

ALLEGATO 2

CONVENZIONE REGIONE LAZIO – INFN

ARIA

ADVANCED RADIATION SOURCE FOR INTERACTIONS ANALYSIS

STIMA DEI COSTI E CRONOPROGRAMMA

SOMMARIO

1.	Stima dei costi	2
1.1.	Trasporto degli elettroni.....	2
1.2.	Linea ondulatori	3
1.3.	Trasporto dei fotoni	3
1.4.	Stazioni di misura per utenti.....	4
1.5.	Altri costi di progetto	4
1.6.	Ulteriori considerazioni.....	6
2.	Articolazione temporale delle attività	6
2.1.	Trasporto degli elettroni.....	7
2.2.	Linea ondulatori	7
2.3.	Trasporto dei fotoni	7
2.4.	Stazioni di misura per utenti.....	7
2.5.	Milestones	8
2.6.	Diagramma di Gantt	8

1. Stima dei costi

La realizzazione della linea ARIA e delle attrezzature necessarie per garantirne l'operatività all'interno di EuPRAXIA richiede un investimento complessivo stimato in circa 20 milioni di euro. Di questi, la gran parte sono destinati a forniture (e, in misura minore, a servizi di progettazione) suddivise in quattro macro-voci principali, corrispondenti alle componenti funzionali fondamentali della linea. Tali investimenti sono destinati in larga misura all'acquisizione di strumentazione scientifica avanzata, caratterizzata da un elevato contenuto tecnologico e da requisiti di precisione particolarmente stringenti. Ogni elemento risponde a specifiche esigenze di funzionamento della linea e concorre in modo determinante alla sua piena operatività.

Considerata l'entità del progetto, è prevista anche una voce specifica per le attività di comunicazione. Completano il quadro economico le spese per la fidejussione, la revisione contabile da parte di un revisore indipendente qualificato, e la quota forfettaria del 7% destinata alla copertura dei costi generali.

Nei paragrafi seguenti si riportano le giustificazioni relative alle principali voci di spesa. Si precisa che le stime attualmente indicate sono basate sullo stato dell'arte al momento della redazione del presente documento e potrebbero subire variazioni in funzione di diversi fattori, tra cui: l'esito della fase di progettazione esecutiva, l'introduzione di eventuali migliorie tecniche e l'andamento dei costi di mercato dei componenti. Eventuali scostamenti rispetto alle stime attuali verranno tempestivamente segnalati e motivati.

1.1. Trasporto degli elettroni Costo complessivo: 5.3 milioni di euro

Questa voce include i componenti dei sottosistemi necessari per l'accelerazione al plasma del fascio di elettroni e il suo trasporto verso gli ondulatori, con l'obiettivo di garantirne il controllo preciso in termini di posizione e qualità lungo il percorso. Gli investimenti previsti riguardano:

- il modulo di accelerazione al plasma, che comprende i componenti per l'interazione tra il fascio e il plasma: camera e sistema da vuoto (pompe, valvole, tubazioni), capillare, magneti permanenti ed elettromagneti con relativi alimentatori;
- il sistema di radiofrequenza, che include sorgenti RF e klystron, per la prima fase di accelerazione del fascio;
- i sistemi di meccanica di precisione, per il posizionamento e l'allineamento accurato dei componenti;
- il sistema da vuoto, che garantisce la propagazione del fascio in condizioni di pressione controllata;
- i magneti ed i loro alimentatori di potenza, fondamentali per la guida e la correzione della traiettoria del fascio;

- la diagnostica di fascio, costituita da strumenti per il monitoraggio in tempo reale dei parametri del fascio, con impatto diretto su efficienza e prestazioni della radiazione generata;
- gli strumenti di radioprotezione, quali il beam dump e le schermature, per la terminazione controllata del fascio e la protezione radiologica associata.

1.2. Linea ondulatori

Costo complessivo: 6 milioni di euro

Questa voce comprende tutti gli elementi che costituiscono la linea FEL:

