottica, risulta strategica la realizzazione di user facilities aperte alla ricerca, in cui il sistema industriale possa accedere a tecnologie avanzate, laboratori, infrastrutture e competenze specializzate, per lo studio e lo sviluppo di prodotti innovativi.

A supporto di questa visione, la strategia di programmazione 2021–2027 offre importanti opportunità, finalizzate a sostenere la crescita competitiva dell'industria regionale, promuovendo investimenti in produzioni ad alto contenuto tecnologico e a elevato valore aggiunto; valorizzare lo sviluppo di tecnologie abilitanti, in linea con le principali sfide sociali, creando così un contesto fertile per il raggiungimento degli obiettivi di ARIA.

La linea ARIA attirerà l'interesse di aziende che svolgono attività di innovazione e sviluppo in settori strategici quali biologia, biotecnologie, scienze naturali, ingegneria e scienza dei materiali. Nel Lazio, queste aziende operano in settori ad alta intensità tecnologica quali la farmaceutica, il bio-medicale, lo sviluppo di materiali e l'aerospazio, ricadendo nella classificazione ATECO del macrosettore M - Attività professionali, scientifiche e tecniche.

Lo sviluppo dell'infrastruttura EuPRAXIA con la realizzazione aggiuntiva della linea ARIA rafforzerà ulteriormente le attività di ricerca e alta formazione presso i Laboratori Nazionali dell'INFN di Frascati e presso altri organismi della ricerca del Lazio, come le tre università statali romane, il CNR e l'ENEA. Questo potenziamento si tradurrà in ricadute significative in termini di occupazione qualificata, favorendo anche il cosiddetto "ritorno dei cervelli". Sarà possibile l'attivazione di dottorati di ricerca, inclusi quelli di tipo industriale, e aumenteranno le opportunità di assunzione di ricercatori, tecnologi e personale altamente specializzato, sia in ambito accademico che nel contesto dei servizi di innovazione a supporto delle imprese. Tale dinamica avrà un impatto positivo sulla competitività e sull'intensità tecnologica di diversi settori produttivi. Inoltre, la mobilità di ricercatori provenienti da istituti di ricerca e università europee rappresenterà un ulteriore fattore di qualificazione e internazionalizzazione dell'infrastruttura.

L'allineamento tra le caratteristiche del contesto regionale e i punti di forza della proposta ARIA rappresenta uno degli elementi chiave del progetto. In particolare, ARIA si distingue per:

- l'unicità dell'infrastruttura, riconosciuta a livello nazionale e internazionale, paragonabile alle migliori realtà europee del settore;
- la capacità di mettere in connessione la ricerca con le imprese ad alto contenuto tecnologico, facilitando l'accesso a conoscenze, tecnologie e strumentazioni difficilmente reperibili altrove;
- l'attitudine a intercettare i bisogni tecnologici più avanzati dei comparti industriali strategici;
- l'adozione di un modello collaborativo con il sistema produttivo, in linea con le best practice europee;
- la creazione di un polo tecnologico d'eccellenza nel Lazio, capace di diventare un riferimento per realtà scientifiche sia nazionali che internazionali, catalizzando interessi scientifici, tecnologici ed economici legati a grandi progetti europei;

- la valorizzazione e lo sviluppo del capitale umano, attraverso percorsi di formazione avanzata, attrazione di talenti, mobilità internazionale e inserimento professionale di personale qualificato nei settori della ricerca e dell'innovazione.

5. Descrizione della linea ARIA

La linea ARIA costituisce il secondo ramo dell'acceleratore EuPRAXIA e riveste un ruolo centrale nella dimostrazione della tecnologia di accelerazione al plasma, uno degli elementi chiave del progetto presentato alla roadmap ESFRI. La figura seguente mostra la configurazione complessiva della facility, con evidenza della linea ARIA, oggetto del presente documento.