- gli ondulatori, nucleo tecnologico della linea ARIA e principale voce di investimento, sia per entità economica sia per complessità tecnica. Si tratta di dispositivi costituiti da sequenze di magneti permanenti a polarizzazione alternata, che inducono un moto oscillatorio nel fascio di elettroni, generando radiazione elettromagnetica coerente. La linea sarà composta da una successione modulare di ondulatori (radiatori, modulatore, phase shifter), progettata per garantire elevata flessibilità operativa e massima qualità della radiazione prodotta;
- i magneti di correzione e guida, installati tra i moduli di ondulatori e lungo la linea FEL, con la funzione di ottimizzare il trasporto del fascio di elettroni, correggerne eventuali deviazioni e mantenere le condizioni ottimali per la generazione dei fotoni;
- la diagnostica di fascio, indispensabile per monitorare in tempo reale i parametri del fascio di elettroni (come posizione, energia e divergenza), permettendo l'ottimizzazione della traiettoria e l'adattamento dinamico delle condizioni di funzionamento;
- Il sistema di monitoraggio della dose di radiazione ambientale, installato nei punti critici dell'impianto per garantire la sicurezza del personale e il rispetto dei limiti normativi, attraverso il controllo continuo dell'esposizione radiologica;
- i componenti ausiliari, necessari per l'integrazione dei sottosistemi e per l'operatività continua in regime 24/7.

1.3. Trasporto dei fotoni

Costo complessivo: 2.2 milioni di euro

Questa voce include tutti gli elementi necessari al trasporto della radiazione prodotta dagli ondulatori fino alle sale utenti, garantendone l'integrità, la stabilità e le caratteristiche spettrali. Gli investimenti riguardano:

- il sistema da vuoto per il percorso ottico, costituito da camere da vuoto, tubi, valvole e pompe, che consente il trasporto della radiazione evitando l'assorbimento e il degrado del fascio di fotoni, dovuto all'interazione tra il fascio stesso e le molecole d'aria, mantenendo condizioni controllate fino alla zona sperimentale;
- gli strumenti per la manipolazione della radiazione, tra cui attenuatori e sensori di fronte d'onda, gli shutters, utili per adattare le condizioni del fascio alle esigenze sperimentali;
- la strumentazione per la diagnostica dei fotoni, indispensabile per caratterizzare accuratamente la radiazione in termini di intensità, spettro, coerenza trasversa e longitudinale, profilo temporale

e stabilità. Questi dati sono fondamentali per l'ottimizzazione e l'esecuzione degli esperimenti da parte degli utenti;

- gli elementi di ottica di precisione per il trasporto e la riflessione dei fotoni, tra cui specchi, lenti, filtri e tavoli ottici, completi di sistemi di movimentazione e allineamento fine, utilizzati per guidare e modulare il fascio in funzione delle esigenze sperimentali. per garantire la corretta qualità del fascio;
- i dispositivi per il posizionamento meccanico e l'allineamento dei componenti.

1.4. Stazioni di misura per utenti

Costo complessivo: 4.2 milioni di euro

Questa voce comprende l'insieme delle attrezzature scientifiche e strumentazioni di laboratorio necessarie per l'utilizzo applicativo della radiazione prodotta. La sala utenti potrà essere equipaggiata con:

- un sistema di rivelazione e misura, comprendente: rivelatori di positroni e ioni, generati durante l'interazione tra il fascio e il campione, al fine di ricostruire i processi fisici avvenuti nell'esperimento; uno spettrometro per l'analisi della radiazione emessa dal campione nelle regioni dell'ultravioletto estremo e dei raggi X, utile alla caratterizzazione spettrale del fascio;
- strumenti ottici di osservazione, tra cui microscopi e telecamere, con la relativa accessoristica ottica, per l'allineamento preciso e il monitoraggio visivo del campione e degli altri componenti sperimentali;
- sistemi di iniezione e controllo del campione, comprendente manipolatori di precisione, dotati di micromotori compatibili con vuoto, per il posizionamento accurato di campioni, ottiche o altri elementi all'interno della camera da vuoto; sistemi di iniezione quali sorgente a elettrospray, che nebulizza soluzioni contenenti il campione per produrre ioni o cluster; iniettore ad aerosol, che trasforma il campione in un aerosol per esperimenti di scattering su singola particella;
- un sistema, composto da un laser a impulsi ultracorti utilizzato per la generazione della coerenza nella radiazione FEL. Opportunamente sincronizzato, consente anche accoppiamenti tra la radiazione prodotta nella linea ARIA e impulsi ottici, abilitando tecniche avanzate come spettroscopie multidimensionali e pump-probe;
- un sistema di acquisizione ed analisi dei dati funzionale all'esperimento, comprensivo di hardware e software;
- ambiente sperimentale dedicato, consistente in camera pulita di grado adeguato e relativi impianti.