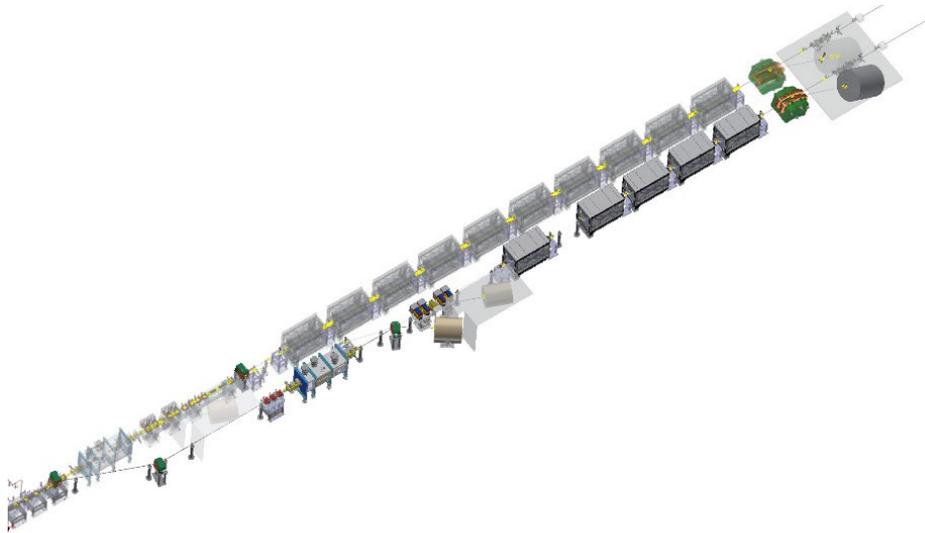


Figura 2: Layout CAD di una sezione dell'acceleratore, con evidenziate le linee FEL AQUA e ARIA.

La generazione del fascio di elettroni e la sua prima accelerazione avvengono nel linac in banda X, una delle innovazioni tecnologiche distintive di questo progetto, comune a entrambe le linee. La prima fase di accelerazione avviene mediante sorgenti a radiofrequenza con i relativi klystron. Una volta raggiunta l'energia desiderata, il fascio di elettroni destinato alla linea ARIA viene deflesso rispetto alla traiettoria principale tramite un sistema di dipoli magnetici, e deviato lungo una linea parallela, che lo trasporta verso la camera al plasma. Questa deflessione deve avvenire preservando le caratteristiche fisiche fondamentali del fascio (energia, emittanza, dimensioni), essenziali per il corretto funzionamento della linea e per la successiva generazione di fotoni. Per questo motivo, lungo questo primo tratto sono presenti strumenti diagnostici dedicati al monitoraggio dei parametri del fascio.

Gli elettroni entrano poi nella camera al plasma, che risulta composta da una serie di sottosistemi fondamentali: un capillare di plasma, in cui avviene l'accelerazione vera e propria; magneti di focalizzazione, per garantire il corretto allineamento del fascio; una camera da vuoto, che isola l'intero apparato. Nella configurazione operativa, il fascio è suddiviso in due componenti: il *driver*, responsabile della generazione della scia di plasma, e il *witness*, che viene accelerato da quest'ultima.

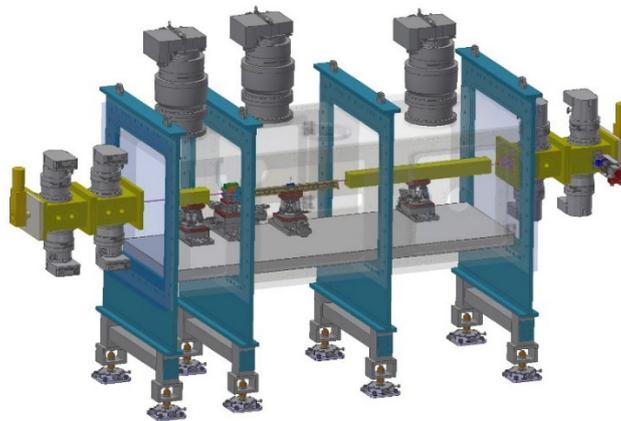


Figura 3: Progetto CAD della camera al plasma.

Al termine della sezione di accelerazione, il fascio attraversa una chicane magnetica, costituita da una serie di dipoli progettata per separare il driver dal witness. Il primo, non più utile, viene deviato e smaltito in un beam dump, un sistema schermato conforme alle normative di radioprotezione, mentre il witness prosegue lungo la linea, per la generazione di radiazione.