1.5. Altri costi di progetto

Costo complessivo: 2.3 milioni di euro

A completamento del quadro economico, oltre alle spese relative alle quattro macro-voci tecnologiche sopra descritte, una parte del finanziamento sarà destinata anche alle seguenti voci accessorie ma necessarie:

- attività di comunicazione, che comprendono l'organizzazione di eventi di presentazione e networking, la produzione di materiale informativo e divulgativo sul progetto, nonché la pubblicazione di contributi tecnico-scientifici;

- spese di preparazione e allestimento di laboratori destinati ad ospitare zone di montaggio delle apparecchiature per l'infrastruttura ARIA;
- copertura dei costi per la fideiussione richiesta a garanzia dell'erogazione dell'anticipo;
- certificazione delle spese da parte di un revisore indipendente qualificato;
- copertura dei costi indiretti, calcolati forfettariamente nella misura del 7% delle spese ammissibili, in conformità con la normativa di riferimento.

Tabella 1: Voci di spesa

TRASPORTO ELETTRONI		5.300.000
Modulo accelerazione al plasma	Camera da vuoto con accessori, capillari, alimentazione, attuatori	700.000
Sistema di radiofrequenza	Sorgenti a radiofrequenza, klystron	2.100.000
Sistema di meccanica	Supporti, allineamento	300.000
Sistema da vuoto	Tubi, valvole, pompe, sensori	300.000
Magneti e alimentatori	Dipoli, quadrupoli, correttori, alimentatori	1.400.000
Diagnostica di fascio	Beam Position Monitor, Screen, accessori	200.000
Radioprotezione	Beam dump, schermature	300.000
LINEA ONDULATORI		6.000.000
Ondulatori	Radiatori, modulatore, phase shifter	5.000.000
Magneti e alimentatori	Correttori, quadrupoli, alimentatori	500.000
Diagnostica di fascio	Beam Position Monitor, Screen	200.000
Sistema di monitoraggio	Sensoristica	100.000
Componenti ausiliari		200.000
TRASPORTO DEI FOTONI		2.200.000
Sistema da vuoto	Tubi, valvole, pompe, sensori, camere da vuoto	400.000
Manipolazione della radiazione	Attenuatori, sensori, shutters	500.000
Diagnostica di fotoni	Telecamere, sensori, spettrometri	600.000
Ottica di precisione	Specchi, lenti, movimentazioni, controller	300.000
Meccanica di posizionamento	Supporti, strumenti di allineamento	400.000
STAZIONI PER UTENTI		4.200.000
Sistema di rivelazione e misura	Rivelatori, spettrometro, monitor di intensità, misura di coerenza, attenuatori	1.400.000
Strumenti ottici	Telecamere, microscopi, specchi, lenti, filtri, tavoli	250.000
Sistemi di iniezione e controllo	Manipolatori, movimentazioni, micrometri, iniettori	250.000
Sistema laser	Laser con accessori, oscillatore	1.900.000
Sistema di acquisizione e analisi	Workstation, DAQ, software	200.000
Ambiente sperimentale	Camere pulite e relativi impianti	200.000
ALTRI COSTI DI PROGETTO		2.300.000
Comunicazione	Organizzazione eventi, materiale divulgativo, pubblicazioni, grafica	200.000
Allestimento laboratori		400.000
Fidejussione		200.000
Certificazione delle spese	Revisore indipendente qualificato	200.000
Costi indiretti	Forfettario 7%	1.300.000

1.6. Ulteriori considerazioni

Si sottolinea che una parte consistente di questi acquisti potrebbe essere affidata ad imprese operanti nella Regione Lazio, risultando in una ricaduta diretta sul tessuto industriale del territorio. Infatti, grazie anche all'interazione e alle commesse degli enti di ricerca, si sono affermate nel Lazio imprese particolarmente attive nella ricerca e sviluppo, nei settori di interesse per l'INFN, che hanno maturato competenze di altissimo livello. Rientrano in questa descrizione alcune imprese operanti nel settore della meccanica di precisione, delle tecnologie del vuoto, della realizzazione di strutture acceleranti.

L'entità e la natura degli investimenti previsti per la realizzazione della linea ARIA riflettono la volontà di dotare il sistema nazionale di ricerca di una infrastruttura scientifica di eccellenza, in grado di rispondere alle sfide emergenti nei settori della scienza dei materiali, della fisica dello stato solido, della chimica, della biologia strutturale e delle nanotecnologie. Grazie all'impiego di strumentazione ad alta tecnologia e prestazioni avanzate, ARIA potrà offrire condizioni sperimentali uniche, capaci di attrarre una comunità multidisciplinare di utenti, sia in ambito accademico che industriale.