Il trasporto degli elettroni verso la linea FEL è garantito da una serie di elementi magnetici, tra cui quadrupoli per la focalizzazione e correttori per la regolazione fine della traiettoria trasversa del fascio. Ognuno di questi magneti è dotato del proprio alimentatore e dell'eventuale sistema di raffreddamento. La linea è inoltre equipaggiata con una serie di strumenti diagnostici, dedicati al monitoraggio delle proprietà del fascio (dimensioni, profilo, corrente, energia, ecc.), integrati con la relativa elettronica di lettura, quali beam position monitor, screen, cavity bpm.

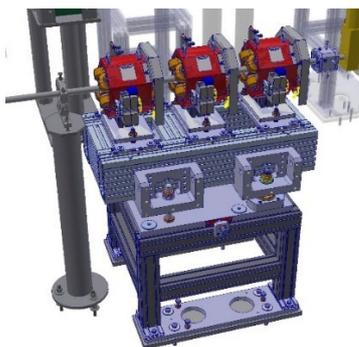


Figura 4: Elementi magnetici.

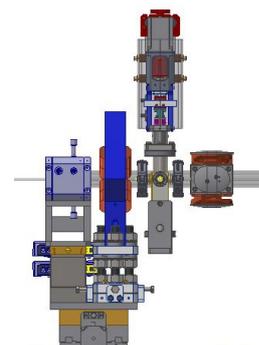


Figura 5: Elementi di diagnostica.

Il fascio raggiunge poi la linea FEL vera e propria, costituita da una successione modulare di ondulatori. Questi dispositivi, costituiti da sequenze di magneti permanenti con polarizzazione alternata, inducono un moto oscillatorio nel fascio di elettroni, generando così la radiazione elettromagnetica desiderata. Una caratteristica distintiva agli ondulatori di ARIA è la possibilità di movimentare in senso longitudinale due dei quattro treni magnetici, per permettere il controllo della polarizzazione della radiazione prodotta (lineare, circolare, ellittica), aumentando la peculiarità della linea e ampliando il ventaglio di applicazioni scientifiche e tecnologiche. della radiazione prodotta: è questo un tratto distintivo della linea che contribuisce a conferirle peculiarità. La linea sarà dotata anche di elementi denominati *phase shifter* per la regolazione della fase.

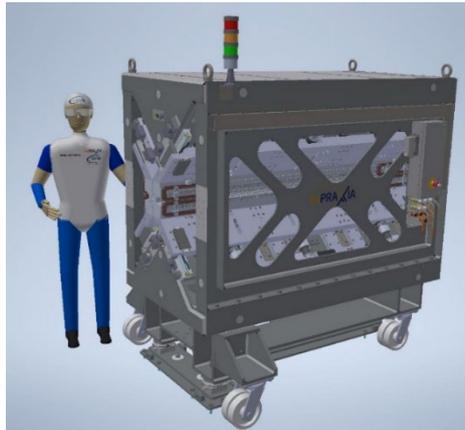


Figura 6: Progetto CAD di uno dei moduli di onduttore.

Tra ogni modulo di onduttore e il successivo è presente una stazione di servizio che integra vari sottosistemi: un correttore magnetico per la regolazione della posizione del fascio, una camera di diagnostica, una stazione di pompaggio, un sistema meccanico di ritenuta della camera da vuoto, un supporto meccanico per assicurare il posizionamento e l'allineamento.

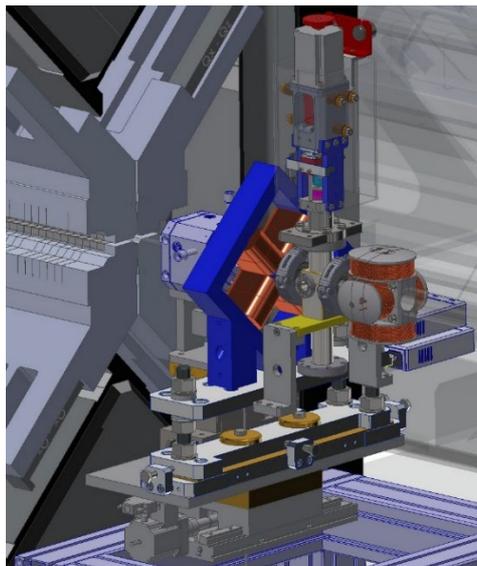


Figura 7: Componentistica intraonduttore.