La disponibilità di stazioni di misura ad alto grado di specializzazione, combinate alla coerenza temporale e spaziale della radiazione prodotta, consentirà l'esecuzione di esperimenti altrimenti non realizzabili con le tecnologie oggi accessibili sul territorio nazionale. Ciò si traduce in un potenziale significativo per il rafforzamento della competitività scientifica, lo sviluppo di partnership pubblico-private, e la formazione avanzata di giovani ricercatori in contesti di frontiera.

2. Articolazione temporale delle attività

Di seguito si presenta il cronoprogramma previsionale relativo all'implementazione della linea ARIA, il cui obiettivo è il completamento delle spese per il 2028. Considerata la complessità tecnica degli apparati oggetto degli investimenti, la pianificazione temporale tiene conto delle seguenti variabili principali:

- tempi necessari per l'espletamento delle procedure di gara ad evidenza pubblica;
- tempi di consegna degli apparati;
- tempi stimati per le attività di installazione e collaudo;
- tempi di rendicontazione degli investimenti.

La Gantt chart è stata strutturata includendo anche un adeguato margine temporale dedicato alla rendicontazione amministrativa delle spese sostenute, in linea con le normative vigenti in materia di finanziamenti pubblici.

Il piano operativo, il cui cronoprogramma è schematicamente riportato in Figura 1, prevede l'installazione di tutta la linea nel complesso dell'edificio della facility EuPRAXIA@SPARC_LAB, per il quale si prevede la partenza della gara di realizzazione nel corso del 2025, avendo già ricevuto tutti i permessi dalla Conferenza dei Servizi, ed essendo disponibili presso INFN le risorse economiche necessarie, e il cui completamento è previsto entro il 2028.

2.1. Trasporto degli elettroni

La progettazione del sistema di trasporto degli elettroni rappresenta una fase fondamentale per garantire l'efficace funzionamento della linea utenti. Tale progettazione è strettamente dipendente dalle caratteristiche meccaniche e funzionali degli ondulatori, ai quali è direttamente connessa. Pertanto, la finalizzazione delle specifiche tecniche dei componenti dedicati al trasporto del fascio di elettroni sarà avviata parallelamente al completamento della progettazione della linea di ondulatori, così da assicurare piena coerenza e integrazione tra i vari sottosistemi.

L'acquisto degli elementi relativi al trasporto degli elettroni sarà articolato in diverse procedure distinte, ciascuna specifica per le diverse tipologie di apparati e per le specifiche tecnologie associate.

2.2. Linea ondulatori

Dal momento che l'investimento principale, sia in termini economici sia per complessità tecnologica, riguarda proprio la realizzazione della linea di ondulatori dedicata alla generazione di radiazione per Free Electron Laser, le attività progettuali avranno inizio con la definizione di dettaglio delle caratteristiche tecniche di questi dispositivi. Si tratta di una fase cruciale, poiché consente l'avvio tempestivo della relativa procedura di acquisto, considerata prioritaria nel progetto alla luce dei tempi previsti per progettazione, costruzione e consegna, stimati sulla base di esperienze precedenti. Si sottolinea che lo studio delle caratteristiche degli ondulatori è stato avviato già da tempo, in quanto fin dalle fasi iniziali si prevedeva la possibilità di dotare EuPRAXIA di una linea utenti aggiuntiva rispetto a quella denominata AQUA, pur in assenza di un finanziamento dedicato. Tali attività preliminari, condotte a scopo esplorativo e oggi pienamente propedeutiche allo sviluppo previsto dal presente progetto, hanno prodotto risultati documentati da pubblicazioni scientifiche e rapporti tecnici.

Le linee ARIA e AQUA, pur generando radiazioni con caratteristiche differenti, condividono numerosi elementi tecnologici e progettuali. Questa sinergia consente di ottimizzare tempi e risorse, capitalizzando l'esperienza maturata dal gruppo di lavoro nella fase di progettazione di AQUA e facilitando l'integrazione dei due sistemi all'interno dell'infrastruttura complessiva.

2.3. Trasporto dei fotoni

La definizione delle caratteristiche degli ondulatori determina in modo diretto le proprietà della radiazione emessa, che dovrà essere trasportata fino agli apparati sperimentali degli utenti attraverso la linea di trasporto fotoni. Di conseguenza, la progettazione di dettaglio del sistema di trasporto è strettamente subordinata alla caratterizzazione degli ondulatori stessi. L'acquisto dei componenti necessari per il trasporto dei fotoni sarà suddiviso in diverse procedure, ciascuna mirata a specifiche categorie di componenti e alle tecnologie ad esse associate, in modo da ottimizzare tempi, costi e requisiti tecnici.