La radiazione prodotta mediante gli ondulatori viene quindi trasportata fino alla sala utenti, dove sarà utilizzata per gli esperimenti scientifici e le applicazioni industriali. Il trasporto avviene in vuoto, con l'utilizzo di specchi di caratteristiche adeguate e dotati di movimentazione per il posizionamento di precisione. Le caratteristiche della radiazione vengono misurate da una serie di strumenti di diagnostica di fotoni, quali spettrometri, monitor di intensità, attenuatori, sensori di fronte d'onda.

Sono infine previsti gli strumenti necessari per gli esperimenti, quali manipolatori, microscopi, rivelatori di radiazione, banchi ottici, specchi e filtri, un laser per l'accoppiamento tra la radiazione generata dal FEL e quella ottica del laser che genera la coerenza, abilitando esperimenti avanzati come spettroscopie multidimensionali o tecniche pump-probe, sistemi di iniezione del campione (*sample delivery systems*) per interazione tra il fascio e il campione da analizzare.

Il trasporto, prima degli elettroni e successivamente dei fotoni, avviene all'interno di un sistema da vuoto ad alta efficienza, necessario per evitare l'interazione con le molecole d'aria, che

comprometterebbe l'integrità del fascio. Il sistema include tubi da vuoto, sensori di pressione, valvole di sezionamento e pompe di varia tipologia, distribuite strategicamente lungo la linea per mantenere i valori di pressione richiesti. Tutti i componenti devono essere opportunamente posizionati ed allineati, tramite supporti di meccanica di precisione, e integrati con elementi ancillari quali soffiotti, raccordi flessibili e interfacce meccaniche.

Sono parte integrante dell'infrastruttura anche le strumentazioni di calcolo, quali elaboratori, necessari per la simulazione dei fenomeni fisici, l'analisi dei dati, l'elaborazione di grafici e risultati scientifici, l'archiviazione dei dati.

Alcuni sottosistemi, inclusi quelli a radiofrequenza usati in fase di accelerazione delle particelle, necessitano di un sistema di raffreddamento, ottenuto tramite circuiti idraulici, scambiatori di calore, sistemi di termoregolazione. La linea ARIA è inoltre dotata dei necessari sistemi di sicurezza e radioprotezione, tra cui interlock, dosimetri e monitor ambientali.

Infine, l'intera infrastruttura è gestita da un sistema di controllo centralizzato, responsabile del coordinamento operativo, della diagnostica, dell'allineamento e della sicurezza dell'apparato.

6. Organizzazione delle attività

La linea ARIA sarà realizzata avvalendosi delle competenze e delle risorse umane già operative presso i Laboratori Nazionali di Frascati, in particolare all'interno della Divisione Acceleratori e della Divisione Tecnica.

L'attuale configurazione organizzativa dell'infrastruttura fa principalmente riferimento alla Divisione Acceleratori che, come illustrato nell'organigramma riportato nella figura seguente, è composta da uno staff scientifico e da nove Servizi. Questi coprono tutte le principali aree tematiche legate agli acceleratori e sono responsabili dell'intero ciclo di implementazione dei sistemi proposti: dalla progettazione e definizione delle specifiche tecniche, alla gestione delle procedure di gara per l'acquisizione dei componenti, fino al collaudo in macchina, passando per le fasi di test, installazione, e le successive operazioni.

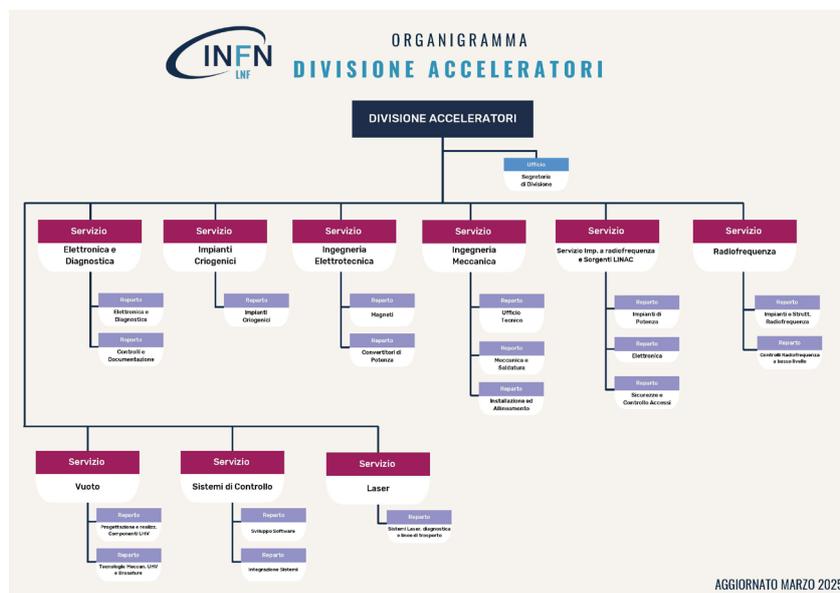


Figura 8: Organigramma della Divisione Acceleratori di LNF.

La realizzazione, manutenzione ed evoluzione degli apparati coinvolti nel progetto saranno gestite congiuntamente dai Servizi della Divisione Acceleratori e da quelli della Divisione Tecnica, la quale comprende sei Servizi incaricati del funzionamento generale dei Laboratori, inclusa la gestione e la manutenzione degli impianti elettrotecnici e dei sistemi a fluidi.

A supporto delle attività progettuali, un ruolo fondamentale sarà svolto dal Servizio di Amministrazione, che garantirà la gestione efficiente e puntuale delle procedure di acquisto, della rendicontazione economico-finanziaria e, più in generale, di tutte le attività amministrative indispensabili per la corretta realizzazione del progetto. Il Servizio ha dimostrato nel tempo una solida esperienza gestionale, maturata attraverso la conduzione di numerosi progetti finanziati da fondi esterni. In particolare, si è distinto per efficienza, affidabilità e capacità organizzativa, come testimoniato dal successo nella gestione dei fondi PNRR, contribuendo in modo determinante al raggiungimento degli obiettivi scientifici e strutturali. La sua competenza rappresenta dunque un elemento strategico a garanzia del buon esito dell'intera iniziativa.

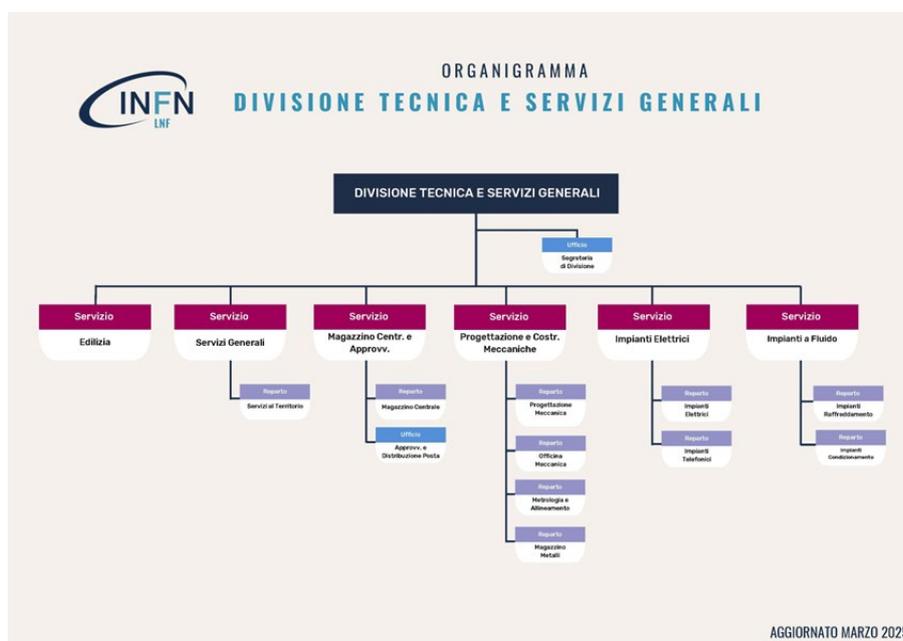


Figura 9: Organigramma della Divisione Tecnica di LNF.