2.4. Stazioni di misura per utenti

Gli strumenti per gli utenti rappresentano il nucleo delle apparecchiature destinate al primo utilizzo della radiazione generata, sia per finalità scientifiche che per applicazioni industriali. Pur considerando che alcune applicazioni potranno richiedere dispositivi specifici, è possibile individuare un insieme di strumenti comuni in grado di rispondere a diverse esigenze sperimentali. Questi includeranno sistemi per la manipolazione dei campioni, la rivelazione dei segnali e il trattamento dei dati. Per procedere

all'acquisto di tali strumenti, è prevista una fase di definizione finale delle specifiche tecniche, indispensabile per la predisposizione della documentazione di gara e per l'avvio delle relative procedure di approvvigionamento.

2.5. Milestones

Le **milestones di progetto** rappresentano momenti chiave nel percorso di sviluppo, offrendo un riscontro concreto sulle attività svolte e contribuendo a monitorare l'andamento temporale, in modo da garantire il rispetto delle scadenze previste.

Per questo motivo, sono state definite milestone con cadenza semestrale, ciascuna delle quali sintetizza i risultati ottenuti nei mesi precedenti e ne rende espliciti i contenuti, anche in funzione della rendicontazione tecnica e dell'allineamento con lo stato di avanzamento dei lavori.

Segue in Tabella 2 l'elenco delle milestone previste, con l'indicazione del mese di conseguimento (misurato a partire dall'avvio del progetto), e il relativo contenuto. Il diagramma di Gantt, insieme alla definizione delle relative milestone, è stato elaborato ipotizzando l'avvio delle attività in corrispondenza della firma dell'accordo attuativo con la Regione Lazio, attualmente prevista per la fine di luglio 2025. Qualora la data di avvio ufficiale del progetto ARIA dovesse essere posticipata, si prevede comunque di procedere con le attività preparatorie e di analisi, al fine di non compromettere l'esecuzione del progetto, considerati i tempi particolarmente stringenti. In tal caso, il numero e la tempistica delle milestone verranno aggiornati di conseguenza.

Tabella 2: Elenco delle milestones

Milestone	Mese	Descrizione
M1	6	Finalizzazione delle caratteristiche dei maggiori componenti della linea ARIA (ondulatori) e finalizzazione dei documenti per gli acquisti.
M2	12	Forniture principali assegnate (ondulatori, elementi per trasporto fotoni).
M3	18	Forniture ulteriori assegnate (elementi per trasporto elettroni, fotoni, utenti).
M4	24	Consegna delle forniture (elementi per trasporto fotoni, trasporto fotoni).
M5	30	Consegna di ulteriori forniture (trasporto elettroni, fotoni, utenti).
M6	36	Consegna di ulteriori forniture; collaudo dei singoli componenti.
M7	42	Collaudo dei singoli componenti. Completamento della rendicontazione di tutti gli investimenti.

2.6. Diagramma di Gantt

Di seguito si presenta il diagramma di Gantt, costruito raggruppando le attività secondo l'articolazione delle voci di spesa precedentemente descritte, e dettagliando le attività per ciascun intervento su base trimestrale. Il codice dei colori utilizzato descrive, in ordine dal tono più tenue a quello più intenso, le tempistiche previste per le seguenti fasi:

- la definizione delle specifiche tecniche e funzionali della linea;
- la formalizzazione dei contratti con i fornitori;
- la realizzazione, consegna e collaudo delle forniture.

Il piano prevede inoltre un margine temporale adeguato, nella parte conclusiva, da destinare alle fasi di rendicontazione tecnica ed amministrativa. Le spese raggruppate nella macrovoce “Altri costi di progetto” hanno un’articolazione temporale diluita durante l’intera esecuzione del progetto.