7. Funzionamento della linea

La linea ARIA è concepita come una infrastruttura di ricerca *user-oriented*, progettata per accogliere utenti esterni provenienti dal mondo della ricerca e dell'industria, interessati a condurre esperimenti avanzati basati sulla radiazione generata tramite accelerazione al plasma. L'accesso ad ARIA per utenti esterni sarà basato su un sistema aperto e transnazionale, competitivo e trasparente (*peer review*), con spazi e attrezzature per servizi alle imprese, nel rispetto delle regole degli investimenti pubblici e comunitari. Questo modello di accesso permetterà di selezionare progetti di ricerca con il massimo potenziale scientifico e applicazioni innovative dall'elevato impatto, assicurando che ogni progetto sfrutti appieno le potenzialità dell'infrastruttura. Il regolamento di accesso definirà le diverse modalità per i vari tipi di utenti, con un panel di valutazione scientifica e tecnologica e un calendario delle attività, in linea con gli standard delle più avanzate infrastrutture di ricerca.

L'accesso alla linea ARIA, come anche alla linea AQUA, sarà regolato secondo i principi stabiliti dalla Carta Europea per l'Accesso alle Infrastrutture di Ricerca (edizione 2024). Questo documento, sebbene non vincolante, rappresenta un riferimento strategico per la definizione di politiche di accesso moderne, inclusive e sostenibili, e viene raccomandato a livello europeo per la gestione delle infrastrutture di ricerca.

I principi fondamentali della Carta, che guideranno anche la politica di accesso ad ARIA, includono:

- Accesso aperto e inclusivo, per garantire pari opportunità a ricercatori e utenti indipendentemente dalla provenienza geografica, dal settore di appartenenza o dalla disciplina scientifica;
- Trasparenza e meritocrazia, con procedure chiare e valutazione delle richieste basata sul merito scientifico;
- Condivisione dei dati secondo i principi FAIR, per rendere i dati Trovabili (Findable), Accessibili (Accessible), Interoperabili (Interoperable) e Riutilizzabili (Reusable).

L'accesso sarà offerto in modalità fisica, remota o virtuale, per rispondere in modo flessibile alle diverse esigenze della comunità scientifica e industriale. La progettazione della linea ARIA include, infatti, elementi che ne garantiscono l'accessibilità, la sostenibilità nel lungo termine e l'adattabilità a scenari emergenti.

Tra le novità introdotte nella versione 2024 della Carta Europea, che verranno recepite da ARIA, vi sono:

- la promozione attiva della scienza aperta e dell'innovazione, attraverso la condivisione trasparente di dati, metodi e risultati;
- l'attenzione alla sicurezza della ricerca e all'autonomia strategica, per garantire che l'infrastruttura sia in grado di operare anche in contesti critici;
- il coinvolgimento di nuovi utenti e PMI, riconoscendo il ruolo chiave delle infrastrutture di ricerca nel supportare l'imprenditorialità e la competitività industriale;
- l'enfasi sulla resilienza in tempi di crisi, con strategie per mitigare l'impatto di eventi straordinari su accesso, utenti e personale tecnico-scientifico.

8. Comunicazione e disseminazione

Per un'infrastruttura di ricerca che intende aprirsi all'utilizzo da parte di utenti esterni, inclusi soggetti industriali, con l'obiettivo di contribuire alla crescita tecnologica e all'innovazione del tessuto produttivo nazionale ed europeo, è fondamentale una comunicazione chiara, mirata ed efficace. Diventa quindi essenziale illustrare con precisione le finalità dell'infrastruttura, le attrezzature disponibili, le competenze presenti, le tecnologie offerte e le modalità di accesso.

Nel contesto del progetto ARIA, particolare attenzione sarà dedicata alla comunicazione degli obiettivi, delle potenzialità e delle modalità di fruizione dell'infrastruttura da parte degli utenti, sia accademici che industriali. Gli strumenti previsti per raggiungere tali obiettivi includono i seguenti:

- Pagina web su sito istituzionale, costantemente aggiornato, con sezioni dedicate alla descrizione delle attrezzature e servizi disponibili, ad esempi di casi d'uso e progetti applicativi; alle modalità di accesso, supporto e contatto; alle news, eventi e aggiornamenti dal progetto.
- Partecipazione attiva a conferenze e workshop, con particolare attenzione agli eventi focalizzati su applicazioni industriali e trasferimento tecnologico.
- Organizzazione di workshop e incontri tematici, dedicati alla presentazione delle potenzialità dell'infrastruttura e al dialogo diretto con la comunità di utenti potenziali.
- Attività di divulgazione tecnica, inclusa la produzione di materiale informativo e articoli divulgativi su riviste di settore.

Queste attività contribuiranno a rendere ARIA un punto di riferimento per la ricerca applicata e l'innovazione tecnologica, valorizzando il dialogo tra ricerca e industria e facilitando l'accesso e la partecipazione degli stakeholder esterni.

Referenze

- [1] F. Villa et al. "ARIA—A VUV Beamline for EuPRAXIA@SPARC_LAB". *Condens. Matter* 2022, 7(1), 11; <https://doi.org/10.3390/condmat7010011>
- [2] M. Opromolla et al. "ARIA, A VUV BEAMLINE FOR EUPRAXIA@SPARC_LAB". 40th International Free Electron Laser Conference, Trieste, doi: 10.18429/JACoW-FEL2022-TUP75
- [3] F. Villa et al., "EuPRAXIA@SPARC LAB Status Update" *Proc. Volume 12581, X-Ray Free-Electron Lasers: Advances in Source Development and Instrumentation VI (2023)*; pag 125810H, doi: 10.1117/12.2668643
- [4] M. Ferrario et al., "EuPRAXIA@SPARC_LAB Design study towards a compact FEL facility at LNF", *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A* vol. 909 (2018) pag. 134, doi: 10.1016/j.nima.2018.01.094
- [5] A. Balerna et al., "The Potential of EuPRAXIA@SPARC_LAB for Radiation Based Techniques", *Condens. Matter* vol. 4 (2019) pag. 30, doi: 10.3390/condmat4010030
- [6] F. Villa et al., "Photon beam line of the water window FEL for the EuPRAXIA@SPARC_LAB project", *J. Phys.: Conf. Ser.* vol. 1596 (2020) pag. 012039, doi: 10.1088/1742-6596/1596/1/012039
- [7] A. Petralia et al., "Short period Apple-X Undulator modeling for the AQUA line of the future EuPRAXIA@SPARC_LAB facility", *Proceedings of 20th Int. FEL conf. (2022)*, pag. WEP38, doi: 10.18429/JACoW-FEL2022-WEP38
- [8] F. Nguyen et al., "FEL performance and tolerance studies of the EuPRAXIA@SPARC_LAB beamline AQUA", *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A* (2025) pag. 170291, doi: 10.1016/j.nima.2025.170291
- [9] EuPRAXIA facility website: <https://www.eupraxia-facility.org/>
- [10] EuPRAXIA-PP webpage: <https://www.eupraxia-pp.org/>

- [11] EuPRAXIA Conceptual Design Report <https://www.eupraxia-project.eu/eupraxia-conceptual-design-report.html> <https://doi.org/10.1140/epjst/e2020-000127-8>
- [12] European Commission: Directorate-General for Research and Innovation, “European Charter for Access to Research Infrastructures – Principles and guidelines for access and related services”, Publications Office of the European Union, 2024, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/8299402>
- [13] A. Biagioni et al., “Technical Status Report on Plasma Components and Systems in the context of EuPRAXIA”, e-Print: 2412.16910 [physics.plasm-ph]
- [14] A. Vannozzi et al., “New Tunable High Gradient Permanent Magnet Quadrupole for Plasma Wake Field Acceleration at SPARC _LAB”, J. Phys.: Conf. Ser. 1596 012009 (2020), doi: 10.1088/1742-6596/1596/1/012009
- [15] R.W. Aßmann, et al., “EuPRAXIA conceptual design report”, Eur. Phys. J. ST, 229 (24) (2020), p. 3675
- [16] M. Bellveglia et al., “EuPRAXIA@SPARC _LAB status update”, *Proceedings of SPIE vol. 12581 (2023)* doi: <https://dx.doi.org/10.1117/12.2668643>
- [17] I. Balossino et al., “[Mechanical strength investigations of the APPLE-X undulator using Fiber Bragg Grating strain measurements](#)” arXiv preprint arXiv:2501.11531