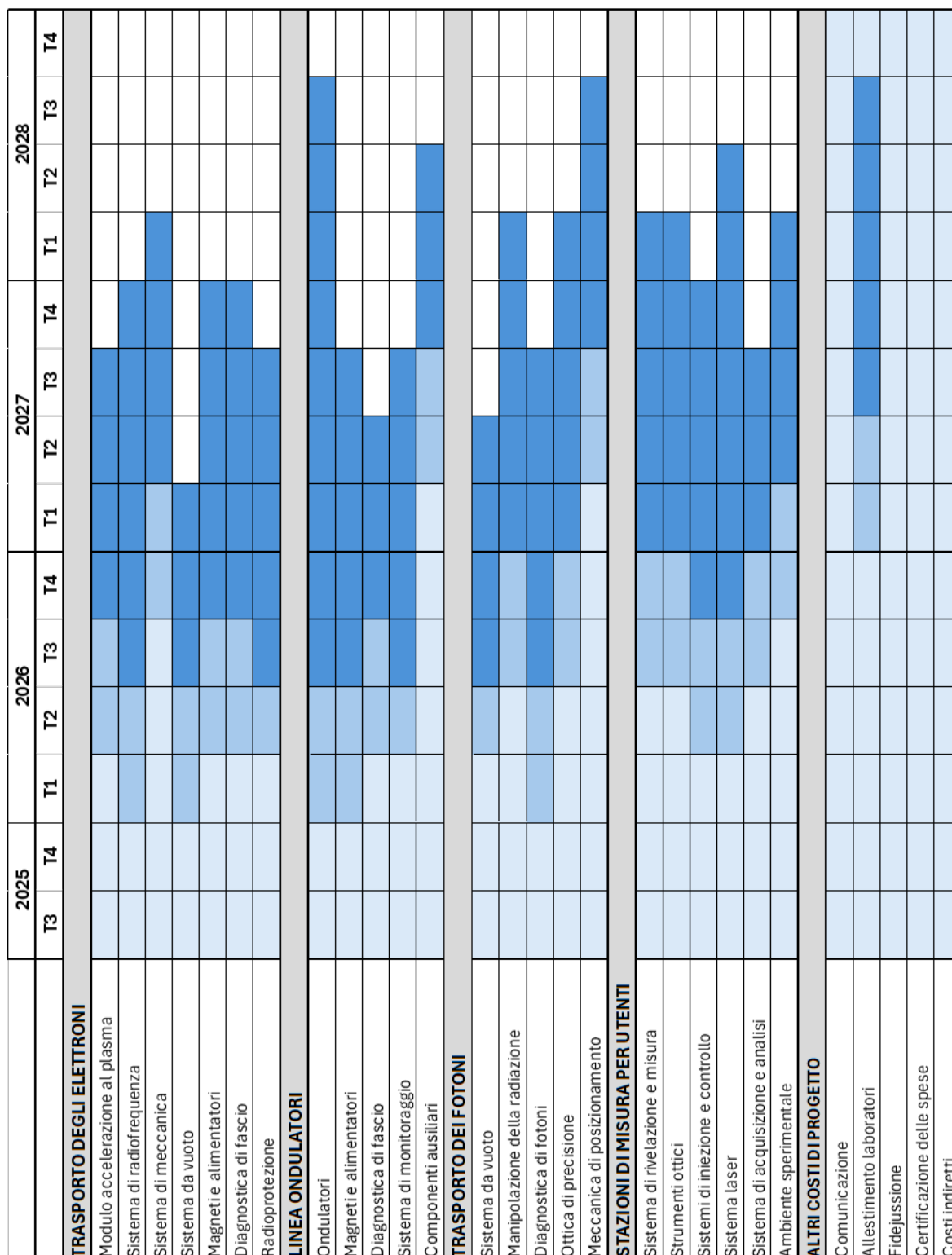


Figura 1: Diagramma di Gantt del progetto.

Analogamente a quanto fatto per le milestones, il diagramma di Gantt è stato costruito ipotizzando l'avvio formale del progetto in corrispondenza della firma dell'accordo attuativo con la Regione Lazio, attualmente prevista per la fine di luglio 2025. Qualora la data di avvio dovesse subire uno slittamento, si prevede comunque di eseguire le attività di finalizzazione tecnica degli elementi come descritto nel Gantt, al fine di evitare ritardi nelle fasi successive.

Al diagramma di Gantt è associata un cronoprogramma di spesa che prevede un target di 2.9 M€ per il 2026, 8.2 milioni di euro nel 2027, 8.9 milioni di euro nel 2028. Il cronoprogramma di spesa è stato elaborato tenendo conto dell'erogazione di pagamenti in occasione dei SAL (Stato Avanzamento Lavori) per le forniture di maggior impatto economico o tecnico, che prevedano quindi un contributo importante di materie prime o una progettazione esecutiva da parte della ditta aggiudicataria.

Eventuali scostamenti significativi che dovessero emergere rispetto al programma ipotizzato saranno tempestivamente segnalati alle scadenze previste per la rendicontazione, in allegato alla documentazione tecnica di rendicontazione.